

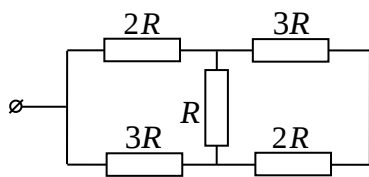
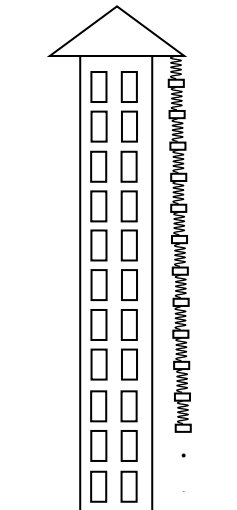
Решения и критерии оценивания
Отборочный тур олимпиады «Росатом», 2025-2026 учебный год,
Олимпиада памяти И.В.Савельева, физика, 9 класс

1. По двум параллельным путям в одну сторону едут товарный поезд и электричка. Скорость товарного поезда v , длина l . Скорость электрички $5v/2$, длина $l/4$. В течение какого времени электричка будет обгонять товарный поезд?

2. В сосуд с водой, имеющей температуру $t = 100^\circ\text{C}$, положили раскаленное стальное тело. После установления равновесия оказалось, что вода полностью покрывает тело, а ее уровень в сосуде не изменился. Найти начальную температуру тела. Плотность воды $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$, плотность стали $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, удельная теплоемкость стали $c = 460 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{град)}$, удельная теплота парообразования воды $r = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$. Потерями тепла в окружающее пространство и теплоемкостью сосуда пренебречь.

3. В прямоугольный аквариум налито некоторое количество воды. В результате сила давления воды на дно аквариума составляет $F_1 = 60 \text{ Н}$, на меньшую из боковых стенок, длина которой $b = 20 \text{ см}$, сила давления воды составляет $F_2 = 10 \text{ Н}$. Найти силу давления воды на большую из боковых стенок. Плотность воды $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ и ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$ известны. Атмосферным давлением пренебречь.

4. К крыше очень высокого здания подвесили 100 одинаковых грузов, связанных одинаковыми пружинами (см. рисунок). Известно, что когда пружины растянулись, и все грузы оказались в положении равновесия, сотый (сверху) груз опустился на величину Δl . На сколько опустился при этом пятидесятый (сверху) груз? Считать, что для любых удлинений пружин выполняется закон Гука. Грузы земли не касаются.



5. К электрической цепи, схема которой приведена на рисунке, приложили напряжение U .

Найти силу электрического тока, текущего через резистор с сопротивлением R . Во сколько раз изменится мощность, выделяемая в цепи, если средний резистор перегорит. Сопротивления резисторов известны.

Решения и критерии оценивания решений задач

1. Согласно здравому смыслу обгон начинается, когда начало электрички поравнялось с концом товарного поезда, а заканчивается, когда конец электрички поравнялось с началом товарного поезда. Поэтому разность расстояний, пройденных электричкой и товарным поездом равна сумме длин электрички и товарного поезда. Поэтому из формулы, связывающей расстояние, время и скорость для электрички и товарного поезда имеем

$$\frac{5}{2}vt - vt = l + \frac{l}{4}$$

где t - время обгона. Из этого уравнения находим

$$t = \frac{5l}{6v}$$

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильное понимание того, что поезда – неточечные тела, и нужно учитывать их размеры - 1 балл
 2. Правильное использование формулы «расстояние-время-скорость» – 1 балл
 3. Правильное понимание того, когда обгон товарного поезда электричкой начинается – 1 балл
 4. Правильное понимание того, когда обгон товарного поезда электричкой заканчивается – 1 балл
 5. Правильный ответ – 1 балл
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

2. Поскольку в конечном равновесном состоянии есть вода, то ее температура – 100 градусов. А тепло, которое по условию не уходит из системы и не тратится на нагрев сосуда, расходуется на испарение воды. А раз уровень воды в сосуде не изменился притом, что вода полностью покрывает тело, то объём испарившейся воды равен объёму тела:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

где m - масса тела. А, следовательно, масса m_1 испарившейся воды равна

$$m_1 = \frac{m\rho_0}{\rho}.$$

Поэтому уравнение теплового баланса дает

$$cm(t - t_0) = rm_1 = \frac{rm\rho_0}{\rho}$$

где t - начальная температура стального тела, $t_0 = 100^\circ\text{C}$. Сокращая в этом выражении массу тела, находим начальную температуру воды

$$t = t_0 + \frac{r\rho_0}{c\rho} = 741^\circ\text{C}$$

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильный (и обоснованный) вывод, что температура конечного установившегося состояния 100 градусов - 1 балл
 2. Правильная идея установления равновесия – тепло, отданное стальным телом, тратится на испарение воды – 1 балл
 3. Правильное уравнение теплового баланса – 1 балл
 4. Правильный ответ (формула) – 1 балл
 5. Правильный ответ (число) – 1 балл
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

3. Пусть высота уровня воды в аквариуме равна h , длина большей стороны - a . Тогда для силы давления воды на дно аквариума F_1 и на меньшую из боковых стенок F_2 имеем:

$$F_1 = \rho gh S_o = \rho gh ab$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \rho gh S_m = \frac{1}{2} \rho gh bh = \frac{1}{2} \rho gh^2 b$$

$S_o = ab$ и $S_m = hb$ - площади дна и меньшей боковой стенки аквариума. Множитель $1/2$ появился во второй формуле потому, что давление воды на разных уровнях – разное, и при суммировании сил, действующих на элементы боковой стенки, лежащие на разных глубинах, в формулу для силы войдет среднее гидростатическое давление воды $(1/2)\rho gh$. Деля первую формулу на вторую и на ρgb , получим систему двух уравнений относительно высоты уровня воды в аквариуме h и его большей стороны a :

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{2a}{h}$$

$$\frac{F_1}{\rho gb} = ha$$

Решая эту систему уравнений, найдём

$$a = \frac{F_1}{\sqrt{2F_2\rho gb}}, \quad h = \sqrt{\frac{2F_2}{\rho gb}}$$

Отсюда находим силу давления воды на большую боковую стенку аквариума

$$F_3 = \frac{1}{2} \rho gh S_o = \frac{1}{2} \rho gh^2 a = \sqrt{\frac{F_2}{2\rho gb^3}} F_1 = 15 \text{ Н}$$

Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильное использование формулы для гидростатического давления – 1 балл
 2. Правильные выражения для сил давления на дно и боковую стенку аквариума (с обоснованием коэффициента $\frac{1}{2}$ на боковую стенку) - 1 балл
 3. Правильная система уравнений для большей стороны и высоты уровня воды в аквариуме (или другие аналогичные по смыслу соотношения) - 1 балл
 4. Правильно найдены глубина уровня воды и большая сторона аквариума – 1 балл
 5. Правильный ответ (и формула, и число) – 1 балл
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.**

4. В положении равновесия все пружины будут растянуты и смещение 100-го груза будет равно сумме удлинений всех пружин. Самая нижняя (сотая сверху пружина) растягивается массой m , 99-ая пружина растягивается массой $2m$, 98-ая – массой $3m$ и т.д. Поэтому по закону Гука находим величину смещения 100-го груза

$$\Delta l = \frac{mg}{k} + \frac{2mg}{k} + \frac{3mg}{k} + \dots + \frac{100mg}{k} = \frac{mg}{k} (1 + 2 + 3 + \dots + 100)$$

Используя формулу для суммы натуральных чисел от 1 до N

$$1 + 2 + 3 + \dots + N = \frac{N(N+1)}{2},$$

получим

$$\Delta l = \frac{mg}{k} \frac{100 \cdot 101}{2} \quad (*)$$

Найдем теперь смещение 50-го груза. Проще всего это сделать так. Найти удлинение пружин от 51-ой, а потом отнять от величины Δl (*). Поскольку 100-ая (сверху) пружина растягивается массой m , 99-ая пружина растягивается массой $2m$, 98-ая – массой $3m$ и т.д. ... 51-ая – $50m$, то суммарное удлинение пружин с 51-ой до 100-ой равно

$$\Delta x = \frac{mg}{k} + \frac{2mg}{k} + \frac{3mg}{k} + \dots + \frac{50mg}{k} = \frac{mg}{k} (1 + 2 + 3 + \dots + 50) = \frac{mg}{k} \frac{50 \cdot 51}{2}$$

Отсюда находим смещение 50-го груза

$$\Delta l_1 = \Delta l - \Delta x = \frac{mg}{k} \left(\frac{100 \cdot 101}{2} - \frac{50 \cdot 51}{2} \right) = \frac{50mg}{2k} (202 - 51) = \frac{50 \cdot 151 \cdot mg}{2k} \quad (**)$$

Сравнивая (*) и (**), находим

$$\Delta l_1 = \frac{151}{202} \Delta l.$$

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильное использование закона Гука – 1 балл
2. Умение находить сумму последовательных натуральных чисел – 1 балл
3. Правильно найдено смещение 100-го груза – 1 балл
4. Правильно найдено смещение 50-го груза (через mg и k) – 1 балл
5. Правильный ответ – 1 балл

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

5. Пусть при приложении к цепи напряжения U через резисторы R , $2R$ и $3R$ текут электрические токи I_1 , I_2 и I_3 соответственно (из симметрии цепи следует, что токи, текущие через резисторы $2R$ и $3R$ слева и справа, будут одинаковы). Эти токи расставлены на рисунке (если направление тока I_1 выбрано неверно, из решения системы нижеследующих уравнений он получится отрицательным).

Поскольку сумма втекающих в любой узел цепи и вытекающих из него токов одинаковы, имеем

$$I_3 + I_1 = I_2 \quad (*)$$

Если рассмотреть замкнутый участок цепи, содержащий резисторы $2R$, R и $3R$ слева. Напряжения на двух резисторах $2R$ и R должно быть равно напряжению на резисторе $3R$. Поэтому

$$I_2 2R + I_1 R = I_3 3R$$

или

$$2I_2 + I_1 = 3I_3 \quad (**)$$

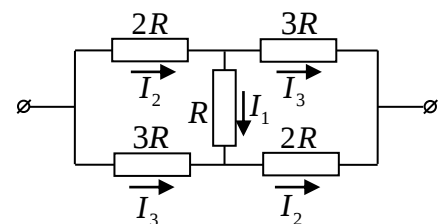
Рассматривая уравнения (*)-(**) как систему уравнений относительно I_2 и I_3 , найдем

$$I_2 = 4I_1, \quad I_3 = 3I_1$$

Поэтому для напряжения в цепи имеем

$$U = I_2 2R + I_3 3R = 17I_1 R$$

Отсюда находим ток, текущий через средний резистор



$$I_1 = \frac{U}{17R}$$

Мощность, выделяемую на цепи, найдем по закону Джоуля-Ленца. Для этого найдем общий ток I , текущий через цепь

$$I = I_2 + I_3 = 7I_1 = \frac{7U}{17R}.$$

Поэтому мощность, выделяемая на цепи, есть

$$P_1 = UI = \frac{7U^2}{17R}$$

Если средний резистор перегорит, сопротивление цепи будет равно $5R/2$, и, следовательно, в цепи будет выделяться мощность

$$P_2 = \frac{U^2}{(5R/2)} = \frac{2U^2}{5R}$$

Или выделяемая на новой цепи мощность будет составлять $34/35$ от старой

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{35}{34}$$

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильное использование симметрии цепи – токи в правом верхнем и левом нижнем резисторах – одинаковы (и наоборот) - 1 балл
2. Правильные условия токов в вершинах и условия обхода по замкнутым контурам – 1 балл
3. Правильно найдено сопротивление цепи – 1 балл
4. Правильно использован закон Джоуля-Ленца – 1 балл
5. Правильный ответ – 1 балл

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

Оценка работы

Оценка работы складывается из оценки задач. Максимальная оценка – 25 баллов. Допустимыми являются все целые оценки от 0 до 25.