

**Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом**

**28**

В сосуде, закрытом поршнем, находится при комнатной температуре воздух, относительная влажность которого равна 50%, а масса пара равна  $m$ . Поршень медленно вдвигают в сосуд, уменьшая его объём в 8 раз, при постоянной температуре. Нарисуйте график зависимости массы пара в сосуде в этом процессе от объёма сосуда.

**Возможное решение**

1. Обозначим исходные объём и давление пара через  $V_1$  и  $p_1$ . Конденсация пара, а, следовательно, и изменение массы пара начнётся тогда, когда давление пара в сосуде станет равным давлению насыщенных водяных паров, т. е. при давлении  $p_2 = 2p_1$ . При достижении газом этого давления начнётся процесс конденсации насыщенного пара, происходящий при постоянном давлении и температуре, при этом вблизи комнатной температуры объём сконденсировавшейся воды по сравнению с объёмом пара можно пренебречь.

2. Так как температура неизменна, то, согласно закону Бойля–Мариотта, в момент начала конденсации объём пара будет равен  $V_1/2$ , а масса пара –  $m$ . Для того, чтобы в итоге объём пара уменьшился в 8 раз, нужно, считая от момента начала конденсации, уменьшить объём сосуда ещё в 4 раза. При этом в сосуде сконденсируется  $3/4$  от находившейся под поршнем массы  $m$  пара, то есть масса  $m_{\text{п}}$  оставшегося пара будет равна  $m/4$ .

3. Зависимость  $m_{\text{п}}(V)$  в области конденсации – линейная.

4. График изображён на рисунке.

| <b>Критерии оценивания выполнения задания</b>   | <b>Баллы</b> |
|---|--------------|
| 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>определение относительной влажности воздуха, использование закона Бойля–Мариотта и упоминание явления конденсации насыщенного пара после достижения 100% влажности и дальнейшего сжатия газа при постоянной температуре</i> ). | 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.</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>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

Маятник состоит из маленького груза массой  $M = 200$  г, висящего на лёгкой нерастяжимой нити длиной  $L = 100$  см. Он висит в состоянии покоя в вертикальном положении. В груз ударяется и прилипает к нему небольшое тело массой  $m = 100$  г, летевшее в горизонтальном направлении. В результате возникает вращение маятника в вертикальной плоскости вокруг его точки подвеса, причём груз маятника всё время движется по окружности, делая полный оборот. Какова могла быть скорость тела до удара?

### Возможное решение

В соответствии с законом сохранения горизонтальной проекции импульса на направление движения тела в момент удара имеем:  $mv = (M + m)V$ , где  $v$  – скорость тела до удара, а  $V$  – скорость груза маятника с прилипшим к нему телом сразу после удара. Отсюда с учётом данных в условии  $V = \frac{mv}{M + m} = \frac{v}{3}$ .

При дальнейшем движении от положения равновесия до такого отклонения, когда нить примет вертикальное положение с грузом наверху, но будет хотя бы чуть-чуть натянута, сохраняется механическая энергия груза маятника:

$\frac{(M + m)V^2}{2} = (M + m)gH + \frac{(M + m)V_1^2}{2}$ , где  $H = 2L$  – высота подъёма над

положением равновесия груза, подвешенного на нерастяжимой лёгкой нити длиной  $L$ . В предельном случае минимальной скорости  $V_1$  движение груза маятника по окружности радиусом  $L$  в верхней точке траектории обеспечивается только силой тяжести, а сила натяжения нити равна нулю.

Уравнение вращательного движения груза при этом имеет вид:

$\frac{(m + M)V_1^2}{L} = (m + M)g$ , откуда  $V_1^2 = gL$ . Подставляя полученное значение

в закон сохранения энергии и учитывая выражение для начальной скорости  $V$ , получаем  $V^2 = 4gL + gL = 5gL = \left(\frac{mv}{M + m}\right)^2$ , откуда минимальное значение

скорости тела равно

$$v = \frac{M + m}{m} \sqrt{5gL} = 3\sqrt{5gL} = 3\sqrt{5 \cdot 10 \cdot 1} \approx 21 \text{ м/с.}$$

**Ответ:** Скорость тела была не менее  $v = \frac{M + m}{m} \sqrt{5gL} \approx 21$  м/с.

| Критерии оценивания выполнения задания  | 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 сохранения импульса при абсолютно неупругом ударе, закон сохранения механической энергии системы после удара и уравнение вращательного движения груза в вертикальной плоскости</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.<br>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.<br>ИЛИ<br>В решении отсутствует <b>одна</b> 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.<br>ИЛИ<br>В <b>одной</b> 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

В цилиндре под поршнем находится некоторое количество идеального одноатомного газа, среднеквадратичная скорость молекул которого равна  $u = 400$  м/с. В результате некоторого процесса объём газа увеличился на  $\alpha = 80\%$ , а давление уменьшилось на  $\beta = 20\%$ . Каким стало новое значение  $v$  среднеквадратичной скорости молекул этого газа?

#### Возможное решение

Среднеквадратичная скорость молекул идеального газа при температуре  $T$  равна  $u = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$ , где  $k$  – постоянная Больцмана,  $m_0$  – масса одной молекулы этого газа. Учитывая соотношение  $\frac{M}{m_0} = \frac{R}{k} = N_A$ , где  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $M$  – молярная масса газа,  $N_A$  – постоянная Авогадро, выразим среднеквадратичную скорость молекул в виде  $u = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ . Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева,  $pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT$ , где  $p$  – давление газа,  $V$  – объём сосуда,  $m$  – масса газа. Из этих выражений следует, что  $\frac{RT}{M} = \frac{u^2}{3} = \frac{pV}{m}$ . Тогда начальная и конечная среднеквадратичные скорости

равны  $u = \sqrt{\frac{3p_1V_1}{m}}$  и

$$v = \sqrt{\frac{3p_2V_2}{m}} = \sqrt{\frac{3p_1(1-\beta)V_1(1+\alpha)}{m}} = u\sqrt{(1+\alpha)(1-\beta)} = u\sqrt{1,8 \cdot 0,8} = 1,2u = 480 \text{ м/с.}$$

**Ответ:**  $v = u\sqrt{(1+\alpha)(1-\beta)} = 1,2u = 480 \text{ м/с.}$

| Критерии оценивания выполнения задания   | 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 среднеквадратичной скорости молекул идеального газа и уравнение Клапейрона–Менделеева</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.<br>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.<br>ИЛИ<br>В решении отсутствует <b>одна</b> 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.<br>ИЛИ<br>В <b>одной</b> 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

Известно, что «лошадиная сила» (л. с.) равна мощности  $75 \text{ кгс} \cdot \text{м/с} \approx 735 \text{ Вт}$ , а средний человек при длительной работе развивает мощность около  $0,16 \text{ л. с.}$  и кратковременно может превышать это ограничение. Человек, стараясь после отключения электричества в сети осветить своё жилище, используя электрогенератор с механическим приводом с КПД  $\eta = 60\%$ , вращает ротор генератора через редуктор за ручку, находящуюся на расстоянии  $R = 0,5 \text{ м}$  от оси, со скоростью  $n = 20 \text{ об/мин}$ , прикладывая к ручке силу  $F = 100 \text{ Н}$ . Сможет ли он долго поддерживать горение лампочки мощностью  $P = 60 \text{ Вт}$ , и не перегорит ли она от перенапряжения (лампочка рассчитана на номинальное напряжение  $220 \text{ В}$ , но не более  $235 \text{ В}$ , а напряжение генератора прямо пропорционально скорости вращения ротора)?

#### Возможное решение

КПД генератора с механическим приводом равен отношению его электрической мощности к механической мощности, развиваемой человеком:

$$\eta = \frac{P_{\text{эл}}}{P_{\text{мех}}}$$

Механическая мощность, развиваемая человеком, в условиях задачи равна

$$P_{\text{мех}} = F \cdot 2\pi n \cdot R \approx 100 \cdot 6,28 \cdot \frac{20}{60} \cdot 0,5 \approx 104,7 \text{ Вт},$$

а электрическая мощность генератора  $P_{\text{эл}} = \eta P_{\text{мех}} \approx 62,8 \text{ Вт}$ , что достаточно

для питания лампочки мощностью 60 Вт. Напряжение питания, очевидно, будет при этом повышено до  $220 \cdot \frac{62,8}{60} \approx 230$  В, так что лампочка ещё не перегорит.

Средняя механическая мощность человека при длительной работе равна по условию 0,16 л.с.  $\approx 117,6$  Вт, так что человек сможет долго освещать своё жилище, не перенапрягаясь.

**Ответ:** Сможет, и лампочка не перегорит.

| Критерии оценивания выполнения задания  | Баллы |
|---|-------|
| <p>I) Приведено полное решение, включающее следующие элементы: записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>выражения для КПД генератора и механической мощности, развиваемой человеком, электрической мощности, а также оценки предельных значений параметров 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.</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.<br>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.<br>ИЛИ<br>В решении отсутствует <b>одна</b> 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.<br>ИЛИ<br>В <b>одной</b> 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 |

32

Для исследования рентгеновских лучей с длинами волн меньше 10 нм изготовить обычную дифракционную решётку с подходящим периодом не представляется возможным, однако, есть способ обойти эту трудность. Возьмём обычную решётку с периодом  $d = 30$  мкм и осветим её параллельным пучком рентгеновского излучения с длиной волны  $\lambda = 4,5$  нм с углом падения на решётку  $\alpha = 89,5^\circ$  (скользящее падение лучей). Под каким углом  $\gamma$  к первоначальному пучку будет фиксироваться дифракционный максимум первого порядка? Считайте этот угол малым:  $\gamma \ll 1$ . Ответ выразите в градусах и округлите до целого числа.

#### Возможное решение

При скользящем падении лучей на дифракционную решётку с периодом  $d$  разность хода соседних лучей возникает как до их падения ( $-d \cdot \sin \alpha$ ), так и после их выхода из решётки ( $d \cdot \sin \varphi$ , где  $\varphi$  – угол дифракции, то есть угол между перпендикуляром к плоскости решётки и лучом). Таким образом, условие первого главного максимума для дифракции на решётке в данном случае имеет вид:  $d(\sin \varphi - \sin \alpha) = \lambda$ , или, согласно тригонометрической формуле,

$$d \cdot 2 \sin \frac{\varphi - \alpha}{2} \cos \frac{\varphi + \alpha}{2} = \lambda.$$

По условию угол отклонения луча решёткой  $\gamma = \varphi - \alpha \ll 1$ , поэтому  $\varphi \approx \alpha$  и  $\cos \frac{\varphi + \alpha}{2} \approx \cos \alpha$ . Значит,  $2 \sin \frac{\varphi - \alpha}{2} \approx 2 \sin \frac{\gamma}{2} \approx \gamma$ , и условие главного дифракционного максимума первого порядка приобретает вид:

$$d \cos \alpha \cdot \gamma \approx \lambda,$$

то есть эффективный период решётки уменьшается до  $d \cos \alpha$  и при угле  $\alpha$ , близком к  $90^\circ$ , может быть намного меньше  $d$ . Теперь можно найти угол  $\gamma$ :

$$\gamma \approx \frac{\lambda}{d \cos \alpha} \approx \frac{4,5 \cdot 10^{-9}}{30 \cdot 10^{-6} \cdot 0,00873} \approx 1,718 \cdot 10^{-2} \approx 0,984^\circ \approx 1^\circ.$$

**Ответ:**  $\gamma \approx \frac{\lambda}{d \cos \alpha} \approx 1^\circ.$

| Критерии оценивания выполнения задания   | 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>условие главного максимума первого порядка для дифракционной решётки при наклонном падении волны и тригонометрические 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.</p> <p>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 <b>одна</b> 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 <b>одной</b> 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 |

**Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом**

28

В сосуде, закрытом поршнем, находится при комнатной температуре воздух, относительная влажность которого равна 50%, а масса пара равна  $m$ . Поршень медленно вдвигают в сосуд, уменьшая его объём в 8 раз, при постоянной температуре. Нарисуйте график зависимости массы воды, сконденсировавшейся в этом процессе, от объёма сосуда.

| <b>Возможное решение</b>   |  |
|--|--|
| <p>1. Обозначим исходные объём и давление пара через <math>V_1</math> и <math>p_1</math>. Конденсация пара, а, следовательно, и изменение массы пара начнётся тогда, когда давление пара в сосуде станет равным давлению насыщенных водяных паров, т. е. при давлении <math>p_2 = 2p_1</math>. При достижении газом этого давления начнётся процесс конденсации насыщенного пара, происходящий при постоянном давлении и температуре, при этом вблизи комнатной температуры объёмом сконденсировавшейся воды по сравнению с объёмом пара можно пренебречь.</p> <p>2. Так как температура неизменна, то, согласно закону Бойля-Мариотта, в момент начала конденсации объём пара будет равен <math>V_1/2</math>. Для того, чтобы в итоге объём пара уменьшился в 8 раз, нужно, считая от момента начала конденсации, уменьшить объём сосуда ещё в 4 раза. При этом в сосуде сконденсируется <math>3/4</math> от находившейся под поршнем массы <math>m</math> пара, то есть масса <math>m_v</math> получившейся воды будет равна <math>\frac{3}{4}m</math>.</p> <p>3. Зависимость <math>m_v(V)</math> в области конденсации – линейная.</p> <p>4. График изображён на рисунке.</p> |  |

| <b>Критерии оценивания выполнения задания</b>   | <b>Баллы</b> |
|---|--------------|
| <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>определение относительной влажности воздуха, использование закона Бойля-Мариотта и упоминание явления конденсации насыщенного пара после достижения 100% влажности и дальнейшего сжатия газа при постоянной температуре</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.</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>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

Маятник состоит из маленького груза массой  $M = 100$  г, висящего на лёгкой нерастяжимой нити длиной  $L = 50$  см. Он висит в состоянии покоя в вертикальном положении. В груз ударяется и прилипает к нему небольшое тело массой  $m = 20$  г, летевшее в горизонтальном направлении. В результате возникает вращение маятника в вертикальной плоскости вокруг его точки подвеса, причём груз маятника всё время движется по окружности, делая полный оборот. Какова при этом могла быть скорость тела до удара?

### Возможное решение

В соответствии с законом сохранения горизонтальной проекции импульса на направление движения тела в момент удара имеем:  $mv = (M + m)V$ , где  $v$  – скорость тела до удара, а  $V$  – скорость груза маятника с прилипшим к нему телом сразу после удара. Отсюда с учётом данных в условии  $V = \frac{mv}{M + m} = \frac{v}{6}$ .

При дальнейшем движении от положения равновесия до такого отклонения, когда нить примет вертикальное положение с грузом наверху, но будет хотя бы чуть-чуть натянута, сохраняется механическая энергия груза маятника:

$\frac{(M + m)V^2}{2} = (M + m)gH + \frac{(M + m)V_1^2}{2}$ , где  $H = 2L$  – высота подъёма над

положением равновесия груза, подвешенного на нерастяжимой лёгкой нити длиной  $L$ . В предельном случае минимальной скорости  $V_1$  движение груза маятника по окружности радиусом  $L$  в верхней точке траектории обеспечивается только силой тяжести, а сила натяжения нити равна нулю.

Уравнение вращательного движения груза при этом имеет вид:

$\frac{(m + M)V_1^2}{L} = (m + M)g$ , откуда  $V_1^2 = gL$ . Подставляя полученное значение

в закон сохранения энергии и учитывая выражение для начальной скорости  $V$ , получаем  $V^2 = 4gL + gL = 5gL = \left(\frac{mv}{M + m}\right)^2$ , откуда минимальное

значение скорости тела равно

$$v = \frac{M + m}{m} \sqrt{5gL} = 6\sqrt{5gL} = 6\sqrt{5 \cdot 10 \cdot 0,5} = 30 \text{ м/с.}$$

**Ответ:** Скорость тела была не менее  $v = \frac{M + m}{m} \sqrt{5gL} = 30$  м/с.

| Критерии оценивания выполнения задания  | 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 сохранения импульса при абсолютно неупругом ударе, закон сохранения механической энергии системы после удара и уравнение вращательного движения груза в вертикальной плоскости</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.</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.<br>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.<br>ИЛИ<br>В решении отсутствует <b>одна</b> 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.<br>ИЛИ<br>В <b>одной</b> 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

В цилиндре под поршнем находится некоторое количество идеального одноатомного газа, среднеквадратичная скорость молекул которого равна  $u = 440$  м/с. В результате некоторого процесса объём газа уменьшился на  $\alpha = 20\%$ , а давление выросло на  $\beta = 80\%$ . Каким стало новое значение  $v$  среднеквадратичной скорости молекул этого газа?

#### Возможное решение

Среднеквадратичная скорость молекул идеального газа при температуре  $T$  равна  $u = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$ , где  $k$  – постоянная Больцмана,  $m_0$  – масса одной молекулы этого газа. Учитывая соотношение  $\frac{M}{m_0} = \frac{R}{k} = N_A$ , где  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $M$  – молярная масса газа,  $N_A$  – постоянная Авогадро, выразим среднеквадратичную скорость молекул в виде  $u = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ . Согласно уравнению Клапейрона-Менделеева,  $pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT$ , где  $p$  – давление газа,  $V$  – объём сосуда,  $m$  – масса газа. Из этих выражений следует, что  $\frac{RT}{M} = \frac{u^2}{3} = \frac{pV}{m}$ . Тогда начальная и конечная среднеквадратичные скорости



равны  $u = \sqrt{\frac{3p_1V_1}{m}}$  и

$$v = \sqrt{\frac{3p_2V_2}{m}} = \sqrt{\frac{3p_1(1+\beta)V_1(1-\alpha)}{m}} = u\sqrt{(1-\alpha)(1+\beta)} = u\sqrt{0,8 \cdot 1,8} = 1,2u = 528 \text{ м/с.}$$

**Ответ:**  $v = u\sqrt{(1-\alpha)(1+\beta)} = 1,2u = 528 \text{ м/с.}$

| Критерии оценивания выполнения задания   | 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 среднеквадратичной скорости молекул идеального газа и уравнение Клапейрона-Менделеева</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.<br>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.<br>ИЛИ<br>В решении отсутствует <b>одна</b> 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.<br>ИЛИ<br>В <b>одной</b> 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

Известно, что «лошадиная сила» (л.с.) равна мощности  $75 \text{ кгс} \cdot \text{м/с} \approx 735 \text{ Вт}$ , а средний человек при длительной работе развивает мощность около  $0,16 \text{ л.с.}$  и кратковременно может превышать это ограничение. Человек, стараясь после отключения электричества в сети осветить своё жилище, используя электрогенератор с механическим приводом с КПД  $\eta = 65\%$ , вращает ротор генератора через редуктор за ручку, находящуюся на расстоянии  $R = 0,35 \text{ м}$  от оси, со скоростью  $n = 30 \text{ об/мин}$ , прикладывая к ручке силу  $F = 90 \text{ Н}$ . Сможет ли он долго поддерживать горение лампочки накаливания мощностью  $P = 60 \text{ Вт}$ , и не перегорит ли она от перенапряжения (лампочка рассчитана на номинальное напряжение  $220 \text{ В}$ , но не более  $235 \text{ В}$ , а напряжение генератора прямо пропорционально скорости вращения ротора)?

### Возможное решение

КПД генератора с механическим приводом равен отношению его электрической мощности к механической мощности, развиваемой человеком:

$$\eta = \frac{P_{\text{эл}}}{P_{\text{мех}}}$$

Механическая мощность, развиваемая человеком, в условиях задачи равна

$$P_{\text{мех}} = F \cdot 2\pi n \cdot R \approx 90 \cdot 6,28 \cdot \frac{30}{60} \cdot 0,35 \approx 98,9 \text{ Вт},$$

а электрическая мощность генератора  $P_{\text{эл}} = \eta P_{\text{мех}} \approx 64,3 \text{ Вт}$ , что достаточно

для питания лампочки мощностью 60 Вт. Напряжение питания, очевидно, будет при этом повышено до  $220 \cdot \frac{64,3}{60} \approx 235,8$  В, так что лампочка вскоре может и перегореть.

Средняя механическая мощность человека при длительной работе равна по условию 0,16 л. с.  $\approx 117,6$  Вт, так что человек сможет долго освещать своё жилище, не перенапрягаясь, пока не перегорит лампочка.

**Ответ:** Сможет, но лампочка может и перегореть.

| Критерии оценивания выполнения задания  | Баллы |
|---|-------|
| <p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) Приведено полное решение, включающее следующие элементы: записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>выражения для КПД генератора и механической мощности, развиваемой человеком, электрической мощности, а также оценки предельных значений параметров 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.</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.<br>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.<br>ИЛИ<br>В решении отсутствует <b>одна</b> 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.<br>ИЛИ<br>В <b>одной</b> 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 |

32

Для исследования рентгеновских лучей с длинами волн меньше 10 нм изготовить обычную дифракционную решётку с подходящим периодом не представляется возможным, однако, есть способ обойти эту трудность. Возьмём обычную решётку с периодом  $d = 20$  мкм и осветим её параллельным пучком рентгеновского излучения с длиной волны  $\lambda = 3$  нм с углом падения на решётку  $\alpha = 89,5^\circ$  (скользящее падение лучей). Под каким углом  $\gamma$  к первоначальному пучку будет фиксироваться дифракционный максимум первого порядка? Считайте этот угол малым:  $\gamma \ll 1$ . Ответ выразите в градусах и округлите до целого числа.

#### Возможное решение

При скользящем падении лучей на дифракционную решётку с периодом  $d$  разность хода соседних лучей возникает как до их падения ( $-d \cdot \sin \alpha$ ), так и после их выхода из решётки ( $d \cdot \sin \varphi$ , где  $\varphi$  – угол дифракции, то есть угол между перпендикуляром к плоскости решётки и лучом). Таким образом, условие первого главного максимума для дифракции на решётке в данном случае имеет вид:  $d(\sin \varphi - \sin \alpha) = \lambda$ , или, согласно тригонометрической формуле,

$$d \cdot 2 \sin \frac{\varphi - \alpha}{2} \cos \frac{\varphi + \alpha}{2} = \lambda.$$

По условию угол отклонения луча решёткой  $\gamma = \varphi - \alpha \ll 1$ , поэтому  $\varphi \approx \alpha$  и  $\cos \frac{\varphi + \alpha}{2} \approx \cos \alpha$ . Значит,  $2 \sin \frac{\varphi - \alpha}{2} \approx 2 \sin \frac{\gamma}{2} \approx \gamma$ , и условие главного

дифракционного максимума первого порядка приобретает вид:

$$d \cos \alpha \cdot \gamma \approx \lambda,$$

то есть эффективный период решётки уменьшается до  $d \cos \alpha$  и при угле  $\alpha$ , близком к  $90^\circ$ , может быть намного меньше  $d$ . Теперь можно найти угол  $\gamma$ :

$$\gamma \approx \frac{\lambda}{d \cos \alpha} \approx \frac{3 \cdot 10^{-9}}{20 \cdot 10^{-6} \cdot 0,00873} \approx 1,718 \cdot 10^{-2} \text{ рад} \approx 0,984^\circ \approx 1^\circ.$$

**Ответ:**  $\gamma \approx \frac{\lambda}{d \cos \alpha} \approx 1^\circ.$

| Критерии оценивания выполнения задания   | 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>условие главного максимума первого порядка для дифракционной решётки при наклонном падении волны и тригонометрические 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.</p> <p>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 <b>одна</b> 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 <b>одной</b> 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 |