

**Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом**

**C1** Объясните, основываясь на известных физических законах и закономерностях, почему длины органичных труб разные: у труб с высокими тонами – маленькие, а у басовых труб – большие. Органная труба открыта с обоих концов и звучит при продувании через неё потока воздуха.

**Возможное решение**

1. Громкий звук бывает, когда на выходе из органной трубы устанавливается пучность стоячей волны, так как вблизи пучности колебания воздуха происходят с максимальной амплитудой, а амплитуда определяет громкость звука.
2. Поскольку труба открыта с обоих концов, то пучность также должна устанавливаться и на входе трубы.
3. Поэтому для наиболее громкого звучания минимальная длина трубы должна быть равна половине длины волны – при этом посередине трубы находится узел стоячей волны, а на ее концах – две пучности.
4. Звуки высокой частоты  $\nu$  соответствуют маленьким длинам волн, а низкой частоты – большим длинам волн, поскольку длина волны  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ , а скорость звука  $c$  не зависит от его частоты.
5. Таким образом, размеры трубы пропорциональны длине волны звука: чем частота звука выше, тем длина трубы меньше, и наоборот.

**Критерии оценки выполнения задания****Баллы**

Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае  $n$ . 1–5) и исчерпывающие верные рассуждения с указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – *установление стоячей волны в органной трубе, связь амплитуды колебаний воздуха с громкостью звука, а также формулы для связи длины волны и частоты звука*).

3

Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, и дано правильное объяснение, но содержится один из следующих недостатков.

В представленных записях содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи.

ИЛИ

Рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объёме, или в них содержатся логические недочёты.

2

Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.

Указаны не все необходимые явления и физические законы, даже если дан правильный ответ на вопрос задания.

ИЛИ

Указаны все необходимые явления и физические законы, но в некоторых из них допущена ошибка, даже если дан правильный ответ на вопрос задания.

ИЛИ

Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.

ИЛИ

Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к верному ответу, содержат ошибки.

1

Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.

0

**C2** Известно, что один оборот вокруг своей оси Луна совершает примерно за 28 земных суток, а масса Луны составляет  $\frac{1}{81}$  от массы Земли. На орбиту какого радиуса надо вывести спутник Луны, чтобы он всё время «висел» над одной и той же точкой поверхности? Известно, что спутники Земли, «висящие» над одной и той же точкой поверхности, летают по орбите радиусом  $R_3 \approx 42\,000$  км.

**Возможное решение**

При движении спутника по круговой орбите радиусом  $R$  вокруг планеты центростремительное ускорение обеспечивается силой гравитационного притяжения спутника к планете:  $m\omega^2 R = \frac{GmM}{R^2}$ , где  $m$  и  $M$  – массы спутника и планеты,  $G$  – гравитационная постоянная, а  $\omega$  – угловая скорость вращения спутника вокруг планеты.

Для геостационарного спутника  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , где  $T = 1$  сутки.

Из записанных соотношений следует, что радиус геостационарной орбиты для Земли

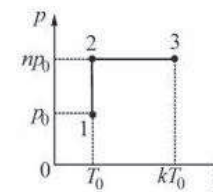
равен  $R_3 = \left(\frac{GM_3}{4\pi^2} T^2\right)^{\frac{1}{3}}$ , а для Луны

$$R_{Л} = \left(\frac{G \cdot M_3}{4\pi^2 \cdot 81} (28T)^2\right)^{\frac{1}{3}} = R_3 \left(\frac{28^2}{81}\right)^{\frac{1}{3}} = 42\,000 \cdot \left(\frac{28^2}{81}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ км} \approx 89\,500 \text{ км.}$$

$$\text{Ответ: } R_{Л} = R_3 \left(\frac{28^2}{81}\right)^{\frac{1}{3}} = 42\,000 \cdot \left(\frac{28^2}{81}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ км} \approx 89\,500 \text{ км.}$$

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – 2-й закон Ньютона для кругового движения спутника вокруг планеты, закон всемирного тяготения и условие постоянного нахождения спутника над одной и той же точкой планеты);                      II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);                      III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие одному или всем пунктам: II и III – представлены не в полном объеме или отсутствуют.                      ИЛИ                      При полном правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.                      Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.                      ИЛИ                      В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения 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 задачи (или 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

**С3** 1 моль идеального газа переходит из состояния 1 в состояние 2, а потом – в состояние 3 так, как это показано на  $(p, T)$  диаграмме. Начальная температура газа равна  $T_0 = 300$  К. Определите работу газа при переходе из состояния 2 в состояние 3, если  $k = 2$ .



**Возможное решение**

Запишем уравнение Клапейрона–Менделеева для 1 моля газа в состояниях 1 и 2:  
 $p_0 V_0 = RT_0$ ,  $np_0 V_2 = RT_0$ , где  $V_0$  и  $V_2$  – объём газа в состояниях 1 и 2 при одинаковой температуре  $T_0$ . Отсюда следует, что объём газа в состоянии 2 равен  $V_2 = \frac{V_0}{n} = \frac{RT_0}{np_0}$ .

Процесс 2–3 – изобарический при давлении  $np_0$ , так что работа газа на участке 2–3 равна  $A = np_0(V_3 - V_2)$ , причём согласно уравнению Клапейрона–Менделеева  $np_0 V_3 = R \cdot kT_0$ , откуда  $V_3 = \frac{R \cdot kT_0}{np_0}$ .

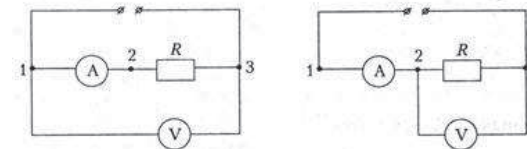
Таким образом, работа на участке 2–3 равна

$$A = np_0 \left( \frac{R \cdot kT_0}{np_0} - \frac{RT_0}{np_0} \right) = (k - 1)RT_0 = (2 - 1) \cdot 8,3 \cdot 300 = 2490 \text{ Дж.}$$

Ответ:  $A = (k - 1)RT_0 = 2490$  Дж.

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:            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 работы газа при изобарическом процессе);            II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);            III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);            IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <u>один</u> из следующих недостатков.            Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.            ИЛИ            При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).            ИЛИ            При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.            ИЛИ            При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.            Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.            ИЛИ            В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения 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 задачи (или 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

**С4** Школьник собрал схему, изображённую на первом рисунке. После её подключения к идеальному источнику постоянного напряжения оказалось, что амперметр показывает ток  $I_1 = 0,95$  А, а вольтметр – напряжение  $U_1 = 12$  В. Когда школьник переключил один из проводников вольтметра от точки 1 к точке 2 (см. второй рисунок), вольтметр стал показывать напряжение  $U_2 = 11,9$  В, а амперметр – ток  $I_2 = 1$  А. Во сколько раз сопротивление вольтметра больше сопротивления амперметра?



### Возможное решение

Вольтметр в первом случае показывает постоянное напряжение источника, равно  $U_1 = 20$  В. Во втором случае это напряжение равно, очевидно, сумме падения напряжения на амперметре и показаний вольтметра:  $U_1 = U_A + U_2$ , откуда  $U_A = U_1 - U_2 = 0,1$  В, и по закону Ома сопротивление амперметра, через который течёт ток  $I_2 = 1$  А, равно  $R_A = \frac{U_1 - U_2}{I_2} = 0,1$  Ом.

В первом случае по закону Ома для участка цепи, содержащего резисторы,

$$U_1 = I_1(R_A + R), \text{ откуда } R = \frac{U_1}{I_1} - R_A = \frac{12}{0,95} - 0,1 \approx 12,5 \text{ Ом.}$$

Во втором случае ток  $I_2$  разветвляется в точке 2 на два тока – через вольтметр и через резистор, равные в сумме току  $I_2$  по закону сохранения электрического заряда для цепей постоянного тока. Поэтому ток через вольтметр равен

$$I_B = I_2 - \frac{U_2}{R} \approx 0,0504 \text{ А, так что сопротивление вольтметра равно}$$

$$R_B = \frac{U_2}{I_B} \approx 236,12 \text{ Ом.}$$

Подставляя все записанные выражения, получаем после подстановки численных значений:  $\frac{R_B}{R_A} = \frac{U_2[U_1(I_2 - I_1) + U_2 I_1]}{U_1(U_1 - U_2)(I_2 - I_1)} \approx 2361,2$ .

Таким образом, сопротивление вольтметра больше сопротивления амперметра примерно в 2360 раз.

$$\text{Ответ: } \frac{R_B}{R_A} = \frac{U_2[U_1(I_2 - I_1) + U_2 I_1]}{U_1(U_1 - U_2)(I_2 - I_1)} \approx 2360 \text{ раз.}$$

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:            I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение <u>которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае – закон Ома для участка цепи, содержащего резисторы, и связь сил тока в разветвлённой цепи как следствие закона сохранения электрического заряда для цепей постоянного тока);            II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);            III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);            IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <u>один</u> из следующих недостатков.            Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.            ИЛИ            При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).            ИЛИ            При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца            ИЛИ            При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.            Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.            ИЛИ            В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения 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 задачи (или 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

- С5** Определите фокусное расстояние тонкой линзы, если линейные размеры изображения тонкого карандаша, помещённого на расстоянии  $a = 60$  см от линзы и расположенного перпендикулярно главной оптической оси, меньше размеров карандаша в  $n = 3$  раза.

### Возможное решение

Для решения задачи надо рассмотреть два случая: когда линза собирающая и когда она рассеивающая.

В первом случае изображение предмета может быть уменьшенным, только если оно действительное (и перевёрнутое). По формуле тонкой линзы записываем:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ ,

а для уменьшения размеров изображения по сравнению с предметом имеем:  $\frac{a}{b} = n$ , где  $b$  – расстояние от линзы до изображения. Отсюда  $b = \frac{a}{n}$ ,  $\frac{1}{F} = \frac{n+1}{a}$  и

$$F = \frac{a}{n+1} = \frac{60}{4} \text{ см} = 15 \text{ см.}$$

Во втором случае изображение мнимое, прямое, и по формуле тонкой линзы  $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ , где  $b$  – расстояние от мнимого изображения предмета до рассеивающей

линзы. При этом по-прежнему  $\frac{a}{b} = n$ , и получаем:  $\frac{1}{F} = \frac{1-n}{a}$ ,

$$F = \frac{a}{1-n} = -\frac{60}{2} \text{ см} = -30 \text{ см.}$$

*Ответ:* если линза собирающая, то  $F = 15$  см, а если рассеивающая, то  $F = -30$  см.



Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – формула тонкой линзы и формула для увеличения, даваемого линзой); II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи); III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <u>один</u> из следующих недостатков. Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют. ИЛИ При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.). ИЛИ При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца. ИЛИ При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа. ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения 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 задачи (или 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

**С6** Согласно гипотезе де Бройля, все частицы обладают волновыми свойствами.

Длина волны для частицы массой  $m$ , имеющей скорость  $v$ , составляет  $\lambda = \frac{h}{mv}$ ,

где  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Дж · с – постоянная Планка. Для того чтобы можно было применять модель идеального газа, среднее расстояние  $l$  между молекулами газа должно быть, в частности, гораздо больше  $\lambda$ . При какой температуре  $T$  для инертного газа гелия  $l \approx 5\lambda$ , если концентрация его молекул равна  $n = 1,3 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>?

Масса молекулы гелия равна  $m = 6,6 \cdot 10^{-24}$  г.

#### Возможное решение

Согласно основному уравнению молекулярно-кинетической теории идеального газа и определению температуры, среднеквадратичная скорость молекул газа  $v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ , где  $k$  – постоянная Больцмана, а соответствующая длина волны де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{3kTm}}$$

Среднее расстояние между молекулами газа при их концентрации  $n$  равно, очевидно,  $l = n^{-\frac{1}{3}}$ , поэтому соотношение  $l \approx 5\lambda$  выполняется при температуре

$$T = \frac{25 \cdot h^2}{3km} n^{\frac{2}{3}} = \frac{25 \cdot 6,6^2 \cdot 10^{-68}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 6,6 \cdot 10^{-27}} \cdot (1,3 \cdot 10^{25})^{\frac{2}{3}} \text{ К} \approx 2,15 \text{ К}.$$

$$\text{Ответ: } T = \frac{25 \cdot h^2}{3km} n^{\frac{2}{3}} \approx 2,15 \text{ К}.$$

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – формула для среднеквадратичной скорости молекул газа, формула для длины волны де Бройля, а также формула для определения среднего расстояния между молекулами в газе); II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи); III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины;</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков. Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют. ИЛИ При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.). ИЛИ При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца ИЛИ При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа. ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения 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 задачи (или 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

## Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

**C1** Объясните, основываясь на известных физических законах и закономерностях, почему у басовых труб органа длины большие, а у труб с высокими тонами – маленькие. Органная труба открыта с обоих концов и звучит при продувании через неё потока воздуха.

## Возможное решение

1. Громкий звук бывает, когда на выходе из органной трубы устанавливается пучность стоячей волны, так как вблизи пучности колебания воздуха происходят с максимальной амплитудой, а амплитуда определяет громкость звука.
2. Поскольку труба открыта с обоих концов, то пучность также должна устанавливаться и на входе трубы.
3. Поэтому для наиболее громкого звучания минимальная длина трубы должна быть равна половине длины волны – при этом посередине трубы находится узел стоячей волны, а на её концах – две пучности.
4. Звуки низкой частоты  $\nu$  (басы) соответствуют большим длинам волн, а высокой частоты – маленьким длинам волн, поскольку длина волны  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ , а скорость звука  $c$  не зависит от его частоты.
5. Таким образом, размеры трубы пропорциональны длине волны звука: чем частота звука ниже, тем длина трубы больше, и наоборот.

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае <i>n</i>. 1–5) и исчерпывающие верные рассуждения с указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>установление стоячей волны в органной трубе, связь амплитуды колебаний воздуха с громкостью звука, а также формулы для связи длины волны и частоты звука</i>).</p>	3
<p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, и дано правильное объяснение, но содержится <b>один</b> из следующих недостатков. В представленных записях содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи. ИЛИ Рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объёме, или в них содержатся логические недочёты.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев. Указаны не все необходимые явления и физические законы, даже если дан правильный ответ на вопрос задания. ИЛИ Указаны все необходимые явления и физические законы, но в некоторых из них допущена ошибка, даже если дан правильный ответ на вопрос задания. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца. ИЛИ Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к верному ответу, содержат ошибки.</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.</p>	0

**С2** Известно, что один оборот вокруг своей оси Венера совершает примерно за 243 земных суток, а масса Венеры составляет 0,82 от массы Земли. На орбиту какого радиуса надо вывести спутник Венеры, чтобы он всё время «висел» над одной и той же точкой поверхности? Известно, что спутники Земли, «висящие» над одной и той же точкой поверхности, летают по орбите радиусом  $R_3 \approx 42\,000$  км.

#### Возможное решение

При движении спутника по круговой орбите радиусом  $R$  вокруг планеты центростремительное ускорение обеспечивается силой гравитационного притяжения спутника к планете:  $m\omega^2 R = \frac{GmM}{R^2}$ , где  $m$  и  $M$  – массы спутника и планеты,  $G$  – гравитационная постоянная, а  $\omega$  – угловая скорость вращения спутника вокруг планеты.

Для геостационарного спутника  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , где  $T = 1$  сутки.

Из записанных соотношений следует, что радиус геостационарной орбиты для Земли

равен  $R_3 = \left(\frac{GM_3}{4\pi^2} T^2\right)^{\frac{1}{3}}$ , а для Венеры

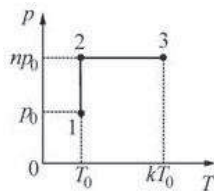
$$R_B = \left(\frac{G \cdot 0,82M_3}{4\pi^2} (243T)^2\right)^{\frac{1}{3}} = R_3(0,82 \cdot 243^2)^{\frac{1}{3}} = 42\,000 \cdot (0,82 \cdot 243^2)^{\frac{1}{3}} \text{ км} \approx$$

$\approx 1\,531\,000$  км.

*Ответ:*  $R_B = R_3(0,82 \cdot 243^2)^{1/3} \approx 1\,531\,000$  км.

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:            I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – 2-й закон Ньютона для кругового движения спутника вокруг планеты, закон всемирного тяготения и условие постоянного нахождения спутника над одной и той же точкой планеты);            II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);            III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);            IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков.            Записи, соответствующие одному или всем пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.            ИЛИ            При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).            ИЛИ            При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.            ИЛИ            При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.            Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.            ИЛИ            В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения 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 задачи (или 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

**С3** 1 моль идеального газа переходит из состояния 1 в состояние 2, а потом – в состояние 3 так, как это показано на  $(p, T)$  диаграмме. Начальная температура газа равна  $T_0 = 280$  К. Определите работу газа при переходе из состояния 2 в состояние 3, если  $k = 4$ .



**Возможное решение**

Запишем уравнение Клапейрона–Менделеева для 1 моля газа в состояниях 1 и 2:  $p_0V_0 = RT_0$ ,  $np_0V_2 = RT_0$ , где  $V_0$  и  $V_2$  – объём газа в состояниях 1 и 2 при одинаковой температуре  $T_0$ . Отсюда следует, что объём газа в состоянии 2 равен  $V_2 = \frac{V_0}{n} = \frac{RT_0}{np_0}$ .

Процесс 2–3 – изобарический при давлении  $np_0$ , так что работа газа на участке 2–3 равна  $A = np_0(V_3 - V_2)$ , причём согласно уравнению Клапейрона–Менделеева  $np_0V_3 = R \cdot kT_0$ , откуда  $V_3 = \frac{R \cdot kT_0}{np_0}$ . Таким образом, работа на участке 2–3 равна

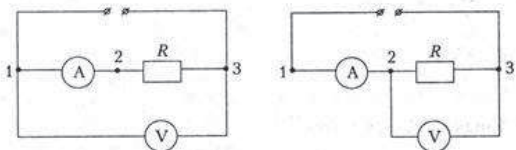
$$A = np_0 \left( \frac{R \cdot kT_0}{np_0} - \frac{RT_0}{np_0} \right) = (k - 1)RT_0 = (4 - 1) \cdot 8,3 \cdot 280 = 6972 \text{ Дж.}$$

Ответ:  $A = (k - 1)RT_0 = 6972$  Дж.

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      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 работы газа при изобарическом процессе);                      II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);                      III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.                      Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.                      ИЛИ                      В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения 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 задачи (или 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



**С4** Школьник собрал схему, изображённую на первом рисунке. После её подключения к идеальному источнику постоянного напряжения оказалось, что амперметр показывает ток  $I_1 = 0,9$  А, а вольтметр – напряжение  $U_1 = 20$  В. Когда школьник переключил один из проводников вольтметра от точки 1 к точке 2 (см. второй рисунок), вольтметр стал показывать напряжение  $U_2 = 19$  В, а амперметр – ток  $I_2 = 1$  А. Во сколько раз сопротивление вольтметра больше сопротивления амперметра?



**Возможное решение**

Вольтметр в первом случае показывает постоянное напряжение источника, равное  $U_1 = 20$  В. Во втором случае это напряжение равно, очевидно, сумме падения напряжения на амперметре и показаний вольтметра:  $U_1 = U_A + U_2$ , откуда  $U_A = U_1 - U_2 = 1$  В, и по закону Ома сопротивление амперметра, через который течёт ток  $I_2 = 1$  А, равно  $R_A = \frac{U_1 - U_2}{I_2} = 1$  Ом.

В первом случае по закону Ома для участка цепи, содержащего резисторы,  $U_1 = I_1(R_A + R)$ , откуда  $R = \frac{U_1}{I_1} - R_A = \frac{20}{0,9} - 1 \approx 21,2$  Ом.

Во втором случае ток  $I_2$  разветвляется в точке 2 на два тока – через вольтметр и через резистор, равные в сумме току  $I_2$  по закону сохранения электрического заряда для цепей постоянного тока. Поэтому ток через вольтметр равен

$$I_B = I_2 - \frac{U_2}{R} \approx 0,105 \text{ А, так что сопротивление вольтметра равно}$$

$$R_B = \frac{U_2}{I_B} \approx 181,5 \text{ Ом.}$$

Подставляя все записанные выражения, получаем

$$\frac{R_B}{R_A} = \frac{U_2[U_1(I_2 - I_1) + U_2 I_1]}{U_1(U_1 - U_2)(I_2 - I_1)} = 181,45.$$

Таким образом, сопротивление вольтметра больше сопротивления амперметра примерно в 181,5 раз.

Ответ:  $\frac{R_B}{R_A} = \frac{U_2[U_1(I_2 - I_1) + U_2 I_1]}{U_1(U_1 - U_2)(I_2 - I_1)} = 181,45$ , то есть примерно в 181,5 раза.

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – закон Ома для участка цепи, содержащего резисторы, и связь сил тока в разветвлённой цепи как следствие закона сохранения электрического заряда для цепей постоянного тока);                      II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);                      III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.                      Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.                      ИЛИ                      В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения 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 задачи (или 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

**C5** Определите фокусное расстояние тонкой линзы, если линейные размеры изображения тонкого карандаша, помещённого на расстоянии  $a = 48$  см от линзы и расположенного перпендикулярно главной оптической оси, меньше размеров карандаша в  $n = 2$  раза.

**Возможное решение**

Для решения задачи надо рассмотреть два случая: когда линза собирающая и когда она рассеивающая.

В первом случае изображение предмета может быть уменьшенным, только если оно действительное (и перевёрнутое). По формуле тонкой линзы записываем:  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ ,

а для уменьшения размеров изображения по сравнению с предметом имеем:  $\frac{a}{b} = n$ , где  $b$  – расстояние от линзы до изображения. Отсюда  $b = \frac{a}{n}$ ,  $\frac{1}{F} = \frac{n+1}{a}$  и

$$F = \frac{a}{n+1} = \frac{48}{3} \text{ см} = 16 \text{ см.}$$

Во втором случае изображение мнимое, прямое, и по формуле тонкой линзы  $\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$ , где  $b$  – расстояние от мнимого изображения предмета до рассеивающей

линзы. При этом по-прежнему  $\frac{a}{b} = n$ , и получаем:  $\frac{1}{F} = \frac{1-n}{a}$ ,

$$F = \frac{a}{1-n} = -\frac{48}{1} \text{ см} = -48 \text{ см.}$$

*Ответ:* если линза собирающая, то  $F = 16$  см, а если рассеивающая, то  $F = -48$  см.

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – формула тонкой линзы и формула для увеличения, даваемого линзой);                      II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);                      III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <u>один</u> из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.                      Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.                      ИЛИ                      В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения 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 задачи (или 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

**С6** Согласно гипотезе де Бройля, все частицы обладают волновыми свойствами.

Длина волны для частицы массой  $m$ , имеющей скорость  $v$ , составляет  $\lambda = \frac{h}{mv}$ ,

где  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  Дж · с – постоянная Планка. Для того чтобы можно было применять модель идеального газа, среднее расстояние  $l$  между молекулами газа должно быть, в частности, гораздо больше  $\lambda$ . При какой температуре  $T$  для инертного газа гелия  $\lambda \approx l$ , если концентрация его молекул равна  $n = 2,7 \cdot 10^{25}$  м<sup>-3</sup>?

Масса молекулы гелия равна  $m = 6,6 \cdot 10^{-24}$  г.

**Возможное решение**

Согласно основному уравнению молекулярно-кинетической теории идеального газа и определению температуры, среднеквадратичная скорость молекул газа  $v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ ,

где  $k$  – постоянная Больцмана, а соответствующая длина волны де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{3kTm}}$$

Среднее расстояние между молекулами газа при их концентрации  $n$  равно, очевидно,  $l = n^{-\frac{1}{3}}$ , поэтому соотношение  $l \approx \lambda$  выполняется при температуре

$$T = \frac{h^2}{3km} n^{\frac{2}{3}} = \frac{6,6^2 \cdot 10^{-68}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 6,6 \cdot 10^{-27}} \cdot (2,7 \cdot 10^{25})^{\frac{2}{3}} \text{ К} \approx 0,14 \text{ К}.$$

Ответ:  $T = \frac{h^2}{3km} n^{\frac{2}{3}} \approx 0,14 \text{ К}.$

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:                      I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – формула для среднеквадратичной скорости молекул газа, формула для длины волны де Бройля, а также формула для определения среднего расстояния между молекулами в газе);                      II) описаны все вводимые в решение буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);                      III) проведены необходимые математические преобразования (допускается вербальное указание на их проведение) и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);                      IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины;</p>	3
<p>Правильно записаны необходимые положения теории и физические законы, закономерности, проведены необходимые преобразования и представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины. Но имеется <b>один</b> из следующих недостатков.                      Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III – представлены не в полном объёме или отсутствуют.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ правильном решении лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.                      ИЛИ                      При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.                      Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа.                      ИЛИ                      В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения 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 задачи (или 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

**Ответы к заданиям с выбором ответа**

№ задания	Ответ
A1	3
A2	1
A3	3
A4	4
A5	4
A6	1
A7	1
A8	1
A9	2
A10	4
A11	3
A12	4
A13	3

№ задания	Ответ
A14	1
A15	1
A16	2
A17	2
A18	3
A19	2
A20	3
A21	2
A22	2
A23	1
A24	4
A25	1

**Ответы к заданиям с кратким ответом**

№ задания	Ответ
B1	221
B2	231

№ задания	Ответ
B3	54
B4	53

**Ответы к заданиям с выбором ответа**

№ задания	Ответ
A1	1
A2	4
A3	1
A4	1
A5	3
A6	3
A7	4
A8	2
A9	3
A10	1
A11	2
A12	4
A13	2

№ задания	Ответ
A14	4
A15	3
A16	3
A17	1
A18	4
A19	3
A20	2
A21	3
A22	2
A23	2
A24	4
A25	4

**Ответы к заданиям с кратким ответом**

№ задания	Ответ
B1	112
B2	132

№ задания	Ответ
B3	31
B4	43