ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП 2021-2022 года, вопросы по физике.
Ответы, решения и критерии оценивания (9 классы)

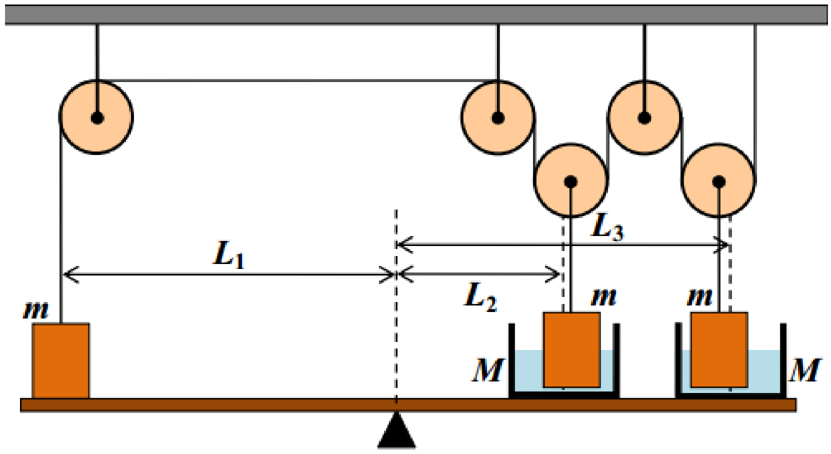
Вариант 3

1. Три одинаковых пластиковых цилиндра прикреплены к концам легкой нерастяжимой нити и подвешены к потолку с помощью пяти идеальных блоков (см. рисунок). Первый цилиндр стоит на одной из сторон легкого рычага, а второй и третий – опущены в одинаковые сосуды с водой, помещенные на другую сторону того же рычага. Масса одного сосуда с водой равна двенадцатой части массы одного цилиндра ($M=m/12$). Расстояния от точки опоры рычага до центров площадей опоры первого груза и сосудов связаны соотношениями $L_1=L_3=2\cdot L_2$. Плотность пластика, из которого изготовлены цилиндры, в 4/3 раза больше плотности воды. Система находится в равновесии.

1.1. Найдите отношение величины силы тяжести, действующей на один груз, к величине силы натяжения нити $(mg):T$. Ответ запишите с точностью до десятых.

1.2. Какая часть объема второго цилиндра находится под поверхностью воды в сосуде? Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

1.3. Какая часть объема третьего цилиндра находится под поверхностью воды в сосуде? Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.



Возможное решение: Сначала рассмотрим силы, приложенные к рычагу. Сила, действующая на левую сторону рычага со стороны первого цилиндра, равна по величине силе, действующей на этот цилиндр со стороны рычага, и ее можно найти из условия равновесия цилиндра: $N_1 = mg - T$. Аналогично находим величины сил, действующей на правую сторону рычага со стороны дна каждого сосуда (из условия равновесия сосуда с водой и погруженным в нее грузом): $N_2 = N_3 = (M+m)g - 2T$. Условие равновесия рычага $L_1N_1 = L_2N_2 + L_3N_3$ дает нам еще одно уравнение $2N_1 = N_2 + 2N_3$, из которого можно определить силу натяжения нити: $2mg - 2T = 3(M+m)g - 6T$, то есть $T = \dfrac{3M+m}{4}g = \dfrac{5}{16}mg$ и $\dfrac{mg}{T} = 3{,}2$.

Сразу заметим, что второй и третий цилиндры одинаковы, они помещены в одинаковые сосуды с водой и подвешены одинаковым образом к одной и той же легкой нерастяжимой нити, сила натяжения которой во всех точках одинакова. Ясно, что силы Архимеда, действующие на эти грузы, в состоянии равновесия должны быть одинаковы и равны $F_A = mg - 2T$, где T – сила натяжения нити. Следовательно, объем погруженной части у этих цилиндров одинаков. С учетом полученного выражения для силы натяжения найдем, что величины сил Архимеда $F_A = \dfrac{3}{8}mg$. По закону Архимеда эта величина связана с объемом погруженной части цилиндра $F_A = \rho_B V_{погр} g$, а масса цилиндра $m = \rho_{пл} V$. Поэтому полученное равенство дает нам соотношение $\rho_B V_{погр} g = \dfrac{3}{8}\rho_{пл} V g \Rightarrow \dfrac{V_{погр}}{V} = \dfrac{3}{8}\dfrac{\rho_{пл}}{\rho_B} = \dfrac{1}{2}$. Таким образом, второй и третий цилиндры погружены в воду на 50 %.

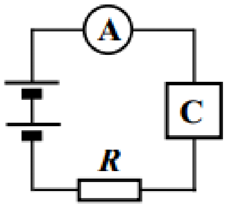
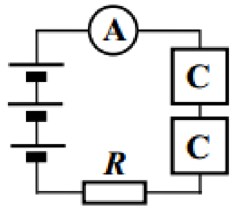
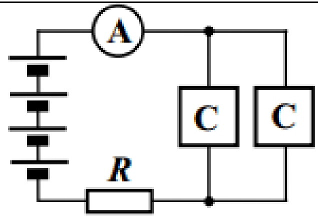
ОТВЕТЫ: 1.1. **3,2**. 1.2. **50**. 1.3. **50**.

Примечание: для варианта с M=m/2, как видно из формулы для силы Архимеда, нить полностью вытащит второй и третий цилиндры из воды, рычагу придется наклониться и правой стороной опереться на поверхность. Поскольку цилиндры будут висеть над водой, то в этом случае $T=\frac{1}{2}mg \Rightarrow \frac{mg}{T}=2$, и для обоих цилиндров $\frac{V_{погр}}{V}=0$. Такие ответы тоже засчитывались. Если участник для M=m/2 рассчитывал только силу натяжения нити, без вычисления силы Архимеда (то есть <u>без проверки</u> ее положительности), то при правильной записи уравнений в качестве ответа на вопрос 1.1 должно был получиться 1,6. Этот ответ тоже засчитывался.

2. Стабилизатор тока – нелинейный элемент электрических цепей, то есть он не всегда подчиняется закону Ома. Пусть у нас есть два одинаковых стабилизатора, ВАХ (вольт-амперная характеристика) которых описывается выражением

$$I(U)=\begin{cases} I_0\frac{U}{U_0}\left(2-\frac{U}{U_0}\right), & U<U_0 \\ I_0 \quad , & U\ge U_0 \end{cases}$$, в котором $I_0=2$ А, $U_0=3$В.

Из этих стабилизаторов, одинаковых батареек с ЭДС $\mathcal{E}_1=1{,}5$В и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением, резистора с сопротивлением $R=1$Ом и амперметра собирали три различные цепи по схемам, представленным в таблице ниже (стабилизаторы обозначены квадратом с буквой «С»).

Считая амперметр идеальным, ответьте на вопросы:

2.1. Чему равна сила тока через амперметр в схеме 1 из левого столбца таблицы? Ответ запишите в амперах, с точностью до десятых.

2.2. Чему равна сила тока через амперметр в схеме 2 из среднего столбца таблицы? Ответ запишите в амперах, с точностью до десятых.

2.3. Чему равна сила тока через амперметр в схеме 3 из правого столбца таблицы? Ответ запишите в амперах, округлив до десятых.

Возможное решение: Рассмотрим сначала первую схему. Так как напряжение на двух батарейках равно 3 В, то напряжение на стабилизаторе точно меньше 3 В, и связь тока с напряжением для него дается уравнением $I(U)=I_0\frac{U}{U_0}\left(2-\frac{U}{U_0}\right)$. Тогда (с учетом совпадения $2\mathcal{E}_1=U_0$) уравнение баланса напряжений имеет вид $U_0=U+R\cdot I_0\frac{U}{U_0}\left(2-\frac{U}{U_0}\right)$. Учтем также, что $RI_0=\frac{2}{3}U_0$, и приходим к уравнению для напряжения на стабилизаторе: $\left(\frac{U}{U_0}\right)^2-\frac{7}{2}\frac{U}{U_0}+\frac{3}{2}=0$. Так как нам нужно решение с $U<U_0$, то выбираем меньший корень $\frac{U}{U_0}=\frac{1}{2}$. Значит, сила тока через амперметр $I(U)=\frac{3}{4}I_0=1{,}5$ А.

Для второй схемы напряжение на двух последовательно соединенных стабилизаторах явно меньше 4,5 В, то есть на каждом из них – снова меньше «порога»! Снова используем нелинейную связь тока с напряжением. Теперь $3\mathcal{E}_1=\frac{3}{2}U_0=2U+R\cdot I_0\frac{U}{U_0}\left(2-\frac{U}{U_0}\right)$ (где U – напряжение на одном стабилизаторе). Теперь приходим к другому уравнению $\left(\frac{U}{U_0}\right)^2-5\frac{U}{U_0}+\frac{9}{4}=0$, но его меньший корень снова $\frac{U}{U_0}=\frac{1}{2}$. Поэтому и сила тока через амперметр прежняя $I(U)=\frac{3}{4}I_0=1{,}5$ А.

Для третьей схемы начнем с того, что проверим, может ли напряжение на параллельно соединенных стабилизаторах быть не ниже «порога»: если $U\geq U_0$, то ток через каждый стабилизатор равен $I_0=2$ А, ток через резистор $2I_0=4$ А, и напряжение на стабилизаторах $U=4\mathcal{E}_1-2I_0R=2$ В, то есть на самом деле опять меньше U_0. Поэтому действуем по все той же схеме: уравнение баланса напряжений теперь имеет вид $2U_0=U+R\cdot 2I_0\frac{U}{U_0}\left(2-\frac{U}{U_0}\right)$, то есть $\left(\frac{U}{U_0}\right)^2-\frac{11}{4}\frac{U}{U_0}+\frac{3}{2}=0$. Нужный корень $\frac{U}{U_0}=\frac{3}{4}$, и сила тока через каждый стабилизатор $I(U)=\frac{15}{16}I_0$. Ток через амперметр $I_A=2I(U)=\frac{15}{8}I_0=3{,}75$А.

ОТВЕТЫ: 2.1. **1,5**. 2.2. **1,5**. 2.3. **3,8**.

3. В трех одинаковых термосах находятся по 200 г жидкой воды с одинаковой температурой. В первый бросили нагретую выше температуры кипения металлическую пластину, во второй – две таких же пластины, а в третий – четыре. В первом термосе до установления равновесия испарилось 8 г воды, во втором – 18 г.

3.1. Какая масса воды испарилась в третьем термосе? Теплоемкостью колбы термоса пренебречь. Ни один термос не переполняется. Можно считать, что вода интенсивно испаряется только во время остывания пластин до температуры кипения. Ответ дайте в граммах, с точностью до целого значения.

3.2. Пусть все массы из условия известны с ошибкой не более 0,5 г. Оцените максимальную возможную ошибку полученного ответа на первый вопрос этого задания. В ответе поставьте:

- **1**, если Вы считаете, что эта ошибка не более 0,25 г;
- **2**, если Вы считаете что она более 0,25 г, но не более 0,5 г;
- **3**, если Вы считаете что она более 0,5 г, но не более 1 г;
- **4**, если Вы считаете что она более 1 г, но не более 2,5 г;
- **5**, если Вы считаете что она более 2,5 г.

Возможное решение: Запишем уравнение теплового баланса для установления равновесия в первом термосе (обозначив M массу воды в термосе, m – массу пластины, $t_1 < 100°\text{C} \equiv t_0$ и $t_2 > 100°\text{C}$ – начальные температуры воды и пластин, c_B и c_n – удельные теплоемкости воды и материала пластин). С учетом того, что пластина остывает до температуры кипения t_0 (после этого интенсивное испарение воды, согласно условию, прекращается и оставшаяся вода и пластина «очень медленно» остывают только за счет теплообмена): $c_BM(t_0-t_1)+rM_1=c_nm(t_2-t_0)$, а также аналогичное уравнение для второго термоса: $c_BM(t_0-t_1)+rM_2=c_n2m(t_2-t_0)$. Умножив первое уравнение на 2 и вычитая из него второе, получаем: $c_BM(t_0-t_1)=r(M_2-2M_1)$. Уравнение теплового баланса для установления равновесия в третьем термосе: $c_BM(t_0-t_1)+rM_3=c_n4m(t_2-t_0)$, и из него вместе с первым уравнением находим, что $3c_BM(t_0-t_1)=r(M_3-4M_1)$. Из двух полученных соотношений выражаем искомую массу испарившейся воды в третьем термосе: $M_3=3M_2-2M_1=38$ г.

Для оценки точности найдем максимальное (при максимальном M_2 и минимальном M_1) и минимальное (наоборот) значение найденной массы: $M_{3\max}=3(18+0{,}5)\text{г}-2(8-0{,}5)\text{г}=(38+2{,}5)$ г и $M_{3\min}=(38-2{,}5)$ г. Как видно, максимальная возможная ошибка полученного ответа около 2,5 г, что отвечает предложению номер 4.

ОТВЕТЫ: 3.1. **38**. 3.2 **4**.

4. Световое излучение – это разновидность *электромагнитных волн*, причем разные цвета отличаются друг от друга *длиной волны* λ (это расстояние между двумя «гребнями» волны). В таблице ниже приведена связь между длиной волны в нанометрах (1 нм = 10^{-9}м) и видимым цветом:

красный	оранжевый	желтый	зеленый	голубой	синий	фиолетовый
625–740 нм	590-625 нм	565-590 нм	500-565 нм	485-500 нм	440-485 нм	380-440 нм

«Белый цвет» - это равномерная смесь всех этих цветов, то есть в»белом» световом пучке во всем диапазоне длин волн от 380 нм до 740 нм на одинаковые интервалы ее значений $\Delta\lambda$ приходятся одинаковые доли от общей *интенсивности* пучка I (так называют энергию светового излучения, проходящую за единицу времени через единицу площади поперечного сечения пучка). Пусть белый свет падает на поверхность зеркала, которую мы разглядываем через «синий» светофильтр (то есть этот светофильтр пропускает «синие» световые лучи с эффективностью, описываемой коэффициентом прохождения $T(\lambda)=\dfrac{320\text{нм}}{\lambda}$, а все остальные полностью поглощает или отражает). Известно, что коэффициент отражения зеркала (показывающий, какую долю падающей энергии отражает зеркало для данной длины волны) $R(\lambda)=\dfrac{\lambda}{800\text{нм}}$. Определите, какую часть от интенсивности падающего на зеркало света составляет интенсивность света, прошедшего светофильтр. Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.

Возможное решение: Пусть интенсивность падающего «белого» света равна I_0. Тогда на каждый «малый» интервал длин волн $\Delta\lambda$ приходится часть общей интенсивности $\Delta I=\dfrac{\Delta\lambda}{360\text{нм}}I_0$ (здесь 360 нм – ширина диапазона «видимого» света 740 нм – 380 нм). После отражения от зеркала эта часть еще уменьшается и становится равной $\Delta I'=R(\lambda)\cdot\Delta I=\dfrac{\lambda}{800\text{нм}}\dfrac{\Delta\lambda}{360\text{нм}}I_0$.

Интенсивность после прохождения светофильтра еще уменьшается: $\Delta I''=T(\lambda)\Delta I'=\dfrac{320\text{нм}}{\lambda}\dfrac{\lambda}{800\text{нм}}\dfrac{\Delta\lambda}{360\text{нм}}I_0=\dfrac{\Delta\lambda}{900\text{нм}}I_0$, причем это выражение теперь относится только к «синим» лучам в диапазоне от 440 нм до 485 нм (шириной 45 нм), так как остальные лучи через светофильтр совсем не проходят. Значит, общая интенсивность пучка на выходе из светофильтра $I''=\dfrac{45\text{нм}}{900\text{нм}}I_0=\dfrac{1}{20}I_0$. Итак, его интенсивность составляет 5% от первоначальной.

ОТВЕТ: **5**.

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ варианта 3:

вопрос	ответ участника	балл
1.1	**3,2**	**4**
	1,6	**4**
	2,0	**4**
	от 1,0 до 1,5 и от 1,7 до 1,9	**2**
1.2	**50**	**4**
	0	**4**
	от 45 до 49 или от 51 до 55	**2**
1.3	**50**	**2**
	0	**2**
	ответ отличается от 50, но совпадает с ответом 1.2	**1**

2.1	**1,5**	**4**
	1,4 или 1,6	**2**
2.2	**1,5**	**6**
	1,4 или 1,6	**3**
2.3	**3,8**	**6**
	3,7	**6**
	3,75	**6**
	3,6 или 3,9	**3**
3.1	**38**	**10**
	37 или 39	**5**
3.2	**4**	**4**
	3 или 5	**2**
4	**5**	**10**
	4 или 6	**5**
Максимальная оценка		**50**

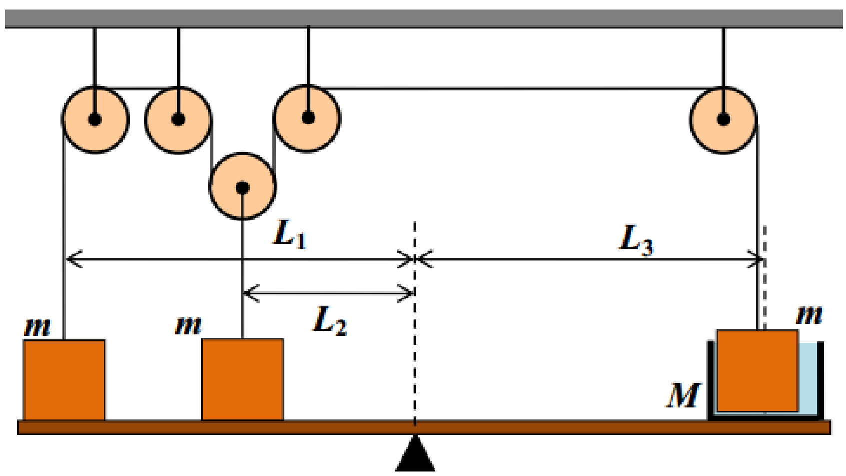
Вариант 7

1. Три одинаковых пластиковых цилиндра прикреплены к концам легкой нерастяжимой нити и подвешены к потолку с помощью пяти идеальных блоков (см. рисунок). Первый цилиндр стоит на одной из сторон легкого рычага, второй – на той же стороне рычага ближе к опоре, а третий – опущен в сосуд с водой, который помещен на другую сторону того же рычага. Масса сосуда с водой в четыре раза меньше массы одного груза. Расстояния от точки опоры рычага до центров площадей опоры первого груза, второго груза и сосуда связаны соотношениями $L_1=L_3=2\cdot L_2$. Плотность пластика, из которого изготовлены цилиндры, в 1,2 раза больше плотности воды. Система находится в равновесии.

1.1. Найдите отношение величины силы тяжести, действующей на один груз, к величине силы натяжения нити $(mg){:}T$. Ответ запишите с точностью до целого значения.

1.2. Найдите отношение силы давления первого цилиндра на рычаг к силе давления второго цилиндра на рычаг $N_1{:}N_2$. Ответ запишите в с точностью до десятых.

1.3. Какая часть объема третьего цилиндра находится под поверхностью воды в сосуде? Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.



Возможное решение: Сначала рассмотрим силы, приложенные к рычагу. Силы, действующие на левую сторону рычага со стороны первого и второго цилиндров, равны по величине силам, действующей на эти цилиндры со стороны рычага, а их можно найти из условий равновесия цилиндров: $N_1 = mg - T$ и $N_2 = mg - 2T$. Аналогично находим величину силы, действующей на правую сторону рычага со стороны дна сосуда (из условия равновесия сосуда с водой и погруженным в нее грузом): $N_3 = (M+m)g - T$. Условие равновесия рычага $L_1 N_1 + L_2 N_2 = L_3 N_3$ дает нам еще одно уравнение $2N_1 + N_2 = 2N_3$, из которого можно определить силу натяжения нити: $2mg - 2T + mg - 2T = 2(M+m)g - 2T$, то есть $T = \dfrac{m - 2M}{2} g = \dfrac{1}{4} mg$ и $\dfrac{mg}{T} = 4$.

Теперь можно определить, что $N_1 = \dfrac{3}{4} mg$ и $N_2 = \dfrac{1}{2} mg$. Значит, $\dfrac{N_1}{N_2} = \dfrac{3}{2}$.

Сила Архимеда, действующая на третий груз, в состоянии равновесия равна $F_A = mg - T = \dfrac{3}{4} mg$.

По закону Архимеда эта величина связана с объемом погруженной части цилиндра $F_A = \rho_B V_{погр} g$, а масса цилиндра $m = \rho_{пл} V$. Поэтому полученное равенство дает нам соотношение $\rho_B V_{погр} g = \dfrac{3}{4} \rho_{пл} V g \Rightarrow \dfrac{V_{погр}}{V} = \dfrac{3}{4} \dfrac{\rho_{пл}}{\rho_B} = \dfrac{9}{10}$. Таким образом, третий цилиндр погружен в воду на 90 %.

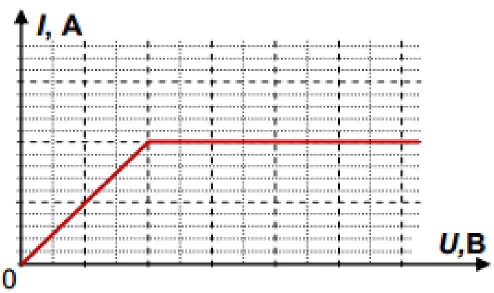
ОТВЕТЫ: 1.1. **4**. 1.2. **1,5**. 1.3. **90**.

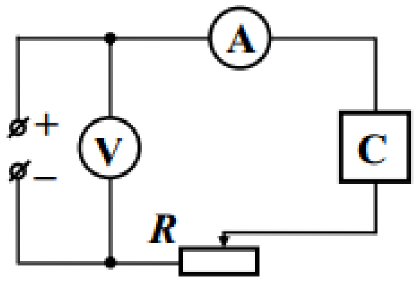
2. Стабилизатор тока – нелинейный элемент электрических цепей, то есть он не всегда подчиняется закону Ома. Школьники нашли в лаборатории стабилизатор тока и паспорт к нему. Однако текст и многие надписи в паспорте выцвели, и они не смогли прочитать числа в подписях к осям на графике ВАХ стабилизатора, показанной на рисунке слева. Тогда они собрали цепь по схеме, приведенной на правом рисунке, и измерили с помощью практически идеальных приборов напряжение и силу тока при разных сопротивлениях реостата. Результаты измерений они занесли в таблицу:

R, Ом	5	10	15
U, В	6,00±0,05	6,00±0,05	6,00±0,05
I, А	0,40±0,01	0,40±0,01	0,30±0,01

2.1. Найдите величину силы тока, соответствующей участку стабилизации (на графике – параллельный оси напряжений). Ответ запишите в А, с точностью до сотых.

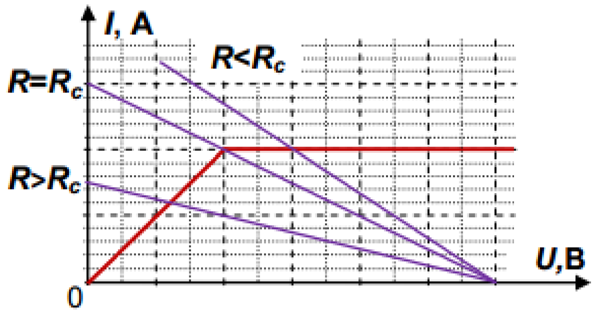
2.2. Предскажите величину силы тока, которую покажет амперметр при $R = 25$ Ом. Ответ запишите в А, с точностью до сотых.





Возможное решение: Постоянство напряжения, фиксируемого вольтметром, в данной схеме означает, что напряжение источника практически не зависит от сопротивления нагрузки, то есть источник можно считать идеальным и не учитывать его внутреннее сопротивление. Более того, ясно, что напряжение, создаваемое этим идеальным источником равно $U_0 \approx 6{,}0$ В.

Напряжение на стабилизаторе равно $U = U_0 - IR$, и поэтому сила тока при каждом значении определяется точкой пересечения прямой $I = \dfrac{U_0 - U}{R}$ с графиком ВАХ стабилизатора. Представив себе ход этой прямой, можно заметить, что существует «критическое» значение сопротивления реостата R_c, при котором эта прямая проходит точно через точку излома ВАХ стабилизатора (U_c, I_c). При любом $R < R_c$ сила тока в цепи равна I_c. Из результатов измерений видно, что значения 5 Ом и 10 Ом принадлежат области $R \le R_c$, и $I_c = 0{,}40\,\text{А}$.



На наклонном участке ВАХ зависимость напряжения от силы тока можно описать выражением $U = \dfrac{I}{I_c} U_c$. Значит, сила тока определяется из уравнения $U_0 - IR = \dfrac{I}{I_c} U_c$, откуда ясно, что при $R > R_c$ сила тока убывает с ростом R по закону $I = \dfrac{U_0}{(U_c / I_c) + R}$. Ясно, что значение 15 Ом и 25 Ом относится к этой области, то есть $0{,}30\,\text{А} \approx \dfrac{6{,}0\,\text{В}}{(U_c / I_c) + 15\text{Ом}}$. Следовательно $\dfrac{U_c}{I_c} \approx 5\text{Ом}$, и $U_c \approx 2{,}0\,\text{В}$. Теперь можно предсказать силу тока при $R = 25\text{Ом}$: $I \approx \dfrac{6{,}0\text{В}}{5\text{Ом} + 25\text{Ом}} = 0{,}20\,\text{А}$.

ОТВЕТЫ: 2.1. **0,40**. 2.2. **0,20**.

3. В двух одинаковых термосах находятся по 100,0 г льда с температурой 0°C. В первый термос налили 150,0 г горячей воды, и после установления равновесия температура содержимого термоса оказалась равна 16°C. Во второй термос налили 700,0 г воды с той же температурой. Известно, что удельная теплоемкость воды равна 4,2 кДж/(кг·°C), а удельная теплота плавления использованного льда – 336 кДж/кг.

3.1. Какая температура установится во втором термосе? Теплоемкостью колбы термоса пренебречь. Ни один термос не переполняется. Ответ дайте в °C, с точностью до целого значения.

3.2. Пусть все массы из условия известны с ошибкой не более 0,1 г, характеристики воды и льда можно считать точными, а температура в первом термосе была измерена с ошибкой не более 0,5°C. Оцените максимальную возможную ошибку полученного ответа на первый вопрос этого задания. В ответе поставьте:

- **1**, если Вы считаете, что эта ошибка не более 0,2°C;
- **2**, если Вы считаете что она более 0,2°C, но не более 1°C;
- **3**, если Вы считаете что она более 1°C, но не более 5°C г;
- **4**, если Вы считаете что она более 5°C, но не более 7°C;
- **5**, если Вы считаете что она более 7°C.

Возможное решение: Введем обозначения: M – начальная масса льда, m_1 – масса горячей воды, залитой в первый термос, c – удельная теплоемкость воды, а λ – удельная теплота плавления льда. Пусть также t_0 – начальная температура горячей воды. Уравнение теплового баланса для установления равновесия в первом термосе, в котором установилась температура t_1, имеет вид $M(\lambda + ct_1) = cm_1(t_0 - t_1)$. Из него следует, что $t_0 = \dfrac{M}{m_1}\dfrac{\lambda}{c} + \dfrac{M + m_1}{m_1} t_1$. Ясно, что для второго термоса это уравнение будет аналогичным, то есть $t_0 = \dfrac{M}{m_2}\dfrac{\lambda}{c} + \dfrac{M + m_2}{m_2} t_2$. Приравнивая левые части этих выражений, находим, что $t_2 = \dfrac{M(m_2 - m_1)}{m_1(M + m_2)}\dfrac{\lambda}{c} + \dfrac{m_2(M + m_1)}{m_1(M + m_2)} t_1 = \dfrac{11}{24}\dfrac{\lambda}{c} + \dfrac{35}{24} t_1 = 60°\text{C}$.

При подстановке числовых значений масс и температур в полученные формулы в первую очередь заметим, что влияние на ошибку результата ошибок в измерении температуры намного сильнее, чем ошибок в определении масс (Δm составляет от значений масс не более 0,1%, а Δt – это более 3 % от значения t_1). Поэтому для оценки точности можно пренебречь ошибками измерения массы и считать, что мы определяем итоговый результат по формуле $t_2 = \frac{11}{24}\frac{\lambda}{c} + \frac{35}{24}t_1$.

Значит, максимальная допустимая (при указанной ошибке измерения t_1) величина $t_{2\max} = \frac{110}{3}°\text{C} + \frac{35}{24}(t_1 + \Delta t) \approx 60{,}73°\text{C}$, а минимальная возможная величина $t_{2\min} = \frac{110}{3}°\text{C} + \frac{35}{24}(t_1 - \Delta t) \approx 59{,}27°\text{C}$. Таким образом, ошибка в определении t_2 не превышает 0,73°C, что соответствует предложению 2.

ОТВЕТЫ: 3.1. **60**. 3.2 **2**.

4. Сила тока фотодатчика прямо пропорциональна энергии светового излучения, поступающего в его «входное окно» в единицу времени. Этот датчик разместили между двумя одинаковыми маленькими лампами, излучающими свет одинаково во всех направлениях. Расстояние между центрами ламп равнялось 6 м, а точка размещения датчика находилась точно на линии, соединяющей эти центры. Когда входное окно датчика развернули прямо на центр лампы 1, сила тока фотодатчика оказалась равна 8 мА. Когда его, не смещая, развернули прямо на центр лампы 2, сила тока фотодатчика стала равна 2 мА. На каком расстоянии от лампы 1 находился датчик? Воздух между лампой и фотодатчиком считать полностью прозрачным. Ответ запишите в м, с точностью до целого значения.

Возможное решение: По мере удаления от лампы площадь поверхности сферы, по которой распределена энергия излучения, растет пропорционально квадрату ее радиуса. Поэтому мощность излучения лампочки, попадающего в окно фотодатчика, расположенного на расстоянии r от нее, убывает обратно пропорционально r^2, и точно так же убывает сила тока фотодатчика. Поскольку сила тока датчика при направлении его на лампу 2 оказалась в 4 раза меньше, чем при направлении на лампу 1, то расстояние до лампы 2 от датчика в 2 раза больше, чем до лампы 1: $r_2 = 2r_1$. С другой стороны, $r_2 + r_1 = L = 6$м. Из этих уравнений находим, что $r_1 = 2$м.

ОТВЕТ: **2**.

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ варианта 7:

вопрос	ответ участника	балл
1.1	**4**	**2**
	3 или 5	**1**
1.2	**1,5**	**4**
	от 1,0 до 1,4 или от 1,6 до 2,0	**2**
1.3	**90**	**6**
	от 80 до 89 или от 91 до 95	**3**
2.1	**0,40**	**4**
	0,15	**2**
2.2	**0,20**	**10**
	от 0,16 до 0,19 или от 0,21 до 0,24	**5**

3.1	**60**	**10**
	от 55 до 59 или от 61 до 65	**5**
3.2	**2**	**4**
	1 или 3	**2**
4	**2**	**10**
	1	**5**
Максимальная оценка		**50**

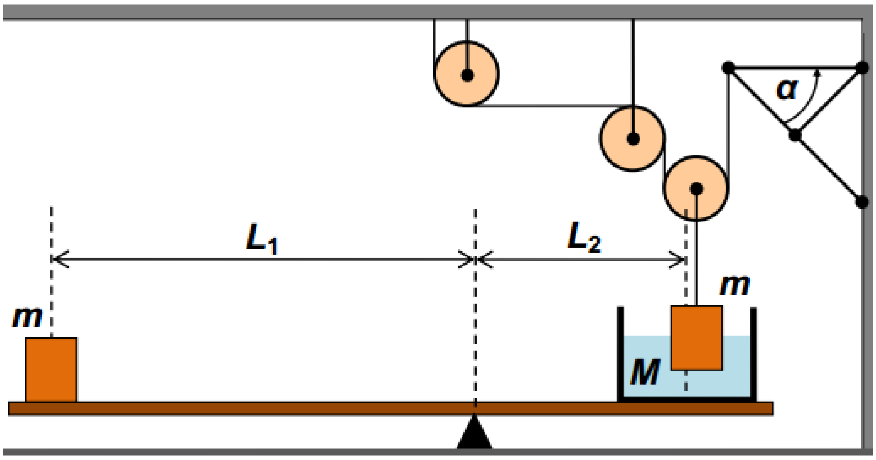
Вариант 11

1. На одной из сторон легкого рычага находится пластиковый цилиндр массой m = 566 г. На другой его стороне – сосуд с водой массой M = 1,5·m =849 г, в который опущен еще один такой же пластиковый цилиндр, подвешенный к потолку и кронштейну с помощью легкой нерастяжимой нити и трех идеальных блоков (см. рисунок). Кронштейн собран из легких стержней, соединенных легкими гладкими шарнирами так, что они образуют два одинаковых прямоугольных треугольника с острыми углами по α = 45°. Сами стержни такими же шарнирами прикреплены к вертикальной стене. Расстояния от точки опоры рычага до оси первого цилиндра и до центра площади основания сосуда относятся как L_1:L_2=2:1. Плотность пластика, из которого изготовлены цилиндры, равна плотности воды. Система находится в равновесии. Ускорение свободного падения считать равным g = 10 м/с^2

1.1. Найдите величину силы натяжения нити T. Ответ запишите в ньютонах с точностью до десятых, без указания единиц измерения.

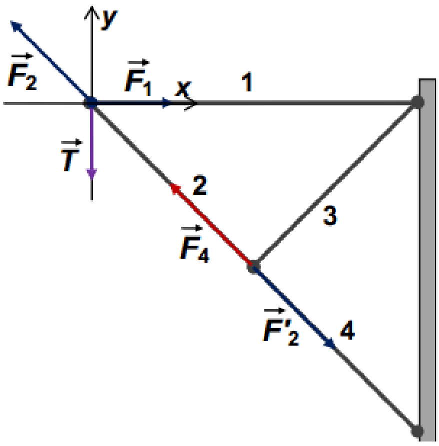
1.2. Найдите величину силы упругости самого нижнего из стержней шарнира. Ответ запишите в ньютонах с точностью до целого значения, без указания единиц измерения.

1.3. Какая часть объема второго цилиндра находится под поверхностью воды в сосуде? Ответ запишите в процентах, с точностью до целого значения.



Возможное решение: Сначала рассмотрим силы, приложенные к рычагу. Сила, действующая на левую сторону рычага со стороны первого цилиндра, равна по величине силе, действующей на этот цилиндр со стороны рычага и уравновешивающей силу тяжести $N_1 = mg$. Величину силы, действующей на правую сторону рычага со стороны дна сосуда, находим(из условия равновесия сосуда с водой и погруженным в нее грузом: $N_2 = (M+m)g - 2T$, где T – сила натяжения нити. Условие равновесия рычага $L_1 N_1 = L_2 N_2$ дает нам еще одно уравнение $2N_1 = N_2$, из которого можно определить силу натяжения нити: $2mg = (M+m)g - 2T$. В результате находим, что $T = \frac{M-m}{2}g = \frac{1}{4}mg \approx 1{,}4$ Н.

Эта же сила натяжения, направленная вертикально вниз, действует на кронштейн со стороны нити. Прежде всего заметим, что каждый из стержней находится в равновесии под действием двух сил, действующих на него со стороны соседних шарниров (силу тяжести для «невесомого» стержня считаем равной нулю). Сумма этих сил равна нулю, поэтому силы реакций двух шарниров всегда направлены в противоположные стороны и равны по величине. Если бы линии их действия не совпадали, то такая пара сил создавала бы ненулевой момент, чего не может быть в состоянии равновесия. Поэтому эти силы направлены вдоль одной прямой, и, поскольку они приложены к разным концам стержня, то они обязательно направлены вдоль стержня. Ясно, что так же направлены и силы упругости каждого стержня, действующие на соседние с ним шарниры. Рассмотрим равновесие крайнего шарнира, к которому прикреплена нить (сходящиеся к нему стержни обозначим как «первый» и «второй» – см. рисунок). Он находится в равновесии, и сумма приложенных к нему сил (это силы упругости шарниров и сила натяжения нити) равна нулю. Горизонтальные проекции сил упругости стержней должны уравновесить друг друга, и поэтому один из них должен быть растянут, а другой сжат. При этом сумма их вертикальных проекций должна уравновесить силу натяжения, так что стержень 1 растянут, а стержень 2 сжат. Записывая условия равновесия сил в проекциях на горизонтальную ось x и вертикальную ось y находим, что $F_2 \cdot \sin(45°) = T \Rightarrow F_2 = \sqrt{2}T$ и $F_1 = F_2 \cos(45°) = T$. Затем рассмотрим равновесие шарнира, соединяющего стержни 2, 4 и 3. Векторная сумма соответствующих сил упругости равна нулю. Стержень 3 перпендикулярен двум другим, так что его сила упругости обязана быть равной нулю, а сила упругости стержня 4 уравновешивает силу упругости стержня 2, приложенную к рассматриваемому шарниру. Значит, $F_4 = F_2 = \sqrt{2}T = \dfrac{mg}{2\sqrt{2}} \approx 2$ Н.



Запишем теперь условие равновесия второго цилиндра, частично погруженного в воду $F_A + 2T = mg$, и найдем из него величину силы Архимеда $F_A = (2m - M)g = \dfrac{mg}{2}$. Так как по закону Архимеда $F_A = \rho_B V_{погр} g$, а $mg = \rho_{пл} V g$, то $\dfrac{V_{погр}}{V} = \dfrac{\rho_{пл}}{\rho_B} \dfrac{2m - M}{m} = 0{,}5$. Итак, под водой находится 50% объема второго цилиндра.

ОТВЕТЫ: 1.1. **1,4**. 1.2. **2**. 1.3. **50**.

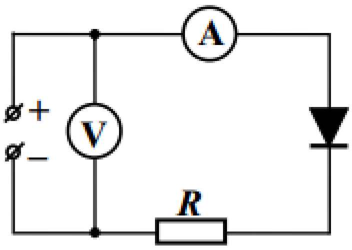
2. Школьники нашли в лаборатории полупроводниковый диод и его описание. Однако текст в описании сохранился не полностью: они узнали, что ВАХ диода с хорошей точностью описывается выражением $I(U) = I_0 \dfrac{U}{U_0}$ при $U < U_0$, а увеличение силы тока выше I_0 происходит практически без увеличения напряжения (можно считать, что при всех $I > I_0$ $U = U_0$). Однако они не смогли выяснить, каковы значения U_0 и I_0. Тогда они собрали цепь по схеме, приведенной на рисунке, и измерили с помощью практически идеальных приборов напряжение и силу тока при разных сопротивлениях реостата. Результаты измерений они занесли в таблицу:

R, Ом	20	25	35
U, В	12,0±0,1	12,0±0,1	12,0±0,1
I, А	0,50±0,01	0,40±0,01	0,30±0,01

2.1. Найдите величину U_0. Ответ запишите в В, с точностью до целого значения.

2.2. Найдите величину I_0. Ответ запишите в А, с точностью до десятых.

2.3. Предскажите величину силы тока, которую покажет амперметр при $R = 45$ Ом. Ответ запишите в А, с точностью до сотых.



Возможное решение: Постоянство напряжения, фиксируемого вольтметром, в данной схеме означает, что напряжение источника практически не зависит от сопротивления нагрузки, то есть источник можно считать идеальным и не учитывать его внутреннее сопротивление. Более того, ясно, что напряжение, создаваемое этим идеальным источником равно $U_{ucm} \approx 12{,}0$ В. Существуют два режима работы диода. В первом ток больше I_0, а напряжение на диоде равно U_0. С другой стороны, оно равно $U = U_{ucm} - IR$. Поэтому, если диод находится в этом режиме, то произведение $IR = U_{ucm} - U_0$ является постоянным. Из таблицы видно, что первые две точки относятся именно к этому режиму: $U_{ucm} - U_0 = I_1 R_1 = I_2 R_2 \approx 10{,}0$ В. Следовательно, $U_0 \approx 2{,}0$ В. Третья точка этим свойством не обладает ($I_3 R_3 \approx 10{,}5$ В), то есть эта точка соответствует другому режиму работы диода, когда $U = U_{ucm} - I_3 R_3 = 1{,}5\text{ В} < U_0$. Сила тока при таком напряжении $I = I_0 \dfrac{U}{U_0} = 0{,}30\text{ А} = I_0 \cdot 0{,}75$. Значит, $I_0 \approx 0{,}40$ А.

При произвольной величине R в режиме $U < U_0$ сила тока определяется из уравнения $U_{ucm} - IR = U_0 \dfrac{I}{I_0} \Rightarrow I = \dfrac{U_{ucm} I_0}{U_0 + I_0 R}$, и при $R = 45$ Ом $I \approx 0{,}24$ А.

ОТВЕТЫ: 2.1. **2**. 2.2. **0,4**. 2.3. **0,24**.

3. В термосе находился кипяток. В него засыпали порцию мокрого снега (смесь ледяных кристаллов и жидкой воды в равновесии), и после установления равновесия температура содержимого термоса стала равна $t_1 = 92$°С. После засыпания еще одной <u>такой же</u> порции мокрого снега и установления равновесия температура упала до $t_2 = 85$°С. Найдите долю (по массе) ледяных кристаллов в мокром снеге. Удельная теплоемкость воды $c \approx 4{,}2$ Дж/(г·°С), удельная теплота плавления льда $\lambda \approx 336$ Дж/г.

3.1. Найдите отношение начальной массы воды (кипятка) в термосе к массе одной порции мокрого снега. Ответ запишите в виде целого числа.

3.2. Найдите долю массы ледяных кристаллов от общей массы мокрого снега. Ответ дайте в процентах точностью до целого значения.

3.3. Пусть температуры t_1 и t_2 из условия известны с ошибкой не более 0,1°С, характеристики воды и льда можно считать точными, а температура кипятка нам известна точно (давление строго равно нормальному атмосферному). Оцените максимальную возможную ошибку полученного ответа на первый вопрос этого задания. В ответе поставьте:

- **1**, если Вы считаете, что эта ошибка не более 0,1;
- **2**, если Вы считаете что она более 0,1, но не более 0,5;
- **3**, если Вы считаете что она более 0,5, но не более 1;
- **4**, если Вы считаете что она более 1, но не более 3;
- **5**, если Вы считаете что она более 3.

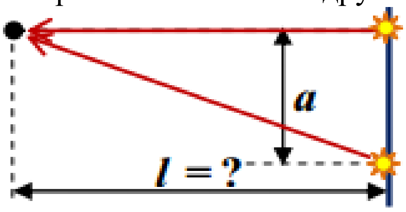
Возможное решение: С самого начала ясно, что начальная температура кипятка $t_0 = 100$°С, а температура мокрого снега равна 0°С. Введем обозначения: M – начальная масса кипятка в термосе, m – масса одной порции мокрого снега, n – массовая доля льда в мокром снеге. Запишем уравнение теплового баланса для определения температуры t_1 после засыпания одной порции: $cM(t_0-t_1)=cmt_1+\lambda nm$, и аналогичное для t_2: $cM(t_0-t_2)=c2mt_2+\lambda n2m$. Умножив первое уравнение на 2 и вычитая из полученного равенства второе, находим: $\frac{M}{m}=\frac{2(t_1-t_2)}{t_0+t_2-2t_1}=14$.

Разделив эти два уравнения друг на друга, получаем уравнение на вторую искомую величину n: $\frac{2(t_0-t_1)}{t_0-t_2}=\frac{t_1+(\lambda/c)n}{t_2+(\lambda/c)n}\Rightarrow n=\frac{c}{\lambda}\frac{t_1(t_0+t_2)-2t_0t_2}{t_0+t_2-2t_1}=0{,}25$. Таким образом, n = 25 %.

Максимальная допустимая (при указанной ошибке измерения температур) величина $\left(\frac{M}{m}\right)_{\max}=\frac{2(92{,}1-84{,}9)}{184{,}9-184{,}2}\approx 20{,}57$, а минимальная возможная величина $\left(\frac{M}{m}\right)_{\min}=\frac{2(91{,}9-85{,}1)}{185{,}1-183{,}8}\approx 10{,}46$. Таким образом, максимальная ошибка в определении $\frac{M}{m}$ около 6,6, что соответствует предложению 5.

ОТВЕТЫ: 3.1. **14**. 3.2 **25**. 3.3. **5**.

4. Сила тока фотодатчика прямо пропорциональна энергии светового излучения, поступающего в его «входное окно» в единицу времени. Два таких одинаковых датчика разместили на небольшом роботе модели «мотылек». На ровной вертикальной стенке расположены на одной небольшой высоте две одинаковые лампы на расстоянии $a=5$ м друг от друга. Робот расположен точно напротив одной из ламп (см. рисунок), и датчики «смотрят» каждый на свою лампу. Ток фотодатчика, который направлен на ближайшую лампу, равен $I_1=33{,}8$ мА. Ток второго фотодатчика $I_2=28{,}8$ мА. На каком расстоянии от стены находится робот? Лампы имеют малые размеры и светят во всех направлениях одинаково. Воздух между лампами и фотодатчиком считать полностью прозрачным. Ответ запишите в м, с точностью до целого значения



Возможное решение: По мере удаления от лампы площадь поверхности сферы, по которой распределена энергия излучения, растет пропорционально квадрату ее радиуса. Поэтому мощность излучения лампочки, попадающего в окно фотодатчика, расположенного на расстоянии r от нее, убывает обратно пропорционально r^2, и точно так же убывает сила тока фотодатчика. Значит, отношение токов фотодатчиков равно обратному отношению квадратов расстояний: $\frac{r_2^2}{r_1^2}=\frac{I_1}{I_2}\Rightarrow r_2^2=\frac{I_1}{I_2}r_1^2$. Из теоремы Пифагора $r_2^2-r_1^2=a^2$. Поэтому $r_1^2\frac{I_1-I_2}{I_2}=a^2$, и в результате $l=r_1=a\sqrt{\frac{I_2}{I_1-I_2}}=12$ м.

ОТВЕТ: **12**.

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ варианта 11:

вопрос	ответ участника	балл
1.1	**1,4**	**2**
	1,3 или 1,5	**1**
1.2	**2**	**6**
	1 или 3	**3**
1.3	**50**	**4**
	от 45 до 49 или от 51 до 55	**2**

2.1	**2**	**4**
	1 или 3	**2**
2.2	**0,4**	**4**
	0,3 или 0,5	**2**
2.3	**0,24**	**6**
	0,22 или 0,23 или 0,25 или 0,26	**3**
3.1	**14**	**4**
	12 или 13 или 15	**2**
3.2	**25**	**6**
	от 20 до 24 или от 26 до 28	**3**
3.3	**5**	**4**
	4	**2**
4	**12**	**10**
	10 или 11 или 13 или 14	**5**
Максимальная оценка		**50**