

Урок №19 (20.11.2007)

Отражение и преломление волн. Принцип Гюйгенса. Эффект Доплера.

1. Отражение одномерной продольной волны от края.

Во-первых сразу заметим, что идеальная волна, описываемая уравнением $D(x, t) = D_M \sin(kx - \omega t)$, по определению бесконечна, т.е. распространяется в бесконечной упругой среде.

Однако если среда конечна, или иными словами имеет границу, за которой плотность её меняется, то волна на этой границе претерпевает целый ряд изменений: в общем случае часть волны *преломляется*, часть *отражается*, а часть *поглощается*. Про преломление и поглощение волн поговорим позже, а пока рассмотрим отражение.

Рассматривая простейшую модель одномерной волны – шарики, связанные пружинками, можно понять, что если последний шарик не закреплён (т.е. у нас так называемый случай свободного конца упругой среды), то при отражении фаза волны не меняется. Крайний шарик совершает полное колебание, возвращается назад и передаёт колебание назад по упругой среде.

Если же крайний шарик имеет ограничение в движении (например упруго отражается от стенки), то происходит «сбой» в фазе колебания и назад передается волна, на пол периода опережающая падающую.

2. Волновая поверхность.

Все точки среды, лежащие на *волновой поверхности*, имеют в данный момент одну и ту же фазу. Частным случаем волновой поверхности является *фронт волны*.

Семейство волновых поверхностей даёт наглядную картину распространения монохроматических волн в упругой среде.

Для того, чтобы получить уравнение волновой поверхности, надо приравнять фазу в уравнении волны постоянной величине. Например, для плоской волны:

$$D(t, x) = D_M \sin \omega \left(t - \frac{x}{u} \right),$$

уравнение волновой поверхности получится таким:

$$\omega \left(t - \frac{x}{u} \right) = C,$$

откуда

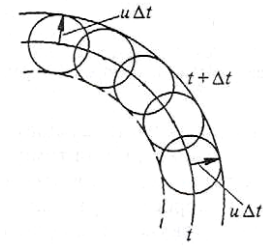
$$x = ut + C_1.$$

3. Принцип Гюйгенса.

Принцип Гюйгенса позволяет находить волновую поверхность в некоторый момент времени, если известно её положение в предшествующий момент времени.

Для этого каждую точку волновой поверхности в некоторый момент времени t надо рассматривать как точечный источник *вторичных волн*.

Волновая поверхность каждой вторичной волны спустя время Δt представляет собой окружность (или сферу) радиуса $u\Delta t$.



Искомая волновая поверхность в момент времени $t + \Delta t$ представляет собой огибающую всех этих сфер.

Более подробно принцип Гюйгенса-Френеля мы рассмотрим в волновой оптике, а пока просто заметим, что из этого принципа следует, что плоская волна остаётся плоской, а сферическая – сферической ☺.

4. Отражение и преломление плоской волны.

Законы отражения и преломления плоской волны легко получаются из принципа Гюйгенса.

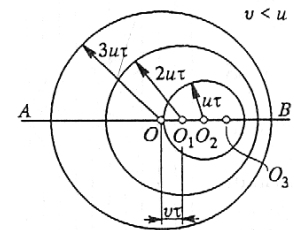
5. Волна от движущегося источника.

Принцип Гюйгенса позволяет объяснить довольно много интересных эффектов, возникающих, если источник волн движется. Рассмотрим следующие случаи: источник движется медленнее скорости волны в данной среде, быстрее и, наконец, источник движется со скоростью распространения волны.

Рассмотрим наиболее частый случай: движение излучателя звука в воздухе.

Эффект Доплера.

Если источник движется со скоростью меньше звуковой, то картина волновых поверхностей выглядит так, как показано на рисунке. Если считать промежуток времени τ равным периоду колебаний $T = 2\pi/\omega$, то сферы можно рассматривать как последовательные гребни волн, а расстояние между ними – как длину волны, излучаемой в соответствующем направлении.



Длина волны $\lambda = uT$ уменьшается перед источником на величину vT , а за ним – увеличивается. В итоге для длины волны λ' перед источником получим:

$$\lambda' = \lambda - vT = (u - v)T = \frac{u - v}{v} \lambda.$$

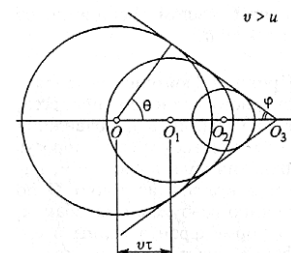
Для частоты справедливо обратное отношение (естественно):

$$f' = \frac{v}{u - v} f.$$

В принципе полученное отношение универсально и справедливо для всех случаев: когда источник удаляется, то скорость v становится отрицательной; когда источник движется быстрее звука формула тоже верна, только в этом случае волны приходят в обратном порядке, т.е. f' становится отрицательной.

Конус Маха.

Если источник движется быстрее звука, то огибающая фронтов являет собой конус, в центре которого находится источник, с углом при вершине 2φ , где



$$\sin \varphi = \frac{u}{v}$$

Такой фронт волны получил название *конус Маха*.

Звуковой барьер.

