

**Заключительный этап**  
**Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике**  
**11 марта 2018 г.**  
**Решения и критерии оценки**  
**9 класс**

1. Перед входом в длинный тоннель стоит электропоезд, длина которого меньше длины тоннеля. На светофоре загорелся зеленый свет, и электропоезд начал равноускоренно двигаться в течение всего времени наблюдения. Через время  $t_1$  он полностью вошел в тоннель. Определите время  $\tau$ , в течение которого электропоезд полностью находился в тоннеле, если из тоннеля он выходил в течение времени  $t_2$ .

**Возможное решение**

Пусть длина электропоезда  $L$ , а его ускорение  $a$ .

Так как поезд стартовал с нулевой скоростью, то  $a \frac{t_1^2}{2} = L$ . (1) (2 балла)

Его скорость к моменту начала выхода из тоннеля  $V = a(\tau + t_1)$ . (2) (2 балла)

Поэтому с учетом (2)  $Vt_2 + a \frac{t_2^2}{2} = a(\tau + t_1)t_2 + a \frac{t_2^2}{2} = L$ . (3) (3 балла)

Приравняв выражения (1) и (3), получим

$$\tau + t_1 = \frac{t_1^2 - t_2^2}{2t_2} \text{ или } \tau = \frac{t_1^2 - t_2^2 - 2t_2t_1}{2t_2}. \quad (3 \text{ балла})$$

**Ответ:**  $\tau = \frac{t_1^2 - t_2^2 - 2t_2t_1}{2t_2}$ .

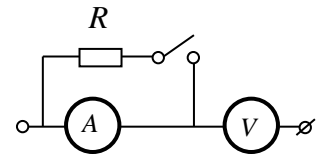
**Разбалловка по этапам**

№	Этап решения	балл
1	Определение длины поезда $a \frac{t_1^2}{2} = L$	2
2	Нахождение скорости при выходе из тоннеля $V = a(\tau + t_1)$	2
3	Длина поезда, выходящего из тоннеля, $Vt_2 + a \frac{t_2^2}{2} = a(\tau + t_1)t_2 + a \frac{t_2^2}{2} = L$	3
4	Получение ответа $\tau = \frac{t_1^2 - t_2^2 - 2t_2t_1}{2t_2}$	3

**Комментарий:** Некоторые участники могут проанализировать параметрический ответ. По смыслу задачи величина  $\tau$  должна быть положительной. Поэтому  $t_1^2 - t_2^2 - 2t_2t_1 = (t_1 - t_2)^2 - 2t_2^2 = (t_1 - t_2 - \sqrt{2}t_2)(t_1 - t_2 + \sqrt{2}t_2) > 0$ . То есть, должно быть выполнено условие  $t_1 > (1 + \sqrt{2})t_2$ .

**Заключительный этап**  
**Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике**  
**11 марта 2018 г.**  
**Решения и критерии оценки**  
**9 класс**

2. Цепь, состоящая из последовательно соединенных неидеальных амперметра и вольтметра, подключена к сети. При этом приборы цепи показывают некоторые значения тока  $J_0$  и напряжения  $U_0$ , соответственно. Для определения внутреннего сопротивления амперметра цепь модифицируют, подключая резистор с известным сопротивлением  $R$  (см. рисунок). Далее регулируют внешнее напряжение сети так, что в результате показание вольтметра уменьшилось до  $U_0/3$ , а амперметра уменьшилось до  $J_0/5$ . Чему равно сопротивление амперметра  $R_A$ ?



**Возможное решение**

Пусть вначале показания амперметра и вольтметра  $J_0$  и  $U_0$ , соответственно. Сопротивление вольтметра равно  $R_V = U_0/J_0$ . (1) (1 балл)

После подключения к другой батарее показания амперметра и вольтметра станут равными  $J_1 = J_0/5$  и  $U_1 = U_0/3$ . (2) (1 балл)

Пусть  $J_R$  - ток через сопротивление  $R$ .

Тогда  $R_A J_1 = R J_R$ . (3) (3 балла)

$(J_R + J_1) R_V = U_1$ . (4) (3 балла)

Подставляя (1), (2) в (4), и далее в (3), получим  $\frac{R}{R_A} = \frac{J_1}{J_R} = \frac{3}{2}$ . (2 балла)

**Ответ**  $R_A = \frac{2}{3} R$ .

**Разбалловка по этапам**

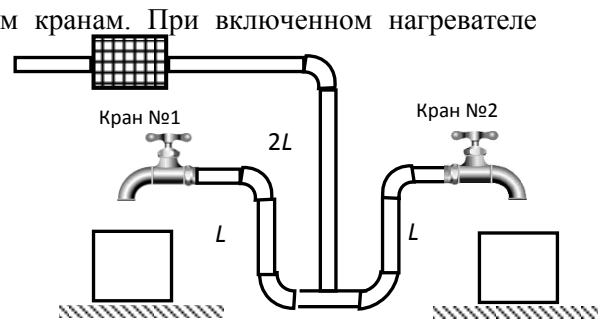
№	Этап решения	балл
1	Определение сопротивления вольтметра $R_V = U_0/J_0$	1
2	Определение показаний амперметра и вольтметра при подключении к другой батарее	1
3	Получение соотношения $R_A J_1 = R J_R$	3
4	Получение соотношения $(J_R + J_1) R_V = U_1$	3
5	Получение ответа $R_A = \frac{2}{3} R$	2

**Заключительный этап**  
**Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике**  
**11 марта 2018 г.**  
**Решения и критерии оценки**  
**9 класс**

3. Жидкость через трубы подается от нагревателя к двум кранам. При включенном нагревателе начинают набирать воду из крана №1 (кран №2 закрыт). Температура воды в первых трех ведрах оказалась равной  $T_1=20$ ,  $T_2=60$  и  $T_3=70$ . Затем кран №1 закрывают, а кран №2 открывают. Определите температуру воды  $T_X$  в первом ведре, набранном из крана №2.

Длина трубы от нагревателя до места разветвления равна  $2L$ , а от места разветвления до каждого из кранов –  $L$ . Объемы всех ведер и диаметры всех труб одинаковы. Перемешиванием жидкости в трубах и теплообменом между жидкостью и трубами пренебречь.

Вначале трубы были полностью заполнены водой, а температура воды во всех трубах одинакова и равна  $T_1$ . Нагреватель, мгновенно повышает температуру проходящей через него воды до  $T_3$ .



**Возможное решение**

По условию только во втором ведре есть смесь исходной холодной и подогретой воды. Поскольку объемы ведер одинаковы, то за время набора в ведро вода смещается вдоль трубы на одну и ту же величину, которую обозначим  $X$ . Заметим, что после набора первого ведра граница раздела холодной и подогретой воды находится на расстоянии  $3L-X$  от крана №1, а из условий на температуры следует, что  $3L > X > 3L/2$ . Условие теплового баланса для воды во втором ведре имеет вид:

$$M \cdot \frac{3L - X}{X} \cdot C \cdot T_1 + M \cdot \frac{2X - 3L}{X} \cdot C \cdot T_3 = M \cdot C \cdot T_2 \quad (4 \text{ балла})$$

Здесь  $M$  – масса воды в ведре,  $C$  – удельная теплоемкость воды.

Получаем соотношение для величины  $X$ :

$$X = 3L \cdot \frac{T_3 - T_1}{2T_3 - T_1 - T_2} \quad (1 \text{ балл})$$

При наборе воды через кран №2 длина участка холодной воды вдоль трубы равна  $L$ , а уравнение теплового баланса для воды в четвертом ведре после упрощения имеет вид

$$T_X = \frac{L}{X} \cdot T_1 + \frac{X - L}{X} \cdot T_3 \quad (3 \text{ балла})$$

Откуда  $T_X = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}$  при  $T_1=20$ ,  $T_2=60$  и  $T_3=70$  получаем  $T_X=50$  (2 балла)

Заметим, что возможны и другие правильные формы уравнения теплового баланса, например,  $4L \cdot (T_3 - T_1) = X \cdot [4 \cdot T_3 - (T_1 + T_2 + T_3 + T_4)]$ . Это уравнение может быть написано из тех соображений, что для подогрева всей воды в уже набранных ведрах до максимальной температуры надо затратить столько же энергии, сколько требуется для подогрева всей исходной холодной воды от  $T_3$  до  $T_1$ .

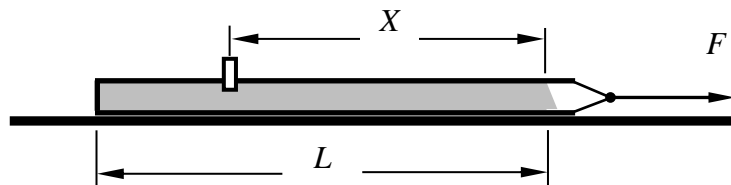
**Ответ:**  $T_X = 50^\circ\text{C}$ .

**Разбалловка по этапам**

№	Этап решения	балл
1	Получение уравнения теплового баланса для воды во втором ведре $M \cdot \frac{3L - X}{X} \cdot C \cdot T_1 + M \cdot \frac{2X - 3L}{X} \cdot C \cdot T_3 = M \cdot C \cdot T_2$	4
2	Получение соотношения $X = 3L \cdot \frac{T_3 - T_1}{2T_3 - T_1 - T_2}$	1
3	Получение уравнения теплового баланса для воды в четвертом ведре $T_X = \frac{L}{X} \cdot T_1 + \frac{X - L}{X} \cdot T_3$	3
4	Нахождение $T_X = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}$ и получение ответа $T_X = 50^\circ\text{C}$ .	2

**Заключительный этап**  
**Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике**  
**11 марта 2018 г.**  
**Решения и критерии оценки**  
**9 класс**

4. Длинный сосуд массы  $M$  и внутренним сечением  $S_C$  лежит на столе. В верхней стенке сосуда имеется небольшое отверстие сечения  $S_{\text{ПР}}$ , которое плотно закрыто пробкой. Чтобы вытащить пробку, удерживая сосуд, надо приложить силу  $f$ .



Сосуд наполнили водой и начинают тянуть по горизонтальному столу за открытый конец с большой силой  $F$ . При каком минимальном значении этой силы пробка выскочит? Расстояние от уровня воды до пробки  $X$ , а от уровня воды до дна сосуда  $L$ . Плотность воды  $\rho$ , трения между сосудом и столом нет.

**Возможное решение**

Полная масса сосуда с водой равна  $M + \rho S_C L$ . (1 балл)

Ускорение сосуда  $a = \frac{F}{M + \rho S_C L}$ . (1 балл)

Пусть давление около пробки равно  $P$ , а атмосферное давление  $P_0$ .

Избыточное давление  $P - P_0$  по 2-му закону Ньютона обеспечивает ускорение  $a$  столбу жидкости длиной  $X$  и массой  $\rho S_C X$ :

$$(P - P_0)S_C = \rho S_C X a = \frac{F \rho S_C X}{M + \rho S_C L}. \quad (3 \text{ балла})$$

$$\text{Откуда } (P - P_0) = \rho X a = \frac{F \rho X}{M + \rho S_C L}. \quad (1 \text{ балл})$$

В предельном случае, когда сила  $F$  минимальна, сила, обусловленная действием избыточного

$$\text{давления, равна } f: \rho a X S_{\text{ПР}} = \frac{F_{\text{MIN}} \rho X S_{\text{ПР}}}{M + \rho S_C L} = f. \quad (3 \text{ балла})$$

$$\text{Или } F_{\text{MIN}} = f \cdot \frac{M + \rho S_C L}{\rho X S_{\text{ПР}}}. \quad (1 \text{ балл})$$

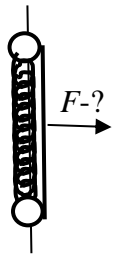
$$\text{Ответ: } F_{\text{MIN}} = f \cdot \frac{M + \rho S_C L}{\rho X S_{\text{ПР}}}$$

**Разбалловка по этапам**

№	Этап решения	балл
1	Определение полной массы сосуда с водой $M + \rho S_C L$ .	1
2	Определение ускорение сосуда $a = \frac{F}{M + \rho S_C L}$ .	1
3	Запись 2-ого закона Ньютона $(P - P_0)S_C = \rho S_C X a = \frac{F \rho S_C X}{M + \rho S_C L}$ .	3
4	Нахождение избыточного давления	1
5	Запись условия минимальности $F$ : $\rho a X S_{\text{ПР}} = \frac{F_{\text{MIN}} \rho X S_{\text{ПР}}}{M + \rho S_C L} = f$ .	3
6	Получение ответа $F_{\text{MIN}} = f \cdot \frac{M + \rho S_C L}{\rho X S_{\text{ПР}}}$	1

**Заключительный этап**  
**Всесибирской открытой олимпиады школьников по физике**  
**11 марта 2018 г.**  
**Решения и критерии оценки**  
**9 класс**

5. Две надетых на легкую незакрепленную спицу бусинки с одинаковой массой  $m$  связаны нитью и недеформированной пружиной одинаковой длины  $2L$  и лежат на горизонтальном столе (на рисунке вид сверху). С какой горизонтальной силой нужно тянуть за середину нити, чтобы нить и пружина образовали правильный треугольник? Жесткость пружины  $k$ , трения нет.



**Возможное решение**

Выбрав ось «у» вдоль спицы и ось «х» в перпендикулярном направлении, из соображений симметрии очевидно, что сила  $F$  и ускорение направлены по оси «х». (2 балла)

Запишем второй закон Ньютона для бусинок в проекциях на направление

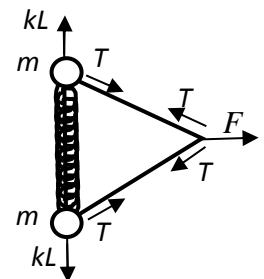
оси «у»:  $0 = kL - \frac{1}{2}T$  (1). (3 балла)

Из равенства всех сил, действующих на точку приложения силы  $F$ ,

$F = 2 \cos 30^\circ T$ . (2) (3 балла)

Из (1) и (2) получим  $F = 2\sqrt{3}kL$ . (2 балла)

**Ответ:**  $F = 2\sqrt{3}kL$ .



**Разбалловка по этапам**

№	Этап решения	балл
1	Вывод из соображения симметрии о направленности ускорения и $F$ по оси «х».	2
2	Баланс действующих на бусинку сил по оси «у»: $0 = kL - \frac{1}{2}T$ .	3
3	Вывод о нулевой сумме сил, действующих на правую вершину треугольника: в скалярной форме $F = 2 \cos 30^\circ T$ .	3
4	Ответ: $F = 2\sqrt{3}kL$ .	2