

**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике.
2025/26 учебный год. 10 класс. Максимальный балл – 50.**

Задача №1

Экспериментатор Юрий любит пить чай. Однажды, когда он ждал, пока чай остынет, он вспомнил, что на чай можно дуть, и тогда он будет остывать быстрее.

Во всех пунктах удельная теплоемкость воды $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ и удельная теплота испарения воды $\lambda = 2300 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Температура воздуха в комнате постоянна и равна $T_0 = 20^\circ\text{C}$.

Примечание. Мощность теплообмена чая с окружающей средой прямо пропорциональна разности температур: $P_{\text{теплообмена}} = k(T_{\text{чая}} - T_0)$.

Вопрос 1

Юрий налил в кружку $m = 300$ г чая и измерил, что остывание чая с температуры $T_1 = 90,5^\circ\text{C}$ до температуры $T_2 = 89,5^\circ\text{C}$ заняло время $t = 0,5$ с. При этом чай не испарялся. Приблизительно посчитайте коэффициент теплообмена k . В данном пункте Юрий на чай не дул.

Вопрос 2

Теперь Юрий вспомнил, что на чай можно дуть. Он дул достаточно долгое время, смог остудить чай до температуры $T_3 = 15^\circ\text{C}$, после чего температура чая перестала изменяться. Найдите, какая масса чая в секунду μ испаряется в результате действий Юрия.

Вопрос 3

Юрий вынес ту же самую кружку чая зимой на улицу. Температура воздуха на улице $T_4 = -5^\circ\text{C}$. Оцените, какое время чай будет остывать с температуры $T_4 = 21^\circ\text{C}$ до температуры $T_5 = 19^\circ\text{C}$, если Юрий будет дуть.

Возможное решение.

Вопрос №1

Так как чай успел остыть всего на 1 градус, мощность теплообмена можно считать постоянной. Тогда из уравнения теплового баланса:

$$P_{\text{теплообмена}} t = cm(T_1 - T_2)$$

$$k(T_{\text{чая}} - T_0)t = cm(T_1 - T_2)$$

$$k = \frac{cm(T_1 - T_2)}{(T_{\text{чая}} - T_0)t} = \frac{4200 \cdot 0,3(90,5 - 89,5)}{(90 - 20) 1} = 36 \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}$$

Здесь $T_{\text{чая}} = 90^\circ\text{C}$ (как среднее между T_1 и T_2)

Вопрос №2

Когда на чай дуют, то его температура опускается ниже температуры окружающего воздуха. Температура чая не меняется, значит, уравнение теплового баланса будет выглядеть так (здесь Δt – некоторый промежуток времени):

$$k(T_0 - T_3)\Delta t - \lambda\mu\Delta t = 0$$

$$\mu = \frac{k(T_0 - T_3)}{\lambda} = \frac{36(20 - 15)}{2300\,0000} = 0,000\,078 \frac{\text{кг}}{\text{с}} = 0,078 \frac{\text{г}}{\text{с}}$$

Вопрос 3

Посчитаем искомое время в предположении, что масса чая в кружке не успеет значительно поменяться за искомое время t_x . Температура чая меняется не сильно, поэтому для вычисления теплотерьер используем среднюю температуру 20°C. Уравнение теплового баланса:

$$cm(T_4 - T_5) = k(T_{\text{чая}} - T_0)t_x + \lambda\mu t_x, \text{ откуда получим}$$

$$t_x = \frac{cm(T_4 - T_5)}{k(T_{\text{чая}} - T_0) + \lambda\mu} = \frac{4200 \cdot 0,3(21 - 19)}{36(20 - (-5)) + 2300\,000 \cdot 0,000\,078} = 2,33\text{с}$$

За это время масса чая поменяется совсем незначительно, а значит, мы исходили из верного предположения.

Критерии оценивания

№	Критерий	Кол-во баллов
	Вопрос 1	
1	Сказано, что мощность теплообмена можно считать постоянной из-за небольшой разницы температур T_1 и T_2	1
2	Записано уравнение $P_{\text{теплообмена}} t = cm(T_1 - T_2)$ или ему подобное	1
3	Найден коэффициент $k = 36 \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}$	1
	Вопрос 2	
4	Записано уравнение $k(T_3 - T_0)\Delta t + \lambda\mu\Delta t = 0$ или ему подобное	1,5
5	Найдено значение $\mu = 0,078 \frac{\text{г}}{\text{с}}$	1,5
	Вопрос 3	
6	Записано уравнение $cm(T_4 - T_5) = k(T_{\text{чая}} - T_0)t_x + \lambda\mu t_x$ или ему подобное	1,5
7	Найдено время $t_x = 2,33\text{с}$	1,5
8	Проверено предположение, что масса воды в кружке не успеет значительно поменяться за время t_x	1
	Итого	10

Задача №2

“Ден-ден дайко” – японский музыкальный инструмент, состоящий из двустороннего барабана на рукоятке, к которому при помощи нитей по бокам привязаны бусины. При вращении рукоятки в разные стороны, бусины бьют по барабану и он издаёт стук. (см. рис.) Длина нитей подобрана таким образом, чтобы бусины попадали ровно по центру барабана. В задаче рассматривается ден-ден дайко с барабаном, диаметром $D = 15$ см и высотой $h = 5$ см (см. рис.).



Рис. 1

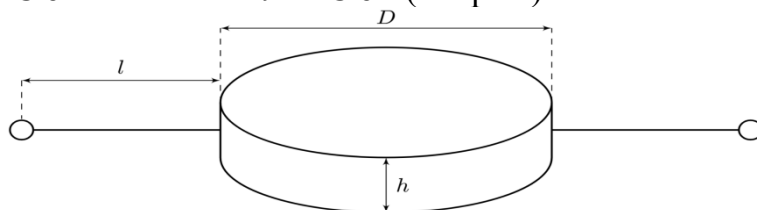


Рис. 2

Вопрос 1.

Какова длина нитей l в рассматриваемом барабане?

Рассмотрим следующую ситуацию: инструмент раскрутили до скорости $v = 5$ оборотов/секунду, а затем резко остановили.

Вопрос 2.

Какую скорость v_1 будут иметь бусины в момент перед первым ударом в барабан?

Вопрос 3.

Через какое время τ_1 после остановки вращения ден-ден дайко произойдёт первый стук барабана?

Вопрос 4.

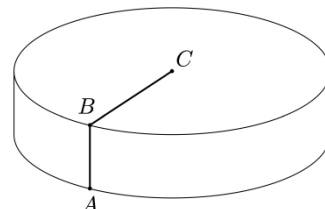
Если удар бусин о поверхность барабана не является абсолютно упругим и имеет коэффициент восстановления $k = 0,53$, то какое время τ_n пройдёт до n -го стука в барабан после остановки вращения? Найдите τ_n для $n=5$.

Примечание. Силами тяжести и сопротивления воздуха в задаче можно пренебречь. Коэффициент восстановления определяется как отношение кинетической энергии после неупругого удара к её значению до него

Возможное решение.

Вопрос 1

Участки нити до и после её изгиба о край барабана должны быть равны $AB = h/2$ и $BC = D/2$ соответственно. Тогда $l = (h + D)/2 = 10$ см.



Вопрос 2

В момент прекращения вращения инструмента скорости шариков не должны измениться, поэтому их начальная скорость равна $v_0 = 2\pi f \left(l + \frac{D}{2} \right) = 2 \cdot 3,14 \cdot 5(10+7,5)10^{-2} = 5,5$ м/с.

Для моментов времени прямо перед перегибом нити через точку A и сразу после него запишем закон сохранения импульса на ось x , направленную вдоль AC (см. рисунок):

$$mv_0 = mv_1$$

отсюда видим, что скорость движения не изменяется.

$$v_1 = v_0 = 5,5 \text{ м/с.}$$

Вопрос 3

За время τ_1 шарик должен пролететь сначала до точки изгиба, имея скорость v_0 , а потом до удара с такой же скоростью. Расстояние находим через длины дуг окружности соответствующих радиусов. Время до первого удара равно:

$$\tau_1 = \frac{\frac{\pi l}{2}}{v_0} + \frac{\frac{\pi D/2}{2}}{v_1} = \frac{1}{4f(l + \frac{D}{2})} \left(l + \frac{D}{2} \right) = \frac{1}{4f} = 0,05 \text{ с.}$$

Вопрос 4

По определению коэффициента восстановления для i -го удара о барабан:

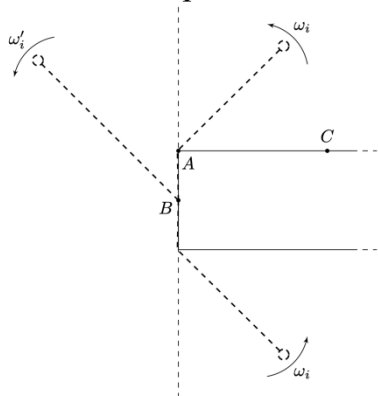
$$E_{\text{после удара}} = k E_{\text{до удара}}$$

$$\frac{1}{2} m (v_i)^2 = k \frac{1}{2} m (v_{i-1})^2.$$

$$\text{Тогда } v_i = \sqrt{k} v_{i-1} = \sqrt{k}^{i-1} v_0.$$

Аналогично из закона сохранения импульса для моментов прохождения нити через точку изгиба получаем, что до следующего удара скорости не изменяются.

Тогда между i -м и $(i+1)$ -м ударами время складывается из 3 частей: полета до разгибания, после разгибания и опять полета с укороченной нитью (см. рис.).



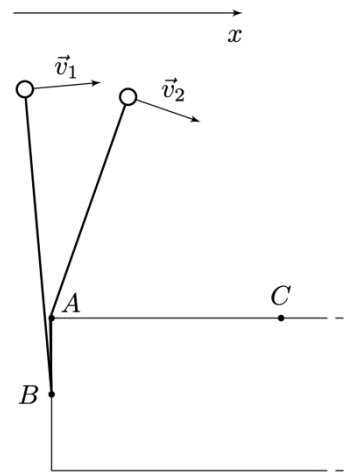
Расстояние находим через длины дуг окружности соответствующих радиусов.

$$\text{Время полета между ударами равно } \tau_i - \tau_{i-1} = \frac{\pi l}{v_i} + \frac{\pi D}{v_i 2} = \frac{\pi}{v_i} \left(l + \frac{D}{2} \right) = 1/(2f\sqrt{k}^{i-1}).$$

Тогда искомое время до n -го удара бусинок о барабан будет равно

$$\tau_n = \tau_1 + \sum_{i=2}^n (\tau_i - \tau_{i-1}) = \sum_{i=1}^n 1/(2f\sqrt{k}^{i-1}) - \frac{1}{4f} = \frac{1}{2f} \left(\frac{1 - k^{-\frac{n}{2}}}{1 - k^{-\frac{1}{2}}} \right) - \frac{1}{4f}$$

$$\text{Для } n=5 \text{ получаем: } \tau_5 \approx \frac{1}{10} \left(\frac{3,89}{0,37} \right) - \frac{1}{20} \approx 1,0 \text{ с.}$$



Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
	Вопрос 1	
1	Получен ответ (формула + число): $l = (h + D)/2 = 10$ см	1
	Вопрос 2	
2	Определено значение скорости бусинок в начальный момент $v_0 = 2\pi f(l + D/2) = 2\pi f(D + h/2)$	1
	Вопрос 3	
3	Записан ЗСИ (или другое уравнение, связывающее скорости до и после изгиба нити)	1
4	Правильное выражение для времени движения до загиба нити	1
5	Правильное выражение для времени движения после загиба нити	1
6	Получен ответ: $\tau_1 = \frac{1}{4f} \approx 0,05$ с	1
	Вопрос 4	
7	Получена связь скоростей до и после удара: $v_i = \sqrt{k}v_{i-1}$.	1
8	Получено время между $(i - 1)$ -м и i -ым ударами бусинок в барабан: $\tau_i - \tau_{i-1} = 1/(2f\sqrt{k}^{i-1})$	1
9	Получен ответ $\tau_n = \frac{1}{2f} \left(\frac{1-k^{-\frac{n}{2}}}{1-k^{-\frac{1}{2}}} \right) - \frac{1}{4f}$ (форма записи может быть различной)	1
10	Получен ответ $\tau_5 \approx 1,0$ с. Возможно получение балла при последовательном численном нахождении скоростей.	1
	Итого	10

Задача №3

При рассмотрении шприца с прозрачной жидкостью можно наблюдать интересное явление – предметы увеличиваются в размерах (см. рис.). Шприц является цилиндром, объем носика и толщину стенок можно не учитывать. Фотографирование производилось с большого расстояния.



Вопрос №1

Шкала шприца
проградуированаа в мл.
Определите радиус шприца.

Вопрос №2

Определите увеличение, даваемое жидкостью. Укажите, как вы это сделали.

Вопрос №3

Приведите аккуратный чертеж, показывающий, как получается изображение в ситуации, показанной на рисунке.

Вопрос №4

Найдите показатель преломления неизвестной жидкости, налитой в шприц.

Примечание: все вычисления можно проводить в приближении малых углов: $\sin(a) = \operatorname{tg}(a) = a$, где угол измеряется в радианах.

Возможное решение.

Вопрос №1

Измерим размеры на картинке линейкой. Диаметр шприца $D = 3,0$ см, высота цилиндра (можно проверить разные деления) $h = 7,5$ см – для объема $V = 15$ мл.

Объем цилиндра на фото $V_1 = h\pi D^2/4 = 53,0$ см³

Получаем, что фотография больше оригинала в $X = \sqrt[3]{53,0/15,0} = 1,52$ раза.

Следовательно радиус шприца $R = 0,99$ см.

Вопрос №2

Измерим линейкой длину деления без увеличения и с увеличением:

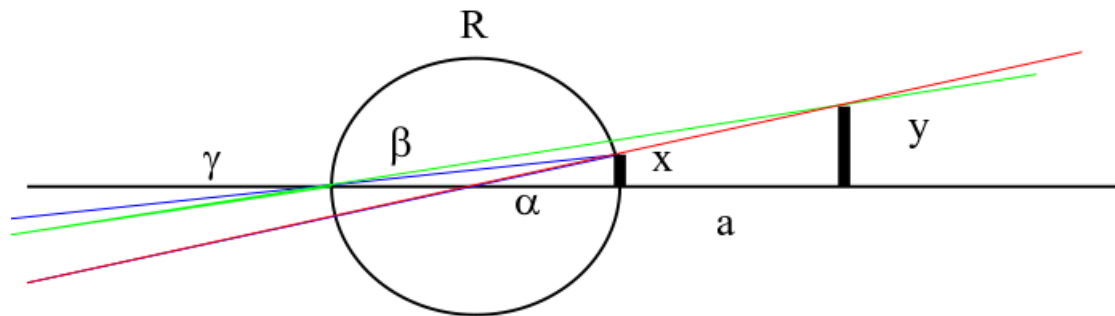
Малый штрих: 5 мм – 11 мм

Большой штрих 10 мм - 23 мм

Получаем, что увеличение водяной линзы 2,2 – 2,3 раза

С учетом погрешности, увеличение можно считать равным: $\Gamma = 2,0...2,3$.

Вопрос №3



Предмет - x

Изображение- y

Красный луч проходит через центр – не преломляется, его угол с оптической осью – α .

Синий луч – падающий, его угол с оптической осью – β .

Зеленый луч – преломленный, его угол с оптической осью – γ .

Расстояние от предмета до изображения – a .

Вопрос №4

С учетом малости углов запишем:

Закон преломления: $n\beta = \gamma$.

Увеличение: $\Gamma = y/x$.

Геометрические соотношения:

$$x/R = \alpha,$$

$$y/(R+a) = \alpha,$$

$$x/(2R) = \beta,$$

$$y/(2R+a) = \gamma.$$

Решаем систему:

$$n = 2\Gamma/(\Gamma+1) = 1,33...1,39.$$

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
	Вопрос 1	
1	Измерен диаметр шприца на фото	0,5
2	Измерена высота на фото	0,5
3	Найден масштабный коэффициент	1
4	Найден радиус шприца $R = 9,7...10,1$ мм	1
	Вопрос 2	
5	Приведены результаты измерения длины штрихов (обычный и увеличенный)	0,5
6	Приведены результаты повторного измерения	0,5
7	Увеличение водяной линзы $\Gamma = 2,0 - 2,3$ раза	1
	Вопрос 3	
8	Приведен чертеж, включающий - водяную линзу, предмет (0,5 балла) - два луча, выходящие из одной точки предмета (0,5 балла) - продолжение этих лучей после преломления (0,5 балла) - место получения изображения (0,5 балла)	2
	Вопрос 4	
9	Выведена формула для показателя преломления через увеличение	2
10	Получен показатель преломления $n = 1,33...1,39$	1
	Итого	10

Примечание: размеры на фото могут отличаться от указанных в решении, из-за масштабирования при печати.

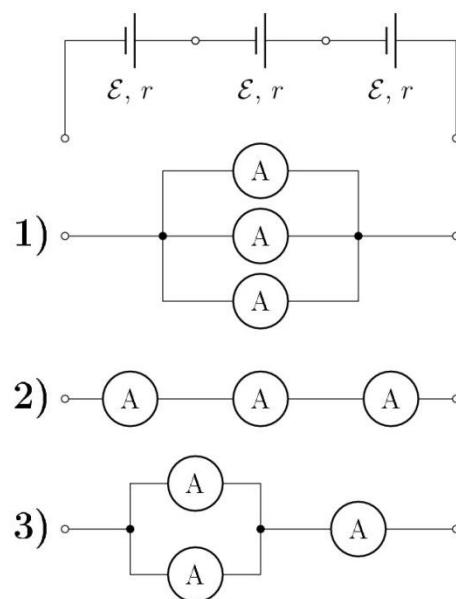
Задача №4

Три одинаковых неидеальных амперметра сопротивлением R каждый могут быть соединены различными способами, как показано на рисунке справа. Молодой экспериментатор собрал источник питания, состоящий из трёх последовательно расположенных батареек. Затем он поочерёдно подключал собранные из амперметров участки цепи к источнику и находит силу тока, протекающего через источник.

№ эксперимента	1	2	3
I , мА	22	18	33

При обработке результатов оказалось, что номера экспериментов были перепутаны, более того, в одном из них полярности батареек внутри источника не совпадали. Тем не менее, экспериментатору удалось вычислить ошибку и исправить её. Вам предлагается повторить его успех.

Батарейки внутри источника имеют ЭДС $\mathcal{E}$ и внутреннее сопротивление r .



Вопрос 1

Идеальный вольтметр, подключённый к отдельно взятой батарееке, показывает напряжение $U = 1,65$ В. Определите ЭДС батарееки $\mathcal{E}$.

Вопрос 2

Укажите ошибочное значение тока, соответствующее проблемному эксперименту. Исправьте его, запишите истинное значение, которое было бы получено при правильной сборке источника.

Вопрос 3

Найдите сопротивления R и r .

Возможное решение.

Вопрос 1

Идеальный вольтметр имеет бесконечно большое сопротивление, поэтому при подключении к батарееке он в точности покажет её ЭДС:

$$\mathcal{E} = U = 1,65 \text{ В}$$

Вопрос 2

Запишем закон Ома для замкнутой цепи, состоящей из источника питания и подключённой к нему нагрузки в виде комбинации амперметров эквивалентным сопротивлением $R_{\text{н}}$:

$$3\mathcal{E} = I(3r + R_{\text{н}})$$

Равенство приводится к следующему виду:

$$I^{-1} = \frac{3r + R_{\text{н}}}{3\mathcal{E}}$$

Таким образом, получилась линейная зависимость $I^{-1}(R_{\text{н}})$. Из законов последовательного и параллельного соединений сопротивлений выразим $R_{\text{н}}$ через R для каждой схемы (обозначим их R_1 , R_2 и R_3 в соответствии с номером схемы на рис.)

$$R_1 = \frac{R}{3}, \quad R_2 = 3R, \quad R_3 = \frac{3R}{2}$$

Как известно, в одном из экспериментов полярности батареек внутри источника не совпали. При любом из возможных раскладов это приводит к уменьшению ЭДС источника до $\mathcal{E}$, все остальные характеристики цепи остаются неизменными. Ошибочное значение тока достаточно умножить на 3, чтобы получить истинное значение, соответствующее правильно поставленному эксперименту.

Переберём всевозможные варианты ошибки, выполнение линейной зависимости $I^{-1}(R_n)$ будет указывать на успех в корректировке результатов.

Вариант 1. Ошибочное значение $I = 22$ мА. Истинное значение 66 мА.

№ эксперимента	1	2	3
I , мА	66	18	33

Из тройки сопротивлений R_1 , R_2 и R_3 наименьшее (R_1) соответствует максимальному току ($I_{max} = 66$ мА), наибольшее (R_2) – минимальному току ($I_{min} = 33$ мА), по остаточному принципу R_3 соответствует току $I_{avg} = 54$ мА.

Проверим выполнение линейной зависимости:

$$\frac{16}{7} = \frac{R_2 - R_1}{R_3 - R_1} \neq \frac{I_{min}^{-1} - I_{max}^{-1}}{I_{avg}^{-1} - I_{max}^{-1}} = \frac{8}{3}$$

Предположение не подтвердилось.

Вариант 2. Ошибочное значение $I = 18$ мА. Истинное значение 54 мА.

№ эксперимента	1	2	3
I , мА	22	54	33

Проверим выполнение линейной зависимости:

$$\frac{16}{7} = \frac{R_2 - R_1}{R_3 - R_1} = \frac{I_{min}^{-1} - I_{max}^{-1}}{I_{avg}^{-1} - I_{max}^{-1}} = \frac{16}{7}$$

Предположение подтвердилось. Проверим также третий вариант.

Вариант 3. Ошибочное значение $I = 33$ мА. Истинное значение 99 мА.

№ эксперимента	1	2	3
I , мА	22	18	99

Проверим выполнение линейной зависимости:

$$\frac{16}{7} = \frac{R_2 - R_1}{R_3 - R_1} \neq \frac{I_{min}^{-1} - I_{max}^{-1}}{I_{avg}^{-1} - I_{max}^{-1}} = \frac{9}{7}$$

Предположение не подтвердилось.

Итак, ошибочное значение тока $I = 18$ мА. Таблица истинных значений:

№ эксперимента	1	2	3
I , мА	22	54	33

Вопрос 3

Отметим, что среди истинных значений $I_{min} = 22$ мА, $I_{max} = 54$ мА.

Составим систему уравнений из законов Ома:

$$\begin{cases} 3\varepsilon = I_{\min}(3r + 3R) \\ 3\varepsilon = I_{\max}\left(3r + \frac{R}{3}\right) \end{cases}$$

Решив её, получим:

$$\begin{cases} r = 25 \text{ Ом} \\ R = 50 \text{ Ом} \end{cases}$$

Критерии оценивания

№	Критерий	Кол-во баллов
	Вопрос 1	
1	Ответ $\varepsilon = U = 1,65 \text{ В}$	1
	Вопрос 2	
2	Верно записан закон Ома для замкнутой цепи	1
3	Указано, что изменение полярности любой батарейки приводит к уменьшению ЭДС источника до ε	1
4	Сформулирована идея перебора вариантов	0,5
5	Количество перебираемых вариантов не больше 3	1
6	Найдено ошибочное значение тока $I = 18 \text{ мА}$, истинное – 54 мА	1
7	Для остальных значений тока показано, что они не могут являться ошибочными	1,5
	Вопрос 3	
8	Верно составлена система уравнений для нахождения r и R .	1
9	Ответ $r = 25 \text{ Ом}$	1
10	Ответ $R = 50 \text{ Ом}$	1
	Итого	10

Задача №5

В боковой стенке непрозрачного ящика проделана узкая щель (Рис.1). Из этой щели выглядывает металлический стержень, который можно свободно выдвигать из ящика, но вынуть полностью нельзя. На свободный конец этого стержня экспериментатор подвешивал грузик массой m и двигая стержень добивался того, что стержень с грузом оказывались в равновесии на нижней поверхности щели. При этом экспериментатор измерял расстояния X от конца стержня до точки подвеса груза и Y – расстояние от точки подвеса груза до щели (Рис. 2). Измерения производились при помощи линейки с миллиметровыми делениями. В результате эксперимента была получена таблица с данными.

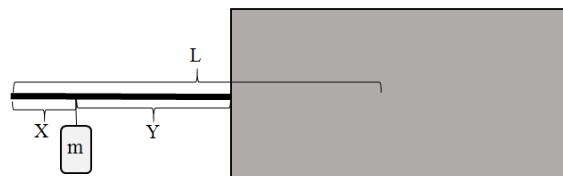
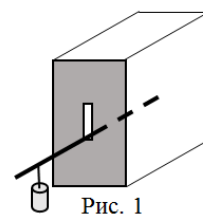


Рис. 2

№	X, мм	Y, мм
1	2	50
2	18	45
3	45	40
4	58	34
5	88	29
6	95	25
7	122	20
8	138	15

Вопрос 1

Используя данные таблицы, постройте график зависимости $Y(X)$.

Вопрос 2

По этому графику определите, чему равно отношение массы груза к массе стержня $\frac{m}{M}$

Вопрос 3

По графику определите, на каком расстоянии L от наружного конца стержня находится центр тяжести стержня.

Возможное решение

Вопрос 1

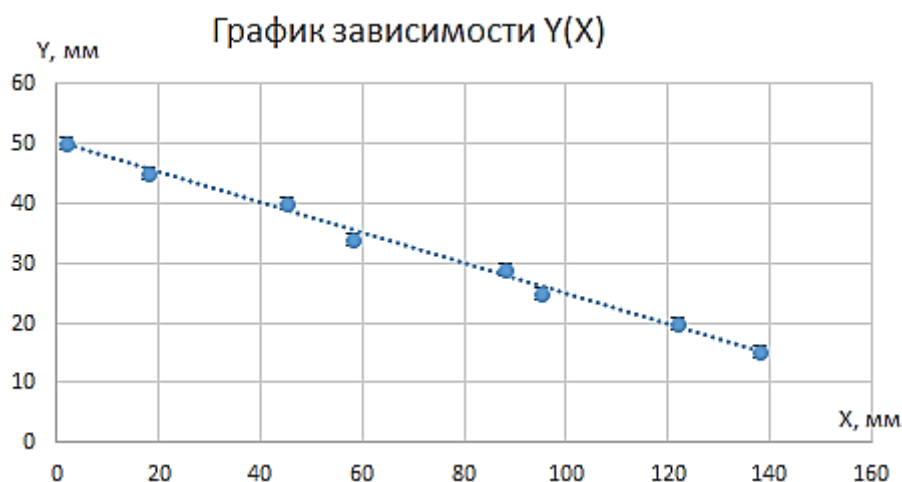
Запишем правило моментов для стержня с грузом относительно точки, на которой уравновешена система.

$$mgX - Mg(L - X - Y) = 0$$

Из этого уравнения можно вывести зависимость X от Y .

$$Y = \frac{M}{m + M}L - \frac{M}{m + M}X$$

Получилась линейная функция. Значит, график зависимости Y от X должен быть прямой линией. Наносим экспериментальные точки на координатную плоскость и с учётом погрешности проводим прямую линию до пересечения с осями координат.



Вопрос 2

Полученное уравнение имеет вид $Y = \alpha - \beta X$

Где $\alpha = \frac{M}{m+M} L = \frac{1}{\frac{m}{M}+1} L$ и равна координате точки пересечения графика с осью

Y .

Угловый коэффициент наклона графика равен $\beta = \frac{M}{m+M} = \frac{1}{\frac{m}{M}+1}$.

Таким образом, для нахождения отношения масс нужно сначала определить угловой коэффициент наклона графика. Если считать по усреднённой линии он получается равен $\beta = 0,25$

$$\text{Тогда } \frac{m}{M} = \frac{1}{\beta} - 1 = \frac{1}{0,25} - 1 = 3$$

Вопрос 3

Зная теперь соотношение масс, и определив по графику, что $\alpha = 50$ мм, можно вычислить расстояние до центра масс стержня $L = \alpha \left(\frac{m}{M} + 1 \right) = 50(3 + 1) = 200$ мм

Критерии оценивания.

№	Критерий	Кол-во баллов
	Вопрос 1	
1	Построен график по экспериментальным точкам. Из них: Подписаны оси с единицами измерения – 0,5 Выбран разумный масштаб – 0,5 Верно нанесены экспериментальные точки – 0,5 Проведена усредняющая прямая – 0,5	2
	Вопрос 2	
2	Запись правила моментов для груза и стержня	1
3	Получение уравнения зависимости Y от X	1
4	Формула связи углового коэффициента наклона графика с отношением масс	1
5	Правильное значение углового коэффициента (от 0,22 до 0,27)	1
6	Правильное значение отношения масс (от 2,7 до 3,3)	1
	Вопрос 3	

7	Формула связи первого слагаемого α с расстоянием до центра масс стержня	1
8	Значение слагаемого α (от 49 до 51)	1
9	Правильное значение расстояния до центра масс стержня (от 180 мм до 220 мм)	1
	Итого	10

*В случае нахождения отношения масс и расстояния до центра масс стержня через решение системы уравнения за пункты с 4 по 9 ставится только половина от максимального количества баллов в случае получения правильных ответов.