

Задача 11-1 Измерение скорости звука с помощью осциллографа.

Часть 1. Изменение фигуры.

1.1 Уравнение звуковой волны, распространяющейся от динамика, имеет традиционный вид

$$p = A \cos(\omega t - kx) = A \cos\left(2\pi\nu\left(t - \frac{x}{c}\right)\right). \quad (1)$$

1.2 Сигналы, которые подаются на входы осциллографа, описываются функциями

$$\begin{aligned} U_x &= A \cos \omega t \\ U_y &= A \cos(\omega t - kl) \end{aligned} \quad (2)$$

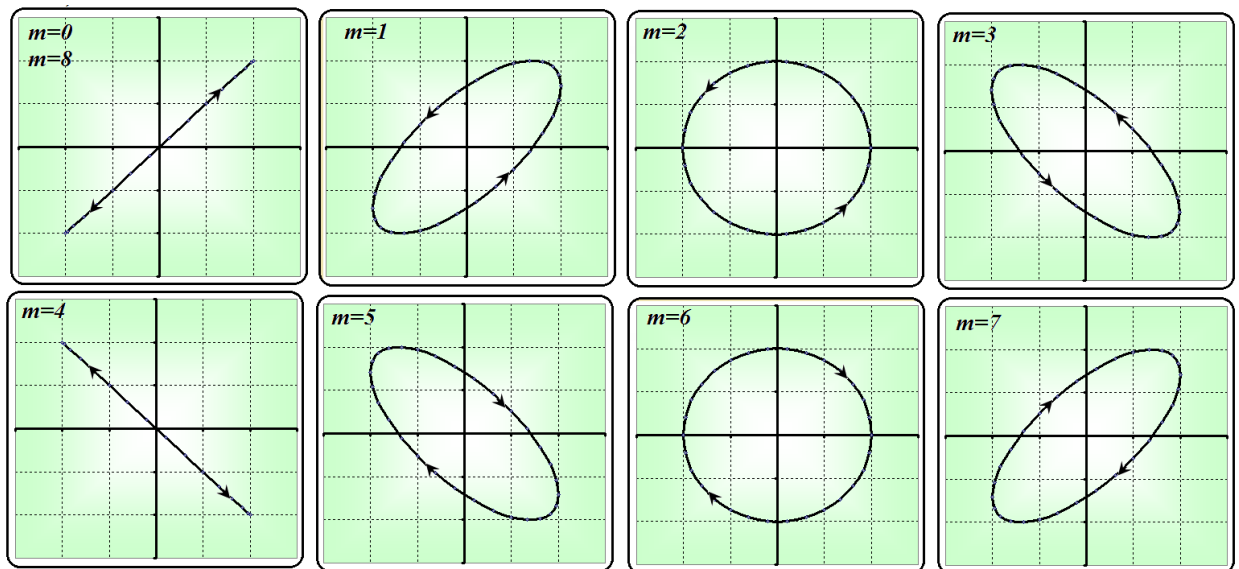
1.3 Выражение для сигнала, снимаемого с микрофона и подаваемого на вход Y. Удобно представить в виде

$$U_y = A \cos(\omega t - kl) = A \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} m \frac{\lambda}{8}\right) = A \cos\left(\omega t - m \frac{\pi}{4}\right) \quad (3)$$

Тогда уравнение траектории луча в параметрическом виде имеет вид

$$\begin{aligned} x &= A \cos \omega t \\ y &= A \cos\left(\omega t - m \frac{\pi}{4}\right). \end{aligned} \quad (4)$$

Траектория, описываемая этими уравнениями в общем случае является эллипсом, который при $m=0$ и $m=4$ вырождается в отрезок прямой, а при $m=2$ и $m=6$ является окружностью. Последовательность этих траекторий при различных m показана на рисунке.



Часть 2. Движение выреза.

2.1 Так как сдвиг фаз между колебаниями вдоль перпендикулярных осей равен $\frac{\pi}{2}$, то траекторией луча будет окружность.

2.2 Угловой размер образующегося выреза можно определить из условия его образования $U_Z > U_{пор.}$. Из которого следует, что угловые границы выреза удовлетворяют условию

$$\cos \varphi = 0,9 \Rightarrow \Delta \varphi = 2 \arccos 0,9 = 0,90 \approx 52^\circ. \quad (5)$$

2.3 Не сложно сообразить, что вырез делает полный оборот, если микрофон смещается на расстояние равное длине волны звука. На это требуется время

$$T = \frac{\lambda}{V} = \frac{1}{\nu} \frac{c}{V}. \quad (6)$$

Следовательно, угловая скорость движения выреза равна

$$\Omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\nu} \frac{V}{c}. \quad (7)$$

2.4 При частоте генератора $\nu = 600 \text{ Гц}$ и скорости движения микрофона $V = 2,5 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ вырез делает полный оборот за время $\tau = 220 \text{ с}$. Определите по этим данным скорость звука в воздухе.

Из формулы (6) следует, что

$$c = \nu V \tau = 600 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 220 = 330 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (8)$$