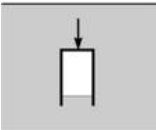


Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

C1

Пустой тонкостенный цилиндрический стакан переворачивают вверх дном и медленно погружают в глубокий водоем, удерживая ось стакана в вертикальном положении. Над поверхностью водоема находится воздух, температура которого равна температуре воды. Опираясь на законы механики и молекулярной физики, объясните, как при погружении стакана от поверхности воды вглубь водоема будет изменяться модуль выталкивающей силы, действующей на стакан.



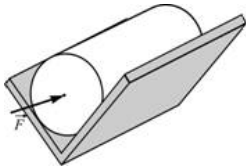
Решение:

- 1) При медленном погружении перевернутого стакана вглубь водоема на находящиеся в стакан воздух и пары воды будет действовать сила давления воды. Эта сила складывается из постоянной силы атмосферного давления на поверхность водоема и силы дополнительного гидростатического давления столба воды над ее уровнем в стакане. Последняя сила возрастает с глубиной погружения стакана, поэтому давление газов внутри стакана будет возрастать.
- 2) Так как температура по условию задачи постоянна, а давление газов при погружении возрастает, то объем, занимаемый в стакане воздухом и паром, по мере погружения стакана будет уменьшаться. Это будет происходить из-за затекания в стакан воды под действием возрастающей силы гидростатического давления. Уменьшение занимаемого воздухом и паром объема стакана, в соответствии с законом Архимеда, будет приводить к уменьшению модуля действующей на стакан выталкивающей силы.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае – <i>правильно указано изменение модуля действующей на стакан выталкивающей силы</i>), и полное верное объяснение с указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае – <i>качественная зависимость гидростатического давления столба воды от глубины, объяснение причин уменьшения объема газов в стакане, ссылка на закон Архимеда</i>).	3
Приведено решение и дан верный ответ, но имеется один из следующих недостатков: – в объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы; ИЛИ – рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты; ИЛИ – указаны не все физические явления и законы, необходимые для <u>полного правильного решения</u> .	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ; ИЛИ – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан; ИЛИ – <u>представлен только правильный ответ без обоснований</u> .	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3

C2

Из двух ровных досок сделан желоб, представляющий собой двугранный угол с раствором $2\alpha = 90^\circ$. Желоб закреплен так, что его ребро горизонтально, а доски симметричны относительно вертикали. В желобе на боковой поверхности лежит цилиндр массой $m = 1$ кг. Коэффициент трения между досками и цилиндром равен $\mu = 0,2$. К торцу цилиндра приложена горизонтально направленная сила $F = 3$ Н. Найдите модуль ускорения цилиндра.



Образец возможного решения

Изобразим вид на желоб со стороны торца цилиндра. На цилиндр в плоскости чертежа действуют направленная вниз сила тяжести $m\vec{g}$ и две равные по модулю силы реакции $\vec{N}$ досок, направленные перпендикулярно стенкам желоба. Так как цилиндр не движется в вертикальном направлении, то, в соответствии со вторым законом Ньютона, сумма проекций этих трех сил на вертикаль равна нулю:

$$mg = 2N \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = 2N \sin \alpha, \text{ где } \alpha = 45^\circ.$$

Отсюда $N = \frac{mg}{2 \sin \alpha}.$

В горизонтальном направлении (вдоль желоба) на цилиндр действуют сила $\vec{F}$, а также, в противоположном направлении, две силы сухого трения $\vec{F}_{\text{тр}}$

Предположим, что цилиндр будет двигаться по желобу. Тогда по закону Амонтона-Кулона для силы сухого трения скольжения можно записать:

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \frac{\mu mg}{2 \sin \alpha}.$$

Записывая второй закон Ньютона в проекции на горизонтальную ось, направленную вдоль ребра желоба, получим:

$$ma = F - 2F_{\text{тр}} = F - \frac{\mu mg}{\sin \alpha},$$

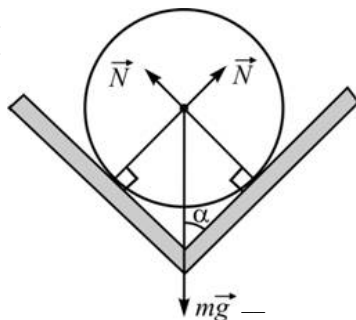
где a – модуль искомого ускорения цилиндра. Заметим, что $F > \frac{\mu mg}{\sin \alpha}.$

Это означает, что приложенная к торцу цилиндра сила превышает силу трения покоя, то есть цилиндр и в самом деле будет скользить вдоль желоба.

Следовательно, $a = \frac{F}{m} - \frac{\mu g}{\sin \alpha}.$ Подставляя числовые данные и проверяя размерность, окончательно получим:

$$a = \frac{F}{m} - \frac{\mu g}{\sin \alpha} = (3 - 2\sqrt{2}) \text{ м/с}^2 \approx 0,2 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a = \frac{F}{m} - \frac{\mu g}{\sin \alpha} \approx 0,2 \text{ м/с}^2.$



Критерии оценки выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно сделан чертеж и записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – <i>правильно указаны направления сил тяжести и реакции досок, записан второй закон Ньютона в проекциях на вертикальную и горизонтальную оси, применен закон Амонтона-Кулона для определения модуля силы трения скольжения</i>); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3
Представленное решение содержит п.1 полного решения, но и имеет один из следующих недостатков: – в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка; ИЛИ – необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены; ИЛИ – не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде; ИЛИ – решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа; ИЛИ – в решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи; ИЛИ – в ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3

С3 Среднеквадратичная скорость молекул идеального одноатомного газа, заполняющего закрытый сосуд, равна $\bar{v} = 450$ м/с. Как и на сколько изменится среднеквадратичная скорость молекул этого газа, если давление в сосуде вследствие охлаждения газа уменьшить на 19%?

Решение:

Среднеквадратичная скорость молекул идеального газа при температуре T равна $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$, где k – постоянная Больцмана, m_0 – масса одной молекулы

этого газа. Учитывая соотношение $\frac{M}{m_0} = \frac{R}{k} = N_A$, где R – универсальная газовая постоянная, M – молярная масса газа, N_A – постоянная Авогадро,

выразим среднеквадратичную скорость молекул в виде $\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$.

Согласно уравнению Клапейрона-Менделеева, $pV = \nu RT = \frac{m}{M}RT$, где p – давление газа, V – объем сосуда, m – масса газа. Из этих выражений следует, что $\frac{RT}{M} = \frac{\bar{v}^2}{3} = \frac{pV}{m}$. Тогда начальная и конечная среднеквадратичная

скорости $\bar{v}_1 = \bar{v} = \sqrt{\frac{3p_1V}{m}}$ и $\bar{v}_2 = \sqrt{\frac{3p_2V}{m}}$. Здесь учтено, что изменение давления в сосуде происходит при неизменном объеме (закрытый сосуд).

Согласно условию задачи, $p_2 = p_1 - 0,19p_1 = 0,81p_1$. Следовательно, $\bar{v}_2 = \sqrt{\frac{3p_2V}{m}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 0,81p_1V}{m}} = \bar{v}_1\sqrt{0,81} = 0,9\bar{v}_1$. Отсюда следует, что изменение среднеквадратичной скорости молекул

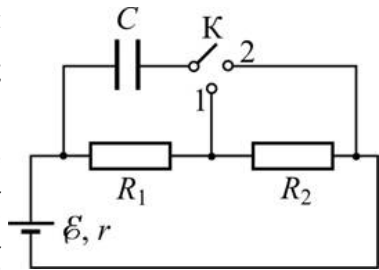
$$\Delta \bar{v} = \bar{v}_2 - \bar{v}_1 = 0,9\bar{v}_1 - \bar{v}_1 = -0,1\bar{v} = -0,1 \cdot 450 \text{ м/с} = -45 \text{ м/с}.$$

Таким образом, среднеквадратичная скорость молекул газа уменьшится на 45 м/с.

Ответ: среднеквадратичная скорость молекул газа уменьшится на 45 м/с.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – <i>выражения для среднеквадратичной скорости молекул, связь между массой молекулы газа и его молярной массой, уравнение Клапейрона-Менделеева</i>); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3
Представленное решение содержит п.1 полного решения, но и имеет один из следующих недостатков: – в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка; ИЛИ – необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены; ИЛИ – не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде; ИЛИ – решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа; ИЛИ – в решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи; ИЛИ – в ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3

С4 В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, конденсатор C изначально не заряжен. Ключ K переводят в положение 1. Затем, спустя очень большое время, переключают его в положение 2, и снова ждут в течение достаточно большого промежутка времени. В результате перевода ключа в положение 2 энергия конденсатора увеличивается в $n = 9$ раз. Найдите сопротивление резистора R_2 , если $R_1 = 10\text{ Ом}$.



Образец возможного решения

Обозначим напряжение на конденсаторе после перевода ключа в положение 1 через U_1 , а после перевода ключа в положение 2 – через U_2 . Поскольку энергия E конденсатора, заряженного до напряжения U , равна $E = CU^2 / 2$, то отношение энергии конденсатора при положении ключа 2 к энергии конденсатора при положении ключа 1 равно

$$n = \frac{E_2}{E_1} = \frac{CU_2^2 / 2}{CU_1^2 / 2} = \frac{U_2^2}{U_1^2}.$$

Пусть сила тока, текущего через резисторы, равна I . При этом напряжения U_1 и U_2 на конденсаторе равны напряжениям на соответствующих участках цепи, имеющих сопротивления R_1 и $R_1 + R_2$. На основании закона Ома для участка цепи, получаем:

$$U_1 = IR_1 \text{ и } U_2 = I(R_1 + R_2).$$

Следовательно,
$$n = \frac{U_2^2}{U_1^2} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right)^2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)^2.$$

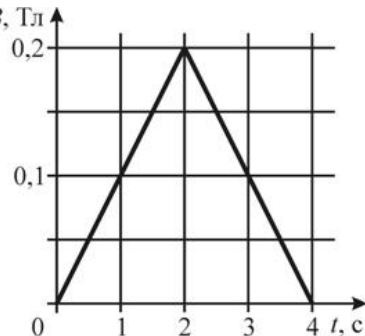
Отсюда $R_2 = R_1(\sqrt{n} - 1) = 20\text{ Ом}.$

Ответ: $R_2 = R_1(\sqrt{n} - 1) = 20\text{ Ом}.$

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – формула для расчета энергии заряженного конденсатора, формула для вычисления сопротивления при последовательном соединении резисторов, закон Ома для участка цепи); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3
Представленное решение содержит п.1 полного решения, но и имеет один из следующих недостатков: – в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка; ИЛИ – необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены; ИЛИ – не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде; ИЛИ – решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа; ИЛИ – в решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи; ИЛИ – в ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3

С5

Намотанная на каркас проволоочная катушка сопротивлением $R = 2 \text{ Ом}$, выводы которой соединены друг с другом, помещена в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости витков катушки. Модуль вектора магнитной индукции B поля изменяется с течением времени t так, как показано на графике. К моменту времени $\tau = 1 \text{ с}$ через катушку протек электрический заряд $q = 5 \text{ мКл}$. Сколько витков содержит катушка, если все витки одинаковые и имеют площадь $S = 100 \text{ см}^2$?



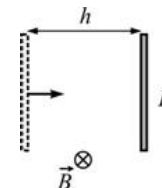
Решение: В соответствии с законом электромагнитной индукции Фарадея, заряд, протекший через проводящий контур, равен отношению изменения потока вектора магнитной индукции через площадь контура к сопротивлению этого контура: $q = \frac{\Delta\Phi}{R}$. Так как в данном случае контур представляет собой проволоочную катушку из N одинаковых витков, то $\Delta\Phi = \Delta B \cdot SN$, где ΔB - изменение модуля вектора магнитной индукции за время $\tau = 1 \text{ с}$. Поэтому $N = \frac{\Delta\Phi}{S\Delta B} = \frac{qR}{S\Delta B}$. Из графика следует, что $\Delta B = 0,1 \text{ Тл}$. Подставляя в полученную формулу числовые данные и проверяя размерность, найдем: $N = 10$.

Ответ: $N = \frac{qR}{S\Delta B} = 10$, где $\Delta B = 0,1 \text{ Тл}$.

Указания по оцениванию	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – закон электромагнитной индукции Фарадея, формула для расчета потока вектора магнитной индукции); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3
Приведено решение и дан верный ответ, но имеется один из следующих недостатков: – в объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы; ИЛИ – рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты; ИЛИ – указаны не все физические явления и законы, необходимые для полного правильного решения.	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ; ИЛИ – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан; ИЛИ – представлен только правильный ответ без обоснований.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3

С6

Тонкий стержень длиной $L = 50 \text{ см}$ начинает двигаться из состояния покоя с постоянным ускорением. Движение происходит в однородном магнитном поле индукцией $B = 2 \text{ Тл}$, линии которого перпендикулярны стержню и направлению его скорости. К моменту, когда стержень сместился от исходного положения на расстояние $h = 20 \text{ м}$, разность потенциалов между концами стержня была равна $U = 0,5 \text{ В}$. Найдите ускорение стержня.

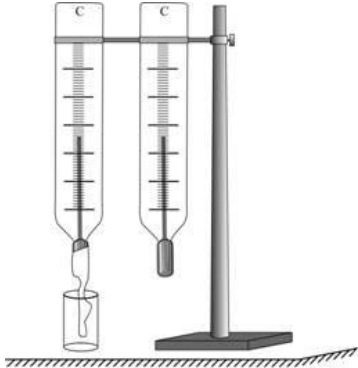


Образец возможного решения	
При движении проводящего стержня в однородном магнитном поле, перпендикулярном линиям индукции, между концами стержня возникает разность потенциалов. Она определяется магнитным потоком через площадь, «заметаемую» этим стержнем за малое время Δt, и по модулю равна ЭДС индукции. В данном случае этот поток равен $\Delta\Phi = B \cdot \Delta S = BLv\Delta t$, где v – скорость движения проводника в данный момент времени. Тогда $U = \mathcal{E}_i = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = BLv$. Согласно законам равноускоренного движения проводник, начиная движение из состояния покоя и двигаясь с ускорением a, преодолев расстояние h приобретает скорость $v = \sqrt{2ah}$. Следовательно, $U = BL\sqrt{2ah}$, откуда находим: $a = \frac{U^2}{2hB^2L^2}$. Подставляя числовые значения и проверяя размерность, получим: $a = 0,625 \text{ см / с}^2.$ Ответ: $a = \frac{U^2}{2hB^2L^2} = 0,625 \text{ см/с}^2$.	
Критерии оценки выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: верно применены физические законы и соотношения, которые необходимы для решения задачи выбранным способом (в данном решении – <i>выражение для потока вектора магнитной индукции, закон электромагнитной индукции Фарадея, связь между временем и перемещением при равноускоренном прямолинейном движении</i>); – проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ. При этом допускается решение "по частям" (с промежуточными вычислениями).	3
– Представлено правильное решение только в общем виде, без каких-либо числовых расчетов. ИЛИ – Правильно записаны необходимые формулы, записан правильный ответ, но не представлены преобразования, приводящие к ответу. ИЛИ – В математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка, которая привела к неверному ответу.	2

– В решении содержится ошибка в необходимых математических преобразованиях и отсутствуют какие-либо числовые расчеты. ИЛИ – Записаны все исходные формулы, необходимые для решения задачи, но в ОДНОЙ из них допущена ошибка. ИЛИ – Отсутствует одна из формул, необходимых для решения задачи.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла (использование неприменимого закона, отсутствие более одного исходного уравнения, разрозненные записи и т.п.).	0
Максимальный балл	3

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

C1 Два одинаковых спиртовых термометра, закрепленных в штативе, находятся в комнате. Нижняя часть одного из них обмотана марлевым жгутом, свободный конец которого помещен в пустой стаканчик. В стаканчик наливают воду комнатной температуры, смочив всю марлю. Опишите, как и почему после этого будут изменяться показания термометров.



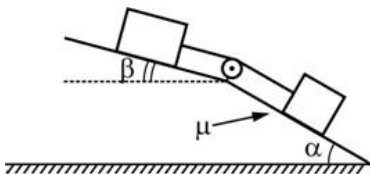
Образец возможного решения

- 1) Налитая в стаканчик вода начнет испаряться, причем испарение будет происходить как с поверхности воды в стаканчике, так и со всей поверхности влажной марли. Внутренняя энергия воды, стаканчика, марли и обмотанного ею термометра будет уменьшаться вследствие испарения. Из-за этого термометр (он называется "влажным") будет охлаждаться, и его температура станет меньше, чем у окружающего воздуха. В результате показания "влажного" термометра начнут уменьшаться, т.е. он будет показывать всё более низкую температуру. Показания другого термометра (он называется "сухим") изменяться не будут.
- 2) Наряду с процессом испарения воды происходит и обратный процесс – конденсация пара. При конденсации пара внутренняя энергия воды, стаканчика, марли и обмотанного ею термометра увеличивается. Поэтому показания "влажного" термометра перестанут уменьшаться и установятся тогда, когда количество теплоты, теряемое им из-за испарения воды, сравняется с количеством теплоты, получаемым термометром при конденсации пара. Установившиеся показания "влажного" термометра будут однозначно определяться влажностью воздуха в комнате и температурой воздуха в комнате (то есть показаниями "сухого" термометра).

Критерии оценки выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае – <i>испарение воды, охлаждение термометра в результате отъема от него теплоты вследствие испарения, связь между установившимися показаниями «влажного» термометра и влажностью воздуха</i>).	3
Приведено решение и дан верный ответ, но имеется один из следующих недостатков: – в объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы; ИЛИ – рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты; ИЛИ – указаны не все физические явления и законы, необходимые для полного правильного решения.	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ; ИЛИ – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан; ИЛИ – представлен только правильный ответ без обоснований.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3

С2

В изображенной на рисунке системе нижний брусок может двигаться по наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$, а верхний брусок – вдоль наклонной плоскости, составляющей с горизонтом некоторый угол β . Коэффициент трения между нижним бруском и наклонной плоскостью равен $\mu = 0,2$, трение между верхним бруском и наклонной плоскостью отсутствует. Считая соединяющую бруски нить очень легкой и нерастяжимой, и пренебрегая массой блока и трением в его оси, найдите, при каких значениях угла β нить будет натянута.



Так как $\mu < \tan \alpha$, то нижний брусок будет скользить по наклонной плоскости даже при ненатянутой нити. Следовательно, в том случае, когда оба бруска движутся и нить натянута, модули ускорений a брусков будут одинаковыми. Обозначим массу нижнего бруска m_1 , массу верхнего бруска m_2 , силу натяжения соединяющей их нити T . Тогда для каждого из брусков можно записать второй закон Ньютона в проекции на направление его движения:

$$m_1 a = m_1 g \sin \alpha - T - F_{\text{тр}}, \quad m_2 a = m_2 g \sin \beta + T.$$

Здесь $F_{\text{тр}} = \mu N$ – действующая на нижний брусок сила трения скольжения, N – действующая на него сила нормальной реакции опоры. Так как нижний брусок не движется в направлении, перпендикулярном плоскости, то из второго закона Ньютона следует: $N = m_1 g \cos \alpha$. Решая совместно полученные уравнения, найдем:

$$a = \frac{m_2 g \sin \beta + m_1 g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{m_1 + m_2}.$$

Для того, чтобы нить была натянута, должно выполняться неравенство: $T = m_2 a - m_2 g \sin \beta > 0$. С учетом полученного выражения для модуля ускорения a , это неравенство можно переписать в следующем виде: $\sin \beta < \sin \alpha - \mu \cos \alpha$.

Подставляя числовые данные, окончательно получим: $\beta < 19^\circ$.

Ответ: $\beta < \arcsin(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \approx 19^\circ$.

Указания по оцениванию	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – второй закон Ньютона для обоих брусков, формула для силы трения скольжения); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3
Приведено решение и дан верный ответ, но имеется один из следующих недостатков: – в объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы; ИЛИ – рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты; ИЛИ – указаны не все физические явления и законы, необходимые для полного правильного решения.	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ; ИЛИ – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан; ИЛИ – представлен только правильный ответ без обоснований.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3

С3

Один моль идеального одноатомного газа переводят из состояния 1 с температурой $T_1 = 300$ К в состояние 2 таким образом, что в течение всего процесса давление газа возрастает прямо пропорционально его объему. В ходе этого процесса газ получает количество теплоты $Q = 14958$ Дж. Во сколько раз n уменьшается в результате этого процесса плотность газа?

Изобразим процесс на pV -диаграмме и обозначим давления и объемы газа в состояниях 1 и 2 через (p_1, V_1) и (p_2, V_2) , соответственно. Из первого закона термодинамики следует, что полученное газом количество теплоты идет на увеличение внутренней энергии газа и на совершение им работы: $Q = \Delta U_{12} + A_{12}$.

Изменение внутренней энергии идеального одноатомного газа равно

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1),$$

где T_2 – температура газа в состоянии 2 (при преобразовании выражения использовано уравнение Клапейрона-Менделеева).

Совершенная газом работа численно равна площади под графиком процесса на pV -диаграмме: $A_{12} = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (V_2 - V_1)$. Учитывая, что $\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_2}$ (это

соотношение следует из того, что давление возрастает прямо пропорционально объему), выражение для работы можно переписать в следующем виде:

$$A_{12} = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (p_1 V_2 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1) = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1).$$

С учетом этого, выражение для количества теплоты приобретает вид:

$$\begin{aligned} Q = \Delta U_{12} + A_{12} &= 2(p_2 V_2 - p_1 V_1) = 2 \left(\frac{p_1 V_2^2}{V_1} - p_1 V_1 \right) = 2 p_1 V_1 \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right) = \\ &= 2 \nu T_1 \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right). \end{aligned}$$

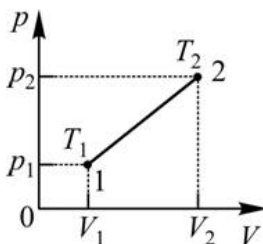
Заметим, что искомое отношение плотностей газа в состояниях 1 и 2 равно

$$n = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{V_2}{V_1}. \text{ Поэтому}$$

$$Q = 2 \nu R T_1 \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} - 1 \right) = 2 \nu R T_1 (n^2 - 1), \text{ и } n = \sqrt{1 + \frac{Q}{2 \nu R T_1}}.$$

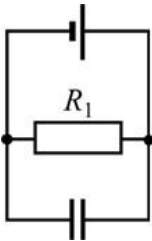
Подставляя в полученную формулу числовые данные и проверяя размерность, окончательно найдем: $n = 2$.

Ответ: плотность уменьшится в $n = \sqrt{1 + \frac{Q}{2 \nu R T_1}} = 2$ раза.



Указания по оцениванию	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – <i>первый закон термодинамики, выражение для изменения внутренней энергии идеального одноатомного газа, уравнение Клапейрона-Менделеева, выражение для работы газа, связь между давлением и объемом газа в ходе заданного процесса, связь между плотностью и объемом газа</i>); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3
Приведено решение и дан верный ответ, но имеется один из следующих недостатков: – в объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы; ИЛИ – рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты; ИЛИ – указаны не все физические явления и законы, необходимые для полного правильного решения.	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ; ИЛИ – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан; ИЛИ – представлен только правильный ответ без обоснований.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3

С4 В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, сопротивление резистора равно $R_1 = 4\text{ Ом}$. После того, как этот резистор заменили на другой, имеющий сопротивление $R_2 = 1\text{ Ом}$, модуль напряженности электрического поля между пластинами плоского конденсатора уменьшился в $n = 2$ раза. Найдите внутреннее сопротивление батареи.



Решение: В соответствии с законом Ома для полной цепи сила тока, текущего в цепи, равна $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{r + R_1}$, где $\mathcal{E}$ и r – ЭДС и внутреннее сопротивление батареи. По закону Ома для участка цепи напряжение на резисторе R_1 равно $U_1 = I_1 R_1 = \frac{\mathcal{E} R_1}{r + R_1}$. Так как конденсатор подключен параллельно резистору, то напряжение между его пластинами также равно U_1 . Модуль напряженности электрического поля между пластинами плоского конденсатора равен $E_1 = \frac{U_1}{d} = \frac{\mathcal{E} R_1}{d(r + R_1)}$, где d – расстояние между пластинами конденсатора. Аналогичные рассуждения можно провести и для случая, когда в цепь вместо резистора R_1 включен резистор R_2 . При этом для модуля напряженности электрического поля между пластинами конденсатора получится аналогичное выражение: $E_2 = \frac{\mathcal{E} R_2}{d(r + R_2)}$. Так как по условию задачи $E_1 = n E_2$, то получаем уравнение: $\frac{R_1}{r + R_1} = \frac{n R_2}{r + R_2}$. Отсюда $r = \frac{R_1 R_2 (n - 1)}{R_1 - n R_2}$. Подставляя числовые данные и проверяя размерность, окончательно получим: $r = 2\text{ Ом}$.

Ответ: $r = \frac{R_1 R_2 (n - 1)}{R_1 - n R_2} = 2\text{ Ом}$.

Указания по оцениванию	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – закон Ома для полной цепи, закон Ома для участка цепи, связь между модулем напряженности электрического поля и напряжением между пластинами плоского конденсатора); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3
Приведено решение и дан верный ответ, но имеется один из следующих недостатков: – в объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы; ИЛИ – рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты; ИЛИ – указаны не все физические явления и законы, необходимые для полного правильного решения.	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ; ИЛИ – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан; ИЛИ – представлен только правильный ответ без обоснований.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3

С5 Электрическая цепь состоит из источника тока и подключенной к нему внешней нагрузки. Выделяющаяся на внешней нагрузке мощность составляет $\eta = 20\%$ от мощности, выделяющейся во всей электрической цепи (то есть КПД цепи равен $\eta = 20\%$). Определите отношение внутреннего сопротивления источника к сопротивлению внешней нагрузки. Сопротивлением соединительных проводов можно пренебречь

Решение:

Согласно условию задачи и определению КПД электрической цепи, $\eta = \frac{N_{\text{внеш}}}{N_{\text{полн}}} \cdot 100\%$, где $N_{\text{внеш}}$ – мощность, выделяющаяся на внешней нагрузке, $N_{\text{полн}}$ – полная мощность, выделяющаяся во всей цепи.

При протекании в цепи постоянного тока I на внешней нагрузке сопротивлением R выделяется мощность $N_{\text{внеш}} = I^2 R$, а во всей цепи выделяется полная мощность $N_{\text{полн}} = I^2 (R + r)$, где r – внутреннее сопротивление источника тока. При записи последней формулы учтено, что при последовательном соединении проводников их сопротивления складываются. Следовательно, $\eta = \frac{I^2 R}{I^2 (R + r)} \cdot 100\% = \frac{R}{R + r} \cdot 100\%$. Отсюда

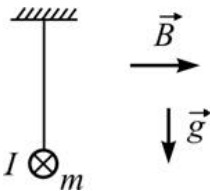
находим $\frac{r}{R} = \frac{100\%}{\eta} - 1 = \frac{100\%}{20\%} - 1 = 4$.

Ответ: $\frac{r}{R} = \frac{100\%}{\eta} - 1 = 4$.

Содержание критерия	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – <i>выражения для мощностей, выделяющихся на внешней нагрузке и во всей цепи, правило расчета сопротивления при последовательном соединении проводников</i>); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3
Представленное решение содержит п.1 полного решения, но и имеет один из следующих недостатков: – в необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущена ошибка; ИЛИ – необходимые математические преобразования и вычисления логически верны, не содержат ошибок, но не закончены; ИЛИ – не представлены преобразования, приводящие к ответу, но записан правильный числовой ответ или ответ в общем виде; ИЛИ – решение содержит ошибку в необходимых математических преобразованиях и не доведено до числового ответа.	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи, и ответа; ИЛИ – в решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи; ИЛИ – в ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения задачи (или утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3

С6

Прямой стержень длиной $L = 50$ см и массой $m = 100$ г висит в горизонтальном положении на двух вертикальных нитях. Вокруг стержня создано внешнее однородное горизонтальное магнитное поле с индукцией $B = 1$ Тл, линии которого направлены перпендикулярно стержню. По стержню протекает ток силой $I = 2$ А так, как показано на рисунке (вид с торца стержня). Силу тока в стержне медленно изменяют. Какому значению должна стать равной сила тока и как он должен быть направлен для того, чтобы сила натяжения каждой из нитей, на которых висит стержень, уменьшилась в $n = 4$ раза?



На стержень в исходном положении действуют направленные вниз сила тяжести mg и сила Ампера ILB , которые уравниваются силой натяжения нитей $2T_1$ (здесь T_1 – сила натяжения одной нити). В соответствии со вторым законом Ньютона, $2T_1 = mg + ILB$. Заметим, что $mg = ILB = 1$ Н, и поэтому $T_1 = 1$ Н. Таким образом, в отсутствие тока сила натяжения нити будет равна 0,5 Н, то есть уменьшится всего в 2 раза. Следовательно, для того, чтобы сила натяжения нити уменьшилась в $n = 4$ раза, необходимо, чтобы ток протекал по стержню в противоположном направлении (при этом сила Ампера будет направлена вверх).

Обозначим искомую силу тока через I_2 . Тогда, в соответствии со вторым законом Ньютона, условие равновесия стержня будет иметь вид: $2T_2 + I_2LB = mg$. Из записанных уравнений получаем:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{mg + ILB}{mg - I_2LB} = n.$$

Отсюда $I_2 = \frac{mg(n-1) - ILB}{nLB}$. Подставляя в полученную формулу числовые данные и проверяя размерность, найдем: $I_2 = 1$ А.

Можно решать задачу и формально, не проводя по ходу ее решения анализа. Тогда условия равновесия стержня в исходном и в конечном состояниях будут иметь вид: $2T_1 = mg + ILB$ и $2T_2 = mg + I_2LB$, откуда $I_2 = \frac{ILB - mg(n-1)}{nLB} = -1$ А.

Знак «минус» в ответе как раз и свидетельствует о том, что ток должен течь по стержню в противоположном направлении и иметь значение 1 А.

Ответ: Ток в стержне должен изменить направление и иметь значение, равное $I_2 = \frac{mg(n-1) - ILB}{nLB} = 1$ А.

Указания по оцениванию	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы: 1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – <i>выражение для силы Ампера, второй закон Ньютона для равновесия стержня в исходном и в конечном состоянии</i>); 2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).	3
Приведено решение и дан верный ответ, но имеется один из следующих недостатков: – в объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы; ИЛИ – рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты; ИЛИ – указаны не все физические явления и законы, необходимые для полного правильного решения.	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ; ИЛИ – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан; ИЛИ – представлен только правильный ответ без обоснований.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3