

Ответы к заданиям

№ задания	Ответ
5	15
9	345
14	34
18	23
19	(23 ± 1)

Ответы к заданиям

№ задания	Ответ
5	24
9	235
14	145
18	15
19	(16 ± 1)

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

21

Электрическая цепь состоит из последовательно соединённых лампы L , резистора сопротивлением $R = 10$ Ом и идеального амперметра, параллельно которым подключён идеальный вольтметр. Эта цепь питается от регулируемого источника напряжения, в состав которого входят батарея, ключ K и потенциометр (делитель напряжения) P . Лаборант замыкает ключ, после чего, передвигая ползунок реостата и проводя наблюдения, записывает в таблицу несколько показаний I амперметра. Показания вольтметра он записать забывает.

I, A	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
U, B					

Используя вольт-амперную характеристику лампы, изображённую на рисунке 2, помогите лаборанту восстановить показания U вольтметра и запишите их в таблицу. Решение объясните, опираясь на законы электродинамики.

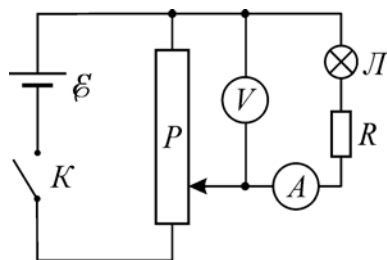


Рис. 1

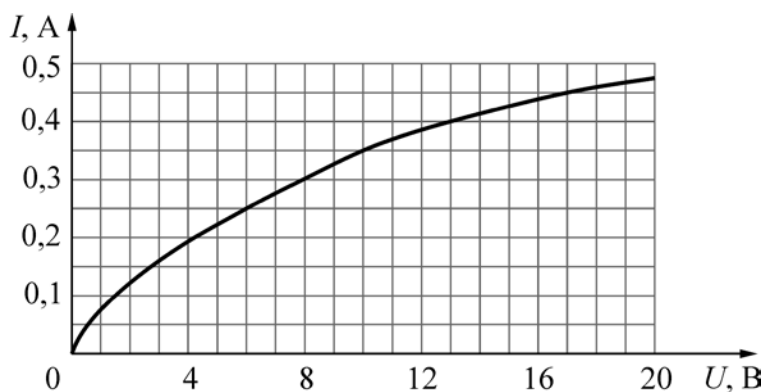


Рис. 2

Возможное решение

- 1) Пусть I – сила тока в амперметре, $U_{л}$ – напряжение на лампе, U – показания вольтметра. В соответствии с законом Ома для участка цепи, напряжение на резисторе с сопротивлением R равно $U_R = IR$.
- 2) Вольтметр показывает сумму падений напряжения на последовательно соединённых лампе L , резисторе и идеальном амперметре: $U = U_{л} + IR$. Здесь учтено, что сопротивление идеального амперметра равно нулю. При этом через резистор и через лампу течёт один и тот же ток силой I .
- 3) Показания вольтметра можно восстановить следующим образом. Пусть амперметр показывает силу тока $I_1 = 0,25$ А. Тогда напряжение на резисторе равно $U_{R1} = I_1 R = 0,25 \cdot 10 = 2,5$ В. Напряжение на лампе при данном значении силы тока определим с помощью графика – оно равно $U_{л1} = 6$ В. Следовательно, вольтметр показывает напряжение $U_1 = U_{л1} + I_1 R = 6 \text{ В} + 2,5 \text{ В} = 8,5$ В.
- 4) Рассматривая аналогично остальные четыре значения силы тока, которые показывает амперметр, вычислим показания вольтметра и заполним таблицу.

I, A	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
U, B	8,5	11,0	13,5	17,0	21,5

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <i>приведена правильно заполненная таблица, п. 4</i>) и полное верное объяснение (в данном случае: <i>п. 1, 2, 3</i>) с указанием наблюдаемых явлений и законов в данном случае: <i>закон Ома для участка цепи, вычисление суммарного падения напряжения при последовательном соединении элементов, одинаковость силы тока через элементы при их последовательном соединении, учёт идеальности амперметра</i>)</p>	3
<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.)</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</p>	2
<p>Представлено решение, соответствующее 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 style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1

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

22

Небольшие одинаковые почти абсолютно упругие шарики покоятся на прямом горизонтальном гладком жёлобе на одинаковых расстояниях друг от друга. В некоторый момент первому слева шариком толчком сообщают начальную скорость V_1 в направлении остальных шариков, после чего происходят их последовательные столкновения. После $n = 9$ соударений оказалось, что десятый шарик приобрёл скорость $V_{10} = 0,8V_1$. Сколько процентов от кинетической энергии движущегося шарика передавалось следующему покоящемуся шариком при каждом столкновении?

Возможное решение

1. Поскольку все столкновения шариков происходят в одинаковых условиях, можно считать, что и коэффициент x , связывающий скорости шариков после и до удара, одинаков для всех столкновений. Поэтому

$$V_2 = x V_1, \quad V_3 = x V_2 = x^2 V_1, \text{ и т.д., } \dots, \quad V_{10} = x V_9 = x^9 V_1 = 0,8V_1.$$

Отсюда $x^9 = 0,8$, и $x = 0,8^{1/9} \approx 0,9755$.

2. При столкновениях не абсолютно упругих тел часть их кинетической энергии теряется, превращаясь в теплоту.

3. Кинетическая энергия E_k шарика массой M равна $MV^2/2$. Поэтому $E_{k10} = x^2 E_{k9}$, и процент передачи кинетической энергии от шарика к шариком при каждом столкновении равен $x^2 = 0,8^{2/9} \approx 0,9755^2 \approx 0,9516 \approx 95,2 \%$.

Ответ: $E_{k(n+1)}/E_{kn} \approx 0,9516 \approx 95,2 \%$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон изменения механической энергии, связь кинетической энергии с массой и скоростью тела и математические соотношения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины.</p>	2

<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	2

23

В жёстком теплоизолированном сосуде находится $\nu_1 = 1$ моль гелия со среднеквадратичной скоростью движения его атомов, равной $V_1 = 1400$ м/с. В сосуд добавили $\nu_2 = 0,8$ моля гелия с температурой $T_2 = 350$ К. Какая температура T гелия установится в сосуде при достижении состояния термодинамического равновесия?

Возможное решение

1. Порции гелия, помещённые в жёсткий теплоизолированный сосуд, не совершают работу и не обмениваются количеством теплоты с окружающей средой, поэтому из первого закона термодинамики следует, что их суммарная внутренняя энергия сохраняется: $U = U_1 + U_2$.

2. Выражения для внутренней энергии двух порций одноатомного идеального газа имеют вид: $U_1 = (3/2) \nu_1 RT_1$, $U_2 = (3/2) \nu_2 RT_2$.

3. Для дальнейших расчётов необходимо найти температуру T_1 , связанную со среднеквадратичной скоростью V_1 движения атомов гелия: $\mu V_1^2/2 = (3/2) RT_1$, откуда

$$T_1 = \mu V_1^2 / (3R) = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 1400^2 / (3 \cdot 8,31) \approx 314,5 \text{ К.}$$

4. Газы в сосуде после перемешивания и установления равновесия приобретут искомую температуру T , так что $U = U_1 + U_2 = (3/2) (\nu_1 + \nu_2) RT$ и

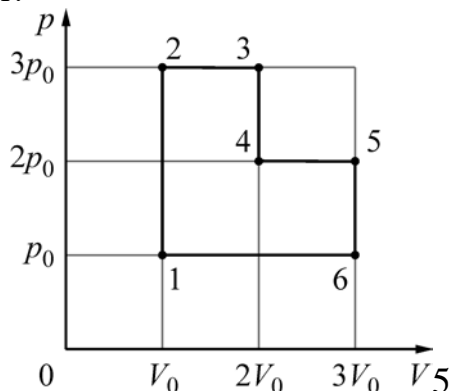
$$T = (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2) / (\nu_1 + \nu_2) = (1 \cdot 314,5 + 0,8 \cdot 350) / (1 + 0,8) \approx 330,3 \text{ К.}$$

Ответ: $T \approx 330,3$ К

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>первый закон термодинамики, выражение для внутренней энергии одноатомного идеального газа, связь температуры одноатомного идеального газа со среднеквадратичной скоростью движения его атомов</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) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	2
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла</p>	0
<p>Максимальный балл</p>	2

24

Идеальный одноатомный газ, количество которого равно $\nu = 0,05$ моля, используется в качестве рабочего тела в тепловом двигателе. На pV -диаграмме (p – давление газа, V – его объём) показан процесс 1–2–3–4–5–6–1, совершаемый газом в течение одного цикла работы двигателя. В качестве топлива для данного двигателя используется каменный уголь с удельной теплотой сгорания $29,3$ МДж/кг, причём рабочее тело получает $\eta = 50\%$ количества теплоты, выделяющегося при сгорании. Температура газа в состоянии 4 равна $T_4 = 500$ К. Какая масса угля сгорает в течение $N = 10^4$ циклов работы двигателя?



Возможное решение

1) Газ получает количество теплоты ΔQ^+ на участках 1–2, 2–3 и 4–5 цикла. Для нахождения этого количества теплоты воспользуемся выражением для внутренней энергии одноатомного идеального газа $U = (3/2)pV$ и тем фактом, что работа газа в некотором процессе численно равна площади под участком графика, изображающего данный процесс на pV -диаграмме.

2) Пусть ΔU_{nm} – изменение внутренней энергии при переходе газа из состояния « n » в состояние « m », а ΔA_{nm} – работа, совершаемая газом при переходе из состояния « n » в состояние « m ». В соответствии с первым законом термодинамики:

$$\begin{aligned} \Delta Q^+ &= \Delta U_{12} + \Delta A_{23} + \Delta U_{45} + \Delta A_{45} = \\ &= (3/2)(3p_0 \cdot 2V_0 - p_0 \cdot V_0) + 3p_0 V_0 + (3/2)(2p_0 \cdot 3V_0 - 2p_0 \cdot 2V_0) + 2p_0 V_0 = (31/2)p_0 V_0. \end{aligned}$$

3) Согласно условию задачи, $\Delta Q^+ = (31/2)p_0 V_0 = \eta qm$, где m – масса угля, сгорающего за один цикл работы двигателя.

4) Применим для состояния «4» уравнение Менделеева – Клапейрона: $2p_0 \cdot 2V_0 = \nu RT_4$.

5) Выражая из последнего уравнения произведение $p_0 V_0$, получаем: $(31/8)\nu RT_4 = \eta qm$. Отсюда масса M угля, сгорающего за N циклов работы двигателя, равна

$$M = Nm = \frac{31\nu RT_4 N}{8\eta q} \approx 0,55 \text{ кг.}$$

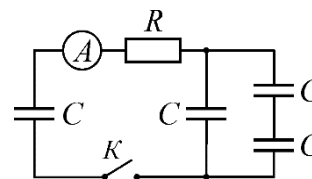
Ответ: $M = \frac{31\nu RT_4 N}{8\eta q} \approx 0,55$ кг.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>первый закон термодинамики, выражение для внутренней энергии одноатомного идеального газа, выражение работы через площадь под участком графика на pV-диаграмме, уравнение Менделеева – Клапейрона, связь количества выделившейся при сгорании теплоты с массой сгоревшего топлива</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) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая</p>	1

для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	<i>3</i>

25

В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, все конденсаторы имеют одинаковую ёмкость $C = 1 \text{ мкФ}$, а резистор имеет сопротивление $R = 100 \text{ Ом}$. Вначале левый конденсатор заряжен до некоторого напряжения U , а все остальные конденсаторы не заряжены. Идеальный амперметр в первый момент после замыкания ключа K показал силу тока $I = 2 \text{ А}$. Какое количество теплоты выделится в данной цепи ко времени, когда показания амперметра уменьшатся до нуля?



Возможное решение

1. В начальном состоянии напряжение U на левом конденсаторе связано с зарядом q этого конденсатора: $U = q/C$, а напряжение и заряд на правой части цепи отсутствуют. После замыкания ключа K через амперметр, резистор и конденсаторы потечёт ток. В соответствии с законом Ома для замкнутой цепи сила этого тока в первый момент после замыкания ключа равна $I = U/R$, откуда $U = IR$. Поэтому энергия заряженного конденсатора равна $W_C = CU^2/2 = C^2R^2/2$.

2. При перезарядке конденсаторов часть заряда левого конденсатора перейдёт на правые конденсаторы общей ёмкостью $C_{\text{пр}}$, которую можно определить по правилам для последовательного и параллельного соединения конденсаторов: $C_{\text{пр}} = C + C/2 = 3C/2$.

3. Ток в цепи прекратится, когда напряжения U_k на конденсаторах слева и справа станут одинаковыми и заряд $q = CU$ будет находиться на системе конденсаторов общей ёмкостью $C_{\text{общ}} = C + C_{\text{пр}} = C + 3C/2 = 5C/2$.

4. Конечное напряжение будет равно $U_k = q/(C_{\text{общ}}) = 2U/5$. Конечная электрическая энергия в цепи будет при этом равна

$$W_k = (5C/2)U_k^2/2 = CU^2/5 = C^2R^2/5.$$

5. Количество теплоты ΔQ , выделившейся в цепи, по закону сохранения энергии равно

$$\Delta Q = W_C - W_k = 3C^2R^2/10 = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 2^2 \cdot 100^2/10 = 12 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 12 \text{ мДж}.$$

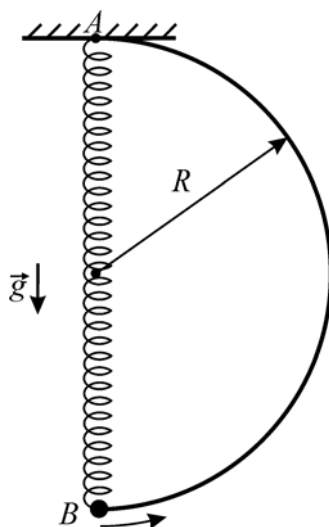
Ответ: $\Delta Q = 3C^2R^2/10 = 12 \text{ мДж}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>связь заряда и напряжения на конденсаторе, закон Ома для замкнутой цепи, расчёт ёмкости при параллельном и последовательном соединении конденсаторов, энергия заряженного конденсатора, закон сохранения энергии</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 (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (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 style="text-align: center;">ИЛИ</p>	1

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

26

Из жёсткой тонкой гладкой проволоки согнут каркас в виде половины окружности радиусом $R = 60$ см и закреплён так, чтобы диаметр каркаса располагался вертикально (см. рисунок). В верхней точке A диаметра к каркасу прикреплён конец лёгкой пружины, длина которой в нерастянутом состоянии равна R . Ко второму концу пружины прикреплена маленькая бусинка B с просверлённым в ней отверстием. Если бусинка висит на пружине, находясь в состоянии равновесия, то удлинение пружины оказывается равным $R/3$.



Бусинку надевают на каркас так, что она покоится в нижней точке его диаметра. Затем, после очень малого начального воздействия, бусинка начинает скользить по каркасу. Найдите модуль скорости бусинки в тот момент, когда ось пружины будет составлять с вертикалью угол $\alpha = \arccos(7/8)$.

Обоснуйте применимость законов, использованных для решения задачи.

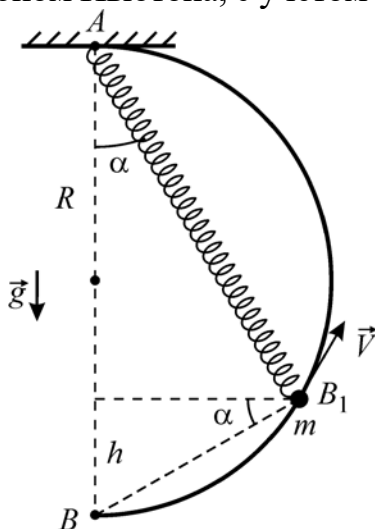
Возможное решение

Обоснование.

1. Выберем систему отсчёта, связанную с закреплённым каркасом, и будем считать её инерциальной (ИСО). Относительно этой ИСО справедлив второй закон Ньютона и можно применять законы сохранения.
2. Для бусинки используем модель материальной точки.
3. Так как проволока жёсткая, будем считать каркас абсолютно твёрдым телом и пренебрежём его деформациями.
4. Будем считать, что удлинение пружины подчиняется закону Гука. Поскольку пружина лёгкая, до подвешивания бусинки её можно считать нерастянутой, и при решении задачи можно пренебрегать её массой.
5. Проволока гладкая, поэтому в системе отсутствуют внутренние диссипативные силы. Все остальные силы либо консервативные, либо не совершают работы. Следовательно, можно применять закон сохранения механической энергии.
6. Поскольку начальное воздействие на бусинку очень малое, её начальную кинетическую энергию также можно считать пренебрежимо малой.

Решение.

1. Согласно условию задачи, при подвешивании бусинки массой m к пружине жёсткостью k она в положении равновесия растягивается на величину $\Delta l = R/3$. В соответствии со вторым законом Ньютона, с учётом закона Гука: $mg = k\Delta l = kR/3$.



2. Рассмотрим состояние системы, в котором ось пружины составляет с вертикалью угол α (см. рисунок). Угол AB_1B прямой, поэтому в данный момент длина пружины равна $l = 2R \cos \alpha$, а высота бусинки над точкой B составляет $h = 2R \sin^2 \alpha$. Обозначим скорость бусинки в рассматриваемый момент через V и учтём, что в исходном состоянии удлинение пружины было равно R . Тогда, согласно закону сохранения механической энергии для данной системы:

$$\frac{kR^2}{2} = \frac{k(l-R)^2}{2} + mgh + \frac{mV^2}{2}.$$

3. Преобразуем это уравнение с учётом ранее записанных соотношений:

$$\frac{kR^2}{2} = \frac{k(2R \cos \alpha - R)^2}{2} + 2mgR \sin^2 \alpha + \frac{mV^2}{2},$$

$$kR^2 = kR^2(2 \cos \alpha - 1)^2 + 4mgR \sin^2 \alpha + mV^2,$$

$$3mgR = 3mgR(2 \cos \alpha - 1)^2 + 4mgR \sin^2 \alpha + mV^2,$$

$$V^2 = 3gR - 3gR(2 \cos \alpha - 1)^2 - 4gR \sin^2 \alpha = 12gR(\cos \alpha - \cos^2 \alpha) - 4gR(1 - \cos^2 \alpha) =$$

$$= 4gR(3 \cos \alpha - 2 \cos^2 \alpha - 1).$$

4. Учитывая, что $\cos \alpha = 7/8$, получаем:

$$V = 2\sqrt{gR(3 \cos \alpha - 2 \cos^2 \alpha - 1)} = 2\sqrt{gR\left(3 \cdot \frac{7}{8} - 2 \cdot \frac{49}{64} - 1\right)} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3gR}{2}}.$$

5. Подставляя численное значение R , находим:

$$V = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3 \cdot 10 \cdot 0,6}{2}} = 1,5 \text{ м/с.}$$

Ответ: $V = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3 \cdot 10 \cdot 0,6}{2}} = 1,5 \text{ м/с.}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Критерий 1	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор ИСО, выбор модели материальной точки, выбор модели абсолютно твёрдого тела для каркаса, использование модели невесомой пружины, подчиняющейся закону Гука, использование условий применимости закона сохранения механической энергии</i>	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
Критерий 2	
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>второй закон Ньютона, закон Гука, выражения для потенциальной энергии пружины, потенциальной энергии тела в однородном поле силы тяжести, кинетической энергии материальной точки, закон сохранения механической энергии</i>); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>); III) проведены необходимые математические преобразования и	3

<p>расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (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 style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<i>Максимальный балл</i>	4

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

21 Электрическая цепь состоит из последовательно соединённых лампы L и резистора сопротивлением $R = 20$ Ом, параллельно которым подключён идеальный вольтметр V_2 . Эта цепь питается от регулируемого источника напряжения, в состав которого входят батарея, ключ K и потенциометр (делитель напряжения) P . Лаборант замыкает ключ, после чего, передвигая ползунок реостата и проводя наблюдения, записывает в таблицу несколько показаний V_1 другого идеального вольтметра, подключенного к резистору. Показания вольтметра V_2 он записать забывает.

$V_1, \text{В}$	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
$V_2, \text{В}$					

Используя вольт-амперную характеристику лампы, изображённую на рисунке 2, помогите лаборанту восстановить показания вольтметра V_2 и запишите их в таблицу. Решение объясните, опираясь на законы электродинамики.

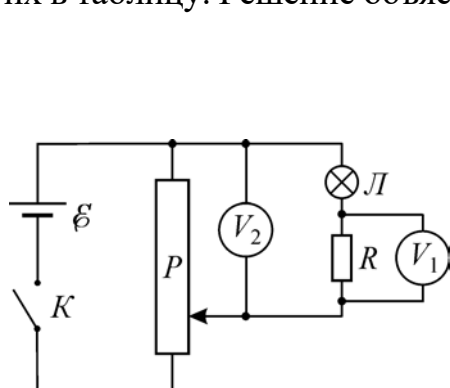


Рис. 1

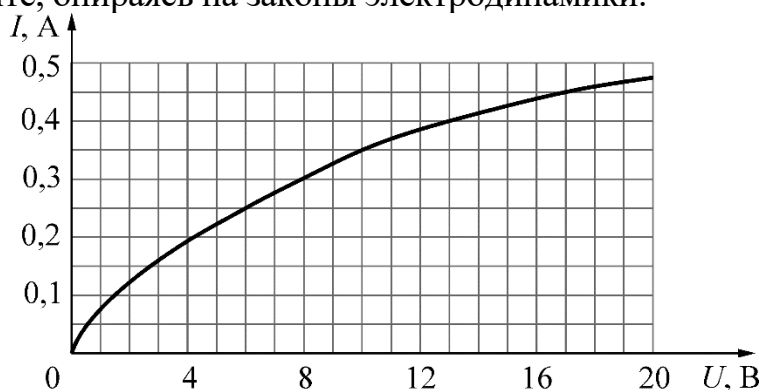


Рис. 2

Возможное решение

- 1) Пусть I – сила тока в амперметре, $U_{л}$ – напряжение на лампе, V_1 и V_2 – показания первого и второго вольтметров. В соответствии с законом Ома для участка цепи, напряжение на резисторе с сопротивлением R равно $U_R = IR = V_1$.
- 2) Вольтметр V_2 показывает сумму падений напряжения на последовательно соединённых лампе L и резисторе: $V_2 = U_{л} + IR = U_{л} + V_1$. При этом, поскольку вольтметр V_1 идеальный, через резистор и через лампу течёт один и тот же ток силой I .
- 3) Показания вольтметра V_2 можно восстановить следующим образом. Пусть вольтметр V_1 показывает напряжение $U_1 = 5$ В. Тогда сила тока, текущего через резистор, равна $I_1 = U_1/R = 5/20 = 0,25$ А. Напряжение на лампе при данном значении силы тока определим с помощью графика – оно равно $U_{л1} = 6$ В. Следовательно, вольтметр показывает напряжение $V_2 = U_{л1} + U_1 = 6 \text{ В} + 5 \text{ В} = 11 \text{ В}$.
- 4) Рассматривая аналогично остальные четыре значения напряжения,

которые показывает вольтметр V_1 , вычислим показания вольтметра V_2 и заполним таблицу.

$V_1, В$	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
$V_2, В$	11,0	14,0	17,0	21,0	26,0

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <i>приведена правильно заполненная таблица, п. 4</i>) и полное верное объяснение (в данном случае: <i>п. 1, 2, 3</i>) с указанием наблюдаемых явлений и законов в данном случае: <i>закон Ома для участка цепи, вычисление суммарного падения напряжения при последовательном соединении элементов, одинаковость силы тока через элементы при их последовательном соединении, учёт идеальности вольтметра</i>)</p>	3
<p>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.)</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</p>	2
<p>Представлено решение, соответствующее 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 style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.</p>	1

ИЛИ	
Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

22

Небольшие одинаковые почти абсолютно упругие шарики покоятся на прямом горизонтальном гладком жёлобе на одинаковых расстояниях друг от друга. В некоторый момент первому слева шариком толчком сообщают начальную скорость V_1 в направлении остальных шариков, после чего происходят их последовательные столкновения. После $n = 4$ их соударений оказалось, что пятый шарик приобрёл скорость $V_5 = 0,9V_1$. Сколько процентов кинетической энергии движущегося шарика терялось при каждом столкновении с покоящимся шариком?

Возможное решение

1. Поскольку все столкновения шариков происходят в одинаковых условиях, можно считать, что и коэффициент x , связывающий скорости шариков после и до удара, одинаков для всех столкновений. Поэтому

$$V_2 = x V_1, \quad V_3 = x V_2 = x^2 V_1, \text{ и т.д., } \dots, \quad V_5 = x V_4 = x^4 V_1 = 0,9 V_1.$$

Отсюда $x^4 = 0,9$, и $x = 0,9^{1/4} \approx 0,974$.

2. При столкновениях не абсолютно упругих тел часть их кинетической энергии теряется, превращаясь в теплоту.

3. Кинетическая энергия E_k шарика массой M равна $MV^2/2$. Поэтому $E_{k5} = x^2 E_{k4}$, и процент передачи кинетической энергии от шарика к шариком при каждом столкновении равен x^2 , а процент потерь кинетической энергии равен

$$1 - x^2 = 1 - 0,9^{2/4} \approx 1 - 0,974^2 \approx 0,051 \approx 5,1 \text{ \%}.$$

Ответ: $\Delta E_k/E_k \approx 0,051 \approx 5,1 \text{ \%}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон изменения механической энергии, связь кинетической энергии с массой и скоростью тела и математические соотношения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу),</p>	2

приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины	
Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько из следующих недостатков. Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют. И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты. И (ИЛИ) В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги. И (ИЛИ) Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	2

23

В жёстком теплоизолированном сосуде объёмом $V = 50$ л находится $\nu_1 = 1$ моль гелия со среднеквадратичной скоростью движения его атомов, равной $V_1 = 1400$ м/с. В сосуд добавили $\nu_2 = 0,8$ моля гелия с температурой $T_2 = 330$ К. Какое давление p гелия установится в сосуде при достижении состояния термодинамического равновесия?

Возможное решение

1. Порции гелия, помещённые в жёсткий теплоизолированный сосуд, не совершают работу и не обмениваются количеством теплоты с окружающей средой, поэтому из первого закона термодинамики следует, что их суммарная внутренняя энергия сохраняется: $U = U_1 + U_2$.

2. Выражения для внутренней энергии двух порций одноатомного идеального газа имеют вид: $U_1 = (3/2) \nu_1 RT_1$, $U_2 = (3/2) \nu_2 RT_2$.

3. Для дальнейших расчётов необходимо найти температуру T_1 , связанную со среднеквадратичной скоростью V_1 движения атомов гелия: $\mu V_1^2/2 = (3/2) RT_1$, откуда

$$T_1 = \mu V_1^2/(3R) = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 1400^2/(3 \cdot 8,31) \approx 314,5 \text{ К.}$$

4. Газы в сосуде после перемешивания и установления равновесия приобретут температуру T , так что $U = U_1 + U_2 = (3/2) (\nu_1 + \nu_2) RT$ и

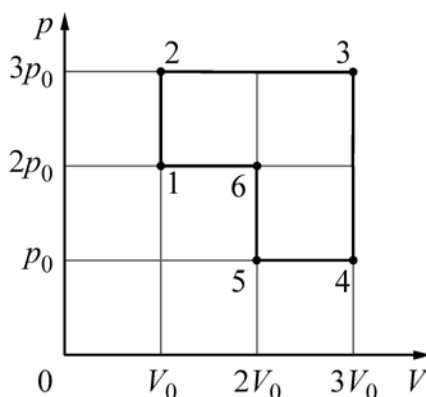
$$T = (\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2)/(\nu_1 + \nu_2) = (1 \cdot 314,5 + 0,8 \cdot 330)/(1 + 0,8) \approx 321,4 \text{ К.}$$

5. При этом согласно уравнению Менделеева – Клапейрона давление гелия в сосуде будет равно $p = (v_1 + v_2) RT/V = 1,8 \cdot 8,31 \cdot 321,4 / 0,05 \approx 0,96 \cdot 10^5$ Па.
 Ответ: $p \approx 0,96 \cdot 10^5$ Па

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>уравнение Менделеева – Клапейрона, первый закон термодинамики, выражение для внутренней энергии одноатомного идеального газа, связь температуры одноатомного идеального газа со среднеквадратичной скоростью движения его атомов</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	2
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены преобразования, направленные на решение задачи, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1 или 2 балла</p>	0
<p>Максимальный балл</p>	2

24

Идеальный одноатомный газ, количество которого равно $\nu = 0,04$ моля, используется в качестве рабочего тела в тепловом двигателе. На pV -диаграмме (p – давление газа, V – его объём) показан процесс 1–2–3–4–5–6–1, совершаемый газом в течение одного цикла работы двигателя. В качестве топлива для данного двигателя используется каменный уголь с удельной теплотой сгорания 29,3 МДж/кг, причём рабочее тело получает $\eta = 1/3$ количества теплоты, выделяющегося при сгорании. В течение $N = 10^5$ циклов работы двигателя сгорает $M = 4$ кг угля. Чему равна температура газа в состоянии 3?



Возможное решение

1) Газ получает количество теплоты ΔQ^+ на участках 1–2, 2–3 и 5–6 цикла. Для нахождения этого количества теплоты воспользуемся выражением для внутренней энергии одноатомного идеального газа $U = (3/2)pV$ и тем фактом, что работа газа в некотором процессе численно равна площади под участком графика, изображающего данный процесс на pV -диаграмме.

2) Пусть ΔU_{nm} – изменение внутренней энергии при переходе газа из состояния «n» в состояние «m», а ΔA_{nm} – работа, совершаемая газом при переходе из состояния «n» в состояние «m». В соответствии с первым законом термодинамики:

$$\begin{aligned} \Delta Q^+ &= \Delta U_{12} + \Delta A_{23} + \Delta U_{56} = \\ &= (3/2)(3p_0 \cdot 3V_0 - 2p_0 \cdot V_0) + 3p_0 \cdot 2V_0 + (3/2)(2p_0 \cdot 2V_0 - p_0 \cdot 2V_0) = (39/2)p_0 V_0. \end{aligned}$$

3) Согласно условию задачи, $\Delta Q^+ = (39/2)p_0 V_0 = \eta qm$, где m – масса угля, сгорающего за один цикл работы двигателя.

4) Применим для состояния «3» уравнение Менделеева – Клапейрона: $3p_0 \cdot 3V_0 = \nu RT_3$.

5) Выражая из последнего уравнения произведение $p_0 V_0$, получаем: $(39/18)\nu RT_3 = \eta qm$. Масса M угля, сгорающего за N циклов работы двигателя, равна $M = Nm$. Отсюда

$$T_3 = \frac{6\eta qM}{13\nu RN} \approx 542,5 \text{ К.}$$

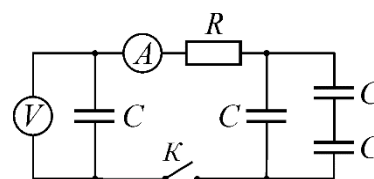
Ответ: $T_3 = \frac{6\eta qM}{13\nu RN} \approx 542,5 \text{ К.}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>первый закон термодинамики, выражение для внутренней энергии одноатомного идеального газа, выражение работы через площадь под участком графика на pV-диаграмме, уравнение Менделеева – Клапейрона, связь количества выделившейся при сгорании теплоты с массой сгоревшего топлива</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) представлены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p>	1

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

25

В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, все конденсаторы имеют одинаковую электроёмкость $C = 5 \text{ мкФ}$, а резистор имеет сопротивление $R = 200 \text{ Ом}$. Вначале левый конденсатор заряжен до некоторого напряжения U , а



все остальные конденсаторы не заряжены. Идеальный амперметр в первый момент после замыкания ключа K показал силу тока $I = 1 \text{ А}$. Какая энергия W_k окажется запасённой в левом конденсаторе после того, как показания вольтметра перестанут изменяться?

Возможное решение

1. В начальном состоянии напряжение U на левом конденсаторе, показываемое вольтметром, связано с зарядом q этого конденсатора: $U = q/C$, а напряжение и заряд на правой части цепи отсутствуют. После замыкания ключа K через амперметр, резистор и конденсаторы потечёт ток. В соответствии с законом Ома для замкнутой цепи сила этого тока в первый момент после замыкания ключа равна $I = U/R$, откуда $U = IR$.

2. При перезарядке конденсаторов часть заряда левого конденсатора перейдёт на правые конденсаторы общей ёмкостью $C_{\text{пр}}$, которую можно определить по правилам для последовательного и параллельного соединения конденсаторов: $C_{\text{пр}} = C + C/2 = 3C/2$.

3. Ток в цепи прекратится, когда напряжения на конденсаторах слева и справа станут одинаковыми: $U_k = q_{\text{л}}/C = q_{\text{пр}}/C_{\text{пр}} = 2q_{\text{пр}}/(3C)$, где $q_{\text{л}}$ и $q_{\text{пр}}$ – заряды на конденсаторах слева и справа. По закону сохранения электрического заряда, $q_{\text{л}} + q_{\text{пр}} = q = CU$.

4. Отсюда находим установившиеся заряды конденсаторов: $q_{\text{пр}} = 3q_{\text{л}}/2$ и $q_{\text{л}} = 2CU/5$.

5. Для энергии левого конденсатора окончательно получаем:

$$W_k = q_{\text{л}}^2/(2C) = 2CU^2/25 = 2C^2R^2/25 = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1^2 \cdot 200^2/25 = \\ = 16 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 16 \text{ мДж}.$$

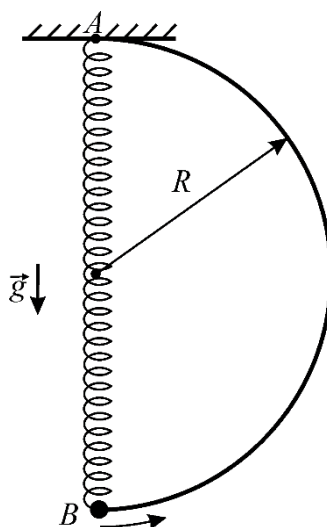
Ответ: $W_k = 2C^2R^2/25 = 16 \text{ мДж}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>связь заряда и напряжения на конденсаторе, закон Ома для замкнутой цепи, расчёт ёмкости при параллельном и последовательном соединении конденсаторов, закон сохранения электрического заряда, энергия заряженного конденсатора</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 (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (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 style="text-align: center;">ИЛИ</p>	1

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

26

Из жёсткой тонкой гладкой проволоки согнут каркас в виде половины окружности радиусом R и закреплён так, чтобы диаметр каркаса располагался вертикально (см. рисунок). В верхней точке A диаметра к каркасу прикреплён конец лёгкой пружины, длина которой в нерастянутом состоянии равна R . Ко второму концу пружины прикреплена маленькая бусинка B с просверлённым в ней отверстием. Если бусинка висит на пружине, находясь в состоянии равновесия, то удлинение пружины оказывается равным $R/3$.



Бусинку надевают на каркас так, что она покоится в нижней точке его диаметра. Затем, после очень малого начального воздействия, бусинка начинает скользить по каркасу. В тот момент, когда ось пружины составляет с вертикалью угол $\alpha = \arccos(5/6)$, модуль скорости бусинки равен $V = 2$ м/с. Найдите радиус R каркаса. **Обоснуйте применимость законов, использованных для решения задачи.**

Возможное решение

Обоснование.

1. Выберем систему отсчёта, связанную с закреплённым каркасом, и будем считать её инерциальной (ИСО). Относительно этой ИСО справедлив второй

закон Ньютона и можно применять законы сохранения.

2. Для бусинки используем модель материальной точки.

3. Так как проволока жёсткая, будем считать каркас абсолютно твёрдым телом и пренебрежём его деформациями.

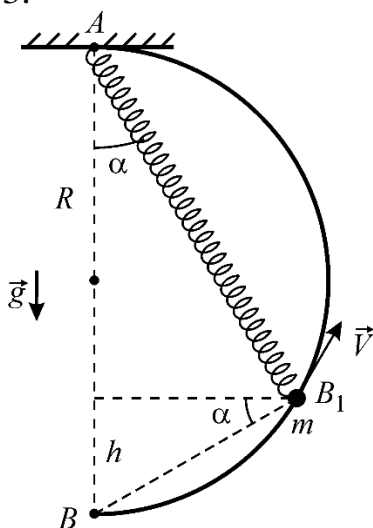
4. Будем считать, что удлинение пружины подчиняется закону Гука. Поскольку пружина лёгкая, до подвешивания бусинки её можно считать нерастянутой и при решении задачи можно пренебрегать её массой.

5. Проволока гладкая, поэтому в системе отсутствуют внутренние диссипативные силы. Все остальные силы либо консервативные, либо не совершают работы. Следовательно, можно применять закон сохранения механической энергии.

6. Поскольку начальное воздействие на бусинку очень малое, её начальную кинетическую энергию также можно считать пренебрежимо малой.

Решение.

1. Согласно условию задачи, при подвешивании бусинки массой m к пружине жёсткостью k она в положении равновесия растягивается на величину $\Delta l = R/3$. В соответствии со вторым законом Ньютона, с учётом закона Гука: $mg = k\Delta l = kR/3$.



2. Рассмотрим состояние системы, в котором ось пружины составляет с вертикалью угол α (см. рисунок). Угол AB_1B прямой, поэтому в данный момент длина пружины равна $l = 2R \cos \alpha$, а высота бусинки над точкой B составляет $h = 2R \sin^2 \alpha$. Обозначим скорость бусинки в рассматриваемый момент через V и учтём, что в исходном состоянии удлинение пружины было равно R . Тогда, согласно закону сохранения механической энергии для данной системы:

$$\frac{kR^2}{2} = \frac{k(l - R)^2}{2} + mgh + \frac{mV^2}{2}.$$

3. Преобразуем это уравнение с учётом ранее записанных соотношений:

$$\frac{kR^2}{2} = \frac{k(2R \cos \alpha - R)^2}{2} + 2mgR \sin^2 \alpha + \frac{mV^2}{2},$$

$$kR^2 = kR^2(2 \cos \alpha - 1)^2 + 4mgR \sin^2 \alpha + mV^2,$$

$$3mgR = 3mgR(2 \cos \alpha - 1)^2 + 4mgR \sin^2 \alpha + mV^2,$$

$$V^2 = 3gR - 3gR(2\cos\alpha - 1)^2 - 4gR\sin^2\alpha = 12gR(\cos\alpha - \cos^2\alpha) - 4gR(1 - \cos^2\alpha) = 4gR(3\cos\alpha - 2\cos^2\alpha - 1).$$

4. Учитывая, что $\cos\alpha = 5/6$, получаем:

$$V^2 = 4gR\left(3 \cdot \frac{5}{6} - 2 \cdot \frac{25}{36} - 1\right) = \frac{4gR}{9}.$$

5. Подставляя численное значение V , находим:

$$R = \frac{9V^2}{4g} = \frac{9 \cdot 2^2}{4 \cdot 10} = 0,9 \text{ м.}$$

Ответ: $R = \frac{9V^2}{4g} = \frac{9 \cdot 2^2}{4 \cdot 10} = 0,9 \text{ м.}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Критерий 1	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор ИСО, выбор модели материальной точки, выбор модели абсолютно твёрдого тела для каркаса, использование модели невесомой пружины, подчиняющейся закону Гука, использование условий применимости закона сохранения механической энергии</i>	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
Критерий 2	
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>второй закон Ньютона, закон Гука, выражения для потенциальной энергии пружины, потенциальной энергии тела в однородном поле силы тяжести, кинетической энергии материальной точки, закон сохранения механической энергии</i>); 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); III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты (подстановка числовых данных в конечную формулу), приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины	3

<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования, но имеется один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения и не зачёркнуты.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины)</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	4