

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
(МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП)
возрастная группа (9 класс)

ЗАДАНИЕ 1.

Тележка длиной l катится по горизонтальной плоскости со скоростью u . По тележке туда-обратно вдоль направления движения от стенки к стенке с постоянной скоростью бегают щенок (рис.1.1.) На рисунке 1.2 представлен график зависимости смещения s щенка относительно земли от времени t , где τ – время движения щенка от стенки до стенки тележки.

Определите, где в начальный момент времени находится щенок и найдите скорость движения щенка относительно тележки.

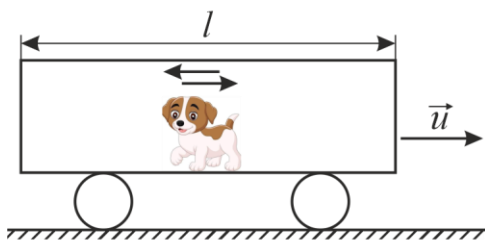


Рис. 1.1

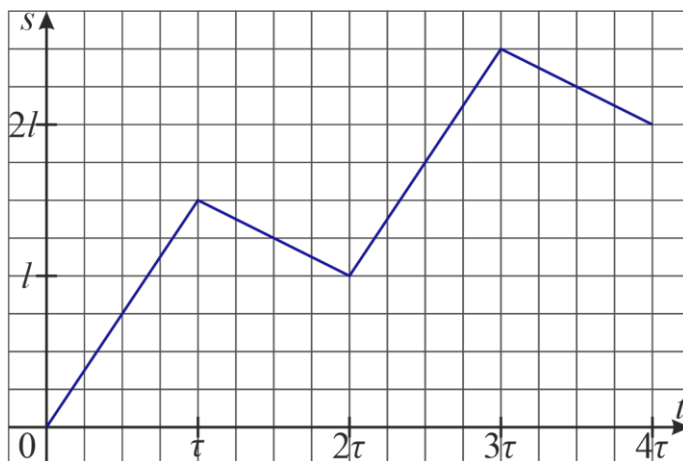


Рис. 1.2.

Решение.

Пусть скорость движения щенка относительно тележки v , тогда время движения щенка от стенки до стенки $\tau = \frac{l}{v}$.

Обозначим первый участок графика s_1 второй s_2 (рис. P1.), далее движение повторяется, длины повторяющихся участков одинаковы, следовательно в начальный момент времени щенок был у одной из стенок тележки.

Угол наклона графика на первом участке больше, чем на втором, значит, скорость щенка относительно земли в первом случае больше, т.е. сначала щенок бежит в направлении движения тележки, а потом против движения, то есть в начальный момент времени щенок был у левой стенки тележки. Скорость смещения щенка относительно земли на первом участке равна $u + v$, на втором соответственно равна $u - v$.

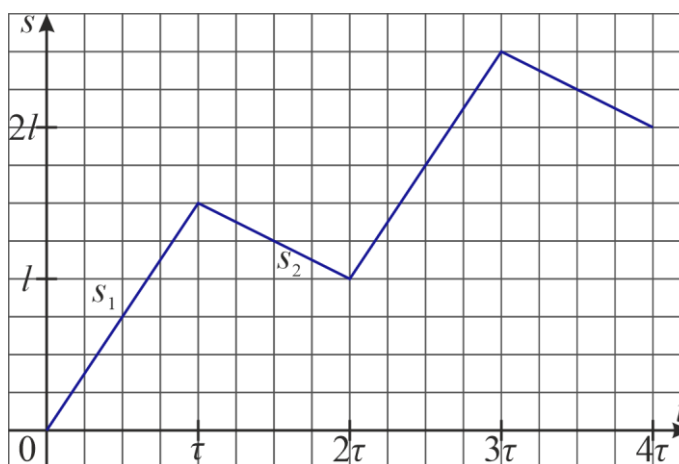


Рис. Р1.

Из графика видно, что смещение $s_1 = 1,5l$, смещение s_2 отрицательно и равно $s_2 = -0,5l$, с другой стороны $s_1 = (u + v)\tau = (u + v)\frac{l}{v}$ и $s_2 = (u - v)\tau = (u - v)\frac{l}{v}$. Получили систему уравнений

$$\begin{cases} 1,5l = (u + v)\frac{l}{v}, \\ -0,5l = (u - v)\frac{l}{v}. \end{cases} \quad (1)$$

Откуда получаем, что скорость щенка относительно тележки $v = 2u$.

Критерии оценивания

1.	Найдена связь времени τ со скоростью мышонка относительно тележки	1 балл
2.	Показано, что щенок в начальный момент времени находится у левой стенки тележки.	2 балла
3.	Верно определено по графику смещение на первом участке	1 балл
4.	Верно определено по графику смещение на втором участке	1 балл
5.	Получены соотношения (1)	4 балла
6.	Определено, что скорость щенка относительно тележки равна $2u$	1 балл
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 2.

Горизонтальная однородная балка AB длиной 90 см шарнирно прикреплена вертикальными стержнями к поршням, которые закрывают три цилиндрических сообщающихся сосуда с водой высотой $h = 30$ см (рис. 2). На каком расстоянии от точки A и какую по модулю нужно приложить силу F , чтобы балка осталась горизонтальной, учитывая, что масса балки $m = 10$ кг?

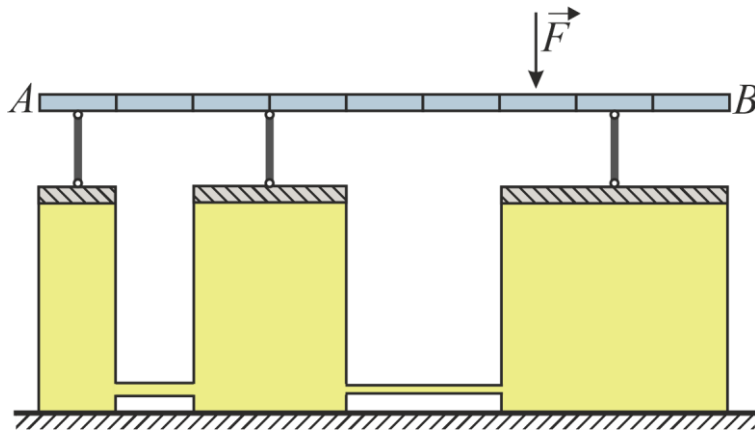


Рис. 2.

Решение.

Гидростатическое состояние сосудов (отсутствие движения жидкости) предполагает равенство давлений во всех точках рассматриваемого замкнутого объёма жидкости $p_1 = p_2 = p_3 = p$.

Силы, действующие на балку со стороны жидкости, будут не одинаковы по причине разности площадей поршней. Если систему предоставить самой себе, то уровень жидкости в сосудах будет не одинаковый, в левом сосуде он будет самый высокий, при попытке расположить рейку горизонтально, возникнут три силы реакции связи

$$F_i = pS_i, \quad \text{где } S_i = \pi r_i^2, \quad i = 1, 2, 3, \quad p = \rho gh.$$

Пусть одно деление балки равно $2x$, тогда на рейку со стороны поршней действуют силы (рис. P2)

$$F_1 = \pi r x^2, \quad F_2 = 4\pi r x^2 = 4F_1, \quad F_3 = 9\pi r x^2 = 9F_1.$$

Чтобы рейка находилась в равновесии

1) сумма всех сил действующих на нее должна быть равна нулю

$$F_1 + F_2 + F_3 = F + mg, \quad F = 14F_1 - mg,$$

где $F_1 = \pi \rho g h x^2 = 3,14 \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,30 \text{ м} \cdot (0,10 \text{ м})^2 = 94,2 \text{ Н}$,

$$F = 14 \cdot 94,2 \text{ Н} - 10 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1218,8 \text{ Н};$$

- 2) сумма моментов сил относительно некоторой оси вращения должна быть равна нулю.

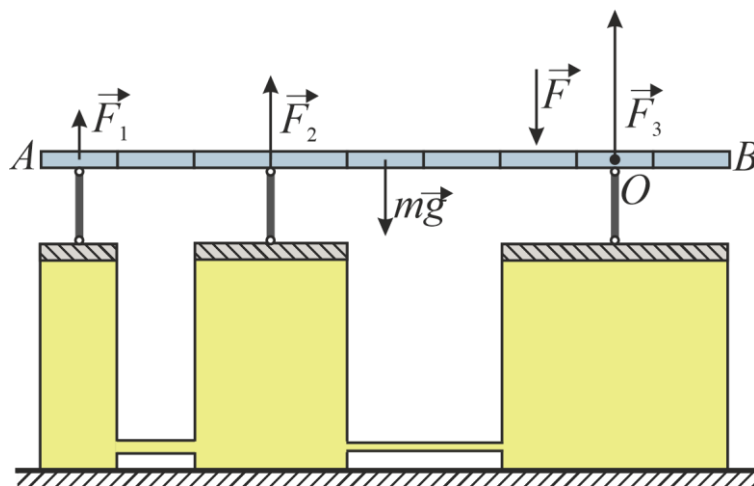


Рис. P2.

Рассмотрим вращение относительно точки O (рис. P2), имеем

$$F_1 \cdot 14x + F_2 \cdot 9x = Fl + mg \cdot 6x, \quad (50F_1 - 6mg)x = Fl,$$

$$l = \frac{(50F_1 - 6mg)x}{F}.$$

$$l = \frac{(50 \cdot 94,2 - 6 \cdot 10 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}) \cdot 0,10 \text{ м}}{1218,8 \text{ Н}} = 0,34 \text{ м}.$$

Тогда искомое расстояние от точки A до точки приложения силы F равно $AO - l = 75 \text{ см} - 34 \text{ см} = 41 \text{ см}$.

Критерии оценивания

1.	Определены силы, действующие на балку со стороны поршней	3 балла
2.	Записано уравнение равновесия для сил	2 балл
3.	Определено значение силы F	1 балл
3.	Записано уравнение равновесия для моментов сил	2 балла
4.	Определено расстояние от точки A до точки приложения силы	2 балла
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 3.

С какой силой T натянута нить AB , если на шарнирно стержневую систему (рис. 3) действует вертикальная сила F ? Все стержни сплошные и имеют одинаковую длину. Масса всех стержней m , угол $\alpha = 60^\circ$.

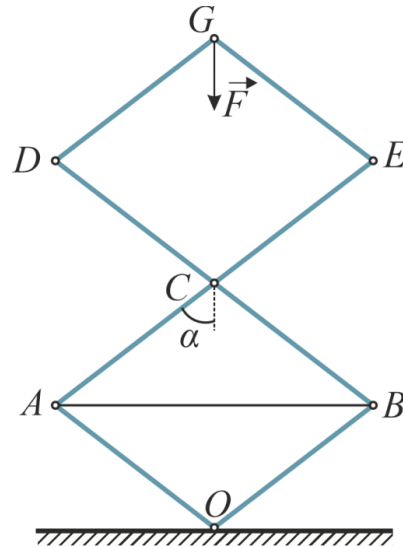


Рис. 3.

Решение.

Так как система состоит из однородных стержней, и она симметрична относительно линии GF и горизонтальной прямой проходящей через точку C , то центр тяжести системы лежит в точке C .

Если забыть о существовании нити, и рассмотреть, как конструкция складывается под действием силы F , можно заметить, что перемещение точки A будет пропорционально длине отрезка AB , а перемещение точки C пропорционально длине отрезка CO . Если угол $\alpha = 60^\circ$, так как треугольник ABC равнобедренный, то угол CAB равен 30° . Пусть каждый стержень имеет длину a , тогда $AB = 2a \cos 30^\circ = a\sqrt{3}$, $CO = 2a \cos 60^\circ = a$.

Воспользуемся методом виртуальных перемещений. Работа силы F пойдет на изменение потенциальной энергии и на преодоление работы силы натяжения нити T . Пусть сила натяжения нити переместила точку A на малое расстояние $x = ba\sqrt{3}$, тогда точка C переместится на расстояние $y = ba$, при этом изменится потенциальная энергия, где b коэффициент пропорциональности. Тогда точка G переместится на расстояние вдвое больше $2y = 2ba$.

Запишем закон сохранения энергии

$$F \cdot 2y = T \cdot x - mg \cdot y, \quad F \cdot 2ba = T \cdot ba\sqrt{3} - mg \cdot ba,$$

$$T = \frac{2F + mg}{\sqrt{3}}$$

Критерии оценивания

1.	Определено перемещение точки A (B)	2 балла
2.	Определено положение и перемещение центра тяжести системы	2 балл
3.	Определено перемещение точки G	2 балла
3.	Записан закон сохранения энергии	2 балла
4.	Получена верная формула для силы натяжения нити	2 балла
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 4.

Определить суммарный ток I_0 в цепи и эквивалентное сопротивление R_0 цепи, если минимальный ток, который течет через один резистор равен I . Сопротивления резисторов указаны на рис. 4. В центре шестиугольника провода не соединены. Цепь подключена к источнику питания через выводы в точках A и E , сопротивления соединительных проводов пренебрежимо малы.

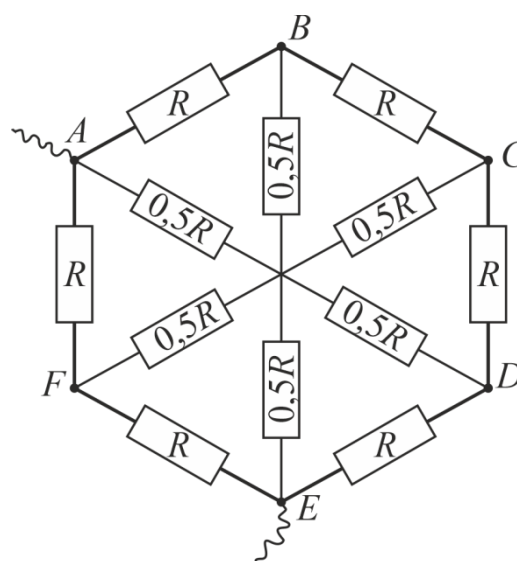


Рис.4.

Решение.

Пусть точка A подключена к "+" источника, а точка E к "-". Пары сопротивлений 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6 (рис. Р4.1) соединены последовательно, а значит сопротивление каждой из веток AD , BE и CF равны между собой и составляют R .

Цепь симметрична относительно прямой FC (но токи в симметричных областях направлены противоположно), значит в ветке FC (0) ток не идет, из точки A все токи выходят, а в точку E все токи входят. Из точки B ток

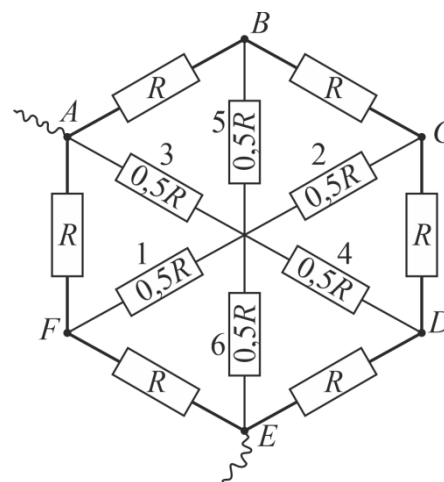


Рис. Р4.1.

приходит в C , а из C в D .

Перерисуем схему без резисторов, считая сопротивление каждого проводника равным R (рис. Р4.2) и расставим токи.

Начнем расставлять токи подальше от источника, так как там обычно ток меньше.

Пусть через ветку BC течет ток I_1 . Так как по ветке FC ток не идет, то и далее по ветке CD течет ток I_1 (или в силу симметрии цепи).

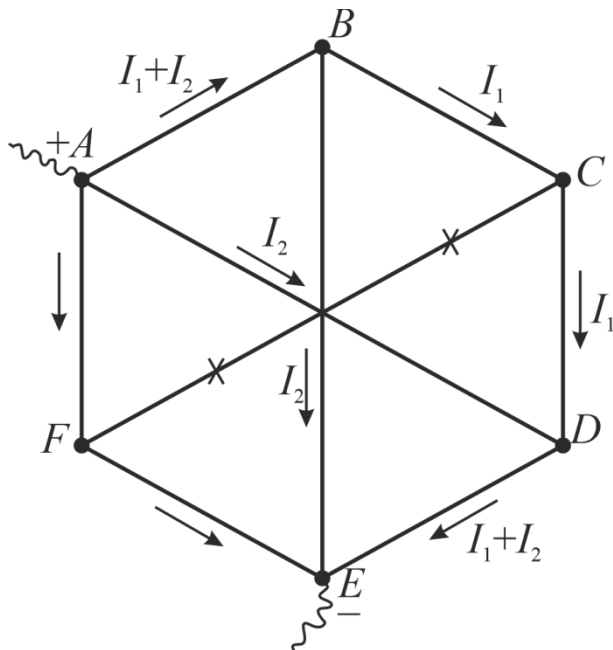


Рис. Р 4.3.

Таким образом по проводникам BC и CD ток не идет, а по проводникам AB и DE идет ток I_2 (Рис. Р 4.4).

К точкам A и D параллельно подключены две ветки AD и $AFED$, в силу симметрии цепи ток через ветку AF равен току через ветку FE , обозначим его через x , тогда

для первого случая $U_{AD} = I_2 R$;

для второго $U_{AD} = (2x - I_2) R$;

откуда $2x - I_2 = I_2$, следовательно, $x = I_2$.

Все токи расставлены (где идут), самый маленький из них I_2 , значит $I_2 = I$.

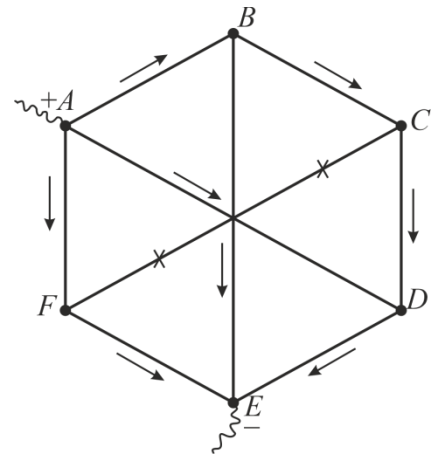


Рис. Р 4.2.

Пусть по ветке BE течет ток I_2 . Из точки B выходит ток $I_1 + I_2$, следовательно, и входит такой же, т.е. по ветке AB течет ток $I_1 + I_2$, как и по ветке DE в силу симметрии. (Рис. Р4.3).

К напряжению между точками B и E подключены две параллельные ветки BE и $BCDE$, имеем

для первого случая $U_{BE} = I_2 R$;

для второго $U_{BE} = (3I_1 + I_2) R$;

откуда $3I_1 + I_2 = I_2$, следовательно, $I_1 = 0$.

Ток через AD равен I_2 в силу симметрии.

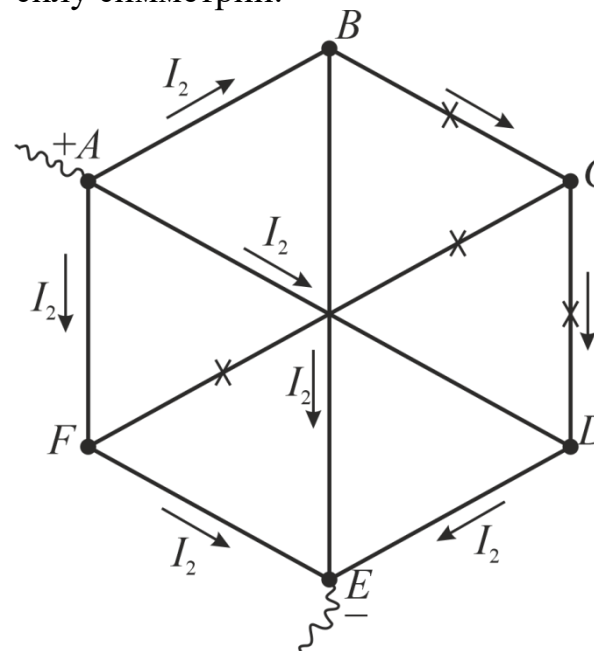


Рис. Р 4.4.

Тогда общий ток в цепи равен сумме токов выходящих из точки A и входящих в точку E , и равен

$$I_0 = 3I.$$

Напряжение между точка A и E можно определить по ветке AFE : $U_0 = 2IR$. И эквивалентное сопротивление цепи равно их отношению

$$R_0 = \frac{2}{3}R.$$

Критерии оценивания

1.	Указано, что схема симметричная и определено, что ток не идет по ветке FC	1 балл
2.	Определено, что ток не идет по веткам BC и CD	2 балла
3.	Определено, что токи по веткам AB, AF, FE, DE, AD, BE равны между собой и равны I	5 баллов
3.	Определен суммарный ток	1 балл
4.	Определено эквивалентное сопротивление цепи	1 балл
Всего		10 баллов

ЗАДАНИЕ 5.

Учащиеся 9 класса провели эксперимент. Они отмерили 7 порций воды по $m_v = 250$ г при температуре 20°C , каждую порцию воды они нагревали с помощью горючего топлива по 1 минуте, за это время каждая порция воды нагревалась в среднем до 30°C . Масса m_t топлива после каждого проведенного эксперимента указана в таблице. Экспериментальная установка, сконструирована так, что вся энергия от сгорания топлива идет на нагревание воды. Удельная теплоемкость воды $4,2 \frac{\text{Дж}}{\text{г}\cdot^\circ\text{C}}$.

Порция воды	0	1	2	3	4	5	6	7
m_t , г	212,00	211,66	211,40	211,08	210,74	210,42	210,12	209,80

Задания.

1. Постройте график зависимости количества теплоты Q выделяющегося при сгорании топлива от массы m сгоревшего топлива (миллиметровая бумага для графика – Приложение 1 сдается вместе с работой).
2. Определите угловой коэффициент наклона графика. Какая это физическая величина?
3. Определите за какое время сгорит 3 г топлива.

Решение.

1.1. Для построения графика зависимости $Q(m)$, необходимо рассчитать количество теплоты и массу сгоревшего топлива. $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}$, $Q_{\text{пол}} = cm_{\text{в}}\Delta t$, $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$.

$$Q_1 = cm_{\text{в}}\Delta t = 4,2 \frac{\text{Дж}}{\text{г} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 250,0\text{г} \cdot 10^{\circ}\text{C} = 10,5 \cdot 10^3 \text{Дж}.$$

Учитывая, что каждая порция воды нагрелась за одинаковое время до одинаковой температуры, получаем, что при нагревании двух порций воды получено $2Q_1$, трех – $3Q_1$ и т.д.

Порция воды	0	1	2	3	4	5	6	7
$m, \text{г}$	0	0,34	0,60	0,92	1,26	1,58	1,88	2,20
$Q, \text{Дж} \times 10^3$	0	10,5	21,0	31,5	42,0	52,5	63,0	73,5

1.2. Рисунок Р5.

2. Из графика определяем угловой коэффициент k наклона прямой, значению $33,5 \cdot 10^3 \text{Дж}$ соответствует значение массы 1,00 г, таким образом получаем $k = 33,5 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{г}} = 3,35 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = q$ – это удельная теплота сгорания топлива.

3. При сгорании 3г топлива выделится 100500Дж тепла, на нагрев одной порции воды затрачивается 10500Дж, откуда получаем количество порций воды или количество минут $1 \text{мин} \cdot \frac{100500 \text{Дж}}{10500 \text{Дж}} = 9,6 \text{ мин}.$

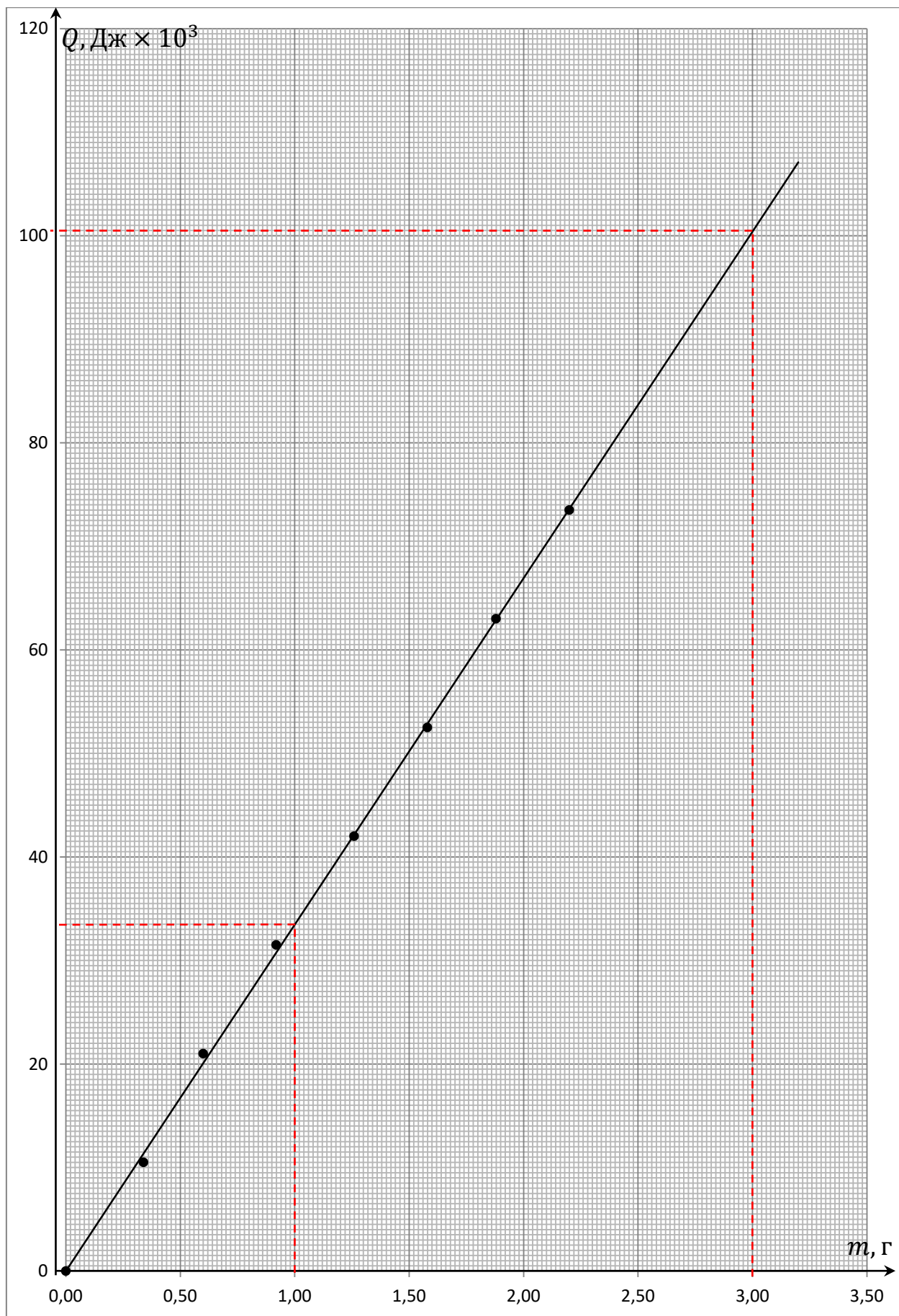


Рис. Р5.

Критерии оценивания

1.1.	Рассчитана масса сгораемого топлива (1 балл) и количество теплоты выделяющееся при сгорании (1 балл)	2 балла
1.2.	Верно построен график зависимости Q от m . 1.2.1.Оси подписаны и отложены единицы измерения по осям (0,5 балла); 1.2.2. Выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла); 1.2.3. Нанесены шкалы на оси (0,5 балла); 1.2.4. Соответствие точек, нанесённых на график, табличным значениям (0,5 балла); 1.2.5. Проведена прямая $Q(m)$ (1 балл).	3 балла
2.	Из графика определен угловой коэффициент наклона графика (1балл) и указано, что это удельная теплота сгорания топлива (1 балл)	3 балла
3.	Определено за какое время сгорит 3 г топлива	2 балла
Всего		10 баллов