



Республиканская физическая олимпиада 2025 года (Заключительный этап)

Теоретический тур

Решения задач 11 класс (для жюри)

Уважаемые члены жюри!

Задачи, предложенные школьникам для решения на олимпиаде, не стандартные и достаточно сложные. Предложенные здесь варианты путей решений не являются единственно возможными. Участники олимпиады могут предложить свои способы решения. Если эти способы приводят к правильным ответам и физически обоснованы, то задача (или ее отдельные пункты) должны оцениваться максимальными баллами.

Не забывайте, что Вы должны оценивать не только конечные ответы, но и отдельные правильные шаги в ходе решения!

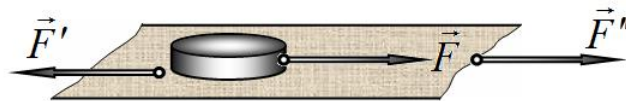


*Не жалейте баллов (если, конечно, есть за что!) для наших
замечательных школьников!*

Задание 1. Потери энергии (Решение)

Задача 1.1

1.1 Диск разгоняется под действием силы трения $\vec{F}$ со стороны движущейся ленты транспортера. В соответствии с 3 законом



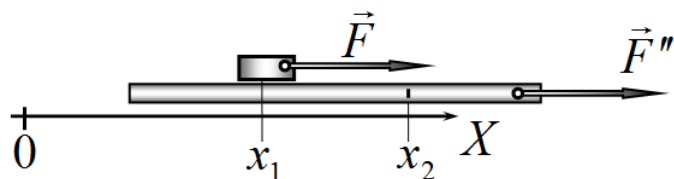
Ньютона такая же по модулю сила $\vec{F}'$ действует на ленту. Поэтому, чтобы лента продолжала двигаться с прежней скоростью на столько же должна увеличиться сила тяги $\vec{F}''$, действующая на ленту. Именно работа этой силы как сообщает кинетическую энергию диску, так и приводит к выделению теплоты. Расчет работы этой силы проведем в системе неподвижной системы отсчета.

Сила трения:

$$F = \mu mg; \quad (1)$$

ускорение диска:

$$a = \frac{F}{m} = \mu g; \quad (2)$$



время, за которое скорость диска возрастет от нуля до скорости ленты:

$$\tau = \frac{v_0}{a} = \frac{v_0}{\mu g}; \quad (3)$$

За это время лента сместится на расстояние

$$x_2 = v_0 \tau = \frac{v_0^2}{\mu g}, \quad (4)$$

работа этой силы:

$$A = Fx_2 = \mu mg \frac{v_0^2}{\mu g} = mv_0^2. \quad (5)$$

Эта работа равна сумме приобретенной кинетической энергии диска $\Delta E = \frac{mv_0^2}{2}$ и выделившейся теплоты Q . Следовательно, количество выделившейся теплоты равно

$$Q = \frac{mv_0^2}{2}. \quad (6)$$

Поясним, что работа силы трения $\vec{F}$, действующей на диск, равна изменению кинетической энергии диска. А работа внешней равной ей внешней силы $\vec{F}''$ в 2 раза больше, т.к. лента сместилась за рассматриваемый промежуток времени на в 2 раза большее расстояние.

Способ решения 2.

Рассмотрим движение диска в системе отсчета, связанной с лентой. Важно подчеркнуть, что эта система отсчета является инерциальной. В этой системе отсчета диск имел начальную скорость v_0 , а затем в следствие трения остановился. Следовательно, начальная кинетическая энергия диска полностью выделилась в виде теплоты. Откуда следует полученный результат (6).

Задача 1.2

Можно воспользоваться вторым способом решения предыдущей задачи 1.1. Не повторяя проведенных рассуждений, сразу приведем ответ: количество выделившейся теплоты равно

$$Q = \frac{mv_0^2}{2}. \quad (1)$$

Тем не менее, приведем еще один достаточно интересный обобщающий метод решения данной задачи. Обозначим силу, разгоняющую шарик $\vec{F}$. Такая же сила должна быть приложена к жидкости, чтобы сохранить скорость ее течения постоянной. Работу силы, приложенной к шарiku, можно рассчитать следующим образом. Разобьем перемещение шарика на малые участки Δx_k , силу действующую на этом интервале обозначим F_k (мы не предполагаем постоянство этой силы). Тогда работа равна сумме (точнее интегралу):

$$A_1 = \sum_k F_k \Delta x_{1k} \quad (2)$$

Далее воспользуемся вторым законом Ньютона для шарика

$$F_k = m \frac{\Delta v_{1k}}{\Delta t}, \quad (3)$$

Где Δv_{1k} - изменение скорости шарика за малый промежуток времени Δt . Подставим это выражение в формулу для работы и преобразуем полученное выражение

$$A_1 = \sum_k F_k \Delta x_{1k} = \sum_k m \frac{\Delta v_{1k}}{\Delta t} \Delta x_{1k} = \sum_k m \frac{\Delta x_{1k}}{\Delta t} \Delta v_{1k} = \sum_k m v_{1k} \Delta v_{1k} = \sum_k m \Delta \left(\frac{v_{1k}^2}{2} \right) = \frac{mv_0^2}{2} \quad (4)$$

В итоге получили тривиальный результат – работа силы равна изменению кинетической энергии шарика.

Теперь аналогично подсчитаем работы силы, движущей воду:

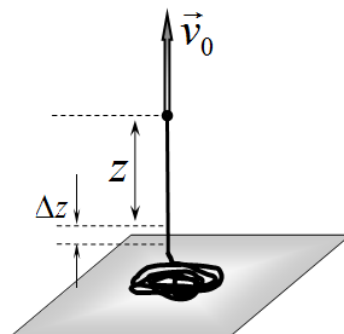
$$A_2 = \sum_k F_k \Delta x_{0k} = \sum_k m \frac{\Delta v_{1k}}{\Delta t} v_0 \Delta t = \sum_k m v_0 \Delta v_{1k} = m v_0^2. \quad (5)$$

Это и есть основной результат: независимо от характера силы, действующий на шарик, работа внешней силы в два раза превышает изменение кинетической энергии шарика. Следовательно, разность между ними (т.е. выделившаяся теплота) равна полученной кинетической энергии.

Задача 1.3

1.3.1 Так как цепочка поднимается с постоянной скоростью, то в любой момент времени сумма сил, действующих на поднятую часть цепочки равна нулю. При подъеме цепочки на малую высоту Δz нижняя ее часть длины Δz должна быстро увеличить скорость от нуля до скорости цепочки v_0 . Это ускорение возможно только за счет дополнительной силы натяжения цепочки. Эту силы можно рассчитать через скорость изменения импульса

$$F' = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{v_0 \Delta m}{\Delta t} = \frac{v_0}{\Delta t} \frac{m}{l} \Delta z = \frac{m}{l} v_0^2. \quad (1)$$

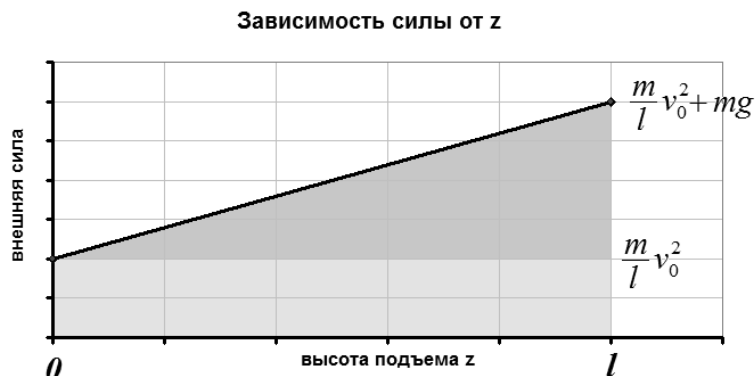


здесь $\Delta m = \frac{m}{l} \Delta z = \frac{m}{l} v_0 \Delta t$ - масса части цепочки, которая отрывается от стола за малый промежуток времени Δt .

Таким образом, сила, с которой тянут цепочку вверх, при равномерном движении должна быть равна сумме силы тяжести поднятой части $m'g = \frac{m}{l} zg$ и найденной силы F' :

$$F = \frac{m}{l} zg + \frac{m}{l} v_0^2. \quad (2)$$

График этой линейной функции показан на рисунке.



1.3.2 Работа найденной силы численно равна площади под графиком нарисованной зависимости:

$$A = \frac{mv_0^2}{l} \cdot l + \frac{1}{2} mgl = mv_0^2 + \frac{1}{2} mgl. \quad (3)$$

Энергия, сообщенная цепочке, пошла на увеличение кинетической энергии цепочки $\frac{mv_0^2}{2}$, ее потенциальной энергии $\frac{1}{2} mgl$ и выделившуюся теплоту Q . Поэтому

$$A = mv_0^2 + \frac{1}{2} mgl = \frac{mv_0^2}{2} + \frac{1}{2} mgl + Q. \quad (4)$$

Из этого уравнения следует, что количество выделившейся теплоты равно

$$Q = \frac{mv_0^2}{2}. \quad (5)$$

Задание 2. Взаимодействия цилиндрических магнитов (Решение)

Часть 1. Характеристики магнита.

1.1 Так как, плотность и геометрические размеры цилиндрического магнита заданы, то расчет его массы труда не представляет:

$$m = \rho V = \rho \frac{\pi d^2}{4} h = 7,6 \cdot 10^3 \frac{\pi \cdot (4,0 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 10,0 \cdot 10^{-3}}{4} = 9,6 \cdot 10^{-4} \text{ кг} . \quad (1)$$

1.2 Магнитный момент магнита рассчитывается по определению намагниченности

$$M_R = \frac{p_m}{V} \Rightarrow p_m = M_R V . \quad (2)$$

Используя заданную связь между намагниченностью и остаточной индукцией $B_R = \mu_0 M_R$, получим требуемый результат

$$p_m = M_R V = \frac{B_R}{\mu_0} \cdot \frac{\pi d^2}{4} h = 0,14 \text{ А} \cdot \text{м}^2 . \quad (3)$$

1.3 Расчет силы тока намагничения можно провести по формуле магнитного момента, выражаемого через силу тока намагничения

$$p_m = IS \Rightarrow I_m = \frac{p_m}{S} = \frac{B_R}{\mu_0} \frac{V}{S} = \frac{B_R}{\mu_0} h . \quad (4)$$

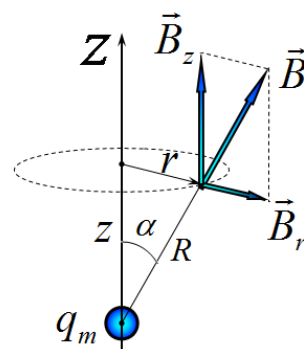
Численный расчет можно провести по любой из приведенных формул

$$I_m = \frac{B_R}{\mu_0} h = \frac{1,6}{4\pi \cdot 10^{-7}} 10 \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot 10^4 \text{ А} . \quad (5)$$

Поразительно, удивительно, но...

Часть 2. Магнитное поле магнита.

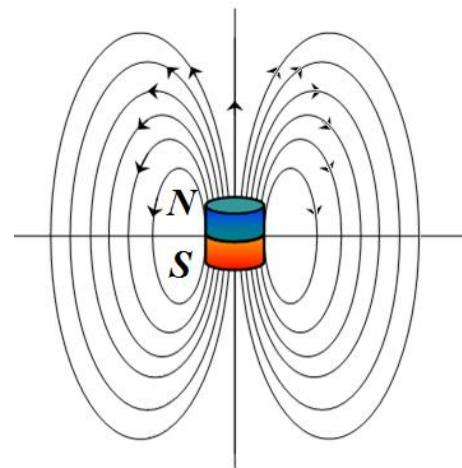
2.1 Требуемые компоненты индукции поля точечного магнитного заряда находятся из формулы «типа Кулона» $B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_m}{R^2}$ и рисунка:



$$B_z^{(0)}(z, r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_m}{R^2} \cos \alpha = \frac{\mu_0 q_m}{4\pi} \frac{z}{(z^2 + r^2)^{3/2}} . \quad (5)$$

$$B_r^{(0)}(z, r) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q_m}{R^2} \sin \alpha = \frac{\mu_0 q_m}{4\pi} \frac{r}{(z^2 + r^2)^{3/2}} . \quad (6)$$

2.2 Картина силовых линий магнитного диполя (поля линейного магнита, поля кругового тока, поля Земли и т.д.) приводится во всех учебниках физики, начиная с детского сада.



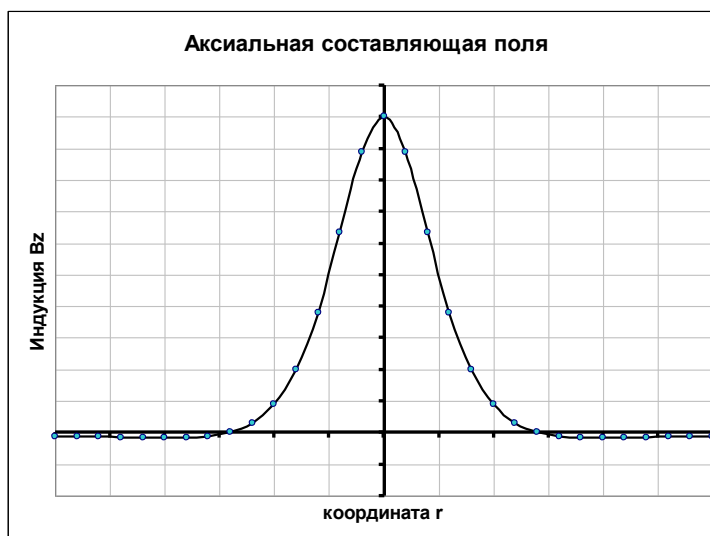
2.3 Для решения данного пункта задачи можно воспользоваться подсказкой, приведенной в условии. Второй подход – используя принцип суперпозиции, записать точное выражение для индукции поля и провести разложение полученного выражения по малому параметру a . Здесь приведено решения по первому, более короткому пути.

$$B_z(z, r) = B_z^{(0)}(z, r) - B_z^{(0)}(z + a, r) = -\left(B_z^{(0)}(z, r)\right)'_z \cdot a. \quad (7)$$

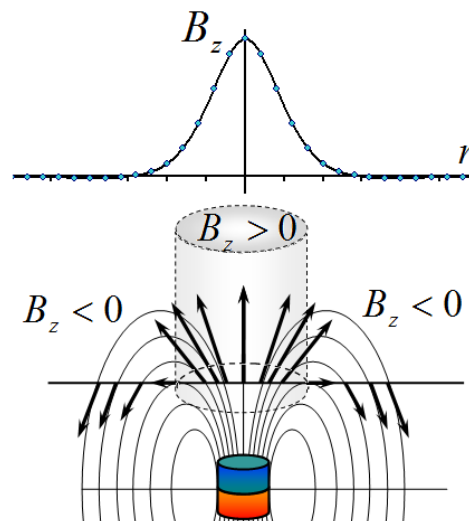
Аккуратное вычисление производной от функции (5) приводит к результату:

$$\begin{aligned} B_z(z, r) &= -\left(B_z^{(0)}(z, r)\right)'_z \cdot a = -\frac{\mu_0 q_m a}{4\pi} \left(\frac{z}{(z^2 + r^2)^{3/2}} \right)' = \\ &= -\frac{\mu_0 q_m a}{4\pi} \frac{(z^2 + r^2)^{3/2} - z \cdot \frac{3}{2}(z^2 + r^2)^{1/2} \cdot 2z}{(z^2 + r^2)^3} = \frac{\mu_0 p_m}{4\pi} \frac{2z^2 - r^2}{(z^2 + r^2)^{5/2}} \end{aligned} \quad (8)$$

2.4 Схематический график этой функции можно построить на основе качественного анализа (функция четная, нули функции при $r = \pm\sqrt{2}z$, очевидны участки монотонности, стремление к нулю с отрицательной стороны при $z \rightarrow \pm\infty$). Результат построения показан на рисунке.



Данный график можно построить и на основании анализа картины силовых линий – просто рассматривая знак проекции вектора индукции поля (как показано на следующем рисунке).



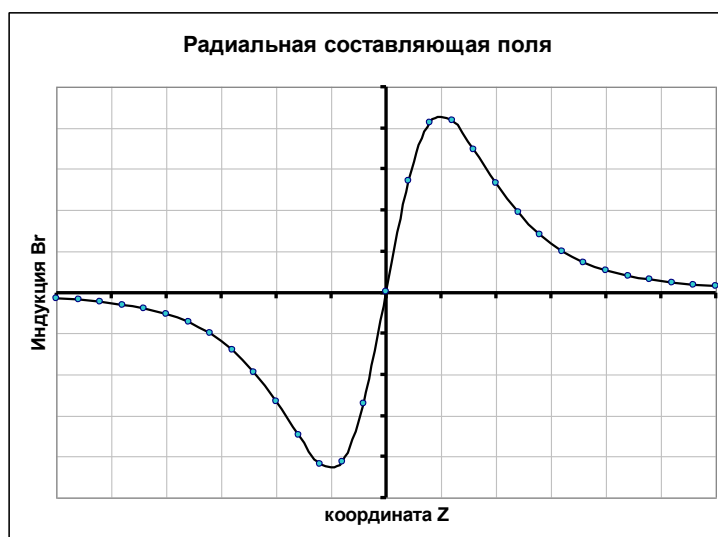
2.5 Значения индукции поля на оси можно получить, полагая $r = 0$ в формуле (8):

$$B_z(z) = \frac{\mu_0 p_m}{4\pi} \frac{2z^2 - r^2}{(z^2 + r^2)^{5/2}} \Big|_{r=0} = \frac{\mu_0 p_m}{2\pi z^3}. \quad (9)$$

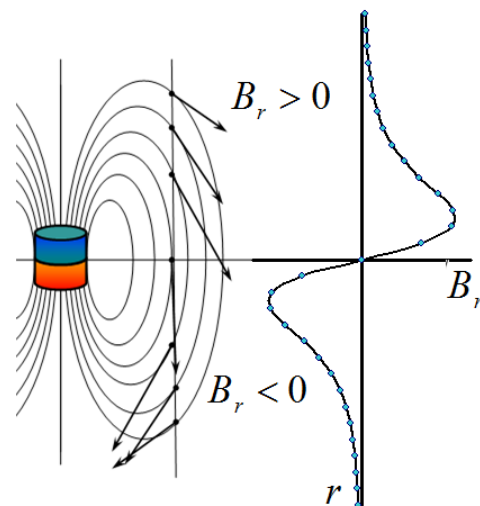
2.6 Радиальная компонента поля рассчитывается аналогично (и несколько проще):

$$\begin{aligned} B_r(z, r) &= B_r^{(0)}(z, r) - B_r^{(0)}(z + a, r) = -\left(B_r^{(0)}(z, r)\right)' \cdot a = \\ &= -\frac{\mu_0 q_m a}{4\pi} \cdot \left(\frac{r}{(z^2 + r^2)^{3/2}}\right)' = \frac{\mu_0 p_m}{4\pi} \cdot \frac{3}{2} \frac{r \cdot 2z}{(z^2 + r^2)^{5/2}} = \frac{\mu_0 p_m}{4\pi} \frac{3zr}{(z^2 + r^2)^{5/2}}. \end{aligned} \quad (10)$$

2.7 График этой функции также строится на основе качественного анализа (функция нечетная: обращается в нуль при $z = 0$; стремится к нулю при $z \rightarrow \pm\infty$). Результат – на рисунке.



Схематический график этой зависимости можно также построить на основании анализа картины силовых линий (см. рисунок).



2.8 Поиск экстремумов функции проводится стандартным методом – в точках экстремумов производная функции обращается в нуль. Поэтому вычислим производную от функции (10) и приравняем ее к нулю:

$$\begin{aligned} (B_r(z, r))'_z &= \frac{\mu_0 p_m}{4\pi} 3r \left(\frac{z}{(z^2 + r^2)^{5/2}} \right)' = \frac{\mu_0 p_m}{4\pi} 3r \frac{(z^2 + r^2)^{5/2} - z \frac{5}{2} (z^2 + r^2)^{3/2} \cdot 2z}{(z^2 + r^2)^5} = \\ &= \frac{\mu_0 p_m}{4\pi} 3r \frac{r^2 - 4z^2}{(z^2 + r^2)^{7/2}} = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Из полученного уравнения следует, что положение экстремума $z^* = \pm b = \pm \frac{r}{2}$. Значения функции в экстремуме равно

$$B_{r\max}(z, r) = \frac{\mu_0 p_m}{4\pi} \frac{3zr}{(z^2 + r^2)^{5/2}} \bigg|_{z=\frac{r}{2}} = \frac{3}{2} \left(\frac{4}{5} \right)^{5/2} \frac{\mu_0 p_m}{4\pi} \frac{1}{r^3} = C \frac{\mu_0 p_m}{r^3}. \quad (12)$$

Здесь безразмерная константа равна $C = \frac{3}{8\pi} \left(\frac{4}{5} \right)^{5/3} \approx 0,068$.

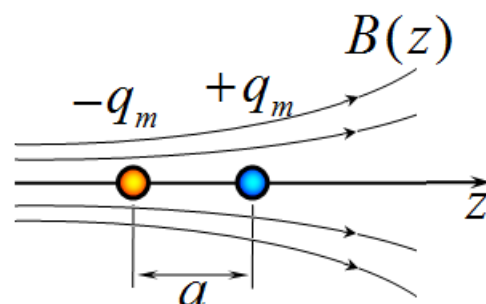
Таким образом, полный ответ на вопросы данного пункта:

$$b = \frac{r}{2}; \quad B_{r\max} = C \frac{\mu_0 p_m}{r^3}; \quad C = \frac{3}{8\pi} \left(\frac{4}{5} \right)^{5/3} \approx 0,068. \quad (13)$$

Часть 3. Притяжение и отталкивание.

3.1 Рассмотрим магнитный диполь, находящийся в неоднородном магнитном поле $B(z)$. Ось диполя совпадает с направлением поля (что соответствует условию рассматриваемой задачи). В этом случае суммарная сила, действующая на диполь, равна

$$F = -q_m B(z) + q_m B(z + a). \quad (14)$$



Теоретический тур. Вариант 1.

11 класс. Решения задач. Бланк для жюри.

Учитывая малость величины a , это выражение можно преобразовать к виду

$$F = -q_m B(z) + q_m B(z+a) = q_m a \frac{B(z+a) - B(z)}{a} \approx p_m B'(z). \quad (15)$$

где $B'(z)$ - производная от зависимости индукции поля по координате. Зависимость индукции поля на оси от координаты задается формулой (9). Поэтому сила взаимодействия между магнитами равна

$$F = p_m B'(z) = p_m \left(\frac{\mu_0 p_m}{2\pi z^3} \right)' = -\frac{3\mu_0 p_m^2}{2\pi z^4}. \quad (15)$$

3.2 При ориентации магнитов, указанной на рис. а), сила магнитного отталкивания уравновешивает силу тяжести:

$$\frac{3\mu_0 p_m^2}{2\pi L^4} = mg. \quad (16)$$

Из этого уравнения находим искомое расстояние

$$L = \sqrt[4]{\frac{3\mu_0 p_m^2}{2\pi mg}}. \quad (17)$$

3.3 Реализовать экспериментально можно только вариант, а), так как в этом случае положение равновесия является устойчивым. В случае б) положение равновесия неустойчивое.

3.4 Подстановка ранее найденных численных значений параметров в формулу (17) приводит к результату:

$$L = 3,3 \text{ см}. \quad (17)$$

Часть 4. Магнитная вязкость – токи Фуко.

4.1 При движении магнита в каждой точке стенке трубки изменяется магнитное поле, в следствие чего в ней возникают электрические токи, называемые токи Фуко. Для расчета их характеристики удобно перейти в систему отсчета, связанную с магнитом. В этой системе трубка движется магнитном поле, поэтому источником ЭДС является сила Лоренца, действующая на заряды, которая возникает благодаря радиальной составляющей индукции поля магнита. Сила Лоренца направлена по касательной к поверхности трубки. Величина этой силы равна

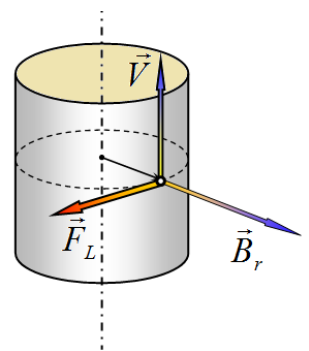
$$F_L = qVB_r. \quad (18)$$

Соответственно, ЭДС, возникающая в контуре, охватывающем трубку равна

$$\varepsilon = \frac{1}{q} F_L \cdot 2\pi r_0 = 2\pi r_0 B_r V. \quad (19)$$

Теперь с помощью закона Ома определим силу тока

$$\Delta I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{\varepsilon}{\rho \frac{2\pi r_0}{\Delta z h_0}} = \frac{2\pi r_0 B_r V}{\rho \frac{2\pi r_0}{\Delta z h_0}} = \frac{B_r V \Delta z h_0}{\rho}. \quad (20)$$



Наконец, воспользуемся рекомендуемым приближением для функциональной зависимости радиальной составляющей поля:

$$\Delta I = \frac{B_{r\max} V \Delta z h_0}{\rho}. \quad (20)$$

4.2 Ток возникает во всех частях трубки, в которых имеется радиальное магнитное поле. В рамках используемого «ступенчатого» приближения радиальная составляющая имеется в полосе шириной $4b$. Отметим, что направление тока не существенно, так как мощность выделяющейся теплоты не зависит от направления тока. Поэтому можно записать, что «эффективная» сила тока равна

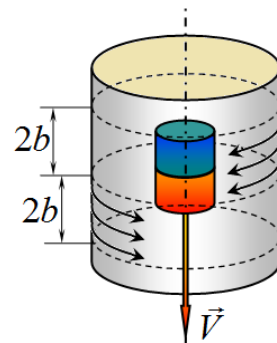
$$I = \frac{B_{r\max} V h_0}{\rho} \cdot 4b. \quad (21)$$

Мощность теплоты, выделяющейся в трубке, рассчитывается по закону Джоуля – Ленца:

$$P = I^2 R, \quad (22)$$

где $R = \rho \frac{2\pi_0}{4bh_0}$ – электрическое сопротивление части стенки трубки.

по которой протекает электрический ток. Собирая все промежуточные результаты, получим результат



$$P = \left(\frac{B_{r\max} V h_0}{\rho} \cdot 4b \right)^2 \rho \frac{2\pi_0}{4bh_0} = \frac{8\pi_0 b h_0}{\rho} B_{r\max}^2 V^2. \quad (23)$$

4.3 Рассчитанную мощность теплоты можно связать с мощностью, развиваемой силой вязкого магнитного трения:

$$P = F \cdot V. \quad (24)$$

С помощью формулы (24) находим явное выражение для этой силы

$$F = \frac{8\pi_0 b h_0}{\rho} B_{r\max}^2 V. \quad (25)$$

4.4 Приравняем найденное значение силы вязкого трения к силе тяжести падающего магнита

$$\frac{8\pi_0 b h_0}{\rho} B_{r\max}^2 V = mg, \quad (26)$$

Откуда найдем формулу для скорости установившегося движения

$$V = \frac{mg\rho}{8\pi_0 b h_0 B_{r\max}^2}. \quad (27)$$

4.5 Осталось добросовестно провести численные расчеты: $B_{r\max} = C \frac{\mu_0 P_m}{r_0^3} = 0,45 \text{ Тл};$

$$V = \frac{mg\rho}{8\pi_0 b h_0 B_{r\max}^2} = 3,9 \frac{\text{см}}{\text{с}}. \quad (28)$$

Задание 3. Брызги шампанского! (Решение)

1.1 Выразим размерность универсальной газовой постоянной через единицы давления и объема

$$PV = \nu RT \Rightarrow R = \frac{PV}{\nu T} = 8,31 \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{моль} \cdot \text{К}}. \quad (1)$$

Подстановка значений единиц измерения дает следующее численное значение универсальной газовой постоянной в системе ГЛА:

$$R = 8,31 \frac{\left(\frac{1}{1,01 \cdot 10^5} \text{ атм} \right) \cdot 10^3 \text{ л}}{\text{моль} \cdot \text{К}} = 8,23 \cdot 10^{-2} \frac{\text{атм} \cdot \text{л}}{\text{моль} \cdot \text{К}}. \quad (2)$$

1.2 В одном литре воды при температуре $t_0 = 0,00^\circ\text{C}$ и давлении $P = 1,00 \text{ атм}$ растворяется объем газа численно равный $k_v = 1,71 \text{ л}$. Масса этого газа, как следует из уравнения Менделеева – Клапейрона равна

$$PV = \frac{m}{M} RT \Rightarrow m = M \frac{PV}{RT}. \quad (3)$$

Ее численное значение

$$m = M \frac{PV}{RT} = 44,0 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \frac{1,01 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 1,71 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 273 \text{ К}} = 3,35 \text{ г}. \quad (4)$$

Следовательно, постоянная Генри для углекислого газа при нулевой температуре равна

$$k_m = 3,35 \frac{\text{г}}{\text{л} \cdot \text{атм}}. \quad (5)$$

1.3 Масса растворенного газа по закону Генри равна

$$m = k_m PV = 3,35 \cdot 3,0 \cdot 2,0 = 20 \text{ г} \quad (6)$$

Часть 2. Открываем бутылку!

2.1 Давление в бутылке равно давлению газов (воздуха и образовавшегося углекислого газа). Согласно закону Дальтона, давление смеси газов равно сумме парциальных давлений компонент смеси. Так как объем свободной от вина части бутылки остается неизменным, то для неизменной массы воздуха справедливо соотношение:

$$\frac{P_g}{T} = \frac{P_0}{T_0} \quad (7)$$

Откуда следует, что парциальное давление воздуха линейно зависит от температуры

$$P_g = \frac{P_0}{T_0} T \quad (8)$$

Масса углекислого газа, находящегося в свободной части сосуда, зависит от температуры и равна разности

$$m = m_0 - k_m PV_0 \quad (9)$$

здесь $k_m P$ - масса растворенного углекислого газа.

Для углекислого газа, находящегося в газообразном состоянии справедливо уравнение Менделеева – Клапейрона

$$Pv = \frac{m}{M} RT = \frac{m_0 - k_m PV_0}{M} RT \quad (10)$$

Преобразуем это уравнение к виду, удобному для расчетов

$$P = \frac{m_0 - k_m PV_0}{Mv} RT = \frac{m_0 RT}{Mv} \left(1 - \frac{k_m V_0}{m_0} P \right) = \tilde{P} \left(1 - \frac{k_m}{C_0} P \right) \quad (11)$$

Здесь обозначено $\frac{m_0 RT}{Mv} = \tilde{P} = \tilde{P}_0 \frac{T}{T_0}$; $C_0 = \frac{m_0}{V_0}$.

Заметим, что введенные константы имеют наглядный смысл: $\tilde{P}$ - давление углекислого газа, при условии, что он весь находится в газообразном состоянии; C_0 - максимальная концентрация раствора.

Из уравнения (10) не сложно найти искомое выражение для парциального давления углекислого газа:

$$P = \frac{\tilde{P}}{1 + \frac{k_m(t)}{C_0} \tilde{P}} \quad (12)$$

Понятно, что давление в бутылке будет равно сумме давлений воздуха (8) и углекислого газа (12).

Численные расчеты удобно проводить в следующей последовательности.

1) Рассчитываем постоянные

$$C_0 = \frac{m_0}{V_0} = \frac{7,5\text{г}}{0,75\text{л}} = 10 \frac{\text{г}}{\text{л}};$$

$$\tilde{P}_0 = \frac{m_0 RT_0}{Mv} = \frac{7,5\text{г} \cdot 8,31 \cdot 10^{-2} \frac{\text{атм} \cdot \text{л}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 273\text{К}}{44 \frac{\text{г}}{\text{моль}} \cdot 0,15\text{л}} = 25,5\text{атм}$$

2) Для каждой температуры, указанной в таблице, рассчитываем и заносим в соответствующие столбцы таблицы

$$\text{Давление воздуха } P_{\text{в}} = \frac{P_0}{T_0} T = 1 \frac{273+t}{273};$$

Давление углекислого газа

$$\text{а) } \tilde{P} = \tilde{P}_0 \frac{T}{T_0} = 25,5 \frac{273+t}{273}; \quad \text{б) } k_m = \frac{k_0}{1 + \alpha t} = \frac{3,4}{1 + 0,055t}; \quad \text{в) } P = \frac{\tilde{P}}{1 + \frac{k_m(t)}{C_0} \tilde{P}};$$

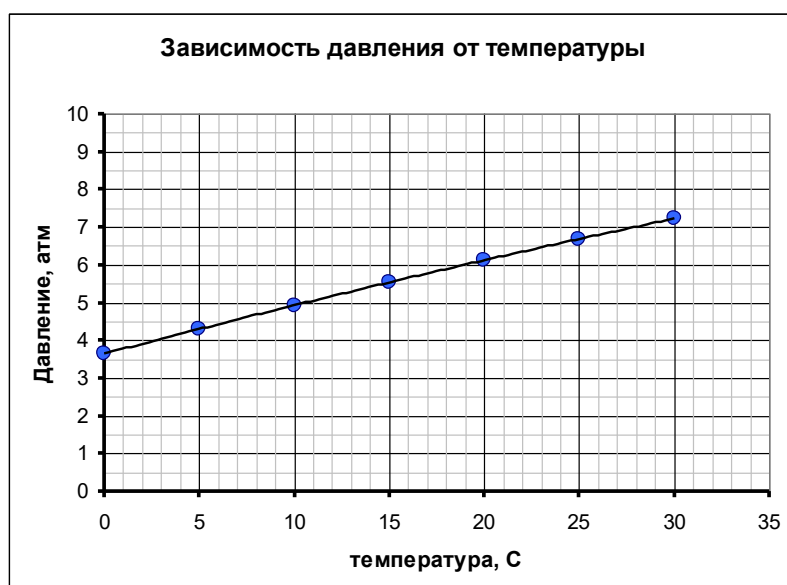
г) суммарное давление.

Результаты расчетов приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

$t^{\circ}\text{C}$	k_m	$P_{\text{возд}},$ атм	$\tilde{P},$ атм	$P_{\text{уг.газ}},$ атм	$P_{\text{сум}},$ атм
0	3,40	1,00	25,50	2,64	3,6
5	2,67	1,02	25,97	3,28	4,3
10	2,19	1,04	26,43	3,89	4,9
15	1,86	1,05	26,90	4,47	5,5
20	1,62	1,07	27,37	5,04	6,1
25	1,43	1,09	27,84	5,58	6,7
30	1,28	1,11	28,30	6,11	7,2

График зависимости имеет следующий вид.



2.2 Рассчитаем массу растворенного газа после открывания бутылки

$$m_1 = \frac{k_0}{1 + \alpha t} P_0 V_0 = \frac{3,4}{1 + 0,055 \cdot 25} \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 1,07 \text{ г} \quad (13)$$

Следовательно, масса выделившегося газа равна

$$m = m_0 - m_1 = 6,43 \text{ г}. \quad (14)$$

Его объем найдем из уравнения состояния

$$V_1 = \frac{mRT}{MP} = \frac{6,43 \cdot 8,23 \cdot 10^{-2} \cdot 298}{44 \cdot 1} = 3,58 \text{ л} \quad (15)$$

Поэтому объем образовавшейся пены равен

$$V = V_0 + V_1 = 4,33 \text{ л}. \quad (16)$$

Найдем, какая доля этой пены останется в бутылке

$$\eta = \frac{V_0 + v}{V} = \frac{0,90}{4,33} = 0,21. \quad (17)$$

Окончательно находим, какой объем вина останется в бутылке

$V_{\text{ост}} = \eta V_0 = 0,16 \text{ л} \quad (18)$
