

**Всероссийская олимпиада школьников 2020-2021 года**

**Муниципальный этап**

**Бланк заданий**

ФИО составителя: Абдрашитов Сергей Владимирович

Электронная почта составителя: [abds@tpu.ru](mailto:abds@tpu.ru)

Всероссийская олимпиада школьников по физике 2020-2021 года.  
Муниципальный этап. 7 класс.  
Время выполнения 180 минут. Каждая задача оценивается в 10 баллов.  
**Поясняйте свой ответ.** Желаем успехов!

Задача 1. Таков путь карандаша

Для ведения записей и конспектов инженер Иван использует механический карандаш с HB грифелями длиной  $L=6$  см и диаметром  $d=0.7$  мм. Одной упаковки грифелей (12 штук) ему хватает на  $t_1=28$  дней.

Сколько грифелей использует Иван за календарный год?

Путь какой длины проводит Иван карандашом за год, если ширина оставляемой линии соответствует диаметру грифеля, а толщина оставляемого на бумаге слоя графита составляет приблизительно  $a=30$  нм?

Примечание.

$V=\pi r^2 h$ , где  $V$  – объём цилиндра,  $r$  – его радиус,  $h$  – его высота,  $\pi \approx 3.14$ .  $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$

Решение

Количество грифелей, используемых за год:  $N = 12 \cdot 365 / 28 = 156,4 = 157$  штук

Путь  $S$ , который проходит карандаш за год, можно определить исходя из того, что объём грифелей, определяемый как объём цилиндра, равен объёму следа, оставляемого карандашом на бумаге – объём параллелограмма. Объём грифеля – это площадь его поперечного сечения, умноженная на высоту. Объём следа – это ширина следа (диаметр грифеля), умноженная на толщину следа, умноженная на длину следа.

$S \cdot a \cdot d = N \pi (d/2)^2 L$ , откуда  $S = N \pi d L / (4 \cdot a) = 12 \cdot 365 \cdot 3.14 \cdot 6 \cdot 10^{-2} / (28 \cdot 4 \cdot 30 \cdot 10^{-9}) = 171195 \text{ м} = 172 \text{ км}$ .

Критерии оценивания

Определено количество грифелей, используемых за год (365 или 365.25 дней) (3 б)

Определён путь карандаша: (7 б):

1. Идея, что объём грифеля равен объёму оставшегося на бумаге следа (2 б)
2. Записано выражение для вычисления объёма  $N$  грифелей (1 б)
3. Записано выражение для объёма следа (1 б)
4. Получен правильный численный ответ (3 б)

Выражения в п.2 и п.3 могут быть записаны численно, за это снижать оценку не следует, поскольку в задании не требовалось получать общую формулу. Однако, если выражения записаны численно, то содержат ошибку, то это 0.

Задача 2. Лёд ледоколу не помеха

Атомоход Таймыр двигался по расписанию из Мурманска в Зубовку. На пути атомоход встретил участок Кольского залива, покрытого льдом. Атомному ледоколу это не помешало завершить путь, однако, он прибыл в пункт назначения на  $t=25$  минут позже назначенного времени. Сколько времени атомоход пробирался через льды, если его скорость движения по свободной воде составляет  $V_1=17.5$  узлов, а при движении по воде, покрытой льдом,  $V_2=5.0$  узлов? Какова длина участка, покрытого льдом?

Примечание 1 узел = 1.8 км/час

Решение

Пусть  $t_0$  – запланированное время движения, тогда  $S=V_1 t_0$  – расстояние от Мурманска до Зубовки. Пусть  $T$  – время, которое ледокол пробирался сквозь льды, тогда  $S=V_1 (t_0 + t - T) + V_2 T$ . Приравняв путь, получим  $V_1 t_0 = V_1 (t_0 + t - T) + V_2 T$ , откуда  $T = V_1 t / (V_1 - V_2) = 35$  минут.

Альтернативно время может быть найдено графически. Для этого нужно построить графики зависимости скорости ледокола от времени для двух способов движения, откуда будет видно, что прямоугольники  $T(V_1 - V_2)$  и  $V_1 t$  должны быть равны, откуда очевидно следует ответ.

Длина участка, покрытого льдом  $L = V_2 T = V_1 V_2 t_0 / (V_1 - V_2) = 35 \cdot 5 \cdot 1.8 / 60 = 5.25$  км.

Критерии оценивания

Найдено время  $T$  (аналитически или графически) (6 б)

1. Общая формула (4 б)

2. Численный ответ (2 б)

Если численный ответ не правильный, но получена верная общая формула – это 4 балла

Найдена длина участка, заполненного льдом: (4 б):

1. Записано выражение (1 б)

2. Получен правильный численный ответ (3 б)

Выражения могут быть записаны численно, за это снижать оценку не следует, поскольку в задании не требовалось получать общую формулу, однако, если общей формулы нет, а в численных расчётах ошибки, то это 0.

Задача 3. Сходятся и расходятся

От пристани на реке отправляются два катера: один начал двигаться по течению, другой – против. Скорость катеров относительно воды  $V$ , скорость течения реки  $U$ . Через время  $t$  после начала движения, катера разворачиваются и двигаются в обратном направлении. На каком расстоянии от пристани встретятся катера?

Решение

Примем за начало отсчёта положение пристани, координатную ось направим по направлению течения реки. Один катер движется относительно берега со скоростью  $V-U$ , второй  $V+U$ . Тогда координата первого катера за время  $T$ :  $x_1 = -(V-U) T$ , второго  $x_2 = (V+U) T$ . За время  $t$  катера разойдутся на расстояние  $x_2 - x_1 = 2Vt$ . После разворота:

$x_1 = -(V-U)t + (V+U)t_1$ ,  $x_2 = (V+U)t - (V-U)t_1$ , где  $t_1$  – время сближения. Приравнивая координаты катеров, получим  $t_1 = t$

Или можно сказать, что после разворота скорость сближения катеров осталась такой же  $2V$ , а значит и время сближения равно  $t$ .

Тогда координаты катеров, а значит и расстояние от пристани до места встречи:

$x_1 = x_2 = -(V-U)t + (V+U)t = 2Ut$

Альтернативное решение

В системе отсчёта, связанной с рекой, лодки расходятся и сходятся, двигаясь со скоростью  $V$  и относительной скоростью  $2V$ . Отсюда очевидно, что время сближения  $t_1 = t$ , а пристань отдалится от точки встречи (точки старта) на расстояние  $2Ut$ .

Критерии оценки

Координатный подход:

Описана система координат (26)

Записаны координаты лодок при расхождении (26)

Записаны координаты лодок при сближении (26)

Показано, что время сближения равно  $t$  (26)

Найдено расстояние от пристани до точки встречи (26)

Координатное описание работает вне зависимости от того положительно ли выражение  $V-U$  или отрицательно. Подход использующий перемещения катеров требует рассмотрения двух вариантов (два разных рисунка), в которых будет показано, что ответ на поставленный в задаче вопрос будет одинаковый в обоих случаях.

Подход, через перемещение лодок:

Определены перемещения лодок $(V-U) t$ и $(V+U) t$	(26)
Наличие двух рисунков, на котором показаны перемещения лодок	(26+26)
Указано, что время сближения лодок равно $t$	(16+16)
Определено расстояние от пристани до точки встречи	(26)
При рассмотрении только одного случая участник получает 7 баллов	

Подход при переходе в новую систему отсчёта:

Описание идеи	(4 б)
Указано, что время сближения лодок равно $t$	(2 б)
Определено смещение пристани	(4 б)

#### Задача 4. Псевдоэксперимент

Школьник Герман проделал опыт по погружению одинаковых шаров в измерительный цилиндр, заполненный жидкостью. Согласно методическим указаниям, измерительный цилиндр нужно поставить на весы и нажать на кнопку «Таре», чтобы весы показывали вес содержимого цилиндра, и не учитывали вес самого измерительного цилиндра. Далее нужно залить 1 литр жидкости и последовательно погружая шарики один за одним, записать показания весов и уровня жидкости в измерительном цилиндре. Из полученных данных нужно было определить массу одного шара и плотность материала, из которого изготовлены шары.

Однако, Герман по-своему понял задание и записал в таблицу только показания мерного цилиндра (в литрах) и среднюю плотность содержимого цилиндра (в кг/литр), которую рассчитал сам. Помогите Герману ответить на поставленный вопрос, если согласно подсказке от отличника Ивана, одно измерение Германа записано неверно. Какое?

Шары в жидкости тонут и погружаются полностью, за время эксперимента жидкость не выливается из цилиндра.

Объём (л)	1,00	1,10	1,20	1,30
Плотность (кг/л)	1,00	1,73	2,15	2,59

Примечание: плотность тела – это отношение массы тела к его объёму.

Решение

Дополним таблицу следующими данными:

Масса содержимого  $m = \rho V$

Объём (л)	1,00	1,10	1,20	1,30
Плотность (кг/л)	1,00	1,73	2,15	2,59
Масса содержимого кг	1,00	1,90	2,58	3,37

Исходя из этих данных, объём одного шара  $V = 0,1$  л, масса первого шара  $1,90 - 1,00 = 0,9$  кг, первого и второго  $1,58$ , всех трёх  $2,37$ . Из этих данных масса одного шара, соответственно,  $0,9$  кг,  $0,79$  кг,  $0,79$  кг. Откуда следует, что данные второго столбца являются ложными, а масса одного шара  $0,79$  кг.

Тогда плотность материала, из которого изготовлены шары:

$$\rho = m/V = 0,79/0,1 = 7,9 \text{ кг/л} = 7900 \text{ кг/м}^3$$

Альтернативными вариантами определения ложных данных являются:

- 1) расчёт плотности материала, из которого изготовлены шары, на основе массы и объёмов одного, двух и трёх шаров
- 2) построение графика зависимости массы  $n$  шаров от количества шаров (4 точки), указание того, что график должен быть **линейным** и определение точки, которая не лежит на той прямой, на которой лежат остальные три точки.

#### Критерии оценки

Обоснованно определено, что данные второго столбца являются ложными (обоснованно аналитически или очевидно показано графически) (4 б)

Если рассмотрена часть аналитических данных, но ответ получен необоснованно, то 0.

Найдена масса шара исходя из верных данных (1, 3 и 4 столбцы) (3 б)

Найдена плотность шара (3 б)

В случае, если в решении нет чётко доказательства того факта, что данные второго столбца ложные, при этом верно определены масса шара и плотность по данным **ОДНОГО** столбца, то такое решение оценивается в 0 баллов.

Если в решении нет чёткого обоснования ложности данных второго столбца, при этом верно определены масса шара и плотность по данным **ДВУХ** столбцов, то такое решение оценивается в 6 баллов.

Всероссийская олимпиада школьников по физике 2020-2021 года.  
Муниципальный этап. 8 класс.  
Время выполнения 180 минут. Каждая задача оценивается в 10 баллов.  
**Поясняйте свой ответ.** Желаем успехов!

**Задача 1. Кубичность прямоугольника**

Ватман размером  $A \times B = 841 \times 1189$  мм и массой  $m=210$  гр. инженер Иван разрезал на квадраты со стороной  $C=10$  см.

Сколько бумажных полых внутри кубиков со стороной  $C$  можно склеить из полученных квадратов?

Если ставить кубики друг на друга и приставлять их к другим кубикам, то можно получить большие кубики со сторонами  $2C$ ,  $3C$  и т.д. (пу?) Чему будет равна масса наибольшего кубика, который можно будет составить таким образом из имеющихся кубиков со стороной  $C$ ?

**Решение**

Всего из ватмана можно вырезать  $8 \cdot 11 = 88$  квадратов размером  $10$  см  $\times$   $10$  см.

Для того, чтобы склеить кубик нужно  $6$  квадратов, тогда из  $88$  квадратов можно склеить  $[88/6] = [14, (6)] = 14$  кубиков

Для создания большого кубика со стороной  $2C$  нужно  $8$  кубиков – это возможно, а со стороной  $3C$  уже  $27$  – на это кубиков не хватит.

Для создания  $8$  кубиков нужно  $6 \cdot 8 = 48$  квадратов, общей площадью  $48 \cdot 100 \cdot 100 = 480000$  мм<sup>2</sup>

Тогда масса этих кубиков  $M = m \cdot 480000 / (841 \cdot 1189) = 210 \cdot 480000 / 999949 = 100,8$  г

**Критерии оценки**

Найдено количество кубиков стороной  $C$ : (4 б)

1) Найдено количество квадратов (2 б)

2) Рассчитано количество кубиков со стороной  $C$  (2 б)

Найдена масса кубика со стороной  $2C$ : (6 б)

1) Определено количество кубиков со стороной  $C$ , необходимое для создания кубика со стороной  $2C$  и  $3C$ . Определено, что наибольший кубик  $2C$  (2 б)

2) Рассчитана площадь ватмана, необходимая для создания  $8$  кубиков (2 б)

3) Рассчитана масса этой части ватмана (масса куба  $2C$ ) (2 б)

**Задача 2. Псевдоэксперимент**

Инженер Иван провёл следующий эксперимент. В большой мерный стакан он набрал воды при температуре  $T_1$ , а в небольшой старательно теплоизолированный сосуд поместил воду небольшой массы  $m_b$  и температуры  $T_2$ . Затем он взял грузик массы  $M=50$  гр. Сначала Иван опустил грузик на долгое время в первый сосуд. Затем поместил груз во второй сосуд и дождался установления теплового равновесия.

$m_b$ , г	$T_1$ , °C	$T_2$ , °C	$T$ , °C
31.3	75.2	26.1	31.9
40.1	70.1	27.0	31.3
42.8	65.0	26.9	30.6
41.8	61.2	26.9	30.3
38.8	59.8	27.1	30.0
51.2	57.8	27.0	29.6

Инженер Иван занёс в таблицу измеренную массу воды  $m_b$  во втором сосуде, температуру воды в первом сосуде  $T_1$ , начальную температуру воды во втором сосуде  $T_2$  и конечную температуру  $T$  воды и грузика после установления теплового равновесия.

Определите по этим данным теплоёмкость груза. Какое измерение стоит отбросить как неточное? Теплоёмкость воды  $c_b=4200$  Дж/кг °C

**Решение**

После помещения в сосуд с водой при температуре  $T_1$ , грузик будет иметь температуру  $T_1$ . Уравнение теплового баланса при помещении этого грузика в воду во втором сосуде:

$$m_{всв} (T - T_2) = M c (T_1 - T), \text{ откуда } c = m_{всв} (T - T_2) / M (T_1 - T).$$

$T$  – Установившаяся температура воды после погружения в неё тела,  $c$  – удельная теплоёмкость материала, из которого изготовлено тело.

Рассчитаем теплоёмкость тела для каждого опыта.

$m_{в, г}$	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$	$T, ^\circ\text{C}$	$C, \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}$
31.3	75.2	26.1	31.9	352,2
40.1	70.1	27.0	31.3	373,3
42.8	65.0	26.9	30.6	386,7
41.8	61.2	26.9	30.3	386,4
38.8	59.8	27.1	30.0	317,2
51.2	57.8	27.0	29.6	396,5

Наиболее далёким от общей группы результатов является 317,17 Дж/кг  $^\circ\text{C}$ . Стоит признать, что при выполнении этого измерения допущена существенная ошибка.

Усреднение остальных результатов даст:  $c = 379 \text{ Дж/кг } ^\circ\text{C}$ .

Критерии оценки

Записано уравнение теплового баланса

(2 б)

Получено выражение для определения теплоёмкости образца

(2 б)

Рассчитаны теплоёмкости для всех экспериментов

(2 б)

Отброшен неточный результат

(2 б)

Получено итоговое значение теплоёмкости путём усреднения результатов (баллы начисляются даже если не отброшено значение 317,2 – в этом случае итоговое значение будет 369 Дж/кг  $^\circ\text{C}$ )

(2 б)

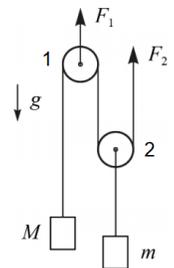
Задача 3. Система в равновесии

Из двух блоков, двух нитей и двух грузов собрали систему, показанную на рисунке. Чтобы система находилась в равновесии, к ней необходимо прикладывать две **внешние** силы  $F_1 = 8 \text{ Н}$  и  $F_2 = 3 \text{ Н}$ . Масса  $m = 0.6 \text{ кг}$ . Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

Укажите все силы, действующие на блоки.

Чему равна масса груза  $M$ ?

Нити считать невесомыми и нерастяжимыми.

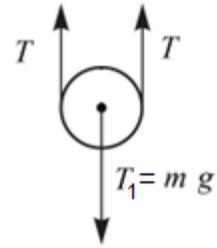
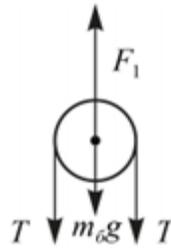


Решение

Поскольку нить невесома, то её натяжение  $T$  равно  $F_2$  во всех точках нити.

Из условия равновесия для груза  $M$ :  $Mg = T = F_2$ , откуда  $M = 0,3 \text{ кг}$

На блок 1 вверх действует сила 8 Н, а вниз действует две силы натяжения по 3 Н, в сумме обеспечивающих только силу 6 Н. Значит для равновесия не хватает силы 2 Н, направленной вниз. Это может быть сила тяжести, действующая на блок 1. При этом для блока 2 условие равновесия выполнено без внешних сил.



Тогда расстановка сил, действующих на блок 1:

и блок 2

Критерии оценки

Определение силы натяжения нити

(2 б)

Нахождение массы М:

(1 б)

Запись условий равновесия для блока 1 и блока 2

(2 + 1 б)

Установлено, что на блок 1 действует ещё одна сила 2 Н, а для блока 2 условие равновесия выполнено без дополнительных сил

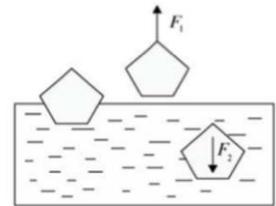
(1 + 1б)

Указаны силы, действующие на блоки (отдельная оценка)

(1 + 1 б)

Задача 4. Камень, который умел плавать

На поверхности воды плавает кусок пемзы (см. рисунок). Чтобы поднять пемзу из воды, нужно приложить силу не меньшую, чем  $F_1=4$  Н. Чтобы полностью утопить пемзу в воде – приложить силу не меньшую, чем  $F_2=6$  Н. Чему равна плотность пемзы  $\rho$ , если плотность воды  $\rho_0=1000$  кг/м<sup>3</sup>? Чему равен объём куска пемзы?



Решение и Критерии оценки

Условие равновесия при поднятии:

(3 б)

$$F_1 = mg = \rho g V$$

Условие равновесия при погружении:

(3 б)

$$F_2 = F_{\text{арх}} - mg = (\rho_0 - \rho) g V$$

Решая совместно  $\rho = \rho_0 F_1 / (F_1 + F_2) = 400$  кг/м<sup>3</sup>

(4 б)

Всероссийская олимпиада школьников по физике 2020-2021 года.  
Муниципальный этап. 9 класс.  
Время выполнения 230 минут. Каждая задача оценивается в 10 баллов.  
**Поясняйте свой ответ. Желаем успехов!**

**Задача 1. Псевдоэксперимент**

Инженер Иван исследовал образец неизвестного сплава. Для этого он поместил образец в сосуд и залил горячей водой, от чего образец расплавился. Иван слил часть воды так, что горячая вода и образец занимали в сосуде примерно равные объёмы. Затем он измерил зависимость температуры сосуда с водой и сплавом  $T_1$  от времени  $t$  и занёс изменения в таблицу. Масса образца  $m=100$  г, масса воды в сосуде  $m_1=30$  г.

$t, \text{с}$	0	20	40	60	80	120	300	360	420	480	540	600	660	720	780
$T_1, \text{°C}$	74.9	73.4	71.8	69.6	68.8	69.0	69.1	68.6	67.4	64.8	60.0	57.1	54.5	52.3	50.1

1. Постройте график и определите температуру плавления сплава  $T_{\text{плав}}$  и время  $t_{\text{крист}}$ , за которое образец кристаллизовался.
2. Определите удельную теплоту плавления сплава, если при температуре плавления сплава, сосуд отдавал во внешнюю среду тепло со мощностью  $P=10$  Вт.

**Решение**

Построим график зависимости температуры смеси от времени. Поскольку смесь горячее, чем окружающая среда, то смесь постоянно теряет тепло, однако мощность теплопотерь не является постоянной.

На графике присутствует горизонтальный участок – тепло отводится, а температура не падает. Этот участок соответствует кристаллизации.

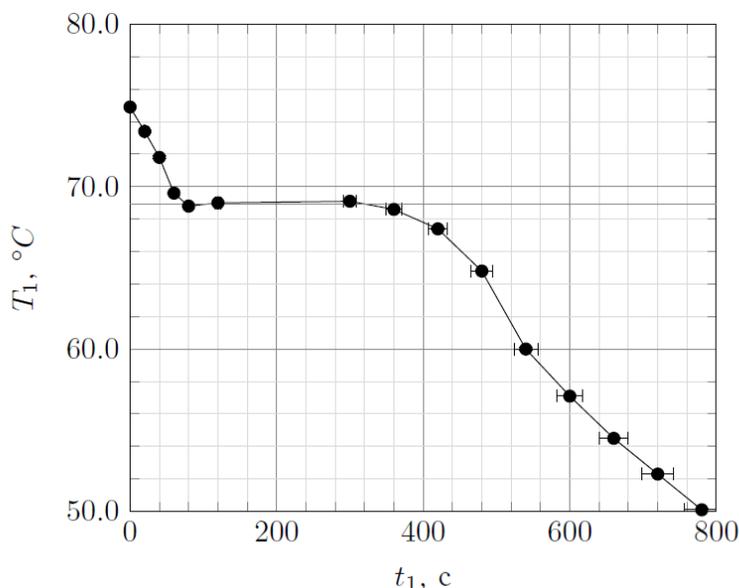
Температура кристаллизации сплава  $T_{\text{плав}} = 69.5 \pm 0.5 \text{ °C}$ .

Однако, по графику видно, что после прохождения строго горизонтального участка, присутствует плавный участок. Он соответствует состоянию, когда внешняя часть сплава уже кристаллизовалась, а внутренняя ещё нет.

Таким образом можно довольно точно установить время начала кристаллизации – от 60 до 80 секунд, а время окончания уже в большем интервале от 300 до 440 с. Величина интервала по средним точкам от 70 с до 370 с –  $t_{\text{крист}} = 300$  с.

Уравнение теплового баланса для кристаллизации:  $N t_{\text{крист}} = \lambda m$

Откуда  $\lambda = N t_{\text{крист}} / m = 10 \cdot 300 / 0,1 = 30 \text{ кДж/кг}$ .



### Критерии оценки

Построен культурный график (оси подписаны, указаны размерности, интервалы по осям равномерные, точки соединены плавной кривой) (2 б)

Определена температура плавления сплава (2 б)

Определено время кристаллизации:

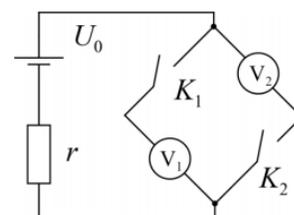
1. Если есть комментарий по поводу участка от 300 до 480 секунд (4 б)

2. Если нет никакого комментария по этому участку (2 б)

Определена удельная теплота кристаллизации (2 б)

### Задача 2. Измерение напряжения на аккумуляторе

К источнику постоянного тока с напряжением  $U_0=6$  В и неизвестным внутренним сопротивлением, сначала, замкнув ключ  $K_1$ , подключили первый вольтметр и его показания составили  $V_1=5$  В. Затем, разомкнув ключ  $K_1$  и замкнув ключ  $K_2$ , к источнику подключили второй вольтметр и его показания составили  $V_2=5.5$  В. Какими будут показания вольтметров, если замкнуть оба ключа?



### Решение

При включении ключа 1, с силу закона Ома по цепи будет протекать ток:

$I_1=U_0/(r+R_{V1})$ , где  $R_{V1}$  – сопротивление первого вольтметра, тогда показания вольтметра:

$V_1= I_1 R_{V1} = U_0 R_{V1}/(r+R_{V1})$ , откуда  $R_{V1} = r V_1 / (U_0 - V_1) = 5 r$

Аналогично для второго вольтметра  $R_{V2} = r V_2 / (U_0 - V_2) = 11 r$

При включении двух ключей в цепи будет протекать ток:

$I = U_0/(r+R_{V1} R_{V2}/(R_{V1} + R_{V2})) = U_0/(r+ 5*11 r / 16) = 16 U_0/ 71 r$

Падение напряжение на резисторе  $r$ :  $U_r= I r = 16 U_0/ 71$

Показания вольтметров будут одинаковыми и равными

$U_v= U_0 - U_r = 55 U_0 / 71 = 4.65$  В

### Критерии оценки

Найдено сопротивление  $R_{V1}$  (2 б)

Найдено сопротивление  $R_{V2}$  (2 б)

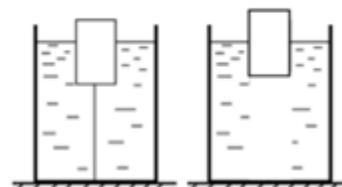
Найдено общее сопротивление цепи при замыкании двух ключей (1 б)

Определен ток в цепи при замыкании двух ключей (2 б)

Определены показания вольтметров (3 б)

### Задача 3. Эту задачу можно решать не так, как на ЕГЭ

В сосуд с вертикальными стенками и площадью основания  $S = 50$  см<sup>2</sup> поместили жидкость с плотностью  $\rho=1200$  кг/м<sup>3</sup>. В сосуд также поместили цилиндр, который привязали к дну с помощью невесомой и нерастяжимой нити таким образом, что цилиндр был погружен в воду на 4/5 от своей высоты, когда нить перерезали, то тело немного всплыло и стало плавать, погружённым на 3/5 своей высоты. Повысится или понизится в этом случае уровень воды в сосуде? На сколько см? Масса груза  $m =90$  г.



### Решение

Пусть  $T$  – сила натяжения нити, тогда в первом случае условие равновесия для груза:

$mg + T=4 \rho g V / 5$

После перерезания нити:

$$mg = 3 \rho g V / 5$$

Решая совместно получим  $T = \rho g V / 5 = mg / 3$

Сила давления дна сосуда на основание одинакова до и после перерезания нити:

$\rho g h_1 S = T = \rho g h_2 S$ , где  $h_1$  – высота уровня жидкости до перерезания нити,  $h_2$  – после.

Откуда

$$h_2 - h_1 = - m / 3 \rho S = - 90 / 3 \cdot 1.2 \cdot 50 = - 0.5 \text{ см}$$

Уровень жидкости понизится на 0.5 см

Критерии оценки

Записаны условия равновесия

(1+1 б)

Найдена сила натяжения нити  $T = mg / 3$

(2 б)

Предложена идея, из которой можно определить разность высот (здесь – определение силы давления сосуда на опору)

(2 б)

Реализация этой идеи (здесь – найдены выражения для силы давления дна сосуда на опору)

(2 б)

Найдено абсолютное значение разности высот

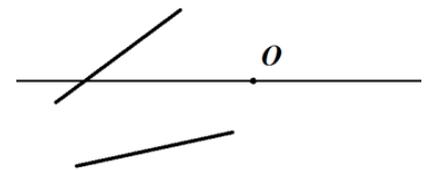
(1 б)

Указано, что уровень понизится, либо определён знак “-”

(1 б)

Задача 4. Дайте же Снеллиусу нормальную ручку!

В архиве Снеллиуса нашли рукопись, на которой было выполнено построение хода лучей от точечного источника, при преломлении в собирающей линзе. Из текста следовало, что после преломления в линзе лучи шли параллельно друг другу. От времени чернила выцвели и остались видны только главная оптическая ось линзы, её центр (O), а лучи сохранились частично. Построением с помощью циркуля и линейки без делений определите положение линзы и источника, постройте ход лучей, преломляющихся в линзе.



Решение

В точке O восстановим перпендикуляр к главной оптической оси – получим положение линзы.

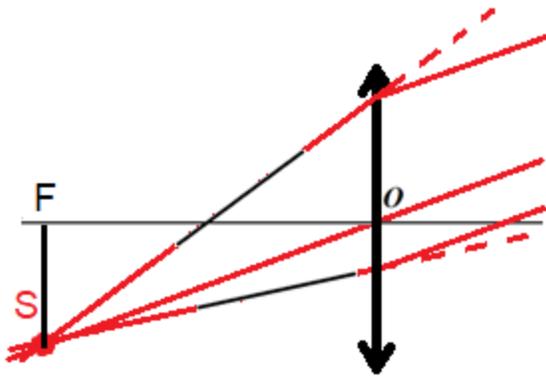
Продолжим участки лучей до пересечения с одной стороны с точкой S – это положение источника, и пересечения с линзой с другой – в этих точках лучи будут преломляться. Линза собирающая.

Построим луч SO – он не будет преломляться при прохождении линзы.

По условию лучи после преломления в линзе идут параллельно друг другу, это означает, что источник S будет находиться в фокальной плоскости. Если бы источник находился не в фокальной плоскости, то у него было бы действительное или мнимое изображение – точка, из которой будут расходиться лучи, преломлённые в линзе.

Ход лучей, преломлённых в линзе, восстановим параллельно SO.

Положение одного фокуса – основание перпендикуляра, опущенного из точки S на главную оптическую ось. Второй фокус – симметрично относительно точки O.



Критерии оценки

Положение линзы

(1 б)

Положение источника

(1 б)

Обосновано, что S находится в фокальной плоскости

(2 б)

Обосновано, что линза - собирающая

(2 б)

Указано, что лучи после преломления в линзе идут параллельно SO

(2 б)

Найдены положения фокусов

(1+1 б)

Задача 5. Три друга и гироскутер

Три друга ехали домой на гироскутерах со скоростью  $V=21$  км/ч. До дома оставалось  $S=27$  км пути, когда неожиданно один гироскутер разрядится, а ещё один сломался. Каждый из друзей может идти по дороге со скоростью  $V_1=V/3 = 7$  км/ч. Каким образом должны двигаться друзья, чтобы максимально быстро добраться домой, если гироскутер выдерживает только одного водителя? Сколько времени в этом случае займёт путь?

Решение

Чтобы время движения было минимальным, нужно, чтобы максимальной была средняя скорость передвижения всей группы. Это возможно, если в любой момент времени все три друга движутся. Значит закончить путь они должны вместе. При этом нужно максимально использовать гироскутер.

Вначале двое идут пешком, а третий едет на гироскутере. Проехав  $1/3$  пути, третий друг оставляет гироскутер и дальше идёт пешком. Когда первый и второй друзья добираются до гироскутера, то один из друзей садится на гироскутер, а второй продолжает идти. Проехав вторую треть пути, второй друг оставляет гироскутер и идёт дальше. Третий, дойдя до гироскутера, начинает ехать на нем. В результате все три друга добираются до дома одновременно, при этом  $2/3$  пути каждый из них идёт пешком, а  $1/3$  пути едет на гироскутере.

А время в пути равно

$$2 S / 3 V_1 + S / 3 V = 2 \cdot 27 / 3 \cdot 7 + 27 / 3 \cdot 21 = 63 / 21 = 3 \text{ часа}$$

Критерии оценки

Предложен способ движения

(3 б)

Обосновано, почему указанный способ движения – оптимальный

(4 б)

Рассчитано время движения

(3 б)

Существуют альтернативные решения.

Например, можно рассмотреть следующий алгоритм:

Первый друг берёт гироскутер и в течении времени  $t_1$  едет по дороге, оставляет в этом месте гироскутер, и далее в течении времени  $t_2$  идёт пешком.

Второй друг за время  $t_3$  дойдёт до гироскутера, проеден на нём время  $t_4$ , и далее пойдёт пешком.

Третий друг за время  $t_6$  дойдёт до гироскутера и на нём за время  $t_7$  доедет до конца.

Необходимо записать систему из 7 уравнений:

Каждый из друзей преодолел расстояние  $S$  (3 уравнения)

Общее время движения каждого – одинаково (2 уравнения)

Расстояние, которое первый друг проехал на гироскутере, совпадает с тем, что прошел на первом участке своего пути второй друг.

Расстояние, которое второй друг сначала прошел, потом проехал, равно расстоянию, которое прошел третий друг.

Разрешая такую систему из 7 уравнений на 7 неизвестных, можно получить тот же ответ.

Такое решение тоже оценивается в 10 баллов.

Всероссийская олимпиада школьников по физике 2020-2021 года.  
Муниципальный этап. 10 класс.  
Время выполнения 230 минут. Каждая задача оценивается в 10 баллов.  
**Поясните свой ответ. Желаем успехов!**

**Задача 1.**

На цилиндр массы  $m$  и радиусом  $R$  намотали невесомую нерастяжимую нить, один конец которой закреплён на образующей цилиндра, а другой – на вертикальной стене, при этом цилиндр касается стены. Примерный вид системы указан на рисунке.



Расставьте силы, действующие в системе.

При каком коэффициенте трения цилиндра о стену, система может находиться в состоянии равновесия?

Ускорение свободного падения  $g$ .

**Решение**

На катушку действуют четыре силы (см. рис.):

сила тяжести  $mg$ , сила натяжения нити  $T$  нормальная реакция опоры  $N$  и сила трения покоя  $F_{тр}$ .

При минимальном коэффициенте трения сила трения должна быть равна наибольшему значению силы трения покоя  $\mu N$ .

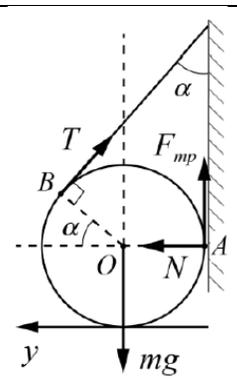
Запишем правило моментов относительно точки  $O$  ( $R$  - радиус катушки):

$$TR = F_{тр} R, \text{ откуда } T = F_{тр}$$

Запишем условие равновесия катушки в проекциях сил на ось  $y$ :

$$N = T \sin \alpha, \text{ откуда } \mu = 1 / \sin \alpha,$$

Минимальное  $\mu$  будет при максимальном  $\sin \alpha = 1$ , тогда  $\mu_{\min} = 1$



**Критерии оценки**

Рисунок с указанием действующих сил. У каждой силы должна быть правильная точка приложения (0.5 балла) и направление (0.5 балла) (4 б)

Указано, чему равна сила трения покоя при минимальном коэффициенте трения (1 б)

Записано правило моментов (2 б)

Записано условие равновесия катушки в проекциях сил на ось  $y$ : (1 б)

Получено выражение для  $\mu$  (1 б)

Минимизировано  $\mu$  (1 б)

**Задача 2.**

Инженер Иван исследовал образец неизвестного сплава. Для этого он поместил образец в сосуде и залил горячей водой, от чего образец расплавился. Иван слил часть воды так, что горячая вода и образец занимали в сосуде примерно равные объёмы, и сделал отметку уровня воды. При этом образец был полностью погружен в воду. Масса образца оказалась равна  $m=100$  г, а масса воды в сосуде  $m_1=30$  г. Затем он измерил зависимость температуры сосуда с водой и сплавом  $T_1$  от времени.

Затем Иван залил в сосуд горячую воду до отметки, и исследовал зависимость температуры воды  $T_2$  от времени  $t_2$ , при этом масса воды в сосуде оказалась  $m_2=40$  г. Данные двух опытов занесены в таблицу.

1. Постройте необходимый график и определите температуру плавления сплава  $T_{\text{плав}}$  и время  $t_{\text{крист}}$ , за которое образец кристаллизовался.

2. Определите мощность теплотерь сосуда с водой и сплавом в процессе кристаллизации сплава.

### 3. Определите удельную теплоту плавления сплава.

$t_1, c$	0	20	40	60	80	120	300	360	420	480	540	600	660	720	780
$T_1, ^\circ C$	74.9	73.4	71.8	69.6	68.8	69.0	69.1	68.6	67.4	64.8	60.0	57.1	54.5	52.3	50.1
$t_2, c$	0	10	20	40	70	120	150	180	210	300	360	420	480	540	600
$T_2, ^\circ C$	82.2	81.4	80.7	78.9	76.5	73.3	71.5	69.7	68.3	64.8	62.5	59.9	58.1	56.6	55.1

Примечание. Мощность передачи тепла от горячего тела к холодному пропорциональна разности температур контактирующих тел.

#### Решение

Построим график зависимости температуры смеси  $T_1$  от времени  $t_1$ . Поскольку смесь горячее, чем окружающая среда, то смесь постоянно теряет тепло, однако мощность теплопотерь не является постоянной.

На графике присутствует горизонтальный участок – тепло отводится, а температура не падает. Этот участок соответствует кристаллизации.

Температура кристаллизации сплава  $T_{\text{плав}} = 69.5 \pm 0.5 \text{ } ^\circ C$ .

Однако, по графику видно, что после прохождения строго горизонтального участка, присутствует плавный участок. Он соответствует состоянию, когда внешняя часть сплава уже кристаллизовалась, а внутренняя ещё нет.

Таким образом можно довольно точно установить время начала кристаллизации – от 60 до 80 секунд, а время окончания уже в большем интервале от 300 до 440 с. Величина интервала по средним точкам от 70 с до 370 с –  $t_{\text{крист}} = 300$  с.

Уравнение теплового баланса для кристаллизации:  $N t_{\text{крист}} = \lambda m$

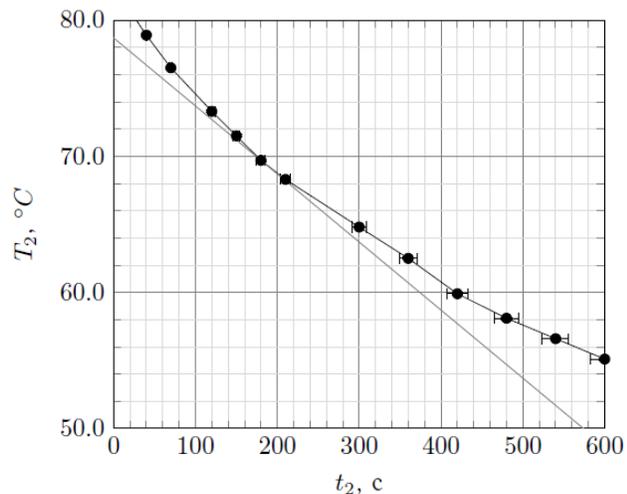
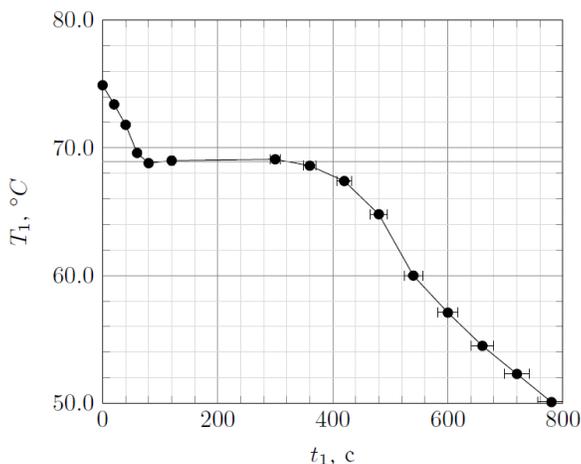
Для определения мощности потери тепла построим график зависимости температуры смеси  $T_2$  от времени  $t_2$ . Поскольку вода в сосуде занимает тот же объём, то мощность теплопотерь в первом и во втором опыте будут одинаковыми при одинаковых температурах. Проведём касательную к графику при температуре кристаллизации. Угловым коэффициентом наклона:

$k = \Delta T / \Delta t = 0,048 \text{ } ^\circ C/c$ .

Уравнение теплового баланса при кристаллизации:

$N \Delta t = m_2 c_{\text{в}} \Delta T$ , откуда мощность потерь тепла  $N = m_2 c_{\text{в}} \Delta T / \Delta t = 0,04 \cdot 4200 \cdot 0,048 = 8,1 \text{ Вт}$

Откуда  $\lambda = N t_{\text{крист}} / m = 8,1 \cdot 300 / 0,1 = 24 \text{ кДж/кг}$ .



#### Критерии оценки

Построены культурные графики (оси подписаны, указаны размерности, интервалы по осям равномерные, точки соединены плавной кривой) (2+2 б)

Бескультурные графики

(1+16)

Определена температура плавления сплава (1 б)

Определено время кристаллизации:

1. Если есть комментарий по поводу участка от 300 до 480 секунд (2 б)

2. Если нет никакого комментария по этому участку (1 б)

Определена мощность потери тепла в окружающую среду при температуре кристаллизации

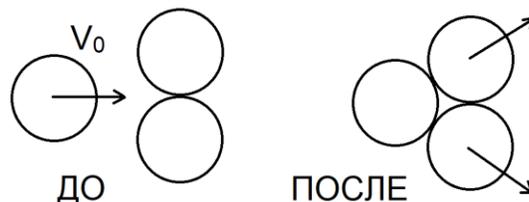
(2 б)

Определена удельная теплота кристаллизации

(1 б)

Задача 3.

Два одинаковых шарика покоятся на гладком горизонтальном столе, касаясь друг друга. На них налетает третий такой же шарик со скоростью  $V_0$ , направленной в точку касания шариков, при этом траектория третьего шара – это прямая, перпендикулярная линии, соединяющей центры двух покоящихся шаров. Третий шар одновременно сталкивается с двумя шариками, и после абсолютно упругого удара шарики разлетаются в направлениях, ориентированных симметрично, относительно траектории третьего шара.



Определите скорости, с которыми разлетаются шарики. Под какими углами к траектории третьего шара разлетаются шарики?

Решение и Критерии оценки

Поскольку центры шаров в момент удара образуют правильный треугольник, то угол между скоростями первых двух шаров (обозначим из  $U_1$  и  $U_2$ ) равен  $60^\circ$ , а угол между каждой скоростью и скоростью  $V_0$  равен  $30^\circ$ . (2 б)

Исходя из закона сохранения импульса в проекции на ось, перпендикулярную  $V_0$ , получим, что:  $U_1 \sin(30^\circ) = U_2 \sin(30^\circ)$ , откуда  $U_1 = U_2 = U$  (2 б)

Тогда закон сохранения импульса в проекции на ось, направленную вдоль  $V_0$ : (1 б)

$mV_0 = 2mU \cos(30^\circ) + mV$ , где  $V$  – проекция скорости налетающего шарика на выбранную ось.

Закон сохранения энергии в этом случае: (1 б)

$$mV_0^2/2 = 2mU^2/2 + mV^2/2$$

Решая эту пару уравнений совместно, получи

$$V = -V_0/5 \quad (2 \text{ б})$$

$$U = 2(3)^{0.5} V_0/5 \quad (2 \text{ б})$$

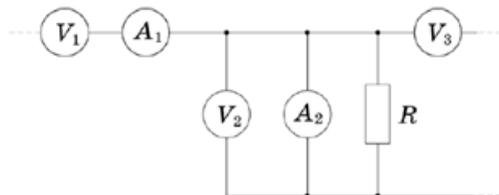
Задача 4.

На рисунке представлена часть большой разветвлённой цепи, содержащей три одинаковых вольтметра, два амперметра и один резистор.

Показания измерительных приборов:

$V_1 = 12 \text{ В}$ ,  $V_3 = 60 \text{ В}$ ,  $I_1 = 2 \text{ мА}$ ,  $I_2 = 4 \text{ мА}$ , при этом ток, протекающий через резистор совпадает с  $I_1$ .

Чему равно сопротивление резистора  $R$ ?



Решение

Сопротивление вольтметров можно определить, рассчитав сопротивление первого вольтметра:

$$R_V = V_1 / I_1 = 6 \text{ кОм}$$

Тогда через третий вольтметр протекает ток:

$$I_3 = V_3 / R_V = 10 \text{ мА}$$

Предположим, что ток втекает через миллиамперметр  $A_1$ , а вытекает через вольтметр  $V_3$ . Тогда он втекает во фрагмент цепи через вольтметр  $V_2$ , миллиамперметр  $A_2$  и резистор  $R$ . Тогда сила тока, текущего через вольтметр  $V_2$ , равна  $I_{V_2} = I_3 - I_1 - I_2 = I_R = 2 \text{ mA}$ . Такой же ток протекает через резистор  $R$ , значит у резистора такое же сопротивление, как и у вольтметра:  
 $R = 6 \text{ k}\Omega$

Теперь рассмотрим случай, когда ток втекает через миллиамперметр  $A_1$  и через вольтметр  $V_3$ , а вытекает из фрагмента цепи через вольтметр  $V_2$ , миллиамперметр  $A_2$  и резистор  $R$ . В этом случае сила тока, текущего через вольтметр  $V_2$  равна  $I_{V_2} = I_3 + I_1 - I_2 = I_R = 6 \text{ mA}$ . Падение напряжения на этом вольтметре  $V_2 = R_V I_{V_2} = 3.6 \text{ V}$ . Тогда сопротивление резистора  $R = V_2 / I_R = 1.8 \text{ k}\Omega$ .

#### Критерии оценки

Найдено сопротивление вольтметра	(0.5 б)
Найдена сила тока, текущего через вольтметр $V_3$	(0.5 б)
Указано первое возможное распределение токов	(1 б)
Найдена сила тока, текущего через вольтметр $V_2$ первом случае	(1 б)
Найдено первое возможное значение $R$ (один балл ставится за правильную формулу, один за правильный численный ответ)	(2 б)
Указано второе возможное распределение токов	(1 б)
Найдена сила тока, текущего через вольтметр $V_2$ во втором случае	(1 б)
Найдено падение напряжение на вольтметре	(1 б)
Найдено второе возможное значение $R$ (один балл ставится за правильную формулу, один за правильный численный ответ.)	(2 б)

#### Примечания к критериям.

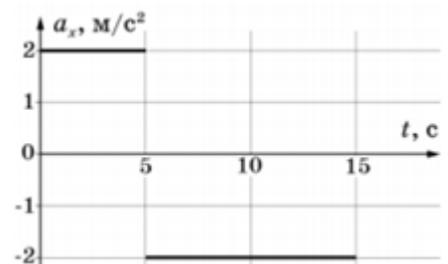
- 1) Правильно решённая неавторским методом задача оценивается в 10 баллов.
- 2) В промежуточных пунктах критериев вычисления необязательны (балл ставится при наличии правильной формулы).
- 3) Если промежуточные критерии в явном виде отсутствуют, но косвенно учтены в дальнейшей логике решения, то эти пункты оцениваются в полной мере. Исключением являются пункты о расстановке токов: распределение должно быть указано явно – два случая.

#### Задача 5.

На кружке робототехники запускали робота. Робот двигался по прямой, а датчики, закреплённые на нём, зафиксировали величину его ускорения. Известно, что в момент времени  $t_1 = 15 \text{ c}$ . робот остановился.

Определите начальную и максимальную скорость робота за всё время наблюдения.

Найдите пройденный роботом путь и его перемещение с момента начала движения до момента остановки.



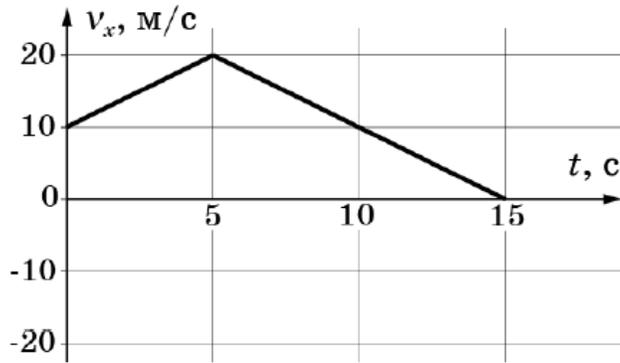
#### Решение

В момент  $t_1 = 15 \text{ c}$  робот должен остановиться.

К этому моменту его скорость изменится на  $\Delta U = -10 \text{ m/s}$  (можно найти как площадь под графиком  $a(t)$ ).

Значит начальная скорость  $U_0 = 10 \text{ m/s}$ .

Теперь можно построить полноценный график  $U(t)$ .



Максимальная скорость будет в момент  $t = 5$  с:  $U_{\max} = 20$  м/с.

Путь, пройденный роботом, посчитаем как площадь под графиком  $U(t)$ :  $S=175$  м.

Поскольку скорость робота в любой момент времени положительна, то перемещение равно пройденному пути.

Критерии оценки

Найдено изменение скорости за всё время движения (2 б)

Найдена начальная скорость (1 б)

Построен правильный, «культурный» график  $U(t)$ . (4 б)

Культурный – это оси подписаны, указаны размерности, шкала по осям равномерная.

(п.в. Вместо графика может быть использованы уравнения движения и скорости для двух участков равноускоренного движения).

Найдена  $U_{\max}$  (1 б)

Найден путь  $S$  (1 б)

Найдено перемещение (1 б)

Всероссийская олимпиада школьников по физике 2020-2021 года.  
Муниципальный этап. 11 класс.  
Время выполнения 230 минут. Каждая задача оценивается в 10 баллов.  
**Поясняйте свой ответ. Желаем успехов!**

**Задача 1. Квадрокоптер-интроверт**

Квадрокоптер «Петя-1» поместили в вертикальный цилиндрический сосуд, закрытый с обоих концов. Высота сосуда равна  $L$ . Сосуд подняли на высоту  $L$  над уровнем земли. В тот момент, когда цилиндр отпустили в свободное падение, квадрокоптер начал лететь к противоположному концу цилиндра, и к моменту, когда цилиндр коснулся земли, квадрокоптер долетел до верхней стороны цилиндра. За какое время пробирка долетела до земли, если массы квадрокоптера и цилиндра совпадают? Ускорение свободного падения  $g$  считать известным

**Решение**

В начальный момент времени:

Центр массы квадрокоптера находился на высоте  $L$  от поверхности Земли.

Центр массы сосуда находился на высоте  $L+L/2=3L/2$  от поверхности Земли.

Центр массы системы находился на высоте  $5L/4$  от поверхности Земли.

В момент удара сосуда о поверхность Земли:

Центр массы квадрокоптера находился на высоте  $L$  от поверхности Земли.

Центр массы сосуда находился на высоте  $L/2$  от поверхности Земли.

Центр массы системы находился на высоте  $3L/4$  от поверхности Земли.

На систему в целом действовала только одна внешняя сила – сила притяжения к Земле, значит расстояние  $L/2$  центр масс прошёл с ускорением свободного падения:

$L/2=gt^2/2$ , откуда искомое время:

$$t=(L/g)^{0.5}$$

**Критерии оценки**

Найдено положение центра массы системы в начальный и конечный моменты	(2 + 2 б)
Найдено расстояние, которое прошел центр тяжести	(1 б)
Отмечено, что система находится в состоянии свободного падения	(2 б)
Записано уравнение кинематики движения системы	(1 б)
Найдено время $t=(L/g)^{0.5}$	(2 б)

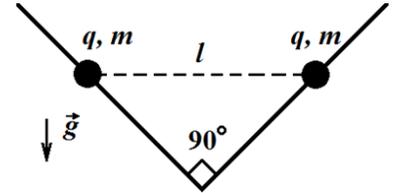
Возможно решение, когда предполагается, что квадрокоптер движется с постоянным ускорением относительно сосуда. Если такое решение приводит к верному ответу и есть пояснение, например, что ответ не зависит от величины этого ускорения, поэтому ускорение квадрокоптера может быть любым в любой момент времени, а ответ останется таким же, то такое решение тоже оценивается в полный балл.

Если предложено решение, рассматривающее частный случай движения квадрокоптера (например, как описанное в предыдущем абзаце), но при этом нет указаний на то, как можно от частного случая перейти к общему, то такое решение оценивается в 4 балла, при наличии правильного ответа.

Возможно частное решение, например, можно предположить, что квадрокоптер за время падения цилиндра находился на одной высоте над уровнем земли, тогда его винты держали квадрокоптер с силой  $mg$  и с такой же силой давили на цилиндр через слой воздуха. Тогда на цилиндр действовала общая сила  $2mg$  и он двигался с ускорением  $2g$ . Это частный случай решения – это 4 балла.

### Задача 2. Где были заряды?

Две маленьких бусинки массой  $m$  заряжены зарядами  $q$  и  $q$ . Бусинки надеты на спицы, которые расположены в вертикальной плоскости симметрично по отношению к вертикали. Угол между спицами равен  $90^\circ$  (см. рис.). Сначала бусинки удерживают на расстоянии  $l$  друг от друга, а затем отпускают. Определите минимальное и максимальное расстояние между бусинками после освобождения системы. Чему равно расстояние между шариками в положении равновесия? Ускорение свободного падения  $g$  считать известным.



#### Решение

В положении равновесия на каждую бусинку действует три силы: сила тяжести (вниз), сила реакции опоры (нормально к спице) и сила Кулона (горизонтально). По теореме о 3х силах, в состоянии равновесия эти силы образуют треугольник, в данном случае прямоугольный, с углами при гипотенузе по  $45^\circ$ . Тогда в состоянии равновесия  $mg = F_{\text{кл}}$   
 Откуда расстояние между бусинками в положении равновесия  $l_0 = (kq^2/mg)^{0,5}$

Если же начальное состояние бусинок не равновесное, то после освобождения бусинки начнут двигаться. Закон сохранения энергии в произвольный момент времени:

$$2mgh_1 + kq^2/l = 2mgh_2 + kq^2/x + 2mV^2/2, \text{ где } x \text{ – расстояние между бусинками.}$$

При наибольшем и наименьшем удалении бусинок – их скорости будут равны 0.

$$\text{Тогда } kq^2/l - kq^2/x = 2m g (h_2 - h_1)$$

$$\text{С учётом геометрии } (h_2 - h_1) = (l - x) / 2$$

$$\text{Тогда } x = kq^2 / m g l$$

Сокращение на  $(l - x)$  даст корень  $l = x$ .

Если сила тяжести  $mg > F_{\text{кл}}$ , то бусинки будут двигаться вниз, тогда начальное  $l$  – это наибольшее расстояние между бусинками, а  $x = kq^2 / m g l$  – наименьшее.

Если сила тяжести  $mg < F_{\text{кл}}$ , то бусинки будут двигаться вверх, тогда начальное  $l$  – это наименьшее расстояние между бусинками, а  $x = kq^2 / m g l$  – наибольшее.

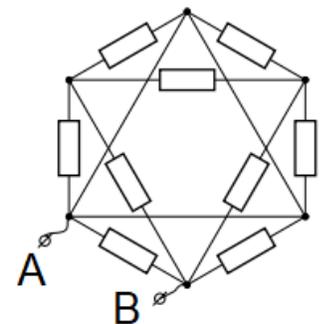
Если эти силы будут равны, то  $l = l_0$ , то это и будет и минимальное и максимальное расстояние между бусинками.

#### Критерии оценки

- Найдено  $l_0$  (3 б)
- Записан закон сохранения энергии и (1 б)
- Определено геометрическое соотношение между высотой подъёма шариков и расстоянием между шариками (1 б)
- Найдено  $x$  (2 б)
- Определены минимальные и максимальные расстояния между бусинками в трёх случаях (1+1+1 б)

### Задача 3. Электроснежинка.

Определите сопротивление между точками А и В в схеме, представленной на рисунке. Сопротивление каждого резистора равно  $R$ , сопротивление соединительных проводов пренебрежимо мало. Места соединения проводов указаны точками.

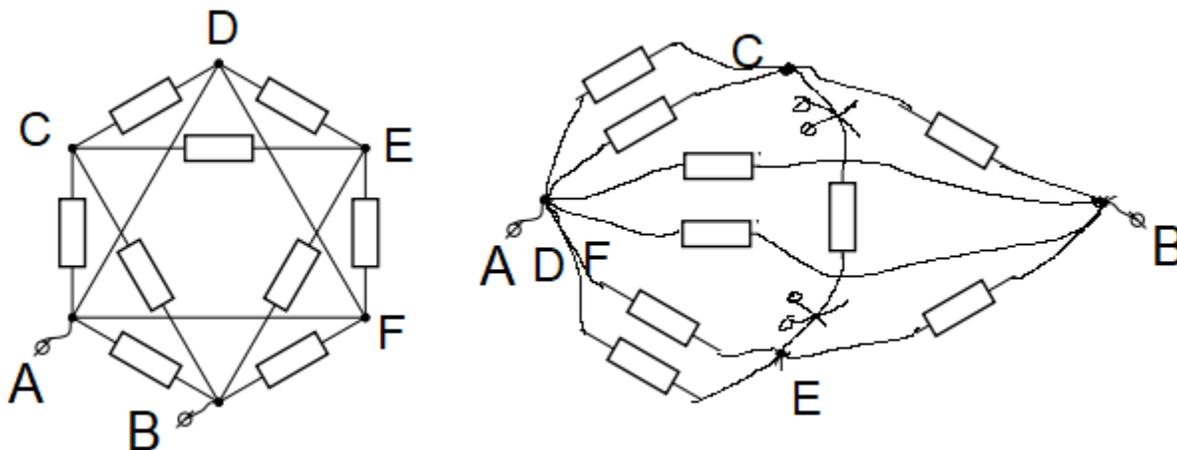


#### Решение

Проиндексируем узлы и перерисуем схему с учётом того, что узлы А, D и F соединены перемычками, которые можно стянуть в точку.

В новой схеме видна симметрия, проходящая через точки подключения А В – точки С и Е расположены симметрично, а значит имеют одинаковый потенциал, значит резистор, который подключён к этим точкам можно убрать.

Общее сопротивление оставшейся схемы равно:  $(1/ (3R/2) + 1/ (3R/2) + 1/ (R/2))^{-1} = (7/ 3R)^{-1}=3R/7$



Критерии оценки

Схема перерисована с учётом перемычек

(2 б)

Указаны эквипотенциальные точки, либо другая причина, по которой можно убрать резистор CE

(4 б)

Итоговый ответ

(4 б)

Возможны альтернативные решения, использующие преобразования треугольник-звезда или правила Кирхгофа.

#### Задача 4. Псевдоэксперимент

Инженер Иван проводил опыты по влиянию нагрузки на идеальные газы. Для этого он взял цилиндрический сосуд, сверху закрытый поршнем площадью  $S=4 \text{ см}^2$ , который может свободно перемещаться вдоль стенок сосуда. Иван нагружал поршень последовательно добавляя гири по 1 кг, дожидаясь установления термодинамического равновесия, и измерял объём газа под поршнем. Данные занёс в таблицу.

Масса гирей, кг	0	1	2	3	4	5
Объём газа, л	2,4	2,1	1,6	1,4	1,3	1,1

1) Постройте график  $m(1/V)$ , докажете теоретически, что график линейный.

2) Определите по графику величину атмосферного давления.  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

3) Оцените точность таких измерений, если точность измерений массы гирей  $\pm 100\text{гр}$ , точность измерения объёма  $\pm 0.1$  литра.

#### Решение

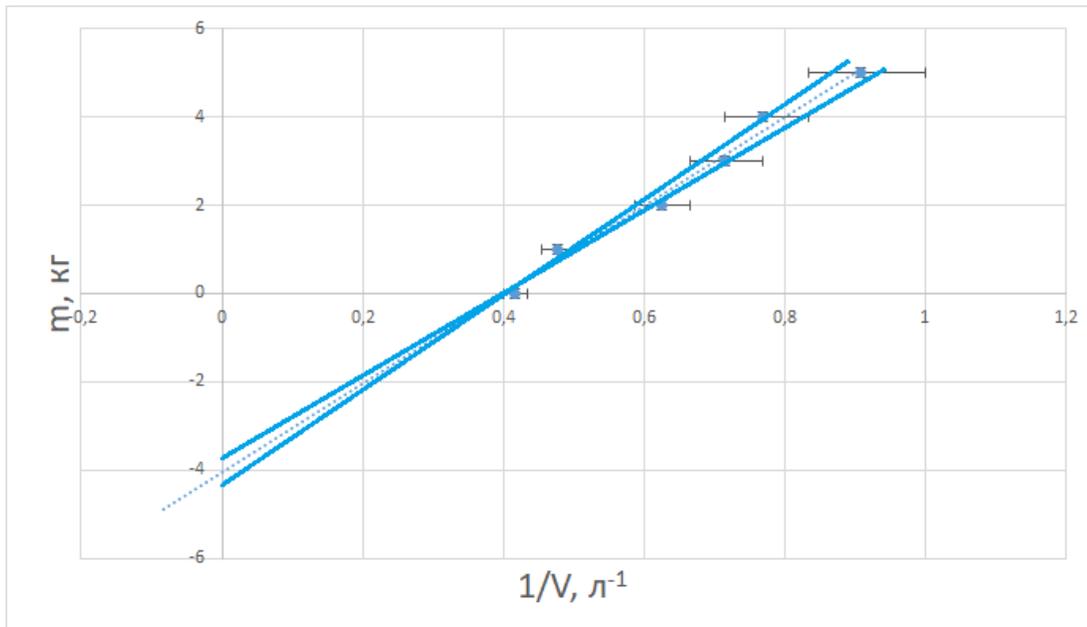
Поскольку Иван дожидается установления термодинамического равновесия, то все измерения происходят при одинаковой температуре газа. Тогда уравнения Менделеева-Клапейрона, описывающие эти состояния:

$(P_0 + mg/S) V = \nu RT$ , где  $P_0$  – атмосферное давление,  $m$  – масса всего груза,  $\nu$  – количество газа,  $T$  – температура газа. Откуда зависимость массы от  $1/V$  – прямая:  $m = (\nu RT (1 / V) - P_0) S/g$  (1)

Для построения графика, рассчитаем дополнительные точки

Масса гирей, кг	0	1	2	3	4	5
-----------------	---	---	---	---	---	---

Объём газа, л	2,4	2,1	1,6	1,4	1,3	1,1
Объём газа, л <sup>-1</sup>	0,42	0,48	0,63	0,71	0,77	0,91
Максимальная оценка объёма	2,5	2,2	1,7	1,5	1,4	1,2
	0,4	0,45	0,59	0,67	0,71	0,83
Минимальная оценка объёма	2,3	2	1,5	1,3	1,2	1
	0,43	0,5	0,67	0,77	0,83	1



Отметим ворота в значениях массы и объёма. Проведём прямые с наибольшим и наименьшим угловым коэффициентами так, чтобы они попадали в кресты ошибок.

Атмосферное давление можно определить исходя из уравнения прямой (1) при  $1/V=0$ :

$m(1/V=0) = -P_0 S/g$ , откуда  $P_0 = -m(1/V=0) g / S$ .

По графику  $m(1/V=0) = -4,0 \pm 0,2$  кг, откуда  $P_0 = (1,00 \pm 0,05) \cdot 10^5$  Па

Критерии оценки

Показано, что график линейный (2 б)

Построен культурный график (оси подписаны, указаны размерности, интервалы по осям равномерные, точки соединены плавной кривой), кресты ошибок – отдельная оценка (2 б)

Бескультурный график (1 б)

Предложен способ нахождения атмосферного давления (2 б)

Рассчитано среднее значение атмосферного давления (1 б)

Проведен учёт погрешности измерения первичных данных:

Табличные данные (1 б)

Построены кресты ошибок на графике (1 б)

Определена погрешность измерения атмосферного давления (1 б)

Задача 5. Теплоёмкость 2

Вертикально стоящий на земле высокий тонкостенный теплоизолированный цилиндрический сосуд с площадью основания  $S$  сверху плотно закрыли поршнем массы  $M$  и теплоёмкости  $C$  так,

что под поршнем оказался 1 моль идеального одноатомного газа при атмосферном давлении  $P_0$ . В начальный момент поршень покоится на подпорках. Перемещению поршня противодействует сила трения с максимальным значением  $F$ . К системе начинают медленно подводить тепло.

Чему равна теплоёмкость системы на начальном этапе эксперимента? Чему равна теплоёмкость такой системы при **достаточно длительном** медленном нагревании. Чему равна теплоёмкость системы при отсутствии силы трения?

Решение

Начальное давление газа  $P_0$  равно атмосферному, и его недостаточно для поднятия поршня, поэтому некоторое начальное время процесс, совершаемый над газом, изохорический, тогда теплоёмкость газа  $3R/2$ , а общая теплоёмкость системы  $3\nu R/2 + C$

В отсутствии трения газ будет медленно поднимать поршень в изобарическом процессе. Тогда теплоёмкость газа  $5R/2$ , а общая теплоёмкость системы  $5\nu R/2 + C$

При наличии трения

Решение: Процесс расширения начнется тогда, когда сила давления газа сможет сдвинуть поршень с места, т.е.  $pS = Mg + F + p_0S$ , где  $S$  – площадь поршня. Пусть скорость подвода тепла к системе в процессе нагрева равна  $q$ . Оно идет на увеличение внутренней энергии газа и совершение им работы по подъему поршня, а также на нагрев сосуда (т.к. процесс происходит медленно, то кинетической энергией, приобретаемой поршнем, можно пренебречь). Запишем уравнение теплового баланса для бесконечно малых изменений температуры, учитывая, что работа по подъему поршня складывается из трех частей: работы по увеличению его потенциальной энергии ( $Mgdl$ ), работы против силы внешнего давления ( $p_0Sdl$ ) и работы против силы трения ( $Fdl$ ):  $qdt = c_V dT + (Mg + p_0S + F)dl + CdT$ , где  $dT$  и  $dl$  – изменение температуры и смещение поршня за бесконечно малое время  $dt$ .

Работа против сил трения, в свою очередь, рассеивается в виде тепла, т.е. идет на нагревание рассматриваемой системы, что можно записать следующим образом:  $Fdl = c_V dT' + CdT' + (Mg + p_0S)dl' + Fdl'$ , где  $dl'$  и  $dT'$  – “дополнительные” смещение поршня и изменение температуры. Связь между ними можно получить из уравнения состояния одного моля идеального газа:  $pSdl' = RdT'$ . Тогда

$$dT' = dT \frac{FR}{pS} \frac{1}{c_V + C + \frac{Mg + p_0S + F}{pS} R}$$

Повторяя эти рассуждения, можно прийти к выводу, что общее повышение температуры  $dT_0$  от первоначального нагрева  $qdt$  определяется как сумма геометрической прогрессии с первым членом  $dT$  и знаменателем

$$\varphi = \frac{FR}{pS} \frac{1}{c_V + C + \frac{Mg + p_0S + F}{pS}R}, \text{ т.е. } dT_0 = dT/(1-\varphi). \text{ Тогда итоговое уравнение энергетического баланса за малое время } dt \text{ запишется в виде:}$$

ние энергетического баланса за малое время  $dt$  запишется в виде:

$$qdt = (c_V + C)dT_0 + (Mg + p_0S)dl_0, \text{ или } qdT = \frac{c_V + C + \frac{Mg + p_0S + F}{pS}R}{\varphi} dT_0, \text{ откуда}$$

по определению теплоемкости после несложных преобразований, учитывая условия  $Mg + F + p_0S = pS$  и  $c_V = 3/2R$ , получаем окончательный ответ.

$$: c = \left( \frac{3}{2}R + C \right) \left( 1 + \frac{Mg + p_0S}{Mg + p_0S + F} \cdot \frac{R}{\frac{5}{2}R + C} \right)$$

#### Критерии оценки

- Найдена теплоёмкость системы на начальном этапе эксперимента  $3\nu R/2 + C$  (2 б)
- Найдена теплоёмкость системы при отсутствии силы трения  $5\nu R/2 + C$  (2 б)
- Записано первое начало термодинамики с учётом постоянного давления газа и работы силы трения (1 б)
- Указано, что работа силы трения переходит в тепло (2 б)
- Определено итоговое изменение температуры системы (2 б)
- Определена теплоёмкость системы (1 б)

Чему равна теплоёмкость такой системы при **достаточно длительном** медленном нагревании.