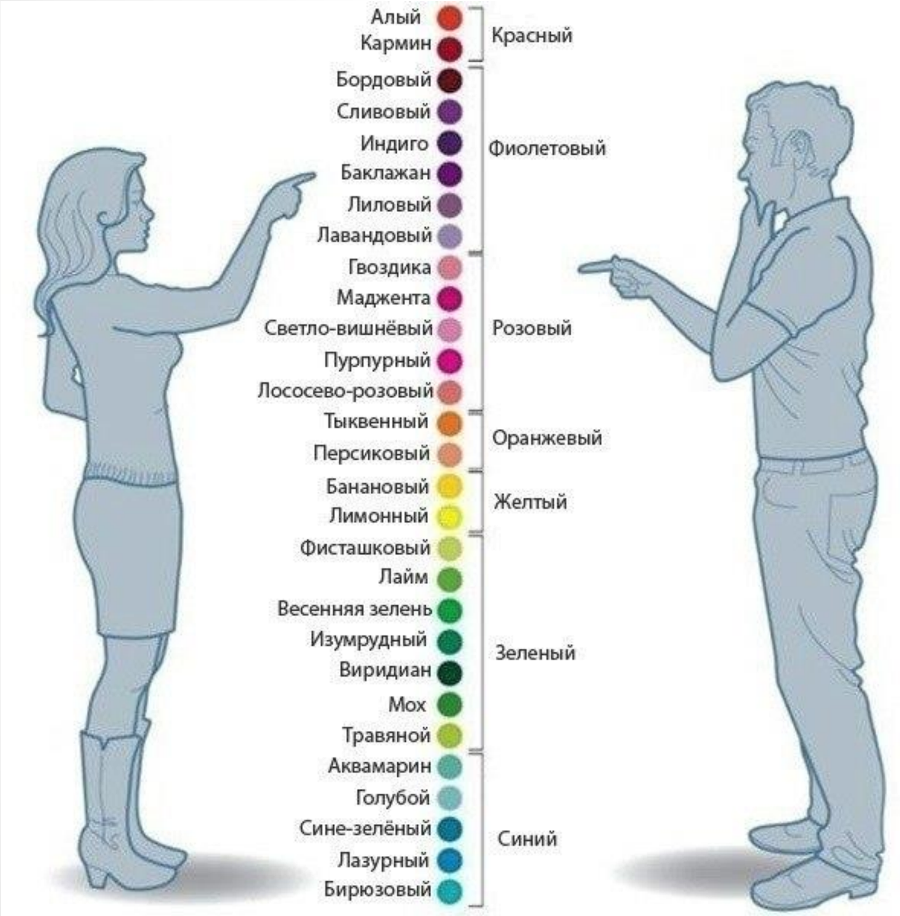
Сегодня: воскресенье, 11 февраля 2024 г.

Общая физика

Модуль: Волновая оптика

Лекция 1. Вводная



- ✓ Предмет изучения и разделы оптики.
- ✓ Волны
- ✓ Шкала ЭМВ

доцент КОФ ФТИ ТПУ, к.физ.-мат.н Купрекова Елена Ивановна

Что изучаем в этом семестре?

- Волновая оптика
- Квантовая оптика
- Элементы квантовой механики
- Элементы физики твердого тела
- Элементы ядерной физики
- Элементарные частицы и их свойства

Рейтинг

Мероприятия	Кол-во	Баллы
Практика (самостоятельная работа)	**14**	**40**
Лабораторные работы		**10**
Контрольная работа	**2**	**2*5 = 10**
Коллоквиум	**2**	**2*5 = 10**
Домашнее задание	**2**	**2*5 = 10**
Итого		**80**

Литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: ФИЗМАТЛИТ,2003.
2. Т.И. Трофимова. Курс физики. – М.: Academia, 2006.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. – М.: Наука, 1980.

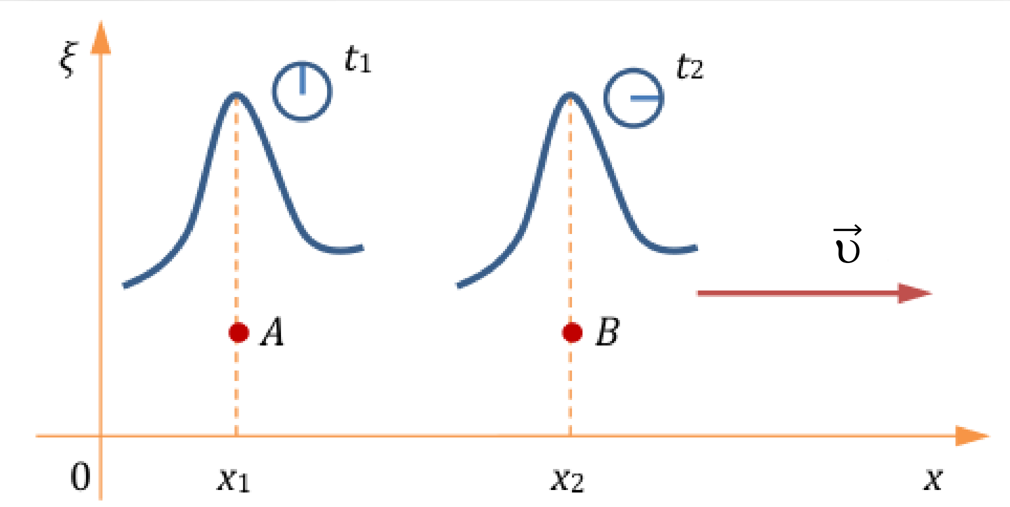
3. Матвеев А.Н. Оптика. – М.: Высш. шк., 1985.

4. Бутиков Е.И. Оптика. – М.: Высш. шк., 1986.

Механические волны

Уравнение бегущей волны

Волна — любое распространяющееся в пространстве возмущение, т. е. изменение какой-либо физической величины в пространстве с течением времени.



$$\xi(x_2, t_2) = \xi(x_1, t_1)$$

$$\xi\left(x_2, t_1 + \frac{x_2 - x_1}{\upsilon}\right) = \xi(x_1, t_1)$$

Положим $x_1 = 0$.

$$x_2 \to x, t_2 \to t, t_1 \to t - \frac{x}{\upsilon}$$

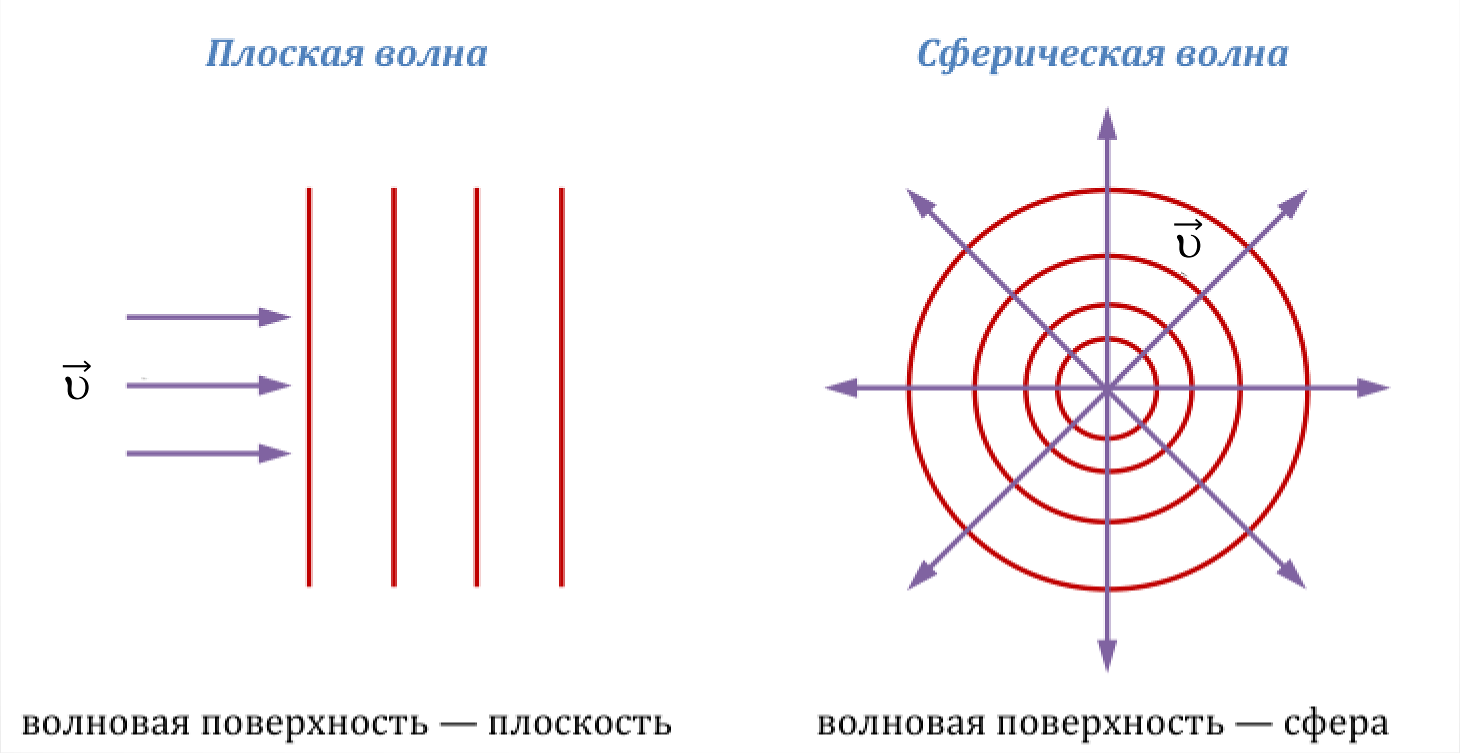
$$\xi(0,t) = f(t), \xi(x,t) = \xi\left(0, t - \frac{x}{\upsilon}\right) = f\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)$$

$\boxed{\xi(x,t) = f\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)}$ — **уравнение бегущей волны**

$\boxed{\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)}$ — **фаза волны**

Волновой фронт

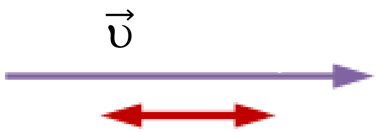
Волновой фронт (волновая поверхность) — геометрическое место точек, в которых в один и тот же момент времени колебания происходят в одинаковой фазе.



Волны

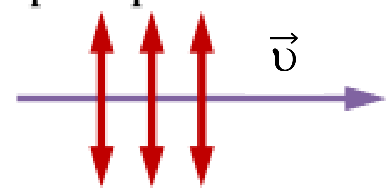
продольные

колебания в направлении распространения волны



поперечные

колебания в направлении перпендикулярном направлению распространения волны



Примеры

Звуковая волна

Электромагнитная волна

Волны на шнуре

Волны на поверхности жидкости

Гармоническая волна

Гармоническая (монохроматическая, синусоидальная) волна — процесс распространения гармонических колебаний в пространстве.

Уравнение гармонических колебаний

$$\boxed{f(t) = A\cos(\omega t + \varphi_0)}$$

Уравнение бегущей волны

$$\xi(x,t) = f\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right) = A\cos\left(\omega t - \frac{\omega x}{\upsilon} + \varphi_0\right) = A\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right) + \varphi_0\right]$$

$$\boxed{\xi(x,t) = A\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right) + \varphi_0\right]}$$

Характеристики гармонической волны

- ✓ Скорость υ
- ✓ Начальная фаза φ_0
- ✓ Циклическая частота ω
- ✓ Период
- ✓ Частота
- ✓ Амплитуда А — максимальное значение колеблющейся величины.
- ✓ Длина волны — расстояние, которое волна проходит за время одного полного колебания:
- ✓ Волновое число

$$\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega}}$$

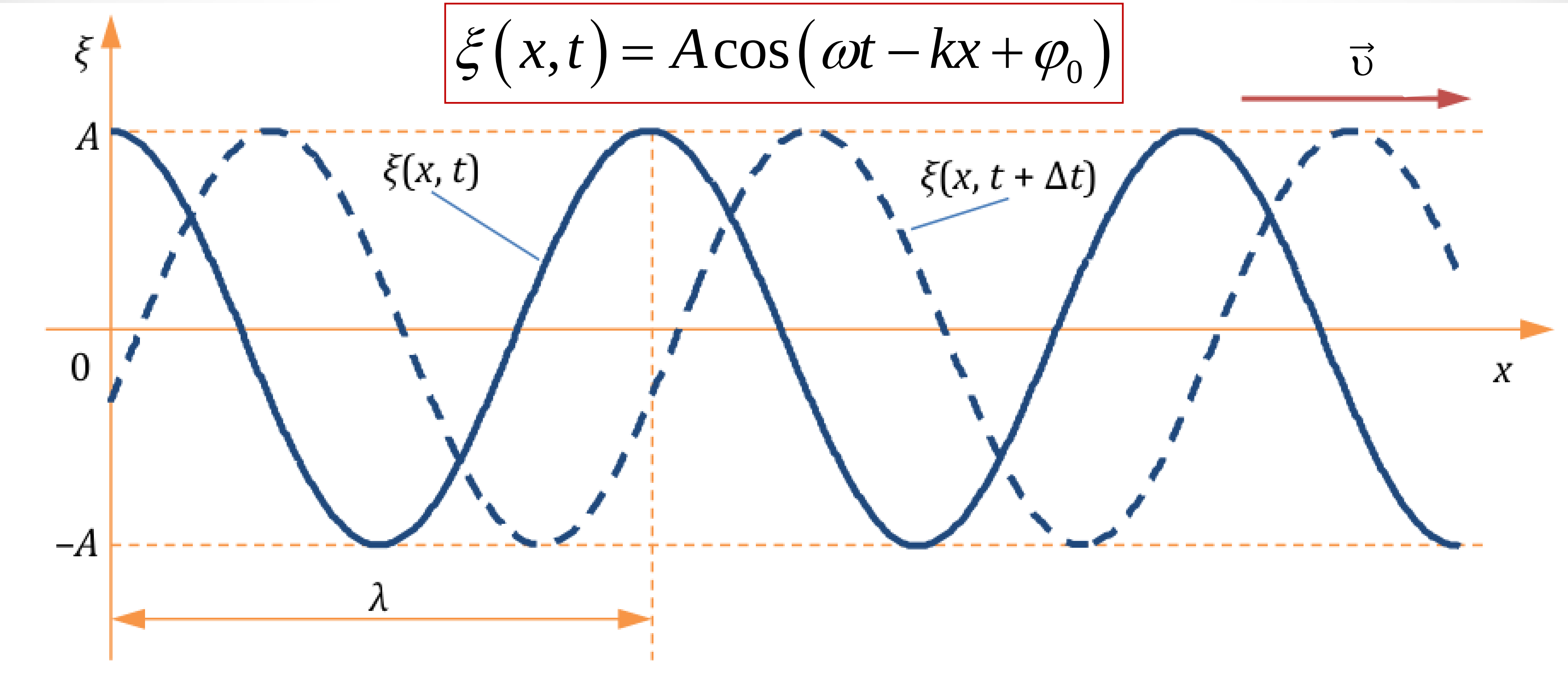
$$\boxed{\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{T}}$$

$$\boxed{\lambda = \upsilon T = \frac{2\pi\upsilon}{\omega} = \frac{\upsilon}{\nu}}$$

$$\boxed{k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{\upsilon} = \frac{2\pi\nu}{\upsilon}}$$

«Мгновенная фотография» гармонической волны

$$\xi(x,t) = A\cos(\omega t - kx + \varphi_0)$$



$$\xi(\vec{r},t) = A\cos(\omega t - \vec{k}\vec{r} + \varphi_0)$$

Волновое уравнение

$$\boxed{\xi(x,t) = f\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)}$$ — уравнение бегущей волны

Продифференцируем дважды уравнение по x, затем по t:

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = -\frac{1}{\upsilon} f'$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2} f''$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = f'$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = f''$$

сравнивая вторые производные по x и t, получим дифференциальное уравнение второго порядка в частных производных

$$\boxed{\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{\upsilon^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}}$$ **— волновое уравнение.**

Общее решение волнового уравнения

$$\boxed{\xi(x,t) = \underbrace{f_1\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)}_{\text{прямая волна}} + \underbrace{f_2\left(t + \frac{x}{\upsilon}\right)}_{\text{обратная волна}}}$$

- **Вид функций f_1 и f_2 определяется начальными условиями**

Электромагнитные волны

Волновое уравнение

Электромагнитная теория света базируется на уравнениях Максвелла

структурные

$$\begin{cases} \mathrm{rot}\vec{E} = -\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \\ \mathrm{rot}\vec{H} = \vec{j} + \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \mathrm{div}\vec{D} = \rho; \\ \mathrm{div}\vec{B} = 0. \end{cases}$$

$$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \text{Ф/м}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \text{Гн/м}$$

Материальные в линейной изотропной среде

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E},\ \vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H},\ \vec{j} = \gamma \vec{E}$$

$$\boxed{\left[\vec{a}, \left[\vec{b}, \vec{c}\right]\right] = \vec{b}(\vec{a}, \vec{c}) - \vec{c}\left(\vec{a}, \vec{b}\right) = \vec{b}(\vec{a}, \vec{c}) - \left(\vec{a}, \vec{b}\right)\vec{c}}$$

$$\left[\frac{\partial}{\partial\vec{r}},\vec{E}\right]=-\mu_0\mu\frac{\partial\vec{H}}{\partial t}\quad(1)$$

$$=[\nabla,(1)]=\Big[\underset{a}{\nabla}\big[\underset{b}{\nabla},\underset{c}{\vec{E}}\big]\Big]=\nabla\underbrace{\left(\nabla,\vec{E}\right)}_{=0\,(\text{eq.}3)}-\underbrace{\left(\nabla,\nabla\right)}_{=\nabla^2=\Delta=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}}\vec{E}=-\Delta\vec{E}$$

Лапласиан

$$[\nabla,(1)]=-\mu_0\mu\left[\nabla,\frac{\partial\vec{H}}{\partial t}\right]=-\mu_0\mu\frac{\partial}{\partial t}\left[\nabla,\vec{H}\right]\overset{\text{eq.}2}{=}-\mu_0\mu\varepsilon_0\varepsilon\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\boxed{\Delta\vec{E}-\mu_0\mu\varepsilon_0\varepsilon\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0}$$

Аналогично преобразуем второе уравнение:

$$\boxed{\Delta\vec{H}-\varepsilon_0\varepsilon\mu_0\mu\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2}=0}$$

скорость распространения электромагнитных волн

$$\upsilon_ф = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon \mu_0 \mu}}$$

В вакууме ε = 1 и μ = 1.
Следовательно, скорость ЭМ волны в вакууме

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu}$$

абсолютный показатель преломления

Показатель преломления – это физическая величина, равная отношению скорости распространения ЭМ волн в вакууме к скорости их распространения в среде.

$$\upsilon_ф = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{c}{n}$$

Скорость электромагнитных волн в веществе

Общее решение волнового уравнения:

$$E_y(x,t) = \underbrace{f_1(x - \upsilon t)}_{\text{прямая волна}} + \underbrace{f_2(x + \upsilon t)}_{\text{обратная волна}}$$

Связь:

$$\sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon} E_y = \sqrt{\mu_0 \mu} H_z$$

Монохроматические волны

Плоская волна

$$\boxed{f(\vec{r},t) = A\cos\left[\omega t \mp \vec{k}\vec{r} + \varphi_0\right]}$$

Сферическая волна

$$\boxed{f(r,t) = \frac{A}{r}\cos\left[\omega t \mp kr + \varphi_0\right]}$$

Поверхность равной фазы называется фазовой поверхностью (**волновой фронт**)

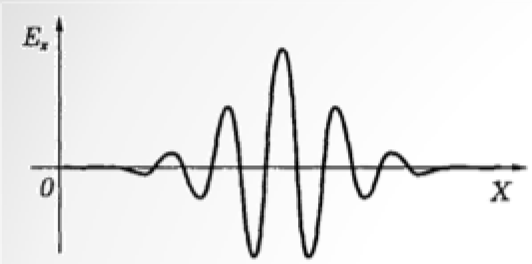
За время dt эта поверхность смещается на величину ±dr, определяемую из условия

$$d\varphi = \omega dt \mp kdr = 0$$

Фазовая скорость – скорость движения волнового фронта

$$\boxed{\upsilon = \left|\frac{dr}{dt}\right| = \frac{\omega}{k} = c}$$

Фазовая и групповая скорости



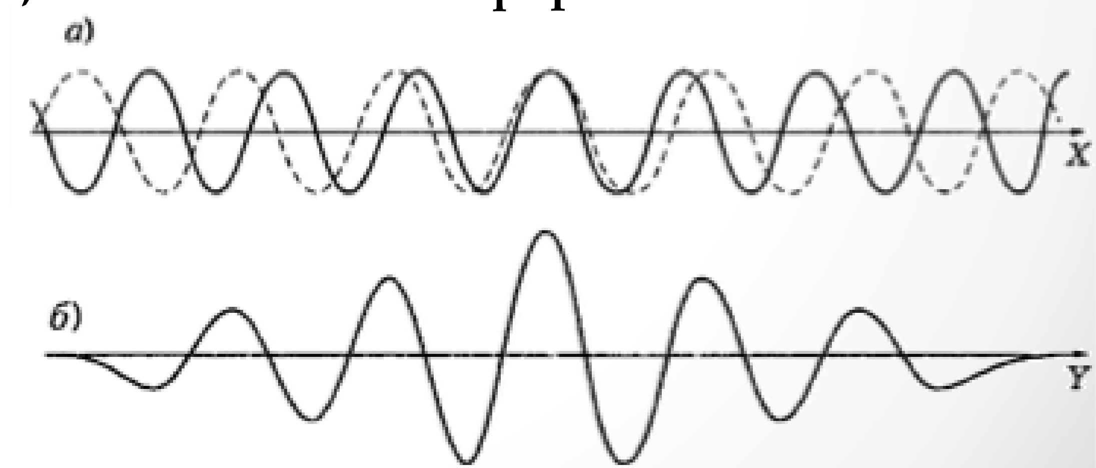
Любая волна - суперпозиция монохроматических волн с разными амплитудами и частотами ω в интервале Δω.

Волновой пакет (группа волн) - **суперпозиция волн, отличающихся друг от друга по частотам (Δω << ω).**

В пределах пакета монохроматические составляющие усиливают друг друга, вне пакета гасят друг друга.

В вакууме все монохроматические волны распространяются с одинаковой фазовой скоростью $\upsilon_{ф} = \omega/k$. С такой же скоростью распространяется в вакууме и сам волновой пакет, не изменяя своей формы.

В диспергирующей среде волновой пакет расплывается, поскольку скорости его монохроматических составляющих отличаются друг от друга.



*Нас интересует скорость, с которой перемещается место с максимальной амплитудой это и есть групповая скорость.

Пусть дисперсия мала, т.е. расплывание волнового пакета происходит не слишком быстро. Припишем волновому пакету скорость u, с которой перемещается «центр тяжести» пакета. u – будет групповой скоростью. Тогда

$$\boxed{u = \frac{d\omega}{dk}}$$

Пусть уравнения этих монохроматических волн имеют вид:

$$E_1 = A\cos(\omega t - kx)$$

$$E_2 = A\cos[(\omega + d\omega)t - (k + dk)x]$$

В результате их наложения образуется суммарная волна:

$$E = E_1 + E_2 = \underbrace{2A\cos\frac{td\omega - xdk}{2}}_{A_0\text{ – амплитуда}}\cos(\omega t - kx)$$

Отсюда следует, что точки, соответствующие максимуму амплитуды, движутся по закону:

$$td\omega - xdk = 0 \Rightarrow x = \underbrace{\frac{d\omega}{dk}}_{u}t$$

$$\boxed{u = \frac{d\omega}{dk} = \frac{d(\upsilon k)}{dk}}$$

Групповая скорость

$$u = \frac{d\omega}{dk} = \frac{d(\upsilon k)}{dk} = \upsilon + k\frac{d\upsilon}{dk}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, \; dk = -\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)d\lambda$$

$$\boxed{u = \upsilon - \lambda\frac{d\upsilon}{d\lambda}}$$

формула Релея

В области нормальной дисперсии ($d\upsilon/d\lambda > 0$) групповая скорость u меньше фазовой скорости υ.

В отсутствие дисперсии $d\upsilon/d\lambda = 0$ групповая скорость совпадает с фазовой.