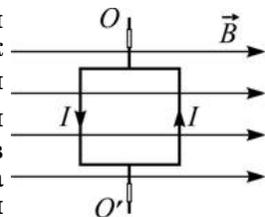


Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

C1

Медная прямоугольная рамка, по которой протекает постоянный электрический ток силой I , может вращаться вокруг вертикальной оси OO' , закрепленной в подшипниках. При вращении рамки на нее со стороны подшипников действуют силы вязкого трения. Опираясь на законы электродинамики и механики, опишите и объясните движение этой рамки после включения однородного магнитного поля с индукцией \vec{B} (см. рисунок).

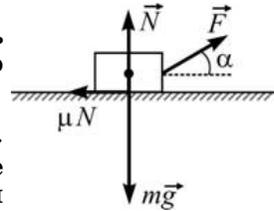


Решение: В однородном магнитном поле на правую и левую стороны рамки начнут действовать равные по модулю, но противоположно направленные силы Ампера. Сила, действующая на правую сторону рамки, будет направлена перпендикулярно плоскости рисунка "от нас"; сила, действующая на левую сторону рамки, будет направлена перпендикулярно плоскости рисунка "на нас". На верхнюю и нижнюю стороны рамки магнитные силы действовать не будут. Силы, действующие на правую и левую стороны рамки, будут поворачивать рамку, стремясь установить ее плоскость перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Поворачиваясь под действием этих сил, рамка будет разгоняться, и поэтому, повернувшись на угол 90° , она будет обладать некоторой скоростью. По этой причине рамка не остановится, а по инерции продолжит вращаться в том же направлении. Но теперь силы Ампера будут замедлять вращение рамки и она, в конце концов, остановится и под действием сил Ампера начнет вращаться в обратном направлении. Таким образом, возникнут колебания рамки. Из-за действия сил вязкого трения эти колебания будут постепенно затухать. В итоге, когда они окончательно затухнут, рамка окажется в положении устойчивого равновесия, при котором плоскость рамки будет перпендикулярна вектору \vec{B} .

Указания по оцениванию	Баллы
Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ (в данном случае – указано, что будут происходить затухающие колебания рамки, в результате которых она остановится в положении устойчивого равновесия, при котором плоскость рамки будет перпендикулярна вектору \vec{B}), и полное верное объяснение с указанием наблюдаемых явлений (в данном случае – указано, что силы Ампера, действующие на рамку, стремятся повернуть ее в состояние устойчивого равновесия, что из-за явления инерции возникнут колебания рамки, которые из-за действия сил трения затухнут).	3
Приведено решение и дан верный ответ, но имеется один из следующих недостатков: – в объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы; ИЛИ – рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты; ИЛИ – указаны не все физические явления и законы, необходимые для полного правильного решения.	2
Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев: – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ; ИЛИ – приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан; ИЛИ – представлен только правильный ответ без обоснований.	1
Все случаи решения, которые не соответствуют вышеуказанным критериям выставления оценок в 1, 2, 3 балла.	0
Максимальный балл	3

C2 На горизонтальном столе лежит деревянный брусок. Коэффициент трения между поверхностью стола и бруском $\mu = 0,1$. Если приложить к бруску силу, направленную вверх под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, то брусок будет двигаться по столу равномерно. С каким ускорением будет двигаться этот брусок по столу, если приложить к нему такую же по модулю силу, направленную вверх под углом $\beta = 30^\circ$ к горизонту?

Решение: Обозначим массу бруска m , а модуль прикладываемой к нему силы F . На брусок при его движении, помимо силы \vec{F} , действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила реакции опоры \vec{N} и сила сухого трения μN . Запишем второй закон Ньютона, спроецировав все действующие на брусок силы на направление движения бруска и на нормаль к столу. При равномерном движении бруска получаем:



$$F \cos \alpha = \mu N, \quad mg = F \sin \alpha + N.$$

Отсюда находим: $N = mg - F \sin \alpha$ и $F = \frac{\mu mg}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha}$.

При равноускоренном движении бруска система уравнений имеет следующий вид:

$$ma = F \cos \beta - \mu N_1, \quad mg = F \sin \beta + N_1,$$

где N_1 – модуль силы реакции стола во втором случае. Из этих уравнений имеем:

$$N_1 = mg - F \sin \beta \text{ и } a = \frac{F(\cos \beta + \mu \sin \beta)}{m} - \mu g.$$

Подставляя сюда выражение для F , найдем:

$$a = \frac{\mu g(\cos \beta + \mu \sin \beta)}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} - \mu g = \mu g \left(\frac{\cos \beta + \mu \sin \beta}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} - 1 \right).$$

Подставляя числовые данные и проверяя размерность, окончательно получим:

$$a \approx 0,18 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a = \mu g \left(\frac{\cos \beta + \mu \sin \beta}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} - 1 \right) \approx 0,18 \text{ м/с}^2.$

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

С3 В бутылке объемом $V = 1$ л находится гелий при нормальном атмосферном давлении. Горлышко бутылки площадью $S = 2 \text{ см}^2$ заткнуто короткой пробкой, имеющей массу $m = 20$ г. Если бутылка лежит горизонтально, то для того, чтобы медленно вытащить из ее горлышка пробку, нужно приложить к пробке горизонтально направленную силу $F = 1$ Н. Бутылку поставили на стол вертикально горлышком вверх. Какое количество теплоты нужно сообщить гелию в бутылке для того, чтобы он выдавил пробку из горлышка?

Решение: Пусть в результате сообщения теплоты гелий в бутылке нагрелся, и его давление повысилось до величины p . Так как нагревание происходит при постоянном объеме, то, в соответствии с первым законом термодинамики, сообщенное гелию количество теплоты равно приращению его внутренней энергии: $\Delta Q = \Delta U = \frac{3}{2}V(p - p_0)$, где p_0 – нормальное атмосферное давление. Из второго закона Ньютона следует, что для выдавливания пробки из горлышка необходимо, чтобы сумма действующих на пробку в вертикальном направлении сил стала равна по модулю величине F , то есть $pS - p_0S - mg = F$. Отсюда

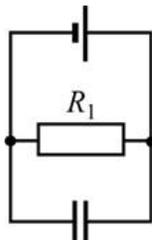
$$p - p_0 = \frac{F + mg}{S} \text{ и } \Delta Q = \frac{3}{2}V(p - p_0) = \frac{3V(F + mg)}{2S}.$$

Подставляя числовые данные и проверяя размерность, окончательно получим: $\Delta Q = 9$ Дж.

Ответ: $\Delta Q = \frac{3V(F + mg)}{2S} = 9$ Дж.

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

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



Решение: В соответствии с законом Ома для полной цепи сила тока, текущего в цепи, равна $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{r + R_1}$, где \mathcal{E} и r – ЭДС и внутреннее сопротивление

батареи. По закону Ома для участка цепи напряжение на резисторе R_1 равно $U_1 = I_1 R_1 = \frac{\mathcal{E} R_1}{r + R_1}$. Так как конденсатор подключен параллельно резистору, то

напряжение между его пластинами также равно U_1 . Модуль напряженности электрического поля между пластинами плоского конденсатора равен $E_1 = \frac{U_1}{d} = \frac{\mathcal{E} R_1}{d(r + R_1)}$, где d – расстояние между пластинами конденсатора.

Аналогичные рассуждения можно провести и для случая, когда в цепь вместо резистора R_1 включен резистор R_2 . При этом для модуля напряженности электрического поля между пластинами конденсатора получится аналогичное выражение: $E_2 = \frac{\mathcal{E} R_2}{d(r + R_2)}$. Так как по условию задачи $E_1 = n E_2$, то получаем

$$\text{уравнение: } \frac{R_1}{r + R_1} = \frac{n R_2}{r + R_2}. \text{ Отсюда } r = \frac{R_1 R_2 (n - 1)}{R_1 - n R_2}.$$

Подставляя числовые данные и проверяя размерность, окончательно получим: $r = 2$ Ом.

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

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

С5 Карандаш расположен перпендикулярно главной оптической оси тонкой собирающей линзы. При помощи этой линзы на экране, параллельном плоскости линзы, получено четкое изображение карандаша. Не трогая карандаш и экран, линзу переместили таким образом, что на экране вновь получилось четкое изображение карандаша. При исходном положении линзы длина изображения была равна $H_1 = 4$ см, а при конечном положении линзы длина изображения стала равна $H_2 = 9$ см. Чему равна длина карандаша? Линзу перемещают, не поворачивая, вдоль ее главной оптической оси.

Решение: Пусть в исходном положении карандаш находился на расстоянии a_1 от линзы, а экран – на расстоянии b_1 от нее. После перемещения линзы расстояния от карандаша до линзы и от экрана до линзы стали равны a_2 и b_2 , соответственно. Применим формулу тонкой линзы для начального и для конечного положения линзы:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{1}{F}, \quad \frac{1}{a_2} + \frac{1}{b_2} = \frac{1}{F}.$$

Здесь F – фокусное расстояние линзы.

Так как расстояние между карандашом и экраном не изменяется, то $a_1 + b_1 = a_2 + b_2$. Кроме того, связь между размером предмета и размером его изображения, даваемого тонкой собирающей линзой, дается формулами:

$$\frac{H_1}{h} = \frac{b_1}{a_1} \text{ и } \frac{H_2}{h} = \frac{b_2}{a_2}, \text{ где } h \text{ – искомая длина карандаш.}$$

Выразим величины a_1 и a_2 через h : $a_1 = \frac{hb_1}{H_1}$ и $a_2 = \frac{hb_2}{H_2}$. Тогда остальные

уравнения можно переписать в виде: $\frac{H_1}{hb_1} + \frac{1}{b_1} = \frac{H_2}{hb_2} + \frac{1}{b_2}$ и

$$\frac{hb_1}{H_1} + b_1 = \frac{hb_2}{H_2} + b_2. \text{ Исключая из них отношение } b_1 / b_2, \text{ получим: } h = \sqrt{H_1 H_2}.$$

Подставляя числовые значения и проверяя размерность, найдем окончательный ответ: $h = \sqrt{H_1 H_2} = 6$ см.

Ответ: $h = \sqrt{H_1 H_2} = 6$ см.

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

С6 На поверхность водяной капли объемом $V = 1 \text{ мм}^3$ ежесекундно падает $N = 10^{16}$ фотонов с длиной волны $\lambda = 500 \text{ нм}$. Все фотоны поглощаются водой. За какое время капля нагреется на $\Delta T = 47 \text{ К}$?

Решение: Так как вся энергия фотонов идет на нагревание воды, то из уравнения теплового баланса получим: $Cm\Delta T = NEt$, где C – удельная теплоемкость воды, m – масса капли, E – энергия одного фотона, t – искомое время. Для энергии фотона имеем: $E = h\nu$. Учитывая, что частота световой волны связана с ее длиной формулой $\nu = \frac{c}{\lambda}$, и что $m = \rho V$, где ρ – плотность воды, получим: $C\rho V\Delta T = N\frac{hc}{\lambda}t$. Отсюда $t = \frac{C\rho V\lambda\Delta T}{Nhc}$. Подставляя числовые значения и проверяя размерность, получим: $t \approx 59,8 \text{ с} \approx 1 \text{ мин}$.

Ответ: $t = \frac{C\rho V\lambda\Delta T}{Nhc} \approx 59,8 \text{ с} \approx 1 \text{ мин}$.

Указания по оцениванию	Баллы
<p>Приведено полное правильное решение, включающее следующие элементы:</p> <p>1) правильно записаны формулы, выражающие физические законы, применение которых необходимо для решения задачи выбранным способом (в данном решении – уравнение теплового баланса, выражение для энергии фотона, связь частоты световой волны с ее длиной, связь массы с плотностью и объемом);</p> <p>2) проведены необходимые математические преобразования и расчеты, приводящие к правильному числовому ответу, и представлен ответ; при этом допускается решение «по частям» (с промежуточными вычислениями).</p>	3
<p>Приведено решение и дан верный ответ, но имеется один из следующих недостатков:</p> <p>– в объяснении содержатся лишь общие рассуждения без привязки к конкретной ситуации задачи, хотя указаны все необходимые физические явления и законы;</p> <p>ИЛИ</p> <p>– рассуждения, приводящие к ответу, представлены не в полном объеме или в них содержатся логические недочеты;</p> <p>ИЛИ</p> <p>– указаны не все физические явления и законы, необходимые для полного правильного решения.</p>	2
<p>Представлены записи, соответствующие одному из следующих случаев:</p> <p>– приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но дан неверный или неполный ответ;</p> <p>ИЛИ</p> <p>– приведены рассуждения с указанием на физические явления и законы, но ответ не дан;</p> <p>ИЛИ</p> <p>– представлен только правильный ответ без обоснований.</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

Ответы к заданиям с выбором ответа

№ задания	Ответ
A1	1
A2	4
A3	3
A4	3
A5	1
A6	3
A7	1
A8	1
A9	2
A10	1
A11	3
A12	2
A13	3

№ задания	Ответ
A14	2
A15	3
A16	4
A17	3
A18	4
A19	2
A20	2
A21	2
A22	4
A23	4
A24	3
A25	1

Ответы к заданиям с кратким ответом

№ задания	Ответ
B1	123
B2	131

№ задания	Ответ
B3	42
B4	13

Ответы к заданиям с выбором ответа

№ задания	Ответ
A1	2
A2	2
A3	1
A4	2
A5	3
A6	2
A7	1
A8	3
A9	4
A10	4
A11	1
A12	1
A13	3

№ задания	Ответ
A14	3
A15	1
A16	2
A17	4
A18	4
A19	1
A20	4
A21	1
A22	3
A23	2
A24	2
A25	1

Ответы к заданиям с кратким ответом

№ задания	Ответ
B1	122
B2	232

№ задания	Ответ
B3	13
B4	24