

**Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом**

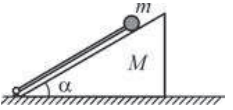
**C1** В сельской местности люди обычно живут в деревянных домах. Трубы, по которым в дом подаётся из уличного водопровода холодная вода, имеющая температуру 8-10° С, опытные хозяева теплоизолируют и защищают от влаги, оборачивая влагостойкими материалами с низкой теплопроводностью. Это, наряду с проветриванием, позволяет уменьшить сырость в доме. Объясните, опираясь на известные физические законы, зачем это делается и почему описанные процедуры уменьшают сырость.

- 1) Так как по трубам течёт холодная вода, поверхность труб имеет температуру, близкую к 8-10° С. Температура воздуха в жилом доме превышает эту температуру.
- 2) Абсолютная влажность воздуха в доме обычно довольно высокая. Если оказывается, что температура поверхности труб ниже точки росы, то водяной пар начинает конденсироваться на холодных трубах. При этом на трубах образуются водяные капли, которые затем падают на пол. Плохое проветривание замедляет испарение воды с пола и препятствует удалению водяных паров.
- 3) Оборачивание труб слоем тепло- и влагоизолирующего материала позволяет ликвидировать резкий перепад температур между поверхностью трубы и воздухом в доме. Наружная поверхность теплоизолятора имеет температуру, близкую к температуре воздуха, а внутренняя поверхность – близкую к температуре воды в трубе. При этом образование конденсата на трубах становится невозможным, и сырость в доме уменьшается. Дополнительно она уменьшается за счёт проветривания, при котором влажный воздух удаляется и заменяется более сухим наружным.

| Указания по оцениванию                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Баллы |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае п.п. 1–3) и исчерпывающие верные рассуждения с указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – описание процесса конденсации воды на трубах с указанием причины конденсации, описание влияния проветривания на влажность воздуха в доме, объяснение причины невозможности конденсации воды на трубе после её теплоизоляции) | 3     |
| Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, и дано правильное объяснение, но содержится один из следующих недостатков.<br>В представленных записях содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи.<br>ИЛИ<br>Рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объёме, или в них содержатся логические недочёты                                       | 2     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.<br>Указаны не все необходимые явления и физические законы, даже если дан правильный ответ на вопрос задания.<br>ИЛИ<br>Указаны все необходимые явления и физические законы, но в некоторых из них допущена ошибка, даже если дан правильный ответ на вопрос задания.<br>ИЛИ<br>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.<br>ИЛИ<br>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 |
| <i>Максимальный балл</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 3 |

**C2** На горизонтальной плоскости стоит клин массой  $M$  с углом при основании  $\alpha = 30^\circ$ . Вдоль наклонной плоскости клина расположена лёгкая штанга, нижний конец которой укреплен в шарнире, находящемся на горизонтальной плоскости, а к верхнему концу прикреплен маленький шарик массой  $m$ , касающийся клина (см. рисунок). Систему освобождают, и она начинает движение, во время которого шарик сохраняет контакт с клином. На какой максимальный угол  $\beta$  штанга отклонится от горизонтали после того, как клин отъедет от неё? Трением пренебречь, удар шарика о горизонтальную плоскость считать абсолютно упругим.



Обозначим длину штанги через  $l$ . Поскольку трения нет, механическая энергия системы сохраняется. В процессе движения до удара шарика о горизонтальную плоскость потенциальная энергия шарика переходит в кинетическую энергию клина и шарика. Обозначим скорость клина в момент, когда шарик ударяется о горизонтальную плоскость, через  $V$ , а скорость шарика перед ударом – через  $u$ . Тогда закон сохранения энергии можно записать в следующем виде:

$$mgl\sin\alpha = \frac{MV^2}{2} + \frac{mu^2}{2}.$$

Непосредственно перед ударом шарика о горизонтальную плоскость его скорость  $\vec{u}$  направлена перпендикулярно этой плоскости, поскольку он находится на конце штанги, другой конец которой укреплен в шарнире, находящемся на этой плоскости. За малый промежуток времени  $\Delta t$  перед ударом о плоскость шарик проходит по вертикали расстояние  $u\Delta t$ , а клин, не теряя по условию контакта с шариком, проходит по горизонтали расстояние  $V\Delta t$ , и эти расстояния связаны, очевидно, соотношением  $u\Delta t = V\Delta t \cdot \text{tg}\alpha$ , откуда

$$u = V \cdot \text{tg}\alpha, \text{ или } V = u \cdot \text{ctg}\alpha.$$

После абсолютно упругого удара шарика о плоскость его скорость изменит направление на противоположное, а по модулю сохранит своё значение. После этого кинетическая энергия шарика по мере подъёма штанги будет уменьшаться, переходя в потенциальную энергию, так что при максимальном отклонении штанги от горизонтали на угол  $\beta$  будет выполняться соотношение, следующее из закона сохранения энергии:

$$mgl\sin\beta = \frac{mu^2}{2}.$$

Из написанных уравнений имеем

$$mgl\sin\alpha = \frac{u^2}{2}(m + M \text{ctg}^2\alpha),$$

$$u^2 = \frac{2mgl\sin\alpha}{m + M \text{ctg}^2\alpha},$$

поэтому угол максимального отклонения штанги после удара шарика о плоскость определяется из следующего соотношения:

$$\sin\beta = \frac{m\sin\alpha}{m + M \text{ctg}^2\alpha}.$$

**Ответ:**  $\sin\beta = \frac{m\sin\alpha}{m + M \text{ctg}^2\alpha}.$

| Указания по оцениванию                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Баллы |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:<br/>           I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – закон сохранения механической энергии для клина и шарика, связь скоростей клина и шарика);<br/>           II) описаны все вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);<br/>           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);<br/>           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.<br/>           Записи, соответствующие одному или всем пунктам: II и III, – представлены не в полном объёме или отсутствуют.<br/> <b>ИЛИ</b><br/>           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.).<br/> <b>ИЛИ</b><br/>           При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.<br/> <b>ИЛИ</b><br/>           При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p>           | 2     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.<br>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.<br><b>ИЛИ</b><br>В решении отсутствует <b>ОДНА</b> 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. | 1 |
| <b>ИЛИ</b><br>В <b>ОДНОЙ</b> из исходных формул, необходимых для решения задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0 |
| Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 0 |
| <i>Максимальный балл</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 3 |

**С3** В 2012 году зима в Подмосковье была очень холодной, и приходилось использовать системы отопления дачных домов на полную мощность. В одном из них установлено газовое отопительное оборудование с тепловой мощностью 17,5 кВт и КПД 85%, работающее на природном газе – метане  $CH_4$ . Сколько пришлось заплатить за газ хозяевам дома после месяца (30 дней) отопления в максимальном режиме? Цена газа составляла на этот период 3 рубля 30 копеек за 1 кубометр газа, удельная теплота сгорания метана 50,4 МДж/кг. Можно считать, что объём потреблённого газа измеряется счётчиком при нормальных условиях. Ответ округлите до целого числа рублей в меньшую сторону.

Метан  $CH_4$  имеет молярную массу  $\mu = 16$  г/моль.  
Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева, плотность метана  $\rho$  при нормальных условиях (температура  $T = 273$  К, давление  $p = 10^5$  Па) равна

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT} = \frac{10^5 \cdot 0,016}{8,31 \cdot 273} \approx 0,705 \text{ кг/м}^3.$$

Теплота сгорания метана в пересчёте на кубометр газа равна

$$q = 50,4 \cdot 0,705 \approx 35,5 \text{ МДж/м}^3.$$

КПД газового отопительного оборудования  $\eta = 0,85$ , а тепловая мощность установки  $N = 17,5$  кВт, поэтому мощность, выделяющаяся при сгорании газа, равна

$$N_{\text{затр}} = \frac{N}{\eta} \approx 20,6 \text{ кВт}.$$

Таким образом, за месяц (30 суток по 86400 секунд) потребление энергии составит

$$Q = N_{\text{затр}} \cdot 86400 \cdot 30 \approx 5,34 \cdot 10^{10} \text{ Дж} \approx 53400 \text{ МДж}.$$

Объём потребленного за месяц газа будет равен  $V = \frac{53400}{35,5} \approx 1504 \text{ м}^3$ , а его цена равняется  $1504 \cdot 3,30 \approx 4963$  рубля.

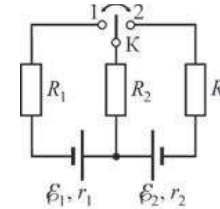
**Ответ:** хозяевам пришлось заплатить за месяц отопления дома газом 4963 рубля.

| Указания по оцениванию                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Баллы |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:<br/>                     I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – уравнение Клапейрона–Менделеева, связь массы, объёма и плотности газа, а также формулы для КПД и для выражения энергии через мощность и время);<br/>                     II) описаны все вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);<br/>                     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);<br/>                     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.<br/>Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III, – представлены не в полном объёме или отсутствуют.<br/>ИЛИ<br/>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.).<br/>ИЛИ<br/>При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.<br/>ИЛИ<br/>При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка.</p> | 2 |
| <p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.<br/>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.<br/>ИЛИ<br/>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.<br/>ИЛИ<br/>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения 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>Максимальный балл</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3 |

**С4**

Как и во сколько раз изменится мощность, выделяющаяся на резисторе  $R_2$  в цепи, схема которой изображена на рисунке, если перевести ключ К из положения 1 в положение 2? Параметры цепи:  $\mathcal{E}_1 = 1,5 \text{ В}$ ,  $r_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $\mathcal{E}_2 = 3 \text{ В}$ ,  $r_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_1 = R_2 = R_3 = R = 4 \text{ Ом}$ .



Согласно закону Ома для полной цепи, при положении 1 ключа К сила тока через резистор  $R_2$  будет равна  $I_1 = \frac{\mathcal{E}_1}{R_1 + R_2 + r_1} = \frac{\mathcal{E}_1}{2R + r_1}$ , а мощность, выделяющаяся на резисторе  $R_2$ , согласно закону Джоуля–Ленца будет равна

$$P_1 = I_1^2 R = \frac{\mathcal{E}_1^2 R}{(2R + r_1)^2}.$$

При положении 2 ключа К аналогичным образом получаем, что сила тока через резистор  $R_2$  будет равна  $I_2 = \frac{\mathcal{E}_2}{R_3 + R_2 + r_2} = \frac{\mathcal{E}_2}{2R + r_2}$ , а мощность, выделяющаяся на резисторе  $R_2$ , будет равна

$$P_2 = I_2^2 R = \frac{\mathcal{E}_2^2 R}{(2R + r_2)^2}.$$

Таким образом, мощность, выделяющаяся на резисторе  $R_2$ , увеличится в

$$k = \frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_1} \cdot \frac{2R + r_1}{2R + r_2} \right)^2 = \left( \frac{3}{1,5} \cdot \frac{(2 \cdot 4 + 1)}{(2 \cdot 4 + 2)} \right)^2 = (2 \cdot 0,9)^2 = 3,24 \text{ раза}.$$

**Ответ:** Мощность увеличится в  $k = \left( \frac{\mathcal{E}_2}{\mathcal{E}_1} \cdot \frac{2R + r_1}{2R + r_2} \right)^2 = 3,24$  раза.

| Указания по оцениванию                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Баллы |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:<br/>                     I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – закон Ома для полной цепи и закон Джоуля–Ленца);<br/>                     II) описаны все вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);<br/>                     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);<br/>                     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.<br/>                     ИЛИ<br/>                     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.).<br/>                     ИЛИ<br/>                     При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.<br/>                     ИЛИ<br/>                     При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p> | 2     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.<br/>                     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.<br/>                     ИЛИ<br/>                     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.<br/>                     ИЛИ<br/>                     В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи</p> | 1 |
| <p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 0 |
| <i>Максимальный балл</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 3 |

**С5** Один радиолюбитель постоянно слушал свою любимую радиостанцию, вещающую на длине волны  $\lambda = 3,29$  м в диапазоне FM. Однажды передатчик этой радиостанции испортился, и она перешла на резервный передатчик, работающий в диапазоне УКВ на частоте 73,82 МГц. Радиолюбитель решил перестроить входной контур своего радиоприёмника на эту частоту, для чего он в два раза увеличил индуктивность катушки контура, вставив в неё ферромагнитный сердечник большего размера. Настройка на нужную частоту у него при этом сразу не получилась, и пришлось вдобавок немного уменьшить ёмкость конденсатора в контуре. На сколько процентов была уменьшена ёмкость этого конденсатора для точной настройки приемника на новую частоту?

Длина электромагнитной волны связана с её частотой  $\nu$  соотношением  $\lambda = \frac{c}{\nu} = cT$ , где  $c$  – скорость света, а  $T = 1/\nu$  – период колебаний.

Период электромагнитных колебаний в контуре связан с его индуктивностью  $L$  и ёмкостью  $C$  формулой Томсона:  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ . Таким образом,

$$\lambda_1 = cT_1 = c \cdot 2\pi\sqrt{L_1C_1}$$

$$\lambda_2 = \frac{c}{\nu_2} = cT_2 = c \cdot 2\pi\sqrt{L_2C_2}$$

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{c}{\nu_2\lambda_1} = \sqrt{\frac{L_2C_2}{L_1C_1}}$$

Отсюда

$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{c}{v_2 \lambda_1}\right)^2 \cdot \frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{3 \cdot 10^8}{73,82 \cdot 10^6 \cdot 3,29}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} \approx 0,763, \text{ и}$$

$$1 - \frac{C_2}{C_1} = 1 - \left(\frac{c}{v_2 \lambda_1}\right)^2 \cdot \frac{L_1}{L_2} \approx 1 - 0,763 \approx 0,237 = 23,7\%.$$

**Ответ:** ёмкость конденсатора была уменьшена на  $\frac{1}{2}$

$$1 - \frac{C_2}{C_1} = 1 - \left(\frac{c}{v_2 \lambda_1}\right)^2 \cdot \frac{L_1}{L_2} \approx 23,7\%.$$

| Указания по оцениванию                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Баллы |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:<br/>                     I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – формула для связи длины электромагнитной волны с её частотой и периодом, формула Томсона для периода свободных колебаний в контуре);<br/>                     II) описаны все вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением, возможно, обозначений констант, указанных в варианте КИМ, и обозначений, используемых в условии задачи);<br/>                     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);<br/>                     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.<br/>                     Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III, – представлены не в полном объёме или отсутствуют.<br/>                     ИЛИ<br/>                     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.).<br/>                     ИЛИ<br/>                     При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.<br/>                     ИЛИ<br/>                     При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>              | 2     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.<br/>                     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.<br/>                     ИЛИ<br/>                     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.</p> | 1 |
| <p>ИЛИ<br/>                     В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0 |
| Максимальный балл                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 3 |

**С6**

Для измерения величины постоянной Планка  $h$  в своё время использовался следующий опыт. В вакуумный фотоэлемент помещался катод из какого-либо металла, окружённый металлическим анодом. Катод облучали светом определённой длины волны (и частоты) и измеряли задерживающее напряжение между катодом и анодом, при котором ток в цепи с фотоэлементом прекращался. Оказалось, что при длине волны света, падающего на фотокатод, равной  $\lambda_1 = 250$  нм, задерживающее напряжение было равно  $U_1 = 2,82$  В, а при освещении светом с частотой  $\nu_2 = 1,5 \cdot 10^{15}$  Гц оно равнялось  $U_2 = 4,05$  В. Найдите по этим данным величину постоянной Планка.

Используем при решении задачи уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + mv^2 / 2,$$

где  $A_{\text{ВЫХ}}$  – работа выхода фотоэлектрона из катода, а  $m$  и  $v$  – масса и скорость электрона.

Кроме того, учтем связь частоты и длины волны света:  $\nu = c / \lambda$ , а также тот факт, что ток в цепи с фотоэлементом прекращается при таком задерживающем напряжении  $U_3$ , что кинетическая энергия фотоэлектрона  $mv^2 / 2$  равна работе против сил задерживающего электрического поля:  $eU_3 = mv^2 / 2$ .

Запишем уравнение Эйнштейна с учётом приведённых выше соотношений для двух случаев, упомянутых в условии:

$$h\nu_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = A_{\text{ВЫХ}} + mv_1^2 / 2 = A_{\text{ВЫХ}} + eU_1,$$

$$h\nu_2 = A_{\text{ВЫХ}} + mv_2^2 / 2 = A_{\text{ВЫХ}} + eU_2.$$

Вычтем из второго уравнения первое и получим:

$$h \left( \nu_2 - \frac{c}{\lambda_1} \right) = e(U_2 - U_1),$$

откуда

$$h = \frac{e(U_2 - U_1)}{\nu_2 - (c / \lambda_1)} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot (4,05 - 2,82)}{1,5 \cdot 10^{15} - 3 \cdot 10^8 / (250 \cdot 10^{-9})} \text{ Дж} \cdot \text{с} \approx 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

**Ответ:**  $h = \frac{e(U_2 - U_1)}{\nu_2 - (c / \lambda_1)} \approx 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$

| Указания по оцениванию                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Баллы |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:<br/>                     I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае – уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, связь частоты и длины волны света, связь задерживающего напряжения с кинетической энергией фотоэлектронов);<br/>                     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);<br/>                     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);<br/>                     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.<br/>                     Записи, соответствующие одному или обоим пунктам: II и III, – представлены не в полном объёме или отсутствуют.<br/>                     ИЛИ<br/>                     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.).<br/>                     ИЛИ<br/>                     При ПОЛНОМ решении в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) преобразования/вычисления не доведены до конца.<br/>                     ИЛИ<br/>                     При ПОЛНОМ решении отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>                          | 2     |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| <p>Представлены записи, соответствующие <b>одному</b> из следующих случаев.</p> <p>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.</p> <p><b>ИЛИ</b></p> <p>В решении отсутствует <b>ОДНА</b> из исходных формул, необходимая для решения задачи (или в утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p><b>ИЛИ</b></p> <p>В <b>ОДНОЙ</b> 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 |
| <i>Максимальный балл</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 3 |



### Ответы к заданиям с выбором ответа

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

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

### Ответы к заданиям с выбором ответа

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

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

### Ответы к заданиям с кратким ответом

| № задания | Ответ |
|-----------|-------|
| B1        | 122   |
| B2        | 322   |

| № задания | Ответ |
|-----------|-------|
| B3        | 24    |
| B4        | 31    |

### Ответы к заданиям с кратким ответом

| № задания | Ответ |
|-----------|-------|
| B1        | 211   |
| B2        | 311   |

| № задания | Ответ |
|-----------|-------|
| B3        | 43    |
| B4        | 31    |