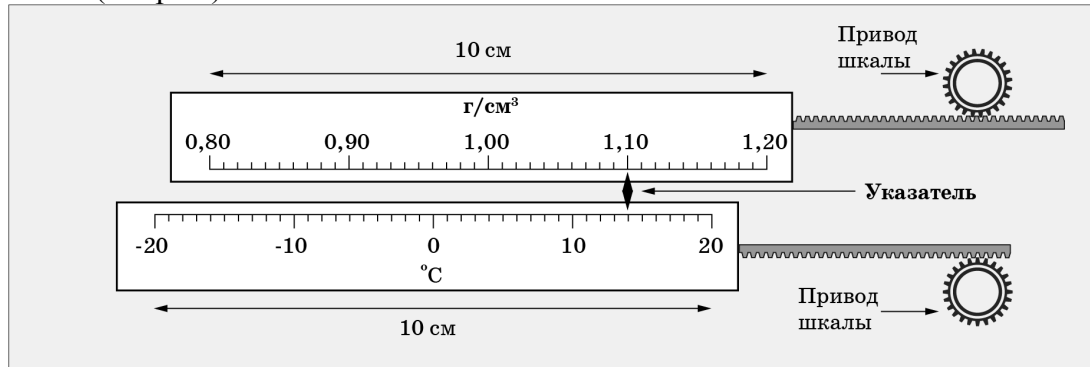


7 класс

Задача 1. Термоареометр. Однажды экспериментатору Глюку понадобилось одновременно измерять температуру и плотность исследуемой жидкости. Он разработал универсальный прибор, в котором указатель неподвижен, а шкалы перемещаются независимо (см. рис.).



Глюк снял показания, которые занёс в таблицу.

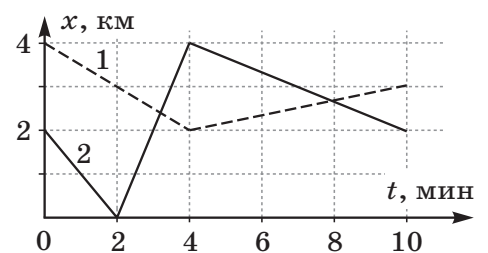
Температура, T , °C	20	18	16	12	8	7	6	4
Плотность, ρ , г/см ³	1,01	1,02	1,03	1,05	1,08	1,11	1,14	1,20

Известно, что температура жидкости изменялась на одинаковую величину за равные промежутки времени. Длины шкал $L = 10$ см, а весь эксперимент длился $\Delta\tau = 5$ минут.

Постройте график полученной зависимости $\rho(T)$ и определите, с какой максимальной скоростью перемещались шкалы друг относительно друга в ходе эксперимента.

Задача 2. Каникулы в Простоквашино (1). От станции Простоквашино до дома, в котором живёт кот Матроскин, расстояние $s = 1,2$ км. Дядя Фёдор с Шариком приехал на станцию Простоквашино и пошёл домой со скоростью $v_\phi = 4$ км/ч, а Шарик побежал со скоростью $v_{\text{Ш}} = 12$ км/ч. Добежав до дома Шарик повернул обратно, навстречу дяде Фёдору, и так бегал вперед и назад между дядей Фёдором и домом вплоть до момента прибытия мальчика домой. Какой путь больше: суммарный путь S_1 , который Шарик пробежал, перемещаясь в сторону дома, или S_2 , который он пробежал, перемещаясь в обратном направлении. На сколько один путь длиннее другого? Определите S_1 и S_2 .

Задача 3. Усреднение. На рисунке приведены графики зависимости от времени координат двух машин, ехавших по одной прямой дороге. Определите среднюю путевую скорость v_{10} второй машины за 10 минут движения с точки зрения наблюдателя, находящегося в первой. В какие моменты времени движения, кроме конечного, средняя скорость второй машины относительно первой также была равна v_{10} ? Какого максимального значения достигала средняя путевая скорость второй машины в процессе движения.



Задача 4. Кубический коктейль. Если в стакан, доверху заполненный жидкостью с плотностью $\rho = 1,2$ г/см³, погрузить кубик, то средняя плотность содержимого станет равна $\rho_1 = 1,4$ г/см³, если вместо этого кубика поместить другой кубик такого же объема, то средняя плотность содержимого станет равна $\rho_2 = 1,6$ г/см³. Какой окажется средняя плотность ρ_3 содержимого, если в стакан поместить сразу оба кубика? Внутренний объем стакана в 5 раз больше объема кубика.

22 января на портале <http://abitunet/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени):

7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Чтобы при разборе задач вы могли задать вопросы, необходима регистрация на портале.

7 класс

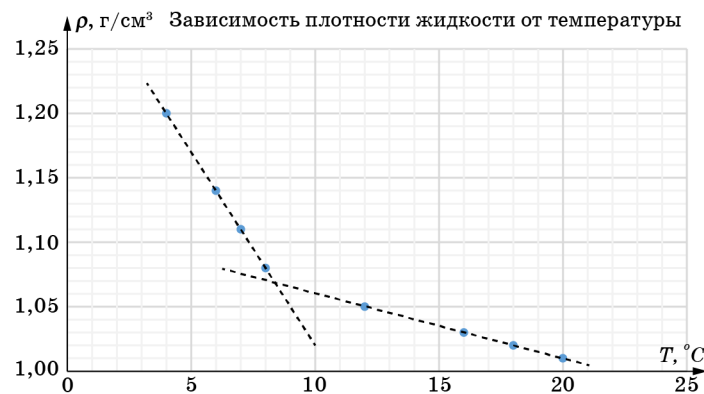
Возможное решение

Задача 1. Термоариометр. Длина шкалы температур $L = 10$ см. Её пределы измерения от -20°C до $+20^\circ\text{C}$. В ходе эксперимента показания шкалы температур изменялись от $+20^\circ\text{C}$ до $+4^\circ\text{C}$. Значит, шкала сместилась на $\Delta x_T = \frac{20^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}}{20^\circ\text{C} - (-20^\circ\text{C})} 10 \text{ см} = 4,0 \text{ см}$.

По условию она смещалась равномерно в течение $\Delta \tau = 5$ мин, значит скорость её движения относительно указателя $v_T = \frac{\Delta x_T}{\Delta \tau} = \frac{4 \text{ см}}{5 \text{ мин}} = 0,8 \frac{\text{см}}{\text{мин}}$.

1) Скорость остывания $\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = 3,2 \frac{^\circ\text{C}}{\text{мин}}$.

2) Построим график $\rho(T)$:



Из него видно, что изменение плотности линейно зависит от температуры (и значит от времени, так как температура изменяется равномерно) на двух участках. На первом участке

модуль скорости изменения равен $\left| \frac{\Delta \rho}{\Delta \tau} \right| = \left| \frac{\Delta \rho}{\Delta T} \frac{\Delta T}{\Delta \tau} \right| = \frac{1,20 - 1,08}{8 - 4} 3,2 = 0,096 \frac{\text{г/см}^3}{\text{мин}}$, а на втором

$\left| \frac{\Delta \rho}{\Delta \tau} \right| = \left| \frac{\Delta \rho}{\Delta T} \frac{\Delta T}{\Delta \tau} \right| = \frac{1,05 - 1,01}{20 - 12} 3,2 = 0,016 \frac{\text{г/см}^3}{\text{мин}}$. Это меньше чем на первом участке.

Длина шкалы плотностей $L = 10$ см. Её пределы измерения от $0,8 \text{ г/см}^3$ до от $1,2 \text{ г/см}^3$. Значит, максимальная по модулю скорость смещения шкалы плотностей относительно указателя будет на первом участке:

$$v_\rho = \frac{\Delta x_\rho}{\Delta \tau} = \frac{|\Delta \rho| \frac{10 \text{ см}}{(1,2 - 0,8) \text{ г/см}^3}}{\Delta \tau} = \frac{|\Delta \rho|}{\Delta \tau} 25 \frac{\text{см}}{\text{мин}} = 2,4 \frac{\text{см}}{\text{мин}}$$

Так как шкалы двигаются в противоположные стороны, то их относительная скорость

$$v = v_\rho + v_T = 3,2 \frac{\text{см}}{\text{мин}}$$

22 января на портале <http://abitunet/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени):

7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Чтобы при разборе задач вы могли задать вопросы, необходима регистрация на портале.

Критерии оценивания

1	График а) Не подписаны оси (величины и ед. измерения): - 1 балл б) Неудачный масштаб (график занимает по одной из осей менее половины): - 1 балл в) Нанесены не все точки (или есть ошибки в их положении): - 1 балл	4 балла
2	Правильно определена скорость v_T движения шкалы T	1
3	Правильно определена скорость остывания	1
4	Указано, что на двух участках скорость изменения плотности равномерна (так как равномерно изменяется температура)	1
5	Правильно найдена максимальная скорость изменения плотности	1
6	Правильно определена скорость движения шкалы ρ	1
7	Правильно определена относительная скорость движения шкал	1

Задача 2. Каникулы в Простоквашино (1).

$S_{\downarrow} \equiv S_1 = s_1 + s_3 + s_5 + s_7 + \dots$ (1), $S_{\uparrow} \equiv S_2 = s_2 + s_4 + s_6 + \dots$ (2) – см. рис.2. $s_1 = s$ (путь, который преодолел Шарик от станции до дома, $s_2 = s_3, s_4 = s_5, s_6 = s_7, \dots$ (Шарик пробежал от дома до Дяди Фёдора, а потом пробежал обратно до дома; причем так много-много раз).

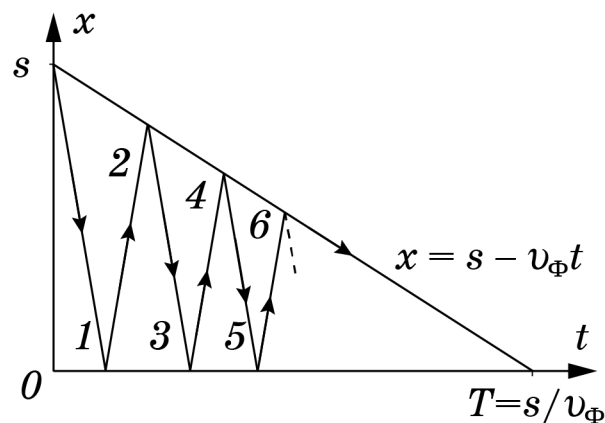


Рис. 2

В итоге, в сумме (1) первое слагаемое равно s (расстоянию от станции до дома), а сумма остальных слагаемых в точности равна сумме всех слагаемых в (2), т.е. $S_1 - S_2 = s$, или

$$v_{Ш} T_1 - v_{Ш} T_2 = s, \text{ или еще иначе } T_1 - T_2 = \frac{s}{v_{Ш}}. \quad (1)$$

$$\text{Сумма времен } T_1 \text{ и } T_2 \text{ дает общее время движения дяди Фёдора: } T_1 + T_2 = \frac{s}{v_{Ф}}, \quad (2)$$

которое, разумеется, совпадает с полным временем движения Шарика.

Решая систему уравнений (1-2), находим:

$$T_1 = \frac{v_{Ш} + v_{Ф}}{v_{Ш} v_{Ф}} \frac{s}{2} = 0,2 \text{ часа}, \quad T_2 = \frac{v_{Ш} - v_{Ф}}{v_{Ш} v_{Ф}} \frac{s}{2} = 0,1 \text{ часа}.$$

$$S_1 = s \frac{v_{Ш} + v_{Ф}}{2v_{Ф}} = 2,4 \text{ км}, \quad S_2 = s \frac{v_{Ш} - v_{Ф}}{2v_{Ф}} = 1,2 \text{ км}.$$

22 января на портале <http://abitunet/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени):

7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Чтобы при разборе задач вы могли задать вопросы, необходима регистрация на портале.

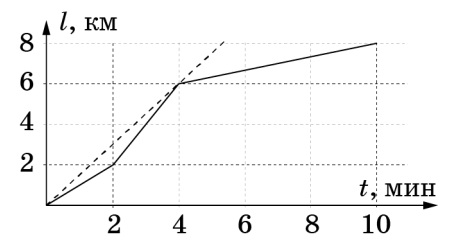
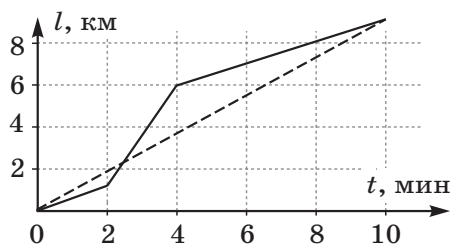
Критерии оценивания

1	Указано, что $S_1 - S_2 = s = 1,2$ км.	2 балла
2	Указано, что $T_1 + T_2 = s/v_{\text{ф}}$	2 балла
3	Найдено время T_1 (не обязательно в числах)	2 балла
4	Найдено время T_2 (не обязательно в числах)	2 балла
5	Найден путь S_1	1 балл
6	Найден путь S_2	1 балл

Задача 3. Усреднение. Построим график зависимости пути от времени для второй машины относительно первой. За $t_0 = 10$ минут она проехала относительно первой путь $l_0 = 9$ км, следовательно, ее средняя скорость $v_0 = 0,9$ км/мин.

Пунктирная линия на графике соответствует движению со средней скоростью 0,9 км/мин. Видно, что график зависимости пути от времени пересекается пунктирной линией один раз, через $t_x \approx 2,5$ мин после старта.

Построим для второй машины график зависимости пути от времени (движение относительно дороги). Максимальная средняя скорость $v_{\text{max}} = 1,5$ км/мин была через 4 мин после старта (на рисунке ей соответствует пунктирная линия).



Примечание. Если ученик находил среднюю путевую скорость второй машины относительно первой, то такое решение тоже считать верным.

Критерии оценивания

1	Построен график пути от времени для второй машины относительно первой или аналитически найден путь $l_0 = 9$ км	3 балла
2	Найдена относительная путевая скорость за 10 мин движения	2 балла
3	Найден момент времени, когда средняя скорость второй машины относительно первой была равна v_{10}	2 балла
4	Построен график пути от времени для второй машины или аналитически показано, что максимальное значение скорости будет достигнуто через 4 минуты на пути $l_2 = 6$ км	2 балла
5	Найдено максимальное значение путевой скорости	1 балл

Задача 4. Кубический коктейль. Запишем выражения для средних плотностей содержимого:

$$\begin{aligned} \rho_1 &= ((V_0 - V)\rho + V\rho_{01})/V_0 = (4\rho + \rho_{01})/5; \\ \rho_2 &= ((V_0 - V)\rho + V\rho_{02})/V_0 = (4\rho + \rho_{02})/5; \\ \rho_3 &= ((V_0 - 2V)\rho + V\rho_{01} + V\rho_{02})/V_0 = (3\rho + \rho_{01} + \rho_{02})/5. \end{aligned}$$

22 января на портале <http://abitunet/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени):

7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Чтобы при разборе задач вы могли задать вопросы, необходима регистрация на портале.

ЛШ Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Теоретический тур. 21 января 2019 г.

Здесь ρ_{01} и ρ_{02} – неизвестные плотности первого и второго кубиков, V_0 – объем стакана, V – объем кубика. Решая систему уравнений, получим:

$$\rho_3 = \rho_1 + \rho_2 - \rho = 1,8 \text{ г/см}^3.$$

Критерии оценивания

1	Записано уравнение для ρ_1	2 балла
2	Записано уравнение для ρ_2	2 балла
3	Записано уравнение для ρ_3	3 балла
4	Решена система уравнений и найдено выражение для плотности ρ_3	2 балла
5	Получен численный ответ для ρ_3	1 балл

22 января на портале <http://abitunet/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени):

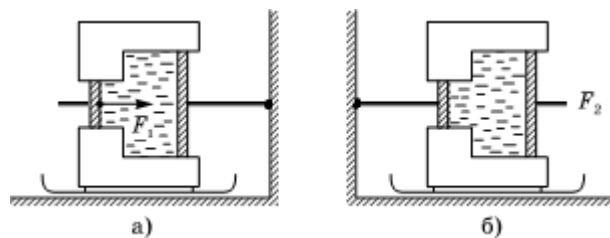
7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Чтобы при разборе задач вы могли задать вопросы, необходима регистрация на портале.

8 класс

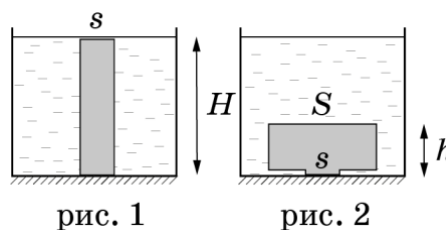
Задача 1. Каникулы в Простоквашино (2). От станции Простоквашино до дома, в котором живёт кот Матроскин, расстояние $s = 1,2$ км. Дядя Фёдор с Шариком приехал на станцию Простоквашино и пошёл домой вниз по склону со скоростью $v_\phi = 4$ км/ч, а Шарик побежал со скоростью $v_{ш,1} = 12$ км/ч. Добежав до дома Шарик повернул обратно и побежал вверх по склону навстречу дяде Фёдору со скоростью $v_{ш,2} = 8$ км/ч. Так пёс бегал вперед и назад между дядей Фёдором и домом вплоть до момента прибытия мальчика домой. Какой путь больше: суммарный путь S_1 , который Шарик пробежал, перемещаясь в сторону дома или S_2 который он пробежал, перемещаясь в обратном направлении. На сколько один путь длиннее другого? Определите S_1 и S_2 .

Задача 2. Качаем пресс. На ползьях, которые могут скользить по гладкому полу, установлен гидравлический пресс, заполненный несжимаемым маслом. Шток поршня большего диаметра прикреплен к стене (рис. а). При движении поршня между ним и стенкой прессы возникает сила трения F (одинаковая для обоих поршней). Чтобы сдвинуть пресс с места, к меньшему поршню необходимо приложить силу не меньшую, чем $F_1 = 500$ Н.

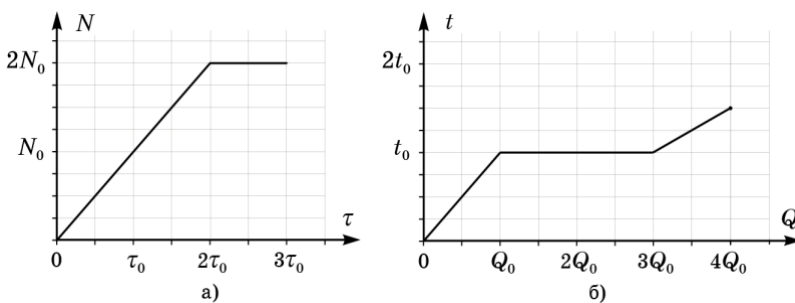


Определите величину силы трения F , если площади поршней отличаются в 4 раза. Какую минимальную горизонтальную силу F_2 необходимо приложить к поршню большего диаметра, чтобы отодвинуть пресс от стены, если установить его так, чтобы шток меньшего поршня был прикреплен к стене (рис. б)? В какую сторону в этом случае должна быть направлена сила F_2 ?

Задача 3. Пластичность. Цилиндрический столбик из пластилина высотой H и площадью основания s плотно прилепили к гладкому дну сосуда, в который налили жидкость плотностью ρ_0 до верха столбика (рис. 1). Вода под столбик пластилина не подтекает. Не изменяя площади контакта пластилина с дном и не отделяя его от дна, столбик превратили в цилиндр высоты h стоящий на очень короткой ножке (рис. 2). Определите, в какую сторону направлена и чему равна результирующая сила, действующая со стороны жидкости на деформированный пластилин. Атмосферное давление p_0 .



Задача 4. Нелинейное плавление. В калориметре со встроенным нагревателем расплавили некоторое вещество. На рисунке приведены графики зависимости мощности N нагревателя от времени τ его работы и температуры t вещества от переданного ему количества теплоты Q .



Найдите отношение теплоемкостей вещества в твердом и жидком состоянии. Определите, сколько времени длился процесс плавления τ_n , считая известным время τ_0 . Постройте график зависимости температуры вещества от времени, указав на нем величины τ и t в характерных точках.

8 класс

Возможное решение

Задача 1. Каникулы в Простоквашино (2). Пусть S_1 – путь, который Шарик пробежал, перемещаясь в сторону дома, а S_2 – путь, который он пробежал перемещаясь в обратном направлении. Тогда $S_1 - S_2 = s$, или

$$v_{Ш,1}T_1 - v_{Ш,2}T_2 = s. \quad (1)$$

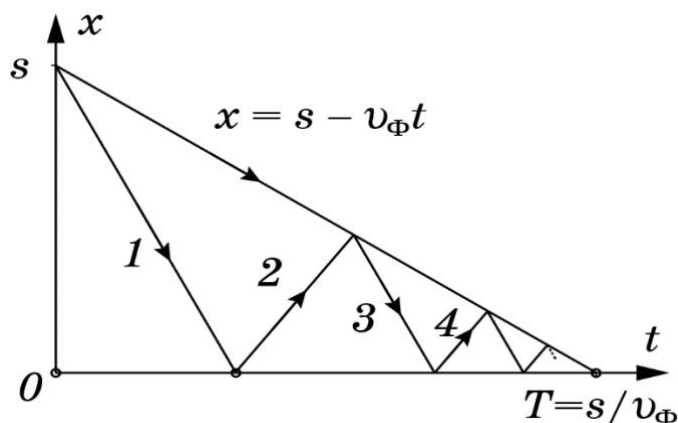


Рис. 2

Сумма времен T_1 и T_2 дает общее время движения дяди Фёдора: $T_1 + T_2 = \frac{s}{v_\phi}$, (2)

которое, разумеется, совпадает с полным временем движения Шарика.

Решая систему уравнений (1-2), находим:

$$T_1 = \frac{v_{Ш,2} + v_\phi}{v_{Ш,1} + v_{Ш,2}} \frac{s}{v_\phi} = 0,18 \text{ часа}$$

$$T_2 = \frac{v_{Ш,1} - v_\phi}{v_{Ш,1} + v_{Ш,2}} \frac{s}{v_\phi} = 0,12 \text{ часа.}$$

$$S_1 = v_{Ш,1}T_1 = s \frac{v_{Ш,1}}{v_\phi} \frac{v_{Ш,2} + v_\phi}{v_{Ш,1} + v_{Ш,2}} = 2,16 \text{ км,}$$

$$S_2 = v_{Ш,2}T_2 = s \frac{v_{Ш,2}}{v_\phi} \frac{v_{Ш,1} - v_\phi}{v_{Ш,1} + v_{Ш,2}} = 0,96 \text{ км.}$$

$$S_1 - S_2 = s = 1,2 \text{ км.}$$

Критерии оценивания

1	Указано, что $S_1 - S_2 = s = 1,2$ км.	2 балла
2	Указано, что $T_1 + T_2 = s/v_\phi$	2 балла
3	Найдено время T_1 (не обязательно в числах)	2 балла
4	Найдено время T_2 (не обязательно в числах)	2 балла
5	Найден путь S_1	1 балл
6	Найден путь S_2	1 балл

22 января на портале <http://abitu.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени):

7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Задача 2. Качаем пресс. Обозначим площадь малого поршня S , а большого $4S$. Для сохранения объема масла, при движении малого поршня к стене, пресс должен двигаться от стены. Это возможно, если

$$p_1(4S - S) = 2F, \quad (1)$$

где p_1 – это давление масла в цилиндре. Условие начала движения малого поршня

$$F_1 - p_1S = F. \quad (2)$$

Откуда $F = 3F_1/5 = 300$ Н.

Влияние атмосферного давления здесь не принципиально ($p_1 > p_0$). При желании, можно заменить в формулах давление p_1 на разность давлений $p_1 - p_0$.

Во втором случае, чтобы пресс отодвинуть от стены, большой поршень, для сохранения объема жидкости, тоже должен двигаться от стены, но медленнее, чем сам пресс. Таким образом, обе силы трения, действующие на пресс, направлены к стене и уже без учета атмосферного давления трудно объяснить движение прессы вправо. Давление p_2 масла внутри прессы меньше атмосферного! Условие равномерного движения прессы:

$$(p_0 - p_2)(4S - S) = 2F, \quad (3)$$

а условие равновесия большого поршня:

$$4S(p_0 - p_2) = F_2 + F. \quad (4)$$

Откуда $F_2 = F_1 = 500$ Н.

Критерии оценивания

1	Записано соотношение (1) или его аналог	2 балла
2	Записано соотношение (2) или его аналог	2 балла
3	Найдена сила трения F	1 балл
4	Записано соотношение (3) или его аналог	2 балла
5	Записано соотношение (4) или его аналог	1 балл
6	Найдена сила F_2	1 балл
7	Указано направление действия силы F_2	1 балл
8	За отсутствие ссылки на необходимость внешнего давления p_0 баллы не снимать	

Задача 3. Пластичность. После деформации объём пластилина не изменился, следовательно, $sH = Sh$, где S – площадь верхней грани нового цилиндра. Горизонтальные составляющие сил давления жидкости, действующие на столбик, компенсируют друг друга. На деформированный пластилин со стороны жидкости в вертикальном направлении вверх действует сила: $F = \rho_0 g (S - s)H + p_0 (S - s) - [\rho_0 g S (H - h) + p_0 S] = -p_0 s$.

(Другой вариант решения)

$F_{Арх} = \rho_0 g (S - s)h$ – сила Архимеда, действующая на «шайбу» площадью $S - s$. Сила давления жидкости на столбик сечением s равна $F_{жс} = \rho_0 g s (H - h) + p_0 s$.

Результирующая сила $F_{общ} = F_{жс} - F_{Арх} = \rho_0 g [s(H - h) - (S - s)h] + p_0 s = p_0 s$.

Следовательно, после деформации пластилина результирующая сила не изменяется.

22 января на портале <http://abitunet/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени):

7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Критерии оценивания

1	Записано условие постоянства объёма пластилина	2 балла
2	Упомянута компенсация горизонтальных составляющих сил.	1 балл
3	Правильно записана сила давления сверху Если не учтено атмосферное давление – ставить 1 балл	2 балла
4	Правильно записана сила давления снизу Если не учтено атмосферное давление – ставить 1 балл	2 балла
5	Показано, что результирующая сила равна p_0s Если не учтено атмосферное давление – ставить 1 балл	2 балла
6	Учтено атмосферное давление (или аргументирован отказ его учёта)	1 балл

Примечание: Задачу можно решить в общем виде: Искомая сила есть разница между силой Архимеда действующей на полностью окруженное водой тело и силой давления жидкости на площадку s . Поскольку, в обоих случаях пятно контакта со дном и объём пластилина не изменялись, то и результирующая сила не изменялась. Если участник рассуждал подобным образом, то он заслуживает полный балл!

Задача 4. Нелинейное плавление.

Теплоёмкость вещества $C = Q/t$. С помощью графика (рис. б) находим:

для твёрдой фазы $C_{Тв} = Q_0/t_0$;

для жидкой фазы $C_{Ж} = Q_0/(t_0/2) = 2C_{Тв}$.

Следовательно, $C_{Тв}/C_{Ж} = 1/2$.

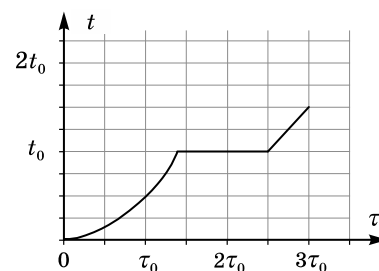
За время работы нагревателя ($3\tau_0$) выделилось $4Q_0$ теплоты.

Площадь под графиком (а) соответствует выделившемуся количеству теплоты: $4N_0\tau_0 = 4Q_0$. Таким образом $N_0\tau_0 = Q_0$.

Вещество нагреется до точки плавления за время $\sqrt{2}\tau_0$. При этом мощность нагревателя возрастет до $\sqrt{2}N_0$.

Для плавления вещества потребуется количество теплоты $2Q_0$. На это потребуется время:

$$\tau_{п} = 0,5\tau_0 + (2 - \sqrt{2})\tau_0 = (2,5 - \sqrt{2})\tau_0 \approx 1,1\tau_0.$$



Критерии оценивания

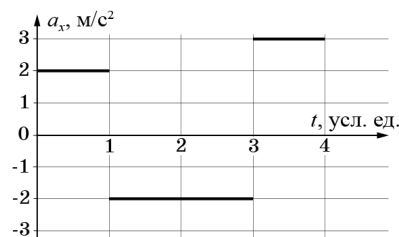
1	Найдена теплоёмкость твёрдой фазы	1 балл
2	Найдена теплоёмкость жидкой фазы	1 балл
3	Найдено отношение теплоёмкостей	1 балл
4	Установлена связь $4N_0\tau_0 = 4Q_0$	2 балла
5	Построен график и найдено время нагрева вещества до точки плавления	3 балла
6	Найдено время плавления вещества	2 балла

22 января на портале <http://abitru.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени):

7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

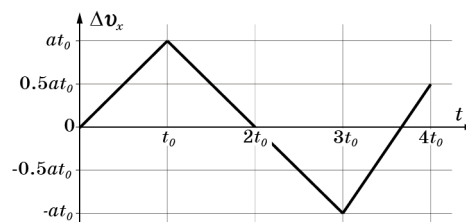
9 класс

Задача 1. До остановки. Две частицы движутся вдоль оси Ox . Зависимости их ускорения a_x от времени оказалась одинаковыми (см. рис.). За все время наблюдений проекция скорости v_x каждой из частиц ровно один раз обращалась в ноль, а пройденные ими пути отличались на $\Delta S = 16$ см. Определите пути S_1 и S_2 , пройденные частицами, и время τ их движения.



Возможное решение

Обозначим за t_0 и a время движения и ускорение на первом участке. Построим график изменения скорости от времени $\Delta v(t)$ (см. рис.). Отметим, что единственная остановка ($v = 0$) за время наблюдения будет если сместить график на $v_0 = \pm at_0$. В других случаях будет две или три остановки.



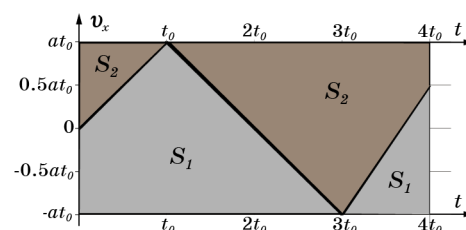
Совместим на одном графике две площади, соответствующие путям двух частиц. Вычисление площадей даст:

$$S_1 = 4,25at_0^2$$

$$S_2 = 3,75at_0^2$$

$$\Delta S = 0,5at_0^2 = 16 \text{ см}$$

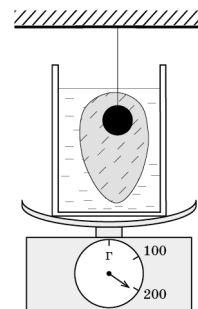
Откуда $t_0 = 0,4$ с, всё время движения $\tau = 4t_0 = 1,6$ с; $S_1 = 1,36$ м; $S_2 = 1,2$ м.



Критерии оценивания

1	Остановка происходит либо при $t_1 = t_0$, либо при $t_2 = 3t_0$ (по 1 баллу за каждый случай)	2 балла
2	Получены выражения для S_1 и S_2 через a и t_0 (или τ) (по 2 балла за каждый путь)	4 балла
3	Получено выражение для ΔS через a и t_0 (или τ)	1 балл
4	Найдено время движения τ	1 балл
5	Найдены пути S_1 и S_2	2 балла

Задача 2. «Наморозили». На весах установлен калориметр с водой при температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Весы показывают при этом $m_1 = 100$ г. В воду опускают стальной шарик, закрепленный на нити с намерзшим на нем толстым слоем льда, который полностью погружен в воду. Показания весов увеличивается до значения $m_2 = 201,3$ г. После установления теплового равновесия в калориметре (на этом этапе теплообменом с окружающей средой можно пренебречь), показания весов ещё немного возрастают до $m_3 = 204,45$ г. Через большой промежуток времени, когда содержимое калориметра нагрелось до комнатной температуры, весы показали $m_4 = 191,3$ г. Определите массу m_c стального шарика, массу m_l льда на нём перед опусканием в калориметр, их температуру t перед погружением в воду. Удельная теплоемкость стали $c_c = 450$ Дж/кг \cdot °C, удельная теплоемкость льда $c_l = 2100$ Дж/кг \cdot °C, удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,4 \cdot 10^5$ Дж/кг, плотность стали $\rho_c = 7800$ кг/м 3 , льда $\rho_l = 900$ кг/м 3 , воды $\rho_v = 1000$ кг/м 3 .



Возможное решение.

Показания весов при погружении тела на нити увеличиваются за счёт силы Архимеда действующей на это тело. Поэтому сразу после опускания шарика со льдом в воду:

$$m_2 = m_1 + \left(\frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_l}{\rho_l} \right) \rho_v \quad (1)$$

После установления теплового равновесия показания весов увеличились из-за дополнительно намёрзшего льда массой Δm_l . При этом в сосуде устанавливается температура 0°C и можно записать уравнение теплового баланса:

$$\Delta m_l \lambda + (c_c m_c + c_l m_l) t = 0 \quad (2)$$

Показания весов при этом увеличатся:

$$m_3 - m_2 = \frac{\Delta m_l}{\rho_l} \rho_v - \Delta m_l = \frac{\rho_v - \rho_l}{\rho_l} \Delta m_l \quad (3)$$

После того как весь лёд растает показания весов P_4 по сравнению с P_2 уменьшатся из-за уменьшения силы Архимеда, но увеличатся за счёт увеличения количества воды на m_l :

$$m_2 - m_4 = \frac{m_l}{\rho_l} \rho_v - m_l = \frac{\rho_v - \rho_l}{\rho_l} m_l \quad (4)$$

Из этого уравнения получаем начальную массу льда:

$$m_l = \frac{m_2 - m_4}{\rho_v - \rho_l} \rho_l = 90 \text{ г}$$

Теперь из уравнения (1) можно найти массу стального шарика:

$$m_c = \frac{\rho_c}{\rho_v} \left(m_2 - m_1 - \frac{m_l}{\rho_l} \rho_v \right) \approx 10,1 \text{ г}$$

Из (3) находим массу дополнительно намёрзшего льда:

$$\Delta m_l = (m_3 - m_2) \frac{\rho_l}{\rho_v - \rho_l} \approx 28,4 \text{ г}$$

Наконец, из (2) определим начальную температуру льда и шарика:

$$t = - \frac{\Delta m_l \lambda}{c_c m_c + c_l m_l} \approx -49,9^\circ\text{C}$$

ЛIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Теоретический тур. 21 января 2019 г.

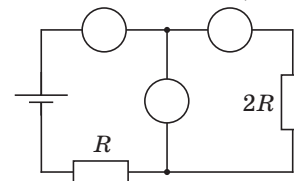
Примечание: при подстановке численных ответов в условие плавания получается, что лёд с шариком всплывает, но! На малую часть объема, что практически не влияет на численный ответ.

Критерии оценивания

1	Записано выражение для показаний весов при погружении тела на нити (1)	2 балла
2	Записано уравнение теплового баланса (2)	1 балл
3	Записано выражение для показаний весов после намерзания льда (3)	2 балла
4	Записано выражение для показаний весов после таяния льда (4)	2 балла
5	Найдена масса льда	1 балл
6	Найдена масса шарика	1 балл
7	Найдена начальная температура льда с шариком	1 балл

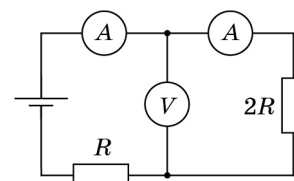
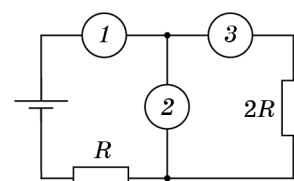
22 января на портале <http://abitunet/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Задача 3. Пропавшие приборы. Миша собрал электрическую цепь, состоящую из идеального источника, двух резисторов, двух амперметров и одного вольтметра. Но второпях он забыл расставить на схеме обозначения приборов, зато точно запомнил, что один из амперметров показывал силу тока $I = 1,0$ мА, а вольтметр – напряжение $U = 1,2$ В. Восстановите обозначения приборов. Дайте обоснование. Определите показания второго амперметра, сопротивления резисторов и напряжение источника U_0 . Все приборы можно считать идеальными.



Возможное решение.

Прежде всего, определим, где какой прибор подключен. Если в положении «1» будет стоять идеальный вольтметр, то цепь будет разомкнута и показания амперметров будут нулевыми, что не удовлетворяет условиям задачи. Значит в положение «1» стоит амперметр. Теперь если в положение «3» поставить вольтметр, а в «2» поставить другой амперметр, то последний закоротит участок цепи с вольтметром. Тогда показания вольтметра будут нулевыми, что не удовлетворяет условиям задачи.



Значит, правильная схема приведена на нижнем рисунке.

В этой схеме амперметры подключены последовательно. Это означает, что их показания одинаковы и равны общему току в цепи:

$$I_{A1} = I_{A2} = I = 1,0 \text{ мА}$$

Такой же ток течёт через резистор $2R$, напряжение на нём показывает вольтметр. По закону Ома $2R = \frac{U}{I} = 1200 \text{ Ом}$, и $R = 600 \text{ Ом}$.

Сила тока через резистор R так же равна I , следовательно, падение напряжения на нём $U_R = IR = 0,6 \text{ В}$.

Напряжение источника равно сумме падений напряжений на резисторах.

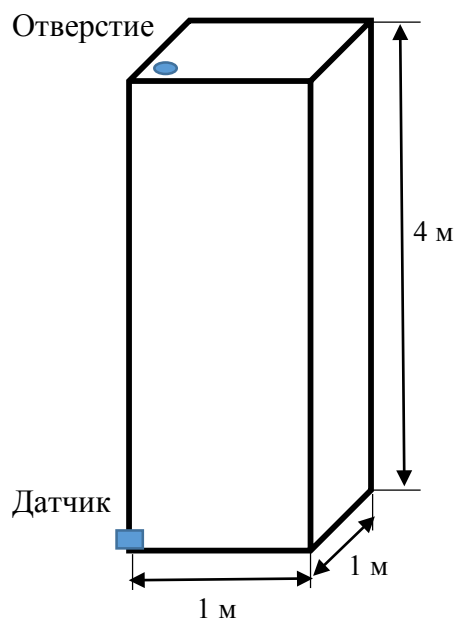
$$U_0 = U_R + U_{2R} = 1,8 \text{ В}.$$

Критерии оценивания

1	Правильно и обоснованно определено положение вольтметра на схеме	4 балла
2	Правильно определены показания второго амперметра	2 балла
3	Правильно рассчитаны сопротивления резисторов R и $2R$	2 балла
4	Правильно рассчитано напряжение источника U_0	2 балла

Задача 4. «Гидростатический черный ящик».

Имеется прямоугольный сосуд размерами $1 \times 1 \times 4$ м. В верхней крышке сосуда есть отверстие. В нижней части сосуда вплотную ко дну смонтирован миниатюрный датчик давления. Внутри сосуда может быть расположено произвольное число перегородок и закрытых ими полостей. Каждая перегородка имеет пренебрежимо малый объем и расположена горизонтально или вертикально. Все вертикальные перегородки параллельны одной и той же стенке сосуда.



Через верхнее отверстие в сосуд медленно заливают воду, снимая при этом зависимость показаний датчика давления от объема налитой воды. Полученная зависимость представлена на графике. Проанализируйте ее и нарисуйте на выданном вам листе возможную схему расположения перегородок в сосуде, соответствующую данному графику (достаточно любой одной схемы из множества возможных). На схеме укажите масштаб и все характерные размеры. Поясните, каким образом вы получили эти размеры и определили характерные особенности расположения перегородок.

Считайте $g = 10 \text{ м/с}^2$, плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, атмосферное давление $p_0 = 100 \text{ кПа}$.

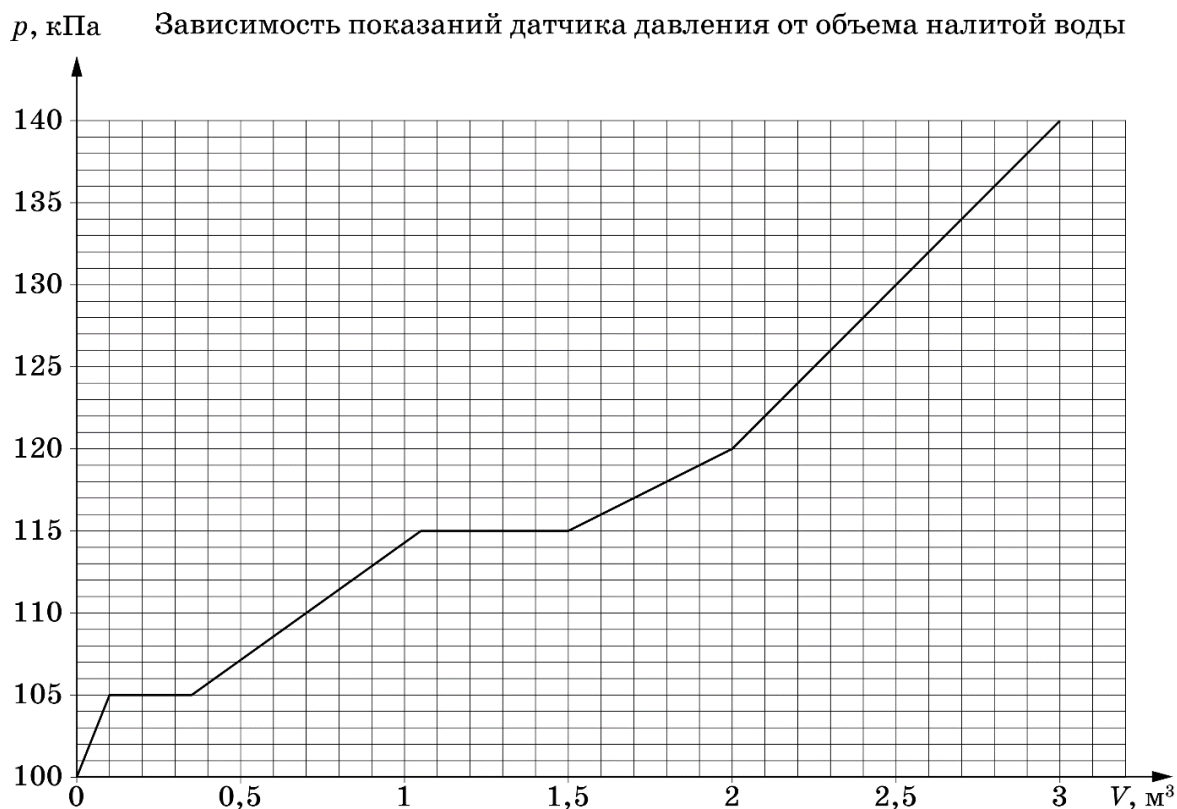
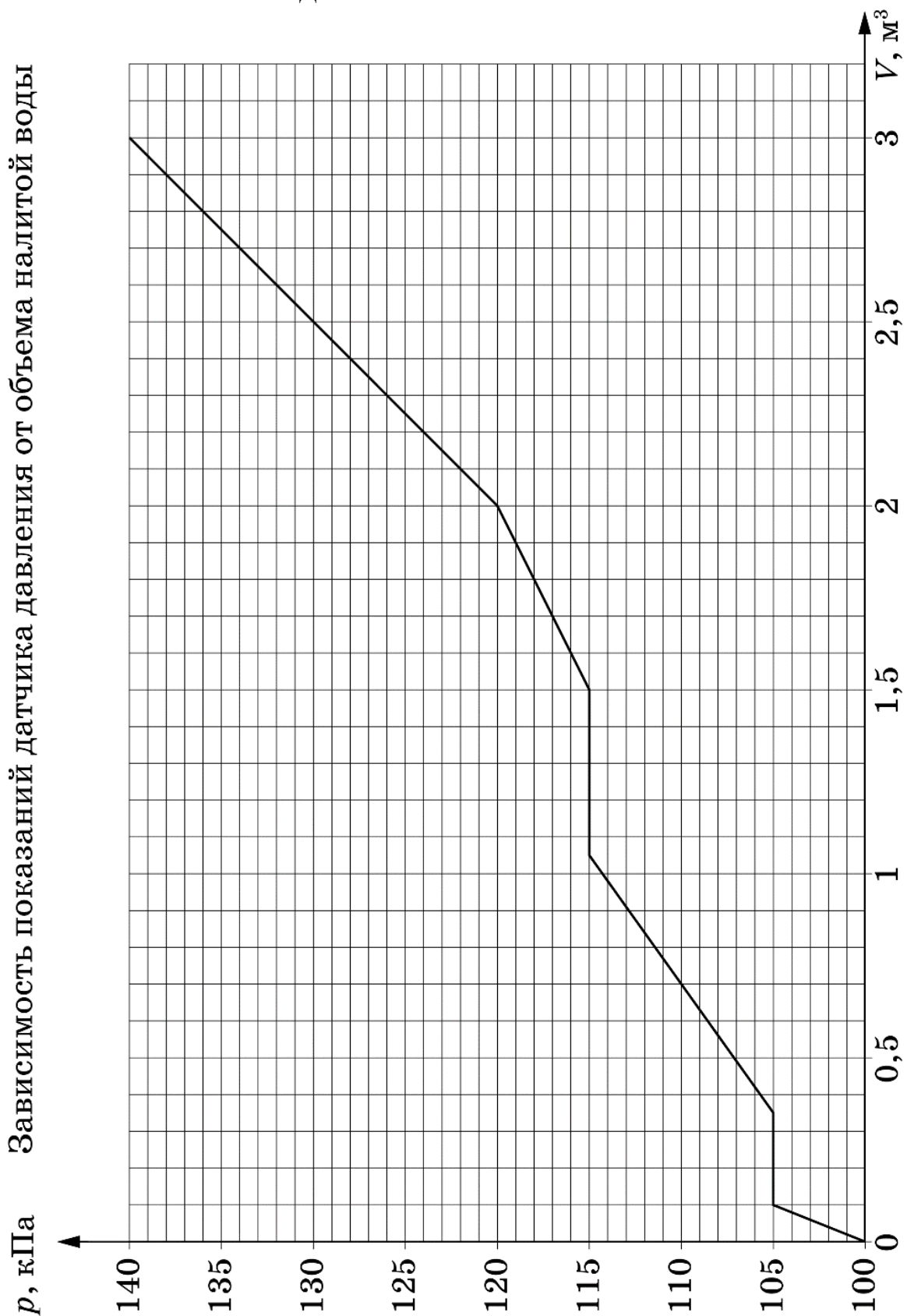


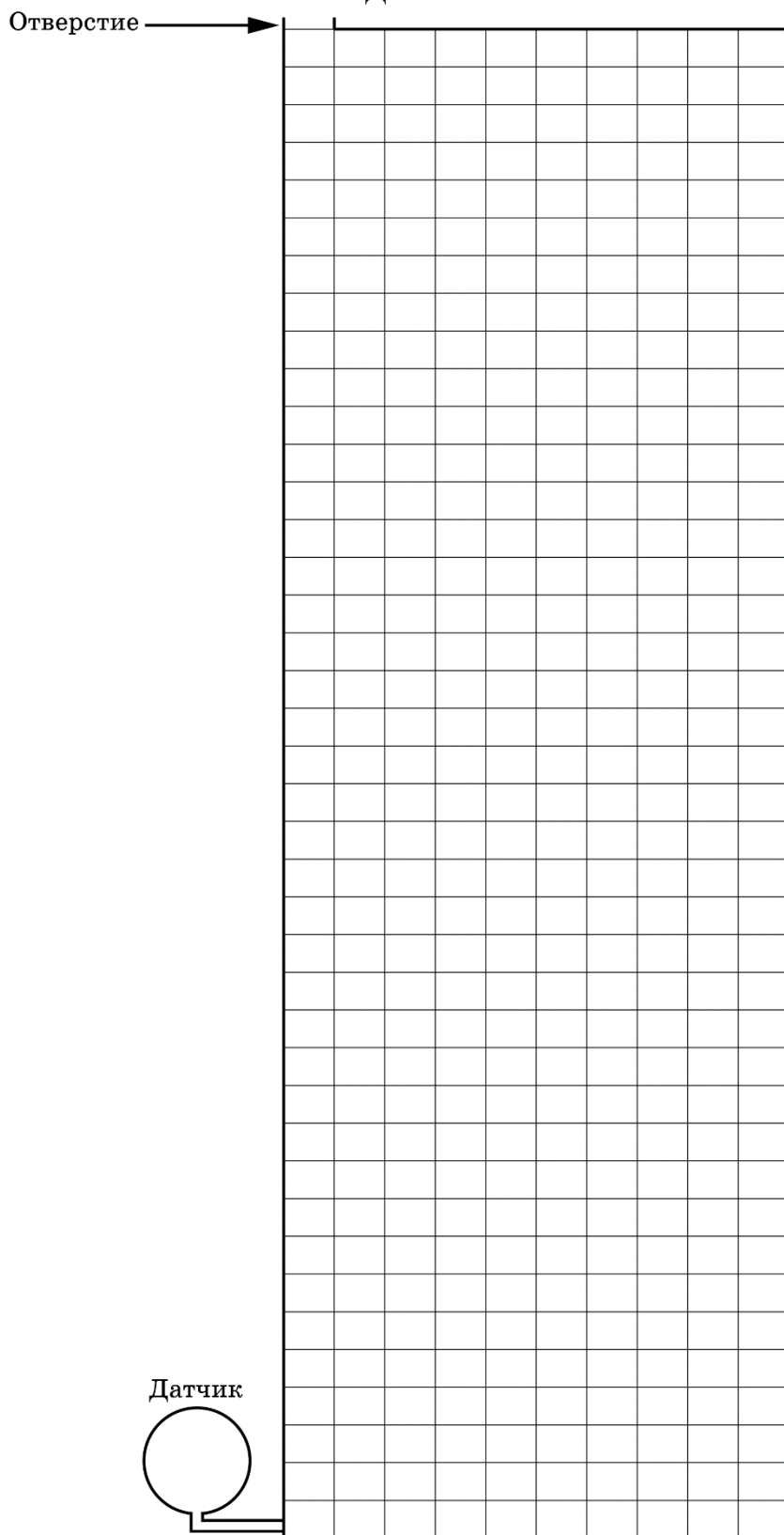
График для задачи 4 следует распечатать на отдельном листе формата А4.
СДАЕТСЯ ВМЕСТЕ С РАБОТОЙ!!!



22 января на портале <http://abitru.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

ЛШ Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Теоретический тур. 21 января 2019 г.

Заготовку для схемы задачи 4 следует распечатать на отдельном листе формата А4.
СДАЕТСЯ ВМЕСТЕ С РАБОТОЙ!!!



22 января на портале <http://abitv.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Возможное решение. Мы видим несколько участков линейного увеличения давления. Измеряемое датчиком давление $P = P_0 + \rho gh$, где h – высота свободной поверхности воды над датчиком давления (дном сосуда). Из графика видно, что в конце процесса сосуд оказался заполнен доверху.

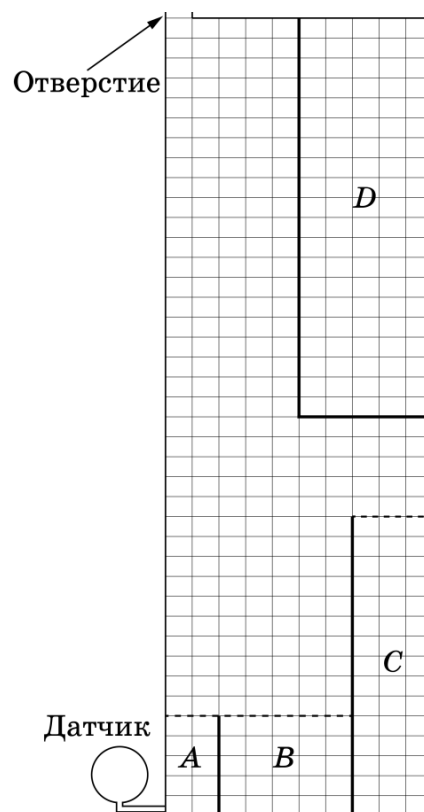
Пусть в сосуд долили небольшой объем воды ΔV , который растекся по свободной поверхности уже налитой жидкости. Пусть площадь свободной поверхности воды равна S , тогда $\Delta V = S \cdot \Delta h = \frac{S \Delta P}{\rho g}$, откуда $S = \rho g \frac{\Delta V}{\Delta P}$. Найдем площади свободной поверхности жидкости для каждого линейного участка возрастания давления.

$h, \text{ м}$	0,0-0,5	0,5-1,5	1,5-2,0	2,0-4,0
$S, \text{ м}^2$	0,2	0,7	1,0	0,5

Из таблицы видно, что в диапазоне высот 1,5 - 2,0 м от дна вода заполняла сосуд по всей его площади.

Теперь разберемся с горизонтальными участками графика. Как возможно такое, что при увеличении объема воды в сосуде давление у дна не возрастает. Это возможно, если в определенный момент времени вода достигает верха некоторой перегородки и затем переливается через нее, а когда уровень воды за перегородкой сравняется с уровнем воды перед перегородкой, то давление на дно вновь начинает расти. Из графика видно, что объем частей A , B и C составляют соответственно $0,1 \text{ м}^3$; $0,25 \text{ м}^3$ и $0,45 \text{ м}^3$. Часть D представляет собой полость, образованную горизонтальной и вертикальной перегородками.

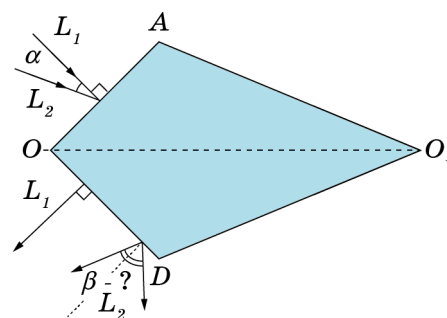
На рисунке приведен один из возможных примеров расположения перегородок в сосуде. Одна клетка соответствует 0,1 м.



Критерии оценивания

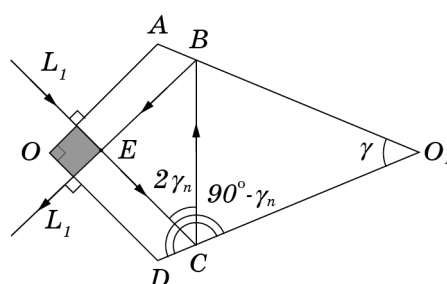
1	Сделан пересчет давления в высоту	1 балл
2	Определена площадь свободной поверхности воды на разных высотах	1 балл
3	Дано объяснение горизонтальным участкам на графике	2 балла
4	Указано, что на высоте 1,5-2,0 м отсутствуют перегородки, препятствующие заполнению всей площади сосуда	1 балл
5	Участок графика от 0 до 0,5 м указывает на наличие перегородки между частями A и B	1 балл
6	Часть A имеет объем $0,1 \text{ м}^3$ и высоту 0,5 м	1 балл
7	Участок графика от 0,5 до 1,5 м указывает на наличие перегородки между частями B и C	1 балл
8	Часть B имеет объем $0,25 \text{ м}^3$ и высоту 0,5 м Часть C имеет объем $0,45 \text{ м}^3$ и высоту 1,5 м	1 балл
9	Участок графика от 2,0 до 4,0 м соответствует полости D	1 балл

Задача 5. Тетрагон. Основание стеклянной призмы имеет форму четырёхугольника OAO_1D (см. рисунок). Угол AOD – прямой. Призма симметрична относительно плоскости, содержащей OO_1 и перпендикулярной основанию. Луч L_1 нормально падает на грань OA и после отражений на гранях DO_1 и AO_1 выходит через грань OD так же под прямым углом к ней. Луч L_2 падает на грань OA под углом α . Под каким углом β относительно нормали к грани OD он выйдет из призмы после отражений на гранях DO_1 и AO_1 ? Все лучи и перпендикуляры к граням призмы лежат в плоскости OAO_1D .

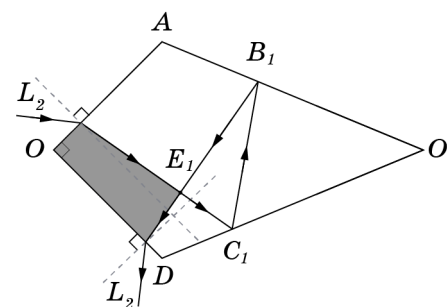


Возможное решение.

Построим ход L_1 . Нормально падающие лучи не преломляются на границе раздела сред. Значит, ход лучей симметричен относительно OO_1 , и луч дважды пересекает эту линию в точке E . Треугольник BEC прямоугольный и равнобедренный, значит углы EBC и ECB по 45° , значит углы падения и отражения лучей на гранях будут по $\gamma_n = 22,5^\circ$. Тогда, из четырёхугольника EBO_1C угол $\gamma = 45^\circ$.



Построим ход отклонённого луча. Отметим, что сумма углов AB_1C_1 и DC_1B_1 равна сумме углов ABC и DCB (сумма углов в четырёхугольниках одинакова). Следовательно, сумма углов $E_1B_1O_1$ и $E_1C_1O_1$ равна сумме углов EBO_1 и ECO_1 . Значит, лучи по-прежнему пересекаются в призме под прямыми углами.



С учётом вышесказанного, принимая во внимание равенство суммы углов в «серых» четырёхугольниках, можно заключить, что угол, под которым преломился L_2 на грани OA равен углу, под которым он упал на грань OD . Значит, по закону Снеллиуса, угол под которым луч выйдет из грани OD равен углу, под которым он упал на грань OA .

Заметим, что от показателя преломления стекла ответ не зависит.

Критерии оценивания

1	Правильно описано преломление нормально падающих лучей	1 балл
2	Указана симметричность поведения L_1 в призме	1 балл
3	Применён закон отражения света	1 балл
4	Правильно найдены неизвестные углы в призме (или хотя бы один из них)	2 балла
5	Доказано, что луч, падающий на грань DO_1 и во втором случае перпендикулярен лучу, падающему на грань OD .	2 балла
6	Получено, что угол преломления L_2 на грани OA равен его углу падения на грань OD	2 балла
7	Сделан вывод о том, что угол, под которым луч выйдет из грани OD равен углу, под которым он упал на грань OA ($\beta = \alpha$)	1 балл

Примечание к критериям

Если задача решалась альтернативным способом, например, через пошаговое построение хода лучей, то следует придерживаться следующих правил:

- 1) Полностью правильное решение с выводом равенства углов $\beta = \alpha$ – 10 баллов.
- 2) Рассмотрение хода луча L_1 с правильным нахождением угла γ – 5 баллов.

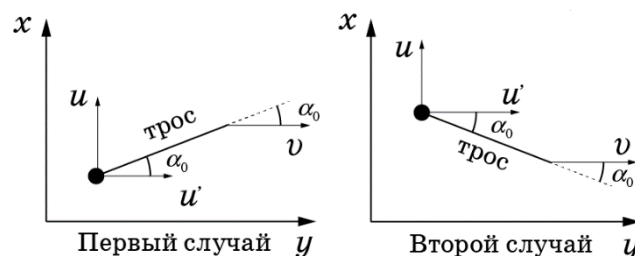
10 класс

Задача 1. Воднолыжник. Катер едет посередине прямого длинного канала фиксированной ширины с постоянной скоростью v . За катером на натянутом все время тросе длиной L курсирует от одного берега канала до другого воднолыжник. В момент времени, когда расстояние между лыжником и правым берегом увеличивалось со скоростью u , а трос составлял с направлением движения катера угол α_0 , спортсмен оторвался от воды.



Пренебрегая вертикальной составляющей скорости, найдите модуль скорости u_0 спортсмена в этот момент? Какова в этот же момент сила натяжения троса T , если масса спортсмена m ? На рисунке в качестве иллюстрации показан вид сверху в некоторый момент движения воднолыжника.

Возможное решение: Разложим скорость спортсмена относительно берега на две составляющие: перпендикулярную берегу u и продольную u' . Так как расстояние от спортсмена до точки катера, к которой прикреплен трос, не меняется, то проекции скоростей воднолыжника и катера на линию, проходящую через трос, должны быть одинаковы.



В первом случае, когда спортсмен находится между правым берегом и катером, получим: $v \cos \alpha_0 = u' \cos \alpha_0 + u \sin \alpha_0$, тогда $u' = v - u \operatorname{tg} \alpha_0$.

Во втором случае, когда спортсмен находится между катером и левым берегом, получим: $v \cos \alpha_0 = u' \cos \alpha_0 - u \sin \alpha_0$, тогда $u' = v + u \operatorname{tg} \alpha_0$.

Модуль скорости спортсмена относительно берега $u_0 = \sqrt{u^2 + u'^2} = \sqrt{u^2 + (v \pm u \operatorname{tg} \alpha_0)^2}$.

Так как относительно катера воднолыжник движется по окружности радиусом L , то сила натяжения троса $T = \frac{mu_{\text{отн}}^2}{L}$, где $u_{\text{отн}}^2 = u^2 + (u' - v)^2 = u^2(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_0) = \frac{u^2}{\cos^2 \alpha_0}$.

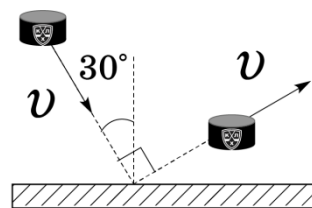
Окончательно, $T = \frac{mu^2}{L \cos^2 \alpha_0}$.

Критерии оценивания

1	Записано уравнение кинематической связи между скоростью спортсмена и скоростью катера или заменяющие его соотношения между скоростями	2 балла
2	Получено выражение для продольной составляющей скорости спортсмена относительно берега (спортсмен между правым берегом и катером)	1 балл
3	Получено выражение для продольной составляющей скорости спортсмена относительно берега (спортсмен между левым берегом и катером)	1 балл
4	Получен ответ на первый вопрос (для рассмотренных случаев)	1 балл
5	Из решения видно, что сила натяжения определяется скоростью спортсмена относительно катера	2 балла
6	Получено выражение для скорости спортсмена относительно катера	2 балла
7	Получено выражение для силы натяжения троса	1 балл

22 января на портале <http://abitru.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Задача 2. Шайбу! Шайба летит в сторону движущейся поступательно тяжёлой плиты так, что их плоскости параллельны. Вектор скорости шайбы составляет угол $\varphi = 30^\circ$ с нормалью к поверхности плиты. Происходит столкновение. Векторы скорости шайбы до и после столкновения одинаковы по модулю и перпендикулярны друг другу (см. рисунок). Кроме того, они лежат в одной плоскости с вектором скорости плиты. Определите минимальное и максимальные значения коэффициента трения μ , при которых возможно такое столкновение.

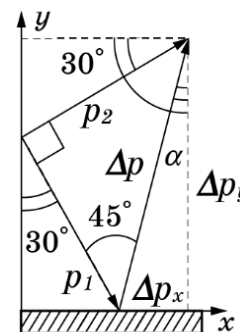


Возможное решение.

Свяжем импульсы шайбы до и после удара: $\vec{p}_2 = \vec{p}_1 + \Delta\vec{p}$ (см. рис).

Из рисунка видно, что вектор $\Delta\vec{p}$ образует с вертикалью (осью OY) угол $\alpha = 90^\circ - 45^\circ - 30^\circ = 15^\circ$.

Если после столкновения шайбы с плитой проекция скорости шайбы на ось OX меньше проекции скорости плиты на ту же ось, то это значит, что в течение всего времени столкновения шайба скользила по плите и, следовательно, $F_{\text{тр.}} = \mu N$. Здесь N – нормальная реакция опоры. В таком случае



$$\frac{\Delta p_x}{\Delta p_y} = \frac{\left(\frac{\Delta p_x}{\Delta t}\right)}{\left(\frac{\Delta p_y}{\Delta t}\right)} = \frac{F_{\text{тр.}}}{N} = \mu = \tan \alpha \approx 0,27.$$

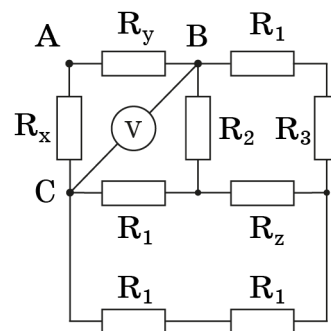
Если же после столкновения шайбы с плитой проекция скорости шайбы на ось OX сравняется с проекцией скорости плиты на ту же ось, то коэффициент трения μ может быть любым большим 0,27.

Критерии оценивания

1	Отмечено (или явно использовано при решении), что изменение проекций скорости шайбы на оси OX и OY происходит из-за действия сил нормальной реакции опоры и силы трения	1 балл
2	Явно указано, что в зависимости от μ x-проекция скорости шайбы после столкновения либо меньше x-проекции скорости плиты (случай 1), либо равна ей (случай 2, большие μ)	2 балла
3	Получено при явном или неявном использовании второго закона Ньютона для изменений проекций импульса шарика соотношение $\frac{\Delta p_x}{\Delta p_y}$ для первого случая	2 балла
4	Найден угол α (1 балл) и получено значение μ_{min}	2 балла
5	Отмечено, что при всех $\mu > \mu_{\text{min}}$ проскальзывание исчезает до момента прекращения контакта плиты и шайбы, и x-проекции скорости шайбы и плиты сравниваются, а угол отскока не зависит от μ	2 балла
6	Указано, что во втором случае значение μ может быть сколь угодно велико	1 балл

22 января на портале <http://abitu.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Задача 3. Девять резисторов. Электрическая цепь состоит из 9 резисторов и идеального вольтметра (см. рисунок). Сопротивление трех резисторов R_x , R_y и R_z неизвестны, сопротивления остальных: $R_1 = 1$ кОм, $R_2 = 2$ кОм, $R_3 = 3$ кОм. При подключении к точкам A и B источника с постоянным напряжением $U_0 = 10$ В вольтметр показывает $U_1 = 4$ В, при подключении того же источника к точкам A и C показания вольтметра $U_2 = 5$ В.

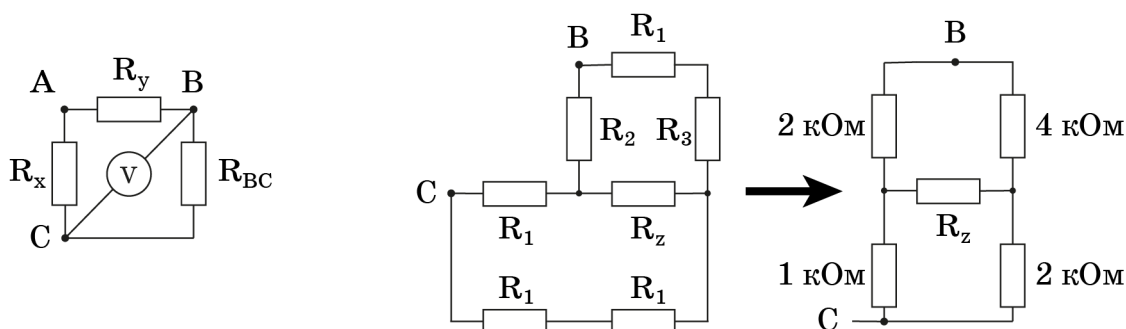


Определите:

- 1) значения сопротивлений R_x , R_y и R_z ;
- 2) значения силы тока через источник при подключении его к точкам A и B (I_{AB}) и к точкам A и C (I_{AC}).

Возможное решение.

Перерисуем схему в виде, показанном на левом рисунке. Здесь R_{BC} – сопротивление участка схемы BC , который может быть преобразован (правый рисунок) в сбалансированный мостик с не зависящим от R_z сопротивлением $R_{BC} = 2$ кОм.



Таким образом, R_z может быть любым. Показания вольтметра при подключении источника к A и B :

$$U_1 = U_0 \frac{R_{BC}}{R_x + R_{BC}}$$

Отсюда находим, что $R_x = 3$ кОм.

Аналогично, при подключении источника к точкам A и C :

$$U_2 = U_0 \frac{R_{BC}}{R_y + R_{BC}}$$

Отсюда находим, что $R_y = 2$ кОм.

Силы токов I_{AB} и I_{AC} определить не составляет труда:

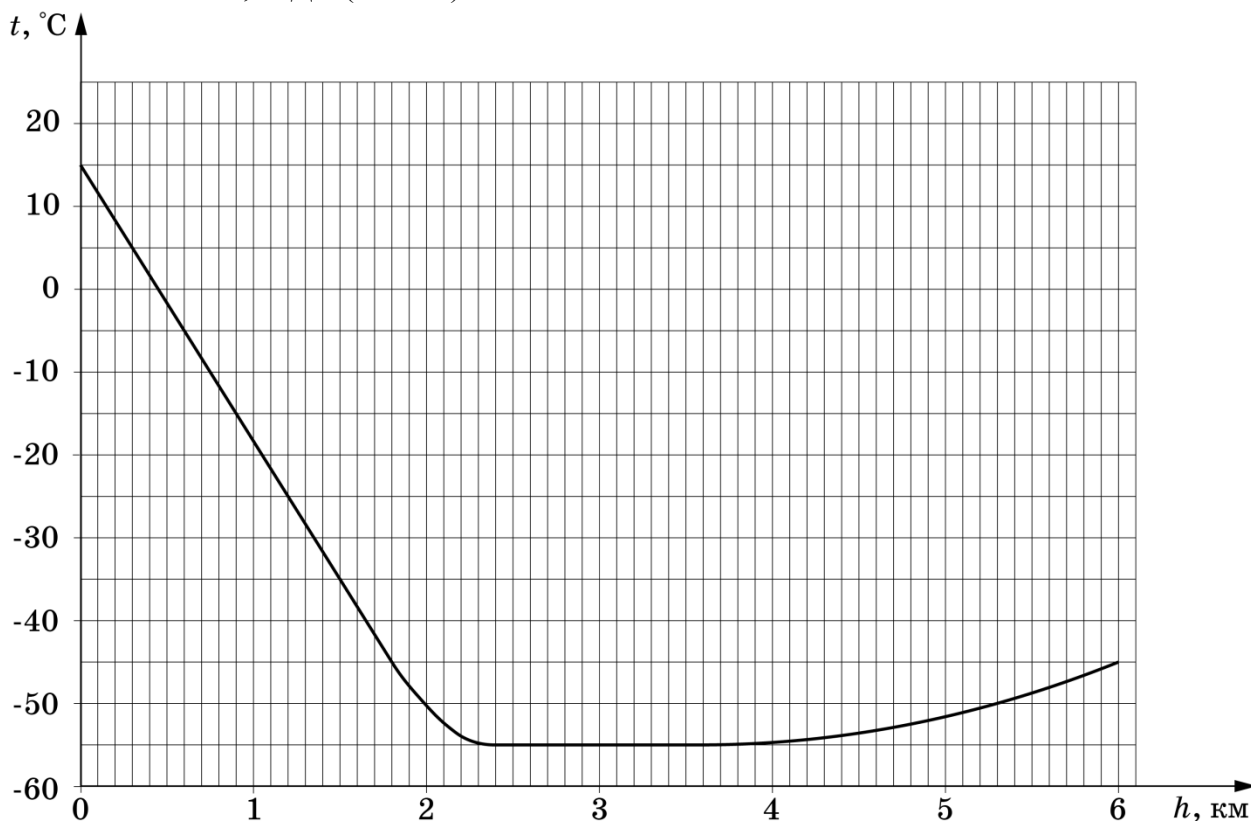
$$I_{AB} = \frac{U_0}{R_y} + \frac{U_0}{R_x + R_{BC}} = 7 \text{ мА.}$$

$$I_{AC} = \frac{U_0}{R_x} + \frac{U_0}{R_y + R_{BC}} \approx 5,8 \text{ мА.}$$

Критерии оценивания

1	Аргументированное объяснение произвольности номинала R_z	2 балла
2	Правильно найдено сопротивление R_{BC}	2 балла
3	Правильно найдено сопротивление R_x	2 балла
4	Правильно найдено сопротивление R_y	2 балла
5	Правильно найдена сила тока I_{AB}	1 балл
6	Правильно найдена сила тока I_{BC}	1 балл

Задача 4. На планете R19. В далеком космосе астронавты исследовали атмосферу планеты R19. Оказалось, что она очень похожа на атмосферу Земли: состоит из идеального газа с молярной массой $\mu = 28$ г/моль и имеет схожую зависимость температуры от высоты (см. рис.). И даже ускорение свободного падения у поверхности R19 равно $g = 9,9$ м/с². Однако, атмосферное давление на уровне моря отличается от земного. Оно равно $p_0 = 500$ кПа. Определите по этим данным, пренебрегая изменением g с высотой, давление p_1 и плотность ρ_1 на высоте $h_1 = 1,0$ км. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К).



Возможное решение.

- Заметим, что на участке от 0 до 2 км зависимость температуры от высоты линейная убывающая: $T = T_0 - \alpha h$. Из графика $\alpha = \left| \frac{\Delta T}{\Delta h} \right| = 33,3 \frac{\text{К}}{\text{км}}$.
- Получим зависимость $p(h)$.
При малом изменении высоты на Δh давление изменяется на $\Delta p = -\rho g \Delta h$, где плотность газа $\rho = \frac{p\mu}{RT}$. Тогда $\frac{\Delta p}{p} = -\frac{\mu g}{RT} \Delta h = -\frac{\mu g \Delta T}{RT \alpha}$.

22 января на портале <http://abitru.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Тогда связь между относительным изменением давления и относительным изменением температуры: $\frac{\Delta p}{p} = k \frac{\Delta T}{T}$, где $k = \frac{\mu g}{R\alpha} \approx 1$.

Это означает, что давление также линейно убывает с высотой и $\frac{\Delta p}{\Delta h} = -\rho g = const$.

3) Таким образом, плотность атмосферы постоянна от 0 до 2 км:

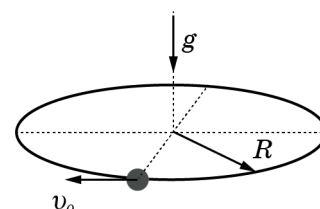
$$\rho = \rho_0 = \frac{p_0 \mu}{RT_0} = 5,85 \text{ кг/м}^3.$$

4) Давление на высоте 1 км $p_1 = p_0 - \rho_0 g h = 442 \text{ кПа}$.

Критерии оценивания

1	Для участка от 0 до 2 км найдено $\left| \frac{\Delta T}{\Delta h} \right| = 33,3 \frac{\text{К}}{\text{км}}$	1 балл
2	Записано выражение $\Delta p = -\rho g \Delta h$	1 балл
3	Записано выражение для плотности газа $\rho = \frac{p\mu}{RT}$	1 балл
4	Получено выражение для связи между относительными изменениями давления и температуры при малом изменении высоты: $\frac{\Delta p}{p} = k \frac{\Delta T}{T}$, где $k = \frac{\mu g}{R\alpha}$	2 балла
5	Вычислено $k \approx 1$	1 балл
6	Сделан вывод о том, что давление линейно убывает с высотой	1 балл
7	Сделан вывод о том, что плотность атмосферы постоянна от 0 до 2 км	1 балл
8	Вычислена плотность $\rho = 5,85 \text{ кг/м}^3$	1 балл
9	Вычислено давление на высоте 1 км: $p_1 = 442 \text{ кПа}$	1 балл

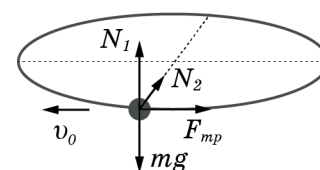
Задача 5. Бусинка на кольце. На тонкое проволочное кольцо радиусом R свободно надета бусинка массой m . Кольцо неподвижно и расположено горизонтально в поле тяжести g . Коэффициент трения скольжения между бусинкой и кольцом равен μ . В начальный момент времени бусинка движется со скоростью v_0 .



- 1) Найдите модуль силы трения, действующей на бусинку, в начальный момент времени.
- 2) Найдите модуль полного ускорения бусинки в этот же момент.
- 3) Запишите выражение, позволяющее с погрешностью не более 2% найти путь бусинки за время, в течение которого ее скорость уменьшилась на 1%.

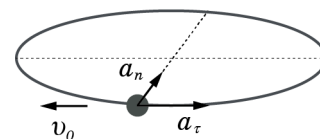
Возможное решение.

- 1) Сила нормальной реакции опоры $\vec{N} = \vec{N}_1 + \vec{N}_2$, где $|\vec{N}_1| = mg$ – ее вертикальная составляющая, $|\vec{N}_2| = \frac{mv_0^2}{R}$ – горизонтальная составляющая в начальный момент времени. Сразу после начала движения модуль силы трения, действующей на бусинку, $F_{\text{тр}} = \mu N$, где $N = \sqrt{N_1^2 + N_2^2}$.



Окончательно, $F_{\text{тр}} = \mu m \sqrt{g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}$.

- 2) Полное ускорение бусинки $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$, где $a_n = \frac{v_0^2}{R}$ – нормальная составляющая ускорения в начальный момент времени, $a_\tau = \frac{F_{\text{тр}}}{m} = \mu \sqrt{g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}$ – тангенциальная составляющая. Сразу после начала движения модуль полного ускорения:



$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{(\mu g)^2 + (1 + \mu^2) \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}.$$

- 3) Необходимая точность будет обеспечена при использовании приближенных формул: $\Delta S = v_0 \Delta t$; $\Delta v = a_\tau \Delta t$, где ΔS – искомый путь, Δt – время после начала движения, за которое скорость бусинки уменьшилась на 1%.

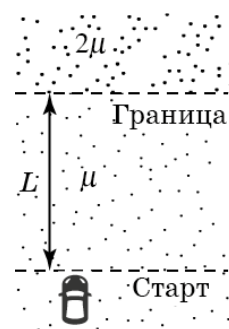
$$\text{Тогда } \Delta S = \frac{v_0 \Delta v}{a_\tau} = \frac{v_0^2 \cdot 10^{-2}}{a_\tau} = \frac{v_0^2}{\mu \sqrt{g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}} \cdot 10^{-2}.$$

Критерии оценивания

1	Записано выражение для вертикальной составляющей силы нормальной реакции опоры $|\vec{N}_1| = mg$	1 балл
2	Записано выражение для горизонтальной составляющей силы нормальной реакции опоры $|\vec{N}_2| = \frac{mv_0^2}{R}$	1 балл
3	Получено выражение для силы трения $F_{\text{тр}} = \mu m \sqrt{g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}$	1 балл
4	Записано выражение для модуля полного ускорения $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$	1 балл
5	Записано выражение для нормальной составляющей ускорения $a_n = \frac{v_0^2}{R}$	1 балл
6	Получено выражение для тангенциальной составляющей ускорения $a_\tau = \mu \sqrt{g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}$	1 балл
7	Записаны приближенные формулы $\Delta S = v_0 \Delta t$; $\Delta v = a_\tau \Delta t$ (по 1 баллу за каждую формулу)	2 балла
8	Получен ответ в виде $\Delta S = \frac{v_0 \Delta v}{a_\tau}$	1 балл
9	Получено конечное выражение для ответа $\Delta S = \frac{v_0^2}{\mu \sqrt{g^2 + \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}} \cdot 10^{-2}$	1 балл

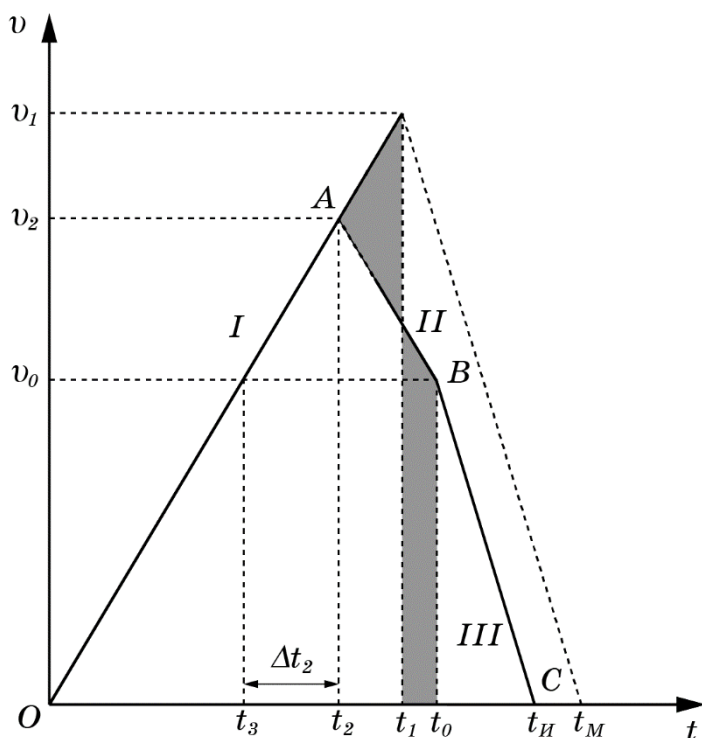
11 класс.

Задача 1. Испытания автомобиля. Плоский горизонтальный полигон для испытания гоночных автомобилей имеет два участка с разным покрытием. По условиям испытаний автомобиль должен проехать по прямой расстояние L от линии старта до линии границы между участками в одном направлении, стартуя с нулевой начальной скоростью (см. рисунок). После пересечения линии границы автомобиль должен остановиться. Коэффициент трения на первом участке равен μ , а на втором 2μ . За какое минимальное время t_M автомобиль может выполнить это испытание (от старта до полной остановки)? Какая при этом будет скорость v_0 у автомобиля при пересечении им линии границы участков? Нарисуйте график зависимости скорости автомобиля от времени, соответствующий вашему решению, и отметьте на нем момент прохождения автомобилем линии границы. Автомобиль полноприводный с неограниченной мощностью двигателя. Размерами машины по сравнению с L пренебречь.



Возможное решение.

1. Если участок длиной L проехать максимально быстро (с максимально возможным ускорением $a = \mu g$), то скорость на линии границы будет $v_1 = \sqrt{2\mu g L}$, а время разгона $t_1 = \sqrt{\frac{2L}{\mu g}}$. При этом минимально возможное время торможения за линией границы составит $t_M - t_1 = \sqrt{\frac{L}{2\mu g}}$. Общее время испытания $t_M = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{2L}{\mu g}} \approx 2,12 \sqrt{\frac{L}{\mu g}}$
2. Если пересекать линию границы со скоростью $v_0 < v_1$, то увеличится время достижения этой линии, но сократится время торможения за ней. Вопрос о конкуренции между этими изменениями времен требует дополнительного изучения.
3. Пусть на границе скорость v_0 ($v_0 < v_1$), которая достигается за минимально возможное время t_0 при следующем характере движения: разгон с максимальным положительным ускорением $a = \mu g$ до такой скорости $v_2 > v_0$, при которой оставшегося пути хватит, чтобы сбросить эту скорость до заданной v_0 при максимально возможном отрицательном ускорении $a_{\text{торм}} = -\mu g$. Данное утверждение иллюстрируется рисунком.



На рисунке участок *I* соответствует разгону с максимальным ускорением μg , участок *II* соответствует заблаговременному торможению (с максимальным ускорением $-\mu g$) от скорости v_2 до скорости v_0 на границе, участок *III* – торможению за линией границы с ускорением $-2\mu g$ до полной остановки в момент $t_{\text{н}}$. Отметим, что площади серых фигур равны (так как пути в первом движении до t_1 и во втором движении до t_0 равны L).

С помощью рисунка найдем зависимость t_0 от v_0 .

Первый раз скорость v_0 достигается в момент $t_3 = \frac{v_0}{\mu g}$, к этому моменту пройден путь

$S_1 = \frac{v_0^2}{2\mu g}$. Половина оставшегося до границы пути пройдена за время Δt_2 , и

$$\frac{L - S_1}{2} = v_0 \Delta t_2 + \frac{\mu g \Delta t_2^2}{2} = \frac{L}{2} - \frac{v_0^2}{4\mu g}.$$

Выразим $\Delta t_2 = \sqrt{\frac{v_0^2}{2(\mu g)^2} + \frac{L}{\mu g} - \frac{v_0}{\mu g}}$, а полное время движения до границы:

$$t_0 = t_3 + 2\Delta t_2 = 2\sqrt{\frac{v_0^2}{2\mu^2 g^2} + \frac{L}{\mu g} - \frac{v_0}{\mu g}}.$$

4. Полное время испытания $t_{\text{н}}$ согласно условию задачи, равно $t_0 + t_{\text{т}}$, где $t_{\text{т}} = \frac{v_0}{2\mu g}$ – время торможения за линией финиша

$$t_{\text{н}} = t_0 + t_{\text{т}} = 2\sqrt{\frac{v_0^2}{2\mu^2 g^2} + \frac{L}{\mu g} - \frac{v_0}{2\mu g}}.$$

Необходимо найти минимум данного выражения, варьируя его по v_0 .

LIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Теоретический тур. 21 января 2019 г.

Для упрощения исследования производной сделаем замены: $x = \frac{v_0}{2\mu g}$; $b = \frac{L}{\mu g}$;

$t_{и} = \sqrt{8x^2 + 4b} - x$ где x и b – по физическому смыслу положительны.

Возьмём производную по x и приравняем её нулю:

$$0 = \frac{16x}{2\sqrt{8x^2 + 4b}} - 1 \Rightarrow \sqrt{8x^2 + 4b} = 8x \Rightarrow 8x^2 + 4b = 64x^2 \Rightarrow 56x^2 = 4b.$$

Возвращаемся к старым переменным: $56 \frac{v_0^2}{4(\mu g)^2} = 4 \frac{L}{\mu g}$ или $v_0 = \sqrt{\frac{2}{7} \mu g L}$.

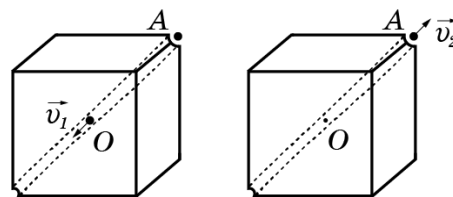
Тогда $t_{и} = 2\sqrt{\frac{2L}{14\mu g} + \frac{L}{\mu g}} - \sqrt{\frac{L}{14\mu g}} = \sqrt{\frac{7L}{2\mu g}} \approx 1,87\sqrt{\frac{L}{\mu g}}$.

Критерии оценивания

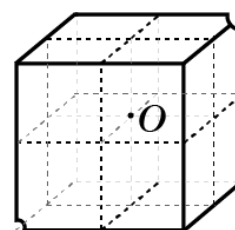
1	Представлен график зависимости скорости от времени, позволяющий обосновать алгоритм движения автомобиля (достаточно присутствия на графике точек <i>OABC</i>)	2 балла
2	Предложен алгоритм движения на участке длиной L , обеспечивающий минимальное время его прохождения при заданной скорости v_0 на границе	2 балла
3	Получена зависимость минимального времени прохождения участка длиной L от заданной скорости на линии границы: а) правильно записаны кинематические соотношения б) получен результат в виде функции $t_0(v_0)$	1 балл 1 балл
4	Получено выражение для полного времени испытания как функция скорости на линии границы	1 балл
5	Проведен анализ полученного выражения на минимум	1 балл
6	Получен ответ для минимального времени испытания	1 балл
7	Получен ответ для скорости на линии границы, при которой реализуется минимальное время испытания	1 балл

22 января на портале <http://abitru.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Задача 2. Кубическая планета. На планете в форме куба из однородного материала вдоль большой диагонали высверлили узкий прямой гладкий канал. Если маленький шарик отпустить без начальной скорости из точки A (вершина куба), его скорость в момент прохождения центра куба (точка O) будет равна v_1 . Какую минимальную скорость v_2 нужно сообщить шарика при запуске в космос из точки A , чтобы он мог покинуть поле тяготения планеты? Атмосферы у планеты нет.



Возможное решение. Исходный куб можно составить из восьми кубиков с ребром вдвое меньшего размера (см. рис.). По аналогии с электростатикой введем гравитационный потенциал φ , который в вершине любого однородного куба будет прямо пропорционален его массе и обратно пропорционален линейным размерам с одним и тем же коэффициентом пропорциональности. Пусть длина ребра и масса малого кубика равны соответственно b и m , а гравитационный потенциал в его центре равен φ_0 . Тогда $\varphi_0 = -k \frac{m}{b} = -k \frac{\rho b^3}{b} = -k\rho b^2$, (1)



где k – некоторый размерный коэффициент, а ρ – плотность планеты. Здесь мы учли, что энергия гравитационного взаимодействия отрицательна, если за нулевой уровень принять энергию на бесконечности.

Потенциал в центре большого куба из принципа суперпозиции $\varphi_1 = 8\varphi_0$, а потенциал в его вершине по аналогии с (1) $\varphi_2 = -k \frac{\rho(2b)^3}{2b} = -4k\rho b^2 = 4\varphi_0$.

Из закона сохранения энергии следует:

$$\begin{cases} m\varphi_2 = m\varphi_1 + \frac{mv_1^2}{2}; & (2) \\ m\varphi_2 + \frac{mv_2^2}{2} = 0. & (3) \end{cases}$$

Из системы уравнений (2) и (3) следует:

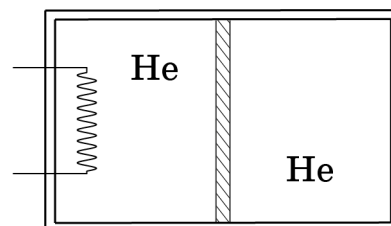
$$\begin{cases} v_1^2 = 2(\varphi_2 - \varphi_1) = -8\varphi_0; \\ v_2^2 = -2\varphi_1 = -8\varphi_0. \end{cases}$$

Окончательно получим $v_2 = v_1$.

Критерии оценивания

1	Идея разбиения куба на 8 кубиков вдвое меньшего размера	3 балла
2	Установлена связь потенциала в центре куба с потенциалом в вершине кубика вдвое меньшего по размеру $\varphi_1 = 8\varphi_0$	2 балла
3	Доказано, что при увеличении размера куба в 2 раза при сохранении плотности потенциал в его вершине увеличивается в 4 раза: $\varphi_2 = 4\varphi_0$	2 балла
4	Записана система уравнений из закона сохранения энергии для скоростей и потенциалов	2 балла
5	Обоснованно получен верный ответ для скорости в вершине куба	1 балл

Задача 3. Сосуд с поршнем. Теплоизолированный цилиндрический сосуд разделён на две части не проводящим тепло поршнем, который может перемещаться без трения. В начальный момент в левой и правой частях сосуда находится по одному молю гелия при одинаковой температуре. В левую часть сосуда подвели тепло с помощью нагревателя. При этом температура гелия в ней увеличилась на **малую величину** ΔT . Определите изменение температуры ΔT_2 в правой части сосуда и количество теплоты Q , переданное нагревателем.



Возможное решение

Запишем уравнения Менделеева-Клапейрона для 1 моль газа, находящегося в начальном и в конечном состоянии:

$$\begin{cases} P_0 V = RT_0 \\ P_1 (V + \Delta V) = R(T_0 + \Delta T) \\ P_1 (V - \Delta V) = R(T_0 + \Delta T_2) \end{cases}$$

Здесь учтено, что давление в левой и правой частях всегда (при равновесном процессе) одинаково, а суммарный объём частей не изменяется.

Составим пропорцию из уравнений для конечного состояния:

$$\begin{aligned} \frac{(V + \Delta V)}{(V - \Delta V)} &= \frac{(T_0 + \Delta T)}{(T_0 + \Delta T_2)} \\ (V + \Delta V)(T_0 + \Delta T_2) &= (V - \Delta V)(T_0 + \Delta T) \\ VT_0 + V\Delta T_2 + T_0\Delta V &= VT_0 + V\Delta T - T_0\Delta V \\ 2\frac{\Delta V}{V} &= \frac{\Delta T}{T_0} - \frac{\Delta T_2}{T_0} \end{aligned} \quad (1)$$

При раскрытии скобок мы пренебрегаем малыми величинами второго порядка $\Delta V\Delta T$ и $\Delta V\Delta T_2$.

Запишем первое начало термодинамики для процессов в цилиндре:

$$\begin{cases} Q = A + \Delta U_{ЛЕВ} = A + \frac{3}{2} R\Delta T \\ 0 = -A + \Delta U_{ПРАВ} = -A + \frac{3}{2} R\Delta T_2 \end{cases} \quad (2)$$

Здесь учтено, что процесс в правой части сосуда адиабатный, а суммарная работа в системе равна нулю.

Для малых изменений объёма и давления работу можно представить в виде:

$A = P_0\Delta V$, что даёт нам вместе с условием на адиабатный процесс (2):

$$0 = -P_0\Delta V + \frac{3}{2} R\Delta T_2 \Rightarrow \Delta V = \frac{3}{2} \frac{R\Delta T_2}{P_0} \Rightarrow \frac{\Delta V}{V} = \frac{3}{2} \frac{R\Delta T_2}{P_0 V} \Rightarrow \frac{\Delta V}{V} = \frac{3}{2} \frac{R\Delta T_2}{RT_0} = \frac{3}{2} \frac{\Delta T_2}{T_0}$$

Подставляем эту связь в уравнение (1)

LIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Теоретический тур. 21 января 2019 г.

$$3 \frac{\Delta T_2}{T_0} = \frac{\Delta T}{T_0} - \frac{\Delta T_2}{T_0} \Rightarrow \Delta T_2 = \frac{\Delta T}{4}.$$

$$A = \frac{3}{2} R \frac{\Delta T}{4}$$

Тогда

$$Q = \frac{3}{2} R \Delta T + \frac{3}{2} R \frac{\Delta T}{4} = \frac{15}{8} R \Delta T$$

Критерии оценивания

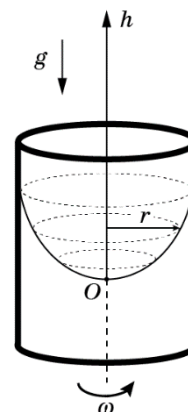
1	Записаны уравнения для начального и конечного состояний газа в правой и левой части сосуда	1 балл
2	В уравнениях состояния учтено равенство давлений и связь изменений объёмов	1 балл
3	Получено выражение (1) а) Если выражение (1) получено, а уравнения состояния не писались (сразу была написана пропорция) за пп. 1-3 ставится 4 балла. б) Выражение (1) может быть записано в виде $2T_0\Delta V = V(\Delta T - \Delta T_2)$ с) Если в процессе получения выражения (1) малыми величинами второго порядка не пренебрегли, ставится полный балл	2 балла
4	Записаны выражения для I начала термодинамики в данных процессах а) Важно, чтобы в данных выражениях присутствовал факт адиабатного процесса в правой части и равенство работ газов (с противоположным знаком). Баллы ставятся именно за эти факты! б) Вместо двух выражений может быть записан один закон для системы в целом: $Q = \frac{3}{2} R \Delta T + \frac{3}{2} R \Delta T_2$	2 балла
5	Записано выражение для работы при малом изменении объема и давления	1 балл
6	Получена связь ΔV и ΔT_2 : $\frac{\Delta V}{V} = \frac{3}{2} \frac{\Delta T_2}{T_0}$	1 балла
7	Определено изменение температуры ΔT_2	1 балл
8	Получено окончательное выражение для Q	1 балл

22 января на портале <http://abitru.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Задача 4. Айс. Вертикальный цилиндрический сосуд с водой, равномерно вращающийся вокруг своей оси с периодом T_0 , быстро охлаждают, так что на поверхности появляется тонкая гладкая ледяная корка. На корку вблизи оси сосуда без начальной скорости помещают маленькую бусинку, которая может без трения скользить по поверхности. Найдите период T ее малых колебаний.

Возможное решение

Равновесная форма поверхности воды во вращающемся сосуде определяется уравнением $\rho gh = \frac{1}{2}\rho\omega^2 r^2$, где ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения, h – высота, на которой находится участок поверхности, $\omega = \frac{2\pi}{T_0}$ – угловая скорость вращения, а r – расстояние от оси вращения до рассматриваемого участка.



Потенциальная энергия бусинки на корке $E_{\text{пот}} = mgh = \frac{1}{2}m\omega^2 r^2$ совпадает с потенциальной энергией деформированной пружины

$E_{\text{пот}} = \frac{1}{2}kr^2$ жесткостью $k = m\omega^2$. Период колебаний соответствующего

маятника: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{2\pi}{\omega} = T_0$.

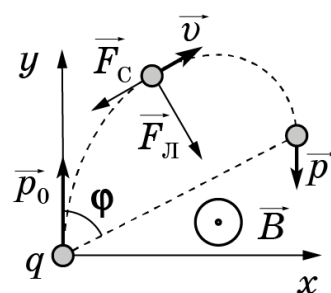
Критерии оценивания

1	Получена зависимость $h(r)$	2 балла
2	Записано выражение для связи угловой скорости с периодом	1 балл
3	Записано выражение для потенциальной энергии бусинки на корке через r	2 балла
4	Записано выражение для жесткости k данной колебательной системы	2 балла
5	Записано выражение для периода колебаний пружинного маятника	1 балл
6	Обоснованно получен ответ $T = T_0$	2 балла

Задача 5. Остановка частицы в магнитном поле. Маленькая частица с положительным зарядом q движется в однородном магнитном поле с индукцией B в вязкой среде. Сила сопротивления среды, действующая на частичку, прямо пропорциональна ее скорости. В начальный момент времени импульс частицы равнялся p_0 и был направлен перпендикулярно линиям индукции. Вектор перемещения частицы к моменту, когда скорость частицы впервые оказалась противоположна начальной скорости, составляет острый угол φ с вектором \vec{p}_0 .

- 1) Какой путь прошла частица до остановки?
 - 2) Чему равен модуль перемещения частицы до остановки?
- Силой тяжести пренебречь.

Возможное решение. Выберем начало координат в т. A , направим ось y по направлению вектора скорости частицы в т. A , а ось x – перпендикулярно \vec{v}_0 и \vec{B} так, чтобы в начальный момент времени сила Лоренца действовала в положительном направлении оси x . Пусть b - коэффициент пропорциональности в зависимости силы сопротивления от скорости частицы $\vec{F}_c = -b\vec{v}$



Уравнение движения частицы в проекции на координатные оси выглядит так

$$\begin{cases} ma_x = qBv_y - bv_x \\ ma_y = -qBv_x - bv_y \end{cases}$$

Сделаем замены $\frac{qB}{m} = k$ и $\frac{b}{m} = \alpha$, и для малого интервала времени Δt

$$a_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}; a_y = \frac{\Delta v_y}{\Delta t}$$

Тогда

$$\begin{cases} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = kv_y - \alpha v_x \\ \frac{\Delta v_y}{\Delta t} = -kBv_x - \alpha v_y \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta v_x = kv_y \Delta t - \alpha v_x \Delta t = k\Delta y - \alpha \Delta x \\ \Delta v_y = -k v_x \Delta t - \alpha v_y \Delta t = -k\Delta x - \alpha \Delta y \end{cases}$$

Здесь Δx и Δy - изменение координат частицы за малый промежуток времени Δt .

Суммируя изменения проекций скорости и координат частицы за произвольное время от начала движения, получим

$$\begin{cases} v_x = ky - \alpha x \\ v_y - v_0 = -kx - \alpha y \end{cases}$$

В точке C вектор скорости частицы антипараллелен \vec{v}_0 и $v_x = 0$. Отсюда $ky = \alpha x$ и $\frac{x}{y} = \frac{k}{\alpha} = \operatorname{tg} \varphi$, $\alpha = k \operatorname{ctg} \varphi$.

LIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Теоретический тур. 21 января 2019 г.

Сила Лоренца действует перпендикулярно скорости и изменение модуля скорости частицы определяется только силой сопротивления. Поэтому

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = -\alpha v$$

$$\Delta v = -\alpha v \Delta t = -\alpha \Delta s,$$

где Δs – расстояние, пройденное за Δt . Суммируя обе части уравнения за произвольное время движения, получаем

$$v - v_0 = -\alpha s,$$

$$v_0 = \alpha S = k S c t g \varphi,$$

$$S = \frac{m v_0 t g \varphi}{q B}.$$

Здесь S – расстояние, пройденное частицей от начала движения до момента остановки.

Пусть координаты точки O (точки остановки) x_0, y_0 . Так как в этой точке $v_x = 0$,

$$y_0 = x_0 c t g \varphi.$$

$$v_y - v_0 = -v_0 = -k x_0 - \alpha y_0 = -k x_0 (1 + c t g^2 \varphi) = -\frac{k x_0}{\sin^2 \varphi}.$$

$$x_0 = \frac{m v_0}{q B} \sin^2 \varphi.$$

Расстояние от начальной точки до точки остановки

$$AO = l = \frac{x_0}{\sin \varphi} = \frac{m v_0}{q B} \sin \varphi.$$

Критерии оценивания

1	Записан второй закон Ньютона для проекций на координатные оси	1 балл
2	Переход от уравнений п.1 к уравнениям, связывающим изменение проекций скорости с координатами частицы	1 балл
3	Использование уравнений п.2 для определения коэффициента α	2 балла
4	Второй закон Ньютона в проекциях на направление движения частицы	1 балл
5	Получено выражение для связи изменения модуля импульса частицы с пройденным расстоянием	1 балл
6	Верный результат для S	1 балл
7	Получены уравнения для координат точки остановки частицы	1 балл
8	Определены координаты точки остановки и расстояние AC	2 балла

22 января на портале <http://abitru.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач теоретического тура. Начало разбора (по московскому времени): 7 класс – 11.00; 8 класс – 12.00; 9 класс – 13.00; 10 класс – 14.30; 11 класс – 16.00.

Задание 7.2. Скатывание шарика. На наклонном жёлобе (алюминиевый уголок), начиная от его нижнего конца, фломастером нанесены отметки N_i через каждые 15 см. На 5 см ниже каждой из этих отметок нанесены другие отметки n_i . Нижний конец желоба должен касаться упора (деревянного бруска).

Запустите без начальной скорости металлический шарик от отметки N_i и включите секундомер в тот момент, когда шарик прокатывается мимо отметки n_i . Остановите секундомер в момент соприкосновения шарика с упором. Повторите эксперимент для каждой из отметок N_i не менее 5 раз. Усредните результат. Заполните таблицу.



$L, \text{ см}$						
$t_1, \text{ с}$						
$t_2, \text{ с}$						
$t_3, \text{ с}$						
$t_4, \text{ с}$						
$t_5, \text{ с}$						
$t_{\text{ср.}}, \text{ с}$						
$v_{\text{ср.}}, \text{ см/с}$						

Постройте график зависимости $v_{\text{ср.}i}$ от $t_{\text{ср.}i}$.

Определите скорость, которую достигает шарик, преодолев из состояния покоя участок длиной 5 см.

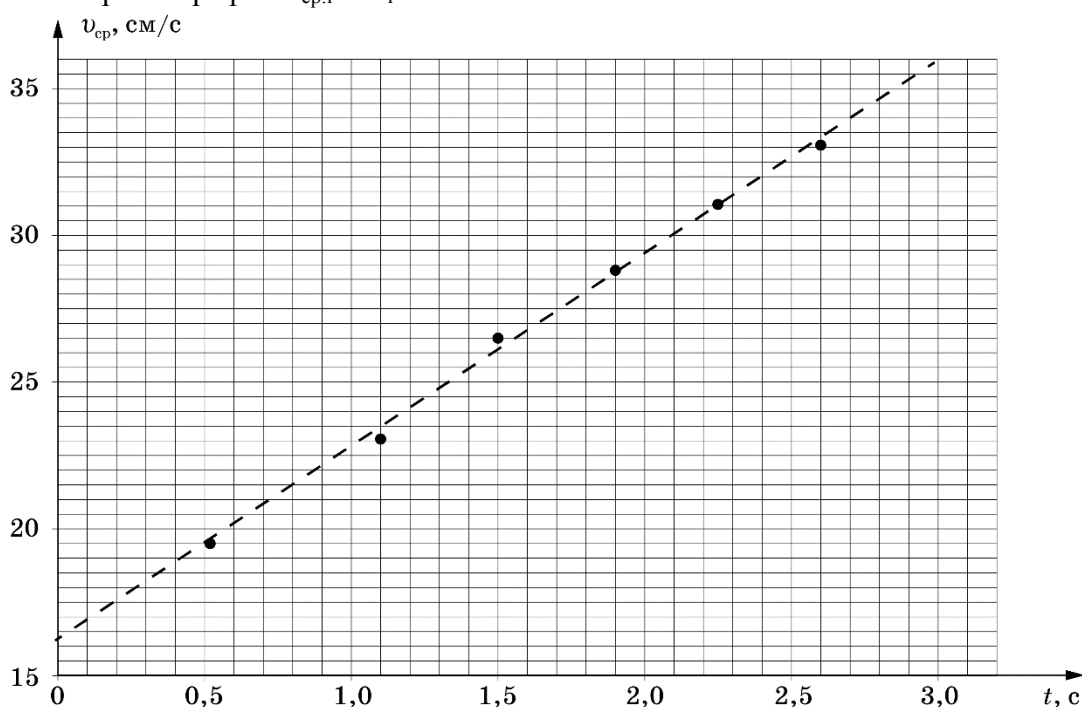
Оборудование: Алюминиевый уголок, шарик, закреплённый одним концом в коробке; деревянный брусок (упор); секундомер; миллиметровая бумага формата (A5) для построения графика.

Возможное решение.

1. Запускаем шарик от самой дальней отметки N_1 . Измеряем время t_1 скатывания. Повторяем эксперимент 5 раз. Вычисляем $t_{cp.1}$. Заносим результаты в таблицу.
2. Аналогично пункту (1) проводим аналогичный эксперимент для других отметок N_i .

$L, \text{ см}$	85	70	55	40	25	10
$t_1, \text{ с}$	2,59	...	...	...	...	...
$t_2, \text{ с}$	2,50	...	...	...	...	...
$t_3, \text{ с}$	2,60	...	...	...	...	...
$t_4, \text{ с}$	2,56	...	...	...	...	...
$t_5, \text{ с}$	2,60	...	...	...	...	...
$t_{cp.2}, \text{ с}$	2,57	2,25	1,91	1,51	1,08	0,51
$v_{cp}, \text{ см/с}$	33	31	29	26	23	20

3. Строим график $v_{cp,i}$ от t_i .



4. Определяем скорость, которую достигает шарик, преодолев из состояния покоя участок длиной 5 см (момент времени $t = 0$ с): $v(5) \approx 17 \text{ см/с}$.

Критерии оценивания (10 баллов)

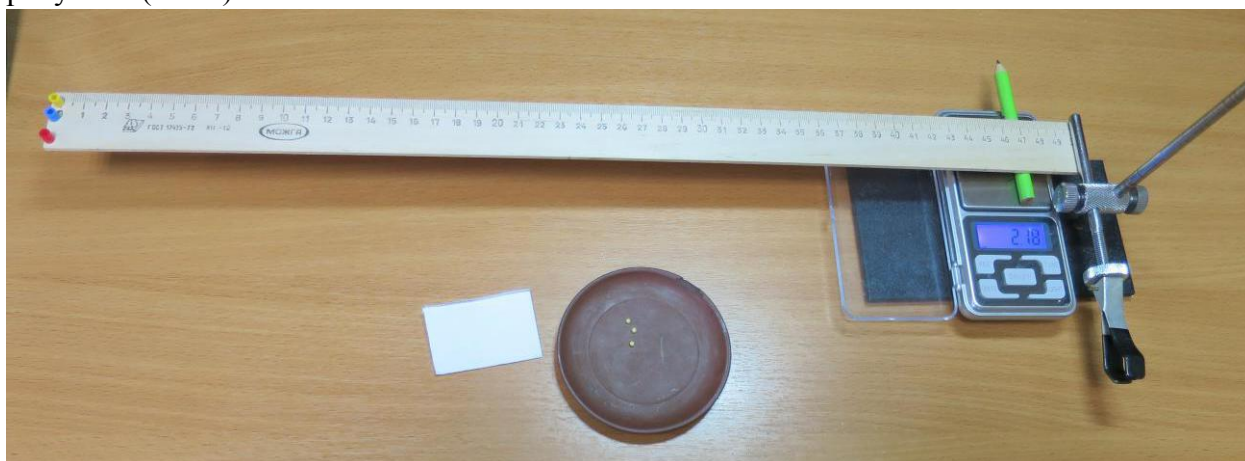
1	Снята зависимость $t_{\text{cp},i}$ от L_i (не менее пяти точек) За подсчёт каждой из пяти точек по 1 баллу	5 балла
2	График зависимости $t_{\text{cp}}(L)$: а) отложены единицы измерения по осям (0,5 балла) б) выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла) в) нанесены шкалы на оси (0,5 балла) г) соответствие точек, нанесённых на график, табличным значениям (0,5 балла) д) проведена прямая $t_{\text{cp}}(L)$ (1 балл)	3 балл
3	Вычислено время спуска шарика с высоты 5 см	1 балл
4	Вычислена средняя скорость шарика, преодолевшего первые 5 см	1 балл

Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 8.1. Усилитель. С помощью выданного вам оборудования определите с точностью не хуже 0,001 г среднюю массу одного зёрнышка: а) проса; б) риса; в) гречки. Вычислите массу чернил в линии (длиной 1 м), нарисованной гелевой ручкой.

Оборудование: весы электронные; деревянная линейка (длиной 50 см); короткий круглый карандаш длиной 4-5 см; штатив с муфтой и лапкой; по 3 зёрнышка риса, проса и гречки; гелевая ручка, три листа бумаги А4.

Возможное решение. Используя рычаг из линейки в качестве усилителя для электронных весов и штатив в качестве упора для рычага, собираем установку, представленную на двух рисунках (ниже).



Перед взвешиванием лёгкого тела производим «тарировку» весов. Тем самым мы избавляемся от необходимости учитывать момент силы тяжести, действующей на сам рычаг. Исследуемое тело помещаем на дальнем конце линейки. С помощью правила моментов, записанного относительно короткого конца рычага, упирающегося в лапку штатива, определяем усиление добавочного воздействия на весы в k раз. Так же можно найти усиление рычага экспериментально: предварительно взвесив лист бумаги А4 (его масса 5 г), и взяв часть (например, 1/16) взвесить этот кусочек на собранной установке. Для справки в таблице приведены результаты измерений для имеющихся в распоряжении автора зёрен:

	m_1 , Г	m_2 , Г	m_3 , Г	$\langle m \rangle$, Г	$m_{\text{зерна}}$, МГ
гречка	0,22	0,21	0,23	0,22	22
рис	0,23	0,24	0,25	0,24	24
просо	0,08	0,09	0,08	0,08	8

Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Данная таблица **не является** «универсальным правильным ответом», так как масса зёрен значительно отличается от партии к партии, от сорта к сорту и т.д.

Для определения линейной плотности следа гелевой ручки измеряем массу m_0 заполненного стержня ручки. На листе бумаги А4 ($l = 27$ см), проводим N линий до тех пор, пока уровень чернил в ручке не изменится на 1,5 – 2 см. Повторно измеряя массу стержня, получаем значение m_1 . Суммарная длина всех линий $L = Nl$. Тогда, $\lambda = (m_0 - m_1)/L$.

У автора получился результат $\lambda = 0,12$ мг/м, что также **не является** «универсальным ответом».



Критерии оценивания (10 баллов)

1	Описана методика «увеличения» показаний весов при взвешивании лёгких объектов: а) Изложена идея рычага (2 балла) б) Вычислен коэффициент усиления системы «рычаг – весы» (2 балла)	4 балла
2	Проведено взвешивание 3-х зёрен проса (1 балл). Определена средняя масса 1 зёрнышка (0,5 балла).	1,5 балла
3	Проведено взвешивание 3-х зёрен риса (1 балл). Определена средняя масса 1 зёрнышка (0,5 балла).	1,5 балла
4	Проведено взвешивание 3-х зёрен гречневой крупы (1 балл). Определена средняя масса 1 зёрнышка (0,5 балла).	1,5 балла
5	Предложена методика взвешивания чернил гелевой ручки (1 балл). Определена масса чернил на 1 м нарисованной линии (0,5 балла).	1,5 балла

В случае прямых измерений масс зёрен, или если коэффициент усиления рычага $k < 5$, баллы за **результаты измерений масс (по 0,5 балла)** не ставятся.

Измерения масс стержня при изменении уровня чернил менее чем на 1 см не оцениваются полным баллом за п.5.

Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 8.2. Лёд в стакане. Количество теплоты, передаваемое в единицу времени от нагретого тела к холодному, прямо пропорционально разности температур между этими телами (Закон Ньютона-Рихмана): $Q = \alpha(t_2 - t_1)\tau$, где α – коэффициент теплопередачи, τ – время теплопередачи, t_1 – температура холодного тела, t_2 – нагретого тела.

Определите коэффициенты теплопередачи α_1 и α_2 от воздуха в комнате к 50 г воды, имеющей температуру 0°C , в тонкостенном пластиковом стакане (α_1) и в стакане из пенопласта (α_2).

Оборудование: термометр, пластиковый стакан и стакан из пенопласта, крышка с отверстием под термометр, секундомер, одноразовые тарелка и ложечка, весы, салфетки, вода, лёд (по требованию); миллиметровая бумага (для построения графиков).

Задание. Возьмите тонкостенный пластиковый стаканов, налив в него воды (приблизительно 40 г) и охладите её до температуры не более $(2 \div 3)^\circ\text{C}$. Опустите в охлаждённую воду кусочек льда. Каждые две минуты быстро взвешивайте кусочек льда, положив предварительно на весы толстый слой салфетки. Перед каждым взвешиванием обнуляйте показания весов. Зафиксируйте массу воды, остающейся на салфетке после каждого взвешивания.

Повторите эксперимент со вторым стаканом.

Постройте графики зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри стакана, от времени для каждого из стаканов.

На основе полученных графиков определите коэффициенты теплопередачи α_1 и α_2 .

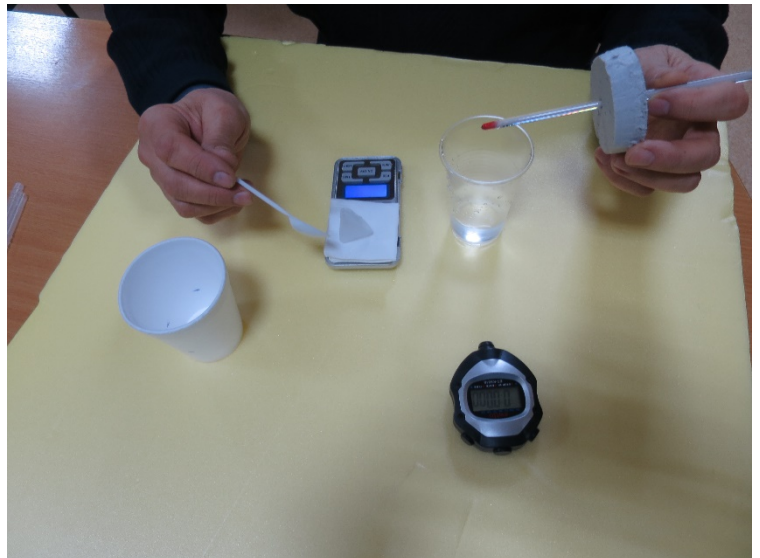
Проведите ещё раз эксперимент с пенопластовым стаканом первый раз взвесив лёд через 2- 3 минуты после его погружения в стакан и второй раз ещё через 15 минут.

Вычислите коэффициент теплопередачи α_{22} в данном случае.

Если расхождение между α_2 и α_{22} превышает 20%, объясните причину этого расхождения.

Примечание. Выданный вам лёд может иметь отрицательную температуру, что скажется на характере начального участка полученной зависимости.

Удельная теплота плавления льда $\lambda = 330\,000$ Дж/кг.



Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

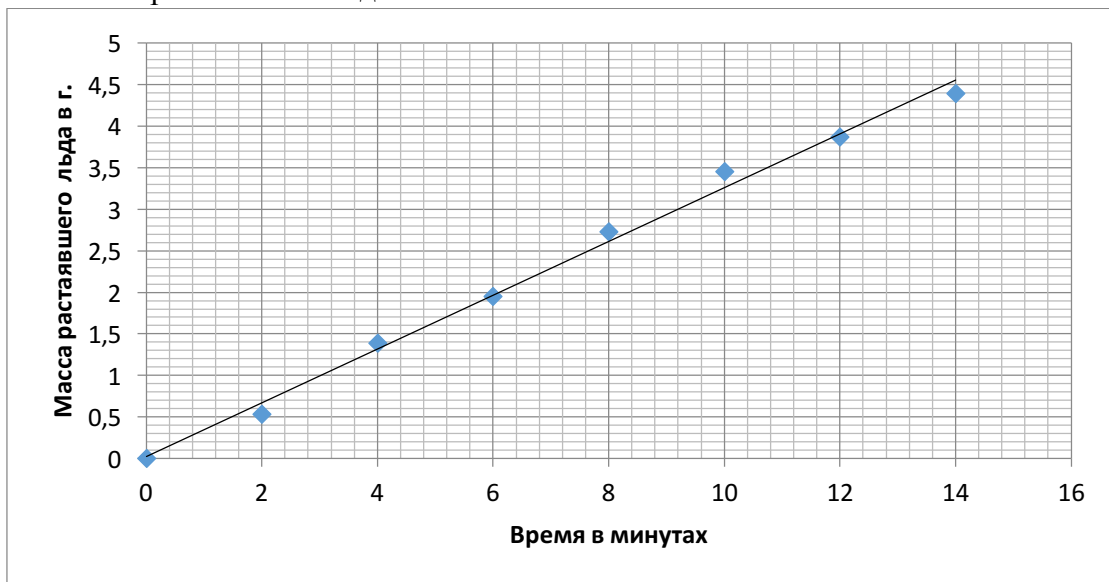
Возможное решение. В исследуемый (пластиковый) стакан наливаем приблизительно 40 г воды, опускаем в неё кусочек льда и следим за понижением температуры. Если к моменту окончания таяния первого кусочка льда вода ещё не достигнет 2 – 3 градусов С, опускаем в воду другой кубик льда и убеждаемся, что температура смеси достигла 2 – 3 градусов С. Измеряем массу воды в стакане. Если она превышает 50 г. излишек отливаем в другой стакан и удаляем остатки льда (если таковые имеются).

Взвешиваем новый кусочек льда, опускаем его в воду и включаем секундомер. Каждые две минуты ложечкой извлекаем лёд из воды, взвешиваем его на весах и возвращаем в стакан. Перед каждым взвешиванием тарируем весы (устанавливаем ноль). На время измерения массы льда останавливаем секундомер. После каждого взвешивания записываем массу воды, оставшейся на салфетке.

Результаты измерений заносим в таблицу 1.

№	m , г	Δm_1 , г	Δm_2 , г	τ , мин	M , г
1	7,87	0,19		0	
2	7,15	0,29	0,53	2	0,53
3	6,00	0,11	0,86	4	1,39
4	5,33	0,17	0,56	6	1,95
5	4,38	0,08	0,78	8	2,73
6	3,58	0,07	0,72	10	3,45
7	3,09	0,10	0,42	12	3,87
8	2,47	0,11	0,52	14	4,39

Здесь m – масса льда, Δm_1 – масса воды, оставшейся на весах при взвешивании, Δm_2 – масса воды, растаявшей в стакане за 2 минуты ($\Delta m_2 = 0,53 \text{ г} = (7,87 - 0,19 - 7,15) \text{ г}$) и так далее, τ – время таяния льда, M – масса растаявшего льда.



Угловой коэффициент графика $\left(\frac{\Delta M}{\Delta \tau}\right)_1 \approx 0,32 \left(\frac{\text{г}}{\text{мин}}\right)$. Коэффициент теплопередачи

$\alpha_1 = 0,080 \text{ Вт/}^\circ\text{С}$ вычислим из уравнения теплового баланса: $M\lambda = \alpha(t_2 - 0)\tau$.

Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Аналогичные измерения проводим для пенопластового стакана: $\left(\frac{\Delta M}{\Delta t}\right)_1 \approx 0,15\left(\frac{\text{г}}{\text{мин}}\right)$,

$$\alpha_2 = 0,037 \text{ Вт/}^\circ\text{С}.$$

Коэффициенты α_1 и α_2 вычислены для комнатной температуры $t_2 = 22^\circ\text{С}$.

Различие результатов, полученных графическим методом при измерениях массы льда с периодичностью 2 минуты, и по двум измерения через 15 минут, может быть в случае, если при вычислении массы растаявшего льда не учитывается масса воды, остающейся на весах за время измерений.

Критерии оценивания (10 баллов)

1	Результаты измерений зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри тонкостенного стакана, от времени. Если не учтена масса воды, остающаяся на салфетке. 1 балл	2 балла
2	Результаты измерений зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри пенопластового стакана, от времени. Если не учтена масса воды, остающаяся на салфетке. 1 балл	2 балла
3	Результаты измерений зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри пенопластового стакана, от времени по двум крайним точкам	1 балл
4	Построены графики измеренных зависимостей	2 балла
5	Записано уравнение теплового баланса	0,5 балла
6	Вычислен коэффициент α_1 с точностью не хуже 20% с точностью не хуже 30% 0,5 балла	1 балл
7	Вычислен коэффициент α_2 с точностью не хуже 20% с точностью не хуже 30% 0,5 балла	1 балл
8	Вычислен коэффициент α_{22} и указана причина его отличия от α_2 (в случае наличия такового) Если расхождение между α_2 и α_{22} превышает 20%, а причина его не указана, баллы не ставить.	0,5 балла

ЛШ Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 9.1. Гидроэщик. Внутри шарика находятся вода и металлический цилиндр (воздух удален). Развязывать или рвать шарик запрещено. **(При нарушении этого пункта за данное задание ставится ноль баллов).**

Массой и объемом стенок шарика можно пренебречь. Плотность воды $\rho = 1\,000\text{ кг/м}^3$.

Определите массу $m_{\text{ц}}$ металлического цилиндра, находящегося в шарике, и массу $m_{\text{в}}$ воды в шарике.

Оборудование: шарик с водой и металлическим цилиндром, стакан с водой, нитка, линейка, дополнительный груз массы $m = (50 \pm 1)\text{ г}$, штатив со стержнем.

ЛШ Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 9.1. Гидроэщик. Внутри шарика находятся вода и металлический цилиндр (воздух удален). Развязывать или рвать шарик запрещено. **(При нарушении этого пункта за данное задание ставится ноль баллов).**

Массой и объемом стенок шарика можно пренебречь. Плотность воды $\rho = 1\,000\text{ кг/м}^3$.

Определите массу $m_{\text{ц}}$ металлического цилиндра, находящегося в шарике, и массу $m_{\text{в}}$ воды в шарике.

Оборудование: шарик с водой и металлическим цилиндром, стакан с водой, нитка, линейка, дополнительный груз массы $m = (50 \pm 1)\text{ г}$, штатив со стержнем.

ЛШ Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 9.1. Гидроэщик. Внутри шарика находятся вода и металлический цилиндр (воздух удален). Развязывать или рвать шарик запрещено. **(При нарушении этого пункта за данное задание ставится ноль баллов).**

Массой и объемом стенок шарика можно пренебречь. Плотность воды $\rho = 1\,000\text{ кг/м}^3$.

Определите массу $m_{\text{ц}}$ металлического цилиндра, находящегося в шарике, и массу $m_{\text{в}}$ воды в шарике.

Оборудование: шарик с водой и металлическим цилиндром, стакан с водой, нитка, линейка, дополнительный груз массы $m = (50 \pm 1)\text{ г}$, штатив со стержнем.

Возможное решение. Убедимся, что центр масс линейки находится в середине её длины. Для этого уравновесим линейку на горизонтальном стержне. На один край линейки подвесим на нити груз известной массы, а на другой – шарик. Уравновесим линейку так, чтобы плечи были как можно больше, а центр масс линейки располагался над стержнем. Измерим плечи.

$$L_{\Gamma} = 15,0 \text{ см}$$

$$L_{\text{ш}} = 9,5 \text{ см}$$

Запишем условие равновесия:

$$m_{\Gamma}gL_{\Gamma} = (m_{\text{в}} + m_{\text{т}})gL_{\text{ш}}, \text{ откуда } m_{\text{в}} + m_{\text{т}} = m_{\Gamma}\frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{ш}}} = 98,7\text{г}$$

Примечание: В авторской установке использовался груз массой $m_{\Gamma} = 62,5 \text{ г}$

Повторим опыт полностью погрузив шарик в воду.

$$L'_{\Gamma} = 7,1 \text{ см}$$

$$L'_{\text{ш}} = 15,0 \text{ см}$$

Сила тяжести воды, находящейся в шарике, полностью компенсируется силой Архимеда, поэтому условие равновесия выглядит следующим образом:

$$m_{\Gamma}gL'_{\Gamma} = (m_{\text{т}}g - \rho_{\text{в}}gV_{\text{т}})L'_{\text{ш}}, \text{ откуда } m_{\text{т}} = m_{\Gamma}\frac{L'_{\Gamma}}{L'_{\text{ш}}} + \rho_{\text{в}}V_{\text{т}}$$

Для определения объема тела прижмем его к поверхности шарика и через оболочку шарика линейкой измерим высоту и диаметр тела.

$$h = 1,7 \text{ см}, \quad d = 1,9 \text{ см}$$

$$\text{Тогда } V_{\text{т}} = \frac{h\pi d^2}{4} = 4,81 \text{ см}^3$$

$$m_{\text{т}} = 34,4 \text{ г}$$

$$\text{Тогда } m_{\text{в}} = 98,7\text{г} - 34,4\text{г} = 64,3\text{г}$$

Оценим погрешность

$$\begin{aligned} \Delta m_{\text{т}} &= \Delta\left(m_{\Gamma}\frac{L'_{\Gamma}}{L'_{\text{ш}}}\right) + \Delta(\rho_{\text{в}}V_{\text{т}}) = m_{\Gamma}\frac{L'_{\Gamma}}{L'_{\text{ш}}}\left(\frac{\Delta m_{\Gamma}}{m_{\Gamma}} + \frac{\Delta L'_{\Gamma}}{L'_{\Gamma}} + \frac{\Delta L'_{\text{ш}}}{L'_{\text{ш}}}\right) + \rho_{\text{в}}V_{\text{т}}\left(\frac{\Delta h}{h} + 2\frac{\Delta d}{d}\right) \\ &= 62,5 \frac{7,1}{15,0} \left(\frac{1}{62,5} + \frac{0,1}{7,1} + \frac{0,1}{15}\right) + 1 \cdot 4,81 \left(\frac{0,1}{1,7} + 2\frac{0,1}{1,9}\right) = 1,9 \text{ г} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta m_{\text{в}} &= \Delta\left(m_{\Gamma}\frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{ш}}}\right) + \Delta m_{\text{т}} = m_{\Gamma}\frac{L_{\Gamma}}{L_{\text{ш}}}\left(\frac{\Delta m_{\Gamma}}{m_{\Gamma}} + \frac{\Delta L_{\Gamma}}{L_{\Gamma}} + \frac{\Delta L_{\text{ш}}}{L_{\text{ш}}}\right) + \Delta m_{\text{т}} \\ &= 62,5 \cdot \frac{15}{9,5} \left(\frac{1}{62,5} + \frac{0,1}{15} + \frac{0,1}{9,5}\right) + 1,9 = 5,2 \text{ г} \end{aligned}$$

Окончательно получаем

$$m_{\text{т}} = (34 \pm 2)\text{г}$$

$$m_{\text{в}} = (64 \pm 5)\text{г}$$

ЛIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Критерии оценивания (15 баллов)

1	Выполнена проверка расположения центра масс линейки в ее центре	1 балл
2	Выполнено взвешивание шарика в воздухе	1 балл
3	При этом ц. м. линейки был на опоре	0,5 балла
4	При этом длины плеч были максимально возможными	0,5 балла
5	Условие равновесия в воздухе	1 балл
6	Выполнено взвешивание шарика в сосуде с водой	1 балл
7	При этом ц. м. линейки был на опоре	0,5 балла
8	При этом длины плеч были максимально возможными	0,5 балла
9	Условие равновесия в воде	2 балла
10	Предложен разумный способ определения объема металлического цилиндра	1 балл
11	Найдена масса тела с отклонением не более 10% (не более 20% - 1 балл)	2,5 балла
12	Найдена масса воды с отклонением не более 10% (не более 20% - 1 балл)	2,5 балла
13	Оценена погрешность	1 балл

Требования к организаторам:

Шарик с водой и телом: изготавливается из прочного непрозрачного воздушного шарика внутрь которого нужно поместить металлическое цилиндрическое тело массой 30-40 грамм и воду объемом 60-70 мл. Тело должно быть строго цилиндрическим и с гладкими краями, чтобы оно не могло повредить шарик. Массы тел и объемы воды должны быть одинаковыми во всех экземплярах установок. Воздух из шарика нужно полностью удалить, а шарик герметично завязать. Для удаления воздуха можно вставить пустой шприц объемом 40 мл в шарик и с его помощью откачать воздух, пока в шприц не начнет поступать вода (см. фото), затем выдавить воду из шприца обратно в шарик, не запуская в него воздух. После этого нужно перевязать шарик ниткой ниже шприца и извлечь шприц.



Стакан с водой: обрезанная бутылка объемом 1,5-2 литра высотой не менее 15 см, заполненная водой примерно до уровня 12 см

Нитка: Кусок обычной х/б нити, которую можно рвать руками. Длина куска около 1 метра.

Линейка: Деревянная линейка длиной 30 см.

Груз известной массы: грузик массой 50 г.

Штатив со стержнем: штатив с муфтой и горизонтальным стержнем, который можно использовать в качестве опоры для рычага.

Задание 9.2. Нагревание батарейки. В этой задаче вам предстоит исследовать, как изменяется напряжение на батарейке при её нагреве (охлаждении).

Оборудование: 2 одинаковые батарейки АА; термостойкий пакет; ёмкость для воды; нитка; горячая вода (по требованию); мультиметр с проводами; электронный термометр; макетная плата; миллиметровая бумага формата А5 (для построения графиков).

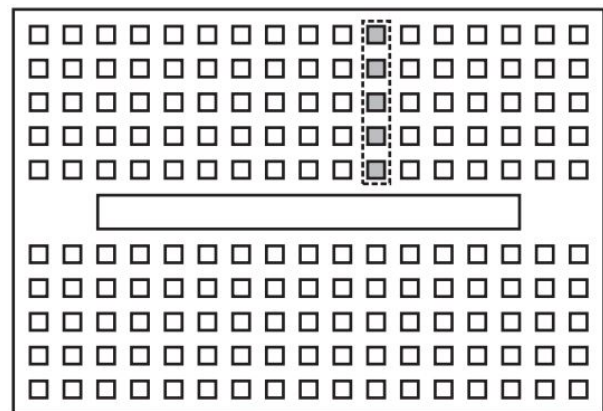
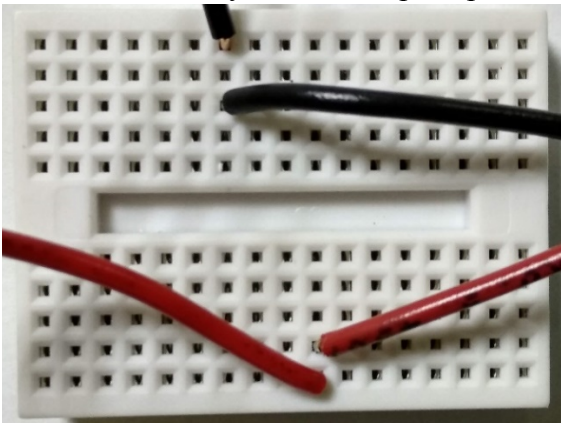
Немного теории. Напряжение на батарейке зависит от температуры: $U(T) = U_0 + \Delta U(T)$, где U_0 – напряжение при комнатной температуре. При планировании эксперимента учтите, что изменение напряжения мало по сравнению с U_0 .

Задание.

1. Измерьте U_0 .
2. Измерьте зависимость ΔU от температуры.
3. Постройте график измеренной зависимости $U(T)$.
4. Предложите функцию, описывающую зависимость ΔU от температуры. Определите параметры предложенной функции.
5. Возрастает или уменьшается напряжение при росте температуры?

Примечания.

1. Макетная плата (см. рис) используется для соединения проводов и подключения мультиметра. Каждые пять соседних гнезд макетной платы, расположенные в одном ряду, внутри платы соединены между собой. Например, соединены выводы, отмеченные на рисунке серым цветом.



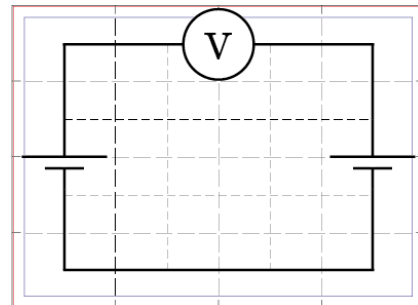
2. Батарейки не должны непосредственно контактировать с водой и не должны быть мокрыми. Используйте термостойкий пакет.

ЛШ Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

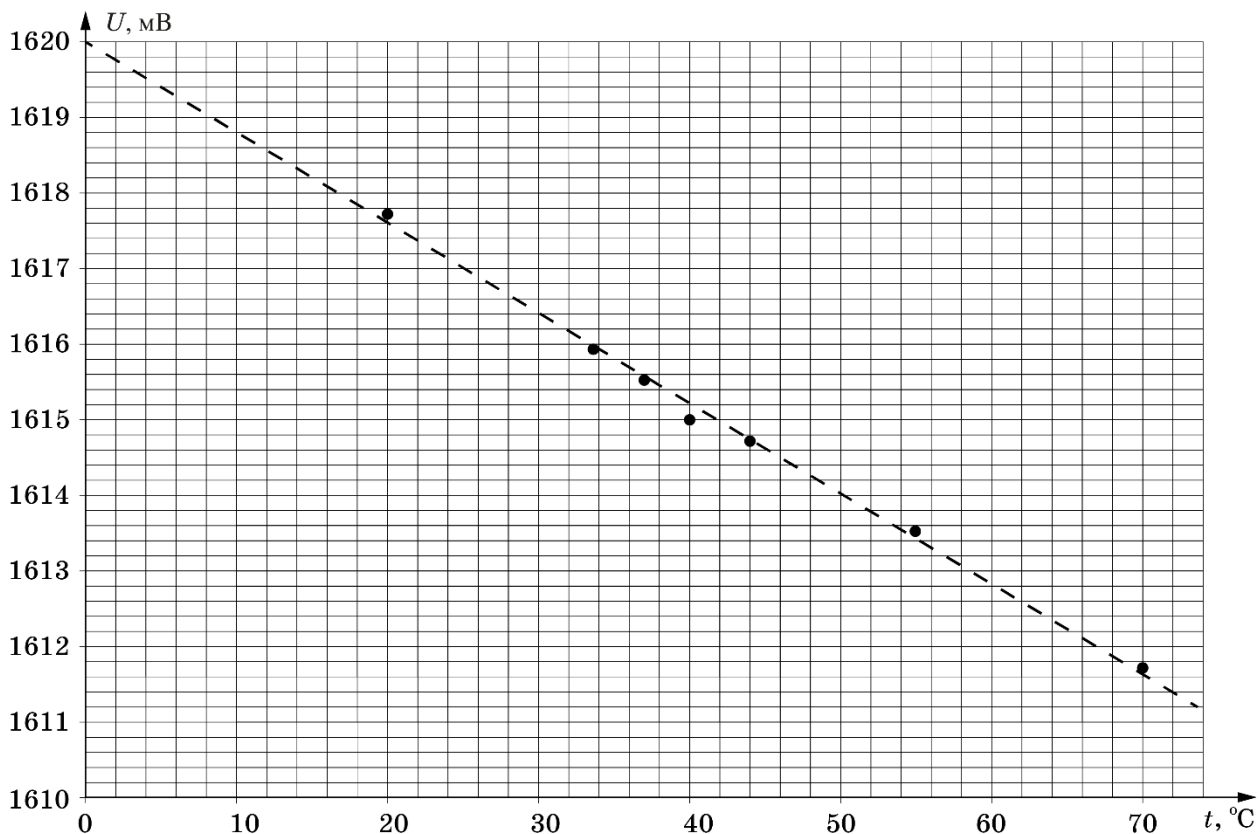
Решение. (Ноян Алексей).

Измерим напряжение батарейки при комнатной температуре.
 $U_0 = 1,62$ В.

Поместим батарейку в термостойкий пакет. Нитью обмотаем пакет так, чтобы исключить случайное попадание воды на батарейку. Изменение напряжения очень мало: при её нагревании от комнатной температуры до 70 градусов оно составляет около 5 мВ. Поэтому нужно собрать дифференциальную схему с двумя батарейками, как показано на рисунке, и нагревать одну из них. Тогда мы сможем использовать вольтметр в диапазоне его максимальной чувствительности 200 мВ и измерять десятые доли мВ.



Результаты измерений показаны на графике. $\Delta U < 0$, то есть напряжение уменьшается при повышении температуры.



Зависимость ΔU от температуры линейная. Коэффициент наклона $0,12$ мВ/°C.

LIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Критерии оценивания (15 баллов)

1	Выполнено измерение U_0 батареек при комнатной температуре	1 балл
2	Идея использования дифференциальной схемы измерения $\Delta U(T)$	3 балла
3	Указано, что измерения $\Delta U(T) < 0$	2 балла
4	Число снятых точек (10 и ли более)	4 балла
	(7, 8 или 9)	3 балла
	(5 или 6)	2 балла
	(2, 3 или 4)	1 балл
5	График $\Delta U(T)$ а) отложены единицы измерения по осям (0,5 балла) б) выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла) в) нанесены шкалы на оси (0,5 балла) г) соответствие нанесённых точек табличным значениям (0,5 балла)	2 балла
6	Обоснование вывода, что зависимость линейная	1 балл
7	Коэффициент наклона попал в ворота $[0,10; 0,1,4]$ мВ/°С	2 балла
	ворота $[0,07; 0,18]$ мВ/°С	1 балл

Задача 10-1. «Серый» ящик. В «сером» ящике находится электрическая цепь, схема которой представлена на рис. 1. Цепь состоит из двух резисторов R_1 и R_2 ($R_1 > R_2$) и трёх разноцветных проводов, выведенных наружу.

Определите сопротивление резисторов R_1 и R_2 и укажите цвет проводов, присоединенных к каждому из резисторов, а также к средней точке цепи.

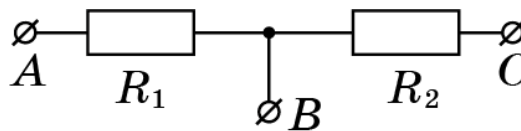


Рис.1. Схема цепи в «сером» ящике.

Примечание: выданный вам источник питания постоянного тока (далее Источник) содержит ЭДС U (неизвестна) и включенный последовательно с ней резистор сопротивлением $r = 1\,000$ Ом (рис. 2).

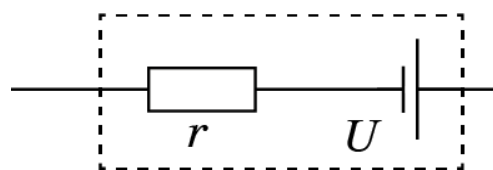


Рис.2 Схема источника постоянного тока.

Оборудование: серый ящик, вольтметр, Источник.

Задача 10-2. «Серый» ящик. В «сером» ящике находится электрическая цепь, схема которой представлена на рис. 1. Цепь состоит из двух резисторов R_1 и R_2 ($R_1 > R_2$) и трёх разноцветных проводов, выведенных наружу.

Определите сопротивление резисторов R_1 и R_2 и укажите цвет проводов, присоединенных к каждому из резисторов, а также к средней точке цепи.

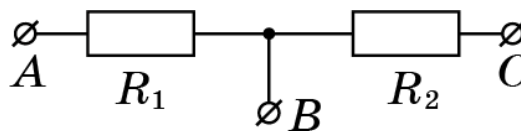


Рис.1. Схема цепи в «сером» ящике.

Примечание: выданный вам источник питания постоянного тока (далее Источник) содержит ЭДС U (неизвестна) и включенный последовательно с ней резистор сопротивлением $r = 1\,000$ Ом (рис. 2).

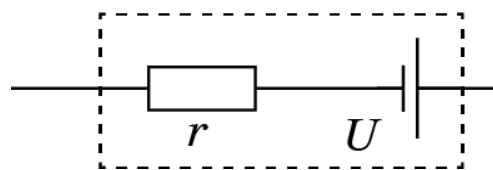
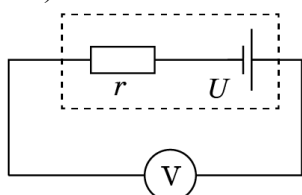


Рис.2 Схема источника постоянного тока.

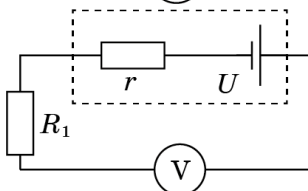
Оборудование: серый ящик, вольтметр, Источник.

Возможное решение.

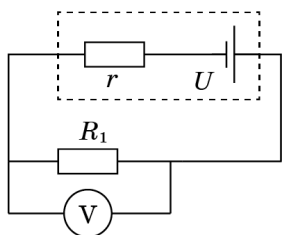
- Предварительные эксперименты с выданным оборудованием приводят к выводу, что
 - Мультиметр в режиме омметра и миллиамперметра не работает.
 - При последовательном соединении вольтметра с Источником, а затем вольтметра с Источником и одним из резисторов убеждаемся, что внутреннее сопротивление вольтметра соизмеримо с внутренним сопротивлением источника и его необходимо учитывать при вычислении сопротивлений цепи.
 - Чем меньше величина резистора, включенного последовательно с вольтметром и Источником, тем больше будут показания вольтметра. (При подключении к Источнику параллельно соединенных резистора из «серого» ящика и вольтметра, результат будет противоположный: чем меньше сопротивление резистора, тем меньше напряжение на вольтметре). Таким образом, легко установить и проверить, какого цвета провод соответствует выводам (A, B, C) цепи «серого» ящика.
- Для более точного определения сопротивления резисторов в «сером» ящике проведем указанные ниже измерения и в соответствии с законом Ома запишем выражения для напряжений на вольтметре U_0 , U_1 , U_2 в каждом случае (здесь R_B – сопротивление вольтметра, все остальные обозначения соответствуют обозначениям в условии задачи).



$$U_0 = U \frac{R_B}{r + R_B}. \quad (1)$$



$$U_1 = U \frac{R_B}{r + R_1 + R_B}. \quad (2)$$



$$U_2 = U \frac{R_1 R_B}{r R_1 + R_1 R_B + r R_B}. \quad (3)$$

Запишем выражения (1) – (3) в обратных величинах:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{U} + \frac{1}{U} \frac{r}{R_B}. \quad (4)$$

$$\frac{1}{U_1} = \frac{1}{U} + \frac{1}{U} \frac{r}{R_B} + \frac{1}{U} \frac{R_1}{R_B}. \quad (5)$$

$$\frac{1}{U_2} = \frac{1}{U} + \frac{1}{U} \frac{r}{R_B} + \frac{1}{U} \frac{r}{R_1}. \quad (6)$$

Вычтем (4) из (5) и (6):

$$\frac{U_0 - U_1}{U_0 U_1} = \frac{1}{U} \frac{R_1}{R_B}. \quad (7)$$

$$\frac{U_0 - U_2}{U_0 U_2} = \frac{1}{U} \frac{r}{R_1}. \quad (8)$$

Разделим (4) на (7) и (8):

$$\frac{U_1}{U_0 - U_1} = \frac{R_B + r}{R_1}. \quad (9)$$

$$\frac{U_2}{U_0 - U_2} = R_1 \frac{r + R_B}{r R_B}. \quad (10)$$

Умножим (9) на (10):

$$\frac{U_1 U_2}{(U_0 - U_1)(U_0 - U_2)} = \frac{(r + R_B)^2}{r R_B}. \quad (11)$$

Обозначив левую часть (11) через k , получим квадратное уравнение для R_B

$$(r + R_B)^2 = k r R_B$$

Его решение

$$(r + R_B)^2 = k r R_B$$

$$R_B = \frac{r}{2} \left(k \pm k \sqrt{1 - \frac{4}{k}} - 2 \right). \quad (12)$$

Заметим, что при $R_B \approx r$ значение параметра k очень близко к 4, и слагаемым с корнем в (12) можно пренебречь.

Теперь из (9) находим сопротивление R_1 и аналогично ищем R_2 .

Заметим, что при R_B , приблизительно равном r , значение параметра k очень близко к 4 и слагаемым с квадратным корнем в (12) можно пренебречь. Теперь из (9) находим величину сопротивления R_1 . Аналогично определяем величину R_2 .

Критерии оценивания (15 баллов)

1)	Установлена «неидеальность» вольтметра	1 балл
2)	Обоснована методика сравнения сопротивлений резисторов в «сером» ящике	1 балл
3)	Приведены результаты измерений напряжения при подключении «серого» ящика к цепи (из вольтметра и источника) различными выводами	1 балл
4)	Установлено соответствие цвета провода с маркировкой выводов на схеме «серого» ящика	2 балла
5)	Составлена система трёх уравнений для нахождения сопротивления одного из резисторов (по 1 баллу за каждое уравнение)	3 балла
6)	Измерены напряжения U_0, U_1, U_2	1 балл
7)	Найдено сопротивление R_1	3 балла
8)	Найдено сопротивление R_2	3 балла

Указания для организаторов.

1. «Серый» ящик должен содержать два резистора с величинами порядка $R_2 = (500 - 700) \text{ Ом}$ и $R_1 = (1300 - 1700) \text{ Ом}$. Сам ящик может представлять собой миниатюрную сборку-скрутку замотанную в изоленту и, желательнее, обтянутую термоусадочным кембриком (см. фото). Выводы должны быть выполнены проводами трех различных цветов, причем необходимо обеспечить одинаковость цвета провода, присоединяемого к средней точке цепи, к выводам меньшего и большего по величине резисторов. Концы проводов следует залудить, т.е. сделать их пригодными для подключения к ним зажимов типа «крокодил».
2. Источник питания постоянного тока поместите в закрытой и защищенной от «взлома» коробочке (очень удобны и дешевы мини коробочки с губкой для чистки обуви). Внутри закрепите два элемента АА или ААА и резистор $r = 1\ 000 \text{ Ом}$, соединенные последовательно. К выводам припаяйте зажимы «крокодил».
3. Вольтметр представляет собой модернизированный мультиметр, из которого следует удалить предохранитель (в цепи измерителя токов), а также внутри мультиметра к выводам «СОМ» и «V,Ω,mA» (параллельно входу измерения сопротивлений) припаять резистор $R_B = 1100 \text{ Ом}$.

Замечание: сопротивления резисторов r и R_B могут несколько отличаться от указанных в данном описании, но в любом случае следует выполнить соотношение $R_B = 1,1 r$.

Задание 10.2. Теплоёмкость резистора

С помощью выданного оборудования определите:

- 1) зависимость мощности тепловых потерь от температуры резистора (постройте график).
- 2) теплоёмкость резистора.

Оборудование: резистор сопротивлением $R = 100$ Ом, стакан, регулируемый источник постоянного напряжения (далее Источник), два мультиметра, термопара, секундомер, соединительные провода, зажим типа «крокодил», миллиметровая бумага (для построения графиков).

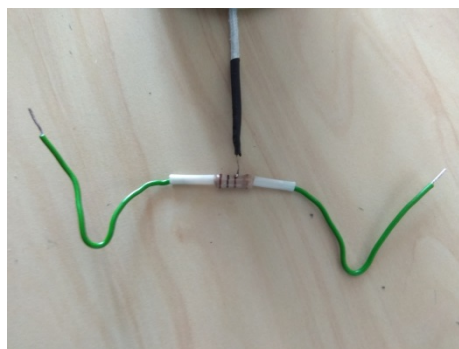
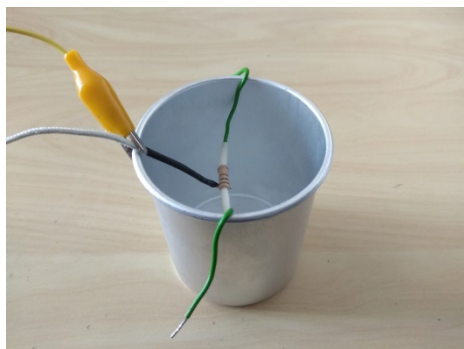
Примечание. Один из мультиметров используется в качестве вольтметра, второй (с термопарой) – для измерения температуры.

Подготовка электрической части установки

- 1) Изучите механизм регулировки выходного напряжения Источника.
- 2) В этом эксперименте **запрещается** устанавливать напряжение более **6 В**! Если резистор «сгорит», вы получите 0 баллов за экспериментальный тур.

Подготовка тепловой части установки

- 1) Закрепите резистор при помощи присоединённых к нему проводов так, чтобы он располагался по центру стакана, как показано на фото слева.



- 2) Присоедините резистор при помощи длинных проводов к клеммам Источника (параллельно вольтметру).
- 3) Подключите термопару ко второму мультиметру. Установите ручку мультиметра на указатель «ТЕМР» (режим измерения температуры по шкале Цельсия). Мультиметр должен показывать комнатную температуру. Бережно обращайтесь с термопарой – она достаточно хрупкая.
- 4) При помощи зажима типа «крокодил» закрепите термопару так, чтобы её спай плотно касался поверхности резистора (как на фото справа). **В ходе эксперимента резистор и спай нельзя перемещать!**

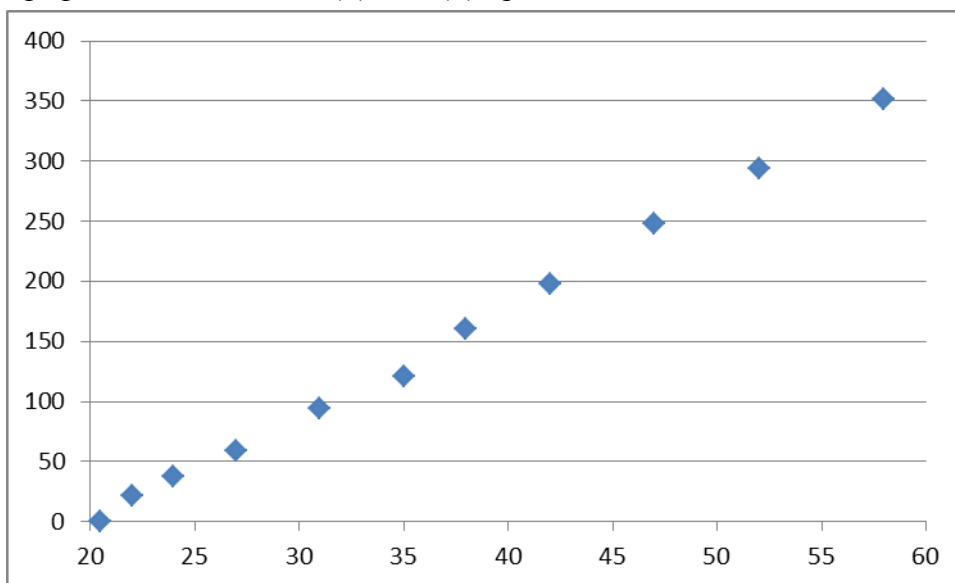
Возможное решение. (ВАЖНО: все числовые данные приведены для имеющегося в распоряжении авторов оборудования. Референтное значение необходимо определять «на месте», для каждой отдельной партии резисторов.)

Мощность, выделяющаяся на резисторе при протекании через него электрического тока, рассчитывается по формуле $P_{\text{э}} = U^2 / R$, где $P_{\text{э}}$ – мощность, U – напряжение на резисторе и R – его сопротивление. Считаем, что сопротивление резистора в исследуемом диапазоне температур не изменяется и равно 100 Ом.

В состоянии динамического равновесия (когда температура не изменяется) мощность электрического тока равна мощности тепловых потерь. Мощность тепловых потерь пропорциональна разности температур резистора и окружающего воздуха: $P_{\text{п}} = a(T - T_0)$. Для качественного исследования линейной зависимости необходимо измерить не менее 7-ми точек.

U , В	0	1,53	2,01	2,51	3,17	3,60	4,14	4,60	5,15	5,61	6,00
$P_{\text{э}}$, мВт	0	21,9	37,8	58,9	93,9	121	160	198	248	294	350
T , °С	20	22	24	27	31	35	38	42	47	52	58

График зависимости $P_{\text{э}}(T) = P_{\text{п}}(T)$ приведён ниже:



Мы видим, что зависимость хорошо аппроксимируется линейной функцией.

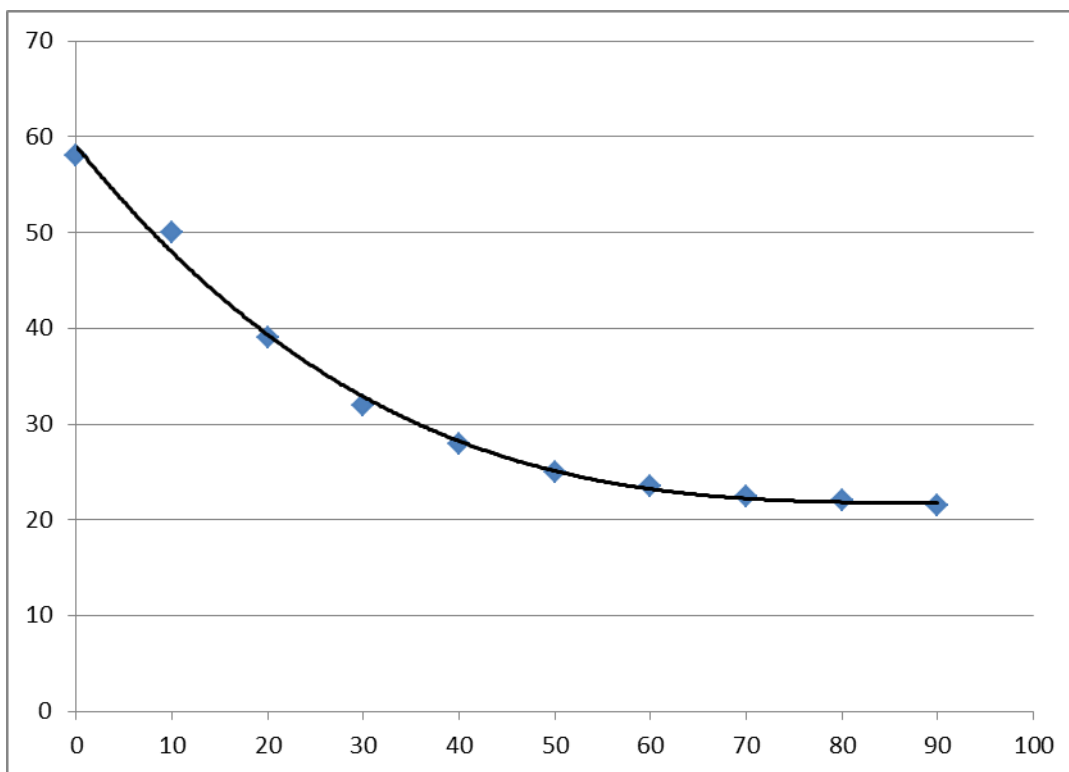
$$P = a(T - T_0)$$

Коэффициент теплопроводности a можно найти из углового коэффициента наклона графика $P(T)$. В данном случае $a = 9,3$ мВт/°С.

Отключим Источник, и исследуем процесс охлаждения резистора за счёт тепловых потерь.

τ , с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
T , °С	58	50	39	32	28	25	24	23	22	21

График зависимости $T(\tau)$ приведён ниже:



Мы видим, что данный процесс нелинейный. Его исследование можно провести несколькими способами.

1 ВАРИАНТ

Скорость падения температуры зависит от теплоёмкости резистора и мощности теплопередачи:

$$\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{Q}{C \Delta \tau} = \frac{P_{II}}{C}.$$

Так как мы знаем все параметры для расчёта мощности тепловых потерь $P_{II} = a(T - T_0)$, мы можем рассчитать теплоёмкость через мгновенную скорость падения температуры в какой либо момент времени

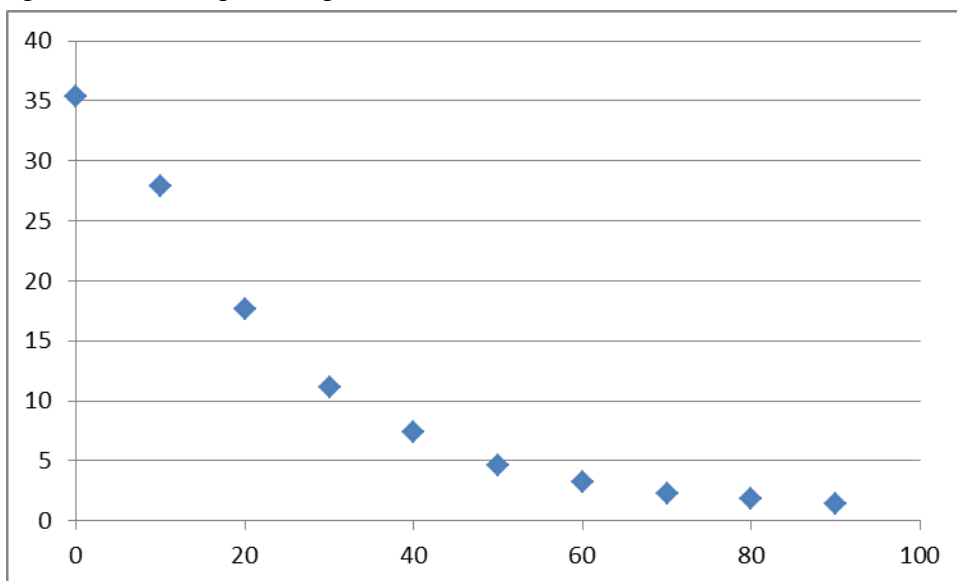
$$\frac{\Delta T}{\Delta \tau} = \frac{P_{II}}{C} = \frac{a(T - T_0)}{C} \Rightarrow C = \frac{a(T - T_0)}{\frac{\Delta T}{\Delta \tau}}.$$

Скорость падения температуры можно найти через наклон касательной к графику $T(\tau)$. Данные вычисления необходимо провести для нескольких моментов времени (**не менее 5**) и усреднить значение C , для уменьшения погрешности.

В данном случае $C \approx 0,2$ Дж/°С.

2 ВАРИАНТ

Построим по двум таблицам график зависимости мощности тепловых потерь от времени при остывании резистора.



Площадь под этим графиком имеет смысл выделившегося количества тепла Q . В частности, выделенная на графике площадь соответствует остыванию от 50°C до 25°C . Уравнение теплового баланса даёт:

$$Q = C\Delta T \rightarrow C = \frac{Q}{\Delta T}.$$

Площадь под графиком (количество теплоты) можно примерно найти как площадь трапеций. $Q \approx 525$ мДж, а $C \approx 0,21$ Дж/ $^{\circ}\text{C}$, что близко к предыдущему результату.

3 ВАРИАНТ

Некоторые дети могут использовать логарифмы: Предполагая, что закон изменения температуры со временем экспоненциальный, можно построить график зависимости $\ln(T/T_0)$ от времени. Данный график должен быть близок к линейному, а коэффициентом наклона будет отношение a/C . Если данным способом получен правильный ответ, его нужно оценивать полным баллом.

LIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Критерии оценивания (15 баллов)

1)	Получена теоретическая зависимость установившейся температуры T поверхности резистора от мощности тока P	1 балл
2)	Измерена зависимость установившейся температуры T поверхности резистора от мощности тока P <i>Не менее 7-ми точек</i> <i>Не менее 5-ти точек</i> <i>Менее 5-ти точек</i>	2 балла 2 балла 1 балл 0 баллов
3)	Построен график зависимости $P(T)$ Из них: <i>Подписаны оси, указаны единицы измерения</i> <i>Равномерная оцифровка шкал, график занимает не менее 70% рисунка</i> <i>Правильно перенесены все точки из таблицы</i>	2 балла 0,5 балла 0,5 балла 1 балл
4)	Определён коэффициент теплопередачи a <i>не менее чем по 5-ти точкам</i> <i>менее чем по 5-ти точкам</i>	1 балл 1 балл 0 баллов
5)	Снята зависимость температуры T резистора от времени τ при его остывании <i>Не менее 7-ми точек</i> <i>Не менее 5-ти точек</i> <i>Менее 5-ти точек</i>	2 балла 2 балла 1 балл 0 баллов
6)	Получена расчётная формула для теплоёмкости резистора C (для любого варианта)	2 балла
7)	Рассчитана теплоёмкость резистора C Из них: <i>Хорошее усреднение:</i> <i>Вариант 1: не менее 5-ти точек</i> <i>Вариант 2: не менее 3-х интервалов для площади</i> <i>Вариант 3: не менее 5-ти точек на логарифмическом графике</i> <i>Плохое усреднение:</i> <i>Вариант 1: не менее 3-х точек</i> <i>Вариант 2: не менее 2-х интервалов для площади</i> <i>Вариант 3: не менее 3-х точек на логарифмическом графике</i> <i>Нет усреднения:</i>	3 балла 3 балла 1 балл 0 баллов
8)	Попадание в C референтное значение <i>Попадание в интервал: референтное значение $\pm 10\%$</i> <i>Попадание в интервал: референтное значение $\pm 25\%$</i> <i>Не попадание в интервал: референтное значение $\pm 25\%$</i>	2 балла 2 балла 1 балл 0 баллов

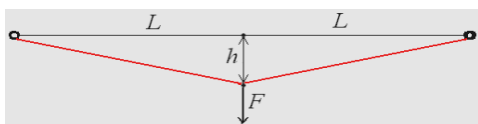


Рис. 1

Задача 11.1 Гук или не Гук? Пять банковских резинок соединены последовательно друг с другом в цепочку, которая натянута силой T_0 до длины $2L$ и прикреплена к планке. Если к середине цепочки приложить поперечную силу F , то точка приложения этой силы

сместится на некоторое расстояние h , называемое стрелой прогиба (рис. 1).

- 1) Снимите зависимость h от F .
- 2) На основе полученных данных графическим методом определите коэффициент жёсткости k цепочки и силу T_0 её начального натяжения.

Оборудование: цепочка из банковских резинок, закреплённая на планке; две канцелярские клипсы; большая скрепка массой 1,7 г; кусок мерной лены; кусочек скотча; шесть одинаковых грузов (гаек) массой $(10,0 \pm 0,5)$ г; лист миллиметровой бумаги формата А5 (для построения графика).

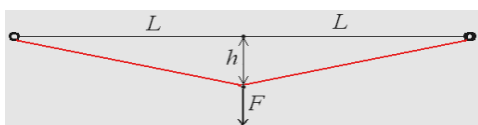


Рис. 2

Задача 11.1 Гук или не Гук? Пять банковских резинок соединены последовательно друг с другом в цепочку, которая натянута силой T_0 до длины $2L$ и прикреплена к планке. Если к середине цепочки приложить поперечную силу F , то точка приложения этой силы

сместится на некоторое расстояние h , называемое стрелой прогиба (рис. 1).

- 1) Снимите зависимость h от F .
- 2) На основе полученных данных графическим методом определите коэффициент жёсткости k цепочки и силу T_0 её начального натяжения.

Оборудование: цепочка из банковских резинок, закреплённая на планке; две канцелярские клипсы; большая скрепка массой 1,7 г; кусок мерной лены; кусочек скотча; шесть одинаковых грузов (гаек) массой $(10,0 \pm 0,5)$ г; лист миллиметровой бумаги формата А5 (для построения графика).

Возможное решение.

1. а) Прикрепим к краю стола канцелярскими клипсами планку с натянутой цепочкой из банковских резинок. К середине цепочки подвесим с помощью большой скрепки груз так, чтобы он мог свободно опускаться по вертикали. К середине планки скотчем прикрепим кусок мерной ленты (см. фото.) с помощью которого измеряем стрелу прогиба h .



б) Проводим измерения стрелы прогиба во всём доступном диапазоне значений F . Результаты занесём в первые два столбца Таблицы 1.

в) Найдём удлинение половины цепочки: $x = \sqrt{L^2 + h^2} - L \approx \frac{h^2}{2L}$.

г) Найдём выражение для T . Так как $\frac{(F/2)}{T} = \frac{h}{\sqrt{L^2 + h^2}} \approx \frac{h}{L}$, то $T \approx \frac{FL}{2h}$.

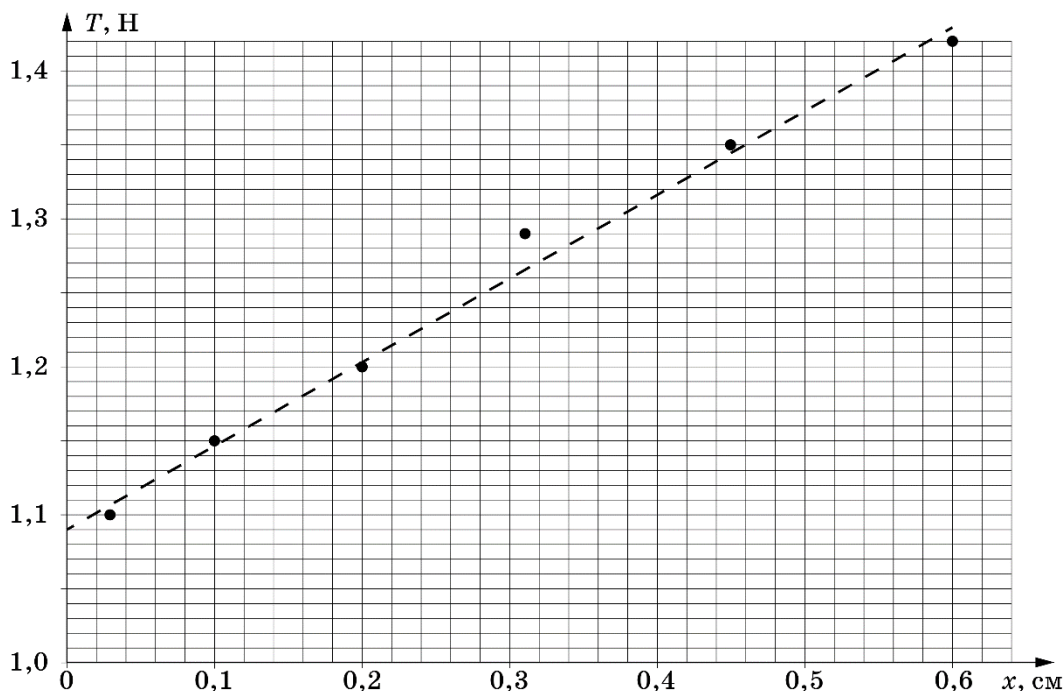
У нас максимальная стрела прогиба $h = 56$ мм при $L = 265$ мм, поэтому приближенная формула при определении T даёт точность не хуже 3%.

д) Рассчитаем значения T и x и внесём их в Таблицу 1.

Таблица 1

F , Н	h , см	$x \approx h^2/(2L)$, см	$T \approx FL/(2h)$, Н
0,10	1,2	0,027	1,10
0,20	2,3	0,10	1,15
0,30	3,3	0,20	1,20
0,40	4,1	0,31	1,29
0,50	4,9	0,45	1,35
0,60	5,6	0,60	1,42

ж) Строим график зависимости натяжения T от x .



ЛШ Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Экстраполяция графика к значениям $x = 0$ позволит найти значение T_0 : $T_0 = 1,09$ Н.

По угловому коэффициенту графика найдём коэффициент жёсткости $k_{0,5}$ половины цепочки:
 $k_{0,5} = 56,9$ Н/м.

Коэффициент жёсткости всей цепочки $k = 28,4$ Н/м.

Основной вклад в погрешность измерений вносит разброс масс гаек (5%) и погрешность в измерении h (5%). В итоге погрешность измерений не превышает 10% (более строгий расчёт даёт 7%).

Критерии оценивания (15 баллов)

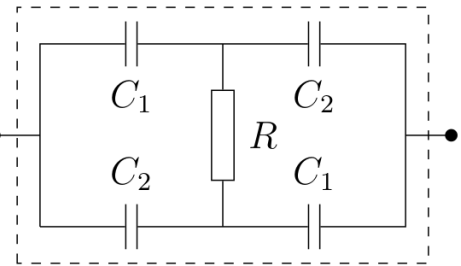
1	Описание методики проведения эксперимента (конструкции установки: крепление планки, мерной ленты, грузов). Измерено расстояние $2L$ (0,5 балла); Учтена масса скрепки (0,5 балла).	2 балла
2	Таблица измерений h от F	1 балл
3	Повторное измерение	1 балл
4	Аналитическое выражение, связывающее удлинения цепочки x со стрелой прогиба h	2 балла
5	Аналитическое выражение, связывающее силу T натяжения цепочки с силой F	2 балла
6	График зависимости $T(x)$: а) отложены единицы измерения по осям (0,5 балла) б) выбран рациональный масштаб по осям (0,5 балла) в) нанесены шкалы на оси (0,5 балла) г) соответствие нанесённых точек табличным значениям (0,5 балла) д) проведена прямая $T(x)$ (1 балл)	3 балла
7	Вычислен коэффициент k (если в ответе дано $k_{0,5}$, то ставить 1 балл)	2 балла
8	Найдена сила натяжения T_0	1 балл
9	Оценена погрешность измерений	1 балл

ЛIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 11.2. «Серый» ящик с конденсаторами.

В предложенном вам «сером ящике» находятся резистор сопротивлением R и четыре конденсатора емкостями C_1 и C_2 , соединенные так, как показано на схеме. Перед туром конденсаторы проходили «тренировку» - в течение нескольких часов находились под напряжением 10 В.

Определите значение емкостей C_1 и C_2 .



Приборы и оборудование: «серый» ящик, эталонный конденсатор емкости $C_0 = (1,0 \pm 0,2)$ мФ, батарейка «Крона», мультиметр, зажим типа «крокодил».

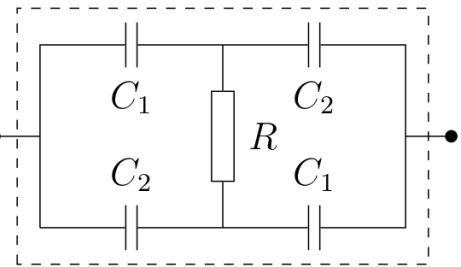
Примечание: 1) вывод серого ящика, помеченный знаком « \leftrightarrow » (в нашем случае это белый провод) допустимо соединять только с «минусом» батарейки, а положительный вывод эталонного конденсатора C_0 – с «плюсом» батарейки.

ЛIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 11.2. «Серый» ящик с конденсаторами.

В предложенном вам «сером ящике» находятся резистор сопротивлением R и четыре конденсатора емкостями C_1 и C_2 , соединенные так, как показано на схеме. Перед туром конденсаторы проходили «тренировку» - в течение нескольких часов находились под напряжением 10 В.

Определите значение емкостей C_1 и C_2 .



Приборы и оборудование: «серый» ящик, эталонный конденсатор емкости $C_0 = (1,0 \pm 0,2)$ мФ, батарейка «Крона», мультиметр, зажим типа «крокодил».

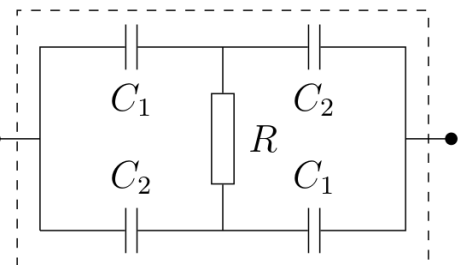
Примечание: 1) вывод серого ящика, помеченный знаком « \leftrightarrow » (в нашем случае это белый провод) допустимо соединять только с «минусом» батарейки, а положительный вывод эталонного конденсатора C_0 – с «плюсом» батарейки.

ЛIII Всероссийская олимпиада школьников по физике. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Задание 11.2. «Серый» ящик с конденсаторами.

В предложенном вам «сером ящике» находятся резистор сопротивлением R и четыре конденсатора емкостями C_1 и C_2 , соединенные так, как показано на схеме. Перед туром конденсаторы проходили «тренировку» - в течение нескольких часов находились под напряжением 10 В.

Определите значение емкостей C_1 и C_2 .

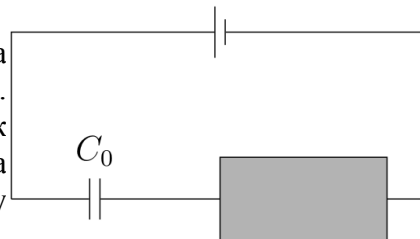


Приборы и оборудование: «серый» ящик, эталонный конденсатор емкости $C_0 = (1,0 \pm 0,2)$ мФ, батарейка «Крона», мультиметр, зажим типа «крокодил».

Примечание: 1) вывод серого ящика, помеченный знаком « \leftrightarrow » (в нашем случае это белый провод) допустимо соединять только с «минусом» батарейки, а положительный вывод эталонного конденсатора C_0 – с «плюсом» батарейки.

Возможное решение. Соединим последовательно «серый» ящик, эталонный конденсатор C_0 и батарейку.

1) Сразу после замыкания цепи измерим напряжение U_1 на «сером» ящике или U_{01} на эталонном конденсаторе. Измерения нужно производить достаточно быстро, так как после подключения батарейки внутри «серого» ящика начинается процесс перераспределения зарядов между конденсаторами.



2) Время от времени контролируем напряжение на «сером» ящике или на эталонном конденсаторе до тех пор, пока оно не перестанет изменяться. Обозначим установившееся на «сером» ящике напряжение U_2 (или U_{02} на эталонном конденсаторе).

$$\text{Для случая 1) запишем: } U_1 = U_0 \left(\frac{C_0}{C_0 + \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}} \right) \text{ или } \frac{U_0}{U_1} = 1 + \frac{1}{C_0} \frac{2C_1C_2}{C_1 + C_2}. \quad (1)$$

Здесь конденсаторы C_1 и C_2 верхней ветви «серого» ящика, как и конденсаторы C_1 и C_2 нижней ветви зарядились, но выравнивания потенциалов через резистор R ещё не началось. В случае 2) выводы резистора оказываются под одним и тем же потенциалом, а напряжение

$$U_2 = U_0 \left(\frac{C_0}{C_0 + \frac{C_1 + C_2}{2}} \right) \text{ или } \frac{U_0}{U_2} = 1 + \frac{C_1 + C_2}{2C_0}. \quad (2)$$

$$\text{Решая систему уравнений (1) и (2) получим: } C_1C_2 = C_0^2 \left(\frac{U_0}{U_1} - 1 \right) \left(\frac{U_0}{U_2} - 1 \right) = A. \quad (3)$$

$$C_1 + C_2 = 2C_0 \left(\frac{U_0}{U_2} - 1 \right) = B. \quad (4)$$

Из системы уравнений (3) и (4) найдём интересующие нас ёмкости C_1 и C_2 .

$$C_{1,2} = \frac{B}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{B}{2} \right)^2 - A}.$$

Систему уравнений аналогичную (1) – (4) можно получить для напряжений U_{01} и U_{02} .

В нашем случае $U_0 = 9,28$ В, $U_1 = 3,72$ В, $U_2 = 3,02$ В, $C_0 = 1,0$ мФ.

Тогда $C_1 = 3,2$ мФ, $C_2 = 1,0$ мФ.

Критерии оценивания (15 баллов)

1	Указано, что конденсаторы были разряжены или выполнена их разрядка	1 балл
2	Измерено U_1 (1 балл) и описана последовательность его измерения	2 балла
3	Измерено U_2 (1 балл) и описана последовательность его измерения (указано, что необходимо убедиться в окончании процесса перезарядки)	2 балла
4	Проведены повторные измерения пунктов 2) и 3)	1 балл
5	Получен (теоретически) один из вариантов формулы (1)	2 балла
6	Получен (теоретически) одна из вариантов формулы (2)	2 балла
7	Решена система уравнений и записана формула (3)	1 балл
8	Решена система уравнений и записана формула (4)	1 балл
9	Найдена ёмкость C_1 (результат попал в 20% погрешность)	1 балл
10	Найдена ёмкость C_2 (результат попал в 20% погрешность)	1 балл
11	Оценена погрешность измерения емкостей	1 балл