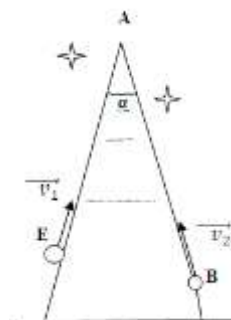


**Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников по физике.  
2021-22 учебный год. 9 класс. Максимальный балл – 50.**

**Задача №1**

Два альпиниста поднимаются по противоположным склонам горы с постоянными скоростями  $v_1 = v$  и  $v_2 = 2v$  соответственно. Они могут общаться с помощью раций. Качество связи сильно зависит от расстояния между ними, чем расстояние меньше, тем связь лучше. Выяснилось, что наилучшей связью была спустя время  $\tau$  после начала движения. Зная начальные расстояния до вершины  $AE = s_1$  и  $AB = s_2$ , найдите минимальное расстояние между альпинистами. Угол при вершине  $\alpha = 60^\circ$ .

**Автор: Рыжов Антон Михайлович**



**Возможное решение**

Для решения поставленной задачи перейдем в СО, связанную с первым альпинистом, движущимся со скоростью  $v_1$ . Тогда второй альпинист будет двигаться со скоростью  $u$  в СО первого альпиниста и пройдет за время  $\tau$  расстояние  $BK$  (применен закон сложения скоростей). Очевидно, кратчайшим расстоянием между альпинистами будет являться отрезок  $EK=r$ , перпендикулярный  $BK$ .

Используя теорему Пифагора для  $\Delta BKE$ , выразим  $r$ :

$$r = \sqrt{BE^2 - BK^2}.$$

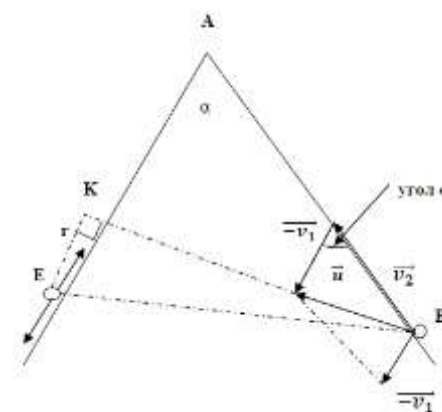
Применив теорему косинусов для  $\Delta EAB$ , найдём  $BE$ :

$$BE^2 = s_1^2 + s_2^2 - 2s_1s_2 \cos \alpha = s_1^2 + s_2^2 - s_1s_2. \quad \text{Очевидно,}$$

$BK = u \cdot \tau$ . Скорость  $u$  найдём по теореме косинусов для треугольника скоростей:

$$u^2 = v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \alpha = 3v^2.$$

$$\text{Тогда } r = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 - s_1s_2 - 3v^2\tau^2}.$$



**Критерии оценивания**

№	Пункт	Баллы
1	Выполнен переход в СО первого или второго альпиниста. Записан закон сложения скоростей, либо сразу правильно построен треугольник скоростей	1+1
2	Изображена траектория движения одного альпиниста в СО второго	1
3	Геометрически определено кратчайшее расстояние	1
4	Сделан поясняющий рисунок	1
5	Записана теорема Пифагора для $\Delta BKE$	1
6	Найдено $BE$	1
7	Найдено $BK$	1
8	Записана теорема косинусов для треугольника скоростей и найдена скорость $u$	1
9	Найдено $r$ , записан ответ	0,5+0,5

## Задача №2

На лабораторной работе по физике ученики проводили опыты по сборке электрических цепей. Необходимо было соединить последовательно батарейку, резистор и амперметр, затем подключить к цепи вольтметр и снять показания измерительных приборов. Однако, указаний на то, как и к какому прибору подключать вольтметр, не было.

Если вольтметр подсоединить параллельно батарейке (рис.1), то показания вольтметра и амперметра составят  $U_1=11,686$  В и  $I_1=43,28$  мА соответственно. Если же вольтметр подсоединить параллельно резистору (рис.2), то показания приборов изменятся и станут равны  $U_2=10,511$  В и  $I_2=59,56$  мА. А если вольтметр соединить последовательно с резистором (рис.3), то показания приборов станут равны  $U_3=8,229$  В и  $I_3=13,71$  мА.

Ещё учитель предупреждал, что батарейка не является идеальным источником, и напряжение на ней зависит от величины протекающего тока.

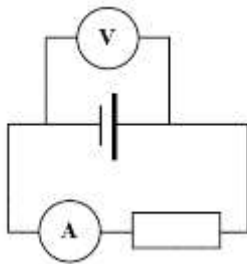


Рис.1

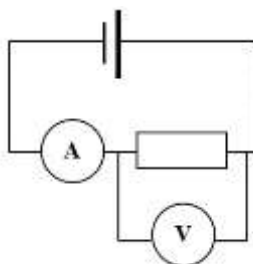


Рис.2

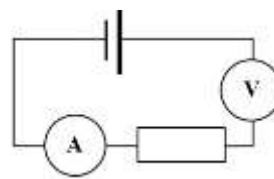


Рис.3

Ответьте на вопросы:

1. Чему равно сопротивление вольтметра  $R_V$ ?
2. Чему равно сопротивление резистора  $R$ ?
3. Чему равно сопротивление амперметра  $R_A$ ?
4. Известно, что напряжение на выходе батарейки зависит от силы тока, протекающего через нее, следующим образом:  $U = \varepsilon - Ir_{внут}$ , где  $\varepsilon$  и  $r_{внут}$  – некоторые константы. Используя данные, полученные в предыдущих пунктах, найдите, чему равны эти константы.

*Автор: Горюнова Мария Владимировна*

### Возможное решение:

1. Рассмотрим 3 схему. Ток через вольтметр в ней равен току через амперметр, так как они соединены последовательно. Напряжения на вольтметре нам также известно (равно его показаниям). Запишем закон Ома для вольтметра.  $R_V = \frac{U_3}{I_3} = 600,22 \text{ Ом} \approx 600 \text{ Ом}$ .

2. Рассмотрим 2 схему. Напряжение на резисторе известно, оно равно показаниям вольтметра, подключенного параллельно. А ток через резистор равен разности токов через амперметр и вольтметр. Найдем его.  $I_{R_2} = I_2 - \frac{U_2}{R_V} = 42,04 \text{ мА}$ . По закону Ома определим сопротивление резистора  $R = \frac{U_2}{I_{R_2}} = 250,02 \text{ Ом} \approx 250 \text{ Ом}$ .

3. Рассмотрим 1 схему. Напряжение на амперметре равно разности напряжений на источнике (его показывает вольтметр) и на резисторе  $U_{A_1} = U_1 - I_1 R = 0,866 \text{ В}$ . Из закона Ома вычислим сопротивление амперметра  $R_A = \frac{U_{A_1}}{I_1} = 20 \text{ Ом}$ .

4. Найдем требуемые константы. Для этого в двух схемах из трех выразим напряжение на батарейке и ток через неё.

Для первой схемы:  $I_{уст1} = I_1 + I_{V_1} = I_1 + \frac{U_1}{R_V} = 62,76 \text{ мА}$ .  $U_{уст1} = U_1 = 11,686 \text{ В}$ .

Для третьей схемы:  $I_{уст3} = I_3 = 13,71 \text{ мА}$ .  $U_{уст3} = I_3(R + R_A + R_V) = 11,928 \text{ В}$ .

5. Воспользуемся уравнением, данным в четвертом вопросе.

$$U_{ист1} = \varepsilon - I_{ист1} r_{внутр}$$

$$U_{ист3} = \varepsilon - I_{ист3} r_{внутр}$$

Вычтя из нижнего уравнения верхнее получим:  $U_{ист3} - U_{ист1} = r_{внутр}(I_{ист1} - I_{ист3})$ . Выразим

$$r_{внутр} = \frac{U_{ист3} - U_{ист1}}{I_{ист1} - I_{ист3}} = 4,93 \text{ Ом.}$$

Из уравнения для первой схемы выразим  $\varepsilon = U_{ист1} + I_{ист1} r_{внутр} = 11,995 \text{ В}$ .

*Примечание. В связи с ограниченной точностью исходных значений и промежуточными округлениями численные ответы засчитываются при попадании в интервал, указанный в критериях.*

### Критерии оценивания

№	Пункт	Баллы
1	Верно применен закон сложения токов в разветвленной цепи	0,5
2	Верно применен закон сложения напряжений для последовательно соединенных элементов	0,5
3	Записано выражение для нахождения $R_A$	1
4	Найдено $R_A = (20 \pm 1) \text{ Ом}$	1
5	Записано выражение для нахождения $R$	1
6	Найдено $R = (250 \pm 2) \text{ Ом}$	1
7	Записано выражение для нахождения $R_V$	1
8	Найдено $R_V = (600 \pm 3) \text{ Ом}$	1
9	Получен полный набор правильных формул, позволяющих выразить напряжение на источнике и ток через него для одной из схем (такие наборы формул нужны для двух схем)	(0,5+0,5)
10	Получено значение $\varepsilon = (12 \pm 1) \text{ В}$	1
11	Получено значение $r_{внутр} = (5 \pm 1) \text{ Ом}$	1

### Задача №3

В темной комнате в пустой стеклянный толстостенный цилиндр с тонким дном (внутренний радиус  $R_1 = 8$  см, внешний радиус  $R_2 = 10$  см), имеющий комнатную температуру  $t_0 = 20$  °С, налили горячую воду при температуре  $t_1 = 90$  °С. При этом уровень воды поднялся на 5 см. В результате теплообмена температура цилиндра с водой стала равной  $t_2 = 71,7$  °С. Затем цилиндр с водой перенесли на стол под отвесно падающие лучи солнца, которые приносили на поверхность стола ежесекундно 700 Дж на  $1 \text{ м}^2$ , при этом вода и стекло поглощали 80% падающей энергии.

Сколько потребуется времени, чтобы вода в сосуде нагрелась до 73 °С? Тепловыми потерями в окружающую среду пренебречь. Плотность воды  $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ , удельная теплоемкость воды  $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{С}}$ .

*Автор: Баланов Василий Юрьевич*

### Возможное решение

Сначала найдем теплоемкость цилиндрического сосуда.

$$\text{Объем налитой воды } V_B = \pi R_1^2 \cdot h = 0,001 \text{ м}^3 \quad m_B = \rho_B V_B = 1 \text{ кг}$$

$$C(t_2 - t_0) = c_B m_B (t_1 - t_2) \quad C \approx 1487 \text{ Дж/}^\circ\text{С}$$

Найдем энергию, падающую в единицу времени на верхнюю поверхность цилиндрического сосуда с водой

$$P = W/t \quad P_{\text{пад}}/P = S_{\text{верх}}/S \quad P_{\text{пад}} = P\pi R_2^2/S$$

Учтем, что поглощенная мощность  $P_{\text{погл}} = 0,8 P_{\text{пад}} \approx 12 \text{ Вт}$

Теперь определим время необходимое для нагрева до 73 °С

$$(C + c_B m_B)(t_3 - t_2) = P_{\text{погл}} \cdot \tau \quad \tau \approx 616 \text{ с}$$

### Критерии оценивания

№	Пункт	Баллы
1	Нахождение объема и массы воды	2
2	Составление уравнения теплового баланса и нахождение неизвестной теплоемкости стеклянного цилиндра	3
3	Определение энергии, падающей в единицу времени на сосуд с водой	2
4	Определение поглощенной энергии в единицу времени	1
5	Составление уравнения теплового баланса и нахождение времени нагрева до 73 °С	2

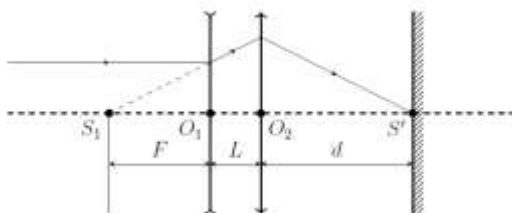
#### Задача №4

Глаз человека, не имеющего проблем со зрением, в расслабленном состоянии четко различает дальние предметы, то есть их изображение формируется точно на сетчатке. Какой оптической силы необходимо подобрать линзы человеку, страдающему близорукостью, чтобы он мог четко различать удаленные предметы, не напрягая глаз? Размер глаза (расстояние от зрачка до сетчатки)  $d=24$  мм, фокусное расстояние зрачка близорукого человека в расслабленном состоянии  $f=22$  мм, расстояние от очков до глаз  $L=15$  мм.

*Автор: Филиппов Евгений Владимирович*

#### Возможное решение

Для четкого формирования изображения удаленных предметов на сетчатке необходимо, чтобы каждая достаточно удаленная от глаза точка  $S$ , расположенная вблизи главной оптической оси, переходила в точку-изображение на сетчатке. Так как точка  $S$  находится на большом расстоянии от глаза ( $O_1S \gg f, L, d$ ), лучи, попадающие из нее на линзу, можно считать параллельными.



Глаз близорукого человека фокусирует параллельные лучи ближе сетчатки, поэтому для корректировки зрения нужна рассеивающая линза. При прохождении рассеивающей линзы параллельные лучи расходятся, продолжениями пересекаясь в точке левого фокуса  $F$  и формируя тем самым новый точечный источник  $S_1$  для собирающей линзы зрачка.

Запишем формулу тонкой линзы для зрачка:

$$\frac{1}{F+L} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f},$$

где  $F$  – фокусное расстояние рассеивающей линзы,  $F+L$  – расстояние от источника  $S_1$  до зрачка,  $d$  – расстояние от зрачка до сетчатки,  $f$  – фокусное расстояние зрачка.

Теперь выразим из уравнения фокусное расстояние рассеивающей линзы  $F$ :

$$F = \frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{d}} - L.$$

Оптическая сила рассеивающей линзы вычисляется по формуле  $\mathcal{D} = -\frac{1}{F}$  (у рассеивающей линзы оптическая сила отрицательная).

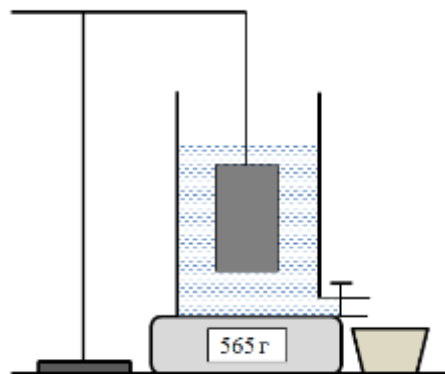
$$\mathcal{D} = -F^{-1} = -\left(\frac{1}{\frac{1}{f} - \frac{1}{d}} - L\right)^{-1} = -\left(\frac{1}{\frac{1}{0,022\text{ м}} - \frac{1}{0,024\text{ м}}} - 0,015\text{ м}\right)^{-1} \approx -4\text{ дптр}.$$

#### Критерии оценивания

№	Пункт	Баллы
1	Объяснено то, что линза должна быть именно рассеивающей, либо она явно изображена на оптической схеме	1
2	Указана параллельность лучей, приходящих от удаленного предмета	1
3	Указан ход лучей при прохождении рассеивающей линзы очков	2
4	Корректно записана формула тонкой линзы для зрачка (с указанием письменно или на схеме соответствующих расстояний)	3
5	Корректно выражена оптическая сила линзы через ее фокусное расстояние (если неправильный знак – минус 1 балл).	1+1
6	Получен верный численный ответ (если неправильный знак, этот критерий все равно засчитывается).	1

### Задача №5

В сосуд с вертикальными стенками, заполненный водой, помещено тело цилиндрической формы, подвешенное к неподвижному штативу. В начале эксперимента оно полностью погружено в воду. Сосуд стоит на электронных весах. В нижней части сосуда открывают сливное отверстие, через которое начинает вытекать вода в другой сосуд, который стоит на столе. Изменение показаний весов со временем приведено в таблице. Площадь сечения сосуда вдвое больше площади сечения тела. Площадь сечения сосуда равна  $S_0 = 30 \text{ см}^2$



t, c	m, г	t, c	m, г	t, c	m, г	t, c	m, г
0	565	28	544	56	493	84	461
4	562	32	541	60	485	88	458
8	559	36	533	64	477	92	455
12	556	40	525	68	474	96	452
16	553	44	517	72	471	100	449
20	550	48	509	76	467	104	446
24	547	52	501	80	464	108	443

Задание:

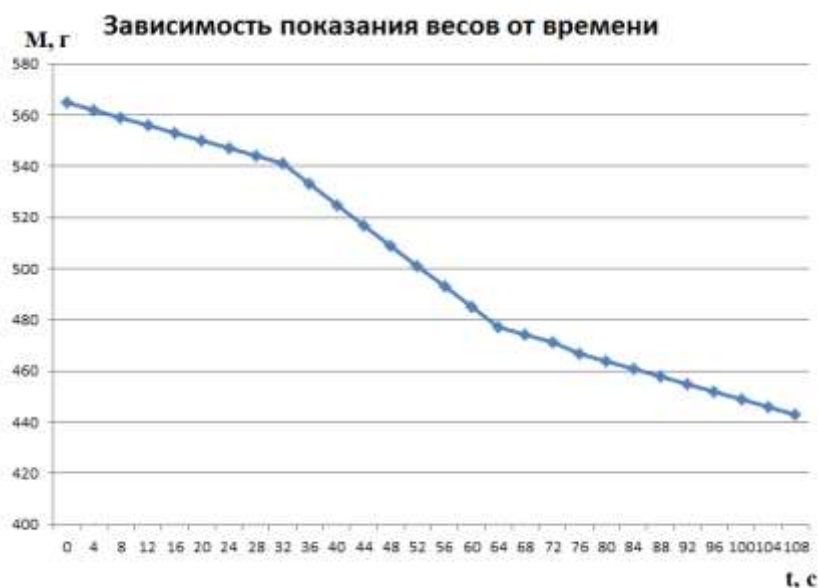
1. Постройте график зависимости показаний весов от времени  $m(t)$ .
2. Найдите массовый расход воды в начале эксперимента. Массовым расходом  $\mu = \frac{\Delta m}{\Delta t}$  жидкости называют отношение массы вытекающей жидкости ко времени ее вытекания.
3. Найдите скорость понижения уровня воды в сосуде в начале эксперимента.
4. Определите высоту тела.

*Автор: Порошин Олег Владимирович*

### Возможное решение

1 вопрос.

График имеет вид:



2 вопрос.

Для определения массового расхода воды можно взять изменение массы на первом участке графика за промежуток времени, соответствующий первому участку:

$$\mu = \frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{(565-541)}{32} = \frac{24}{32} = 0,75 \frac{г}{с} = 7,5 \cdot 10^{-4} \frac{кг}{с}$$

Либо продлить первый участок графика, и определить тангенс угла наклона графика, он будет равен искомому массовому расходу.

*3 вопрос.*

Для ответа на третий вопрос рассмотрим силы, действующие на весы:

$$F = m_0 g + F_A = \rho g h S_0 + \rho g V = \rho g S_0 \left( h + \frac{H}{2} \right)$$

где  $F$  – сила, с которой стакан действует на весы,  $h$  – уровень воды в сосуде,  $H$  – высота тела. Так как весы показывают массу, то полученную формулу разделим на  $g$ , тогда в левой части формулы будет стоять  $M$  – показания весов в единицах массы.

$$M = \rho S_0 \left( h + \frac{H}{2} \right)$$

Запишем изменение массы  $\Delta M = \rho S_0 \Delta h$ , разделим левую и правую часть формулы на  $\Delta t$ , тогда в левой части будет стоять массовый расход воды:  $\mu = \frac{\Delta M}{\Delta t} = \rho S_0 \frac{\Delta h}{\Delta t}$

Тогда искомая скорость понижения уровня воды:

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{\mu}{\rho S_0} = \frac{7,5 \cdot 10^{-4}}{10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-4}} = 0,25 \cdot 10^{-3} \frac{м}{с} = 0,25 \frac{мм}{с}$$

*4 вопрос.*

Для ответа на 4 вопрос нужно понимать, что первый перелом графика начался тогда, когда уровень воды опустился ниже верхней грани тела. А второй перелом – тогда, когда всё тело оказалось в воздухе.

Рассмотрим изменение показания весов на втором участке графика:

$$\Delta M_2 = \rho S_0 \left( \Delta h + \frac{\Delta H}{2} \right)$$

Разделим опять эту формулу на промежуток времени:

$$\frac{\Delta M_2}{\Delta t} = \rho S_0 \frac{\Delta h}{\Delta t} + \frac{\rho S_0}{2} \frac{\Delta H}{\Delta t}$$

Если учесть, что  $\mu = \rho S_0 \frac{\Delta h}{\Delta t}$  – массовый расход воды на первом участке и принять, что  $\mu_2 = \frac{\Delta M_2}{\Delta t}$  – массовый расход воды на втором участке, то полученную формулу можно записать следующим образом:  $\mu_2 = \mu + \frac{\rho S_0}{2} \frac{\Delta H}{\Delta t}$

Отсюда получаем:  $\Delta H = \frac{2 \Delta t}{\rho S_0} (\mu_2 - \mu)$ , если  $\Delta t = \Delta t_2$  – это время второго участка, то  $\Delta H = H$  – высоте тела, тогда:  $H = \frac{2 \Delta t_2}{\rho S_0} (\mu_2 - \mu)$

Массовый расход воды на втором участке определяем, так же как и на первом:

$$\mu_2 = \frac{\Delta M_2}{\Delta t} = \frac{(533-467)}{40} = \frac{66}{40} = 1,65 \frac{г}{с} = 16,5 \cdot 10^{-4} \frac{кг}{с}$$

$$H = \frac{2 \cdot 40}{10^3 \cdot 30 \cdot 10^{-4}} (16,5 - 7,5) \cdot 10^{-4} = 24 \cdot 10^{-3} м = 24 мм.$$

### Критерии оценивания

№	Пункт	Баллы
1	Построение графика	3
2	Найден массовый расход воды в начале эксперимента	1
3	Найдена скорость понижения уровня воды	3
4	Определена высота тела	3