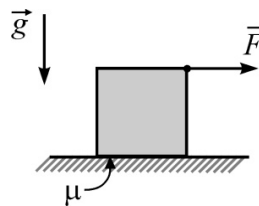


28

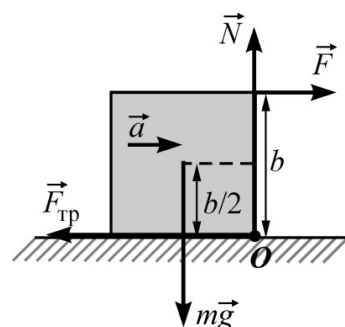
Какое ускорение  $a$  поступательного движения можно сообщить однородному кубику, находящемуся на шероховатой горизонтальной плоскости, прикладывая к его верхнему ребру горизонтальную силу в плоскости симметрии кубика (см. рисунок)? Коэффициент трения кубика о плоскость равен  $\mu = 0,4$ .



**Возможное решение**

1. При движении однородного кубика массой  $m$  по шероховатой горизонтальной плоскости на него действуют кроме горизонтальной силы  $\vec{F}$  вертикальные сила тяжести  $m\vec{g}$ , приложенная в центре кубика, и сила  $\vec{N}$  нормального давления со стороны плоскости, а также горизонтальная сила сухого трения скольжения, равная по модулю, согласно закону Амонтона–Кулона,  $F_{тр.} = \mu mg$ .

2. Для того чтобы кубик двигался поступательно, не опрокидываясь, сила  $\vec{F}$  и создаваемое ею ускорение  $\vec{a}$  не должны превышать некоторого предела, зависящего от величины коэффициента трения  $\mu$  кубика о плоскость. В предельном случае, перед опрокидыванием, силы  $\vec{N}$  и  $\vec{F}_{тр.}$  будут приложены к переднему нижнему ребру  $O$  кубика (см. рисунок), и опрокидывающий момент силы  $\vec{F}$  будет компенсироваться возвращающим моментом силы  $m\vec{g}$  относительно оси, проходящей через это ребро:



$F \cdot b \leq \frac{mgb}{2}$  (здесь  $b$  – длина ребра кубика), так как силы  $\vec{N}$  и  $\vec{F}_{тр.}$  моментов относительно этой оси не создают.

3. Уравнение движения кубика, то есть второй закон Ньютона в проекции на горизонтальное направление, при этом имеет вид:  $ma = F - \mu mg$ .

4. Из написанных уравнений получаем:

$$F \leq \frac{mg}{2}, \quad a = \frac{F}{m} - \mu g \leq g \left( \frac{1}{2} - \mu \right) = 10 \cdot (0,5 - 0,4) = 1 \text{ м/с}^2.$$

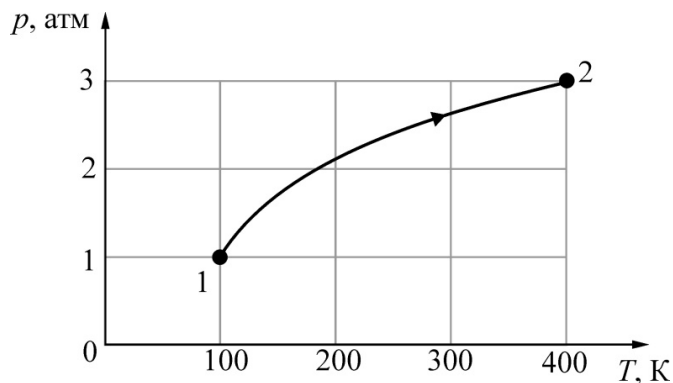
Ответ:  $a \leq g (1/2 - \mu) = 1 \text{ м/с}^2$ .

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: закон Амонтона–Кулона, уравнение моментов и второй закон Ньютона); II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант,	3

<p>указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</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>ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p> <p>В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи</p>	1
<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

29

С одним молем гелия, находящегося в цилиндре под поршнем, провели процесс 1–2, изображённый на  $p$ - $T$  диаграмме. Во сколько раз изменилась при этом частота  $\nu$  столкновений атомов со стенками сосуда, то есть число ударов атомов в единицу времени о единицу площади стенок? Начальные и конечные параметры процесса 1–2 приведены на рисунке.



### Возможное решение

1. При выводе основного уравнения молекулярно-кинетической теории (МКТ) идеального газа считается, что частота  $\nu$  ударов молекул о стенки сосуда пропорциональна концентрации  $n$  молекул и их среднеквадратичной скорости  $v_{\text{ср.кв.}}$ :  $\nu = (1/6)n v_{\text{ср.кв.}}$ , то есть по каждому из трёх измерений молекулы могут двигаться с равной вероятностью в двух направлениях из-за полной хаотичности движения молекул.

2. Согласно уравнению состояния идеального газа в форме  $p = nkT$ , где  $p$  – давление,  $T$  – температура газа,  $k$  – постоянная Больцмана,  $n = \frac{p}{kT}$ .

3. Из уравнения для связи средней кинетической энергии поступательного движения молекул газа с температурой  $\frac{mv_{\text{ср.кв.}}^2}{2} = \frac{3}{2}kT$  следует, что

$v_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ , где  $m$  – масса молекул (в данном случае атомов) газа.

4. Таким образом,  $\nu = \frac{1}{6} \cdot \frac{p}{kT} \cdot \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ , то есть  $\nu \sim \frac{p}{\sqrt{T}}$ .

1. Окончательно получаем с учётом параметров

процесса 1–2, приведённых на рисунке:  $\nu_2/\nu_1 = \frac{p_2/p_1}{\sqrt{T_2/T_1}} = \frac{3}{\sqrt{4}} = 1,5$ .

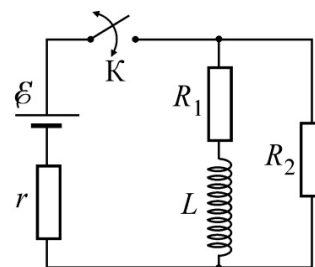
Ответ:  $\nu_2/\nu_1 = 1,5$ .

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>упоминание вывода основного уравнения МКТ идеального газа, уравнения состояния идеального газа, а также уравнения для связи среднеквадратичной скорости молекул с температурой</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) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <b><u>одному</u></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>ИЛИ</p> <p>В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе</p>	1

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

30

В схеме, изображённой на рисунке, ключ К вначале замыкают на достаточно долгое время, пока ток в цепи не установится, а затем размыкают. Какое количество теплоты выделится после этого в резисторе  $R_1$ ?  
 Параметры цепи:  $\mathcal{E} = 5 \text{ В}$ ,  $r = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_1 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 10 \text{ Ом}$ ,  $L = 30 \text{ мГн}$ .



### Возможное решение

1. После замыкания ключа К в цепи пойдёт ток, и по закону Ома для полной цепи и согласно формулам для сопротивления параллельно и последовательно соединённых резисторов установившийся в ней постоянный ток  $I$  будет равен

$$I = \mathcal{E} / \left( r + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right).$$

При этом наличие катушки индуктивности не сказывается на величине этого тока.

2. Токи  $I_1$  и  $I_2$  в правой части цепи по закону сохранения заряда в сумме равны  $I$ , то есть  $I_1 + I_2 = I$ , и поскольку падение напряжения на параллельно соединённых резисторах  $R_1$  и  $R_2$  одинаково, по закону Ома для участка цепи  $I_1 R_1 = I_2 R_2$ .

3. Из написанных соотношений следует, что в установившемся режиме ток через катушку индуктивности будет равен

$$I_1 = I R_2 / (R_1 + R_2) = \mathcal{E} R_2 / [r(R_1 + R_2) + R_1 R_2].$$

4. В катушке индуктивности будет запасена энергия магнитного поля, равная

$$W = L I_1^2 / 2.$$

5. После размыкания ключа К вся эта энергия по закону Джоуля–Ленца выделится в виде теплоты в последовательно соединённых резисторах  $R_1$  и  $R_2$  в долях, пропорциональных их сопротивлениям, так как ток в них будет одинаков.

6. Таким образом, количество теплоты, которое выделится в резисторе  $R_1$

после размыкания ключа К, равно

$$Q_1 = W \frac{R_1}{R_1 + R_2} = L \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{I_1^2}{2} = \frac{\varepsilon^2 L R_1 R_2^2}{2(R_1 + R_2)[r(R_1 + R_2) + R_1 R_2]^2} = 0,3125 \text{ мДж.}$$

Ответ:  $Q_1 = \frac{\varepsilon^2 L R_1 R_2^2}{2(R_1 + R_2)[r(R_1 + R_2) + R_1 R_2]^2} = 0,3125 \text{ мДж.}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>законы Ома для полной цепи и для участка цепи, формула для сопротивления при последовательном и параллельном соединении резисторов, закон сохранения заряда, выражение для энергии, запасённой в катушке индуктивности, и закон Джоуля–Ленца</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) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих</p>	1

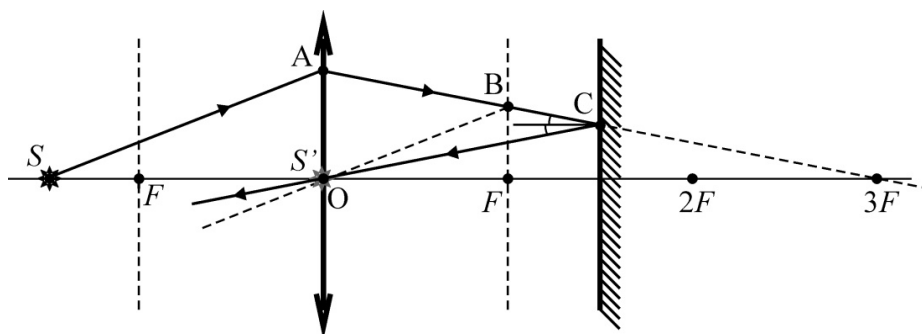
случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. ИЛИ В решении отсутствует ОДНА из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи. ИЛИ В ОДНОЙ из исходных формул, необходимых для решения данной задачи (или в утверждении, лежащем в основе решения), допущена ошибка, но присутствуют логически верные преобразования с имеющимися формулами, направленные на решение задачи	
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3

31

На оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F = 10$  см слева от неё на расстоянии  $a = 3F/2 = 15$  см находится точечный источник света  $S$ . За линзой справа от неё на таком же расстоянии  $a = 15$  см расположено плоское зеркало, перпендикулярное оси линзы. На каком расстоянии от источника находится его изображение  $S'$  в данной оптической системе?

К решению приложите рисунок с изображением хода лучей от  $S$  до  $S'$ .

### Возможное решение



1. По формуле тонкой линзы  $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$  расстояние  $b$  от неё до изображения источника равно  $b = \frac{aF}{a - F} = 30 \text{ см} = 3F$ .

2. Построим ход произвольного луча  $SA$  (см. рисунок). После линзы его продолжение должно, как мы вычислили, попасть в точку  $3F$ . В этом можно легко убедиться, используя стандартные правила построения хода лучей

в тонкой линзе и геометрические соотношения: фиктивный луч, идущий параллельно лучу  $SA$  через оптический центр линзы, не преломляется и пересекается с преломлённым лучом  $AB$  в точке  $B$  на правой фокальной плоскости линзы. Простые геометрические соотношения с учётом численных данных из условия показывают, что на пути  $AB$  преломлённый луч опускается по вертикали на расстояние, равное  $1/3$  от  $AO$ , так что продолжение луча действительно пересекает ось в точке на расстоянии  $b = 3F$  от точки  $O$ . На пути  $AC$  преломлённый луч опускается по вертикали на расстояние, равное, очевидно,  $1/2$  от  $AO$

3. Отражённый от плоского зеркала под углом отражения, равным углу падения, луч  $CO$  опускается при подходе к линзе, как следует из построения, ещё на расстояние, равное  $1/2$  от  $AO$ . Он попадает точно в оптический центр линзы, который и будет являться изображением  $S'$  источника  $S$ , так как нужный для получения изображения второй луч идёт вдоль оптической оси линзы до зеркала и обратно.

4. Таким образом, расстояние  $SS' = a = 3F/2 = 15$  см.

Ответ:  $SS' = a = 3F/2 = 15$  см.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>формула линзы, правила построения изображений в плоском зеркале и в тонкой линзе и геометрические соотношения</i>);</p> <p>II) сделан правильный рисунок с указанием хода лучей в системе;</p> <p>III) 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>IV) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>V) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины</p>	3



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