

11 класс.

11.1 Рассмотрим качественно физическую сущность рассматриваемого явления. Шарик, подключенный к источнику приобретет электрический заряд. При подключении источника к обмотке катушки возникнет магнитное поле, в процессе его возрастания появится вихревое электрическое поле, которое воздействуя на заряженные шарики, приведет их в движение. Следовательно, маятник начнет совершать гармонические колебания. Если мы найдем, скорость которую приобретет маятник, то по законам гармонических колебаний мы сможем найти их амплитуду.

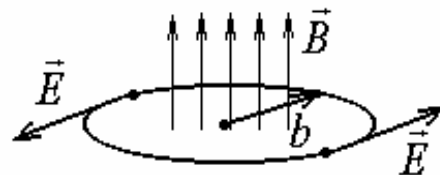
Для оценки заряда каждого шарика будем считать их уединенными. Тогда потенциал шарика, равный напряжению источника, можно рассчитать по формуле

$$U_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 a},$$

где $R = \frac{a}{2}$ - радиус шарика. Из этого выражения находим его заряд

$$q = 2\pi\epsilon_0 a U_1. \quad (1)$$

Для определения напряженности вихревого электрического поля воспользуемся законом электромагнитной индукции. Рассмотрим круговой контур радиуса b (равным расстоянию от центра шарика до нити), находящийся в переменном магнитном поле, на оси его симметрии. При изменении магнитного потока через контур, в



контуре возникает ЭДС индукции $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, которую можно

представить как работу вихревого электрического поля по перемещению единичного заряда по контуру $\mathcal{E} = 2\pi b E$. Магнитный поток через контур определяется соотношением $\Phi = \pi b^2 B$, следовательно, модуль вектора напряженности электрического поля в этом случае равен

$$E = \frac{b}{2} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}. \quad (2)$$

Под действием этого поля каждый шарик приобретет импульс, которые можно найти из второго закона Ньютона

$$\frac{\Delta(mv)}{\Delta t} = qE = \frac{qb}{2} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}. \quad (3)$$

Учитывая, что в начальный момент времени магнитное поле отсутствовало, скорость шарика равнялась нулю и пренебрегая смещением шарика за малый промежуток времени нарастания поля, из уравнения (3) находим скорость, которую преобретет маятник

$$v_0 = \frac{qbB}{2m}.$$

Так как маятник будет совершать крутильные колебания, то определим его начальную угловую скорость вращения вокруг собственной оси

$$\omega_0 = \frac{v_0}{b} = \frac{qB}{2m}. \quad (4)$$

Если угол поворота маятника изменяется по гармоническому закону

$\alpha = \alpha_0 \sin \frac{2\pi}{T}t$, то его угловая скорость будет зависеть от времени по закону $\omega = \frac{2\pi\alpha_0}{T} \cos \frac{2\pi}{T}t = \omega_0 \cos \frac{2\pi}{T}t$. Следовательно, максимальный угол отклонения (амплитуда колебаний) будет выражаться через максимальную скорость посредством соотношения

$$\alpha_0 = \frac{\omega_0 T}{2\pi}. \quad (5)$$

Таким образом, для определения угла поворота нам осталось вычислить индукцию поля, которое установится у торца соленоида. Из соображений симметрии можно заключить, что величина индукции этого поля B в два раза меньше индукции поля внутри длинного соленоида B_0 , которая может быть рассчитана по формуле, приведенной в условии

$$B = \frac{B_0}{2} = \frac{l}{2} \mu \mu_0 n I, \quad (6)$$

где $n = \frac{l}{d}$. Силу тока найдем из закона Ома $I = \frac{U_0}{R}$, (7)

где сопротивление обмотки $R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{2\pi r \frac{h}{d}}{\pi \frac{d^2}{4}} = \frac{8\pi r h \rho}{d^2}$, (8)

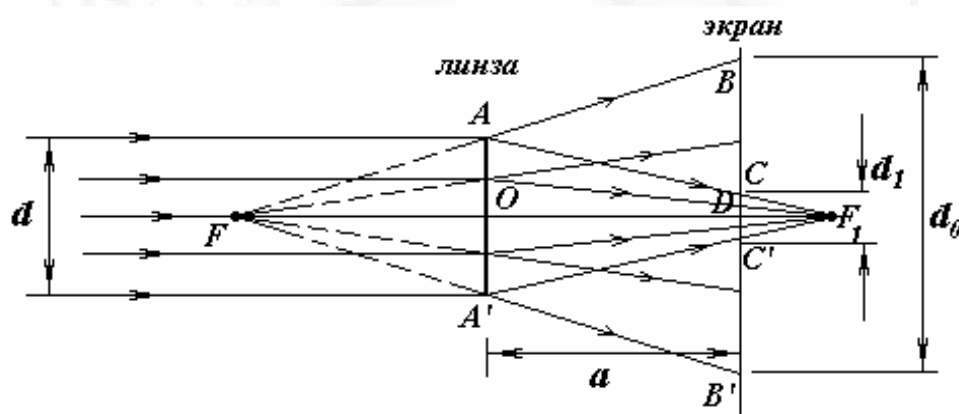
здесь $\frac{h}{d}$ - число витков обмотки.

Из формул (1)-(8) следует

$$\alpha_0 = \frac{\pi \mu \mu_0 \varepsilon_0 U_1 U_0 a d^2}{8 \rho m r h} = \frac{\pi \mu U_1 U_0 a d^2}{8 c^2 \rho m r h}. \quad (9)$$

Подстановка численных значений приводит к результату $\alpha_0 \approx 0,2$, что соответствует приблизительно 10° .

11.2 Так как показатель преломления материала линзы больше, чем показатель преломления воды, то такая линза, помещенная в воду, будет рассеивающей. Множество пузырьков воздуха, вкрапленных в линзу, тоже можно рассматривать как линзу, но с показателем преломления равным 1. В воде такая линза будет собирающей. Таким образом, большой светлый круг образован лучами, преломившимися в основном материале линзы, а более яркий кружок - лучами, преломившимися в пузырьках воздуха.



Рассмотрим ход лучей, преломившихся на основном материале линзы. Крайние лучи этой группы $AB, A'B'$ образуют границу освещенной области. Так как, диаметр d_0 освещенного круга BB' в два раза больше диаметра d линзы AA' , фокусное расстояние F_0 линзы (OF) равно расстоянию a между линзой и экраном (OD). Как известно, фокусное расстояние линзы определяется по формуле

$$\frac{1}{F} = (n' - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right), \quad (1)$$

где R_1, R_2 - радиусы кривизны преломляющих поверхностей, n' - относительный показатель преломления линзы (относительно среды). Поэтому отношение фокусных расстояний основной линзы F_0 и линзы «пузырьковой» F_1 , вычисляется по формуле

$$\frac{F_1}{F_0} = \frac{\frac{n_0 - 1}{n_1}}{\frac{1}{n_1} - 1} = \frac{n_0 - n_1}{1 - n_1}. \quad (2)$$