

Ответы к заданиям

№ задания	Ответ
13	вправо
19	10 9
22	$9,0 \pm 1,5 \text{ В}$

Ответы к заданиям

№ задания	Ответ
13	влево
19	10 10
22	$3,0 \pm 0,5 \text{ В}$

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

28

Известно, что вечерняя роса на траве – это к хорошей, ясной погоде, а сухая трава – к пасмурной. Объясните с точки зрения физических законов и закономерностей, почему это так.

Юный физик в летний вечер решил отправиться на прогулку и оценить, какая масса воды содержится в 1 дм³ влажного атмосферного воздуха. Какие приборы ему необходимо взять с собой для того, чтобы провести необходимые измерения? Какие справочные (табличные) значения понадобятся ему для проведения вычислений?

Возможное решение

1. В ясную погоду вечером и ночью поверхность земли быстро остывает за счёт теплового излучения, слабо задерживаемого атмосферой, чего не происходит, если погода пасмурная и небо закрыто «одеялом» из облаков.

2. Приземный слой воздуха в ясную погоду вечером и ночью сильно остывает, и ненасыщенные пары воды во влажном воздухе превращаются в пересыщенные, откуда «лишняя» вода выпадает, образуя туманы и росу на траве.

3. Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева и определению относительной влажности воздуха, плотность паров воды при заданной температуре T равна

$$\rho = \frac{\mu p}{RT} \cdot r$$

, где μ – молярная масса воды, r – относительная влажность, T – абсолютная температура воздуха, p – давление насыщенных паров при данной температуре. Искомая масса воды, содержащейся в 1 дм³ влажного воздуха, равна $m = \rho \cdot (1 \text{ дм}^3)$.

4. Следовательно, юному физикю понадобятся приборы для измерения относительной влажности (гигрометр), температуры (термометр), а также табличные значения – давление насыщенных паров воды при измеренной температуре и молярная масса воды.

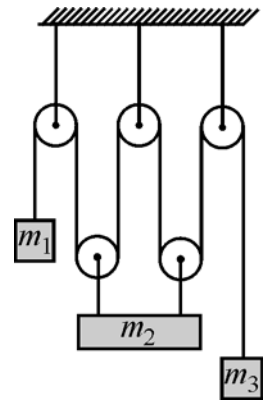
Ответ: в ясную погоду вечером и ночью приземный слой воздуха быстро остывает, содержащиеся в нём ненасыщенные пары воды превращаются в пересыщенные, и в результате выпадает роса. Для того чтобы оценить, какая масса воды содержится в 1 м³ влажного атмосферного воздуха, понадобятся гигрометр, термометр, а также табличные значения давления насыщенных паров воды при измеренной температуре и молярной массы воды

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <i>указана роль теплового излучения земли при охлаждении приповерхностного слоя воздуха ночью в ясную погоду, перечислены необходимые измерительные приборы и табличные данные</i>) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений	3

и закономерностей (в данном случае: <i>конденсация воды при достижении паром насыщения; использование уравнения Клапейрона–Менделеева и определения влажности воздуха; указание физических величин, которые подлежат измерению, и физических величин, значения которых содержатся в справочных таблицах</i>)	
<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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">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 <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, <u>приводящие к ответу</u>, содержат ошибки.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

29

В системе, изображённой на *рисунке*, трения нет, блоки невесомы, нити невесомы и нерастяжимы, их участки, не лежащие на блоках, вертикальны, массы грузов равны $m_1 = 1$ кг, $m_2 = 3$ кг, $m_3 = 0,5$ кг. Точки подвеса груза m_2 – однородной горизонтальной балки – находятся на равных расстояниях от её концов. Найдите модуль и направление ускорения груза массой m_3 .



Возможное решение	
<p>1. Введём неподвижную декартову систему координат с вертикальной осью OX, направленной вниз, причём начало координат поместим на уровне осей верхних блоков, и отметим координаты x_1, x_2, x_3 нижних концов вертикальных участков длинной нити (см. <i>рисунк</i>).</p> <p>2. Из условия задачи следует, что сила натяжения T длинной нити постоянна по всей её длине, а балка m_2 может двигаться только по вертикали, не наклоняясь. Изобразим на <i>рисунке</i> силы тяжести и силы натяжения нити, действующие на все три тела.</p> <p>3. Запишем уравнения второго закона Ньютона в проекциях на координатную ось OX: $m_1 a_1 = m_1 g - T$; $m_2 a_2 = m_2 g - 4T$; $m_3 a_3 = m_3 g - T$.</p> <p>4. Длина нерастяжимой нити равна $x_1 + 4x_2 + x_3 = const$. Отсюда получаем уравнение кинематической связи для ускорений грузов: $a_1 + 4a_2 + a_3 = 0$.</p> <p>5. Выражая ускорения из первых трёх уравнений движения и подставляя их в уравнение кинематической связи, определяем T, а затем, подставляя T в третье уравнение движения, находим a_3:</p> $a_3 = g \cdot \frac{16m_1 m_3 + m_2 m_3 - 5m_1 m_2}{16m_1 m_3 + m_1 m_2 + m_2 m_3} = 10 \cdot \frac{8 + 1,5 - 15}{8 + 3 + 1,5} = -4,4 \text{ м/с}^2.$ <p>Ответ: $a_3 = g \cdot \frac{16m_1 m_3 + m_2 m_3 - 5m_1 m_2}{16m_1 m_3 + m_1 m_2 + m_2 m_3} = -4,4 \text{ м/с}^2$. Ускорение направлено вверх</p>	

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы: Г) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>уравнения второго закона Ньютона для всех трёх тел в проекции на вертикальную ось и уравнение кинематической связи для ускорений при условиях задачи</i>);</p>	3

<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 с указанием единиц измерения искомой величины</p>	
<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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">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</p>	1

преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

30

В вертикальный теплоизолированный стакан калориметра объёмом 200 см^3 налили до краёв воду при температуре $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, а затем опустили туда кусок алюминия массой $m = 270 \text{ г}$, находящийся при температуре $t_2 = -100 \text{ }^\circ\text{C}$. Какой объём льда окажется в стакане после установления теплового равновесия? Теплоёмкостью стакана и поверхностным натяжением воды можно пренебречь. Плотность льда $0,9 \text{ г/см}^3$.

Возможное решение
<p>1. Выясним, какое количество теплоты необходимо для нагревания куска алюминия с удельной теплоёмкостью $C_{\text{ал}} = 900 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{ }^\circ\text{C)}$ от температуры t_2 до $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$: $Q_1 = C_{\text{ал}} \cdot m(t_0 - t_2) = 900 \cdot 0,27 \cdot 100 = 24\,300 \text{ Дж}$.</p> <p>2. Объём куска алюминия (плотностью $\rho_{\text{ал}} = 2,7 \text{ г/см}^3$) равен $V_2 = m/\rho_{\text{ал}} = 100 \text{ см}^3$, и после его погружения в стакан часть воды вытечет, её объём уменьшится на величину V_2 и станет равным $V_1 = 100 \text{ см}^3$, а её масса будет равна $m_1 = \rho_{\text{в}} V_1 = 100 \text{ г}$ (здесь $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ г/см}^3$).</p> <p>3. Найдём теперь, какое количество теплоты может выделиться при охлаждении массы m_1 воды теплоёмкостью $C_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{ }^\circ\text{C)}$ от температуры t_1 до $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$: $Q_2 = C_{\text{в}} m_1(t_1 - t_0) = 4200 \cdot 0,1 \cdot 20 = 8400 \text{ Дж}$.</p> <p>4. Поскольку $Q_1 > Q_2$, то вода начнёт замерзать при $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, и её теплота кристаллизации пойдёт на нагревание алюминия. Всего замерзнет масса воды, равная $m_3 = (Q_1 - Q_2)/\lambda = 15900/330 \approx 48,2 \text{ г}$, которая займет объём $V_3 = m_3/\rho_{\text{л}} \approx 48,2/0,9 \approx 53,6 \text{ см}^3$ в виде льда, примёрзшего к куску алюминия ($\rho_{\text{л}} = 0,9 \text{ г/см}^3$, $\lambda = 330 \text{ Дж/г}$).</p> <p>Ответ: в стакане останется лёд объёмом $V_{\text{л}} \approx 53,6 \text{ см}^3$</p>

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>уравнения теплового баланса и выражения для связи массы, плотности и объёма вещества, а также теплоты кристаллизации определённой массы вещества</i>); 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>	3

<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>	
<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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">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

31

В постоянном однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,2$ Тл находится прямоугольная проволочная рамка, сделанная из проволоки длиной 8 см, по которой пропускают ток силой $I = 20$ мА. Какое максимальное значение может иметь действующий на эту рамку момент сил Ампера?

Возможное решение

1. Из закона Ампера следует, что максимальная сила, действующая на прямой проводник с током в магнитном поле, получается, если направление вектора \vec{B} перпендикулярно направлению тока в проводнике, а его длина максимальна. При этом модуль силы Ампера пропорционален длине проводника.
2. Максимальный момент сил Ампера, действующих на рамку с током, получается, если эти силы перпендикулярны плоскости рамки и расстояние между точками их приложения к сторонам рамки максимально (то есть максимально плечо силы).
3. Из этих рассуждений следует, что максимальному моменту сил Ампера соответствует случай, когда вектор \vec{B} лежит в плоскости рамки, направлен перпендикулярно одной из сторон рамки и при этом произведение длины одной стороны рамки на длину другой стороны максимально, то есть максимальна площадь рамки. (Можно показать, что на самом деле момент сил Ампера не изменится и при повороте вектора \vec{B} в плоскости рамки, но для данной задачи это несущественно.)
4. Максимальная площадь прямоугольной рамки достигается, когда рамка представляет собой квадрат, то есть длины её сторон равны $a = b = L/4$, где L – длина проволоки. Пусть вектор \vec{B} перпендикулярен сторонам рамки с длинами a . Тогда две силы Ампера, действующие на эти стороны, равны по модулю $F = IaB$, а момент этих сил равен $M = Fb = IabB$. Поэтому максимальный момент сил Ампера, действующих на рамку с током в магнитном поле, равен:

$$M = IabB = IBL^2/16 = 16 \cdot 10^{-7} \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

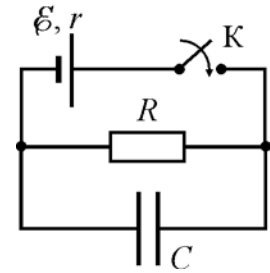
Ответ: действующий на рамку момент сил Ампера может иметь максимальное значение $M = IBL^2/16 = 16 \cdot 10^{-7}$ Н·м

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон Ампера для силы, действующей на проводник с током в магнитном поле, и определение момента силы</i>); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений</i>)</p>	3

<p><i>величин, используемых при написании физических законов);</i></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>	
<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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">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

В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, сила тока через источник сразу после замыкания ключа в $n = 3$ раза больше силы тока, установившейся спустя большое время после этого замыкания. Установившийся заряд на конденсаторе ёмкостью $C = 0,5$ мкФ равен $q = 2$ мкКл. Найдите ЭДС \mathcal{E} источника.



Возможное решение

1. Сразу после замыкания ключа К ток пойдет только через конденсатор C , поскольку он ещё не заряжен, и напряжение на нём и на резисторе R равно нулю, откуда по закону Ома для участка цепи следует, что и ток через резистор в первый момент равен нулю. Поэтому по закону Ома для замкнутой цепи $I_1 = \mathcal{E}/r$, где r – внутреннее сопротивление источника тока.
2. В установившемся режиме ток через конденсатор не идёт, и по закону Ома для замкнутой цепи $I_2 = \mathcal{E}/(r + R)$, причём по условию $I_1/I_2 = n$.
3. Установившееся падение напряжения на резисторе равно напряжению на конденсаторе $U = I_2 R = q/C$, согласно формуле для связи заряда и напряжения на конденсаторе.
4. Из написанных уравнений получаем, что $I_1/I_2 = n = (r + R)/r$, $R/r = n - 1$, $U = \mathcal{E}R/(r + R) = \mathcal{E}/(1 + r/R) = (n - 1)\mathcal{E}/n = q/C$.
5. Таким образом, $\mathcal{E} = nq/[(n - 1)C] = 6$ В.

Ответ: $\mathcal{E} = nq/[(n - 1)C] = 6$ В

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>законы Ома для участка цепи и для полной (замкнутой) цепи, формула для связи заряда и напряжения на конденсаторе</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</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>	<p>3</p>

<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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">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

Известно, что вечерняя роса на траве – это к хорошей, ясной погоде, а сухая трава – к пасмурной. Объясните с точки зрения физических законов и закономерностей, почему это так.

Юный физик в летний вечер решил отправиться на прогулку и оценить, какая масса воды содержится в 1 м^3 влажного атмосферного воздуха. Какие приборы ему необходимо взять с собой для того, чтобы провести необходимые измерения? Какие справочные (табличные) значения понадобятся ему для проведения вычислений?

Возможное решение

1. В ясную погоду вечером и ночью поверхность земли быстро остывает за счёт теплового излучения, слабо задерживаемого атмосферой, чего не происходит, если погода пасмурная и небо закрыто «одеялом» из облаков.

2. Приземный слой воздуха в ясную погоду вечером и ночью сильно остывает, и ненасыщенные пары воды во влажном воздухе превращаются в пересыщенные, откуда «лишняя» вода выпадает, образуя туманы и росу на траве.

3. Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева и определению относительной влажности воздуха, плотность паров воды при заданной температуре T равна

$$\rho = \frac{\mu p}{RT} \cdot r,$$
 где μ – молярная масса воды, r – относительная влажность, T – абсолютная температура воздуха, p – давление насыщенных паров при данной температуре. Искомая масса воды, содержащейся в 1 м^3 влажного воздуха, равна $m = \rho \cdot (1 \text{ м}^3)$.

4. Следовательно, юному физикю понадобятся приборы для измерения относительной влажности (гигрометр), температуры (термометр), а также табличные значения – давление насыщенных паров воды при измеренной температуре и молярная масса воды.

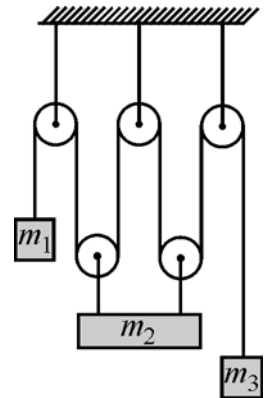
Ответ: В ясную погоду вечером и ночью приземный слой воздуха быстро остывает, содержащиеся в нём ненасыщенные пары воды превращаются в пересыщенные, и в результате выпадает роса. Для того чтобы оценить, какая масса воды содержится в 1 м^3 влажного атмосферного воздуха, понадобятся гигрометр, термометр, а также табличные значения давления насыщенных паров воды при измеренной температуре и молярной массы воды

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <i>указана роль теплового излучения земли при охлаждении приповерхностного слоя воздуха ночью в ясную погоду, перечислены необходимые измерительные приборы и табличные данные</i>) и исчерпывающие верные рассуждения	3

с прямым указанием наблюдаемых явлений и закономерностей (в данном случае: <i>конденсация воды при достижении паром насыщения; использование уравнения Клапейрона–Менделеева и определения влажности воздуха; указание физических величин, которые подлежат измерению, и физических величин, значения которых содержатся в справочных таблицах</i>)	
<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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">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 <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, <u>приводящие к ответу</u>, содержат ошибки.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

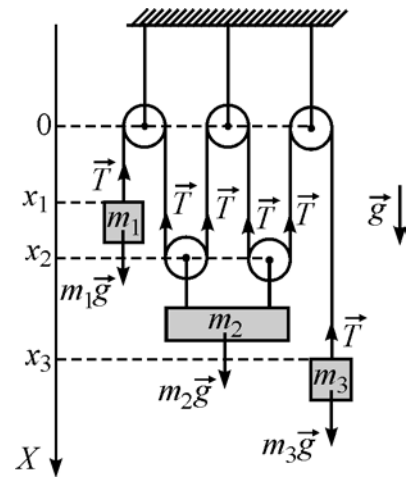
29

В системе, изображённой на *рисунке*, трения нет, блоки невесомы, нити невесомы и нерастяжимы, их участки, не лежащие на блоках, вертикальны, массы грузов равны $m_1 = 1$ кг, $m_2 = 3$ кг, $m_3 = 0,5$ кг. Точки подвеса груза m_2 – однородной горизонтальной балки – находятся на равных расстояниях от её концов. Найдите модуль и направление ускорения груза массой m_1 .



Возможное решение

1. Введём неподвижную декартову систему координат с вертикальной осью OX , направленной вниз, причём начало координат поместим на уровне осей верхних блоков и отметим координаты x_1, x_2, x_3 нижних концов вертикальных участков длиной нити (см. *рисунок*).



2. Из условия задачи следует, что сила натяжения T длинной нити постоянна по всей её длине, а балка m_2 может двигаться только по вертикали, не наклоняясь. Изобразим на рисунке силы тяжести и силы натяжения нити, действующие на все три тела.

3. Запишем уравнения второго закона Ньютона в проекциях на координатную ось OX : $m_1 a_1 = m_1 g - T$; $m_2 a_2 = m_2 g - 4T$; $m_3 a_3 = m_3 g - T$.

4. Длина нерастяжимой нити равна $x_1 + 4x_2 + x_3 = const$. Отсюда получаем уравнение кинематической связи для ускорений грузов: $a_1 + 4a_2 + a_3 = 0$.

5. Выражая ускорения из первых трёх уравнений движения и подставляя их в уравнение кинематической связи, определяем T , а затем, подставляя T в первое уравнение движения, находим a_1 :

6. $a_1 = g \cdot \frac{16m_1 m_3 + m_1 m_2 - 5m_2 m_3}{16m_1 m_3 + m_1 m_2 + m_2 m_3} = 10 \cdot \frac{8 + 3 - 7,5}{8 + 3 + 1,5} = 2,8 \text{ м/с}^2$, ускорение направлено вниз.

Ответ: $a_1 = g \cdot \frac{16m_1 m_3 + m_1 m_2 - 5m_2 m_3}{16m_1 m_3 + m_1 m_2 + m_2 m_3} = 2,8 \text{ м/с}^2$, ускорение направлено вниз

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: Г) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>уравнения второго закона Ньютона для всех трёх тел в проекции на вертикальную ось</i>	3

<p><i>и уравнение кинематической связи для ускорений при условиях задачи);</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 с указанием единиц измерения искомой величины</p>	
<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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">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

Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

30

В вертикальный теплоизолированный стакан калориметра объёмом 200 см^3 налили до краёв воду при температуре $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, а затем опустили туда кусок железа массой $m = 156 \text{ г}$, находящийся при температуре $t_2 = -150 \text{ }^\circ\text{C}$. Какая температура установится в стакане после достижения системой теплового равновесия? Теплоёмкостью стакана и поверхностным натяжением воды можно пренебречь.

Возможное решение

1. Выясним, какое количество теплоты необходимо для нагревания куска железа с удельной теплоёмкостью $C_{\text{ж}} = 460 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ от температуры t_2 до $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$: $Q_1 = C_{\text{ж}}m(t_0 - t_2) = 460 \cdot 0,156 \cdot 150 = 10\,764 \text{ Дж}$.
2. Объём куска железа (плотностью $\rho_{\text{жс}} = 7,8 \text{ г}/\text{см}^3$) равен $V_2 = m/\rho_{\text{жс}} = 20 \text{ см}^3$, и после его погружения в стакан объём воды уменьшится на эту величину, так что объём воды станет равен $V_1 = 180 \text{ см}^3$, а её масса $m_1 = \rho_{\text{в}}V_1 = 180 \text{ г}$ (здесь $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ г}/\text{см}^3$).
3. Найдём теперь, какое количество теплоты может выделиться при охлаждении массы m_1 воды теплоёмкостью $C_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ от температуры t_1 до $t_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$: $Q_2 = C_{\text{в}}m_1(t_1 - t_0) = 4200 \cdot 0,18 \cdot 20 = 15120 \text{ Дж}$.
4. Поскольку $Q_1 < Q_2$, то вода не замёрзнет, и в стакане после установления теплового равновесия останется жидкая вода массой $m_1 = 180 \text{ г}$ при температуре $t > 0 \text{ }^\circ\text{C}$. Эту температуру найдём из уравнения теплового баланса: $C_{\text{ж}}m(t - t_2) = C_{\text{в}}m_1(t_1 - t)$, откуда $t = \frac{C_{\text{в}}m_1t_1 + C_{\text{ж}}mt_2}{C_{\text{в}}m_1 + C_{\text{ж}}m} \approx 5,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ответ: в стакане установится температура $t \approx 5,3 \text{ }^\circ\text{C}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>уравнения теплового баланса и выражение для связи массы, плотности и объёма вещества</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается</p>	3

решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины	
<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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">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
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	<i>3</i>

31

В постоянном однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,15$ Тл находится прямоугольная проволочная рамка, сделанная из проволоки длиной 16 см, по которой пропускают ток силой $I = 0,5$ А. Какое максимальное значение может иметь действующий на эту рамку момент сил Ампера?

Возможное решение

1. Из закона Ампера следует, что максимальная сила, действующая на прямой проводник с током в магнитном поле, получается, если направление вектора \vec{B} перпендикулярно направлению тока в проводнике, а его длина максимальна. При этом модуль силы Ампера пропорционален длине проводника.
2. Максимальный момент сил Ампера, действующих на рамку с током, получается, если эти силы перпендикулярны плоскости рамки, и расстояние между точками их приложения к сторонам рамки максимально (то есть максимально плечо силы).
3. Из этих рассуждений следует, что максимальному моменту сил Ампера соответствует случай, когда вектор \vec{B} лежит в плоскости рамки, направлен перпендикулярно одной из сторон рамки и при этом произведение длины одной стороны рамки на длину другой стороны максимально, то есть максимальна площадь рамки. (Можно показать, что на самом деле момент сил Ампера не изменится и при повороте вектора \vec{B} в плоскости рамки, но для данной задачи это несущественно.)
4. Максимальная площадь прямоугольной рамки достигается, когда рамка представляет собой квадрат, то есть длины её сторон равны $a = b = L/4$, где L – длина проволоки. Пусть вектор \vec{B} перпендикулярен сторонам рамки с длинами a . Тогда две сила Ампера, действующие на эти стороны, равны по модулю $F = IaB$, а момент этих сил равен $M = Fb = IabB$. Поэтому максимальный момент сил Ампера, действующих на рамку с током в магнитном поле, равен:

$$M = IabB = IBL^2/16 = 12 \cdot 10^{-5} \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

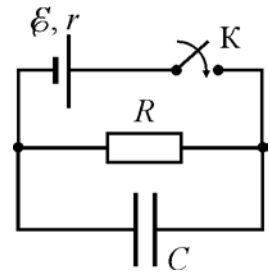
Ответ: действующий на рамку момент сил Ампера может иметь максимальное значение $M = IBL^2/16 = 12 \cdot 10^{-5}$ Н·м

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон Ампера для силы, действующей на проводник с током в магнитном поле, и определение момента силы</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии</i>);</p>	3

<p>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>	
<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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">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

В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, сила тока через источник сразу после замыкания ключа в $n = 2$ раза больше силы тока, установившейся спустя большое время после этого замыкания. Установившийся заряд на конденсаторе ёмкостью $C = 1$ мкФ равен $q = 1,75$ мкКл. Найдите ЭДС \mathcal{E} источника.



Возможное решение

1. Сразу после замыкания ключа К ток пойдёт только через конденсатор С, поскольку он ещё не заряжен и напряжение на нём и на резисторе R равно нулю, откуда по закону Ома для участка цепи следует, что и ток через резистор в первый момент равен нулю. Поэтому по закону Ома для замкнутой цепи $I_1 = \mathcal{E}/r$, где r – внутреннее сопротивление источника.
2. В установившемся режиме ток через конденсатор не идёт, и по закону Ома для замкнутой цепи $I_2 = \mathcal{E}/(r + R)$, причём по условию $I_1/I_2 = n$.
3. Установившееся падение напряжения на резисторе равно напряжению на конденсаторе $U = I_2 R = q/C$, согласно формуле для связи заряда и напряжения на конденсаторе.
4. Из написанных уравнений получаем, что $I_1/I_2 = n = (r + R)/r$, $R/r = n - 1$, $U = \mathcal{E}R/(r + R) = \mathcal{E}/(1 + r/R) = (n - 1)\mathcal{E}/n = q/C$.
5. Таким образом, $\mathcal{E} = nq/[(n - 1)C] = 3,5$ В.

Ответ: $\mathcal{E} = nq/[(n - 1)C] = 3,5$ В

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>законы Ома для участка цепи и для полной (замкнутой) цепи, формула для связи заряда и напряжения на конденсаторе</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</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>	<p>3</p>

<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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">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