

**Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом****28**

Во время грозы было видно, как между облаками и землёй проскочила длинная молния, а затем, через некоторое время, был слышен удар грома и его раскаты, продолжающиеся в течение довольно длительного времени после молнии. Объясните описанные выше явления, наблюдаемые во время грозы.

**Возможное решение**

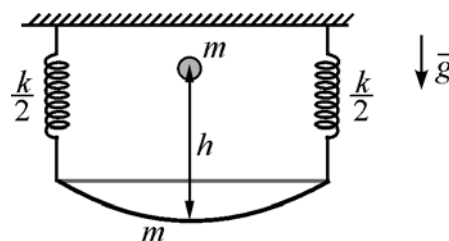
1. Во время грозы из-за электризации трением ледяных кристаллов в восходящих потоках воздуха в грозовых облаках возникают большие заряды и огромные разности потенциалов между облаками и землёй, вызывающие искровые пробой воздушных промежутков, то есть молнии.
2. В молнии происходит нагрев и быстрое расширение воздуха, что приводит к образованию звуковых волн, распространяющихся во все стороны от искровых каналов.
3. Свет от молнии распространяется в сотни тысяч раз быстрее звука, поэтому вначале мы видим вспышку света, а спустя некоторое время слышим звук – громовые раскаты.
4. Гром вначале доходит до нас от ближайшей части молнии, а затем – от более удалённых, поэтому после молнии и первого слышимого удара грома довольно долго слышны раскаты.

<b>Критерии оценивания выполнения задания</b>	<b>Баллы</b>
Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п. 1–4) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>упоминание явлений: электризации трением, приводящей к возникновению больших зарядов и разностей потенциалов между облаками и землёй и к искровому пробую воздуха, то есть к образованию молний; разогрева воздуха в молниях и возникновения ударных волн в воздухе, то есть грома, который запаздывает по сравнению со светом от молнии из-за гораздо меньшей скорости звука по сравнению со скоростью света; неодновременности прихода звука от разных частей молнии, находящихся от нас на разных расстояниях</i> ).	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков. В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.).	2

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

29

К потолку на двух одинаковых лёгких пружинах общей жёсткостью  $k = 400$  Н/м подвешена чашка массой  $m = 500$  г. С высоты  $h = 10$  см в чашку падает и прилипает к ней груз такой же массой  $m$  (см. рис.). На какое максимальное расстояние  $H$  после этого опустится чашка относительно своего исходного положения? Потерями механической энергии пренебречь.



### Возможное решение

Груз, падая с высоты  $h$  на чашку, в свободном падении приобретает скорость  $V_1 = \sqrt{2gh}$ . После абсолютно неупругого столкновения с чашкой той же массы, по закону сохранения импульса  $mV_1 = 2mV_2$  находим начальную скорость чашки с прилипшим к ней грузом:  $V_2 = \frac{V_1}{2} = \sqrt{\frac{gh}{2}}$ .

При дальнейшем движении чашки полная механическая энергия системы сохраняется. В неё в начальном состоянии входят кинетическая энергия чашки, потенциальная энергия чашки (относительно её наинизшего положения), а также энергия упругой деформации пружин, а в конечном состоянии – только упругая энергия пружин:

$$\frac{2m \cdot V_2^2}{2} + 2m \cdot gH + \frac{kh_0^2}{2} = \frac{k(h_0 + H)^2}{2}.$$

Начальное растяжение  $h_0$  пружин находим из условия равновесия чашки до падения в неё груза:  $mg = kh_0$ , откуда  $h_0 = \frac{mg}{k}$ .

Подставляя в записанное выше соотношение выражения для скорости  $V_2$  и величины  $h_0$ , получаем квадратное уравнение для определения искомой величины  $H$ :

$$kH^2 - 2mgH - mgh = 0,$$

Откуда, с учётом положительности корня, для  $H$  имеем:

$$H = \frac{mg}{k} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{kh}{mg}} \right) = 5 \text{ см.}$$

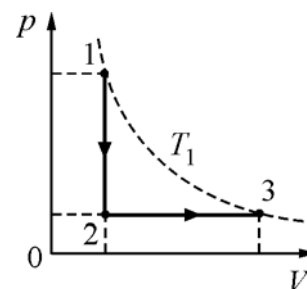
**Ответ:** 5 см.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>выражение для скорости груза при свободном падении с определённой высоты, закон сохранения импульса при абсолютно неупругом ударе груза о чашку, условие равновесия чашки до удара, а также закон сохранения механической энергии системы после удара</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p>	3

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

30

Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 5$  моль сначала охладили, уменьшив его температуру от  $T_1 = 400$  К до  $T_2 = T_1/n$ , где  $n = 4$ , а затем нагрели до начальной температуры. При этом давление  $p$  газа изменялось так, как показано на графике. Какое суммарное количество теплоты газ отдал и получил в процессе 1–2–3?



### Возможное решение

Из графика следует, что 1–2 – изохорный, а 2–3 – изобарный процесс, причём температура газа в начальном и конечном состояниях одинакова.

Согласно первому закону термодинамики суммарная теплота  $\Delta Q_{123}$ , отданная и полученная газом в процессе 1–2–3, равна сумме изменения  $\Delta U_{123}$  внутренней энергии газа и его работы  $\Delta A_{123}$  в процессе:  $\Delta Q_{123} = \Delta U_{123} + \Delta A_{123}$ .

Поскольку внутренняя энергия  $\nu$  молей одноатомного идеального газа равна  $U = (3/2)\nu RT$  и пропорциональна температуре, то в процессе 1–2–3 с одинаковой начальной и конечной температурой её суммарное изменение  $\Delta U_{123} = 0$ .

В изохорном процессе 1–2  $V = \text{const}$ , и  $\Delta A_{12} = 0$ , а в изобарном процессе 2–3  $p = \text{const}$ , и с учётом уравнения Клапейрона–Менделеева  $pV = \nu RT$  имеем:

$$\Delta A_{23} = p\Delta V_{23} = \nu R\Delta T_{23} = \nu R(T_3 - T_2) = \nu R\left(T_1 - \frac{T_1}{n}\right) = \nu RT_1 \frac{n-1}{n}.$$

Таким образом,

$$\Delta Q_{123} = \Delta A_{23} = \nu RT_1 \frac{n-1}{n} = 5 \cdot 8,31 \cdot 400 \cdot \frac{4-1}{4} \approx 12\,465 \text{ Дж}.$$

**Ответ:** 12 465 Дж.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>проанализированы графики изопроцессов на p-T диаграмме; применен первый закон термодинамики; записаны выражения для внутренней энергии идеального одноатомного газа и его работы в изопроцессах; уравнение Клапейрона–Менделеева</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p>	3

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

31

Плоский конденсатор имеет между своими обкладками пластину из твёрдого диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 7$ , полностью заполняющую зазор между ними. Ёмкость конденсатора при этом равна  $C = 100$  пФ. Конденсатор подсоединён к источнику с напряжением  $U = 50$  В. Какую работу  $A$  надо совершить для того, чтобы медленно вытянуть диэлектрическую пластину из конденсатора? Трения нет.

### Возможное решение

При вытягивании диэлектрической пластины из конденсатора, подсоединенного к источнику, его ёмкость, заряд  $q$  и энергия  $W$  уменьшаются:

$$\Delta C = C_2 - C_1 = \frac{C}{\varepsilon} - C = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot C < 0, \quad \Delta q = \Delta(CU) = U\Delta C = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU < 0,$$

$$\Delta W = \Delta\left(\frac{CU^2}{2}\right) = \frac{U^2\Delta C}{2} = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} < 0.$$

Поскольку заряды стекают из конденсатора в источник, то, его работа  $U\Delta q = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU^2 < 0$ .

По условию трения нет и процесс медленный, поэтому выделением теплоты в цепи можно пренебречь, и закон сохранения энергии имеет следующий вид:  $A = \Delta W - U\Delta q$ , то есть совершаемая внешними силами работа  $A$  по вытягиванию пластины равна изменению энергии конденсатора минус работа источника. Отсюда

$$A = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU^2 = \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} = \frac{6}{7} \cdot \frac{10^{-10} \cdot 50^2}{2} \approx 107 \text{ нДж.}$$

**Ответ:** 107 нДж.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>связь заряда и напряжения на конденсаторе, формула для ёмкости конденсатора с диэлектриком, выражение для энергии конденсатора, формула для работы источника напряжения, закон сохранения энергии для электрической цепи, содержащей источник напряжения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p>	3

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



32

Небольшой уединённый металлический шарик долго облучали в вакууме светом с длиной волны  $\lambda = 300$  нм, в результате чего он зарядился и приобрёл потенциал  $\varphi = 2,23$  В. Чему равна работа выхода электрона из этого металла? Ответ выразите в эВ.

### Возможное решение

При облучении светом металлического шарика из него за счёт фотоэффекта выбиваются электроны, а сам шарик заряжается, приобретая положительный заряд и потенциал. Потенциал возрастает до тех пор, пока кинетической энергии вылетающих электронов достаточно для их удаления на бесконечное расстояние от шарика:  $\frac{mV^2}{2} = e\varphi$ . В дальнейшем заряд и потенциал шарика перестают расти и стабилизируются.

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта энергия кванта света с частотой  $\nu = c/\lambda$  расходуется на преодоление работы выхода электрона из металла и на придание ему кинетической энергии, которая в дальнейшем при его удалении от шарика превращается в потенциальную энергию:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{mV^2}{2} = A_{\text{вых}} + e\varphi.$$

Отсюда

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda} - e\varphi = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^{-9}} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2,23 = 3,032 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 1,9 \text{ эВ}.$$

**Ответ:** 1,9 эВ.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон сохранения энергии, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и связь частоты и длины волны света</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3

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

**Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом****28**

Во время грозы было видно, как между облаками проскакивает длинная молния, а затем, через некоторое время, был слышен удар грома и его раскаты, как бы «разбегающиеся» в разные стороны от середины молнии. Объясните описанные выше явления, наблюдаемые во время грозы.

**Возможное решение**

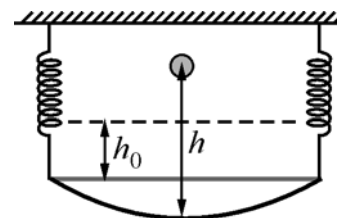
1. Во время грозы из-за электризации трением ледяных кристаллов в восходящих потоках воздуха в грозовых облаках возникают большие заряды и огромные разности потенциалов, вызывающие искровые пробои воздушных промежутков, то есть молнии.
2. В молнии происходит нагрев и быстрое расширение воздуха, что приводит к образованию звуковых волн, распространяющихся во все стороны от искровых каналов.
3. Свет от молнии распространяется в сотни тысяч раз быстрее звука, поэтому вначале мы видим вспышку света, а спустя некоторое время слышим звук – громовые раскаты.
4. Гром вначале доходит до нас от ближайшей части молнии, а затем – от более удалённых, поэтому гром как бы «разбегается» по небу в разные стороны от молнии.

<b>Критерии оценивания выполнения задания</b>	<b>Баллы</b>
Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п. 1–4) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>упоминание явлений: электризации трением, приводящей к возникновению больших зарядов и разностей потенциалов в облаках и к искровому пробое воздуха, то есть к образованию молний; разогрева воздуха в молниях и возникновения звуковых волн в воздухе, то есть грома, который запаздывает по сравнению со светом от молнии из-за гораздо меньшей скорости звука по сравнению со скоростью света; неодновременности прихода звука от разных частей молнии, находящихся от нас на разных расстояниях</i> ).	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков. В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.). И (ИЛИ) Указаны все необходимые для объяснения явления и законы,	2

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

29

К потолку на двух одинаковых лёгких пружинах подвешена чашка, растягивающая пружины на расстояние  $h_0 = 5$  см. С высоты  $h = 15$  см в чашку падает и прилипает к ней груз с массой, равной массе чашки (см. рис.). На какое максимальное расстояние  $H$  относительно своего исходного положения после этого опустится чашка? Потерями механической энергии пренебречь.



**Возможное решение**

Груз, падая с высоты  $h$  на чашку, в свободном падении приобретает скорость  $V_1 = \sqrt{2gh}$ . После абсолютно неупругого столкновения с чашкой той же массы  $m$ , по закону сохранения импульса  $mV_1 = 2mV_2$  находим начальную скорость чашки с прилипшим к ней грузом:  $V_2 = \frac{V_1}{2} = \sqrt{\frac{gh}{2}}$ .

При дальнейшем движении чашки полная механическая энергия системы сохраняется. В неё в начальном состоянии входят кинетическая энергия чашки, потенциальная энергия чашки (относительно её наинизшего положения), а также энергия упругой деформации пружин, а в конечном состоянии – только упругая энергия пружин:

$$\frac{2m \cdot V_2^2}{2} + 2m \cdot gH + \frac{kh_0^2}{2} = \frac{k(h_0 + H)^2}{2}.$$

Из условия равновесия чашки до падения в неё груза:  $mg = kh_0$  находим общий коэффициент жёсткости пружин  $k = \frac{mg}{h_0}$ .

Подставляя в записанное выше соотношение выражения для скорости  $V_2$  и коэффициента жёсткости пружин  $k$ , получаем квадратное уравнение для определения искомой величины  $H$ :

$$H^2 - 2h_0H - hh_0 = 0,$$

Откуда, с учётом положительности корня, для  $H$  имеем:

$$H = h_0(1 + \sqrt{1 + h/h_0}) = 15 \text{ см.}$$

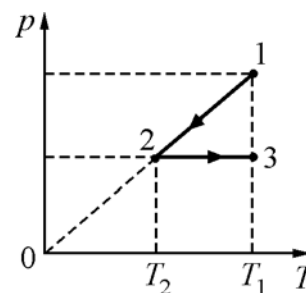
**Ответ:** 15 см.

<b>Критерии оценивания выполнения задания</b>	<b>Баллы</b>
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>выражение для скорости груза при свободном падении с определённой высоты, закон сохранения импульса при абсолютно неупругом ударе груза о чашку, условие равновесия чашки до удара, а также закон сохранения механической энергии системы после удара</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p>	3

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

30

Идеальный одноатомный газ в количестве  $\nu = 3$  моль сначала охладили, уменьшив его температуру от  $T_1 = 300$  К до  $T_2 = T_1/n$ , где  $n = 2$ , а затем нагрели до начальной температуры. При этом давление  $p$  газа изменялось так, как показано на графике. Какое суммарное количество теплоты газ отдал и получил в процессе 1–2–3?



### Возможное решение

Из графика следует, что 1–2 – изохорный, а 2–3 – изобарный процесс, причём температура газа в начальном и конечном состояниях одинакова.

Согласно первому закону термодинамики суммарная теплота  $\Delta Q_{123}$ , отданная и полученная газом в процессе 1–2–3, равна сумме изменения  $\Delta U_{123}$  внутренней энергии газа и его работы  $\Delta A_{123}$  в процессе:  $\Delta Q_{123} = \Delta U_{123} + \Delta A_{123}$ .

Поскольку внутренняя энергия  $\nu$  молей одноатомного идеального газа равна  $U = (3/2)\nu RT$  и пропорциональна температуре, то в процессе 1–2–3 с одинаковой начальной и конечной температурой её суммарное изменение  $\Delta U_{123} = 0$ .

В изохорном процессе 1–2  $V = \text{const}$ , и  $\Delta A_{12} = 0$ , а в изобарном процессе 2–3  $p = \text{const}$ , и с учётом уравнения Клапейрона–Менделеева  $pV = \nu RT$  имеем:

$$\Delta A_{23} = p\Delta V_{23} = \nu R\Delta T_{23} = \nu R(T(3) - T(2)) = \nu R\left(T_1 - \frac{T_1}{n}\right) = \nu RT_1 \frac{n-1}{n}.$$

Таким образом,

$$\Delta Q_{123} = \Delta A_{23} = \nu RT_1 \frac{n-1}{n} = 3 \cdot 8,31 \cdot 300 \cdot \frac{2-1}{2} \approx 3740 \text{ Дж.}$$

**Ответ:** 3740 Дж.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>проанализированы графики изопроцессов на p-T диаграмме; применён первый закон термодинамики; записаны выражения для внутренней энергии идеального одноатомного газа и его работы в изопроцессах; уравнение Клапейрона–Менделеева</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p>	3

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



31

Плоский конденсатор имеет между своими обкладками пластину из твёрдого диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 4$ , полностью заполняющую зазор между ними. Ёмкость конденсатора при этом равна  $C = 50$  пФ. Конденсатор подсоединён к источнику с напряжением  $U = 240$  В. Какую работу  $A$  надо совершить для того, чтобы медленно вытянуть диэлектрическую пластину из конденсатора? Трения нет.

### Возможное решение

При вытягивании диэлектрической пластины из конденсатора, подсоединённого к источнику, его ёмкость, заряд  $q$  и энергия  $W$  уменьшаются:

$$\Delta C = C_2 - C_1 = \frac{C}{\varepsilon} - C = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot C < 0, \quad \Delta q = \Delta(CU) = U\Delta C = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU < 0,$$

$$\Delta W = \Delta\left(\frac{CU^2}{2}\right) = \frac{U^2\Delta C}{2} = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} < 0.$$

Поскольку заряды стекают против ЭДС источника, его работа  $U\Delta q = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU^2 < 0$ .

По условию трения нет и процесс медленный, поэтому выделением теплоты в цепи можно пренебречь, и закон сохранения энергии имеет следующий вид:  $A = \Delta W - U\Delta q$ , то есть совершаемая внешними силами работа  $A$  по вытягиванию пластины равна изменению энергии конденсатора минус работа источника. Отсюда

$$A = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \cdot CU^2 = \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} \cdot \frac{CU^2}{2} = \frac{3}{4} \cdot \frac{50 \cdot 10^{-12} \cdot 240^2}{2} = 1,08 \text{ мкДж.}$$

**Ответ:** 1,08 мкДж.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>связь заряда и напряжения на конденсаторе, формула для ёмкости конденсатора с диэлектриком, выражение для энергии конденсатора, формула для работы источника напряжения, закон сохранения энергии для электрической цепи, содержащей источник напряжения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу</p>	3

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

32

Небольшой уединённый металлический шарик долго облучали в вакууме светом с длиной волны  $\lambda = 412$  нм, в результате чего он зарядился и приобрёл потенциал  $\varphi = 1$  В. Чему равна работа выхода электрона из этого металла? Ответ выразите в эВ.

### Возможное решение

При облучении светом металлического шарика из него за счёт фотоэффекта выбиваются электроны, а сам шарик заряжается, приобретая положительный заряд и потенциал. Потенциал шарика возрастает до тех пор, пока кинетической энергии вылетающих электронов достаточно для их удаления на бесконечное расстояние от шарика:  $\frac{mV^2}{2} = e\varphi$ . В дальнейшем заряд и потенциал шарика перестают расти и стабилизируются.

Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта энергия кванта света с частотой  $\nu = c/\lambda$  расходуется на преодоление работы выхода электрона из металла и на придание ему кинетической энергии, которая в дальнейшем при его удалении от шарика превращается в потенциальную энергию:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = A_{\text{вых}} + \frac{mV^2}{2} = A_{\text{вых}} + e\varphi.$$

Отсюда

$$A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda} - e\varphi = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{412 \cdot 10^{-9}} - 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \approx 3,206 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 2,0 \text{ эВ.}$$

**Ответ:** 2,0 эВ.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: закон сохранения энергии, уравнение Эйнштейна для фотоэффекта и связь частоты и длины волны света);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3

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