



Республиканская физическая олимпиада 2025 года (Заключительный этап)

Теоретический тур

9 класс.

Внимание! Прочтите в первую очередь.

1. Полный комплект состоит из 3 заданий. Для вашего удобства вопросы, на которые Вам необходимо ответить, помещены в рамки.
2. Решения задач выполняйте на отдельных чистых рабочих листах. Самостоятельно разделите их на черновики и чистовые листы. Рекомендуем сначала решать в черновике, а затем красиво оформить решение на чистовых листах. Решение каждого задания начинайте с нового чистового листа. В решении приведите рисунки (в некоторых заданиях рисунки необходимы, даже в том случае, когда это не оговорено в условии), исходные уравнения с кратким обоснованием, решения уравнений (комментарии к математическим выкладкам не требуются), окончательные результаты. Окончательные решения обязательно занесите в Листы ответов. Чистовые листы пронумеруйте. Черновые листы после окончания работы перечеркните. **Черновики проверяться не будут!**
3. Листы ответов содержат отдельные разделы в соответствии с пунктами полученных Вами заданий. Конечные формулы и требуемые численные значения занесите в соответствующие выделенные поля. Если по условию заданий от Вас требуется построение графика, используйте подготовленные бланки в Листах ответов, не забудьте подписать и оцифровать оси координат.
4. Все ваши работы сканируются, поэтому пишите только на одной стороне листа. Подписывать рабочие листы и листы ответов запрещается.
5. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
6. После окончания работы сложите листы в следующем порядке: листы ответов; пронумерованные чистовые листы; перечеркнутые черновики.
7. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.



Пакет содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия 3 теоретических заданий (9 стр.);
- листы ответов (8 стр.);



Задание 1. Поговорим о средних...

В различных разделах физики часто используется понятие «среднее значение физической величины». Однако это понятие не является однозначным, потому, что «средние» могут быть разными! В каждом конкретном случае, надо точно определять о каком именно «среднем» идет речь. В данном задании Вам необходимо продемонстрировать понимание этой проблемы.

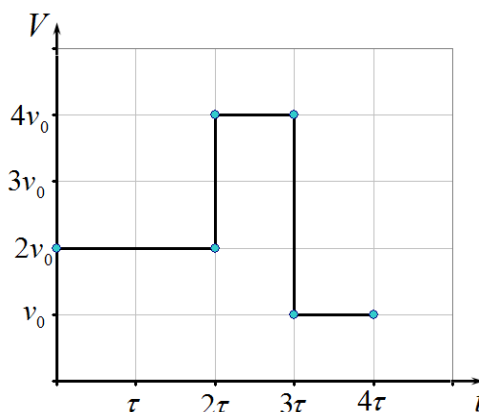
Примечания.

1. Все числа, фигурирующие в условии задачи, считайте точными.
2. В решении допускается проведение промежуточных численных расчетов.

Задача 1.1 Средняя скорость.

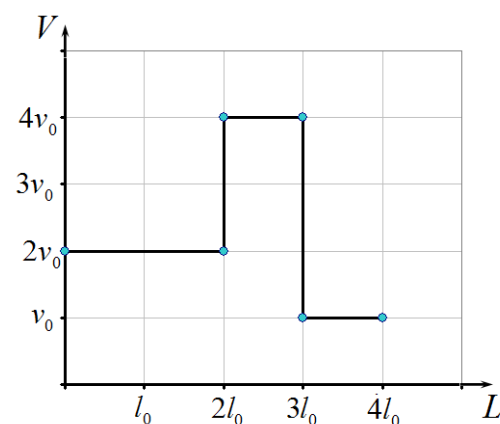
Определение. Тело движется с переменной скоростью $v(t)$ в течение промежутка времени t_0 . Средней скоростью называется скорость равномерного движения $\langle v \rangle$, при которой за тот же промежуток времени t_0 тело проходит такое же расстояние, как и при движении с заданной переменной скоростью $v(t)$.

1.1.1 Автомобиль движется по прямой. На рисунке представлена зависимость скорости автомобиля от времени. Величины τ и v_0 считайте известными.



1.1.1 Найдите среднюю скорость точки за все время движения 4τ .

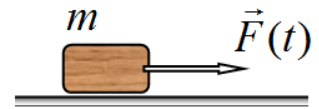
1.1.2 Автомобиль движется по прямой. На рисунке представлена зависимость скорости автомобиля от пройденного пути. Величины l_0 и v_0 считайте известными.



1.1.2 Найдите среднюю скорость точки на всем пути $4l_0$.

Задача 1.2 Средняя сила.

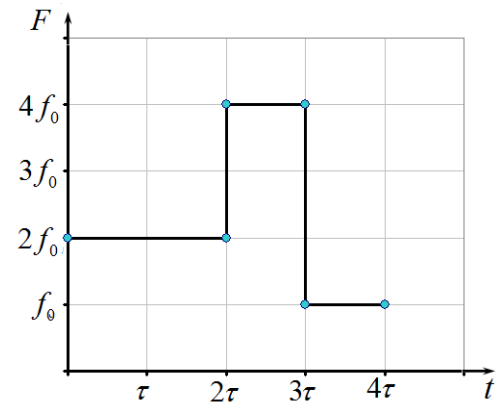
Пусть тело движется по прямой под действием переменной результирующей силы $F(t)$, направление которой совпадает с направлением вектора скорости тела.



Определение 1. «Средней импульсной» силой $\langle F \rangle_p$ назовем такую постоянную силу, которая сообщает телу такой же импульс, как и заданная переменная сила $F(t)$.

Определение 2. «Средней энергетической» силой $\langle F \rangle_E$ назовем такую постоянную силу, которая на всем участке пути совершает над телом такую же работу, как и переменная сила $F(t)$.

Тело массы m движется по прямой под действием переменной результирующей силы $F(t)$, направление которой совпадает с направлением вектора скорости тела. Зависимость модуля этой силы от времени показана на рисунке. Величины τ и F_0 считайте известными. В начальный момент времени $t = 0$ скорость тела равна v_0 .



1.2.1 Рассчитайте, чему равна «средняя импульсная» сила, действующая на тело, за все время движения 4τ .

1.2.2 Рассчитайте, чему равна «средняя энергетическая» сила, действующая на тело, за все время движения 4τ .

1.2.3 Рассчитайте «среднюю энергетическую» силу при нулевой начальной скорости $v_0 = 0$

Задача 1.3 Средняя сила тока.

Через резистор, сопротивление которого постоянно и равно R , протекает электрический ток. сила которого зависит от времени $I(t)$.

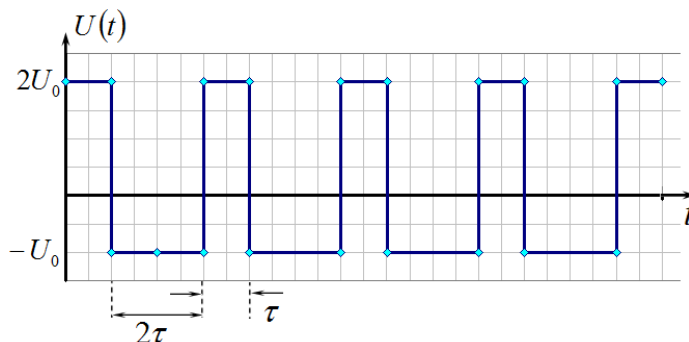
Определение 1. «Средней зарядовой» силой тока $\langle I \rangle_q$ назовем силу постоянного тока, при которой заряд, протекающий через резистор за некоторый промежуток времени Δt , равен заряду, протекающему через резистор за тот же промежуток времени Δt при изменяющейся силе тока $I(t)$.

Определение 2. «Средней тепловой» силой тока $\langle I \rangle_Q$ назовем силу постоянного тока, при которой количество теплоты, выделяющейся на резисторе за промежуток времени Δt , равно количеству теплоты, выделяющейся на резисторе за тот же промежуток времени при изменяющейся силе тока $I(t)$.

Напряжение на постоянном резисторе, сопротивление которого равно R , изменяется по периодическому закону $U(t)$, график которого показан на рисунке. Величины τ и U_0 считайте известными.

1.3.1 Вычислите «среднюю зарядовую» силу тока за промежуток времени Δt значительно превышающий τ .

1.3.2 Вычислите «среднюю тепловую» силу тока за промежуток времени Δt значительно превышающий τ .





Задание 2. Изучение лампочки накаливания

При подготовке к Новому году Федор решил самостоятельно изготовить гирлянду из лампочек накаливания. Чтобы сразу не сжечь все имеющиеся лампочки, и чтобы они нормально светились, Федор решил провести экспериментальные исследования характеристик этого нехитрого прибора.

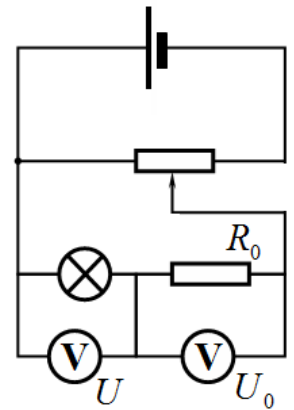
Часть 1. Вольтамперная характеристика лампочки.

Федор переключил мультиметр в режим омметра и измерил сопротивление лампочки при комнатной температуре $t_0 = 23^\circ\text{C}$, оно оказалась равным $R_{0л} = 1,92 \text{ Ом}$.

Основной характеристикой любого элемента электрической цепи является ВАХ – вольтамперная характеристика – зависимость силы тока от приложенного напряжения. Для ее измерения Федор собрал электрическую цепь, показанную на рисунке.

Изменяя сопротивление переменного резистора, Федор измерил значения напряжений на лампочке U и на постоянном резисторе (сопротивление которого $R_0 = 0,62 \text{ Ом}$) - U_0 .

Результаты измерений приведены в Таблице 1 Листов ответов.



1.1 Постройте график вольтамперной характеристики лампочки накаливания по результатам измерений Федора.

Результаты необходимых расчетов приведите в свободных столбцах Таблицы 1, укажите формулы, по которым Вы провели расчет, график постройте на бланке Листов ответов.

Для проверки своих измерений и построений Федор собрал цепь из трех последовательно соединенных лампочек и подключил к источнику напряжения $U_1 = 4,5 \text{ В}$.

1.2 Чему равна потребляемая мощность P_1 в этой цепи?

После этого Федор соединил эти 3 лампочки параллельно и подключил к тому же источнику напряжения $U_1 = 4,5 \text{ В}$.

1.3 Чему равна потребляемая мощность P_2 в этой цепи?

Для теоретического описания проведенного эксперимента Федор решил использовать следующие приближения:

1) Сопротивление лампочки линейно зависит от ее температуры t :

$$R = R_0(1 + \alpha(t - t_0)) \quad (1)$$

Температурный коэффициент сопротивления вольфрама Федор нашел в справочнике $\alpha = 5,0 \cdot 10^{-3} K^{-1}$. Здесь K - градус Кельвина. Температура по абсолютной шкале Кельвина связана с температурой по шкале Цельсия простым соотношением

$$T(^{\circ}K) = t(^{\circ}C) + 273,15^{\circ}K \quad (2)$$

2) Мощность тепловых потерь лампочки (т.е. количество теплоты уходящей в воздух в единицу времени) пропорциональна разности температур нити накаливания t и окружающего воздуха t_0 :

$$P = \beta(t - t_0) \quad (3)$$

где β - неизвестный постоянный коэффициент, который Федор решил определить на основании экспериментальных данных.

В рамках этой линейной модели Федор сумел получить явный вид зависимости силы тока через лампочку от напряжения на ней.

1.4 Найдите явный вид зависимости силы тока через лампочку от напряжения на ней $I(U)$ в рамках линейной модели.

Полученная зависимость оказалась слишком громоздкой и трудно поддающейся анализу. Кроме того, у Федора возникла идея, как можно проверить применимость линейной модели к проведенному эксперименту.

Он сообразил, что можно легко рассчитать на основе результатов измерений мощность, выделяющуюся на лампочке P и ее сопротивление R и построить соответствующий график $R(P)$.

Федор провел необходимые расчеты, построил график этой зависимости и... с сожалением, отверг линейную модель!

1.5 Найдите явный вид зависимости сопротивления лампочки от выделяющейся на ней мощности $R(P)$.

1.6 Проведите необходимые численные расчеты и постройте график зависимости $R(P)$ и кратко поясните, почему Федор отверг линейную модель.

Примечания. Результаты расчетов занесите в Таблицу 2 листов ответов. не забудьте подписать столбцы таблицы. Достаточно провести расчеты для половины точек, только выбирайте их разумно. График постройте на соответствующем бланке Листов ответов.

Для дальнейшего анализа Федор, тем не менее, решил оценить максимальную температуру нити накаливания в своем эксперименте.

1.7 Оцените максимальную температуру нити накаливания на основании линейной модели.

Часть 2. Строгая теоретическая модель

После продолжительных размышлений Федор решил, что основной недостаток линейной модели заключается в выборе механизма тепловых потерь лампочки, который описывается формулой (3). Действительно, нить накала разогревается достаточно сильно, в результате чего она и светится. Следовательно, основным механизмом тепловых потерь является излучение света. Пришлось опять обратиться к справочникам. В результате «рысканий» по Интернету Федор решил использовать следующие данные:

1) Мощность теплового излучения нагретых тел определяется формулой

$$P_{\text{изл.}} = AT^n, \quad (4)$$

где T - абсолютная температура тела, A - некоторый постоянный коэффициент, n - целое число.

2) Абсолютная температура T и электрическое сопротивление вольфрамовой нити в достаточно широком диапазоне температур связаны соотношением

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{R}{R_0} \right)^{\frac{4}{5}}, \quad (5)$$

здесь R_0 - сопротивление нити при температуре T_0 .

2.1 Проведите необходимые расчеты и постройте график зависимости мощности потерь лампочки от абсолютной температуры $P(T)$.

Примечания. Не забудьте привести все формулы, которые Вы использовали в ходе расчетов. Результаты расчетов занесите в Таблицу 2 Листов ответов. Достаточно провести расчеты для половины точек, только выбирайте их разумно. Можете построить график зависимости $P(T)$ в относительных единицах (не забудьте указать каких). График постройте на бланке Листов ответов.

2.2 Используя любой метод (строгого расчета, подбора, угадывания – но с обоснованием найденного значения) определите показатель степени в формуле (5).

2.3 Найдите максимальную температуру нити накаливания лампочки в этом эксперименте.

Задание 3. Дождевые облака



Как и все природные явления, образование облаков, возникновения дождя и грады, гроз являются очень сложными и трудно описываемыми физическими явлениями. Физика облаков, физика атмосферы – разделы физики, которые продолжают активно развиваться.

В данной задаче Вам предстоит провести некоторые простые оценки, связанные с движением дождевых капель в облаке и под ним.

Справа показана простейшая модель мощной грозовой ячейки. Не пугайтесь - рассчитывать все ее параметры вам не придется. Этот рисунок приведен для того, чтобы показать, что движение воздуха в нем может быть направлено вверх, вниз, в стороны – в общем куда угодно!

Для решения задачи Вам понадобятся следующие характеристики воздуха и воды:

- плотность воды $\rho_0 = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

- плотность воздуха будем считать постоянной и равной $\rho = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

- плотность водяного пара в воздухе при температуре воздуха у поверхности земли $t = 25^\circ\text{C}$

равна $\rho_{\text{пар}} = 2,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; а при температуре $t = 0^\circ\text{C}$

содержанием воды в воздухе можно пренебречь;

- вязкость воды (величина, которая определяет силы сопротивления воздуха, она понадобится вам один раз, в одной формуле) $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$;

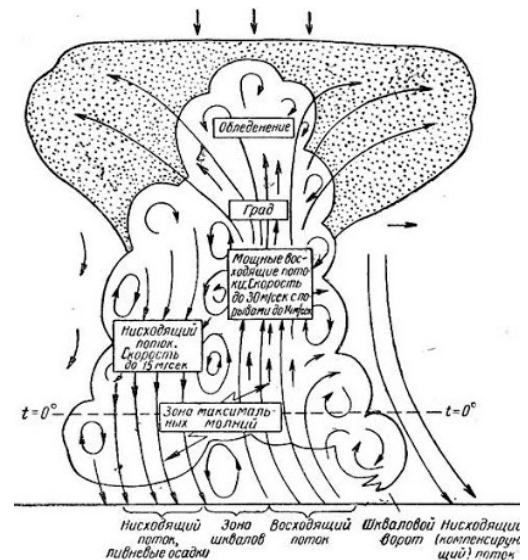
- ускорение свободного падения $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

Формула для объема шара $V = \frac{4}{3} \pi R^3$, где R - его радиус. Во всех частях задания все считайте, что капли (и градины) имеют форму шара.

Серьезная математическая подсказка. Если скорость тела зависит от времени по закону $v = bt^\gamma$ то изменение координаты тела (при любых γ) описывается формулой

$$x = \frac{bt^{\gamma+1}}{\gamma+1}.$$

Например, примените эту формулу для $\gamma = 1$.



Часть 1. Падение дождевых капель

В более учебниках физики можно найти формулы для силы сопротивления воздуха F , действующей на движущийся шарик:

При малых скоростях используется формула (которая называется формулой Стокса)

$$F_1 = 6\pi\eta r v \quad (1)$$

здесь r - радиус шарика, v - его скорость, η - коэффициент вязкости воздуха.

При больших скоростях сила сопротивления определяется формулой:

$$F_2 = C_x \frac{1}{2} \rho v^2 S, \quad (2)$$

где $C_x = 0,47$ безразмерный коэффициент лобового сопротивления шарика, ρ - плотность воздуха, $S = \pi r^2$ - площадь поперечного сечения шарика.

Сейчас Вам необходимо выбрать, какую формулу следует использовать в данной задаче. В реальности действуют обе силы (они имеют разную природу). Разумно выбирать ту силу, которая больше, меньшей силой можно пренебрегать.

1.1 Нарисуйте очень схематические графики зависимости силы сопротивления от скорости, описываемые формулами (1) и (2).

1.2 Получите формулу для «критической» скорости шарика $v_{кр}$, при которой обе формулы дают одинаковые значения. Рассчитайте численное значение этой критической скорости для капли радиуса $r_0 = 1,0$ мм.

1.3 Укажите, какую формулу для силы сопротивления следует использовать при описании движения капли в воздухе. Ответ кратко обоснуйте.

Независимо от вашего ответа на вопрос 1.3, далее используйте формулу (2).

Рассмотрим каплю, падающую в воздухе. По прошествии небольшого времени с начала падения, капля продолжает двигаться с некоторой постоянной, установившейся скоростью V . Можно считать, что капля достигает установившейся скорости за очень малый промежуток времени

1.4 Покажите, что скорость установившегося движения капли радиуса r можно представить в виде

$$V = V_0 \sqrt{\frac{r}{r_0}} \quad (3)$$

где V_0 - скорость установившегося движения капли радиуса r_0 .

1.5 Рассчитайте численное значение скорости V_0 , если $r_0 = 1,0$ мм.

В дальнейшем используйте формулу (3), считая величины V_0, r_0 известными (даже, если вам их не удалось найти)!

Теперь Вам необходимо объяснить, почему всегда дождь начинается с падения самых крупных капель. Пусть нижняя граница облака находится на высоте $H = 1,0$ км. Рассмотрим две капли, радиус одной равен $r_0 = 1,0$ мм, а радиус второй $r_2 = 4,0$ мм, которые одновременно начинают падать из нижней границы облака.

1.6 Рассчитайте, чему равна разность времен падения этих капель, считая, что движением воздуха под тучей можно пренебречь.

Пусть в процессе падения радиус капли незначительно уменьшается из-за ее испарения по закону

$$r = r_0(1 - \gamma t) \quad (4)$$

где γ - малая величина.

1.7 Найдите закон движения капли испаряющейся капли $z(t)$, где z - расстояние от нижнего края облака.

Подсказка. При малых $x \ll 1$ можно воспользоваться приближенной формулой

$$\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{x}{2}. \quad (5)$$

Часть 2. Капля в облаке

Пусть в облаке образовался восходящий поток, движущийся вверх со скоростью $U = 30 \frac{M}{c}$.

2.1 Рассчитайте, с какой скоростью относительно земли будет подниматься капля радиуса $r_0 = 1,0 \text{ мм}$.

Рассмотрим каплю, которая зародилась на нижней границе облака. В процессе движения капли в облаке ее радиус возрастает вследствие продолжающейся конденсации водяных паров в облаке. На некоторой высоте капля замерзнет и превратится в градину. Пренебрежем различием в плотностях воды и льда. В этом случае движение капли м замерзшей градины описываются одинаково. Теория конденсации утверждает, что скорость роста радиуса капли описывается приближенной формулой

$$r^2 \approx \alpha t. \quad (4)$$

где $\alpha = 3,0 \cdot 10^{-7} \frac{M^2}{c}$ - постоянная величина. В этой формуле предполагается, что размер зародыша, из которого начинает расти капля, пренебрежимо мал. Этот закон справедлив при движении капли, как вверх, так и вниз.

2.2 Рассчитайте, при каком радиусе капли r_s она прекратит подниматься вверх.

2.3 Рассчитайте, за какое время τ_1 и на какую максимальную высоту z_{\max} относительно нижнего края облака поднимется эта капля.

2.4 Рассчитайте радиус капли (или градины) r_m при ее возвращении на нижнюю границу облака.



Республиканская физическая олимпиада 2025 года (Заключительный этап)

Теоретический тур

10 класс.

Внимание! Прочтите в первую очередь.

1. Полный комплект состоит из 3 заданий. Для вашего удобства вопросы, на которые Вам необходимо ответить, помещены в рамки.
2. Решения задач выполняйте на отдельных чистых рабочих листах. Самостоятельно разделите их на черновики и чистовые листы. Рекомендуем сначала решать в черновике, а затем красиво оформить решение на чистовых листах. Решение каждого задания начинайте с нового чистового листа. В решении приведите рисунки (в некоторых заданиях рисунки необходимы, даже в том случае, когда это не оговорено в условии), исходные уравнения с кратким обоснованием, решения уравнений (комментарии к математическим выкладкам не требуются), окончательные результаты. Окончательные решения обязательно занесите в Листы ответов. Чистовые листы пронумеруйте. Черновые листы после окончания работы перечеркните. **Черновики проверяться не будут!**
3. Листы ответов содержат отдельные разделы в соответствии с пунктами полученных Вами заданий. Конечные формулы и требуемые численные значения занесите в соответствующие выделенные поля. Если по условию заданий от Вас требуется построение графика, используйте подготовленные бланки в Листах ответов, не забудьте подписать и оцифровать оси координат.
4. Все ваши работы сканируются, поэтому пишите только на одной стороне листа. Подписывать рабочие листы и листы ответов запрещается.
5. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
6. После окончания работы сложите листы в следующем порядке: листы ответов; пронумерованные чистовые листы; перечеркнутые черновики.
7. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.

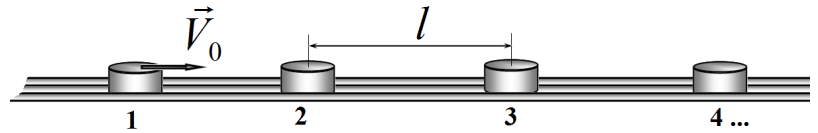


Пакет содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия 3 теоретических заданий (6 стр.);
- лист ответов (5)

Задание 1. Три цепочки.

Задача 1.1

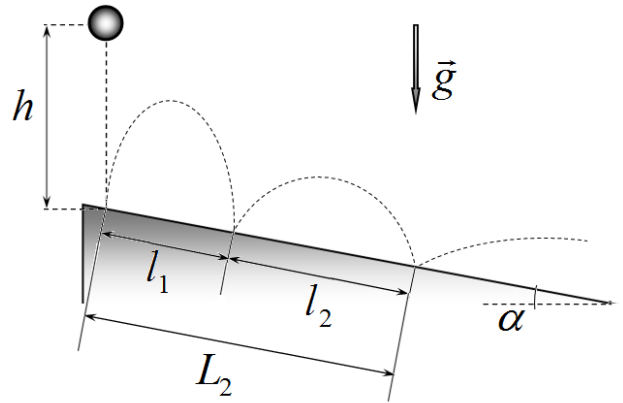


В гладком горизонтальном прямом желобе лежат N одинаковых шайб на равных расстояниях l друг от друга. Диаметры шайб значительно меньше расстояния между ними. Первой шайбе толчком сообщают скорость V_0 вдоль желоба. Столкновения между шайбами абсолютно неупругие.

1.1 Рассчитайте, через какое время после толчка сдвинется последняя шайба.

Задача 1.2

Небольшой гладкий шарик падает с высоты h на твердую длинную наклонную плоскость, составляющую угол α с горизонтом и абсолютно упруго отражается от нее. Сопротивлением воздуха пренебречь.



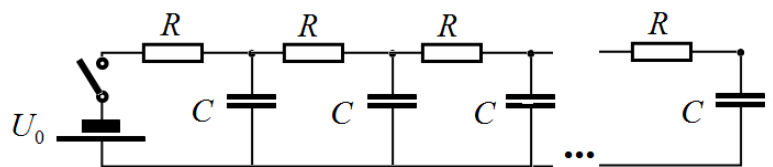
1.2.1 Найдите расстояние между точками последовательных столкновений шарика с плоскостью l_k (см. рис.).

1.2.2 Найдите смещение шарика вдоль наклонной плоскости L_k за k пролетов между ударами.

Задача 1.3

Электрическая цепь, состоящая из N одинаковых звеньев, подключена к источнику постоянного напряжения U_0 .

Сопротивление каждого резистора равно R , емкость каждого конденсатора - C . Конденсаторы не заряжены, ключ замыкают.



1.3.1 Найдите значение силы тока через источник сразу после замыкания цепи.

1.3.2 Найдите, какой суммарный электрический заряд протечет через источник до прекращения тока в цепи.



Задание 2. Столкновение ядер

Для изучения ядерных взаимодействий широко используется экспериментальный метод столкновения ядер различных химических элементов.

Для ускорения ядер, которые значительно тяжелее протонов, используются линейные ускорители. Во всех частях задачи считайте, что скорости частиц значительно меньше скорости света.

В данной задаче рассматривается столкновение ускоренных ядер углерода ${}_{12}^6\text{C}$ и неподвижных ядер свинца ${}_{207}^{82}\text{Pb}$.

Числа в обозначениях ядер означают: верхнее число Z - зарядовое число (число протонов в ядре), нижнее число A - массовое число (общее число протонов и нейтронов в ядре). Эти числа позволяют найти

- заряд ядра $q = Ze$, где $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл - заряд электрона;

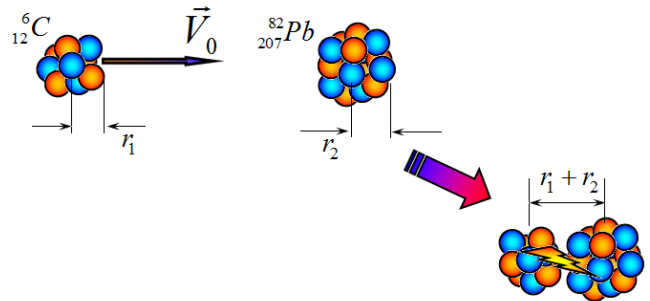
- массу ядра, которая приближенно равна $m = Am_p$, где $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг;

- радиус ядра $r = aA^{1/3}$, где $a = 1,3 \cdot 10^{-15}$ м.

Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$.

Часть 1. Порог реакции

Ядро углерода ${}_{12}^6\text{C}$ ускоряется в ускорителе, проходя ускоряющую разность потенциалов U , и приобретая скорость V_0 . Ядро-мишень ядро свинца можно считать неподвижным и свободным. Чтобы между ядрами началась ядерная реакция, необходимо, чтобы центры ядер сблизились на расстояние меньшее, чем сумма их радиусов.



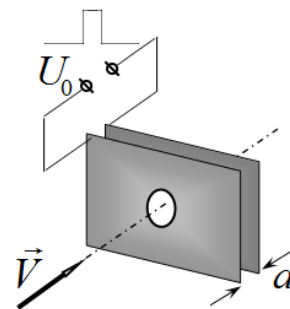
1.1 Рассчитайте, какую минимальную ускоряющую разность потенциалов U_0 должно пройти ядро углерода, чтобы началась ядерная реакция его взаимодействия с ядром свинца.

1.2 Рассчитайте, чему будет равна скорость ядра углерода V_0 при прохождении разности потенциалов U_0 .

1.3 Рассчитайте минимальную ускоряющую разность потенциалов и скорость ядра, если ускоряется ядро свинца, а мишенью является ядро углерода.

Часть 2. Ускоряющая система

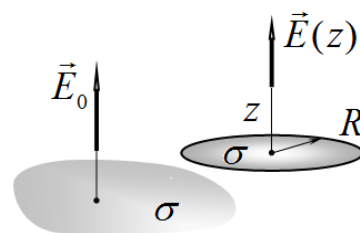
Для ускорения ядер используется несколько ячеек разгона. Каждая такая ячейка состоит из двух больших параллельных металлических пластин, расположенных перпендикулярно направлению движения частиц. В пластинах вырезаны два коаксиальных круглых отверстия радиуса R . Ускоряемые частицы движутся вдоль оси этих отверстий. Расстояние между пластинами равно a и в несколько раз меньше радиусов отверстий. На пластины подается импульсное напряжение U_0 , которое включается при подлете частиц к первой пластине и выключается при вылете частиц за вторую пластину.



2.1 Рассчитайте, какую кинетическую энергию ΔW приобретет ядро углерода при пролете через ускоряющую ячейку.

Подсказка. Равномерно заряженная с поверхностной плотностью заряда σ плоская пластина создает однородное электрическое поле, напряженность которого обозначим \vec{E}_0 . Равномерно заряженный диск радиуса R создает такое электрическое поле, что на оси диска на расстояниях $z \ll R$ его напряженность описывается приближенной формулой

$$E(z) = E_0 \left(1 - \frac{z}{R} \right). \quad (1)$$



2.2 Используя определение электрической емкости и формулу для емкости плоского конденсатора, выразите напряженность поля E_0 , создаваемого равномерно заряженной плоскостью, через поверхностную плотность заряда σ .

Часть 3. Линейный ускоритель

Линейный ускоритель состоит из:

I – источник ускоряемых ядер;

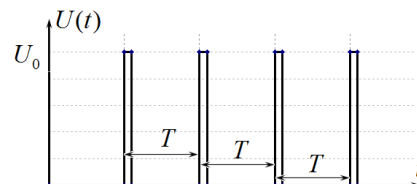
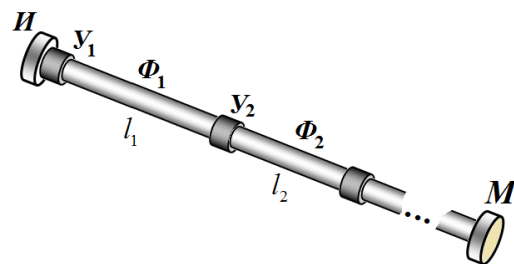
$Y_1, Y_2 \dots$ - ускоряющие ячейки, их общее число равно N ;

$\Phi_1, \Phi_2 \dots$ - трубы с фокусирующими магнитными устройствами (в данной задаче не рассматриваются), их длины обозначены $l_1, l_2 \dots$;

M – мишень с неподвижными ядрами.

Внутри системы находится вакуум.

Будем считать, что на входе в первую ускоряющую ячейку Y_1 скорости ядер равны нулю. На все ускоряющие ячейки одновременно подается импульсное напряжение, одинаковое на всех ускоряющих ячейках. Частота следования импульсов напряжения постоянна. Причем она настраивается так, что разгоняемые ядра ускоряются в каждой ячейке. Схематический вид зависимости напряжения, подаваемого на все ускоряющие ячейки, от времени показан на рисунке. Временем пролета частиц через ускоряющие ячейки пренебрежимо мало. Длина первой трубы равна l_1 .



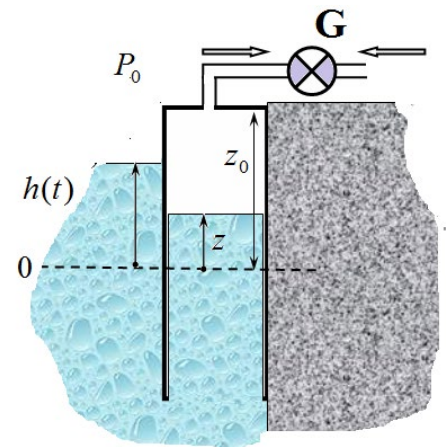
3.1 Рассчитайте длины остальных труб l_n , при которых ядра будут ускоряться в каждой ускоряющей ячейке.

Задание 3. ВЭС – волновая электростанция.



Одним из нетрадиционных возобновляемых источников энергии может служить энергия морских волн. К настоящему времени разработано более десятка различных волновых электростанций (ВЭС), некоторые из которых показаны на рисунке. В данном задании Вам необходимо проанализировать работу одного из типов, таких реально существующих ВЭС.

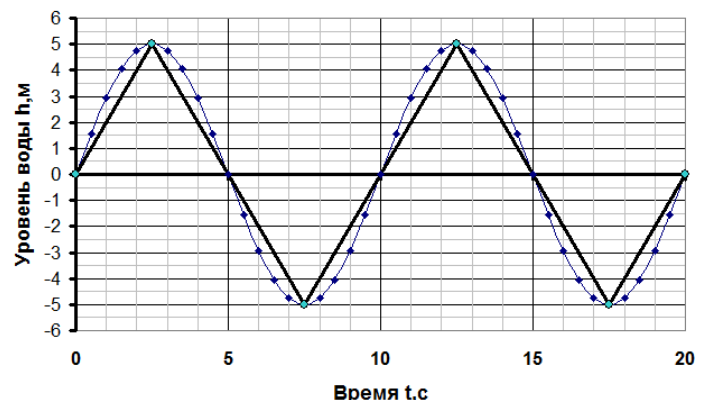
Упрощенная схема установки показана на рисунке. Прочный открытый снизу цилиндр вертикально закреплен у береговой скалы. Морская вода может поступать в этот рабочий цилиндр снизу. В верхней части трубы находится воздух. Выходная труба соединяет цилиндр с электрогенератором G , выходная труба генератора открыта в атмосферу. При подъеме уровня воды воздух вытесняется из цилиндра и приводит во вращение турбину генератора. При опускании уровня воды через ту же трубу атмосферный воздух всасывается внутрь рабочего цилиндра через ту же трубу. При этом турбина также может вращаться, что приводит к выработке электроэнергии.



Для описания работы этой установки используются следующие приближения.

- 1) Воздух можно считать идеальным газом.
- 2) Вода внутри и снаружи рабочего цилиндра все время находится в квазиравновесном состоянии, т.е. давление, создаваемое водой, можно рассчитывать по законам гидростатики.
- 3) Генератор снабжен клапаном, который открывается, если разность давлений с разных сторон генератора достигает некоторого значения δP . При меньшей разности давлений труба оказывается полностью перекрытой. При открытом клапане (из-за наличия турбины) разность давлений остается постоянной и равной δP .
- 4) Все процессы происходят при постоянной температуре.
- 5) Разностью давлений воздуха в рабочем цилиндре и выходной трубе можно пренебречь.
- 6) Уровень воды вблизи рабочего цилиндра изменяется по периодическому закону, который можно приближенно описать кусочно-линейной функцией. На графике: плавная кривая – реальная зависимость, ломаная линия – приближение, которое используется в решении данной задачи.

Зависимость уровня воды от времени



В данной задаче удобно в качестве единицы давления использовать «метр водяного столба» - гидростатическое давление, создаваемое 1 метром водяного столба. Считайте, что $1\text{ м.в.с.} = 1,0 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Используйте следующие обозначения (смотри схему установки):

- высота уровня воды вблизи рабочего цилиндра $h(t)$ - график этой функции приведен выше;
- высота уровня воды внутри рабочего цилиндра $z(t)$;
- высота верхней крышки рабочего цилиндра z_0 .

Все эти величины отсчитываются от равновесного уровня моря.

В расчетах используйте следующие значения параметров:

- атмосферное давление $P_0 = 10 \text{ м}$ (водяного столба, что соответствует нормальному атмосферному давлению);
- температура воздуха и воды $t^\circ = 7,0^\circ\text{C}$;
- молярная масса воздуха $M = 29 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$;
- универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$;
- площадь поперечного сечения рабочего цилиндра $S_0 = 10 \text{ м}^2$;
- площадь поперечного сечения выходной трубы $s = 1,0 \text{ м}^2$;
- разность давлений, при котором открывается клапан, и которая поддерживается постоянной при протекании газа через турбину, $\delta P = 2,0 \text{ м}$;
- высота цилиндра над уровнем моря $z_0 = 7,0 \text{ м}$;
- период волны $T = 10 \text{ с}$.
- амплитуда волны $A = 5,0 \text{ м}$.

Часть 1. Рабочий цикл установки.

1.1 Выразите давление воздуха в рабочем цилиндре (в метрах водяного столба) через атмосферное давление P_0 и высоты уровней воды вне цилиндра h и внутри его z .

Рассмотрим рабочий цикл установки. Считаем, что поверхность моря спокойна $h = 0$; вода в цилиндре находится также на нулевом уровне $z = 0$, давление воздуха внутри рабочего цилиндра равно атмосферному $P = P_0$. В момент времени $t = 0$ приходит волна.

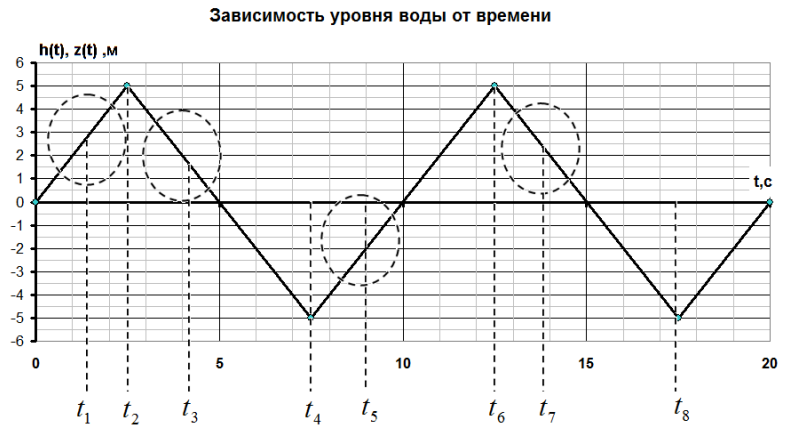
1.2 Рассчитайте, при какой минимальной амплитуде волны A_{\min} , установка начнет вырабатывать электроэнергию.

Далее будем считать, что амплитуда волн остается постоянной и равной $A = 5,0 \text{ м}$.

1.3 Рассчитайте численные значения модуля скорости подъема и опускания уровня воды вне установки v .

В данной части задания необходимо описать цикл работы установки, то есть найти зависимости уровня воды $z(t)$ и давления воздуха $P(t)$ в рабочем цилиндре от времени. Считаем, что в начальный момент времени $t = 0$ $z = 0$ и $P = P_0$. Уровень воды снаружи установки изменяется по закону, приведенному ранее на графике. В Бланках ответов приведен график этой зависимости.

На этом графике Вы должны построить зависимость $z(t)$. Для этого достаточно рассчитать значения указанных параметров в узловых точках, показанных на рисунке. Точки 1, 3, 5, 7 соответствуют открытию или закрытию клапана турбины генератора, их положение вам предстоит найти, поэтому на рисунке они показаны условно. График зависимости $z(t)$ можно изобразить в виде отрезков прямых между узловыми точками (за исключением участка 1-2).



- 1.4 Найдите явный вид зависимости уровня воды в цилиндре $z(t)$ в интервале времени от нуля до t_1 . Постройте график этой зависимости.
- 1.5 Найдите, в какой момент времени t_1 воздух начнет поступать в турбину. Рассчитайте уровень воды вне цилиндра h_1 , уровень воды z_1 и давление воздуха P_1 в цилиндре в этот момент времени.
- 1.6 Рассчитайте значения высоты уровня вне цилиндра h_k , уровня воды в цилиндре z_k , давления воздуха P_k в указанных узловых точках и соответствующие моменты времени t_k ($k = 1, 2, \dots, 8$). Полученные значения занесите в Таблицу 1 Листов ответов. Приведите (там, где это необходимо) формулы, по которым проведены расчеты. Постройте схематический график зависимости $z(t)$.
- 1.7 На отдельном бланке постройте схематическую диаграмму процесса изменения состояния воздуха в рабочем цилиндре в координатах $(P, (z_0 - z))$.
- 1.8 Укажите, начиная с какой узловой точки процесс далее будет периодически повторяться, укажите также конечную точку цикла.

Часть 2. Энергетические характеристики ВЭС.

В этой части задания Вы должны рассчитать энергетические характеристики рассматриваемой установки в режиме установившегося цикла ее работы.

В данной части используйте обозначения и численные значения параметров, найденные в Части 1.

- 2.1 Укажите, на каких участках процесса (между какими узловыми точками) генератор вырабатывает электроэнергию.
- 2.2 Рассчитайте массу воздуха, который выходит из рабочего цилиндра за один цикл работы установки.
- 2.3 Оцените кинетическую энергию воздуха, выходящего из рабочего цилиндра на входе в турбину генератора за один цикл работы установки.
- 2.4 Рассчитайте работу, совершенную воздухом, выходящим из рабочего цилиндра, над турбиной генератором за один цикл работы установки.
- 2.5 Считая, что КПД электрогенератора равен $\eta_0 = 60\%$, рассчитайте среднюю мощность рассмотренной установки за один цикл ее работы.



Республиканская физическая олимпиада 2025 года (Заключительный этап)

Теоретический тур

11 класс.

Внимание! Прочтите в первую очередь.

1. Полный комплект состоит из 3 заданий. Для вашего удобства вопросы, на которые Вам необходимо ответить, помещены в рамки.
2. Решения задач выполняйте на отдельных чистых рабочих листах. Самостоятельно разделите их на черновики и чистовые листы. Рекомендуем сначала решать в черновике, а затем красиво оформить решение на чистовых листах. Решение каждого задания начинайте с нового чистового листа. В решении приведите рисунки (в некоторых заданиях рисунки необходимы, даже в том случае, когда это не оговорено в условии), исходные уравнения с кратким обоснованием, решения уравнений (комментарии к математическим выкладкам не требуются), окончательные результаты. Окончательные решения обязательно занесите в Листы ответов. Чистовые листы пронумеруйте. Черновые листы после окончания работы перечеркните. **Черновики проверяться не будут!**
3. Листы ответов содержат отдельные разделы в соответствии с пунктами полученных Вами заданий. Конечные формулы и требуемые численные значения занесите в соответствующие выделенные поля. Если по условию заданий от Вас требуется построение графика, используйте подготовленные бланки в Листах ответов, не забудьте подписать и оцифровать оси координат.
4. Все ваши работы сканируются, поэтому пишите только на одной стороне листа. Подписывать рабочие листы и листы ответов запрещается.
5. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.
6. После окончания работы сложите листы в следующем порядке: листы ответов; пронумерованные чистовые листы; перечеркнутые черновики.
7. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач, обращайтесь к организаторам олимпиады.



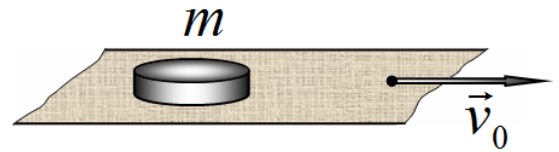
Пакет содержит:

- титульный лист (1 стр.);
- условия 3 теоретических заданий (7 стр.);
- лист ответов (7)

Задание 1. Потери энергии

Задача 1.1

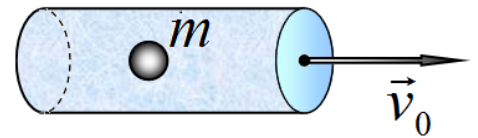
Двигатель тянет горизонтальную ленту транспортера с постоянной скоростью v_0 , н зависящей от того, какой груз находится на ленте. На ленту кладут (без начальной скорости) массивный диск массы m . Коэффициент трения диска о ленту равен μ .



1.1 Найдите количество теплоты, которое выделится за время разгона диска до скорости ленты.

Задача 1.2

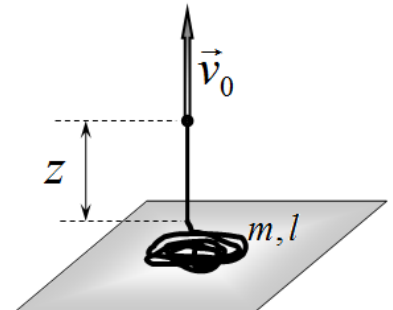
Жидкость прокачивают по горизонтальной трубе с постоянной скоростью v_0 . Внутри трубы попадает небольшой шарик массы m . Со стороны жидкости на шарик действует сила вязкого трения пропорциональная относительной скорости движения шарика $\vec{F} = -\beta\vec{v}_{\text{отн}}$. Силой вязкого трения жидкости о стенки трубы можно пренебречь.



1.2 Найдите количество теплоты, которое выделится за время разгона шарика до скорости жидкости.

Задача 1.3

На горизонтальной поверхности «кучкой» лежит гибкая цепочка. Длина цепочки равна l , ее масса m . Цепочку начинаю поднимать вертикально вверх за один из ее концов с постоянной скоростью \vec{v}_0 .



1.3.1 Постройте график зависимость силы F , прикладываемой к цепочке, от высоты z поднятой части цепочки.

1.3.2 Рассчитайте количество теплоты, которое выделится в цепочке до отрыва цепочки от стола.



Задание 2. Взаимодействия цилиндрических магнитов

Описание магнитных полей и магнитных взаимодействий является математически более сложной задачей, чем описание электростатических взаимодействий. Во многом это связано с отсутствием точечных магнитных зарядов, из-за чего простейшим источником магнитного поля является магнитный диполь. Однако, во многих задачах можно формально (но математически корректно) ввести точечные магнитные заряды, не забывая при этом, что реально существующие источники магнитного поля имеют нулевой суммарный магнитный заряд. Такой подход используется в данном задании при расчете магнитных полей, создаваемых постоянными магнитами, и характеристик их взаимодействия.

Теоретическое введение.

Согласно современным представлениям магнитное поле постоянных магнитов создается токами намагничения, протекающими по поверхности намагниченного тела (эта идея первоначально была сформулирована А.М. Ампером и часто называется гипотезой Ампера).

Таким образом, поле небольшого цилиндрического магнита эквивалентно полю кругового тока. В качестве основной характеристики витка с током выступает магнитный момент, который равен

$$p_m = IS, \quad (1)$$

где I - сила тока в контуре, S - площадь этого контура.

Альтернативный подход к описанию поля цилиндрического магнита является рассмотрение поля магнитного диполя – частицы, состоящей из двух точечных противоположных магнитных зарядов ($+q_m$ и $-q_m$), находящихся на малом расстоянии a друг от друга. Магнитный момент в этом случае определяется как

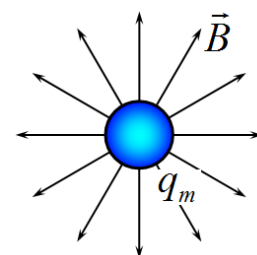
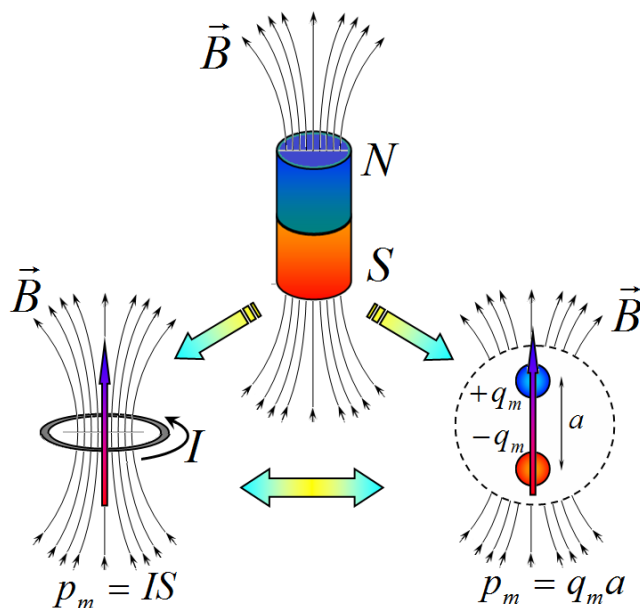
$$p_m = q_m a, \quad (2)$$

Отметим, что оба способа описания магнитных полей справедливы для точек, расстояние до которых от источников (магнита, кольца с током, магнитного диполя) значительно больше размеров самих источников. Считайте, что это условие выполняется во всех пунктах данной задачи.

Точечный магнитный заряд q_m создает центральное магнитное поле, модуль вектора индукции которого определяется по закону, аналогичному закону Кулона для электростатических полей

$$B = \frac{\mu_0 q_m}{4\pi R^2}, \quad (3)$$

здесь R - расстояние от точечного заряда, до точки, в которой рассчитывается поле, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \cdot \text{м}$ - магнитная постоянная.



На точечный магнитный заряд q_m со стороны магнитного поля с индукцией \vec{B} действует сила, равная

$$\vec{F} = q_m \vec{B} \quad (3)$$

Основной характеристикой постоянных магнитов является остаточная намагниченность M_R ,

которая определяется как магнитный момент единицы объема $M_R = \frac{p_m}{\Delta V}$.

Эта величина обычно указывается в паспорте магнита. Вместо остаточной намагниченности также приводят величину $B_R = \mu_0 M_R$, которая называется остаточная индукция (т.е. индукция магнитного поля внутри магнита).

Еще раз подчеркнем, в настоящее время магнитных зарядов не обнаружена, поэтому величины магнитных зарядов q_m не должны входить в конечные результаты, которые должны выражаться через реальные характеристики магнитов – их магнитный момент p_m и намагниченность M .

Часть 1. Характеристики магнита.

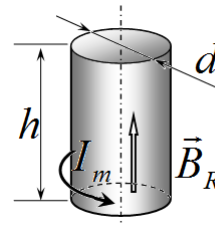
В данной задаче рассматривается постоянный цилиндрический неодимовый магнит со следующими характеристиками:

диаметр магнита $d = 4,0 \text{ мм}$;

высота магнита $h = 10,0 \text{ мм}$;

остаточная индукция поля магнита $B_R = 1,4 \text{ Тл}$ и направлена вдоль оси магнита;

плотность материала магнита $\rho_{Nd} = 7,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



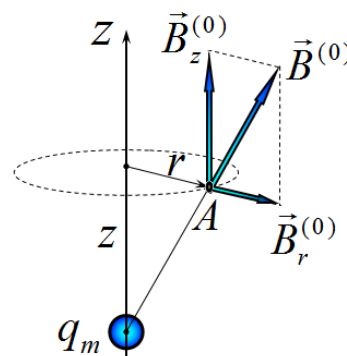
1.1 Рассчитайте массу магнита m .

1.2 Рассчитайте магнитный момент магнита p_m .

1.3 Рассчитайте силу тока намагничивания, текущего по боковой поверхности магнита I_m .

Часть 2. Магнитное поле магнита.

Рассмотрите магнитное поле, создаваемое точечным магнитным зарядом q_m . Точечный заряд находится в начале отсчета оси z . Положение произвольной точки задается координатой z и расстоянием до этой оси r . В этом случае вектор индукции магнитного поля $\vec{B}^{(0)}$ разумно разложить на две компоненты: осевую $\vec{B}_z^{(0)}$, направленную параллельно оси z ; радиальную $\vec{B}_r^{(0)}$, направленную перпендикулярно оси.

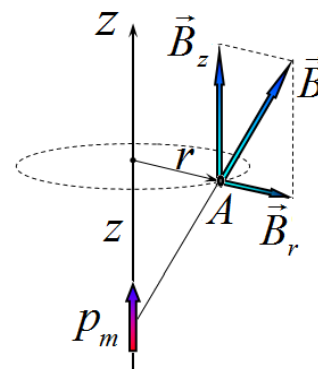


2.1 Запишите формулы для осевой $B_z^{(0)}(z, r)$ и радиальной $B_r^{(0)}(z, r)$ компонент вектора индукции поля точечного заряда, как функции координат точки (z, r) .

Теперь Вам необходимо рассмотреть магнитное поле, создаваемое описанным цилиндрическим магнитом. Для расчета этого поля можно считать, что оно совпадает с магнитным полем магнитного диполя.

2.2 Нарисуйте схематически картину силовых линий магнитного поля, создаваемого магнитным диполем (цилиндрическим магнитом).

Пусть в начале оси z находится магнитный диполь с магнитным моментом p_m , направленным вдоль оси z . Положение произвольной точки A , как и ранее, задается координатами (z, r) .



2.3 Найдите зависимость осевой компоненты индукции поля магнитного диполя $B_z(z, r)$, от координат точки (z, r) .

2.4 Постройте схематический график зависимости осевой компоненты вектора индукции $B_z(z_0, r)$ от координаты r при некотором фиксированном значении координаты $z_0 > 0$.

2.5 Найдите зависимость индукции поля на оси z в зависимости от координаты $z - B_z(z)$.

2.6 Найдите зависимость радиальной компоненты индукции поля магнитного диполя $B_r(z, r)$, от координат точки (z, r) .

2.7 Постройте схематический график зависимости радиальной компоненты вектора индукции $B_r(z, r_0)$ от координаты z при некотором фиксированном значении координаты $r_0 > 0$.

2.8 Найдите значения модуля координаты $z = b$, при котором модуль функции $B_r(z, r_0)$ принимает максимальные значения $B_{r, \max}$. Найдите, чему равно это максимальное значение.

Примечания.

1. Вы можете построить схематические графики, даже если вам не удалось получить явные функциональные зависимости – это будет оценено!

2. Для облегчения вашей работы дадим математическую подсказку. Если величина a мала, то для расчета поля диполя Вы можете использовать следующее приближение, справедливое для любой функции

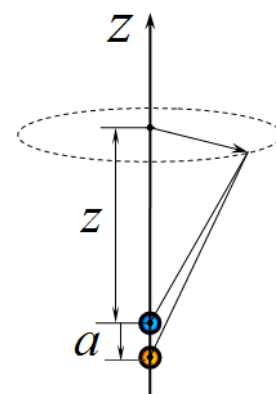
$$F(z + a) \approx F(z) + F'_z(z) \cdot a \quad (4)$$

где $F'_z(z)$ - производная функции $F(z)$, вычисленная в точке z .

3. При необходимости Вы можете использовать приближенную формулу

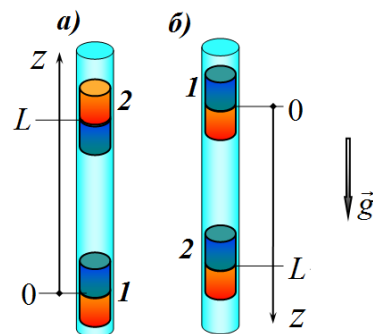
$$(1 + x)^\gamma \approx 1 + \gamma x, \quad (5)$$

справедливую при $x \ll 1$ и любых степенях γ .



Часть 3. Притяжение и отталкивание.

Два одинаковых цилиндрических магнита помещены в вертикальную стеклянную трубку. Магнит 1 закреплен, магнит 2 может свободно двигаться вдоль трубки. Расстояние между магнитами можно считать значительно больше размеров магнитов. Ускорение свободного падения считать равным $g = 9,8 \frac{M}{c^2}$. Ответы выразите через магнитный момент магнитов p_m и их массу m .



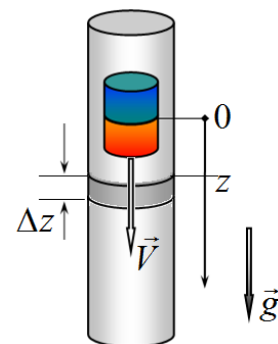
- 3.1** Найдите зависимость силы магнитного взаимодействия между магнитами, как функцию расстояния z между ними.
- 3.2** Найдите, при каком расстоянии между магнитами L , магнит 2 может находиться в равновесии. Рассмотрите два случая, а) и б) ориентации магнитов, показанные на рисунке.
- 3.3** Укажите, какой из экспериментов, а) или б) может быть продемонстрирован экспериментально. Ответ кратко обоснуйте.
- 3.4** Рассчитайте численное значение равновесного расстояния L , для магнитов, параметры которого приведены в Части 1.

Часть 4. Магнитная вязкость – токи Фуко.

Цилиндрический магнит помещают внутрь длинной вертикальной тонкостенной алюминиевой трубки. Внутренний радиус трубки равен $r_0 = 3,0 \text{ мм}$, толщина стенок равна $h_0 = 0,30 \text{ мм}$. Удельное электрическое сопротивление алюминия равно $\rho = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

По-прежнему, считаем массу магнита m и его магнитный момент p_m известными.

Пусть скорость движения магнита постоянна и равна V . Выделим на стенке трубки тонкий слой толщиной Δz , находящийся на расстоянии z от середины магнита. В пп. 4.1 – 4.4 ответы выразите через параметры магнитного поля b и $B_{r \max}$, найденные в п. 2.8.

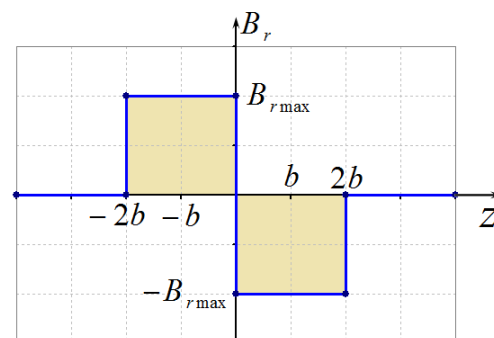


- 4.1** Найдите силу индуцированного тока ΔI , протекающего по выделенному кольцу Δz .
- 4.2** Найдите мощность теплоты, выделяющейся в трубке при движении магнита.
- 4.3** Найдите силу вязкого магнитного трения, действующую на движущийся магнит.
- 4.4** Найдите скорость установившегося падения магнита в трубке V .
- 4.5** Рассчитайте численное значение скорости падения магнита, характеристики которого приведены в Части 1.

Примечание.

Зависимость радиальной составляющей магнитного поля магнита на стенке трубки можно приближенно заменить на ступенчатую функцию, показанную на рисунке. Используйте параметры этой функции b и $B_{r \max}$, найденные в п. 2.8.

Если вам не удалось найти ответы в п.2.8, то в данной части считайте их известными.





Задание 3. Брызги шампанского!

Данные для этой задачи взяты из статьи Касьянов Г. И. Физическая абсорбция углекислого газа.
(<https://krkgi.ru/glav/co2tech/index.htm>)

Свойства газированных напитков (в том числе шампанских вин), во многом, определяются растворенным в них углекислым газом.

Растворимостью газа называется максимальное количество газа, которое может быть растворено в жидкости. Количество газа (может определяться массой, количеством молей, объемом) растворенное в единице объема жидкости называется концентрацией растворенного газа. Раствор, содержащий максимально возможное количество газа, называется насыщенным. Растворимость может изменяться в различных единицах: грамм/литр; моль/литр; литр/литр и т.д.

При не очень высоких давлениях растворимость газа описывается законом У.Генри: растворимость газа пропорциональна парциальному давлению газа над поверхностью жидкости:

$$C = kP, \quad (1)$$

где C - концентрация насыщенного раствора газа, P - парциальное давление растворяемого газа над поверхностью жидкости, k - постоянная Генри, зависящая от жидкости и растворяемого газа, также эта постоянная зависит от температуры.

Используйте следующие постоянные величины:

$$\text{Универсальная газовая постоянная } R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

$$\text{Связь между единицами давления } 1 \text{ атм} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Связь между абсолютной температурой по шкале Кельвина T и температурой по шкале Цельсия t

$$T = t + 273.$$

$$\text{Атмосферное давление постоянно и равно } P_0 = 1,00 \text{ атм} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

$$\text{Молярная масса углекислого газа } CO_2 - M = 44,0 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

При решении данной задачи используются следующие приближения:

- углекислый газ в газовой фазе является идеальным;
- объем жидкого раствора не зависит от концентрации растворенного углекислого газа;
- давлением насыщенных паров воды можно пренебречь.

Часть 1. Предварительная.

Для большей наглядности и упрощения численных расчетов в данной задаче рекомендуется использовать следующие единицы измерения:

единица массы – 1 грамм;

единица объема – 1 литр;

единица давления – 1 атмосфера. Назовем эту систему единиц ГЛА.

1.1 Найдите численное значение и размерность универсальной газовой постоянной R в указанной системе единиц.

При температуре равной $t_0 = 0,00^\circ\text{C}$ и парциальном давлении над поверхностью воды $P_0 = 1,00 \text{ атм}$ растворимость углекислого газа в воде равна $k_V = 1,71 \frac{\text{л}}{\text{л}}$ (т.е. в 1 литре воды растворяется 1,71 литра углекислого газа, причем этот объем рассчитывается при указанных температуре и давлении газа). Далее будем измерять концентрацию в граммах/литр (масса газа в граммах, растворенного в 1 литре воды).

1.2 Запишите формулу для расчета коэффициента k_m в законе Генри (1), если концентрация рассчитывается в г/л , а давление в атмосферах. Рассчитайте ее численное значение.

Для получения сильно газированной воды ее насыщают углекислым газом при температуре $P = 3,0 \text{ атм}$ и температуре $t = 0,0^\circ\text{C}$.

1.3 Рассчитайте массу углекислого газа, который содержится в двухлитровой бутылке $V = 2,0 \text{ л}$ сильно газированной воды.

Зависимость постоянной Генри в $k_m(t)$ от температуры описывается формулой:

$$k_m = \frac{k_0}{1 + \alpha t}, \quad (2)$$

где $k_0 = 3,4 \frac{\text{г}}{\text{л} \cdot \text{атм}}$, $\alpha = 5,5 \cdot 10^{-2} \text{ K}^{-1}$ - постоянные величины, t - температура по шкале Цельсия.

Часть 2. Открываем бутылку!

В стандартную бутылку заливают $V_0 = 0,75 \text{ л}$ винного купажа (вино не содержащее углекислого газа) температуре $t_0 = 20^\circ\text{C}$. И плотно запечатывают бутылку. При этом в бутылке остается объем $v = 0,15 \text{ л}$, заполненный воздухом (содержанием углекислого газа в нем можно пренебречь), находящимся при атмосферном давлении. После этого бутылки опускают в подвал для вызревания. Согласно справочным данным в каждой бутылке в результате брожения образуется $m_0 = 7,5 \text{ г}$ углекислого газа.

2.1 Найдите зависимость давления бутылке от ее температуры в диапазоне от 0°C до 30°C . Постройте график полученной зависимости.

В Листах ответов приведите формулы, по которым вы проводили расчеты. Результаты расчетов (в т.ч. промежуточных) приведите в Таблице 1, график постройте на подготовленном для Вас бланке. Допускается проведение промежуточных численных расчетов.

Неопытный молодой человек открывает бутылку с шампанским при ее температуре равной $t_0 = 25^\circ\text{C}$. При этом пробка выскакивает из бутылки и шампанское струей начинает вылетать из бутылки.

2.2 Рассчитайте, какой объем шампанского останется в бутылке после такого «эксперимента».

Считайте, что при выскакивании пробки давление в бутылке резко падает до атмосферного, а углекислый газ очень быстро выделяется в виде пузырьков равномерно по всему объему, до тех пока вино не станет насыщенным при комнатных условиях.