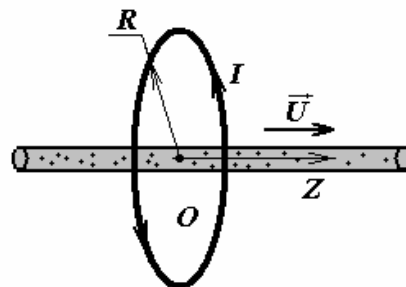


Магнитная регулировка

Условие

Задача 11-3. «Магнитная регулировка» В данной задаче исследуется возможность управлением течением жидкости с помощью магнитного поля. В качестве жидкости используется растительное масло, смешанное с мелкими железными опилками. Эта смесь протекает по длинной узкой горизонтальной трубке, которая проходит через тонкую кольцевую катушку, по которой пропускают постоянный электрический ток. Ось катушки совпадает с осью трубки.



Параметры устройства:

- внутренний радиус трубки $r_0 = 1,0$ мм; - радиус катушки $R = 1,0$ см; катушка содержит $N = 100$ витков; - опилки можно считать железными шариками диаметром $a = 0,10$ мм, плотность железа $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; ускорение свободного падения $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; - плотность масла $\rho_0 = 0,80 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; - концентрация опилок в неподвижном масле $n_0 = 10 \frac{\text{штук}}{\text{мм}^3}$; - на концах трубки поддерживается постоянная разность давлений $\Delta P_0 = 1,0$ кПа; - магнитная проницаемость масла равна 1, магнитная постоянная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$.

При отсутствии электрического тока в катушке расход масла (объем, протекающий через трубку в единицу времени) постоянен и равен $q_0 = 10 \frac{\text{см}^3}{\text{мин}}$.

Скорости движения различных слоев масла внутри трубки различаются и зависят от расстояния до оси. Однако, для упрощения задачи будем считать, что скорость течения постоянна в поперечном сечении (см. также примечание к задаче 1.2). Также будем считать, что сила, действующая на отдельную частицу со стороны магнитного поля, зависит только от расстояния до катушки и не зависит от расстояния до оси.

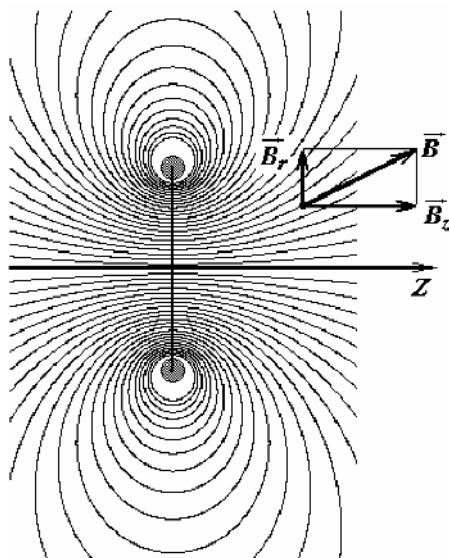
Часть 1. «Магнитное поле»

1.1 Покажите, что модуль вектора индукции магнитного поля на оси катушки на расстоянии z от ее центра определяется формулой

$$B_z = \mu_0 I N \frac{R^2}{2(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} = B_0 \left(1 + \frac{z^2}{R^2}\right)^{-\frac{3}{2}}, \quad (1)$$

где I — сила тока в катушке. Вычислите значение величины B_0 при силе тока в катушке $I_0 = 1,0$ А.

1.2 Можно, считать, что проекция вектора индукции на ось катушки B_z на заданном расстоянии от центра остается постоянной в поперечном сечении на небольшом расстоянии от оси. **Найдите радиальную составляющую вектора магнитной индукции B_r , как функцию расстояний до центра катушки z и до ее оси r .**



Часть 2. «Опилки»

2.1 При движении опилок в масле на отдельную частицу действует сила сопротивления, которая пропорциональна диаметру частицы и ее относительной скорости

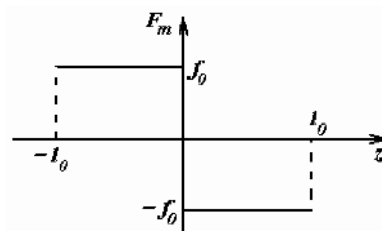
$$F = \beta v.$$

Определите численное значение параметра β , если известно, что скорость оседания опилок в неподвижном масле равна $0,10 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$. В дальнейшем используйте обозначение этой величины и ее численное значение.

2.2 При помещении опилок в магнитное поле, каждая частица приобретает наведенный магнитный момент $p_m = \chi \frac{B}{\mu_0} V$, где V - объем частицы, χ - магнитная восприимчивость материала, которая для используемых опилок равна $\chi = 800$. Магнитным гистерезисом материала опилок и их взаимодействием следует пренебречь. **Покажите, что сила, действующая на отдельную частицу пропорциональна квадрату силы тока в кольце.** *Простейшей системой, обладающей магнитным моментом является контур с током, магнитным моментом такого контура является произведение площади контура на силу тока в нем $p_m = IS$.*

2.3 Найдите зависимость силы, действующей на отдельную частицу опилок со стороны магнитного поля кольца, от расстояния до центра кольца, $F_m(z)$ при силе тока в катушке $I_0 = 1,0 \text{ А}$. Считайте, что частица находится на оси системы. Постройте график этой зависимости.

Для дальнейших расчетов сделаем еще одно упрощение – будем считать, что сила притяжения опилок к центру кольца постоянная и равна f_0 на расстоянии равном l_0 , а на больших расстояниях пренебрежимо мала. В качестве величины f_0 возьмите половину максимального значения силы $F_m(z)$, а в качестве l_0 - удвоенное расстояние от центра кольца, до точки, в которой сила $F_m(z)$ максимальна.



Определите численное значение величины l_0 , а также коэффициент пропорциональности A между параметром f_0 и квадратом силы тока в кольце $f_0 = AI^2$. Также в дальнейшем используйте эти параметры и их численные значения.

Часть 3. «Течение и расход»

3.1 Найдите зависимость концентрации опилок в потоке масла от расстояния до центра кольца при скорости течения масла равной u .

3.2 Какую дополнительную разность давлений на масло создает сила магнитного взаимодействия опилок с полем кольца при скорости течения масла равной u ?

через катушку $I_0 = 1,0 A$? Как зависит относительное изменение расхода масла от силы тока в катушке?

3.4 При какой силе тока в катушке течение масла прекратится?

3.3 Чему равно относительное изменение расхода масла $\frac{\delta q}{q_0}$, при силе тока через катушку $I_0 = 1,0 A$? Как зависит относительное изменение расхода масла от силы тока в катушке?

3.4 При какой силе тока в катушке течение масла прекратится?



***Республиканская физическая олимпиада
2005 год.***

г. Гродно

Экспериментальный тур

9 класс.