

**Ответы к заданиям**

<b>№ задания</b>	<b>Ответ</b>
1	4
2	4
3	2
4	75
5	500
6	12
7	34
8	2
9	3
10	0,36
11	13
12	34
13	3
14	1
15	2
16	2
17	11
18	12
19	3
20	3
21	1
22	21
23	4
24	24
25	5
26	8
27	100

**Ответы к заданиям**

<b>№ задания</b>	<b>Ответ</b>
1	4
2	1
3	4
4	1,5
5	300
6	21
7	12
8	1
9	3
10	0,47
11	21
12	32
13	1
14	2
15	1
16	4
17	22
18	43
19	3
20	2
21	2
22	12
23	2
24	15
25	2
26	25
27	50

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

Школьник в столовой поставил тарелку с горячим супом на стол, который был слегка наклонён и оказался мокрым из-за пролитого кем-то чая. Под дном тарелки осталось немного воздуха.

Тарелка с супом стояла на месте некоторое время, а потом соскользнула до края стола, упала на пол и разбилась. Перечислите и объясните физические явления и закономерности, которые привели к такому результату.

**Возможное решение**

1. Когда школьник поставил тарелку на стол, она «продавила» слой воды на столе, и между ней и слегка наклонённым столом действовала сила сухого трения, меньшая максимальной силы трения покоя и не дававшая тарелке сдвинуться с места.

2. Когда слой воздуха под тарелкой прогрелся от горячего супа за счёт теплопроводности дна тарелки, его давление повысилось на некоторую величину  $\Delta p$ , и тарелка «всплыла» над столом, контактируя с ним уже только через слой воды.

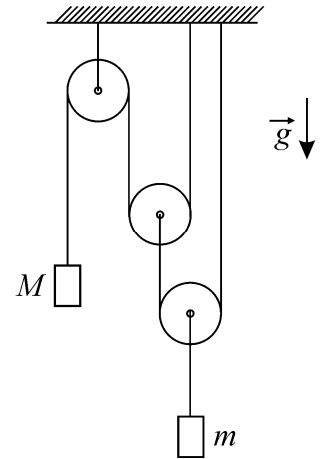
3. Сила вязкого трения в слое воды между тарелкой и столом не может удержать тарелку на месте, и она соскальзывает со стола под действием силы тяжести, падает и разбивается.

<b>Критерии оценивания выполнения задания</b>	<b>Баллы</b>
Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п.п. 1–3) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>упоминание закономерностей действия сил сухого и вязкого трения, условия равновесия тела на наклонном столе, влияния силы тяжести</i> ).	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков. В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.) И (ИЛИ) Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт. И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не	2

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

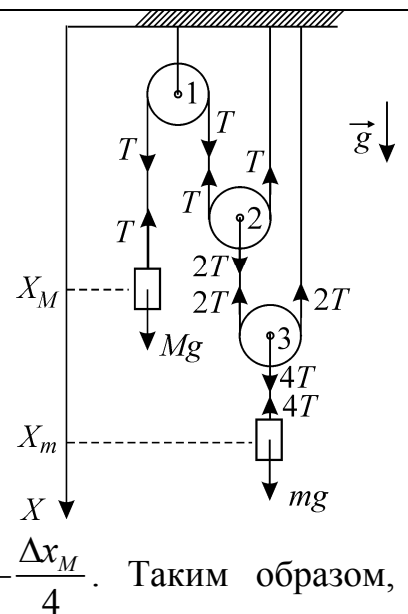
29

Найдите модуль ускорения  $A$  груза массой  $M$  в системе, изображённой на рисунке. Трения нет, блоки невесомы, нити лёгкие и нерастяжимые, их участки, не лежащие на блоках, вертикальны, масса второго груза  $m$ , ускорение свободного падения равно  $g$ .



**Возможное решение**

Введём координатную ось  $X$ , направленную вниз, и отметим на ней координаты грузов  $M$  и  $m$ :  $x_M$  и  $x_m$  (см. рис.). Пронумеруем блоки цифрами 1, 2, 3 и укажем на рисунке силы натяжения нитей и силы тяжести, действующие на грузы. Согласно условию, в силу невесомости нитей и блоков, а также отсутствия сил трения, первая нить, охватывающая блоки 1 и 2, натянута с силой  $T$ , а вторая – с силой  $2T$ , так что на груз  $m$  действует направленная вверх сила  $4T$ . Если сместить груз  $M$  вдоль оси  $X$  вниз на расстояние  $\Delta x_M$ , то в силу нерастяжимости нитей блок 2 сместится вверх, как следует из рисунка, на  $-\frac{\Delta x_M}{2}$ , а блок 3 и груз  $m$  – вверх на  $\Delta x_m = -\frac{\Delta x_M}{4}$ . Таким образом,  $\Delta x_M + 4\Delta x_m = 0$ .



Отсюда получаем уравнение кинематической связи:  $A + 4a = 0$ , где  $A$  и  $a$  – проекции ускорений грузов  $M$  и  $m$  на ось  $X$ . Уравнения движения грузов (второй закон Ньютона) в проекциях на ось  $X$  имеют вид:  $MA = Mg - T$ ,  $ma = mg - 4T$ . Решая полученную систему из трех уравнений, находим, что модуль ускорения груза  $M$  равен  $|A| = \frac{4|4M - m|}{16M + m}g$ .

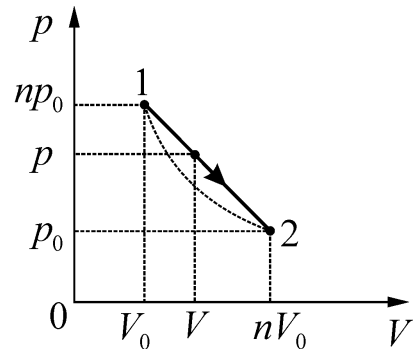
Ответ:  $|A| = \frac{4|4M - m|}{16M + m}g$ .

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>уравнения движения (второй закон Ньютона) для тел системы в проекциях на вертикальную ось координат, а также уравнение кинематической связи для ускорений тел</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <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. Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. 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 <b>одна</b> из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе решения), но присутствуют логически верные преобразования</p>	1

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**

Процесс 1–2 с идеальным газом, изображённый на  $p$ – $V$ -диаграмме, имеет вид прямой линии  $p(V)$ , соединяющей две точки (1 и 2), лежащие на одной изотерме. Во сколько раз максимальная температура  $T_m$  в этом процессе превышает температуру  $T_0$  на изотерме? Параметры точек 1 и 2 (давления и объёмы) приведены на рисунке,  $n = 5$ .



<b>Возможное решение</b>
<p>Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева, для точек 1 и 2 на диаграмме выполняется равенство: <math>np_0V_0 = \nu RT_0</math>, где <math>\nu</math> – число молей газа, <math>R</math> – универсальная газовая постоянная.</p> <p>В процессе 1–2 <math>pV = \nu RT</math>, так что <math>\frac{T}{T_0} = \frac{p(V) \cdot V}{np_0V_0}</math>. Для нахождения максимума отношения <math>\frac{T}{T_0}</math> надо найти максимум произведения <math>p(V) \cdot V</math>, а для этого вначале – вид зависимости <math>p(V)</math> на линейном участке 1–2. Из диаграммы следует, что <math>p = np_0 - k(V - V_0)</math>, где угловой коэффициент <math>k = \frac{\Delta p}{\Delta V} = \frac{(n-1)p_0}{(n-1)V_0} = \frac{p_0}{V_0}</math>. Таким образом, <math>p = np_0 - \frac{p_0(V - V_0)}{V_0} = p_0(n + 1 - \frac{V}{V_0})</math> и <math>\frac{T}{T_0} = \frac{(n+1)V}{nV_0} - \frac{V^2}{nV_0^2}</math>. Дифференцируя это выражение по <math>V</math> и приравнявая производную к нулю, находим значение <math>V_m</math> объёма, при котором температура максимальна: <math>n + 1 - \frac{2V_m}{V_0} = 0</math>, откуда <math>V_m = \frac{(n+1)V_0}{2}</math>.</p> <p>Подставляя это значение в формулу для искомого отношения температур, получаем <math>\frac{T_m}{T_0} = \frac{(n+1)^2}{4n} = 1,8</math>.</p> <p>Ответ: <math>\frac{T_m}{T_0} = \frac{(n+1)^2}{4n} = 1,8</math>.</p>

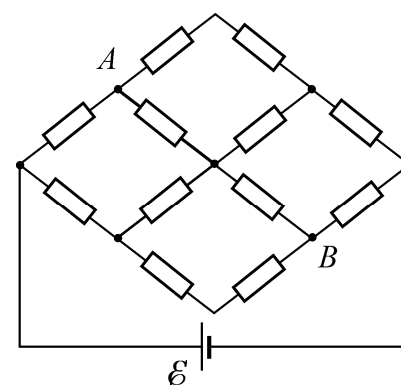
Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>уравнение Клапейрона–Менделеева, выражение для зависимости <math>p(V)</math> в процессе и условие максимума для отношения температур</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <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 <b>одна</b> из исходных формул, необходимая для решения данной задачи (или утверждение, лежащее в основе</p>	1



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

**31**

Сетка из одинаковых резисторов присоединена к идеальной батарее с ЭДС  $E$  (см. рисунок). Какое напряжение  $U$  покажет идеальный вольтметр, подключённый между точками  $A$  и  $B$  сетки?



<b>Возможное решение</b>	
Пронумеруем точки соединения проводников (см. рис. 1).	
<i>Рис. 1.</i>	
В силу симметрии схемы очевидно, что потенциалы в точках $A$ и 1 одинаковы, и следовательно, их можно соединить накоротко. То же самое касается точек 2, 3 и 4, и их тоже можно замкнуть между собой, как и точки 5 и $B$ . Получаем после этих соединений следующую эквивалентную схему (см. рис. 2), где $r$ – сопротивление каждого из резисторов в сетке:	

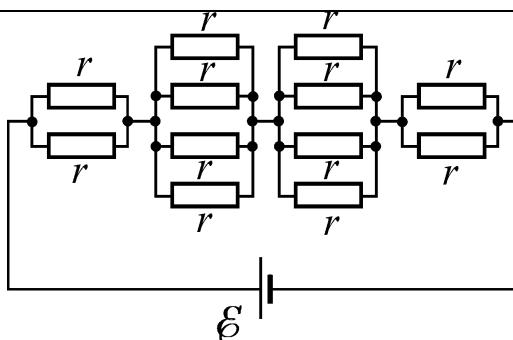


Рис. 2.

Пользуясь правилами расчета сопротивления параллельно и последовательно соединенных проводников, получаем (см. рис. 3), что между точками *A* и *B* сетки включено сопротивление  $r/2$ , равное  $1/3$  от полного сопротивления всей цепи, равного  $3r/2$ .

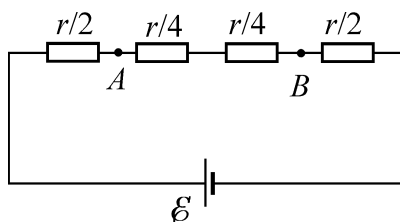


Рис. 3.

По закону Ома для замкнутой цепи ток в ней равен  $I = \frac{E}{3r/2}$ , а напряжение между точками *A* и *B* равно  $U = I \frac{r}{2} = \frac{E}{3}$ .

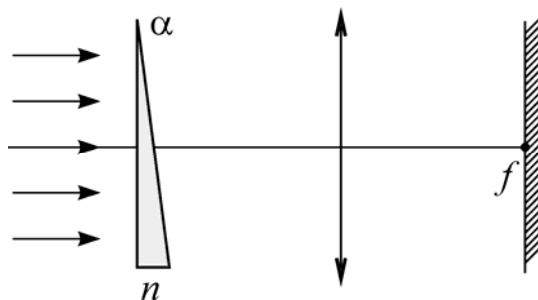
Ответ:  $U = I \frac{r}{2} = \frac{E}{3}$ .

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>законы Ома для полной цепи и для участка цепи и формулы для расчета сопротивления при последовательном и параллельном соединении резисторов</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычисле-</p>	<p>3</p>

<p>ниями);  IV) представлен правильный ответ.</p>	
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. 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 <b>одна</b> 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 <b>одной</b> 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

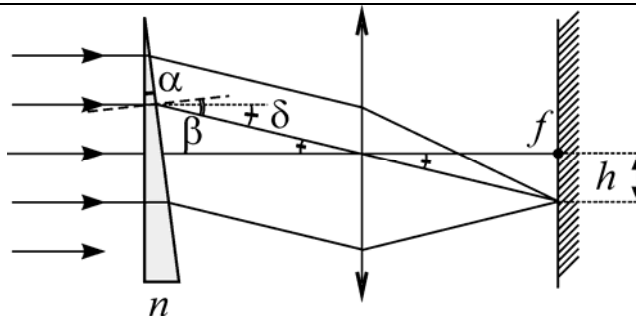
32

Оптическая схема для наблюдения дисперсии света в стекле изображена на рисунке. Параллельный пучок белого света падает нормально на тонкую стеклянную призму с преломляющим углом  $\alpha = 4^\circ$ . За призмой установлена тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием  $f = 1,5$  м, в фокальной плоскости которой находится экран, на котором получается изображение спектра белого света. Линза и экран перпендикулярны исходному пучку света. Какова ширина  $h$  наблюдаемого на экране спектра, если показатель преломления призмы изменяется от  $n_1 = 1,70$  для фиолетового света до  $n_2 = 1,65$  для красного света? Углы считать малыми ( $\sin \alpha \approx \alpha \approx \alpha$ ).



**Возможное решение**

Нарисуем ход лучей одного цвета, например, фиолетового, в данной оптической системе (см. рисунок). На переднюю поверхность призмы луч падает нормально и не преломляется, а на заднюю падает под малым углом  $\alpha = 4^\circ \approx 0,070$  радиана, для которого можно считать  $\sin \alpha \approx \alpha$ . По закону преломления света для малых углов падения  $\alpha$  и преломления  $\beta$  имеем:  $\sin \beta / \sin \alpha = n \approx \beta / \alpha$ . Угол отклонения света призмой, таким образом, равен  $\delta = \beta - \alpha = (n - 1)\alpha$ . Луч фиолетового цвета, идущий под этим углом через оптический центр линзы, согласно правилам построения изображений в тонких линзах, проходит прямо, не преломляясь, и попадает на экран в точку, находящуюся на расстоянии  $h_1 \approx f\delta_1 = f(n_1 - 1)\alpha$  от главной оптической оси системы. Остальные параллельные лучи из этого пучка преломятся призмой под тем же углом  $\delta_1$  и соберутся в той же точке. Параллельные лучи красного цвета соберутся, очевидно, в точке на экране, находящейся на расстоянии  $h_2 \approx f\delta_2 = f(n_2 - 1)\alpha$  от главной оптической оси системы. Таким образом, ширина спектра на экране будет равна



$$h = h_1 - h_2 = f(n_1 - n_2)\alpha \approx 5,2 \text{ мм.}$$

Ответ:  $h = f(n_1 - n_2)\alpha \approx 5,2$  мм.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон преломления света, правила построения изображений в тонких линзах и геометрические соотношения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов</i>);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <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 <b>одна</b> 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 <b>одной</b> 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

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

Школьник в столовой поставил тарелку с горячим супом на стол, который был слегка наклонён и оказался мокрым из-за пролитого кем-то чая. Под дном тарелки осталось немного воздуха.

Тарелка с супом стояла на месте некоторое время, а потом соскользнула до края стола, упала на пол и разбилась. Перечислите и объясните физические явления и закономерности, которые привели к такому результату.

**Возможное решение**

1. Когда школьник поставил тарелку на стол, она «продавила» слой воды на столе, и между ней и слегка наклоненным столом действовала сила сухого трения, меньшая максимальной силы трения покоя и не дававшая тарелке сдвинуться с места.

2. Когда слой воздуха под тарелкой прогрелся от горячего супа за счет теплопроводности дна тарелки, его давление повысилось на некоторую величину  $\Delta p$ , и тарелка «всплыла» над столом, контактируя с ним уже только через слой воды.

3. Сила вязкого трения в слое воды между тарелкой и столом не может удержать тарелку на месте, и она соскальзывает со стола под действием силы тяжести, падает и разбивается.

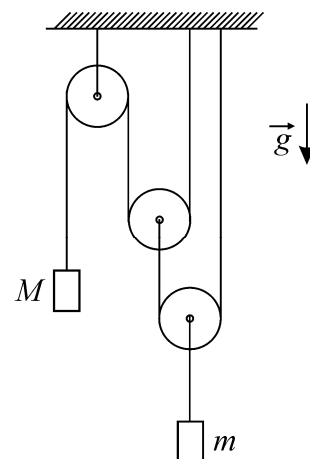
<b>Критерии оценивания выполнения задания</b>	<b>Баллы</b>
Приведено полное правильное решение, включающее правильные объяснения (в данном случае п. 1–3) и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов (в данном случае: <i>упоминание закономерностей действия сил сухого и вязкого трения, условия равновесия тела на наклонном столе, влияния силы тяжести</i> ).	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков. В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т. п.) И (ИЛИ) Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт. И (ИЛИ) В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.). И (ИЛИ) В решении имеется неточность в указании на одно из физических	2

явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения.	
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев. Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, приводящие к ответу, содержат ошибки.</p> <p>ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи.</p>	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
<i>Максимальный балл</i>	3



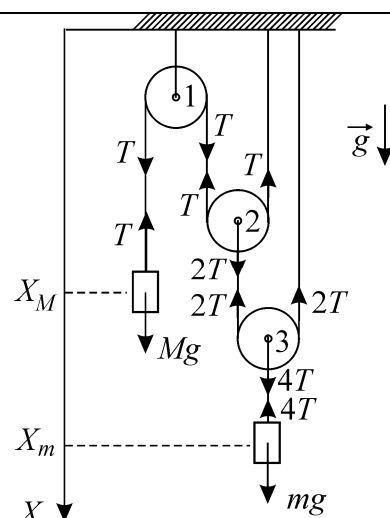
29

Найдите модуль ускорения  $a$  груза массой  $m$  в системе, изображённой на рисунке. Трения нет, блоки невесомы, нити лёгкие и нерастяжимые, их участки, не лежащие на блоках, вертикальны, масса второго груза  $M$ , ускорение свободного падения равно  $g$ .



**Возможное решение**

Введём координатную ось  $X$ , направленную вниз, и отметим на ней координаты грузов  $M$  и  $m$ :  $x_M$  и  $x_m$  (см. рисунок). Пронумеруем блоки цифрами 1, 2, 3 и укажем на рисунке силы натяжения нитей и силы тяжести, действующие на грузы. Согласно условию, в силу невесомости нитей и блоков, а также отсутствия сил трения первая нить, охватывающая блоки 1 и 2, натянута с силой  $T$ , а вторая – с силой  $2T$ , так что на груз  $m$  действует направленная вверх сила  $4T$ . Если сместить груз  $M$  вдоль оси  $X$  вниз на расстояние  $\Delta x_M$ , то в силу нерастяжимости нитей блок 2 сместится вверх, как следует из рисунка, на



$-\frac{\Delta x_M}{2}$ , а блок 3 и груз  $m$  – вверх на  $\Delta x_m = -\frac{\Delta x_M}{4}$ . Таким образом,

$\Delta x_M + 4\Delta x_m = 0$ . Отсюда получаем уравнение кинематической связи:  $A + 4a = 0$ , где  $A$  и  $a$  – проекции ускорений грузов  $M$  и  $m$  на ось  $X$ . Уравнения движения грузов (второй закон Ньютона) в проекциях на ось  $X$  имеют вид:  $ma = mg - 4T$ ,  $MA = Mg - T$ . Решая полученную систему из трёх уравнений,

находим, что модуль ускорения груза  $m$  равен  $|a| = \frac{|m - 4M|}{m + 16M} g$ .

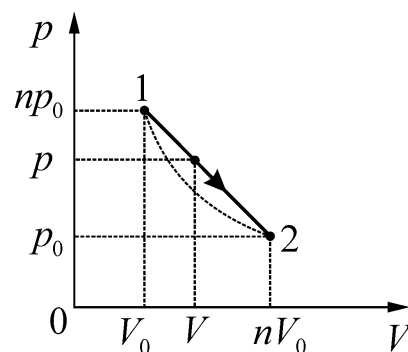
Ответ:  $|a| = \frac{|m - 4M|}{m + 16M} g$ .

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>уравнения движения (второй закон Ньютона) для тел системы в проекциях на вертикальную ось координат, а также уравнение кинематической связи для ускорений тел</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений величин, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <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 (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>ИЛИ</p>	1

В решении отсутствует <b>одна</b> 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 <b>одной</b> 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**

Процесс 1–2 с идеальным газом, изображённый на  $p$ – $V$ -диаграмме, имеет вид прямой линии  $p(V)$ , соединяющей две точки (1 и 2), лежащие на одной изотерме. Во сколько раз максимальная температура  $T$  в этом процессе превышает температуру  $T_0$  на изотерме? Параметры точек 1 и 2 (давления и объёмы) приведены на рисунке,  $n = 3$ .



<b>Возможное решение</b>	
Согласно уравнению Клапейрона–Менделеева, для точек 1 и 2 на диаграмме выполняется равенство: $np_0V_0 = \nu RT_0$ , где $\nu$ – число молей газа, $R$ – универсальная газовая постоянная.	
В процессе 1–2 $pV = \nu RT$ , так что $\frac{T}{T_0} = \frac{p(V) \cdot V}{np_0V_0}$ . Для нахождения	
максимума отношения $\frac{T}{T_0}$ надо найти максимум произведения $p(V) \cdot V$ , а для	
этого вначале – вид зависимости $p(V)$ на линейном участке 1–2. Из диаграммы следует, что $p = np_0 - k(V - V_0)$ , где угловой коэффициент	
$k = \frac{\Delta p}{\Delta V} = \frac{(n-1)p_0}{(n-1)V_0} = \frac{p_0}{V_0}$ . Таким образом,	
$p = np_0 - \frac{p_0(V - V_0)}{V_0} = p_0\left(n + 1 - \frac{V}{V_0}\right), \text{ и } \frac{T}{T_0} = \frac{(n+1) \cdot V}{nV_0} - \frac{V^2}{nV_0^2}.$	
Дифференцируя это выражение по $V$ и приравнявая производную к нулю, находим значение $V_m$ объёма, при котором температура максимальна:	
$n+1 - \frac{2V_m}{V_0} = 0, \text{ откуда } V_m = \frac{(n+1)V_0}{2}.$	
Подставляя это значение в формулу для искомого отношения температур,	

получаем  $\frac{T_m}{T_0} = \frac{(n+1)^2}{4n} = \frac{4}{3}$ .

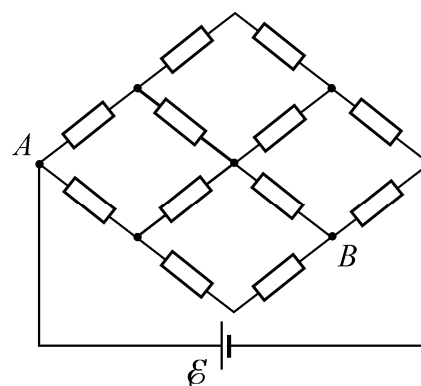
Ответ:  $\frac{T_m}{T_0} = \frac{(n+1)^2}{4n} = \frac{4}{3}$ .

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:            I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>уравнение Клапейрона–Менделеева, выражение для зависимости <math>p(V)</math> в процессе и условие максимума для отношения температур</i>);            II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);            III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);            IV) представлен правильный ответ.</p>	3
<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.            Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.            И (ИЛИ)            В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т. п.).            И (ИЛИ)            В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.            И (ИЛИ)            Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их</p>	1

использованием, направленных на решение задачи. ИЛИ В решении отсутствует <b>одна</b> 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 <b>одной</b> 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**

Сетка из одинаковых резисторов присоединена к идеальной батарейке с ЭДС  $E$  (см. рисунок). Какое напряжение  $U$  покажет идеальный вольтметр, подключённый между точками  $A$  и  $B$  сетки?



<b>Возможное решение</b>	
Пронумеруем точки соединения проводников (см. рис. 1).	
<i>Рис. 1.</i>	
В силу симметрии схемы очевидно, что потенциалы в точках 1 и 2 одинаковы, и следовательно, их можно соединить накоротко. То же самое касается точек 3, 4 и 5, и их тоже можно замкнуть между собой, как и точки 6 и $B$ . Получаем после этих соединений следующую эквивалентную схему (см. рис. 2), где $r$ – сопротивление каждого из резисторов в сетке.	

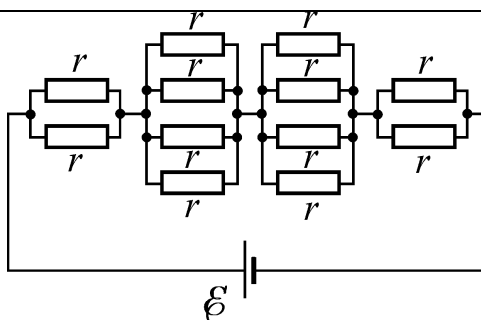


Рис. 2.

Пользуясь правилами расчёта сопротивления параллельно и последовательно соединённых проводников, получаем (см. рис. 3), что между точками *A* и *B* сетки включено сопротивление *r*, равное  $\frac{2}{3}$  от полного сопротивления всей цепи, равного  $3r/2$ .

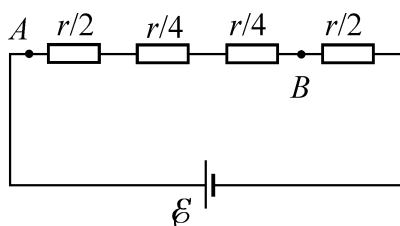


Рис. 3.

По закону Ома для замкнутой цепи ток в ней равен  $I = \frac{E}{3r/2}$ , а напряжение между точками *A* и *B* равно  $U = Ir = \frac{2E}{3}$ .

$$U = Ir = \frac{2E}{3}.$$

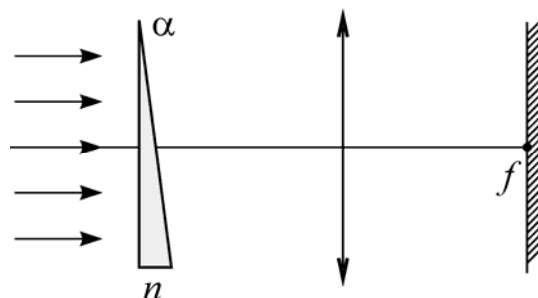
Ответ:

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 и формулы для расчёта сопротивления при последовательном и параллельном соединении резисторов</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями);</p> <p>IV) представлен правильный ответ.</p>	<p>3</p>

<p>Правильно записаны все необходимые положения теории, физические законы, закономерности, и проведены необходимые преобразования. Но имеются один или несколько из следующих недостатков.</p> <p>Записи, соответствующие пункту II, представлены не в полном объёме или отсутствуют.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты, не заключены в скобки, рамку и т. п.).</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p>И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка (в том числе в записи единиц измерения величины).</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <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 <b>одна</b> 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 <b>одной</b> 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

32

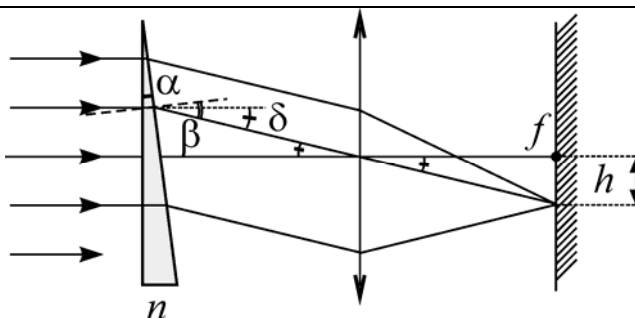
Оптическая схема для наблюдения дисперсии света в стекле изображена на рисунке. Параллельный пучок белого света падает нормально на тонкую стеклянную призму с преломляющим углом  $\alpha = 5^\circ$ . За призмой установлена тонкая собирающая линза с фокусным



расстоянием  $f = 1$  м, в фокальной плоскости которой находится экран, на котором получается изображение спектра белого света. Линза и экран перпендикулярны исходному пучку света. Какова ширина  $h$  наблюдаемого на экране спектра, если показатель преломления призмы изменяется от  $n_1 = 1,68$  для фиолетового света до  $n_2 = 1,64$  для красного света? Углы считать малыми ( $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$ ).

### Возможное решение

Нарисуем ход лучей одного цвета, например, фиолетового, в данной оптической системе (см. рис.). На переднюю поверхность призмы луч падает нормально и не преломляется, а на заднюю падает под малым углом  $\alpha = 5^\circ \approx 0,087$  радиана, для которого можно считать  $\sin \alpha \approx \alpha$ . По



закону преломления света для малых углов падения  $\alpha$  и преломления  $\beta$  имеем:  $\sin \beta / \sin \alpha = n \approx \beta / \alpha$ . Угол отклонения света призмой, таким образом, равен  $\delta = \beta - \alpha = (n - 1)\alpha$ . Луч фиолетового цвета, идущий под этим углом через оптический центр собирающей линзы, согласно правилам построения изображений в тонких линзах, проходит прямо, не преломляясь, и попадает на экран в точку, находящуюся на расстоянии  $h_1 \approx f\delta_1 = f(n_1 - 1)\alpha$  от главной оптической оси системы. Остальные параллельные лучи из этого пучка преломятся призмой под тем же углом  $\delta_1$  и соберутся в той же точке. Параллельные лучи красного цвета соберутся, очевидно, в точке на экране, находящейся на расстоянии  $h_2 \approx f\delta_2 = f(n_2 - 1)\alpha$  от главной оптической оси системы. Таким образом, ширина спектра на экране равна

$$h = h_1 - h_2 = f(n_1 - n_2)\alpha \approx 3,5 \text{ мм.}$$

Ответ:  $h = f(n_1 - n_2)\alpha \approx 3,5$  мм.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
<p>Приведено полное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>закон преломления света, правила построения изображений в тонких линзах и геометрические соотношения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов);</p> <p>III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу</p>	3



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