

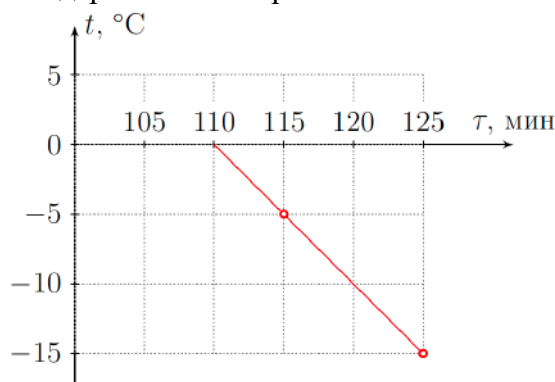
**1. Песнь льда и воды.** Смесь льда и воды общей массой  $m$  поместили в морозильную камеру, заметив, что часы в этот момент показывали время 12:00. Затем провели два измерения температуры смеси: в 13:55 термометр показал  $t_1 = -5\text{ }^\circ\text{C}$ , а в 14:05  $t_2 = -15\text{ }^\circ\text{C}$ . Определите:

- 1) Массовую долю льда в исходной смеси;
- 2) Определите показания часов в момент, когда вся вода кристаллизовалась.

Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 330\text{ кДж/кг}$ , удельная теплоёмкость воды  $c_{\text{в}} = 4,2\text{ кДж/(кг}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$ , удельная теплоёмкость льда  $c_{\text{л}} = 2,1\text{ кДж/(кг}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$ , температура плавления льда  $t_0 = 0\text{ }^\circ\text{C}$ . Количество теплоты, отбираемое у смеси в единицу времени морозильной камерой, считайте постоянной.

**Возможное решение:**

Считая мощность морозильной камеры постоянной, мы можем утверждать, что график зависимости температуры содержимого от времени — линейный.



Восстановим участок графика по имеющимся двум точкам и найдем время, которое потребовалось для кристаллизации всей воды в смеси.

110 минут с момента начала эксперимента соответствует времени на часах 13:50.

На первый вопрос можно ответить иначе:

Поскольку обе измеренные температуры ниже нуля, значит все содержимое было в твердом агрегатном состоянии (лед).

Количество теплоты, которое было отведено от содержимого камеры с момента полного замерзания до первого измерения температуры ( $\tau_1 = 115\text{ мин}$ ):

$$P \cdot (\tau_1 - \tau_0) = m \cdot c_{\text{л}} \cdot (t_1 - 0)$$

Количество теплоты, которое было отведено от содержимого камеры с момента полного замерзания до второго измерения температуры ( $\tau_2 = 125\text{ мин}$ ):

$$P \cdot (\tau_2 - \tau_0) = m \cdot c_{\text{л}} \cdot (t_2 - 0)$$

Решая совместно два последних уравнения, получим

$$\tau_0 = \frac{\tau_2 t_1 - \tau_1 t_2}{t_1 - t_2} = 110\text{ мин}$$

Массовую долю льда в смеси обозначим как  $\varphi$ . Смесь льда и воды долгое время может находиться в термодинамическом равновесии только при температуре плавления льда, то есть при  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . При помещении смеси в морозильную камеру в первую очередь происходит кристаллизация воды, масса доля которой  $(1 - \varphi)$ :

$$P \cdot \tau_0 = -m \cdot (1 - \varphi) \cdot \lambda$$

Возьмём любое из ранее записанных выражений и поделим на последнее:

$$\frac{\tau_2 - \tau_0}{\tau_0} = \frac{c_{\text{л}} \cdot (t_2 - 0)}{-\lambda \cdot (1 - \varphi)},$$

откуда выразим массовую долю:

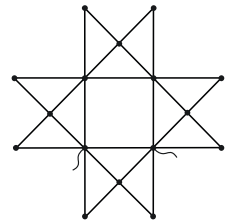
$$\varphi = 1 - \frac{c_{\text{л}} t_2}{-\lambda} \cdot \frac{\tau_0}{\tau_2 - \tau_0} = 0,3.$$

**Критерии оценивания.**

№	критерий	баллы
1.	Понимание значения начальной температуры смеси	1
2.	Указана линейность зависимости $t(\tau)$ или $Q(\tau)$ в процессе охлаждения	1
3.	Построены две точки на графике или записаны два уравнения для охлаждения льда	2
4.	Получено численное значение $\tau_0$	1
5.	Указано постоянство температуры смеси при кристаллизации воды	1
6.	Записано выражение для количества теплоты, отводимой при кристаллизации	1
7.	Решена система уравнений и получено выражение для массовой доли	2
8.	Получено правильное численное значение массовой доли льда	1
<b>Итого:</b>		<b>10</b>

Всероссийская олимпиада школьников по физике  
Муниципальный этап. 06.12.2021 г.  
9 класс

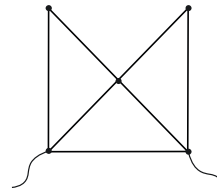
**2. R-звезда.** Определите эквивалентное сопротивление проволочной сетки, изображённой на рисунке. Сопротивление каждого отрезка (вне зависимости от длины) равно  $R$ .



**Возможное решение:**

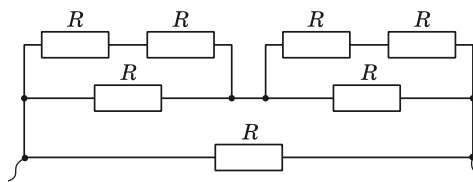
**Способ 1**

Рассмотрим отдельный фрагмент проволочной сетки:



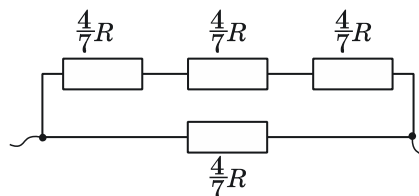
Изобразим эквивалентную схему этого участка:

Применяя формулы последовательного и параллельного соединений, найдем общее сопротивление  $R_1$  выделенного участка:



$$R_1 = \frac{4}{7}R.$$

Можно заметить, что всю сетку можно преобразовать к виду:



Применяя формулы последовательного и параллельного соединений, найдем эквивалентное сопротивление всей проволочной сетки:

$$R_3 = \frac{3}{7}R \approx 0,43R.$$

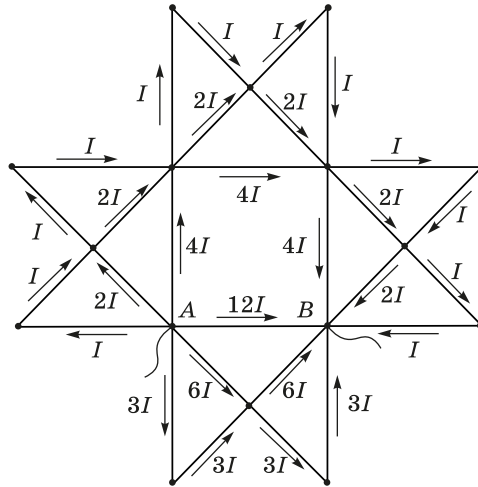
**Критерии оценивания 1.**

№	критерий	баллы
1.	Изображение эквивалентной схемы для фрагмента	3
2.	Общее сопротивление выделенного фрагмента	2
3.	Эквивалентная схема для всей цепи	2
4.	Эквивалентное сопротивление всей цепи	3
<b>Итого:</b>		<b>10</b>

Всероссийская олимпиада школьников по физике  
Муниципальный этап. 06.12.2021 г.  
9 класс

**Способ 2**

Расставим токи в цепи с учетом симметрии и первого правила Кирхгофа.



Общий ток  $I_0$  в цепи равен:  $I_0 = 28I$ ;  $\varphi_A - \varphi_B = 12IR$ .

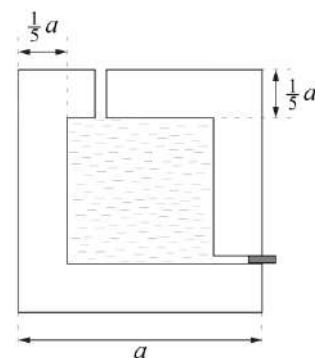
Эквивалентное сопротивление  $R_э$  вычисли с помощью закона Ома:

$$R_э = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{I_0} = \frac{12IR}{28I} = \frac{3}{7}R \approx 0,43R.$$

**Критерии оценивания 2.**

№	критерий	баллы
1.	Расставлены токи во всех участках цепи	3
2.	Пояснения для каждого соотношения токов	2
3.	Найден общий ток	1
4.	Найдена разность потенциалов между узлами A и B	1
5.	Найдено эквивалентное сопротивление	3
<b>Итого:</b>		<b>10</b>

**3. Куб.** Сосуд представляет собой куб с длиной ребра  $a$ . Его внутренняя полость также имеет форму куба с длиной ребра  $3a/5$ . Толщина всех стенок одинакова. Плотность материала сосуда  $3\rho$ . На уровне дна полости и в её потолке имеются сквозные отверстия малого диаметра. Нижнее отверстие закрыто пробкой. Куб заполнили водой плотностью  $\rho$ , поместили в цилиндр с площадью шероховатого дна  $3a^2$  и вынули пробку из отверстия. Во сколько раз отличаются силы давления сосуда на дно цилиндра до извлечения пробки и после прекращения вытекания жидкости?



**Возможное решение:**

Возможны два сценария развития событий. Либо вода полностью выльется из полости и ее уровень окажется ниже отверстия в стенке сосуда, либо уровень воды окажется выше уровня отверстия и, следовательно, в полости останется некоторое количество воды. Второй случай сложнее для вычислений. Проверим сначала первый вариант. Используем равенство начального объема воды и объема воды, вылившейся в стакан.

$\frac{27}{125}a^3 = (3a^2 - a^2)h$ , где  $h$  – искомая высота уровня воды. После вычислений получаем:

$$\frac{27}{125}a^3 = 2a^2h, \quad h = \frac{27}{250}a$$

Это меньше толщины стенки сосуда  $d$ , которая в нашем случае равна

$d = \frac{a - \frac{3}{5}a}{2} = \frac{1}{5}a$ . Значит, реализуется первый вариант, когда воды в полости сосуда не остается, а уровень воды в стакане  $h = \frac{27}{250}a$ .

Сила давления сосуда на дно стакана до открытия отверстия  $F_1$  определяется массой самого сосуда и массой заполняющей его воды

$$F_1 = \left( a^3 - \frac{27}{125}a^3 \right) 3\rho g + \frac{27}{125}a^3 \rho g = \frac{321}{125}a^3 \rho g$$

Сила давления сосуда во втором случае  $F_2$  определяется массой самого сосуда минус сила Архимеда, действующая на него

$$F_2 = \left( a^3 - \frac{27}{125}a^3 \right) 3\rho g - a^2 \frac{27}{250}a \rho g = \frac{561}{250}a^3 \rho g$$

Найдем отношение  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{321}{125} \cdot \frac{250}{561} = \frac{642}{561} = \frac{214}{187} \approx 1,14$

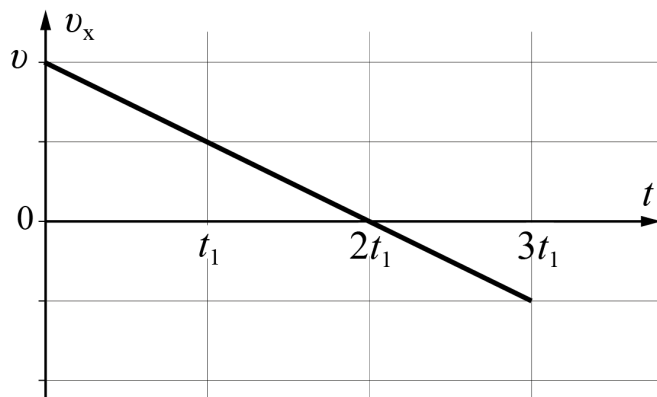
**Критерии оценивания.**

№	критерий	баллы
1.	Проверка реализации первого сценария (в сосуде не остается воды)	1
2.	Правильно записан объем воды до выливания	1
3.	Правильно записан объем воды после выливания	1
4.	Получен уровень воды в сосуде после вынимания пробки	1
5.	Вычисление силы давления $F_1$ (до открытия отверстия) (Если использована правильная формула для вычисления, но из-за арифметических ошибок, результат не верный, то 1 балл)	2
6.	Вычисление силы давления $F_2$ (после открытия отверстия) (Если использована правильная формула для вычисления, но из-за арифметических ошибок, результат не верный, то 1 балл)	3
7.	Получено правильное отношение $\frac{F_1}{F_2}$	1
<b>Итого:</b>		<b>10</b>

**4. Перемещённый путь.** Тело двигалось с постоянной скоростью  $v$ . В момент времени  $t_0$  у него появилось постоянное ускорение. Через некоторое время после появления ускорения скорость тела оказалась в 2 раза меньше  $v$ . Определите отношение модуля перемещения к пути от начала ускоренного движения до этого момента. Считайте, что тело двигалось вдоль одной прямой.

**Возможное решение:**

Построим качественный график зависимости проекции скорости тела от времени. В качестве направления оси  $x$  выберем направление начальной скорости  $v$ .



Можно заметить, что скорость тела может быть меньше начальной в 2 момента времени: до  $(t = t_1)$  и после  $(t = 3t_1)$  разворота  $(t = 2t_1)$ .

На данном графике перемещение (его проекция) и пройденный путь пропорциональны площади под/над графиком. Разница лишь в том, что для вычисления проекции перемещения площадь над графиком считается отрицательной.

Путь к моменту  $t_1$ :  $S_1 = \frac{3}{4}vt_1$

Модуль перемещения к моменту  $t_1$ :  $S_{x1} = \frac{3}{4}vt_1$

Отношение  $\frac{S_{x1}}{S_1} = 1$

Путь к моменту  $3t_1$ :  $S_2 = \frac{5}{4}vt_1$

Модуль перемещения к моменту  $3t_1$ :  $S_{x2} = \frac{3}{4}vt_1$

Отношение  $\frac{S_{x2}}{S_2} = \frac{3}{5}$

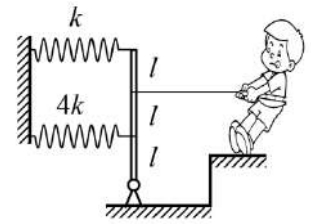
**Критерии оценивания.**

№	критерий	баллы
1.	Построен качественный график зависимости скорости от времени	1
2.	Указан способ нахождения пути по графику	1
3.	Указан способ нахождения проекции перемещения по графику	1
4.	Найден $S_1$	0,5
5.	Найден $S_{x1}$	0,5
6.	Найдено отношение $\frac{S_{x1}}{S_1} = 1$ . Если сразу указано, что до разворота искомое отношение равно 1, то пп. 1, 4 и 5 засчитываются автоматически	1
7.	Найден $S_2$	2
8.	Найден $S_{x2}$	2
9.	Найдено отношение $\frac{S_{x2}}{S_2} = \frac{3}{5}$ .	1
<b>Итого:</b>		<b>10</b>

**Критерии оценивания для аналитического решения.**

№	критерий	баллы
1.	Записано уравнение равноускоренного движения	1
2.	Записана связь $t_1$ (или времени разворота), $a$ и $v$	1
3.	Указано, что до разворота искомое отношение равно 1 (даже без 1 и 2 пунктов)	3
4.	Найден $S_2$	2
5.	Найден $S_{x2}$	2
6.	Найдено отношение $\frac{S_{x2}}{S_2} = \frac{3}{5}$ .	1
<b>Итого:</b>		<b>10</b>

**5. Как, жёстко?** Две параллельные лёгкие пружины соединены с закреплённым в шарнире лёгким рычагом. Коэффициенты жёсткости пружин равны  $k$  и  $4k$ . Определите:



1) какой эквивалентный коэффициент жёсткости системы  $k_0$  определит тянущий за нить экспериментатор;

2) чему будет равна сила  $Q$ , действующая на рычаг со стороны шарнира, если тянуть за нить силой  $F$ ;

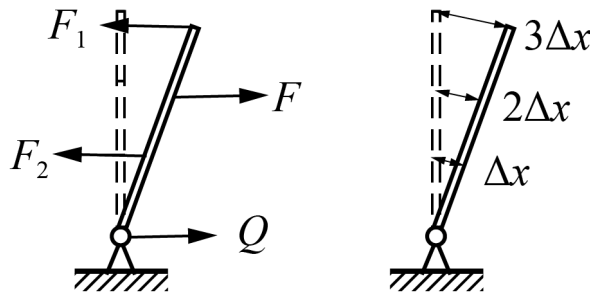
3) куда направлена сила  $Q$ ?

Точки крепления нити и пружин делят рычаг на три равные части. Угол  $\alpha$  отклонения рычага от вертикали можно считать малым ( $\alpha \ll 1$ ), нить и пружины горизонтальны.

**Возможное решение:**

Эквивалентной жёсткостью называют отношение внешней силы  $F$  (с которой тянет мальчик) к малому смещению точки приложения этой силы.

На невесомый рычаг действуют две силы упругости  $F_1$  и  $F_2$ , сила натяжения нити  $F$  и сила реакции шарнира  $Q$ . Если угол поворота рычага мал, то силы  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F$  — горизонтальные. Следовательно, сила  $Q$  тоже направлена горизонтально.



Обозначим малое смещение точки приложения силы  $F_2$  за  $\Delta x$ . Малое смещение точки приложения силы  $F$  будет  $2\Delta x$ , а малое смещение точки приложения силы  $F_1$  будет  $3\Delta x$ .

Запишем правило моментов относительно оси проходящей через шарнир:

$$F_1 3l + F_2 l = F 2l$$

$$k(3\Delta x)3l + 4k\Delta x l = F 2l$$

$$F = \frac{13}{2} k\Delta x$$

Тогда эффективная жесткость системы

$$k_0 = \frac{F}{2\Delta x} = \frac{13}{4} k$$

Выразим силы упругости через  $F$ :

$$F_1 = \frac{6}{13} F$$

$$F_2 = \frac{8}{13} F$$

Из условия равновесия для сил находим, что  $Q = \frac{1}{13} F$  и сонаправлена с  $F$ .



Всероссийская олимпиада школьников по физике  
Муниципальный этап. 06.12.2021 г.  
9 класс

**Критерии оценивания.**

<b>№</b>	<b>критерий</b>	<b>баллы</b>
1.	Использована связь силы упругости с удлинением	1
2.	Верно определено соотношение растяжений пружин	1
3.	Правильно записано правило моментов	2
4.	Сила $F$ выражена через удлинения пружин	1
5.	Найден эффективный коэффициент жёсткости	2
6.	Указана горизонтальность силы $Q$	0,5
7.	$F_1$ выражена через $F$	0,5
8.	$F_2$ выражена через $F$	0,5
9.	Указана сонаправленность $F$ и $Q$	0,5
10.	Найден модуль $Q$	1
<b>итого:</b>		<b>10</b>