Критерии оценивания олимпиадных работ по физике
(рекомендации для проверяющих)

Проверяя олимпиадную работу учащегося, будьте внимательны, объективны и доброжелательны.

При проверке олимпиадной работы руководствуйтесь критериями разбалловки, приведёнными ниже после решения каждой из задач. При этом проверяющий имеет право ставить неполный балл за действие, обозначенное в критериях, если оно выполнено учащимся частично.

Каждая задача (независимо от уровня сложности) оценивается из 10 баллов. Таким образом, за свою работу ученик может получить максимально 50 баллов (в 9-10-11 классах).

Имейте в виду, что предложенные учениками решения задач могут быть правильными, даже если эти решения кардинально отличаются от авторских! В этом случае рекомендуется придерживаться следующих критериев оценивания:

0 баллов – если ученик не приступал к решению задачи или приступил, но никаких разумных соображений не привёл;

3 балла – если ученик написал разумные соображения, уравнения и рисунки, но полную систему уравнений для решения задачи составить не смог;

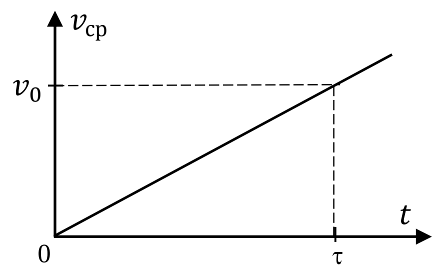
6 баллов – ученик понял физику решения, составил полную систему уравнений, необходимую для решения задачи, но довести решение системы до конца не смог;

9 баллов – ученик решил правильно задачу в общем виде (получил буквенный ответ), но сделал математические ошибки в окончательных вычислениях;

10 баллов – задача решена полностью (при этом способ решения, предложенный учеником, может кардинально отличаться от авторского).

9 класс
(условия задач и возможные решения)

9.1. Автомобиль трогается с места и набирает скорость так, что график зависимости средней путевой скорости от времени представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (см. рис.). Найдите мгновенную скорость автомобиля в момент времени $\tau = 10$ с после старта, если средняя его скорость в этот момент $v_0 = 50$ км/ч.



Возможное решение

Заметим, что путь S, пройденный автомобилем, квадратично зависит от времени t. В самом деле: $S = v_{ср} \cdot t = kt \cdot t = kt^2$, где $k = {}^{v_0}/_{\tau}$ – угловой коэффициент наклона графика $v_{ср}(t)$.

Таким образом, мы имеем дело с равноускоренным движением, проходящим с ускорением $a = 2k = {}^{2v_0}/_{\tau}$.

С учётом этого находим искомую скорость: $v = a\tau = 2v_0 = 100\,\frac{км}{ч}$.

Ответ: $v = 2v_0 = 100\,\frac{км}{ч}$.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Найдена зависимость пути от времени	2
2.	Сделан вывод о постоянстве ускорения	3
3.	Найдено ускорение движения	2
4.	Найдена искомая скорость	3
	Итого максимально за задачу	*10*

9.2. Камень, выпущенный из рогатки с поверхности земли вертикально вверх, побывал на высоте h = 7,2 м дважды с временным интервалом τ = 1,8 с. Сколько времени t длился весь полёт камня? Ускорение свободного падения g = 10 м/с^2. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Возможное решение

После первого прохождения высоты h = 7,2 м камень продолжает подъём ещё в течение времени $\tau_1 = \tau/2$ = 0,9 с, поднимаясь дополнительно на высоту $h_1 = \frac{g\tau_1^2}{2} = \frac{g\tau^2}{8} = 4{,}05$ м.

Таким образом, в процессе своего полёта камень достигает максимальной высоты подъёма $H = h + \frac{g\tau^2}{8} = 11,25$ м.

Время всего полёта t равно удвоенному времени падения с высоты H и равно:

$$t = 2 \cdot \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{8h}{g} + \tau^2} = 3 \text{ с.}$$

Ответ: $t = \sqrt{\frac{8h}{g} + \tau^2} = 3$ с.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Найдено время τ_1	1
2.	Найдена высота h_1	3
3.	Найдена высота H	2
4.	Выражено искомое время t	3
5.	Получен численный результат	1
Итого максимально за задачу		*10*

9.3. Алюминиевый шарик, подвешенный на тонкой нити, полностью погружают в водоём с температурой $t_0 = 0$ °С. На сколько процентов изменится сила натяжения нити за время установления термодинамического равновесия шарика с окружающей водой, если начальная температура шарика $t = -50$ °С? Тепловым расширением алюминия пренебречь. Удельная теплоёмкость алюминия $c = 0{,}9$ кДж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг, плотность алюминия $\rho = 2{,}7$ г/см^3, плотность воды $\rho_0 = 1{,}0$ г/см^3, плотность льда $\rho_л = 0{,}9$ г/см^3.

Возможное решение

Пусть m – масса шарика. Сразу после погружения шарика сила натяжения нити T_1 будет равна разности сил тяжести mg и Архимеда F_1, действующих на шарик:

$$T_1 = mg - F_1 = mg\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right).$$

За время установления термодинамического равновесия на шарике намерзает некоторая масса льда $m_л$, в результате чего сила натяжения нити станет равной

$$T_2 = (m + m_л)g - F_2 = (m + m_л)g - \left(\frac{m}{\rho} + \frac{m_л}{\rho_л}\right)\rho_0 g = mg\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) - m_л g\left(\frac{\rho_0}{\rho_л} - 1\right),$$

где F_2 – сила Архимеда, действующая на обледеневший шарик.

Массу льда $m_л$ нетрудно найти из уравнения теплового баланса:

$$m_л\lambda = cm(t_0 - t); \quad m_л = \frac{c(t_0 - t)}{\lambda}m.$$

С учётом вышеизложенного приходим к искомому отношению сил натяжения нити:

$$\frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{c(t_0 - t)}{\lambda} \cdot \frac{\rho_0 - \rho_л}{\rho - \rho_0} \cdot \frac{\rho}{\rho_л} \approx 0{,}976.$$

Таким образом, $T_1 - T_2 \approx 0{,}024 \cdot T_1$, то есть сила натяжения нити уменьшилась на 2,4%.

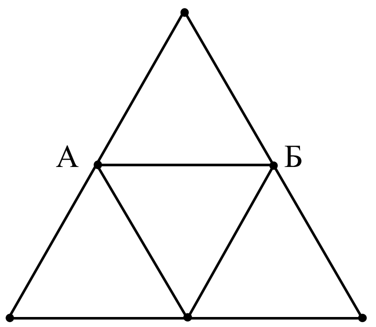
Ответ: сила натяжения нити уменьшилась на 2,4%.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Найдена сила натяжения нити сразу после опускания шарика в воду	2
2.	Найдена масса образовавшегося на шарике льда	2
3.	Получено выражение для силы натяжения нити после установления термодинамического равновесия	3
4.	Проведено сравнение сил натяжений	2
5.	Получен численный ответ в процентах	1
Итого максимально за задачу		*10*

9.4 Фигура, состоящая из большого и малого треугольников (см. рис.), спаяна из проволоки постоянного сечения с погонным сопротивлением $\rho = 1$ Ом/м. Каждая сторона большого треугольника $a = 1{,}8$ м. Стороны малого треугольника являются средними линиями большого треугольника. Найдите электрическое сопротивление этой фигуры между двумя вершинами малого треугольника.

Примечание: погонным сопротивлением проволоки называют сопротивление её единицы длины.

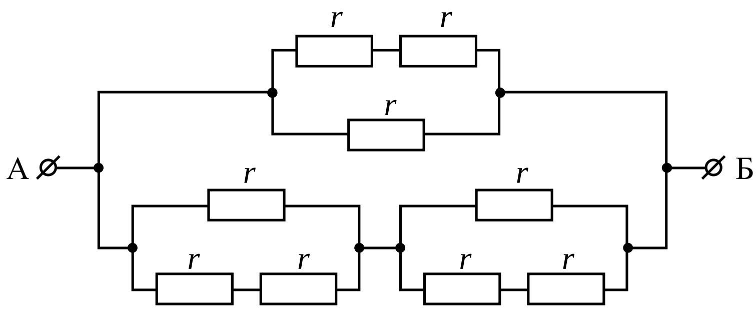


Возможное решение

Обозначим через r сопротивление проволоки длиной $a/2$, т.е.

$$r = \rho\frac{a}{2}.$$

Нарисуем эквивалентную схему для определения сопротивления между вершинами А и Б малого треугольника:



Используя формулы расчётов сопротивлений при последовательном и параллельном соединениях резисторов, нетрудно прийти к искомому результату:

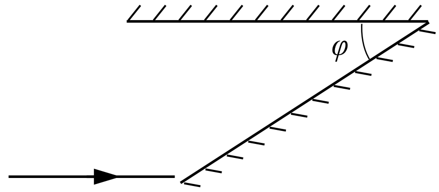
$$R = \frac{4}{9}r = \frac{2}{9}\rho a = 0{,}4\ \text{Ом}.$$

Ответ: $R = \frac{2}{9}\rho a = 0{,}4$ Ом.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Приведено выражение для сопротивления проволоки через её длину и погонное сопротивление	1
2.	Нарисована эквивалентная схема	4
3.	Получено выражение для искомого сопротивления	4
4.	Получен численный ответ	1
Итого максимально за задачу		*10*

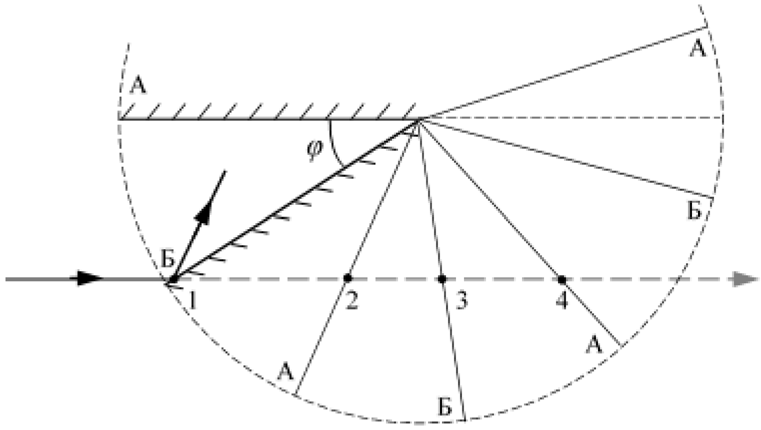
9.5. Оптическая система состоит из двух плоских зеркал одинаковых размеров, образующих двугранный угол $\varphi = 33°$. Луч света падает на край одно из зеркал параллельно другому, как показано на рисунке. Сколько отражений испытает луч прежде чем покинет данную оптическую систему?



Примечание: для необходимых построений рекомендуется воспользоваться транспортиром, циркулем и линейкой.

Возможное решение

Искомое количество отражений равно четырём, о чём наглядно свидетельствует построенная на рисунке так называемая «развёртка хода луча».



Важно заметить, что не произойдёт пятого отражения, так как луч покинет систему.

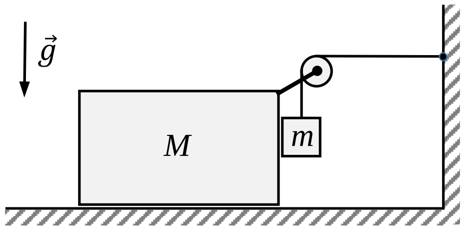
Ответ: 4 отражения.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Применена идея развёртки	6
2.	Найдено искомое число отражений	4
Итого максимально за задачу		*10*

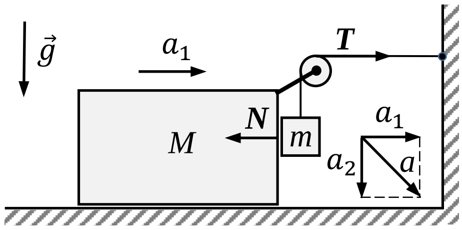
10 класс
(условия задач и возможные решения)

10.1. В системе, показанной на рисунке, трение отсутствует, блок и нить невесомые, нить нерастяжимая, массы тел m = 1 кг и M = 3 кг. Найдите ускорение a тела массой m. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.



Возможное решение

Записывая уравнения второго закона Ньютона для тел системы и учитывая нерастяжимость нити, приходим к системе уравнений:



$$\begin{cases} Ma_1 = T - N\,; \\ ma_1 = N\,; \\ ma_2 = mg - T; \\ a_1 = a_2. \end{cases}$$

Здесь T – сила натяжения нити; N – сила реакции боковой поверхности тела M, действующая на тело m и вызывающего его движение с ускорением a_1 в горизонтальном направлении, т.е. движение с тем же ускорением a_1, с которым движется само тело M (кстати, с такой же силой N тело m давит на тело M); a_2 – ускорение движения тела m в вертикальном направлении (см. рис.). Чтобы не загромождать рисунок, мы не стали показывать на нём силы, действующие на тело m, а ограничились только горизонтальными силами, действующими на тело M. Надеемся, что читатель сам сможет расставить силы ($m\vec{g}, \vec{N}, \vec{T}$), действующие на тело m.

Ускорения a_1 и a_2 представляют собой не что иное, как проекции искомого ускорения $\vec{a}$ на горизонтальное и вертикальное направления соответственно (см. рис.).

Решая систему уравнение, находим ускорения a_1, a_2 и вычисляем искомое ускорение a на основании теоремы Пифагора:

$$a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} = \frac{m\sqrt{2}}{M + 2m} \cdot g \approx 2{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Ответ: $a = \frac{m\sqrt{2}}{M+2m} \cdot g \approx 2{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Показаны силы, действующие на тела	2
2.	Записаны 3 уравнения второго закона Ньютона	3
3.	Записано условие нерастяжимости нити ($a_1 = a_2$)	1
4.	Учтено, что $a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$	1
5.	Выражено искомое ускорение a	2
6.	Получен численный ответ	1
Итого максимально за задачу		*10*

10.2. Два одинаковых по размерам гладких шарика с массами m и $2m$ скользят по гладкой горизонтальной поверхности во взаимно перпендикулярных направлениях, имея импульсы p и $p/_2$ соответственно. В результате столкновения каждый из шариков изменил направление своего движения на 90°. Какая часть α первоначальной кинетической энергии шариков перешла в тепло в результате столкновения?

Возможное решение

В соответствии с законом сохранения импульса в ситуации, описанной в условии задачи, можно сделать вывод, что тела в результате соударения обменяются импульсами.

Выражая кинетическую энергию шариков через их импульсы и массы и, записывая закон сохранения энергии, приходим к уравнению:

$$\frac{p^2}{2m}+\frac{\left(\frac{p}{2}\right)^2}{2\cdot 2m}=\frac{\left(\frac{p}{2}\right)^2}{2m}+\frac{p^2}{2\cdot 2m}+Q,$$

откуда выражаем тепло Q, выделяющееся в результате соударения:

$$Q=\frac{3p^2}{16m}.$$

Принимая во внимание выражение для начальной кинетической энергии системы

$$E_0=\frac{p^2}{2m}+\frac{\left(\frac{p}{2}\right)^2}{2\cdot 2m}=\frac{9p^2}{16m},$$

находим искомую величину:

$$\alpha=\frac{Q}{E_0}=\frac{1}{3}.$$

Ответ: $\alpha=\frac{1}{3}$.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Обосновано, что шарики обмениваются импульсами	3
2.	Записан закон сохранения энергии при ударе	3
3.	Выражено тепло Q	1
4.	Выражена начальная энергия	1
5.	Найдена искомая величина α	2
Итого максимально за задачу		*10*

10.3. Алюминиевый шарик, подвешенный на тонкой нити, полностью погружают в водоём с температурой t_0 = 0 °С. Найдите начальную температуру шарика, если за время установления термодинамического равновесия шарика с окружающей водой сила натяжения нити изменилась на 2,9%. Тепловым расширением алюминия пренебречь. Удельная теплоёмкость алюминия c = 0,9 кДж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда λ = 330 кДж/кг, плотность алюминия ρ = 2,7 г/см^3, плотность воды ρ_0 = 1,0 г/см^3, плотность льда $\rho_л$ = 0,9 г/см^3.

Возможное решение

Пусть m – масса шарика. Сразу после погружения шарика сила натяжения нити T_1 будет равна разности сил тяжести mg и Архимеда F_1, действующих на шарик:

$$T_1 = mg - F_1 = mg\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right).$$

За время установления термодинамического равновесия на шарике намерзает некоторая масса льда $m_л$, в результате чего сила натяжения нити станет:

$$T_2 = (m + m_л)g - F_2 = (m + m_л)g - \left(\frac{m}{\rho} + \frac{m_л}{\rho_л}\right)\rho_0 g = mg\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) - m_л g\left(\frac{\rho_0}{\rho_л} - 1\right),$$

где F_2 – сила Архимеда, действующая на обледеневший шарик

Массу льда $m_л$ нетрудно выразить из уравнения теплового баланса:

$$m_л\lambda = cm(t_0 - t); \quad m_л = \frac{c(t_0 - t)}{\lambda} m.$$

С учётом вышеизложенного нетрудно получить:

$$0{,}029 = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{c(t_0 - t)}{\lambda} \cdot \frac{\rho_0 - \rho_л}{\rho - \rho_0} \cdot \frac{\rho}{\rho_л};$$

$$t = t_0 - 0{,}029 \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0 - \rho_л} \cdot \frac{\rho_л}{\rho} \cdot \frac{\lambda}{c} \approx -60°\text{C}.$$

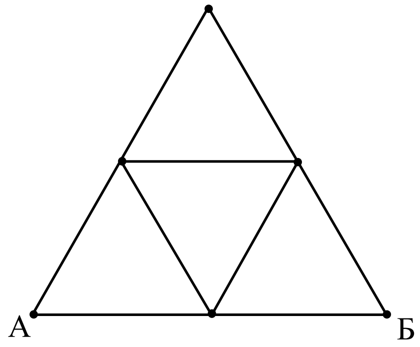
Ответ: $t \approx -60$ °С.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Найдена сила натяжения нити сразу после опускания шарика в воду	2
2.	Найдена масса образовавшегося на шарике льда	2
3.	Получено выражение для силы натяжения нити после установления термодинамического равновесия	3
4.	Получено выражение для искомой температуры	2
5.	Получен численный ответ	1
Итого максимально за задачу		*10*

10.4. Фигура, состоящая из большого и малого треугольников (см. рис.), спаяна из проволоки постоянного сечения с погонным сопротивлением ρ = 1 Ом/м. Каждая сторона малого треугольника b = 0,9 м. Стороны малого треугольника являются средними линиями большого треугольника. Найдите электрическое сопротивление этой фигуры между двумя вершинами большого треугольника.

Примечание: погонным сопротивлением проволоки называют сопротивление её единицы длины.

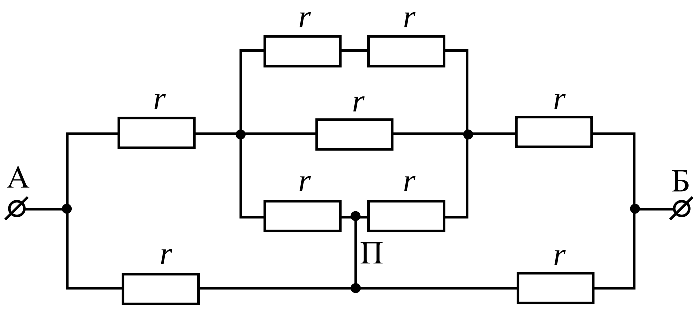


Возможное решение

Обозначим через r сопротивление проволоки длиной b, т.е.

$$r = \rho b.$$

Нарисуем эквивалентную схему для определения сопротивления между вершинами А и Б большого треугольника:



Вертикальная перемычка П в этой схеме может быть удалена. Тогда, используя формулы расчётов последовательного и параллельного соединения резисторов, нетрудно прийти к искомому результату:

$$R = \frac{10}{9}r = \frac{10}{9}\rho b = 1\ \text{Ом}.$$

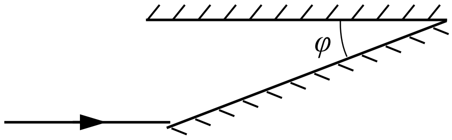
Ответ: $R = \frac{10}{9}\rho b = 1\ \text{Ом}.$

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Приведено выражение для сопротивления проволоки через её длину и погонное сопротивление	1
2.	Нарисована эквивалентная схема и обосновано удаление перемычки	4
3.	Получено выражение для искомого сопротивления	4
4.	Получен численный ответ	1
Итого максимально за задачу		*10*

10.5. Оптическая система состоит из двух плоских зеркал одинаковых размеров, образующих двугранный угол $\varphi = 21°$. Луч света падает на край одно из зеркал параллельно другому, как показано на рисунке. Сколько отражений испытает луч прежде чем покинет данную оптическую систему?

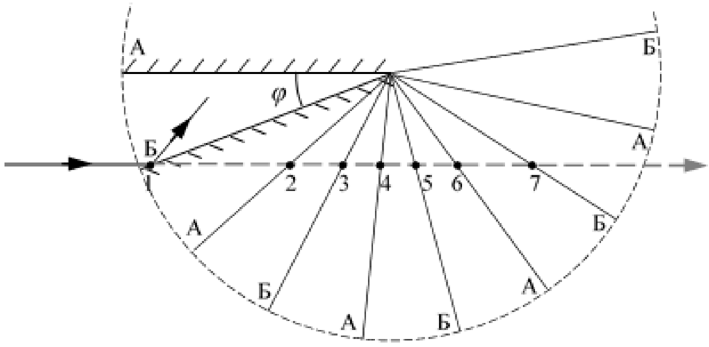
Примечание: для необходимых построений рекомендуется воспользоваться транспортиром, циркулем и линейкой.



Возможное решение

Искомое количество отражений равно семи, о чём наглядно свидетельствует построенная на рисунке так называемая «развёртка хода луча».

Важно заметить, что из-за равенства размеров зеркал «А» и «Б» не произойдёт восьмого отражения, так как луч покинет систему. Это восьмое отражение возможно при увеличении размера зеркала «А» по сравнению с размером зеркала «Б». Но девятое отражение, как это видно из рисунка, в случае, когда $\varphi = 21°$, в принципе не возможно!



Ответ: 7 отражений.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Применена идея развёртки	6
2.	Найдено искомое число отражений	4
Итого максимально за задачу		*10*

11 класс
(условия задач и возможные решения)

11.1. Два одинаковых по размерам гладких шарика с массами m и $3m$ скользят по гладкой горизонтальной поверхности во взаимно перпендикулярных направлениях, имея импульсы p и $p/3$ соответственно. В результате столкновения каждый из шариков изменил направление своего движения на 90°. Какая часть первоначальной кинетической энергии шариков перешла в тепло в результате столкновения?

Возможное решение

В соответствии с законом сохранения импульса в ситуации, описанной в условии задачи, можно сделать вывод, что тела в результате соударения обменяются импульсами.

Выражая кинетическую энергию шариков через их импульсы и массы и, записывая закон сохранения энергии, приходим к уравнению:

$$\frac{p^2}{2m} + \frac{\left(\frac{p}{3}\right)^2}{2 \cdot 3m} = \frac{\left(\frac{p}{3}\right)^2}{2m} + \frac{p^2}{2 \cdot 3m} + Q,$$

откуда выражаем тепло Q, выделяющееся в результате соударения:

$$Q = \frac{8p^2}{27m}.$$

Принимая во внимание выражение для начальной кинетической энергии системы

$$E_0 = \frac{p^2}{2m} + \frac{\left(\frac{p}{3}\right)^2}{2 \cdot 3m} = \frac{14p^2}{27m},$$

находим искомую величину:

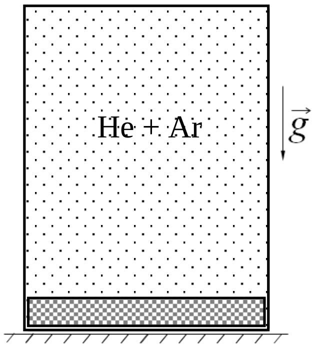
$$\alpha = \frac{Q}{E_0} = \frac{4}{7}.$$

Ответ: $\alpha = \frac{4}{7}$.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Обосновано, что шарики обмениваются импульсами	3
2.	Записан закон сохранения энергии при ударе	3
3.	Выражено тепло Q	1
4.	Выражено начальная энергия	1
5.	Найдена искомая величина α	2
Итого максимально за задачу		*10*

11.2. В вертикальном теплоизолированном герметичном цилиндрическом сосуде с массивным поршнем находятся $\nu_1 = 2$ моль гелия и $\nu_2 = 1$ моль аргона при температуре $t_0 = 7$ °C. В начальный момент поршень лежит на дне сосуда (см. рис.). Сосуд быстро переворачивают вверх дном. Определите температуру каждого из газов в сосуде после установления в системе термодинамического равновесия, если поршень, проницаемый для гелия и непроницаемый для аргона, в результате оказался ровно в середине сосуда. Трением поршня о стенки сосуда и теплоёмкостью поршня пренебречь.



Возможное решение

Пусть T_0 – начальная абсолютная температура системы (T_0 = 280 К), а T – температура после установления термодинамического равновесия, в котором каждый из газов будет иметь эту температуру; S – площадь поршня, h – высота, на которую опустится поршень после переворота.

В состоянии термодинамического равновесия гелий равномерно распределится по всему объёму сосуда и не будет оказывать результирующего воздействия на поршень. Так как поршень оказывается в середине сосуда, то аргон окажется в объёме $V = Sh$ под давлением $P = \frac{mg}{S}$, создаваемым поршнем.

Записывая уравнение Менделеева-Клапейрона для аргона в конечном состоянии и закон сохранения энергии для рассматриваемой системы, приходим к системе уравнений:

$$\begin{cases} \frac{mg}{S} \cdot Sh = \nu_2 RT; \\ mgh = \frac{3}{2} R(\nu_1 + \nu_2)(T - T_0)\ , \end{cases}$$

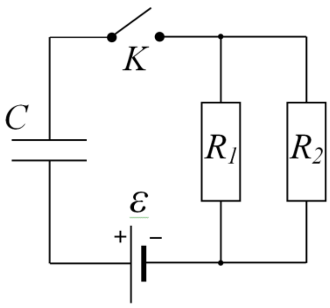
решая которую, находим искомую температуру:

$$T = \frac{3(\nu_1 + \nu_2)}{3\nu_1 + \nu_2} \cdot T_0 = 360\ K = 87\ °C.$$

Ответ: температура каждого из газов после установления термодинамического равновесия $T = \frac{9}{7} T_0 = 360\ K = 87\ °C$.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Указано, что после установления термодинамического равновесия температуры газов равны	1
2.	Найдено давление аргона в конечном состоянии	2
3.	Записано уравнение Менделеева-Клапейрона для аргона в конечном состоянии	2
4.	Записано уравнение закона сохранения энергии	3
5.	Найдена искомая температура	2
	Итого максимально за задачу	*10*



11.3. В электрической цепи, состоящей из источника с ЭДС ε = 12 В, незаряженного конденсатора ёмкости C = 100 мкФ и резисторов с сопротивлениями R_1 и R_2 ($R_2 = 3R_1$), в начальный момент ключ K разомкнут. Какое количество теплоты Q_1 выделится на резисторе R_1 после замыкания ключа? Сопротивлением соединительных проводов и внутренним сопротивлением источника пренебречь.

Возможное решение

После замыкания ключа в рассматриваемой цепи конденсатор заряжается до напряжения $U = \mathcal{E}$, а через источник протекает заряд $q = C\mathcal{E}$.

Согласно закону сохранения энергии, работа источника идёт на изменение энергии конденсатора и на выделение джоулева тепла на резисторах:

$$\mathcal{E} \cdot q = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} + Q_1 + Q_2\,.$$

Поскольку напряжения на резисторах в любой момент времени одинаковы ввиду их параллельного соединения, то в соответствии с законом Джоуля-Ленца отношение теплот Q_1 и Q_2 будет равно обратному отношению сопротивлений резисторов:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}\,.$$

С учётом этого из закона сохранения энергии нетрудно найти искомую величину:

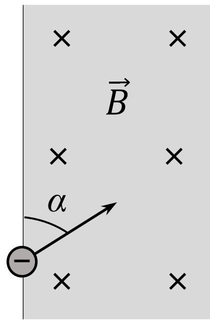
$$Q_1 = \frac{C\varepsilon^2}{2} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5{,}4 \text{ мДж}\,.$$

Ответ: на резисторе R_1 выделится количество теплоты $Q_1 = \frac{C\varepsilon^2}{2} \cdot \frac{R_2}{R_1+R_2} = 5{,}4$ мДж.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Найден заряд, протекающий через источник	1
2.	Найдено конечное напряжение на конденсаторе	1
3.	Записан закон сохранения энергии	3
4.	Обосновано отношение теплот Q_1 и Q_2	2
5.	Получено выражение для количества теплоты Q_1	2
6.	Найдено численное значение Q_1	1
	Итого максимально за задачу	*10*

11.4. Однородное магнитное поле с индукцией B = 0,01 Тл создано в полупространстве. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов U = 3 кВ, влетает в это поле перпендикулярно линиям индукции и под углом α = 60° к границе поля, как показано на рисунке. Через какое время t и на какое расстояние d электрон максимально удалится от границы поля? Удельный заряд электрона $e/m = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.



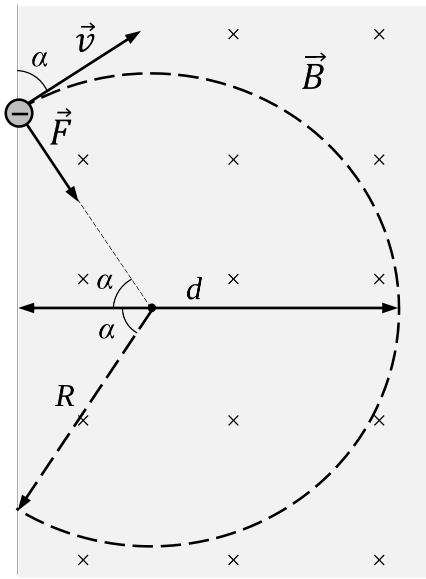
Возможное решение

Ускоряясь в электрическом поле, электрон приобретает кинетическую энергию $K = \frac{mv^2}{2}$, равную работе $A = eU$ этого поля:

$$\frac{mv^2}{2} = eU.$$

Таким образом, в магнитное поле электрон влетает со скоростью

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}.$$



Движения электрона в магнитном поле происходит под действием сила Лоренца $F = evB$, направленной всегда перпендикулярно его скорости, как показано на рисунке (здесь учтено, что электрон – это отрицательно заряженная частица!). В результате чего в магнитном поле электрон движется с постоянной по модулю скоростью v, по дуге окружности (см. рис.), радиус R которой можно найти, применив второй закон Ньютона:

$$m\frac{v^2}{R} = evB; \implies R = \frac{mv}{eB}.$$

Из геометрии рисунка нетрудно определить расстояние d от границы поля до точки максимального удаления электрона:

$$d = R + R\cos\alpha = \sqrt{\frac{2U}{e/m}} \cdot \frac{(1+\cos\alpha)}{B} \approx 2{,}8 \text{ см}.$$

Из геометрии рисунка нетрудно найти путь S, пройденный электроном до точки максимального удаления от границы поля:

$$S = \frac{180° - \alpha}{360°} \cdot 2\pi R = \frac{2\pi}{3} R.$$

С учётом того, что движение электрона в магнитном является равномерным ($v = const$), находим искомое время:

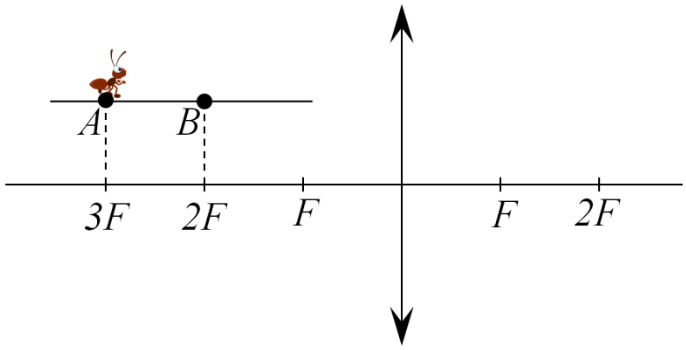
$$t = \frac{S}{v} = \frac{2\pi}{3} \cdot \frac{m}{eB} \approx 1{,}2 \text{ нс}.$$

Ответы: $d = \sqrt{\frac{2U}{e/m}} \cdot \frac{(1+\cos\alpha)}{B} \approx 2{,}8$ см ; $t = \frac{2\pi}{3} \cdot \frac{m}{eB} \approx 1{,}2$ нс.

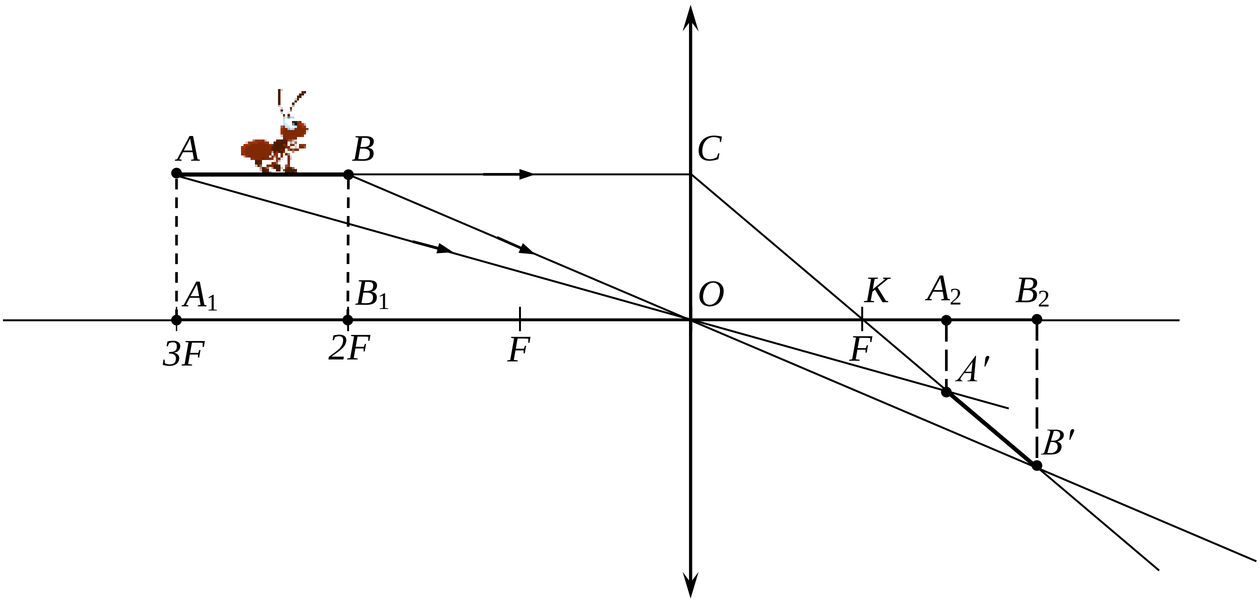
Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Найдена скорость электрона после разгона в электрическом поле	2
2.	Записано выражение для силы Лоренца и показано её направление с учётом знака заряда электрона	2
3.	Указано, что траекторией движения электрона в магнитном поле является дуга окружности, и найден радиус этой окружности на основании второго закона Ньютона	2
4.	Получено выражение для d	1
5.	Получено выражение для времени t	1
6.	Найдено численное значение d	1
7.	Найдено численное значение t	1
Итого максимально за задачу		*10*

11.5. Муравей ползёт по натянутой нити, параллельной главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием $F = 16$ см. Определите перемещение S изображения муравья, даваемое линзой, за время движения самого муравья из точки A в точку B (см. рис.). Расстояние между нитью и главной оптической осью $h = 12$ см.



Возможное решение



Построим изображение $A'B'$ отрезка AB, даваемого линзой (см. рисунок). Длина отрезка $A'B'$ и есть искомое перемещение S.

Анализируя две пары подобных треугольников (ΔAOA_1 и $\Delta A'OA_2$; ΔCKO и $\Delta A'KA_2$), можно получить, что $OA_2 = \frac{3F}{2}$, а $A_2A' = \frac{OC}{2} = \frac{h}{2}$.

Рассмотрение двух других пар треугольников (ΔBOB_1 и $\Delta B'OB_2$; ΔCKO и $\Delta B'KB_2$) позволяет определить, что $OB_2 = 2F$, а $B_2B' = OC = h$.

Из прямоугольных треугольников KA_2A' и KB_2B' по теореме Пифагора можно вычислить длины отрезков KA' и KB', после чего окончательно получить:

$$S = A'B' = KB' - KA' = \frac{\sqrt{F^2 + h^2}}{2} = 10 \text{ см}.$$

Ответ: перемещение изображения муравья $S = \frac{\sqrt{F^2+h^2}}{2} = 10$ см.

Возможные критерии оценивания

№	Действия	Количество баллов
1.	Построено изображение отрезка *AB*	3
2.	Рассмотрены подобные треугольники и найдены необходимые расстояния	4
3.	Получено выражение искомого перемещения *S*	2
4.	Получено численное значение *S*	1
Итого максимально за задачу		*10*