

**Ответы к заданиям**

<b>№ задания</b>	<b>Ответ</b>
5	14
9	34
14	23
18	12
19	$(3,00 \pm 0,04)$

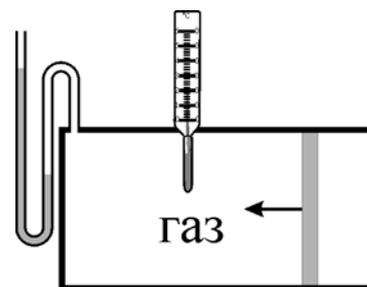
**Ответы к заданиям**

<b>№ задания</b>	<b>Ответ</b>
5	23
9	14
14	13
18	23
19	$(6,00 \pm 0,05)$

## Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

21

В цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем, находится идеальный газ (см. рис.). Давление и температура в сосуде измеряются при помощи U-образного манометра с вертикальными коленами, в который налита жидкость, и спиртового термометра. Стенки сосуда и поршень теплоизолированы, теплообменом газа с манометром можно пренебречь, а термометр обладает очень малой теплоёмкостью.



В исходном состоянии поршень неподвижен, газ находится в термодинамическом равновесии. Поршень начинают медленно перемещать в направлении, показанном стрелкой. Как при этом будут изменяться показания манометра и термометра? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения.

## Возможное решение

1. При перемещении поршня влево объём  $V$  газа уменьшается. Поэтому газ совершает отрицательную работу:  $\Delta A < 0$ . Согласно условию, газ практически не обменивается теплотой с окружающими его телами, и сжатие происходит очень медленно. Поэтому процесс сжатия газа можно считать равновесным и адиабатическим:  $\Delta Q = 0$ .
2. В соответствии с первым законом термодинамики, применённым для данного адиабатического процесса,  $\Delta Q = \Delta U + \Delta A = 0$ . Отсюда изменение внутренней энергии газа  $\Delta U = -\Delta A > 0$ .
3. Внутренняя энергия  $\nu$  молей идеального газа, обладающего молярной теплоёмкостью  $c_V$ , в равновесном состоянии равна  $U = c_V \nu T$ , где  $T$  – абсолютная температура газа. Поэтому  $\Delta U = c_V \nu \Delta T > 0$ , то есть  $\Delta T$  положительно. Следовательно, температура газа увеличивается, и столбик спирта в термометре будет подниматься.
4. Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона, давление газа в равновесном состоянии равно  $p = \nu RT/V$ . Поскольку объём газа уменьшается, а его температура увеличивается, давление газа будет увеличиваться. Следовательно, разность высот столбиков жидкости в коленах манометра будет увеличиваться – в левой трубке столбик жидкости будет подниматься, а в правой – опускаться.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <i>изменение показаний манометра и термометра, п. 3 и п. 4</i> ) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>определение знака работы газа, указание на адиабатичность процесса, первый закон термодинамики, выражение для внутренней энергии идеального газа, уравнение Менделеева-Клапейрона</i> )	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 <u>одному</u> 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
<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

22

Во время автогонок на скоростной трассе один гонщик ехал по горизонтальному прямолинейному участку  $AB$  с постоянной скоростью  $V_1 = 126$  км/ч. Второй гонщик, ехавший с постоянной скоростью на более мощном "болиде", обогнав первого в точке  $A$ , сразу же начал тормозить и остановился в середине участка  $AB$  на время  $\Delta t = 20$  с. Потом второй гонщик ускорился и в точке  $B$  вновь обогнал первого гонщика. При этом в момент обгона он как раз достиг максимальной скорости, равной своей начальной. Считая, что и при торможении, и при последующем разгоне второй гонщик движется с одинаковым максимально возможным ускорением  $a = 0,3g$ , найдите его скорость  $V_2$  при первом и втором обгоне соперника.

### Возможное решение

1. Полное время  $t$  прохождения участка  $AB$  трассы длиной  $L$  одинаково для обоих гонщиков. В силу равномерности движения первого гонщика  $L = V_1 t$ .  
 2. Второй гонщик двигался равнозамедленно с ускорением  $a$  на первой половине участка длиной  $L/2$ , сбавив скорость от  $V_2$  до 0 в течение времени  $t_1$ . Затем, на второй половине участка, он двигался равноускоренно, увеличив скорость от 0 до  $V_2 = at_2$ . Каждую половину участка гонщик преодолевал за одинаковое время  $t_1 = t_2 = V_2/a$ . При этом  $t = 2t_1 + \Delta t = 2V_2/a + \Delta t$ .

3. Время  $t_1$  определяется из выражения для пути, пройденного при равноускоренном движении без начальной скорости:  $L/2 = at_1^2/2$ , откуда  $L = at_1^2 = V_2^2/a$ .

4. Приравнявая полученные выражения для  $L$ , имеем:  $V_2^2/a = V_1 t = V_1(2V_2/a + \Delta t)$  или

$$V_2^2 - 2V_1V_2 - V_1a\Delta t = 0.$$

Решая это квадратное уравнение, выбираем положительный корень и, учитывая, что  $V_1 = 35$  м/с, окончательно находим:

$$V_2 = V_1 + \sqrt{V_1^2 + V_1a\Delta t} = 35 + \sqrt{35^2 + 35 \cdot 3 \cdot 20} \approx 92,7 \text{ м/с} \approx 333,5 \text{ км/ч}.$$

Ответ:  $V_2 \approx 92,7$  м/с  $\approx 333,5$  км/ч.

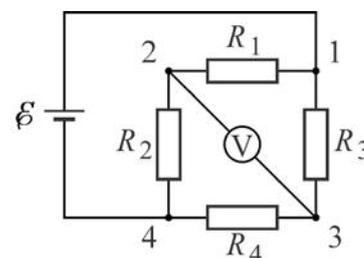
Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом <sup>1</sup> (в данном случае: <i>формулы кинематики для пути и скорости точек при их равномерном и равноускоренном прямолинейном движении</i> ); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин ( <i>за исключением обозначений констант,</i>	2

<sup>1</sup> В качестве исходных принимаются формулы, указанные в кодификаторе проверяемых требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования и элементов содержания для проведения единого государственного экзамена по физике. В случае использования формул, не входящих в кодификатор (и, правила Кирхгофа, момент инерции и т. п.), работа оценивается ведущим экспертом исходя из особенностей предложенного альтернативного способа решения и схемы оценивания.

<p>указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин<sup>2</sup>, 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 изменения искомой величины</p>	
<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 электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, источник постоянного напряжения с ЭДС  $\varepsilon = 12 \text{ В}$  и малым внутренним сопротивлением подключён к точкам 1 и 4 электрической цепи, состоящей из резисторов с сопротивлениями  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 3 \text{ Ом}$  и  $R_4 = 4 \text{ Ом}$ . Найдите, что показывает идеальный вольтметр, подключённый между точками 2 и 3 этой цепи.



<sup>2</sup> Стандартными считаются обозначения физических величин, принятые в кодификаторе проверяемых требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования и элементов содержания для проведения единого государственного экзамена по физике.

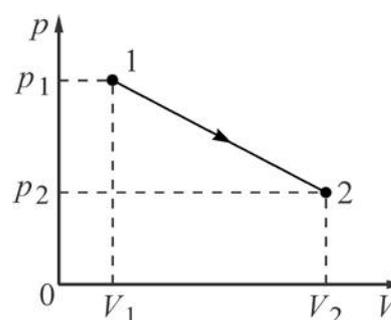
<b>Возможное решение</b>
<p>1. Обозначим токи, текущие по двум параллельным ветвям цепи 1-2-4 и 1-3-4, через <math>I_1</math> и <math>I_2</math>. Сопротивления этих ветвей, согласно формуле для последовательного соединения резисторов, равны <math>R_1 + R_2</math> и <math>R_3 + R_4</math>, соответственно.</p> <p>2. К обеим ветвям подключён источник ЭДС <math>\varepsilon</math>, и по закону Ома для полной (замкнутой) цепи по ним текут токи <math>I_1 = \varepsilon / (R_1 + R_2)</math> и <math>I_2 = \varepsilon / (R_3 + R_4)</math>.</p> <p>3. По закону Ома для участка цепи падения напряжения на резисторах <math>R_2</math> и <math>R_4</math> равны <math>U_{24} = I_1 R_2</math> и <math>U_{34} = I_2 R_4</math>, соответственно.</p> <p>4. Таким образом, искомое напряжение равно</p> $U_{23} = U_{24} - U_{34} = \varepsilon [R_2 / (R_1 + R_2) - R_4 / (R_3 + R_4)].$ <p>Подставляя численные данные из условия, получаем:</p> $U_{23} = 12 \cdot [2 / (1 + 2) - 4 / (3 + 4)] = 12(2/3 - 4/7) = 8/7 \text{ В} \approx 1,14 \text{ В}.$ <p>Ответ: <math>U_{23} = \varepsilon [R_2 / (R_1 + R_2) - R_4 / (R_3 + R_4)] = 8/7 \text{ В} \approx 1,14 \text{ В}.</math></p>

<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, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>формула для сопротивления при последовательном соединении резисторов, законы Ома для полной (замкнутой) цепи и для участка цепи</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>	1

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

24

На  $pV$ -диаграмме изображён процесс 1-2, который проводится с идеальным одноатомным газом. Изображающий этот процесс график является отрезком. Газ в этом процессе получил полное количество теплоты  $Q_{12} = 150$  Дж. Найдите давление газа  $p_2$  в конечном состоянии 2 процесса, если  $p_1 = 2 \cdot 10^5$  Па,  $V_1 = 1$  л,  $V_2 = 2$  л.



**Возможное решение**

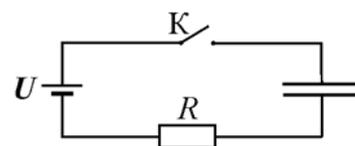
- Согласно первому закону термодинамики  $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$ , где  $\Delta U_{12}$  – изменение внутренней энергии, а  $A_{12}$  – работа газа в процессе.
- Внутренняя энергия одноатомного идеального газа с учётом уравнения Менделеева-Клапейрона может быть записана в виде  $U = (3/2)\nu RT = (3/2)pV$ , так что  $\Delta U_{12} = U_2 - U_1 = (3/2)(p_2V_2 - p_1V_1)$ .
- Элементарная работа газа равна  $A = p\Delta V$ , и полная работа в процессе 1-2 численно равняется площади под графиком процесса:  $A_{12} = [(p_1 + p_2)/2] \cdot (V_2 - V_1)$ .
- Подставляя полученные выражения для  $\Delta U_{12}$  и  $A_{12}$  в первый закон термодинамики, получим:  $Q_{12} = (3/2)(p_2V_2 - p_1V_1) + [(p_1 + p_2)/2] \cdot (V_2 - V_1)$ .
- Выражая отсюда давление в состоянии 2, получаем:  
$$p_2 = [2Q_{12} + p_1(4V_1 - V_2)] / (4V_2 - V_1)$$
- Подставляя численные данные в системе СИ из условия задачи, получаем:  
$$p_2 = [2 \cdot 150 + 2 \cdot 10^5 \cdot (4 \cdot 1 - 2) \cdot 10^{-3}] / [(4 \cdot 2 - 1) \cdot 10^{-3}] = 1 \cdot 10^5 \text{ Па} = 1 \text{ атм.}$$
  
Ответ:  $p_2 = [2Q_{12} + p_1(4V_1 - V_2)] / (4V_2 - V_1) = 10^5 \text{ Па} = 1 \text{ атм.}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
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>уравнение Менделеева-Клапейрона, выражение для внутренней энергии идеального одноатомного газа, определение работы газа, первый закон термодинамики</i> ); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин ( <i>за исключением обозначений констант,</i>	3

<p>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>	
<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 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>	3

25

На рисунке изображена схема электрической цепи, в состав которой входят последовательно соединённые резистор, незаряженный плоский конденсатор, высоковольтный источник постоянного напряжения



с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением и разомкнутый ключ. Напряжение источника  $U = 1$  кВ, площадь пластин конденсатора  $S = 100$  см<sup>2</sup>, расстояние между пластинами  $d = 8,85$  мм. Ключ замыкают и ждут зарядки конденсатора. Затем, не размыкая ключа, всё пространство между обкладками конденсатора очень медленно заполняют дистиллированной водой, которая не проводит электрический ток и обладает диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 81$ . Какую работу совершают внешние силы в процессе заполнения конденсатора водой? Считайте, что  $\epsilon_0 = 1/(4\pi k) \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м, где  $k = 9 \cdot 10^9$  Н·м<sup>2</sup>/Кл<sup>2</sup> – коэффициент пропорциональности в законе Кулона. Ответ дайте с учётом знака.

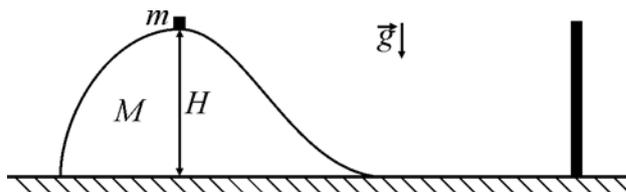
<b>Возможное решение</b>	
<p>1) После замыкания ключа конденсатор зарядится до напряжения <math>U</math> и приобретёт заряд <math>q_1 = CU</math>, где <math>C = \epsilon_0 S/d</math> – электрическая ёмкость конденсатора в отсутствие диэлектрика между пластинами.</p> <p>2) После заполнения пространства между пластинами конденсатора водой ёмкость конденсатора увеличится и станет равна <math>\epsilon C</math>. Напряжение на конденсаторе не изменится, поэтому его заряд возрастёт до величины <math>q_2 = \epsilon CU</math>.</p> <p>3) При дозарядке конденсатора через источник протечёт заряд <math>\Delta q = q_2 - q_1 = (\epsilon - 1)CU</math>. Поэтому источник совершит работу <math>A_{\text{ист}} = U\Delta q = (\epsilon - 1)CU^2</math>.</p> <p>4) Так как процесс дозарядки происходит очень медленно, то теплота в резисторе не выделяется. Поэтому, согласно закону сохранения энергии для замкнутой электрической цепи, работа источника и работа внешних сил <math>A_{\text{внеш}}</math> расходуется на изменение энергии конденсатора:</p> $A_{\text{ист}} + A_{\text{внеш}} = (\epsilon - 1)CU^2 + A_{\text{внеш}} = \epsilon CU^2/2 - CU^2/2.$ <p>Отсюда</p> $A_{\text{внеш}} = -\frac{(\epsilon - 1)CU^2}{2} = -\frac{(\epsilon - 1)\epsilon_0 SU^2}{2d} = -\frac{(81 - 1) \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,01 \cdot 1000^2}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-3}} = -0,4 \text{ мДж}.$	

<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, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>связь между зарядом, напряжением и ёмкостью конденсатора, формула для ёмкости плоского конденсатора, формула для работы источника напряжения, закон сохранения энергии для замкнутой электрической цепи</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант,</p>	3

<p>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 (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 <b>одному</b> 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>	3

26

На горизонтальном столе находится незакреплённая горка высотой  $H=45$  см и массой  $M$ , на вершине которой удерживают маленький брусок массой  $m = M/2$ . Трение отсутствует. Брусок при соскальзывании с горки без удара переходит на поверхность стола. В исходном состоянии горка и брусок покоятся относительно стола. Горку и брусок одновременно отпускают, не сообщая им начальной скорости. После соскальзывания с горки брусок абсолютно упруго ударяется о закреплённую вертикальную стену, после чего направление движения бруска изменяется на противоположное, и он начинает догонять горку. На какую максимальную высоту над столом поднимется брусок по склону горки? Считайте, что горка всё время движется поступательно.



### Возможное решение

#### Обоснование

1. Введём инерциальную систему отсчёта (ИСО), связанную со столом.
2. При описании движения бруска используем модель материальной точки.
3. Так как, согласно условию задачи, горка всё время движется поступательно, будем рассматривать движение тел, происходящее в плоскости рисунка.
3. Для описания взаимодействия горки и бруска воспользуемся законом сохранения проекции импульса на горизонтальную ось, лежащую в плоскости рисунка. Этот закон справедлив в ИСО для системы тел в случае, если сумма проекций внешних сил на выбранную ось равна нулю, что справедливо для данной системы тел.
4. Будем применять для системы тел "горка + брусок + стол + Земля" закон сохранения механической энергии. Он выполняется в ИСО для системы тел в случае, если сумма работ внешних сил и сумма работ внутренних неконсервативных сил, действующих на тела системы, равна нулю. В данном случае внешние силы отсутствуют, силы трения отсутствуют, а работа сил взаимодействия горки и стола с бруском равна нулю в силу того, что данные силы в любой момент времени перпендикулярны вектору скорости движущегося бруска.
5. При абсолютно упругом соударении бруска со стенкой кинетическая энергия бруска не изменяется. Поэтому скорость бруска после соударения изменяет направление, но не изменяется по модулю.

#### Решение

1) Пусть после соскальзывания с горки брусок приобрёл относительно стола скорость  $v$ , направленную к стенке, а горка приобрела скорость  $u$ , направленную от стенки. Тогда законы сохранения проекции импульса на горизонтальную ось и механической энергии для процесса соскальзывания бруска с горки можно записать в виде:

$$mv = Mu, \quad mgH = \frac{mv^2}{2} + \frac{Mu^2}{2}.$$

Отсюда  $u = mv/M = v/2$ .

2) После соударения со стенкой брусок будет двигаться в сторону горки со скоростью, модуль которой равен  $v > u$ , то есть брусок действительно догонит горку. Снова применим для их взаимодействия законы сохранения проекции импульса на горизонтальную ось и механической энергии:

$$mv + Mu = (m + M)V, \quad mgH = mgh + \frac{(m + M)V^2}{2}.$$

Здесь  $V$  – скорости горки и бруска в момент, когда брусок остановится относительно горки,  $h$  – искомая высота, на которую поднимется брусок.

3) Из первых двух уравнений получаем:  $\frac{mv^2}{2} = \frac{mMgH}{m + M}$ . Из третьего и четвертого

уравнений получаем:  $mgH = mgh + \frac{mv^2}{2} \cdot \frac{4m}{m + M}$ .

Поэтому  $mgH = mgh + \frac{mMgH}{m + M} \cdot \frac{4m}{m + M}$ , откуда

$$h = H \left( \frac{M - m}{M + m} \right)^2 = H \left( \frac{(M/m) - 1}{(M/m) + 1} \right)^2 = \frac{1}{9} H = 5 \text{ см}.$$

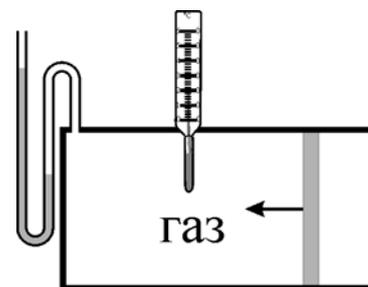
Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<b>Критерий 1</b>	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор инерциальной системы отсчёта, поступательность движения, законы сохранения проекции импульса и механической энергии, абсолютно упругий удар</i>	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
<b>Критерий 2</b>	
I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>законы сохранения проекции импульса и механической энергии, выражения для потенциальной энергии материальной точки в поле силы тяжести и для кинетической энергии материальной точки</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) представлены 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 физической 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 <b>одному</b> 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

В цилиндрическом сосуде, закрытом подвижным поршнем, находится идеальный газ (см. рис.). Давление и температура в сосуде измеряются при помощи U-образного манометра с вертикальными коленами, в который налита жидкость, и спиртового термометра. Стенки сосуда и поршень теплоизолированы, теплообменом газа с манометром можно пренебречь, а термометр обладает очень малой теплоёмкостью.



В исходном состоянии поршень неподвижен, газ находится в термодинамическом равновесии. Поршень начинают медленно перемещать в направлении, показанном стрелкой. Как при этом будут изменяться показания манометра и термометра? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности Вы использовали для объяснения.

## Возможное решение

1. При перемещении поршня влево объём  $V$  газа уменьшается. Поэтому газ совершает отрицательную работу:  $\Delta A < 0$ . Согласно условию, газ практически не обменивается теплотой с окружающими его телами, и сжатие происходит очень медленно. Поэтому процесс сжатия газа можно считать равновесным и адиабатическим:  $\Delta Q = 0$ .
2. В соответствии с первым законом термодинамики, применённым для данного адиабатического процесса,  $\Delta Q = \Delta U + \Delta A = 0$ . Отсюда изменение внутренней энергии газа  $\Delta U = -\Delta A > 0$ .
3. Внутренняя энергия  $\nu$  молей идеального газа, обладающего молярной теплоёмкостью  $c_V$ , в равновесном состоянии равна  $U = c_V \nu T$ , где  $T$  – абсолютная температура газа. Поэтому  $\Delta U = c_V \nu \Delta T > 0$ , то есть  $\Delta T$  положительно. Следовательно, температура газа увеличивается, и столбик спирта в термометре будет подниматься.
4. Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона, давление газа в равновесном состоянии равно  $p = \nu RT/V$ . Поскольку объём газа уменьшается, а его температура увеличивается, давление газа будет увеличиваться. Следовательно, разность высот столбиков жидкости в коленях манометра будет увеличиваться – в левой трубке столбик жидкости будет подниматься, а в правой – опускаться.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <i>изменение показаний манометра и термометра, п. 3 и п. 4</i> ) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>определение знака работы газа, указание на адиабатичность процесса, первый закон термодинамики, выражение для внутренней энергии идеального газа, уравнение Менделеева-Клапейрона</i> )	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 <u>одному</u> 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
<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

22

Во время автогонок на скоростной трассе один гонщик ехал по горизонтальному прямолинейному участку  $AB$  с постоянной скоростью  $V_1 = 144$  км/ч. Второй гонщик, ехавший с постоянной скоростью на более мощном "болиде", обогнав первого в точке  $A$ , сразу же начал тормозить и остановился в середине участка  $AB$  на время  $\Delta t = 15$  с. Потом второй гонщик ускорился и в точке  $B$  вновь обогнал первого гонщика. При этом в момент обгона он как раз достиг максимальной скорости, равной своей начальной. Считая, что и при торможении, и при последующем разгоне второй гонщик движется с одинаковым максимально возможным ускорением  $a = 0,3g$ , найдите продолжительность его торможения.

### Возможное решение

1. Полное время  $t$  прохождения участка  $AB$  трассы длиной  $L$  одинаково для обоих гонщиков. В силу равномерности движения первого гонщика  $L = V_1 t$ .  
 2. Второй гонщик двигался равнозамедленно с ускорением  $a$  на первой половине участка длиной  $L/2$ , сбавив скорость от  $V_2$  до 0 в течение времени  $t_1$ . Затем, на второй половине участка, он двигался равноускоренно, увеличив скорость от 0 до  $V_2 = at_2$ . Каждую половину участка гонщик преодолевал за одинаковое время  $t_1 = t_2$ . При этом  $t = 2t_1 + \Delta t$ .

3. Время  $t_1$  определяется из выражения для пути, пройденного при равноускоренном движении без начальной скорости:  $L/2 = at_1^2/2$ , откуда  $L = at_1^2$ .

4. Приравнявая полученные выражения для  $L$ , имеем:  $at_1^2 = V_1(2t_1 + \Delta t)$  или

$$at_1^2 - 2V_1 t_1 - V_1 \Delta t = 0.$$

Решая это квадратное уравнение, выбираем положительный корень и, учитывая, что  $V_1 = 40$  м/с, окончательно находим:

$$t_1 = \frac{V_1 + \sqrt{V_1^2 + V_1 a \Delta t}}{a} = \frac{40 + \sqrt{40^2 + 40 \cdot 3 \cdot 15}}{3} \approx 33 \text{ с.}$$

Ответ:  $t_1 \approx 33$  с.

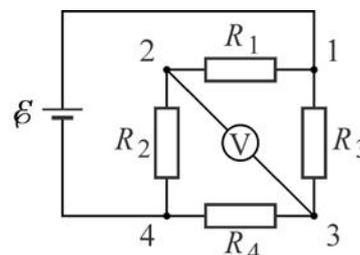
Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом <sup>1</sup> (в данном случае: <i>формулы кинематики для пути и скорости точек при их равномерном и равноускоренном прямолинейном движении</i> ); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин ( <i>за исключением обозначений констант,</i>	2

<sup>1</sup> В качестве исходных принимаются формулы, указанные в кодификаторе проверяемых требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования и элементов содержания для проведения единого государственного экзамена по физике. В случае использования формул, не входящих в кодификатор (и, правила Кирхгофа, момент инерции и т. п.), работа оценивается ведущим экспертом исходя из особенностей предложенного альтернативного способа решения и схемы оценивания.

<p>указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин<sup>2</sup>, 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 изменения искомой величины</p>	
<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 электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, источник постоянного напряжения с малым внутренним сопротивлением подключён к точкам 1 и 4 электрической цепи, состоящей из резисторов с сопротивлениями  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом,  $R_3 = 3$  Ом и  $R_4 = 4$  Ом. Идеальный вольтметр, подключённый между точками 2 и 3 этой цепи, показывает напряжение  $U_{23} = 2$  В. Найдите ЭДС источника напряжения.



<sup>2</sup> Стандартными считаются обозначения физических величин, принятые в кодификаторе проверяемых требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования и элементов содержания для проведения единого государственного экзамена по физике.

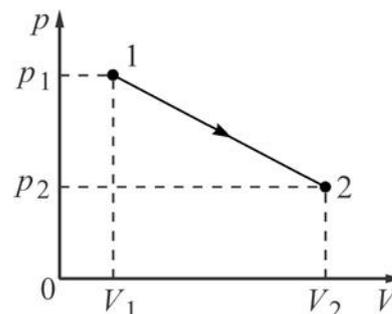
<b>Возможное решение</b>
<p>1. Обозначим токи, текущие по двум параллельным ветвям цепи 1-2-4 и 1-3-4, через <math>I_1</math> и <math>I_2</math>. Сопротивления этих ветвей, согласно формуле для последовательного соединения резисторов, равны <math>R_1 + R_2</math> и <math>R_3 + R_4</math>, соответственно.</p> <p>2. К обеим ветвям подключён источник ЭДС <math>\varepsilon</math>, и по закону Ома для полной (замкнутой) цепи по ним текут токи <math>I_1 = \varepsilon / (R_1 + R_2)</math> и <math>I_2 = \varepsilon / (R_3 + R_4)</math>.</p> <p>3. По закону Ома для участка цепи падения напряжения на резисторах <math>R_2</math> и <math>R_4</math> равны <math>U_{24} = I_1 R_2</math> и <math>U_{34} = I_2 R_4</math>, соответственно.</p> <p>4. Таким образом,</p> $U_{23} = U_{24} - U_{34} = \varepsilon [R_2 / (R_1 + R_2) - R_4 / (R_3 + R_4)] =$ $= \varepsilon [2 / (1 + 2) - 4 / (3 + 4)] = 12(2/3 - 4/7) = (2/21)\varepsilon.$ <p>Следовательно,</p> $\varepsilon = 21U_{23}/2 = 21 \text{ В.}$ <p>Ответ: <math>\varepsilon = 21U_{23}/2 = 21 \text{ В.}</math></p>

<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, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>формула для сопротивления при последовательном соединении резисторов, законы Ома для полной (замкнутой) цепи и для участка цепи</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>	1

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

24

На  $pV$ -диаграмме изображён процесс 1-2, который проводится с идеальным одноатомным газом. Изображающий этот процесс график является отрезком. Газ в этом процессе получил полное количество теплоты  $Q_{12} = 400$  Дж. Найдите объём газа  $V_2$  в конечном состоянии 2 процесса, если  $p_1 = 3 \cdot 10^5$  Па,  $p_2 = 10^5$  Па,  $V_1 = 1$  л.



**Возможное решение**

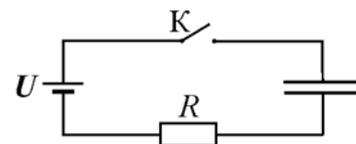
- Согласно первому закону термодинамики  $Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$ , где  $\Delta U_{12}$  – изменение внутренней энергии, а  $A_{12}$  – работа газа в процессе.
  - Внутренняя энергия одноатомного идеального газа с учётом уравнения Менделеева-Клапейрона может быть записана в виде  $U = (3/2)\nu RT = (3/2)pV$ , так что  $\Delta U_{12} = U_2 - U_1 = (3/2)(p_2V_2 - p_1V_1)$ .
  - Элементарная работа газа равна  $A = p\Delta V$ , и полная работа в процессе 1-2 численно равняется площади под графиком процесса:  $A_{12} = [(p_1 + p_2)/2] \cdot (V_2 - V_1)$ .
  - Подставляя полученные выражения для  $\Delta U_{12}$  и  $A_{12}$  в первый закон термодинамики, получим:  $Q_{12} = (3/2)(p_2V_2 - p_1V_1) + [(p_1 + p_2)/2] \cdot (V_2 - V_1)$ .
  - Выражая отсюда объём в состоянии 2, получаем:  
$$V_2 = [2Q_{12} + V_1(4p_1 + p_2)] / (4p_2 + p_1)$$
  - Подставляя численные данные в системе СИ из условия задачи, получаем:  
$$V_2 = [2 \cdot 400 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot (4 \cdot 3 + 1) \cdot 10^5] / [(4 \cdot 1 + 3) \cdot 10^5] = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 3 \text{ л.}$$
- Ответ:  $V_2 = [2Q_{12} + V_1(4p_1 + p_2)] / (4p_2 + p_1) = 3$  л.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
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>уравнение Менделеева-Клапейрона, выражение для внутренней энергии идеального одноатомного газа, определение работы газа, первый закон термодинамики</i> ); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии	3

<p>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>	
<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 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>	3

25

На рисунке изображена схема электрической цепи, в состав которой входят последовательно соединённые резистор, незаряженный плоский конденсатор, высоковольтный источник постоянного напряжения с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением и разомкнутый ключ. Напряжение источника  $U = 2$  кВ, площадь пластин конденсатора  $S = 150$  см<sup>2</sup>, расстояние между пластинами  $d = 8,85$  мм. Всё пространство между обкладками конденсатора заполнено дистиллированной водой, которая не проводит электрический ток и обладает диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 81$ . Ключ замыкают и ждут зарядки конденсатора. Затем, не размыкая ключа, очень медленно удаляют из пространства между пластинами всю воду. Какую работу совершают внешние силы в процессе удаления воды из конденсатора? Считайте, что  $\epsilon_0 = 1/(4\pi k) \approx 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м, где  $k = 9 \cdot 10^9$  Н·м<sup>2</sup>/Кл<sup>2</sup> – коэффициент пропорциональности в законе Кулона. Ответ дайте с учётом знака.



**Возможное решение**

1) После замыкания ключа конденсатор зарядится до напряжения  $U$  и приобретёт заряд  $q_1 = \epsilon CU$ , где  $C = \epsilon_0 S/d$  – электрическая ёмкость конденсатора в отсутствие диэлектрика между пластинами.

2) После удаления воды из пространства между пластинами конденсатора его ёмкость уменьшится и станет равна  $C$ . Напряжение на конденсаторе не изменится, поэтому его заряд уменьшится до величины  $q_2 = CU$ .

3) При частичной разрядке конденсатора через источник протечёт заряд  $\Delta q = q_2 - q_1 = -(\epsilon - 1)CU$ . Поэтому источник совершит работу

$$A_{\text{ист}} = U\Delta q = -(\epsilon - 1)CU^2.$$

4) Так как процесс разрядки происходит очень медленно, то теплота в резисторе не выделяется. Поэтому, согласно закону сохранения энергии для замкнутой электрической цепи, работа источника и работа внешних сил  $A_{\text{внеш}}$  расходуется на изменение энергии конденсатора:

$$A_{\text{ист}} + A_{\text{внеш}} = -(\epsilon - 1)CU^2 + A_{\text{внеш}} = CU^2/2 - \epsilon CU^2/2.$$

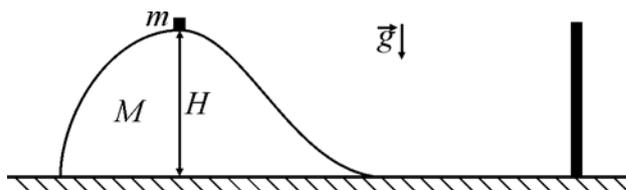
$$\text{Отсюда } A_{\text{внеш}} = \frac{(\epsilon - 1)CU^2}{2} = \frac{(\epsilon - 1)\epsilon_0 SU^2}{2d} = \frac{(81 - 1) \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,01 \cdot 2000^2}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-3}} = +2,4 \text{ мДж.}$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
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>связь между зарядом, напряжением и ёмкостью конденсатора, формула для ёмкости плоского конденсатора, формула для работы источника напряжения, закон сохранения энергии для замкнутой электрической цепи</i> ); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант,	3

<p>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 (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 <b>одному</b> 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>	3

26

На горизонтальном столе находится незакреплённая горка высотой  $H = 54$  см и массой  $M = 1$  кг, на вершине которой удерживают маленький брусок массой  $m = M/2$ .



Трение отсутствует. Брусок при соскальзывании с горки без удара переходит на поверхность стола. В исходном состоянии горка и брусок покоятся относительно стола. Горку и брусок одновременно отпускают, не сообщая им начальной скорости. После соскальзывания с горки брусок абсолютно упруго ударяется о закреплённую вертикальную стену, после чего направление движения бруска изменяется на противоположное, и он начинает догонять горку. Чему будет равна потенциальная энергия бруска относительно стола в момент, когда брусок поднимется по склону горки на максимальную высоту над столом? Считайте, что горка всё время движется поступательно.

### Возможное решение

#### Обоснование

1. Введём инерциальную систему отсчёта (ИСО), связанную со столом.
2. При описании движения бруска используем модель материальной точки.
3. Так как, согласно условию задачи, горка всё время движется поступательно, будем рассматривать движение тел, происходящее в плоскости рисунка.
3. Для описания взаимодействия горки и бруска воспользуемся законом сохранения проекции импульса на горизонтальную ось, лежащую в плоскости рисунка. Этот закон справедлив в ИСО для системы тел в случае, если сумма проекций внешних сил на выбранную ось равна нулю, что справедливо для данной системы тел.
4. Будем применять для системы тел "горка + брусок + стол + Земля" закон сохранения механической энергии. Он выполняется в ИСО для системы тел в случае, если сумма работ внешних сил и сумма работ внутренних неконсервативных сил, действующих на тела системы, равна нулю. В данном случае внешние силы отсутствуют, силы трения отсутствуют, а работа сил взаимодействия горки и стола с бруском равна нулю в силу того, что данные силы в любой момент времени перпендикулярны вектору скорости движущегося бруска.
5. При абсолютно упругом соударении бруска со стенкой кинетическая энергия бруска не изменяется. Поэтому скорость бруска после соударения изменяет направление, но не изменяется по модулю.

#### Решение

1) Пусть после соскальзывания с горки брусок приобрёл относительно стола скорость  $v$ , направленную к стенке, а горка приобрела скорость  $u$ , направленную от стенки. Тогда законы сохранения проекции импульса на горизонтальную ось и механической энергии для процесса соскальзывания бруска с горки можно записать в виде:

$$mv = Mu, \quad mgH = \frac{mv^2}{2} + \frac{Mu^2}{2}.$$

Отсюда  $u = mv/M = v/2$ .

2) После соударения со стенкой брусок будет двигаться в сторону горки со скоростью, модуль которой равен  $v > u$ , то есть брусок действительно догонит горку. Снова применим для их взаимодействия законы сохранения проекции импульса на горизонтальную ось и механической энергии:

$$mv + Mu = (m + M)V, \quad mgH = mgh + \frac{(m + M)V^2}{2}.$$

Здесь  $V$  – скорости горки и бруска в момент, когда брусок остановится относительно горки,  $h$  – искомая высота, на которую поднимется брусок.

3) Из первых двух уравнений получаем:  $\frac{mv^2}{2} = \frac{mMgH}{m + M}$ . Из третьего и четвертого уравнений получаем:  $mgH = mgh + \frac{mv^2}{2} \cdot \frac{4m}{m + M}$ . Поэтому

$mgH = mgh + \frac{mMgH}{m + M} \cdot \frac{4m}{m + M}$ , откуда искомая потенциальная энергия бруска

$$U = mgh = mgH \left( 1 - \frac{4mM}{(m + M)^2} \right) = mgH \left( \frac{M - m}{M + m} \right)^2 = \frac{MgH}{2} \left( \frac{M/m - 1}{M/m + 1} \right)^2 = \frac{MgH}{18} = 0,3 \text{ Дж}.$$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<b>Критерий 1</b>	
Верно обоснована возможность использования законов (закономерностей). В данном случае: <i>выбор инерциальной системы отсчёта, поступательность движения, законы сохранения проекции импульса и механической энергии, абсолютно упругий удар</i>	1
В обосновании отсутствует один или несколько из элементов. ИЛИ В обосновании допущена ошибка. ИЛИ Обоснование отсутствует	0
<b>Критерий 2</b>	
I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>законы сохранения проекции импульса и механической энергии, выражения для потенциальной энергии материальной точки в поле силы тяжести и для кинетической энергии материальной точки</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) представлены необходимые математические преобразования	3

<p>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 физической 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 <b>одному</b> 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