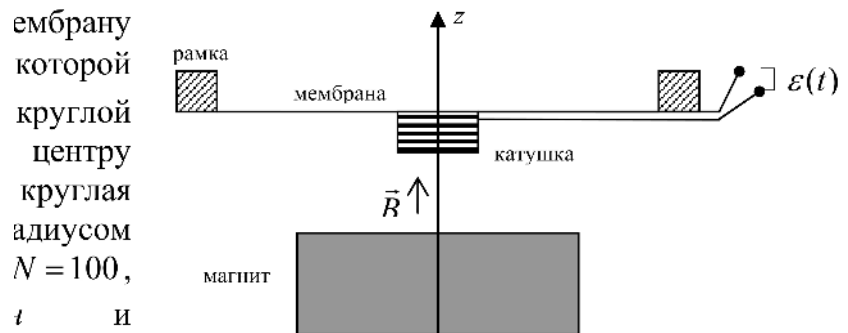


## Условие

### Задача 2 «Динамик»

В данной задаче Вам предстоит рассмотреть работу простейшего динамического громкоговорителя (проще говоря, динамика).

Динамик представляет собой тонкую круглую упругую мембрану радиусом  $r_d = 10,0$  см, края которой жестко закреплены в круглой металлической рамке. К центру мембраны приклеена маленькая круглая проволочная катушка радиусом  $r = 10,0$  мм, числом витков  $N = 100$ , индуктивностью  $L = 1,0$  мкГн и сопротивлением  $R = 4,0$  Ом. Масса катушки  $m = 50,0$  г (масса мембраны гораздо меньше массы катушки). Катушка может совершать вместе с мембраной колебания в вертикальной плоскости, причем собственная частота колебаний (т.е. частота колебаний в вакууме) равна  $f_0 = 30$  Гц. При колебаниях в



воздухе мембрана создает звуковые волны, при этом на нее действует сила сопротивления, пропорциональная мгновенной скорости движения катушки  $F_{\text{сопр}} = -\beta v$ . Коэффициент  $\beta = \frac{2\gamma P_0 S}{c}$ , где  $\gamma = 7/5$  - показатель адиабаты,  $P_0 = 1,0 \cdot 10^5$  Па - атмосферное давление,  $c = 333$  м/с - скорость звука в воздухе,  $S$  - площадь мембраны. Силы вязкого трения считайте пренебрежимо малыми.

Проволочная катушка находится в магнитном поле постоянного магнита, при этом ось катушки и ось симметрии магнитного поля совпадают. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля вблизи катушки равна  $B_z = B_0(1 - \alpha z)$ , причем коэффициенты  $B_0 = 1,0$  Тл,  $\alpha = 100$  м<sup>-1</sup>, а координата  $z$  отсчитывается от положения равновесия катушки.

1. Через катушку протекает постоянный ток  $I$ . Найдите силу  $F_A$ , действующую на катушку со стороны магнитного поля.
2. К катушке приложили ЭДС, изменяющуюся по закону  $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos \omega t$ . Найдите амплитуду установившихся колебаний катушки  $A$ . Изобразите примерный график зависимости  $A(\omega)$ . Определите амплитуду колебаний при частоте переменного напряжения  $f = 30$  Гц и амплитуде  $\varepsilon_0 = 1$  В.
3. К катушке приложили ЭДС, изменяющуюся по закону  $\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos \omega t$ . Найдите среднюю звуковую мощность  $P_{\text{зв}}$ , излучаемую динамиком. Определите максимальную звуковую мощность  $P_{\text{зв max}}$ , если амплитуда напряжения  $\varepsilon_0 = 1$  В. На какой частоте она достигается? Оцените максимальный КПД  $\eta_{\text{max}}$  динамика. Определите рабочий диапазон динамика.

Изобразите примерный график зависимости звуковой мощности от частоты переменного напряжения  $P_{\text{зв}}(\omega)$  (или  $P_{\text{зв}}(f)$ ).

### Примечания.

1. В данной задаче приняты следующие обозначения для частот:  $f$  - циклическая частота (измеряется в Гц),  $\omega$  - угловая частота (измеряется в  $\text{с}^{-1}$ ).  $\omega = 2\pi f$
2. КПД динамика – отношение излучаемой звуковой мощности к потребляемой электрической мощности.
3. Рабочий диапазон динамика – интервал частот, на границах которого мощность в 2 раза меньше максимальной мощности.
4. Человеческое ухо способно воспринимать звук частотой от 20 Гц до 20000 Гц.