

Ответы к заданиям

№ задания	Ответ
13	к наблюдателю
19	11 24
22	$(2,4 \pm 0,1)$ Н

Ответы к заданиям

№ задания	Ответ
13	от наблюдателя
19	1 1
22	$(2,8 \pm 0,1)$ Н

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

28

Бабочки летают, быстро хлопая крыльями. Объясните с точки зрения физических законов и закономерностей, за счёт чего им удаётся удерживаться в воздухе. Оцените, с какой частотой ν бабочке-монарху надо махать крыльями в воздухе плотностью $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$, чтобы не упасть, если масса бабочки $m = 1 \text{ г}$, площадь крыльев $S = 20 \text{ см}^2$, максимальная вертикальная скорость концов крыльев в полёте $u = 2 \text{ м/с}$. Считайте, что бабочка опускает крылья вниз плашмя, а поднимает их вверх ребром.

Возможное решение

1. После каждого взмаха при опускании крыльев бабочка отбрасывает вниз порцию воздуха. Поскольку отбрасываемый воздух имеет массу, то он уносит импульс. В соответствии с законом сохранения импульса точно такой же импульс передаётся от отбрасываемого воздуха бабочке. В результате возникает подъёмная сила – она численно равна импульсу, который получает бабочка в единицу времени. Если эта сила уравнивает силу тяжести, действующую на бабочку, то она удерживается в воздухе.
2. Пусть при одном опускании крыльев за время Δt бабочка отбрасывает вниз некоторую массу Δm воздуха плотностью ρ в пределах своей площади крыльев S со средней скоростью V . При этом воздуху сообщается импульс $\Delta p = \Delta m V = \rho S V \Delta t \cdot V = \rho S V^2 \Delta t$. В единицу времени при частоте взмахов ν весь переданный воздуху импульс будет равен $\Delta P / \Delta t = \nu \Delta p / \Delta t = \nu \rho S V^2$. Бабочка при этом получает в единицу времени такой же по модулю импульс, но уже направленный вверх.
3. Согласно второму закону Ньютона, $\Delta P / \Delta t = \nu \rho S V^2 = mg$, откуда $\nu = mg / (\rho S V^2)$.
4. Для оценки скорости V , входящей в эту формулу, будем считать, что она составляет половину максимальной скорости концов крыльев: $V = u / 2$.

Таким образом, $\nu \approx \frac{4mg}{\rho S u^2} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{1,25 \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot 2^2} = 4 \text{ Гц}$.

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <i>бабочка отбрасывает крыльями воздух вниз, создавая подъёмную силу, равную её весу</i>), исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и закономерностей (в данном случае: <i>указание на закон изменения и сохранения импульса и на второй закон Ньютона в импульсной формулировке</i>) и правильная количественная оценка (от 1 до 10 Гц)	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков	2

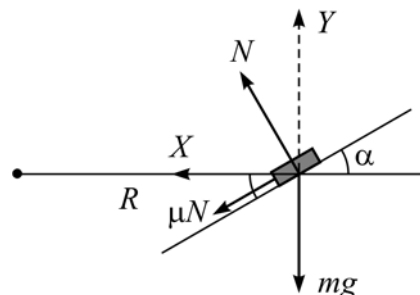
<p>В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.)</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</p>	
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев.</p> <p>Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, <u>приводящие к ответу</u>, содержат ошибки.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

29

Гоночный автомобиль едет по треку, имеющему на повороте радиусом $R = 50$ м угол наклона полотна дороги к горизонту $\alpha = 30^\circ$ внутрь поворота. С какой максимальной скоростью V может двигаться автомобиль, чтобы не заскользить и не вылететь с трека? Коэффициент трения колёс автомобиля о дорогу $\mu = 0,8$. Ответ выразите в км/ч.

Возможное решение

1. Введем неподвижную декартову систему координат с горизонтальной осью OX , направленной вдоль радиуса к центру закругления трека, и вертикальной осью OY . Начало координат поместим в точке нахождения автомобиля в данный момент времени, когда он движется вдоль трека перпендикулярно плоскости XOY со скоростью V .



2. На автомобиль массой m при максимальной скорости прохождения поворота действуют силы тяжести mg , нормального давления N и максимальная сила сухого трения, равная μN (см. рисунок), что обеспечивает его движение по окружности радиусом R с центростремительным ускорением, равным V^2/R .

3. Запишем уравнения второго закона Ньютона в проекциях на координатные оси: $N \cos \alpha = mg + \mu N \sin \alpha$ и $\frac{mV^2}{R} = N \sin \alpha + \mu N \cos \alpha$.

Отсюда $N = \frac{mg}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}$ и $\frac{mV^2}{R} = N(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = \frac{mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}$.

4. Таким образом, максимальная скорость прохождения поворота равна

$$V = \sqrt{\frac{gR(\operatorname{tg} \alpha + \mu)}{1 - \mu \operatorname{tg} \alpha}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 50 \cdot (1/\sqrt{3} + 0,8)}{1 - (0,8/\sqrt{3})}} \approx 35,77 \text{ м/с} \approx 129 \text{ км/ч.}$$

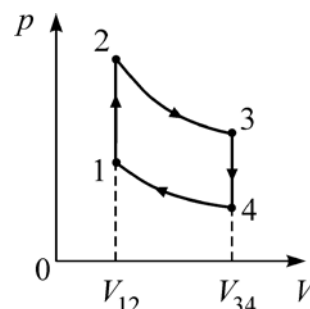
Ответ: $V = \sqrt{\frac{gR(\operatorname{tg} \alpha + \mu)}{1 - \mu \operatorname{tg} \alpha}} \approx 35,77 \text{ м/с} \approx 129 \text{ км/ч.}$

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 второго закона Ньютона для движения автомобиля по окружности, лежащей в горизонтальной плоскости, и формула для максимальной силы сухого трения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения</p>	3

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 с указанием единиц измерения искомой величины	
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. <div>И (ИЛИ)</div> 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.). <div>И (ИЛИ)</div> В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги. <div>И (ИЛИ)</div> Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. 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	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
Максимальный балл	3

30

В тепловом двигателе в качестве рабочего тела используется идеальный газ, а цикл состоит из двух изохор 1–2 и 3–4 и двух адиабат 2–3 и 4–1 (см. рисунок). Известно, что в адиабатических процессах температура газа изменяется в $n = 2$ раза (растёт в процессе 4–1 и падает в процессе 2–3). Найдите КПД цикла.



Возможное решение

1. Работа газа за весь цикл равна, согласно первому началу термодинамики, суммарному количеству теплоты, полученной и отданной газом в цикле.
2. Газ получает теплоту на изохоре 1–2 в количестве $Q_{12} = C_V(T_2 - T_1)$ и отдаёт её на изохоре 3–4 в количестве $Q_{34} = C_V(T_4 - T_3)$, где C_V – теплоёмкость данного количества газа при постоянном давлении.
3. Работа газа за цикл, таким образом, равна $A = C_V(T_2 - T_1 + T_4 - T_3)$.
4. КПД равен отношению работы к полученной теплоте:

$$\eta = A/Q_{12} = (T_2 - T_1 + T_4 - T_3)/(T_2 - T_1) = 1 - (T_3 - T_4)/(T_2 - T_1).$$
5. Поскольку по условию $T_2 = nT_3$ и $T_1 = nT_4$, то $\eta = 1 - 1/n = 0,5$.

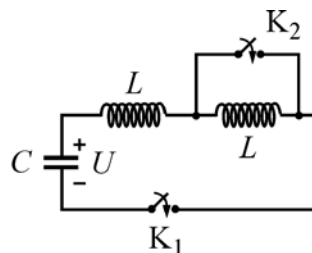
Ответ: $\eta = 1 - 1/n = 0,5$

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>первое начало термодинамики, выражение для количества теплоты, полученной газом в процессе при постоянном объёме, а также формула для КПД цикла теплового двигателя</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 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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>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.</p> <p>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</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<p style="text-align: right;">Максимальный балл</p>	3

31

В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, конденсатор ёмкостью $C = 4 \text{ мкФ}$ в начальный момент заряжен до напряжения $U = 100 \text{ В}$, а оба ключа разомкнуты. Замкнув ключ K_1 , к конденсатору подключили цепочку из двух последовательно соединённых катушек с одинаковой индуктивностью $L = 20 \text{ мГн}$, в результате чего в цепи возникли гармонические колебания. В момент, когда сила тока в цепи при этих колебаниях обратилась в ноль, замкнули ключ K_2 . Как и на сколько изменилась после этого амплитуда колебаний силы тока в цепи?



Возможное решение

1. Поскольку после замыкания ключа K_1 возникшие в цепи колебания являются по условию гармоническими, то потерь в цепи нет, сопротивлением проводов и катушек можно пренебречь и энергия колебаний сохраняется.
2. Электрическая энергия заряженного конденсатора $CU^2/2$ через половину периода колебаний превращается в энергию магнитного поля катушек индуктивности, равную при их последовательном соединении $(L + L)I_1^2/2 = LI_1^2$, где I_1 – амплитуда колебаний силы тока в цепи:

$$CU^2/2 = LI_1^2, \text{ и } I_1 = U \sqrt{\frac{C}{2L}} = 1 \text{ А.}$$

3. В тот момент, когда сила тока в цепи обращается в ноль, вся энергия колебаний снова оказывается сосредоточенной в конденсаторе. В этот момент замыкают ключ K_2 , что приводит к скачкообразному уменьшению индуктивности в цепи с $2L$ до L без потерь энергии.

4. В дальнейшем энергия при гармонических колебаниях периодически, с уменьшенным периодом колебаний, колеблется между конденсатором и катушкой индуктивности, причём $CU^2/2 = LI_2^2/2$, где I_2 – новая амплитуда колебаний силы тока в цепи.

Таким образом, $LI_2^2/2 = LI_1^2$, $I_2^2 = 2I_1^2$ и $I_2 = \sqrt{2} I_1 \approx 1,41 \text{ А}$. Следовательно, амплитуда увеличилась с 1 А до $\sqrt{2} \text{ А} \approx 1,41 \text{ А}$, т.е. примерно на $0,41 \text{ А}$.

Ответ: амплитуда увеличилась на $\approx 0,41 \text{ А}$

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>выражения для энергии заряженного конденсатора и катушки индуктивности с током, а также закон сохранения энергии в колебательном контуре</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (<i>за исключением обозначений</i></p>	3

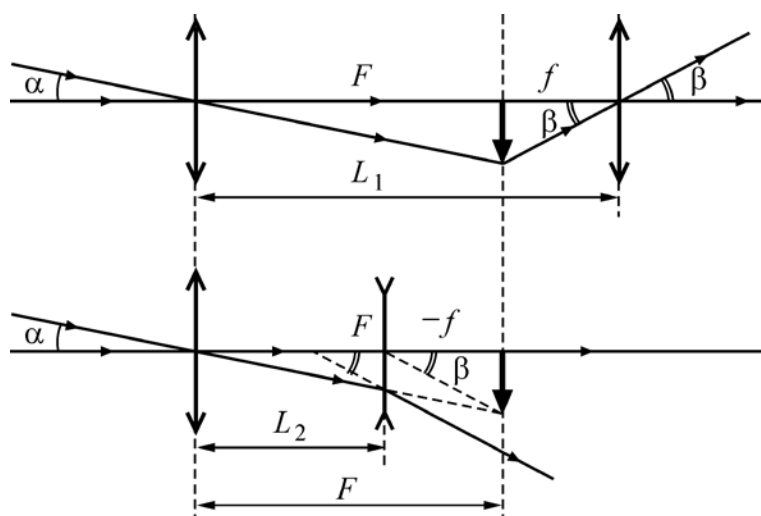
констант, указанных в варианте КИМ, обозначений, используемых в условии задачи, и стандартных обозначений величин, используемых при написании физических законов); III) проведены необходимые математические преобразования и расчёты, приводящие к правильному числовому ответу (допускается решение «по частям» с промежуточными вычислениями); IV) представлен правильный ответ с указанием единиц измерения искомой величины	
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. <div>И (ИЛИ)</div> 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.). <div>И (ИЛИ)</div> В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги. <div>И (ИЛИ)</div> Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. 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	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
Максимальный балл	3

32

Телескопические устройства состоят обычно из двух линз – длиннофокусного объектива и короткофокусного окуляра. В трубе системы Кеплера окуляр – лупа, т.е. собирающая линза, а в трубе системы Галилея окуляр – это рассеивающая линза. В обеих трубах фокальные плоскости объектива и окуляра совпадают, так что параллельный пучок света на входе в систему преобразуется в параллельный же пучок на её выходе. Рассмотрим две такие трубы с одинаковым угловым увеличением $\Gamma = 20$, с одинаковыми фокусными расстояниями объективов $F = 50$ см и одинаковыми по модулю фокусными расстояниями f окуляров. Какая труба короче и на сколько?

Возможное решение

1. Нарисуем оптические схемы трубы Кеплера и трубы Галилея и ход световых лучей в них (см. рисунок).



Будем считать, что на очень большом расстоянии находится предмет в виде стрелки, перпендикулярной оптическим осям труб.

2. От разных концов бесконечно удалённого предмета приходят два параллельных световых пучка под малым углом α друг к другу, и после объектива они собираются в обеих трубах в точки на фокальной плоскости, формируя изображение.

3. При рассматривании через окуляр-лупу действительного изображения в трубе Кеплера крайние лучи идут, как видно из рисунка, под малым углом $\beta > \alpha$, так что угловое увеличение $\Gamma = \beta/\alpha$. Оба угла можно считать малыми, так как мы разглядываем мелкие детали удалённого предмета, и из построения видно, что $\Gamma = \beta/\alpha = F/f$, а длина трубы $L_1 = F + f = F + F/\Gamma = 52,5$ см.

4. В трубе Галилея для рассеивающего окуляра изображение, даваемое объективом, является мнимым, а наблюдаемое глазом в окуляр изображение – также мнимое, и так же, как и в трубе Кеплера, оно удалено на бесконечное расстояние. Угловое увеличение, как видно из построения, также равно $\Gamma = \beta/\alpha = F/f$, а длина трубы $L_2 = F - f = F - F/\Gamma = 47,5$ см

5. Таким образом, разность длин труб Кеплера и Галилея $L_1 - L_2 = 2F/\Gamma = 5$ см – труба Галилея при том же увеличении и объективе короче трубы Кеплера на 5 см!

Ответ: Труба Галилея короче трубы Кеплера на $2F/\Gamma = 5$ 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>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 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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2

<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>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.</p> <p>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</p>	1
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

Бабочки летают, быстро хлопая крыльями. Объясните с точки зрения физических законов и закономерностей, за счёт чего им удаётся удерживаться в воздухе. Оцените, с какой частотой ν бабочке-мотыльку надо махать крыльями в воздухе плотностью $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$, чтобы не упасть, если масса бабочки $m = 0,5 \text{ г}$, площадь крыльев $S = 8 \text{ см}^2$, максимальная вертикальная скорость концов крыльев в полёте $u = 1 \text{ м/с}$. Считайте, что бабочка опускает крылья вниз плашмя, а поднимает их вверх ребром.

Возможное решение

1. После каждого взмаха при опускании крыльев бабочка отбрасывает вниз порцию воздуха. Поскольку отбрасываемый воздух имеет массу, то он уносит импульс. В соответствии с законом сохранения импульса точно такой же импульс передаётся от отбрасываемого воздуха бабочке. В результате возникает подъёмная сила – она численно равна импульсу, который получает бабочка в единицу времени. Если эта сила уравнивает силу тяжести, действующую на бабочку, то она удерживается в воздухе.
2. Пусть при одном опускании крыльев за время Δt бабочка отбрасывает вниз некоторую массу Δm воздуха плотностью ρ в пределах своей площади крыльев S со средней скоростью V . При этом воздуху сообщается импульс $\Delta p = \Delta m V = \rho S V \Delta t \cdot V = \rho S V^2 \Delta t$. В единицу времени при частоте взмахов ν весь переданный воздуху импульс будет равен $\Delta p / \Delta t = \nu \Delta p / \Delta t = \nu \rho S V^2$. Бабочка при этом получает в единицу времени такой же по модулю импульс, но уже направленный вверх.
3. Согласно второму закону Ньютона, $\Delta p / \Delta t = \nu \rho S V^2 = mg$, откуда $\nu = mg / (\rho S V^2)$.
4. Для оценки скорости V , входящей в эту формулу, будем считать, что она составляет половину максимальной скорости концов крыльев: $V = u/2$.
Таким образом, $\nu \approx \frac{4mg}{\rho S V^2} = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{1,25 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 1^2} = 20 \text{ Гц}$

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае: <i>бабочка отбрасывает крыльями воздух вниз, создавая подъёмную силу, равную её весу</i>), исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и закономерностей (в данном случае: <i>указание на закон изменения и сохранения импульса и на второй закон Ньютона в импульсной формулировке</i>) и правильная количественная оценка (от 10 до 30 Гц)	3
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько из следующих недостатков	2

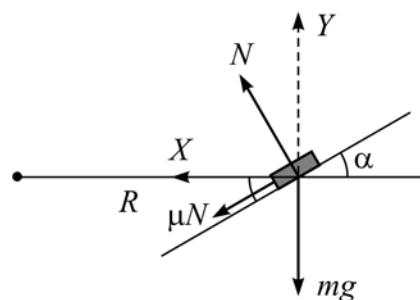
<p>В объяснении не указано или не используется одно из физических явлений, свойств, определений или один из законов (формул), необходимых для полного верного объяснения. (Утверждение, лежащее в основе объяснения, не подкреплено соответствующим законом, свойством, явлением, определением и т.п.)</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но в них содержится один логический недочёт.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеются лишние записи, не входящие в решение (возможно, неверные), которые не отделены от решения (не зачёркнуты; не заключены в скобки, рамку и т.п.).</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В решении имеется неточность в указании на одно из физических явлений, свойств, определений, законов (формул), необходимых для полного верного объяснения</p>	
<p>Представлено решение, соответствующее одному из следующих случаев.</p> <p>Дан правильный ответ на вопрос задания, и приведено объяснение, но в нём не указаны два явления или физических закона, необходимых для полного верного объяснения.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, направленные на получение ответа на вопрос задания, не доведены до конца.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеющиеся рассуждения, <u>приводящие к ответу</u>, содержат ошибки.</p> <p style="text-align: center;">ИЛИ</p> <p>Указаны не все необходимые для объяснения явления и законы, закономерности, но имеются верные рассуждения, направленные на решение задачи</p>	1
<p>Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла</p>	0
<p><i>Максимальный балл</i></p>	3

29

Гоночный автомобиль едет по треку, имеющему на повороте радиусом $R = 100$ м угол наклона полотна дороги к горизонту $\alpha = 15^\circ$ внутрь поворота. С какой максимальной скоростью V может двигаться автомобиль, чтобы не заскользить и не вылететь с трека? Коэффициент трения колёс автомобиля о дорогу $\mu = 0,9$. Ответ выразите в км/ч.

Возможное решение

1. Введем неподвижную декартову систему координат с горизонтальной осью OX , направленной вдоль радиуса к центру закругления трека, и вертикальной осью OY . Начало координат поместим в точке нахождения автомобиля в данный момент времени, когда он движется вдоль трека перпендикулярно плоскости XOY со скоростью V .



2. На автомобиль массой m при максимальной скорости прохождения поворота действуют силы тяжести mg , нормального давления N и максимальная сила сухого трения, равная μN (см. рисунок), что обеспечивает его движение по окружности радиусом R с центростремительным ускорением, равным V^2/R .

3. Запишем уравнения второго закона Ньютона в проекциях на координатные оси: $N \cos \alpha = mg + \mu N \sin \alpha$ и $\frac{mV^2}{R} = N \sin \alpha + \mu N \cos \alpha$.

$$\text{Отсюда } N = \frac{mg}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \text{ и } \frac{mV^2}{R} = N(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = \frac{mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}.$$

4. Таким образом, максимальная скорость прохождения поворота равна

$$V = \sqrt{\frac{gR(\tan \alpha + \mu)}{1 - \mu \tan \alpha}} \approx \sqrt{\frac{10 \cdot 100 \cdot (0,268 + 0,9)}{1 - 0,9 \cdot 0,268}} \approx 39,23 \text{ м/с} \approx 141 \text{ км/ч.}$$

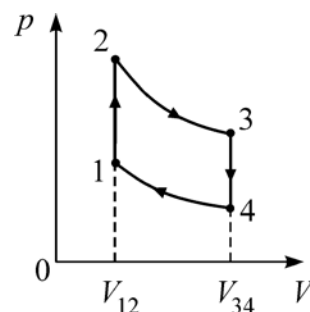
$$\text{Ответ: } V = \sqrt{\frac{gR(\tan \alpha + \mu)}{1 - \mu \tan \alpha}} \approx 39,23 \text{ м/с} \approx 141 \text{ км/ч.}$$

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 второго закона Ньютона для движения автомобиля по окружности, лежащей в горизонтальной плоскости, и формула для максимальной силы сухого трения</i>);</p> <p>II) описаны все вновь вводимые в решении буквенные обозначения физических величин (за исключением обозначений констант, указанных в варианте КИМ, обозначений,</p>	3

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 с указанием единиц измерения искомой величины	
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	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев. Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи. 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	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
Максимальный балл	3

30

В тепловом двигателе в качестве рабочего тела используется идеальный газ, а цикл состоит из двух изохор 1–2 и 3–4 и двух адиабат 2–3 и 4–1 (см. рисунок). Известно, что в адиабатических процессах температура газа изменяется в n раз (растёт в процессе 4–1 и падает в процессе 2–3). Найдите n , если КПД цикла равен $\eta = 0,4$.



Возможное решение

1. Работа газа за весь цикл равна, согласно первому началу термодинамики, суммарному количеству теплоты, полученной и отданной газом в цикле.
2. Газ получает теплоту на изохоре 1–2 в количестве $Q_{12} = C_V(T_2 - T_1)$ и отдаёт её на изохоре 3–4 в количестве $Q_{34} = C_V(T_4 - T_3)$, где C_V – теплоёмкость данного количества газа при постоянном давлении.
3. Работа газа за цикл, таким образом, равна $A = C_V(T_2 - T_1 + T_4 - T_3)$.
4. КПД равен отношению работы к полученной теплоте:

$$\eta = A/Q_{12} = (T_2 - T_1 + T_4 - T_3)/(T_2 - T_1) = 1 - (T_3 - T_4)/(T_2 - T_1).$$
5. Поскольку по условию $T_2 = nT_3$ и $T_1 = nT_4$, и $\eta = 1 - 1/n$. Отсюда

$$n = 1/(1 - \eta) \approx 1,67.$$

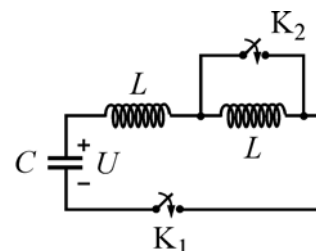
Ответ: $n = 1/(1 - \eta) \approx 1,67$

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>первое начало термодинамики, выражение для количества теплоты, полученной газом в процессе при постоянном объёме, а также формула для КПД цикла теплового двигателя</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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие <i>одному</i> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>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.</p> <p>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</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

31

В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, конденсатор ёмкостью $C = 9$ мкФ в начальный момент заряжен до напряжения $U = 50$ В, к нему подключена цепочка из двух последовательно соединённых катушек с одинаковой индуктивностью $L = 10$ мГн, а оба ключа разомкнуты. Вначале замкнули ключ K_2 , а потом ключ K_1 , в результате чего в цепи возникли гармонические колебания. В момент, когда сила тока в цепи при этих колебаниях обратилась в ноль, разомкнули ключ K_2 . Как и на сколько изменилась после этого амплитуда колебаний силы тока в цепи?



Возможное решение

1. Поскольку после замыкания ключа K_1 возникшие в цепи колебания являются по условию гармоническими, то потерь в цепи нет, сопротивлением проводов и катушек можно пренебречь и энергия колебаний сохраняется.
2. Электрическая энергия заряженного конденсатора $CU^2/2$ через половину периода колебаний превращается в энергию магнитного поля первой катушки индуктивности, равную $LI_1^2/2$, где I_1 – амплитуда колебаний тока в цепи: $CU^2/2 = LI_1^2/2$, и $I_1 = U\sqrt{\frac{C}{L}} = 1,5$ А.
3. В тот момент, когда сила тока в цепи проходит через ноль, вся энергия колебаний снова оказывается сосредоточенной в конденсаторе. В этот момент размыкают ключ K_2 , что приводит к скачкообразному увеличению индуктивности в цепи с L до $2L$ без потерь энергии.
4. В дальнейшем энергия при гармонических колебаниях периодически, с увеличенным периодом колебаний, колеблется между конденсатором и катушкой индуктивности, причём $CU^2/2 = 2LI_2^2/2$, где I_2 – новая амплитуда колебаний тока в цепи.
5. Таким образом, $2LI_2^2/2 = LI_1^2/2$, $2I_2^2 = I_1^2$, и

$$I_2 = I_1/\sqrt{2} \approx 1,06$$
 А.
 Следовательно, амплитуда уменьшилась с 1,5 А до $\approx 1,06$ А, т.е. примерно на 0,44 А.
 Ответ: амплитуда уменьшилась на $\approx 0,44$ А

Критерии оценивания выполнения задания	Баллы
Приведено полное решение, включающее следующие элементы: I) записаны положения теории и физические законы, закономерности, <u>применение которых необходимо</u> для решения задачи выбранным способом (в данном случае: <i>выражения для энергии заряженного конденсатора и катушки индуктивности с током, а также закон сохранения энергии в колебательном контуре</i>);	3

<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 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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/ вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>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.</p> <p>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</p>	1

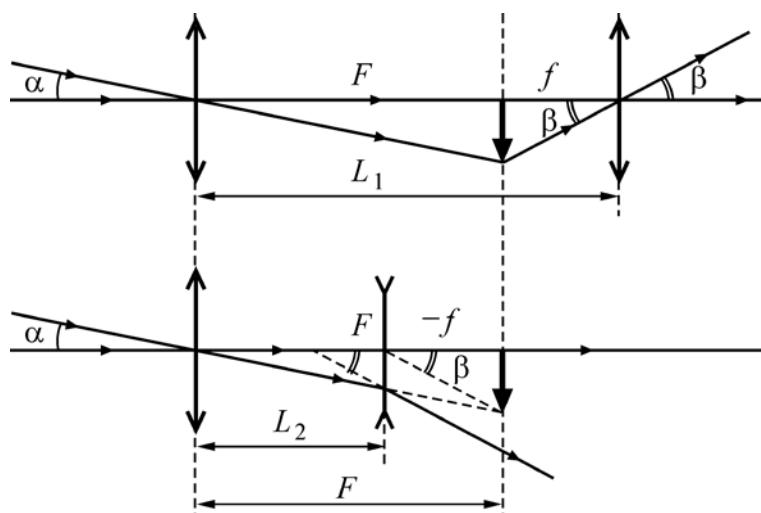
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
Максимальный балл	3

32

Телескопические устройства состоят обычно из двух линз – длиннофокусного объектива и короткофокусного окуляра. В трубе системы Кеплера окуляр – лупа, т.е. собирающая линза, а в трубе системы Галилея окуляр – это рассеивающая линза. В обеих трубах фокальные плоскости объектива и окуляра совпадают, так что параллельный пучок света на входе в систему преобразуется в параллельный же пучок на её выходе. Рассмотрим две такие трубы с одинаковым угловым увеличением $\Gamma = 50$, с одинаковыми фокусными расстояниями объективов $F = 100$ см и одинаковыми по модулю фокусными расстояниями f окуляров. Какая труба короче и на сколько?

Возможное решение

1. Нарисуем оптические схемы трубы Кеплера и трубы Галилея и ход световых лучей в них (см. рисунок).



Будем считать, что на очень большом расстоянии находится предмет в виде стрелки, перпендикулярной оптическим осям труб.

2. От разных концов бесконечно удалённого предмета приходят два параллельных световых пучка под малым углом α друг к другу, и после объектива они собираются в обеих трубах в точки на фокальной плоскости, формируя изображение.

3. При рассматривании через окуляр-лупу действительного изображения в трубе Кеплера крайние лучи идут, как видно из рисунка, под малым углом $\beta > \alpha$, так что угловое увеличение $\Gamma = \beta/\alpha$. Оба угла можно считать малыми, так как мы разглядываем мелкие детали удалённого предмета, и из построения видно, что $\Gamma = \beta/\alpha = F/f$, а длина трубы $L_1 = F + f = F + F/\Gamma = 102$ см.

4. В трубе Галилея для рассеивающего окуляра изображение, даваемое объективом, является мнимым, а наблюдаемое глазом в окуляр изображение – также мнимое, и так же, как и в трубе Кеплера, оно удалено на бесконечное расстояние. Угловое увеличение, как видно из построения, также равно $\Gamma = \beta/\alpha = F/f$, а длина трубы $L_2 = F - f = F - F/\Gamma = 98$ см.

5. Таким образом, разность длин труб Кеплера и Галилея $L_1 - L_2 = 2F/\Gamma = 4$ см – труба Галилея при том же увеличении и объективе короче трубы Кеплера на 4 см!

Ответ: Труба Галилея короче трубы Кеплера на $2F/\Gamma = 4$ 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>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 (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 style="text-align: center;">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 style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>В необходимых математических преобразованиях или вычислениях допущены ошибки, и (или) в математических преобразованиях/вычислениях пропущены логически важные шаги.</p> <p style="text-align: center;">И (ИЛИ)</p> <p>Отсутствует пункт IV, или в нём допущена ошибка</p>	2

<p>Представлены записи, соответствующие <u>одному</u> из следующих случаев.</p> <p>Представлены только положения и формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо и достаточно для решения данной задачи, без каких-либо преобразований с их использованием, направленных на решение задачи.</p> <p>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.</p> <p>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</p>	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла	0
<i>Максимальный балл</i>	3