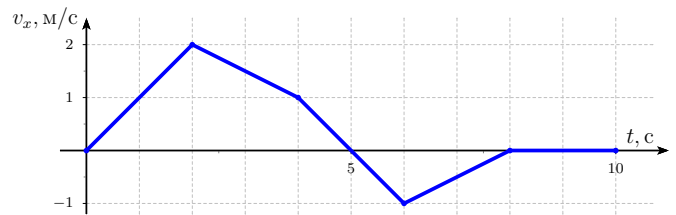


ЕГЭ по физике

Часть 1

Задача 1. Абитуриент совершает одномерные движения возле двери приемной комиссии. На графике представлена зависимость проекции скорости v_x абитуриента от времени. В какой момент времени модуль перемещения относительно исходной точки имел максимальное значение? Ответ дайте в секундах.



Решение. По графику видно, что первые 5 секунд абитуриент отдалялся от исходной точки, затем он начал приближение к ней. Причем то расстояние, на которое он приблизился за указанное на графике время, меньше, чем расстояние, на которое он удалился за первые 5 секунд своего движения (можно посчитать по количеству клеток). Отсюда можно сделать вывод о том, что максимальное удаление от исходной точки было на 5 секунде движения.

Ответ: 5 с.

Задача 2. Решив заселиться в общежитие, абитуриент равномерно тащит за собой свою сумку по горизонтальной шероховатой поверхности, прикладывая к ней силу, направленную под углом 30° к горизонтали (снизу вверх). Масса сумки 20 кг, модуль силы равен 100 Н. Чему равен модуль силы, с которой сумка давит на поверхность? Ответ дайте в ньютонах.

Решение. На сумку действуют четыре силы: внешняя сила тяги, направленная под углом 30° к горизонтали (снизу вверх), сила тяжести, направленная вертикально вниз, сила реакции опоры, направленная вертикально вверх, и сила трения скольжения, направленная горизонтально. Сила, с которой ящик давит на поверхность, по третьему закону Ньютона равна силе реакции опоры. Запишем второй закон Ньютона в проекции на ось OY , направленную вверх:

$$ma_y = N - mg + F \cdot \sin \alpha.$$

где m — масса ящика, a_y — проекция ускорения ящика на вертикальную ось, N — сила реакции опоры, F — внешняя сила, направленная под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонтали. Поскольку $a_y = 0$, получаем

$$N = mg - F \cdot \sin \alpha = 20 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2 - 100 \text{ Н} \cdot 0,5 = 150 \text{ Н}.$$

Ответ: 150 Н.

Задача 3. Подходя к общежитию, абитуриент видит, как студент, споткнувшись, роняет учебник массой 800 г с высоты 2 м. Чему равна кинетическая энергия учебника в момент перед падением на землю, если потеря энергии за счёт сопротивления воздуха составила 5 Дж, а начальную скорость падения книги можно приравнять нулю? Ответ дайте в джоулях.

Решение. Полная энергия учебника в начале полета составляла

$$E_0 = E_{\text{пот}} + E_{\text{кин}} = mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh = 0.8 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 2 \text{ м} = 16 \text{ Дж}.$$

В момент приземления часть этой энергии затратилась на сопротивление воздуха, оставшаяся же часть превратилась в кинетическую энергию. Таким образом, кинетическая энергия перед приземлением — это разность полной энергии книги в начале полета и энергии, затраченной на сопротивление воздуха:

$$E'_{\text{кин}} = E_0 - E_{\text{сопр}} = 16 \text{ Дж} - 5 \text{ Дж} = 11 \text{ Дж}.$$

Ответ: 110 Дж.

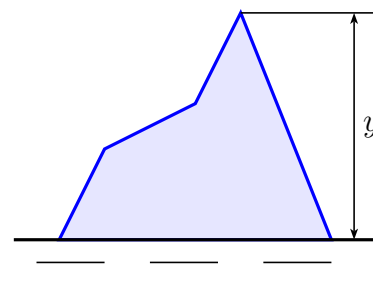
Задача 4. Абитуриент решил зайти в клуб при общежитии. Наблюдая за игрой на гитаре студента, он заметил, что амплитуда колебаний одной из точек первой струны гитары составляет $A = 3$ мм. Абитуриент вспомнил, что первая струна совершает колебания с частотой 330 Гц. Какой путь пройдет эта точка за $t = 2$ с? Ответ дайте в сантиметрах.

Решение. За каждый период колеблющаяся точка проходит путь, равный 4 амплитудам. За время t она совершает $N = t/T = t\nu = 660$ колебаний, значит, искомый путь равен $s = 4AN = 792$ см.

Ответ: 792 см.

Задача 5. Льдина, свободно плавающая в океане, совершает вертикальные колебания относительно уровня воды. В таблице представлены результаты измерений положения высшей точки льдины относительно уровня воды для различных моментов времени.

$t, \text{с}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$y, \text{см}$	100	87,3	70	52,7	40	52,7	70	87,3	100



Выберите два верных утверждения, соответствующие результатам этих измерений. В ответ запишите последовательность цифр, соответствующих номерам утверждений, без пробелов, запятых и других дополнительных символов.

1. Амплитуда колебаний равна 30 см.
2. Период колебаний равен 4 с.
3. Абсолютное значение вертикальной скорости льдины минимально в момент времени $t = 2$ с.
4. Кинетическая энергия льдины максимальна в моменты времени $t = 2$ с и $t = 6$ с.
5. Кинетическая энергия льдины максимальна только в момент времени $t = 6$ с.

Решение. Из таблицы видно, что льдина совершает вертикальные колебания с наивысшей точкой $y_{\max} = 100$ см и наинизшей $y_{\min} = 40$ см. Значит, амплитуда колебаний составляет $A = \frac{1}{2}(y_{\max} - y_{\min}) = 30$ см, а утверждение 1 верно.

Также из таблицы видно, что льдина впервые вернулась в изначальную точку спустя $t = 8$ с. Тогда полный период составляет $T = 8$ с, и утверждение 2 неверно.

Скорость колебаний льдины равна нулю в точках максимального отклонения от положения равновесия. Следовательно, абсолютное значение вертикальной скорости минимально в моменты времени 0 с, 4 с и 8 с. Утверждение 3 неверно.

Кинетическая энергия колебаний максимальна в моменты прохождения положения равновесия, что соответствует координате $y = 70$ см. Следовательно, утверждение 4 верно, а утверждение 5 неверно.

Ответ: 15.

Задача 6. Абитуриент едет в лифте наверх и подкидывает ручку на одну и ту же высоту относительно себя. Пусть t_0 — время движения ручки при подкидывании вне лифта. Сколько времени t ручка будет находиться в полете, если лифт притормаживает и если ускоряется?

Характеристика движения	Время полёта ручки
А) притормаживает	1) $t > t_0$
Б) ускоряется	2) $t < t_0$
	3) $t = t_0$

Запишите в поле для ответа последовательность цифр, соответствующих пунктам АБ. Цифры в ответе могут повторяться.

Решение. Вне лифта время полета ручки равно $t_0 = \sqrt{2h/g}$. При ускоренном движении лифта вверх ручка будет двигаться с большим ускорением вниз $g' > g$, поэтому $t < t_0$. При замедлении же лифта ручка будет двигаться с меньшим ускорением $g'' < g$, следовательно $t > t_0$.

Ответ: 12.

Задача 7. В спутник массой M , вращающийся вокруг Земли со скоростью v , абсолютно неупруго и перпендикулярно его движению попадает небольшой космический мусор массы m со скоростью u . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, выражающими их в рассматриваемой задаче.

Физические величины	Формулы
А) суммарный импульс тел после удара?	1) $mu + Mv$
Б) кинетическая энергия космического мусора после удара	2) $\sqrt{(Mv)^2 + (mu)^2}$
	3) $\frac{m(M^2v^2 + m^2u^2)}{2(M + m)^2}$
	4) $\frac{(M^2v^2 + m^2u^2)}{2m}$

Запишите в поле для ответа последовательность цифр, соответствующих пунктам АБ.

Решение. Так как тела соударились абсолютно неупруго, после соударения тела движутся как одно целое. Импульсы тел до соударения были направлены перпендикулярно друг другу. Следовательно, квадрат суммарного импульса после соударения может быть найден по теореме Пифагора:

$$(Mv)^2 + (mu)^2 = (M + m)^2 v_{\text{к}}^2.$$

Отсюда

$$p_{\text{к}} = (M + m)v_{\text{к}} = \sqrt{(Mv)^2 + (mu)^2}.$$

Найдем кинетическую энергию космического мусора после соударения:

$$\frac{1}{2}mv_{\text{к}}^2 = \frac{1}{2}m \frac{p_{\text{к}}^2}{(M + m)^2} = \frac{m(M^2v^2 + m^2u^2)}{2(M + m)^2}.$$

Ответ: 23.

Задача 8. Давление разреженного одноатомного газа уменьшилось в 5 раз, а концентрация молекул увеличилась в 2 раза. Во сколько раз изменилась абсолютная температура газа?

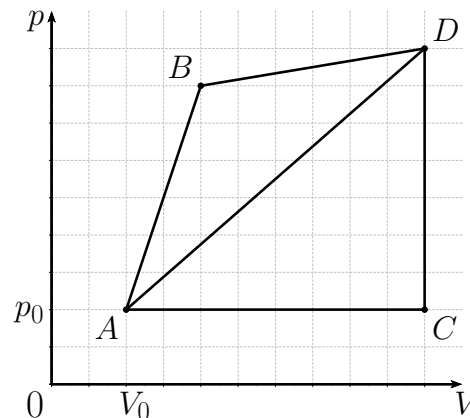
Решение. Можно считать, что разреженный одноатомный газ подчиняется уравнению состояния для идеального газа $p = nkT$. Тогда, если давление уменьшилось в 5 раз, а концентрация молекул газа увеличилась в 2 раза, абсолютная температура уменьшилась в 10 раз.

Ответ: уменьшилась в 10 раз.

Задача 9. Газ в количестве 1 моль совершает циклические процессы, изображенные на pV диаграмме. Определите отношения работы идеального газа, совершенной в циклическом процессе $ABCD$, к работе, совершенной в циклическом процессе ACD . Ответ округлите до десятых.

Решение. Работа совершенная газом численно равна площади, заключенной внутри циклического процесса на pV диаграмме. Следовательно, отношение работ, совершенных в циклических процессах $ABCD$ и ACD , равно отношению площадей четырехугольника $ABCD$ и треугольника ACD . Площадь четырехугольника $ABCD$ равна $6 + 3 + 36 = 45$ клеткам. Площадь треугольника ACD — 28 клеток. Следовательно, искомое отношение работ $45/28 \approx 1,6$.

Ответ: 1,6



Задача 10. Абитуриент решил повысить влажность в своей новенькой комнате в общежитии. Сколько ему нужно испарить воды, чтобы увеличить влажность воздуха на 20%? Считайте, что плотность насыщенного пара при комнатной температуре $\rho_0 = 17$ г/см³, объем комнаты 40 м³, а начальная влажность в ней меньше 80%. Ответ дайте в граммах.

Решение. Изменение относительной влажности $\Delta\varphi$ связано с появлением дополнительной массы воды Δm в воздухе:

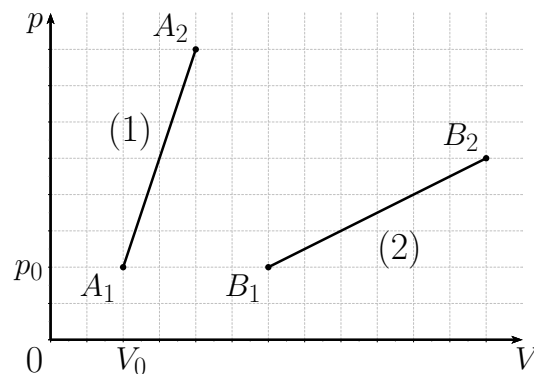
$$\Delta\varphi = \frac{\Delta m}{m_0} = \frac{\Delta m}{\rho_0 V}.$$

Следовательно,

$$\Delta m = \Delta\varphi \rho_0 V = 136 \text{ г.}$$

Ответ: 136 г.

Задача 11. Одинаковые одноатомные газы, находящиеся в двух сосудах (1) и (2), претерпевают изменения, показанные на pV диаграмме. Исходные состояния двух газов обозначены точками A_1 и B_1 , а конечные — A_2 и B_2 . Известно, что сначала температура в обоих сосудах одинаковая. Выберите два верных утверждения на основании анализа представленного графика.



1. В исходном состоянии концентрация молекул газа в сосуде (1) больше концентрации молекул газа в сосуде (2).
2. В исходном состоянии количество молекул газа в сосуде (1) больше количества молекул газа в сосуде (2).
3. В конечном состоянии температура молекул газа в сосуде (1) больше температуры молекул газа в сосуде (2).
4. Работа, совершённая газом, находящимся в сосуде (1) в процессе A_1A_2 , меньше работы, совершённой газом, находящимся в сосуде (2) в процессе B_1B_2 .
5. Работа, совершённая газом, находящимся в сосуде (1) в процессе A_1A_2 , больше работы, совершённой газом, находящимся в сосуде (2) в процессе B_1B_2 .

Решение. Из уравнения состояния идеального газа

$$p = nkT$$

видно, что если изначально в сосудах (1) и (2) давление и температура были одинаковыми, то концентрации в этих сосудах совпадали. Значит, утверждение 1 неверно.

Так как в исходном состоянии при одинаковой концентрации молекул в сосудах (1) и (2) сосуд (2) имеет больший объем, в этом сосуде количество молекул больше. Значит, утверждение 2 неверно.

Запишем уравнение состояния газа в обоих сосудах для исходного положения:

$$p_0 V_0 = \nu_1 R T_0, \quad 3p_0 V_0 = \nu_2 R T_0,$$

и конечного:

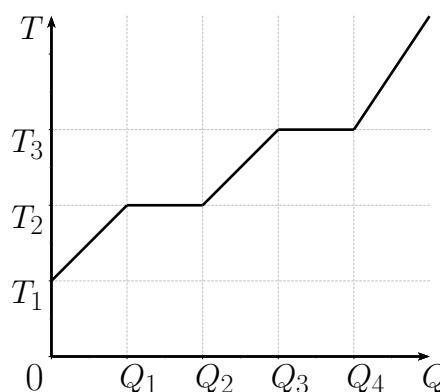
$$8p_0 V_0 = \nu_1 R T_1, \quad 15p_0 V_0 = \nu_2 R T_2.$$

Отсюда $T_1 = 8T_0$ и $T_2 = 5T_0$. Таким образом, итоговая температура в сосуде (1) больше чем в сосуде (2). Следовательно, утверждение 3 верно. Из геометрического смысла работы как площади под графиком на pV диаграмме найдем работу, совершенную газом в сосудах (1) и (2).

Очевидно, работа, совершенная в процессе A_1A_2 , меньше работы, совершенной в процессе B_1B_2 . Утверждение 4 верно, а обратное утверждение 5 — нет.

Ответ: 34

Задача 12. Делая лабораторную работу, студент получил обозначенную на графике зависимость изменения температуры T вещества в печи от поглощенного им количества теплоты Q . Известно, что изначально вещество было в твёрдом агрегатном состоянии. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, выражающими их значения в рассматриваемой задаче.



Формулы	Физические величины
А) $\frac{Q_2 - Q_1}{m}$	1) Удельная теплоёмкость твёрдого вещества.
	2) Удельная теплоёмкость жидкого вещества.
Б) $\frac{Q_3 - Q_2}{m(T_2 - T_1)}$	3) Удельная теплота парообразования вещества.
	4) Удельная теплота плавления вещества.

Решение. Изначально вещество находилось в твёрдом состоянии. Следовательно, первый отрезок, идущий под углом, соответствует нагреванию твердого тела до температуры плавления. Вторым отрезком, идущий горизонтально, соответствует плавлению вещества. Следовательно, $\frac{Q_2 - Q_1}{m}$ отвечает удельной теплоте плавления вещества. После плавления начался процесс нагрева вещества в жидком состоянии, откуда $\frac{Q_3 - Q_2}{m(T_2 - T_1)}$ соответствует удельной теплоёмкости жидкого вещества.

Ответ: 42.

Задача 13. Школьный учитель физики во время демонстрации взял в резиновых перчатках два одинаковых по размеру металлических шарика с зарядами 17 мкКл и -13 мкКл . Затем он привел шарики в соприкосновение и развел их на расстояние в 3 см . Найдите силу их взаимодействия. Ответ дайте в ньютонах.

Решение. При соприкосновении одинаковых проводящих шариков заряды перераспределяются, после чего шарики оказываются заряжены одинаково. При этом полный заряд системы не изменяется (закон сохранения заряда). Значит, заряд каждого шарика будет равен

$$q' = \frac{q_1 + q_2}{2} = 2 \text{ мкКл}.$$

Записав закон Кулона для шариков в конечном положении, найдем ответ

$$F = k \frac{(q')^2}{r^2} = 40 \text{ Н.}$$

Ответ: 40 Н.

Задача 14. Экспериментатор переместил на некоторое расстояние заряд $q = 90 \text{ мкКл}$ вдоль линии напряженности однородного электрического поля. Чему равно это расстояние, если при этом перемещении полем была совершена работа $A = 2,7 \text{ мДж}$? Напряженность электрического поля $E = 200 \text{ В/м}$. Ответ дайте в сантиметрах.

Решение. Если электрическое поле однородно, то его работа по переносу заряда равна

$$A = qU = qEd,$$

где U — разность потенциалов между начальной и конечной точками, d — расстояние между ними. Тогда

$$d = A/qE = 15 \text{ см.}$$

Ответ: 15 см.

Задача 15. Абитуриент, идя по общежитию, увидел, как кот играет перед зеркалом. На сколько изменится расстояние между котом и его изображением в зеркале, если кот подойдет на 10 см ближе к зеркалу?

Решение. Если расстояние от предмета до зеркала d , то расстояние между предметом и его изображением $2d$. Таким образом, изменение расстояния между котом и зеркалом Δd влечет и изменение расстояния между котом и его изображением в зеркале, равным $2\Delta d = 20 \text{ см}$.

Ответ: 20 см.

Задача 16. Перпендикулярно однородному магнитному полю создали однородное электрическое поле. В пространство, пронизываемое этими полями, влетает заряженная частица. Выберите два верных утверждения.

1. Если вектор начальной скорости частицы направлен вдоль магнитного поля, то на частицу не будет действовать магнитная часть силы Лоренца.
2. Если вектор начальной скорости частицы направлен вдоль магнитного поля, то частица будет двигаться равномерно и прямолинейно.
3. Частица будет двигаться по дуге окружности.
4. Если вектор начальной скорости частицы направлен вдоль электрического поля, то частица будет двигаться в плоскости, перпендикулярной магнитному полю.
5. На частицу в течение всего времени движения в электромагнитном поле будет действовать меняющаяся по модулю и по направлению электрическая сила.

Запишите их номера без пробелов и запятых.

Решение. Магнитная часть силы Лоренца (иногда именно её и называют силой Лоренца) описывается выражением

$$F_L = qBv \sin \alpha,$$

где α — угол между скоростью движения частицы $\vec{v}$ и направлением магнитного поля $\vec{B}$. Направление этой силы определяется правилом левой руки.

Случай, когда скорость частицы направлена вдоль магнитного поля, соответствует углу между направлениями скорости и магнитного поля $\alpha_0 = 0$. Следовательно, магнитная часть силы Лоренца в этом случае на частицу действовать не будет, то есть утверждение 1 верно.

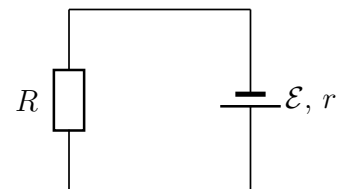
На частицу при движении вдоль магнитного поля будет действовать ненулевая сила Кулона. Следовательно, частица будет двигаться с ускорением, направленным вдоль этой силы. Утверждение 2 неверно.

Частица двигалась бы по дуге окружности, если сила, действующая на неё, всегда была направлена перпендикулярно ей. Это верно в случае действия одного магнитного поля при движении частицы перпендикулярно этому полю. Но в нашем случае на частицу всё время действует сила Кулона. Эта сила в однородном электрическом поле постоянна по модулю и направлению. Следовательно, утверждение 3 неверно. Также неверно и утверждение 5.

При направлении скорости начальной скорости частицы вдоль электрического поля эта начальная скорость оказывается перпендикулярна магнитному полю. Так как магнитное поле действует по правилу левой руки, итоговая сила также перпендикулярна магнитному полю, как и сила Кулона. Следовательно, итоговая сила в любой момент движения частицы перпендикулярна магнитному полю. Итак, если начальную скорость частицы выбрать перпендикулярной, то все движение частицы будет проходить в плоскости, перпендикулярной магнитному полю. Утверждение 4 верно.

Ответ: 14

Задача 17. На схеме изображён резистор с сопротивлением R , присоединенный к источнику тока с ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r . Как изменятся сила тока в цепи и напряжение на клеммах источника тока, если последовательно к имеющемуся резистору подключить еще один такой же? ЭДС источника и внутреннее сопротивление считайте постоянными. Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:



Физические величины	Формулы
А) сила тока в цепи	1) увеличится
Б) напряжение на клеммах источника тока	2) уменьшится
	3) не изменится

Запишите в поле для ответа последовательность цифр, соответствующих пунктам АБ. Цифры в ответе могут повторяться.

Решение. По закону Ома для силы тока в цепи имеем

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{н}} + r},$$

где $R_{\text{н}}$ — сопротивление нагрузки. При последовательном соединении резисторов сопротивление нагрузки увеличивается, поэтому сила тока в цепи уменьшается. Напряжение на источнике тока равно $U = \mathcal{E} - Ir$. Так как сила тока уменьшается, напряжение увеличивается.

Ответ: 21

Задача 18. Космический корабль «Лунтик» бороздит просторы Вселенной со скоростью $v = 0,2c$. Навстречу ему движется космический мусор со скоростью $u = 0,8c$. Расстояние между ними составляет $l = 3$ км. Установите соответствие между физическими величинами их значениями.

Физические величины	Формулы
А) время, через которое произойдет соударение	1) $0,86c$
Б) относительная скорость частиц	2) c
	3) 10 мкс
	4) 15 мкс

Запишите в поле для ответа последовательность цифр, соответствующих пунктам АБ. Цифры в ответе могут повторяться.

Решение. В системе отсчета наблюдателя скорость сближения равна $v + u = c$. Поэтому время, через которое произойдет столкновение, равно $t = l/c = 10$ мкс. Для того, чтобы узнать относительную скорость движения частиц, необходимо перейти в инерциальную систему, связанную с одной из частиц, и определить в этой подвижной системе скорость второй частицы. Частицы движутся вдоль одной прямой: в этом случае закон сложения скоростей в релятивистской механике можно записать в следующем виде:

$$U = \frac{u' + V}{1 + Vu'/c^2},$$

где U — скорость тела относительно неподвижной системы отсчета, u' — скорость движения частицы в движущейся системе отсчета, V — скорость движущейся системы отсчета относительно неподвижной. Запишем проекции скоростей с учетом движения частиц навстречу друг другу:

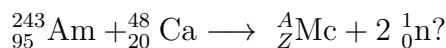
$$u = \frac{u' - v}{1 - vu'/c^2}.$$

Выразим отсюда относительную скорость частиц:

$$u' = \frac{u + v}{1 + uv/c^2} = \frac{c}{1 + 0,16} \approx 0,86c.$$

Ответ: 31.

Задача 19. В 2003 году в подмосковной Дубне был получен новый элемент — московий Mc, названный в честь Московской области, в которой находится город Дубна. Сколько протонов и сколько нуклонов содержится в ядре московия, если известно, что этот элемент может быть получен в результате ядерной реакции



В поле для ответа запишите последовательность чисел, соответствующих величинам «число протонов» и «число нуклонов», не разделяя их пробелом или другим знаком.

Решение. Воспользуемся законом сохранения в ядерной реакции суммарного электрического заряда и правилом сохранения массового числа ядер. Сохранение суммарного заряда означает, что сумма зарядов до реакции равна сумме зарядов после реакции:

$$95 + 20 = Z + 0.$$

Следовательно, количество протонов $Z = 115$. То же верно и для массового числа:

$$243 + 48 = A + 2.$$

Получаем $A = 289$.

Ответ: 115289.

Задача 20. Период полураспада некоторого элемента равен 8 суткам. Во сколько раз уменьшится количество ядер этого элемента через 24 суток?

Решение. Согласно закону радиоактивного распада по истечении времени t от первоначального количества радиоактивных ядер N_0 останется

$$N = N_0 2^{-t/T},$$

где T — период полураспада. Тогда отношение количества ядер через 24 суток к изначальному количеству ядер равно

$$\frac{N}{N_0} = 2^{-24/8} = 2^{-3} = \frac{1}{8},$$

то есть количество ядер стало меньше в 8 раз.

Ответ: 8.

Задача 21. В опыте по фотоэффекту экспериментатор заметил, что при увеличении частоты падающего на металл света в 3 раза задерживающее напряжение для фотоэлектронов увеличивается в 5 раз. Частота первоначально падающего света $1,2 \cdot 10^{15}$ Гц. Установите соответствие между физическими величинами и их значениями: к каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию из второго столбца.

Физические величины	Формулы
А) работа выхода электронов с поверхности металла пластинки?	1) $4 \cdot 10^{-19}$ Дж
Б) длина волны света, соответствующая «красной границе» для этого металла	2) $3 \cdot 10^{-19}$ Дж
	3) 500 нм
	4) 700 нм

Запишите в поле для ответа последовательность цифр, соответствующих пунктам АБ.

Решение. Запишем формулу Эйнштейна для фотоэффекта в первом и втором случаях:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + eU, \quad 3h\nu = A_{\text{вых}} + 5eU$$

и выразим из этих уравнений работу выхода: $A_{\text{вых}} = 0,5h\nu = 4 \cdot 10^{-19}$ Дж. Длина волны красной границы фотоэффекта выражается через работу выхода: $A_{\text{вых}} = hc/\lambda_{\text{к}}$ или

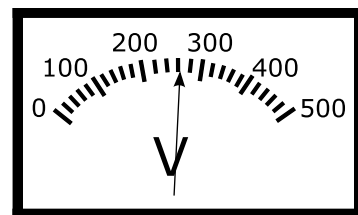
$$\lambda_{\text{к}} = \frac{hc}{A_{\text{вых}}} = \frac{2c}{\nu} = 500 \text{ нм}.$$

Ответ: 13.

Задача 22. Чему равняется показываемое вольтметром напряжение, если погрешность равна половине цены деления? Формат ответа: ($\pm$) В. В поле для ответа запишите только числа, не разделяя их пробелом или другим знаком.

Решение. Из рисунка видно, что одно деление равно $(300 - 200)/5 \text{ В} = 20 \text{ В}$. Следовательно, погрешность равна 10 В, а значение равно $(260 \pm 10) \text{ В}$.

Ответ: 26010



Задача 23. Для изучения закона Гука ученик изготовил 6 установок из штативов с линейками, пружинок из различных материалов и грузиков с разными массами. Пружинки также отличаются длиной в нерастянутом состоянии. Какие две установки нужно использовать для изучения зависимости глубины провисания пружинки от массы подвешенного грузика? Запишите два числа подряд, не разделяя их знаками. Сначала укажите меньшее число.

Номер установки	Материал пружинки	Длина пружинки	Масса груза
1	алюминий	10 см	100 г
2	железо	10 см	100 г
3	свинец	10 см	100 г
4	железо	10 см	200 г
5	железо	15 см	200 г
6	свинец	15 см	200 г

Решение. Для изучения зависимости глубины провисания пружинки от массы подвешенного груза нужно менять лишь подвешенный грузик. При этом использованная пружинка должна оставаться одной и той же. Поэтому подходят лишь установки 2 и 4.

Ответ: 24.

Задача 24. В таблице ниже указаны характеристики планет из системы TRAPPIST-1. Масса одноименной звезды TRAPPIST-1 равна $M = 0,09$ масс Солнца.

Планета	Радиус, радиусы Земли	Масса, Земных масс	Большая полуось, а.е.
b	1,086	0,79	0,011
c	1,056	1,63	0,015
d	0,772	0,33	0,021
e	0,918	0,24	0,028
f	1,045	0,36	0,037
g	1,127	0,566	0,045
h	0,715	0,086	0,060

Выберите два утверждения, которые соответствуют характеристикам планет.

1. Ускорение свободного падения на планете h больше, чем ускорение свободного падения на планете f .
2. Ускорение свободного падения на планете f с точностью до десятых равно $3,3 \text{ м/с}^2$.
3. Объем планеты e в 2 раза больше объема планеты d .
4. Орбита планеты b находится на расстоянии примерно 3 млн км от звезды.
5. Период обращения планеты g с точностью до целого значения равен 12 суткам.

Решение. Ускорение свободного падения зависит от массы и радиуса планеты. Найдем его в терминах Земного ускорения свободного падения g_0

$$g = G \frac{M}{R^2} = g_0 \frac{M/M_0}{(R/R_0)^2},$$

где R_0 и M_0 — радиус и масса Земли. Тогда для планет h и f ускорения свободного падения с точностью до первого знака после запятой равны $g_h = 1,6 \text{ м/с}^2$ и $g_f = 3,3 \text{ м/с}^2$ соответственно. Следовательно, утверждение 1 неверно, а утверждение 2 верно.

Объем планеты пропорционален кубу радиуса планеты, поэтому отношение объемов планет e и d равно

$$\frac{V_e}{V_d} = \left(\frac{R_e}{R_d} \right)^3 = 1,68,$$

а утверждение 3 неверно.

Большую полуось можно взять как примерный размер орбиты планеты, тогда примерный размер орбиты планеты b равен $0,011 \cdot 150 \cdot 10^6 \text{ км} = 1,65 \cdot 10^6 \text{ км}$. Значит, утверждение 4 неверно.

Период обращения планеты g можно найти из условия

$$\frac{a^3}{T^2 M_3} = \left(\frac{G}{4\pi} \right)^2,$$

где M_3 — масса звезды в центре системы, является константой. Сравним эти отношения для рассматриваемой планеты и Земли:

$$\frac{a_e^3}{T_e^2 M_T} = \frac{a_0^3}{T_0^2 M_C},$$

где M_C — масса Солнца. Отсюда $T_e = T_0 \sqrt{\frac{(a_e/a_0)^3}{M_e/M_C}} \approx 12$ суток. Утверждение 5 верно.

Ответ: 25.

Часть 2

Задача 25. Учитель физики решил продемонстрировать эксперимент над одним молем идеального газа. Сначала он изохорно охладил его так, что давление уменьшилось в 3 раза, а затем изобарно нагрел до начальной температуры 300 К. Какую работу совершил учитель?

Решение. Работа, совершенная учителем, противоположна работе, совершенной газом: $A_{уч} = -A$. Газ совершил работу только при изобарном нагревании, так как в изохорном процессе работа газа равна нулю. Для постоянного давления имеем

$$A = \nu R \Delta T = \nu R(T - T/3) = 1662 \text{ Дж},$$

где при определении промежуточной температуры мы воспользовались уравнением изохорного процесса $p/T = \text{const}$. Тогда работа, совершенная учителем, равна

$$A_{уч} = -1662 \text{ Дж}.$$

Ответ: -1662 Дж.

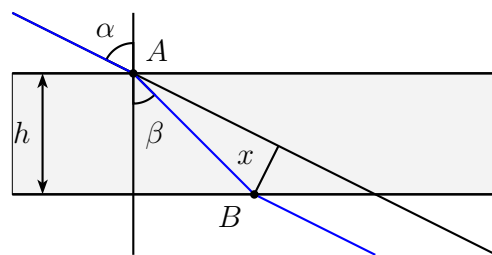
Задача 26. Абитуриент, глядя на стекло в общежитии, задумался, на сколько миллиметров смещаются лучи при прохождении стекла толщиной 2 см. Помогите абитуриенту. Лучи падают на стеклянную поверхность под углом, синус которого равен 0,6. Показатель преломления стекла считать равным 1,5.

Решение. Пусть α — угол между падающим лучом и нормалью к поверхности стекла, а β — угол между нормалью и преломлённым лучом. По закону преломления, $\sin \beta = \sin \alpha / n = 0,4$. Смещение луча равно

$$x = |AB| \sin(\alpha - \beta) = \frac{h}{\cos \beta} \sin(\alpha - \beta),$$

где h — толщина стекла. Пользуясь формулой $\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha$, подставляем в предыдущее равенство $\sin \alpha = 0,6$, $\cos \alpha = 0,8$, $\sin \beta = 0,4$, $\cos \beta = \sqrt{21}/5$ и находим $x = 0,25h = 5$ мм.

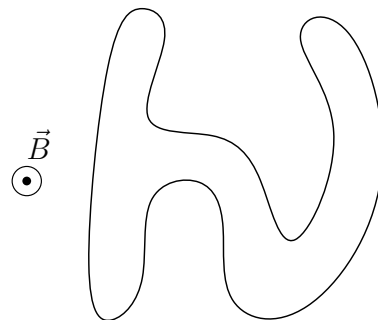
Ответ: 5 мм.



Задача 27. Рамку причудливой формы из тонкой проволоки поместили в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции, как показано на рисунке. Куда будет направлена сила, действующая на элементы рамки со стороны внешнего поля, если уменьшить магнитное поле?

Решение. По закону Фарадея индукционный ток в замкнутом контуре возникает в результате изменения магнитного потока через контур. Направление индукционного тока определяется при помощи правила Ленца, согласно которому индукционный ток всегда имеет такое направление, чтобы ослаблять действие причины, возбуждающей этот ток.

По условию магнитное поле направлено из плоскости рисунка и уменьшается, а значит, возникающее магнитное поле будет направлено из плоскости рисунка. Тогда, согласно правилу буравчика или правилу правой руки, ток в контуре будет течь против часовой стрелки.



В однородном магнитном поле на проводник с током действует сила Ампера. Для того, чтобы определить направление силы Ампера, нужно воспользоваться правилом левой руки. Внешнее поле направлено на нас, ток течёт против часовой стрелки, значит, для каждой стороны сила Ампера будет направлена изнутри рамки, т. е. рамка будет «стараться» увеличить свою площадь.

Замечание. В первоначальной постановке спрашивалось, куда будет направлена сила, действующая на рамку. Равнодействующая всех сил, очевидно, равна нулю.

Задача 28. Гуляя по студенческому городку, абитуриент заметил тренирующуюся сборную по чирлидингу. Двое парней подкидывали над матами девушку на высоту $h = 4$ м, причем девушка находилась в высшей точке подъема через $t = 0,8$ с после броска. Найдите силу сопротивления воздуха, считая её постоянной. Массу девушки можно принять равной $m = 40$ кг.

Решение. На девушку во время полета будут действовать две силы: сила тяжести и сила сопротивления воздуха. Запишем второй закон Ньютона с учетом направления сил:

$$mg + F_c = ma.$$

Величину ускорения найдем из кинематики:

$$0 = v_0 - at, \quad h = v_0 t - \frac{at^2}{2} = \frac{at^2}{2}.$$

Получаем

$$F_c = m(a - g) = m \left(\frac{2h}{t^2} - g \right) = 100 \text{ Н}.$$

Задача 29. Абитуриент замечает, что если наклонить стол под углом α к горизонту, книга движется по нему практически равномерно. За какое время t книга проедет весь стол, если наклонить его под углом γ , $\sin \gamma = 0,8$? Длина стола равна $l = 1$ м.

Решение. Напишем второй закон Ньютона для книги на наклонном столе при произвольном угле $\beta \geq \alpha$:

$$\vec{N} + \vec{F}_{\text{тяж}} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}.$$

Спроектировав это равенство на ось, перпендикулярную плоскости стола, получим $N = mg \cos \beta$. Спроецировав на ось, направленную вдоль плоскости стола вниз, получим

$$ma = mg \sin \beta - \mu mg \cos \beta.$$

Здесь мы использовали то, что $F_{\text{тр}} = \mu N$. Случай равномерно движущейся книги соответствует $a = 0$ и, как следствие из уравнения выше при $\beta = \alpha$, $\tan \alpha = \mu$. Для угла γ ускорение равно

$$a = g(\sin \gamma - \tan \alpha \cos \gamma) = g(\sin \gamma - \cos \gamma) = 0,2g.$$

Теперь из кинематики найдём время, которое книга будет двигаться вдоль стола $t = \sqrt{2l/a} = 1$ с.

Задача 30. На дне открытых дверей абитуриент наблюдает эксперимент, в котором требуется соединить баллон ёмкостью $V_1 = 10$ л с баллоном ёмкостью $V_2 = 30$ л, содержащим воздух при давлении 100 кПа. Под каким давлением p_1 пришлось экспериментаторам наполнить воздухом меньший баллон, чтобы при присоединении его к большему установилось общее давление 200 кПа? Температуру считайте постоянной.

Решение. Воспользуемся законом Дальтона: давление смеси идеальных газов равно сумме давлений, которое производил бы каждый отдельный газ в отсутствие остальных компонентов смеси, то есть сумме парциальных давлений. После соединения баллонов каждый газ займёт объём $V_1 + V_2$, и их парциальные давления p'_1 и p'_2 можно будет найти из уравнения изотермического процесса:

$$p_1 V_1 = p'_1 (V_1 + V_2), \quad p_2 V_2 = p'_2 (V_1 + V_2),$$

где p_2 — начальное давление во большем сосуде. Складывая эти уравнения и учитывая, что полное конечное давление равно сумме парциальных давлений $p = p'_1 + p'_2$, получаем уравнение

$$p(V_1 + V_2) = p_1 V_1 + p_2 V_2,$$

из которого находим давление p_1 :

$$p_1 = \frac{p(V_1 + V_2) - p_2 V_2}{V_1} = 500 \text{ кПа}.$$

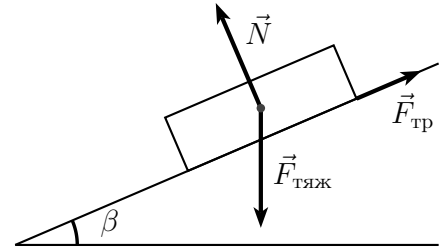
Задача 31. Абитуриент, набравшись уверенности после разговоров со студентами-радиотехниками, подключает заряженный конденсатор ёмкостью $C = 2$ мкФ к катушке с индуктивностью $L = 80$ мГн. Помогите абитуриенту найти время (в мкс) от момента подключения, через которое энергия электрического поля станет равной энергии магнитного поля.

Решение. Заряд конденсатора q меняется со временем по закону $q = q_{\text{max}} \cos \omega t$ (в момент подключения конденсатор был заряжен), а зависимость энергии электрического поля от времени имеет вид

$$W_{\text{эл}} = \frac{q^2}{2C} = \frac{q_{\text{max}}^2}{2C} \cos^2 \omega t.$$

В тот момент, когда энергия электрического поля равна энергии магнитного поля, каждая из них составляет половину полной энергии колебаний контура:

$$W_{\text{эл}} = 0,5W, \quad \text{или} \quad \frac{q_{\text{max}}^2}{2C} \cos^2 \omega t = \frac{1}{2} \frac{q_{\text{max}}^2}{2C}.$$



Получаем $\cos \omega t = \sqrt{2}/2$, откуда $\omega t = \pi/4$, или $t = \pi/(4\omega) = T/8$. Период колебаний равен $T = 2\pi\sqrt{LC}$, и искомое время равно

$$t = \frac{1}{4}\pi\sqrt{LC} = 314 \text{ мс.}$$

Задача 32. На этот раз абитуриент, найдя собирающую линзу с фокусным расстоянием $F = 5$ см, расположил вдоль её оптической оси стержень так, что его середина находится на расстоянии 8 см от линзы. Найдите длину (в см) стержня, если его продольное увеличение равно 5.

Решение. Стержень, лежащий на оптической оси, преобразуется линзой в стрежень, также лежащий на оси, причем концы стрежня-изображения являются изображениями концов стержня-источника. Запишем для концов стержня формулу тонкой линзы:

$$\frac{1}{d - x/2} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F}, \quad \frac{1}{d + x/2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F},$$

где x — длина стержня-источника, d — расстояние от линзы до середины этого стержня, f_1, f_2 — расстояния от концов стержня-изображения и стержня-источника. Для увеличения линзы имеем $\Gamma = (f_1 - f_2)/x$. Подставляя в это уравнение f_1 и f_2 , выраженные из предыдущих уравнений, получаем

$$\frac{F(d - x/2)}{d - (x/2) - F} - \frac{F(d + x/2)}{d + (x/2) - F} = \Gamma x,$$

откуда после преобразований находим

$$x = 2\sqrt{(d - F)^2 - \frac{F^2}{\Gamma}} = 4 \text{ см.}$$