

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом**28**

Вакуумные лампочки накаливания имеют весьма ограниченный срок службы – в конце своей «жизни» они перегорают, причём случается это, как правило, в момент включения в сеть. Объясните указанные факты, указав, какие физические явления и законы Вы использовали.

Возможное решение
<p>1. Нить накала лампочки (обычно вольфрамовая) работает при высокой температуре, необходимой для излучения видимого света, и постепенно испаряется.</p> <p>2. Сопротивление металлов растёт с ростом температуры, поэтому ток через холодную нить накала в момент включения лампочки в сеть значительно превышает рабочий ток лампочки, когда её нить накала прогрелась до рабочей температуры.</p> <p>3. Испарение с разных участков нити происходит неравномерно. По мере испарения металла с нити на ней возникают неоднородности – участки меньшего диаметра с повышенным сопротивлением, где нагревание током по закону Джоуля–Ленца происходит сильнее, чем на последовательно с ними включенных в цепь участках с меньшим сопротивлением.</p> <p>4. В момент включения в сеть долго проработавшей лампочки один из тонких участков её нити накала с большим сопротивлением нагревается выше температуры плавления, и нить перегорает.</p>

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п. 1–4) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>упоминание явлений испарения металлов при высоких температурах, зависимости сопротивления металлов от температуры и от диаметра проводника, а также различного нагревания последовательно включённых участков электрической цепи с различным сопротивлением на основе закона Джоуля–Ленца</i>).</p>	3

<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.)</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения.</p>	2
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев. Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

29

Струя воды круглого сечения радиусом $r_0 = 1$ см начинает бить из шланга вверх со скоростью $v_0 = 20$ м/с. Найдите радиус струи r на высоте $h = 16$ м по вертикали от конца шланга. Трением и силами поверхностного натяжения пренебечь, считать скорость движения частиц воды по вертикали в любом поперечном сечении струи одинаковой для данного сечения, а сами частицы – находящимися в состоянии свободного падения в поле силы тяжести.

Возможное решение

Максимальная высота подъёма частиц жидкости при начальной скорости v_0 равна $v_0^2 / (2g) = 20$ м. Поэтому на высоте $h = 16$ м частицы жидкости ещё не начнут падать обратно вниз, и струя не разобьётся на капли.

Поскольку воду можно считать несжимаемой жидкостью, то её объём, протекающий через любое поперечное сечение струи в единицу времени, постоянен и равен $\pi r_0^2 \cdot v_0 = \pi r^2 \cdot v$, где v – скорость воды на высоте h .

Отсюда $r = r_0 \sqrt{\frac{v_0}{v}}$.

По закону сохранения механической энергии при условиях задачи можно считать, что для частицы воды массой m справедливо соотношение $\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh$, откуда $v = \sqrt{v_0^2 - 2gh}$.

Подставляя выражение для скорости струи в формулу для её радиуса, получаем:

$$r = \frac{r_0}{\sqrt[4]{1 - \frac{2gh}{v_0^2}}}$$

После подстановки численных значений имеем:

$$r[\text{см}] = \frac{1}{\sqrt[4]{1 - \frac{2 \cdot 10 \cdot 16}{20^2}}} = \frac{1}{\sqrt[4]{0,2}} \approx 1,50 \text{ см}.$$

Ответ: $r = \frac{r_0}{\sqrt[4]{1 - \frac{2gh}{v_0^2}}} \approx 1,50 \text{ см}.$

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: выражение для потока несжимаемой жидкости в струе через её сечение и скорость частиц жидкости, а также закон сохранения механической энергии частиц жидкости при их свободном падении);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков. Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
<i>Максимальный балл</i>	3

30

Гелий в количестве $\nu = 1/20$ моля находится в горизонтальном закреплённом цилиндре с поршнем, который может без трения перемещаться в цилиндре и вначале удерживается в равновесии силой $F_1 = 280$ Н. При этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия составляет $v_1 = 1400$ м/с. Затем гелий стали охлаждать, а поршень медленно сдвигать, постепенно уменьшая действующую на него силу. Когда эта сила равнялась $F_2 = 150$ Н, среднеквадратичная скорость движения атомов гелия стала равной $v_2 = 1200$ м/с. На какое расстояние Δl при этом сдвинулся поршень?

Возможное решение

Обозначим начальный объём гелия в цилиндре через $V_1 = S \cdot l_1$, а давление – через $p_1 = \frac{F_1}{S}$, где площадь поршня равна S , а длина столба газа равна l_1 .

Тогда, согласно уравнению Клапейрона–Менделеева, $p_1 V_1 = F_1 l_1 = \nu R T_1$.

Среднеквадратичная скорость атомов гелия при начальной температуре T_1 равна $v_1 = \sqrt{\frac{3RT_1}{\mu}}$, где μ – молярная масса гелия. Отсюда $T_1 = \frac{\mu v_1^2}{3R}$.

Из написанных соотношений получаем: $l_1 = \frac{\nu \mu v_1^2}{3F_1}$.

Аналогичным образом получаем, что в конце процесса $l_2 = \frac{\nu \mu v_2^2}{3F_2}$.

Таким образом, искомый сдвиг поршня равен

$$\Delta l = l_2 - l_1 = \frac{\nu \mu}{3} \left(\frac{v_2^2}{F_2} - \frac{v_1^2}{F_1} \right) = \frac{0,05 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{3} \left(\frac{1200^2}{150} - \frac{1400^2}{280} \right) \approx 0,173 \text{ м} \approx 17 \text{ см.}$$

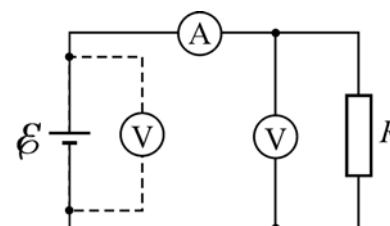
Ответ: $\Delta l = \frac{\nu \mu}{3} \left(\frac{v_2^2}{F_2} - \frac{v_1^2}{F_1} \right) \approx 0,173 \text{ м} \approx 17 \text{ см.}$

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>уравнение Клапейрона–Менделеева и выражение для среднеквадратичной скорости движения молекул газа</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
<i>Максимальный балл</i>	3

31

У школьника в наличии был источник постоянного напряжения с малым внутренним сопротивлением, два точных, но неидеальных измерительных прибора – амперметр и вольтметр, а также резистор с сопротивлением $R = 4$ Ом. Школьник вначале подключил к источнику только вольтметр, и он показал напряжение $U_0 = 5$ В. Затем школьник собрал цепь, схема которой изображена на рисунке, и обнаружил, что амперметр показывает ток $I_1 = 1$ А, а вольтметр – напряжение $U_1 = 3$ В. Затем школьник поменял в цепи местами измерительные приборы. Чему при этом стали равны их показания I_2 и U_2 ?



Возможное решение

Поскольку источник имеет малое внутреннее сопротивление, наличие тока через него не изменяет его выходное напряжение, и показания вольтметра в первом случае дают ЭДС источника: $E = U_0$.

Обозначим сопротивления неидеальных амперметра и вольтметра через R_A и R_V . Тогда, согласно закону Ома для полной цепи, $U_0 = I_1 R_A + U_1$, откуда

$$R_A = \frac{U_0 - U_1}{I_1} = \frac{5 - 3}{1} = 2 \text{ Ом.}$$

Резистор и вольтметр включены параллельно, и по формуле для параллельного соединения резисторов их общее сопротивление равно $\frac{R R_V}{R + R_V}$, а падение напряжения на них по закону Ома для участка цепи

равно $U_1 = I_1 \frac{R R_V}{R + R_V}$.

$$\text{Отсюда } R_V = \frac{U_1 R}{I_1 R - U_1} = \frac{3 \cdot 4}{1 \cdot 4 - 3} = 12 \text{ Ом.}$$

После перестановки измерительных приборов ток в цепи (и через вольтметр) по закону Ома для полной цепи будет равен

$$I_V = \frac{U_0}{R_V + \frac{RR_A}{R + R_A}} = \frac{5}{12 + \frac{4 \cdot 2}{4 + 2}} = \frac{3}{8} \text{ А, а показания вольтметра}$$

$$U_2 = I_V R_V = \frac{U_0 R_V}{R_V + \frac{RR_A}{R + R_A}} = \frac{5 \cdot 12}{12 + \frac{4 \cdot 2}{4 + 2}} = 4,5 \text{ В.}$$

По закону Ома для участка цепи падение напряжения на участке цепи с параллельно соединёнными резистором и амперметром будет равно

$$U_A = I_V \cdot \frac{RR_A}{R + R_A}, \text{ а ток через амперметр}$$

$$I_2 = \frac{U_A}{R_A} = I_V \cdot \frac{R}{R + R_A} = \frac{3}{8} \cdot \frac{4}{4 + 2} = 0,25 \text{ А.}$$

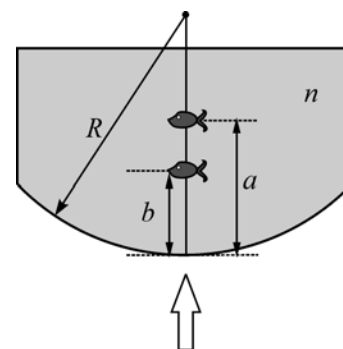
Ответ: $I_2 = 0,25 \text{ А}$, $U_2 = 4,5 \text{ В}$.

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: законы Ома для участка цепи и для полной цепи, формулы для сопротивления при последовательном и параллельном соединении резисторов);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3

<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков. Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

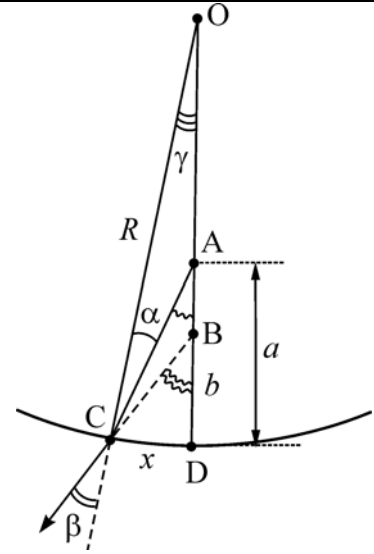
32

Аквариум имеет прозрачные вертикальные стенки: три плоские (боковые и заднюю) и одну цилиндрическую (переднюю), с радиусом $R = 0,8$ м. В него налита вода с показателем преломления $n = 4/3$. Мальчик, глядя на маленькую рыбку в аквариуме по горизонтали, перпендикулярно цилиндрической стенке, видит рыбку (точнее, её изображение) на расстоянии $b = 16$ см от этой стенки (см. рисунок). На каком расстоянии a от этой стенки будет видна рыбка, если мальчик будет смотреть на неё сквозь поверхность воды по вертикали, сверху вниз?



Возможное решение

Построим ход лучей от рыбки вблизи радиуса OD, направленного перпендикулярно цилиндрической поверхности к наблюдателю вне аквариума (см. рис.). Из закона преломления света следует, что луч AD, идущий от рыбки перпендикулярно поверхности, не преломляется, а луч AC, идущий от рыбки вблизи этого перпендикуляра, на расстоянии x от него, и составляющий с радиусом OC поверхности малый угол α , отклоняется после преломления от данного радиуса на малый угол β , причём $\beta/\alpha = n$. Точка В пересечения продолжения этого луча и первого луча AD, перпендикулярного поверхности аквариума, даёт положение изображения рыбки, которое мальчик видит через цилиндрическую стенку аквариума, глядя снаружи, причём расстояние $b = BD$.



Пусть радиус OC поверхности, проведённый в точку C на расстоянии x от первого перпендикуляра, составляет с ним малый угол γ (см. рис.). Тогда луч, идущий от рыбки в эту точку, составляет с этим перпендикуляром, как внешний угол треугольника OAC, малый угол $\alpha + \gamma$, а угол между продолжением преломленного луча и перпендикуляром, то есть внешний угол треугольника OBC, – малый угол $\beta + \gamma$.

В силу малости всех углов можно написать соотношение: $x = a(\alpha + \gamma) = b(\beta + \gamma)$, откуда $a = b \frac{\beta + \gamma}{\alpha + \gamma} = b \frac{1 + \gamma/\beta}{\alpha/\beta + \gamma/\beta} = nb \frac{1 + \gamma/\beta}{1 + n\gamma/\beta}$.

Отношение γ/β находим по теореме синусов для треугольника OBC в пределе малых углов β и γ : $OB = R - b$, $BC \approx BD = b$, так что $\frac{\gamma}{\beta} \approx \frac{b}{R - b}$.

Таким образом, рыбка будет видна сверху на расстоянии от передней цилиндрической стенки аквариума, равном

$$a = nb \frac{1 + \gamma/\beta}{1 + n\gamma/\beta} = nb \frac{1 + \frac{b}{R-b}}{1 + \frac{nb}{R-b}} = nb \frac{R}{R - b + nb} = \frac{nb}{1 + (n-1)\frac{b}{R}} = \frac{(4/3) \cdot 16}{1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{16}{80}} = 20 \text{ см}$$

Ответ: $a = \frac{nb}{1 + (n-1)\frac{b}{R}} = 20 \text{ см.}$

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон преломления света и геометрические соотношения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом**28**

Вакуумные лампочки накаливания имеют весьма ограниченный срок службы. Если они уже долго светили, то их стеклянные баллоны постепенно покрываются изнутри чёрным налетом, а перегорают они чаще всего в момент включения в сеть. Объясните указанные факты, указав, какие физические явления и законы Вы использовали.

Возможное решение
<p>1. Появление чёрного налёта внутри стеклянного баллона лампочки объясняется явлением испарения металлической (обычно вольфрамовой) нити накала, работающей при высокой температуре, необходимой для излучения видимого света, и последующей конденсацией паров металла на поверхности более холодного, чем нить накала, баллона.</p> <p>2. Сопротивление металлов растёт с ростом температуры, поэтому ток через холодную нить накала в момент включения лампочки в сеть значительно превышает рабочий ток лампочки, когда её нить накала прогрелась до рабочей температуры.</p> <p>3. Испарение с разных участков нити происходит неравномерно. По мере испарения металла с нити на ней возникают неоднородности – участки меньшего диаметра с повышенным сопротивлением, где нагревание током по закону Джоуля–Ленца происходит сильнее, чем на последовательно с ними включенных в цепь участках с меньшим сопротивлением.</p> <p>4. В момент включения в сеть долго проработавшей лампочки один из тонких участков её нити накала с большим сопротивлением нагревается выше температуры плавления, и нить перегорает.</p>

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п. 1–4) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>упоминание явлений испарения металлов при высоких температурах и конденсации их паров на холодных поверхностях, зависимости сопротивления металлов от температуры и от диаметра проводника, а также различного нагревания последовательно включённых участков электрической цепи с различным сопротивлением на основе закона Джоуля–Ленца</i>).</p>	3

<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.)</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения.</p>	2
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев. Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

29

Струя воды круглого сечения радиусом $r_0 = 1,1$ см начинает бить из шланга вверх со скоростью $v_0 = 15$ м/с. Найдите радиус струи r на высоте $h = 10$ м по вертикали от конца шланга. Трением и силами поверхностного натяжения пренебречь, считать скорость движения частиц воды по вертикали в любом поперечном сечении струи одинаковой для данного сечения, а сами частицы – находящимися в состоянии свободного падения в поле силы тяжести.

Возможное решение

Максимальная высота подъёма частиц жидкости при начальной скорости v_0 равна $v_0^2 / (2g) = 11,25$ м. Поэтому на высоте $h = 10$ м частицы жидкости ещё не начнут падать обратно вниз, и струя не разобьётся на капли.

Поскольку воду можно считать несжимаемой жидкостью, то её объём, протекающий через любое поперечное сечение струи в единицу времени, постоянен и равен $\pi r_0^2 \cdot v_0 = \pi r^2 \cdot v$, где v – скорость воды на высоте h .

Отсюда $r = r_0 \sqrt{\frac{v_0}{v}}$.

По закону сохранения механической энергии при условиях задачи можно считать, что для частицы воды массой m справедливо соотношение $\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh$, откуда $v = \sqrt{v_0^2 - 2gh}$.

Подставляя выражение для скорости струи в формулу для её радиуса, получаем:

$$r = \frac{r_0}{\sqrt[4]{1 - \frac{2gh}{v_0^2}}}.$$

После подстановки численных значений имеем:

$$r[\text{см}] = \frac{1,1}{\sqrt[4]{1 - \frac{2 \cdot 10 \cdot 10}{15^2}}} = \frac{1,1}{\sqrt[4]{1/9}} \approx 1,90 \text{ см.}$$

Ответ: $r = \frac{r_0}{\sqrt[4]{1 - \frac{2gh}{v_0^2}}} \approx 1,90 \text{ см.}$

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>выражение для потока несжимаемой жидкости в струе через её сечение и скорость частиц жидкости, а также закон сохранения механической энергии частиц жидкости при их свободном падении</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков. Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
<i>Максимальный балл</i>	3

30

Гелий в количестве $\nu = 0,1$ моля находится в горизонтальном закреплённом цилиндре с поршнем, который может без трения перемещаться в цилиндре и вначале удерживается в равновесии силой $F_1 = 200$ Н. При этом среднеквадратичная скорость движения атомов гелия составляет $v_1 = 1100$ м/с. Затем гелий стали нагревать, а поршень удерживать в равновесии, медленно сдвигая его и постепенно увеличивая действующую на него силу. Когда эта сила равнялась $F_2 = 300$ Н, среднеквадратичная скорость движения атомов гелия стала равной $v_2 = 1500$ м/с. На какое расстояние Δl от исходного положения при этом сдвинулся поршень?

Возможное решение

Обозначим начальный объём гелия в цилиндре через $V_1 = S \cdot l_1$, а давление – через $p_1 = \frac{F_1}{S}$, где площадь поршня равна S , а длина столба газа равна l_1 .

Тогда, согласно уравнению Клапейрона–Менделеева, $p_1 V_1 = F_1 l_1 = \nu R T_1$.

Среднеквадратичная скорость атомов гелия при начальной температуре T_1 равна $v_1 = \sqrt{\frac{3RT_1}{\mu}}$, где μ – молярная масса гелия. Отсюда $T_1 = \frac{\mu v_1^2}{3R}$.

Из написанных соотношений получаем: $l_1 = \frac{\nu \mu v_1^2}{3F_1}$.

Аналогичным образом получаем, что в конце процесса $l_2 = \frac{\nu \mu v_2^2}{3F_2}$.

Таким образом, искомый сдвиг поршня равен

$$\Delta l = l_2 - l_1 = \frac{\nu\mu}{3} \left(\frac{v_2^2}{F_2} - \frac{v_1^2}{F_1} \right) = \frac{0,1 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{3} \left(\frac{1500^2}{300} - \frac{1100^2}{200} \right) \approx 0,193 \text{ м} \approx 19 \text{ см.}$$

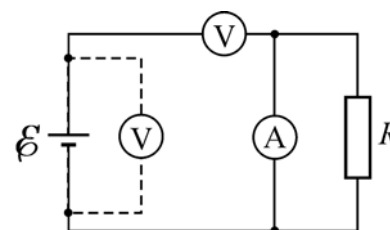
Ответ: $\Delta l = \frac{\nu\mu}{3} \left(\frac{v_2^2}{F_2} - \frac{v_1^2}{F_1} \right) \approx 0,193 \text{ м} \approx 19 \text{ см.}$

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: уравнение Клапейрона–Менделеева и выражение для среднеквадратичной скорости движения молекул газа);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
<i>Максимальный балл</i>	3

31

У школьника в наличии был источник постоянного напряжения с малым внутренним сопротивлением, два точных, но неидеальных измерительных прибора – амперметр и вольтметр, а также резистор с сопротивлением $R = 4$ Ом. Школьник вначале подключил к источнику только вольтметр, и он показал напряжение $U_0 = 5$ В. Затем школьник собрал цепь, схема которой изображена на рисунке, и обнаружил, что амперметр показывает ток $I_1 = 0,25$ А, а вольтметр – напряжение $U_1 = 4,5$ В. Затем школьник понял, что перепутал положения приборов, и поменял их в цепи местами. Чему при этом стали равны показания амперметра и вольтметра I_2 и U_2 ?



Возможное решение

Поскольку источник имеет малое внутреннее сопротивление, наличие тока через него не изменяет его выходное напряжение, и показания вольтметра в первом случае дают ЭДС источника: $E = U_0$.

Обозначим сопротивления неидеальных амперметра и вольтметра через R_A и R_V , ток через вольтметр через I_V , а падение напряжения на амперметре – через U_A .

Тогда, согласно законам Ома для полной цепи, изображённой на рисунке, и для её участка, содержащего амперметр, $U_0 = U_1 + U_A = U_1 + I_1 R_A$, откуда

$$R_A = \frac{U_0 - U_1}{I_1} = \frac{5 - 4,5}{0,25} = 2 \text{ Ом.}$$

Резистор и амперметр включены параллельно, и по формуле для

параллельного соединения резисторов их общее сопротивление равно $\frac{RR_A}{R + R_A} = \frac{4 \cdot 2}{4 + 2} = \frac{4}{3}$ Ом, а ток через вольтметр по закону Ома для участка

цепи равен $I_V = \frac{U_1}{R_V} = U_A \frac{R + R_A}{RR_A} = I_1 R_A \frac{R + R_A}{RR_A} = \frac{0,25 \cdot 2}{4/3} = \frac{3}{8}$ А. Отсюда

$$R_V = \frac{U_1}{I_V} = \frac{4,5}{3/8} = 12 \text{ Ом.}$$

После перестановки измерительных приборов ток в цепи (и через амперметр) согласно закону Ома для полной цепи и формуле для параллельного соединения резисторов будет равен

$$I_2 = \frac{U_0}{R_A + \frac{RR_V}{R + R_V}} = \frac{5}{2 + \frac{4 \cdot 12}{4 + 12}} = 1 \text{ А,}$$

а показания вольтметра

$$U_2 = I_2 \frac{RR_V}{R + R_V} = \frac{1 \cdot 4 \cdot 12}{4 + 12} = 3 \text{ В.}$$

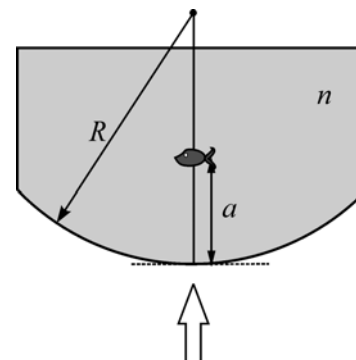
Ответ: $I_2 = 1 \text{ А, } U_2 = 3 \text{ В.}$

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>законы Ома для участка цепи и для полной цепи, формулы для сопротивления при последовательном и параллельном соединении резисторов</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3

<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	3

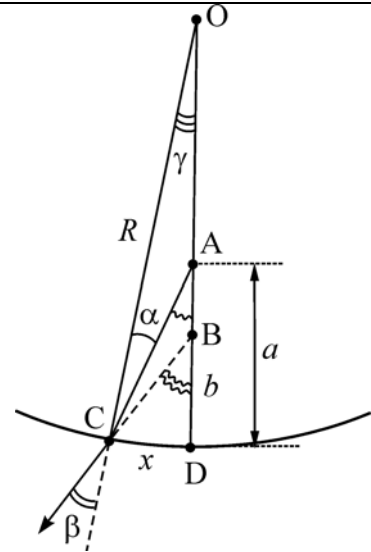
32

Аквариум имеет прозрачные вертикальные стенки: три плоские (боковые и заднюю) и одну цилиндрическую (переднюю), с радиусом $R = 0,8$ м. В него налита вода с показателем преломления $n = 4/3$. Мальчик, глядя в аквариум сверху (см. рисунок), видит маленькую рыбку в аквариуме на расстоянии $a = 20$ см от его передней стенки. На каком расстоянии b от этой стенки будет видна рыбка, если мальчик будет смотреть на неё по горизонтали, перпендикулярно стенке?



Возможное решение

Построим ход лучей от рыбки вблизи радиуса OD, направленного перпендикулярно цилиндрической поверхности к наблюдателю вне аквариума (см. рис.). Из закона преломления света следует, что луч AD, идущий от рыбки перпендикулярно поверхности, не преломляется, а луч AC, идущий от рыбки вблизи этого перпендикуляра, на расстоянии x от него, и составляющий с радиусом OC поверхности малый угол α , отклоняется после преломления от данного радиуса на малый угол β , причём $\beta/\alpha = n$. Точка В пересечения продолжения этого луча и первого луча AD, перпендикулярного поверхности аквариума, даёт положение изображения рыбки, которое мальчик видит через цилиндрическую стенку аквариума, глядя снаружи, причём искомое расстояние $b = BD$.



Пусть радиус OC поверхности, проведённый в точку C на расстоянии x от первого перпендикуляра, составляет с ним малый угол γ (см. рис.). Тогда луч, идущий от рыбки в эту точку, составляет с этим перпендикуляром, как внешний угол треугольника OAC, малый угол $\alpha + \gamma$, а угол между продолжением преломленного луча и перпендикуляром, то есть внешний угол треугольника OBC, – малый угол $\beta + \gamma$.

В силу малости всех углов можно написать соотношение: $x = a(\alpha + \gamma) = b(\beta + \gamma)$, откуда $b = a \frac{\alpha + \gamma}{\beta + \gamma} = a \frac{1 + \gamma/\alpha}{\beta/\alpha + \gamma/\alpha} = a \frac{1 + \gamma/\alpha}{n + \gamma/\alpha}$.

Отношение γ/α находим по теореме синусов для треугольника OAC в пределе малых углов α и γ : $OA = R - a$, $AC \approx AD = a$, так что $\frac{\gamma}{\alpha} \approx \frac{a}{R - a}$.

Таким образом, рыбка будет видна на расстоянии от передней цилиндрической стенки аквариума, равном

$$b = a \frac{1 + \gamma/\alpha}{n + \gamma/\alpha} \approx a \frac{1 + \frac{a}{R - a}}{n + \frac{a}{R - a}} = \frac{aR}{n(R - a) + a} = \frac{a}{n - (n - 1) \frac{a}{R}} = \frac{20}{4/3 - 1/3 \cdot (20/80)} = 16 \text{ см.}$$

Ответ: $b = \frac{a}{n - (n - 1) \frac{a}{R}} = 16 \text{ см.}$

Содержание критерия	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: закон преломления света и геометрические соотношения);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2

<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3