

# Механические колебания

---

*Механическими колебаниями* называют движения тел, повторяющиеся через одинаковые промежутки времени. Закон движения тела, совершающего колебания, задается с помощью некоторой периодической функции времени  $x = f(t)$ . Графическое изображение этой функции дает наглядное представление о протекании колебательного процесса во времени.

---

# Механические колебания

---

Механические колебания, как и колебательные процессы любой другой физической природы, могут быть *свободными* и *вынужденными*. *Свободные колебания* совершаются под действием *внутренних сил* системы, после того, как система была выведена из состояния равновесия. Колебания груза на пружине или колебания маятника являются свободными колебаниями.

Колебания, происходящие под действием *внешних* периодически изменяющихся сил, называются *вынужденными*.

---

# Механические колебания

---

Простейшим видом колебательного процесса являются *гармонические колебания*, которые описываются уравнением

$$x = A \cos (\omega t + \varphi_0).$$

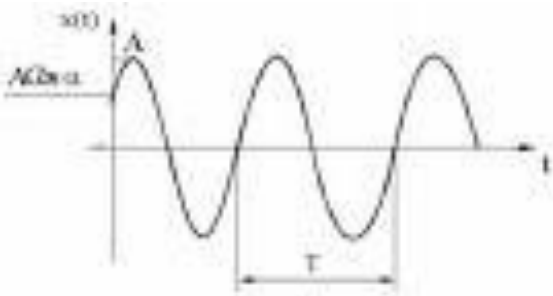
Здесь  $x$  – смещение тела от положения равновесия,  $A$  – *амплитуда колебаний*, т. е. максимальное смещение от положения равновесия,  $\omega$  – *циклическая или круговая частота* колебаний,  $t$  – время.

Аргумент тригонометрической функции  $\varphi = \omega t + \varphi_0$  называется *фазой* гармонического процесса. При  $t = 0$   $\varphi = \varphi_0$ , поэтому  $\varphi_0$  называют *начальной фазой*.

# Механические колебания

---

Графически гармонические колебания изображаются кривой — синусоидой или косинусоидой



Время одного полного колебания называется *периодом колебаний*  $T$ .

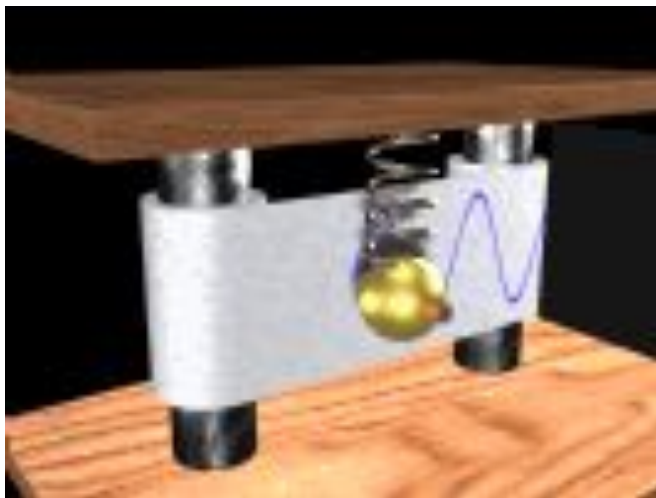
Физическая величина, обратная периоду колебаний, называется *частотой колебаний*:

$$\nu = \frac{1}{T}$$

---

# Механические колебания

---



Частота  $\nu$  колебаний показывает, сколько колебаний совершается за 1 с. Единица частоты – *герц* (Гц).

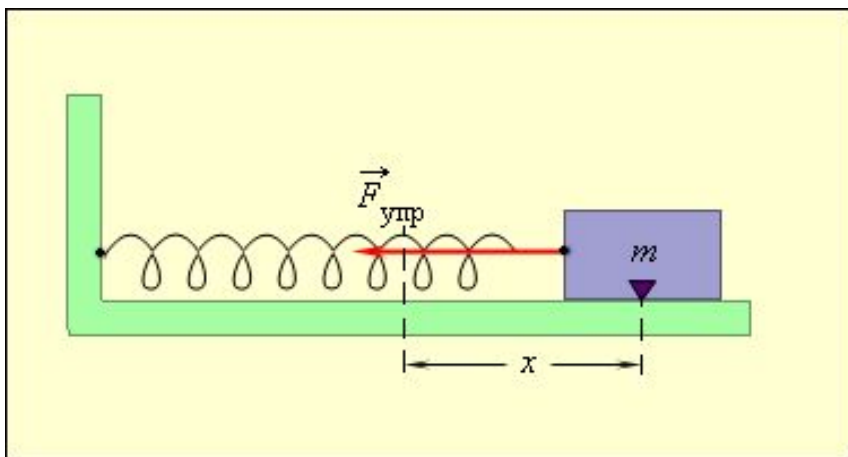
Циклическая частота колебаний связана с частотой  $\nu$  соотношением:

$$\omega = 2\pi\nu$$

---

# Пружинный маятник.

---



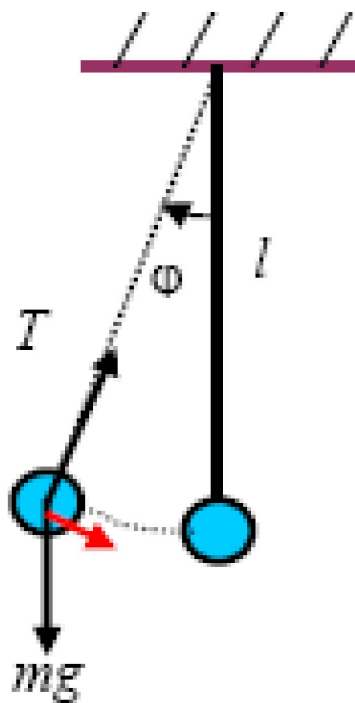
*Период  $T$*  гармонических колебаний груза на пружине равен

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

---

# Математический маятник.

---



*Математический маятник* — осциллятор, представляющий собой механическую систему, состоящую из материальной точки, подвешенной на невесомой нерастяжимой нити или на невесомом стержне в поле тяжести. В положении равновесия, когда маятник висит по отвесу, сила тяжести уравновешивается силой натяжения нити.

---

# Математический маятник.

---

$$\omega_0^2 = \frac{g}{l}; \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

Эта формула выражает *собственную частоту малых колебаний математического маятника.*

Следовательно

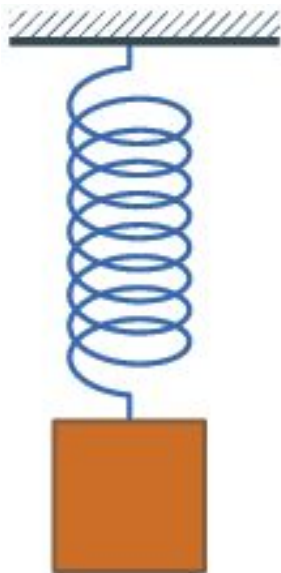
$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

---



# Затухающие колебания.

---



Затухающими колебаниями называются колебания, энергия которых уменьшается с течением времени.

Они характеризуются тем, что амплитуда колебаний  $A$  является убывающей функцией. Обычно затухание происходит под действием сил сопротивления среды.

---

# Затухающие колебания.

---



# Вынужденные колебания.

---

Колебания, совершающиеся под воздействием внешней периодической силы, называются *вынужденными*.

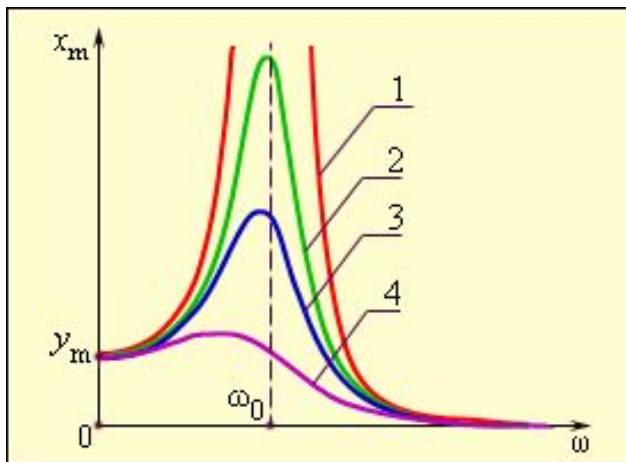
В этом случае внешняя сила совершает положительную работу и обеспечивает приток энергии к колебательной системе. Она не дает колебаниям затухать, несмотря на действие сил трения.

---

# Вынужденные колебания.

---

Если частота  $\omega$  внешней силы приближается к собственной частоте  $\omega_0$ , возникает резкое возрастание амплитуды вынужденных колебаний. Это явление называется *резонансом*. Зависимость амплитуды  $x_m$  вынужденных колебаний от частоты  $\omega$  вынуждающей силы называется *резонансной характеристикой* или *резонансной кривой*.



# Понятие волны

---

*Волной* называется процесс распространения колебаний в пространстве.

В зависимости от вида колебаний различают упругие волны, электромагнитные волны, волны на поверхности жидкости и т.д.

*Все волны описываются одинаковыми уравнениями и обладают общими свойствами.*

---

# Упругие волны

---

*Упругой* называется среда, все частицы которой связаны друг с другом и изменение положения одной из точек влечет за собой изменение положения соседних с ней точек.

*Поперечные упругие волны* – волны, при распространении которых частицы среды совершают колебания в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны.

---

# Упругие поперечные волны.

---

Поперечные упругие волны возникают только в твердых телах, в которых возможны упругие деформации сдвига.

---

# Упругие поперечные волны.

---





# Упругие продольные волны.

---

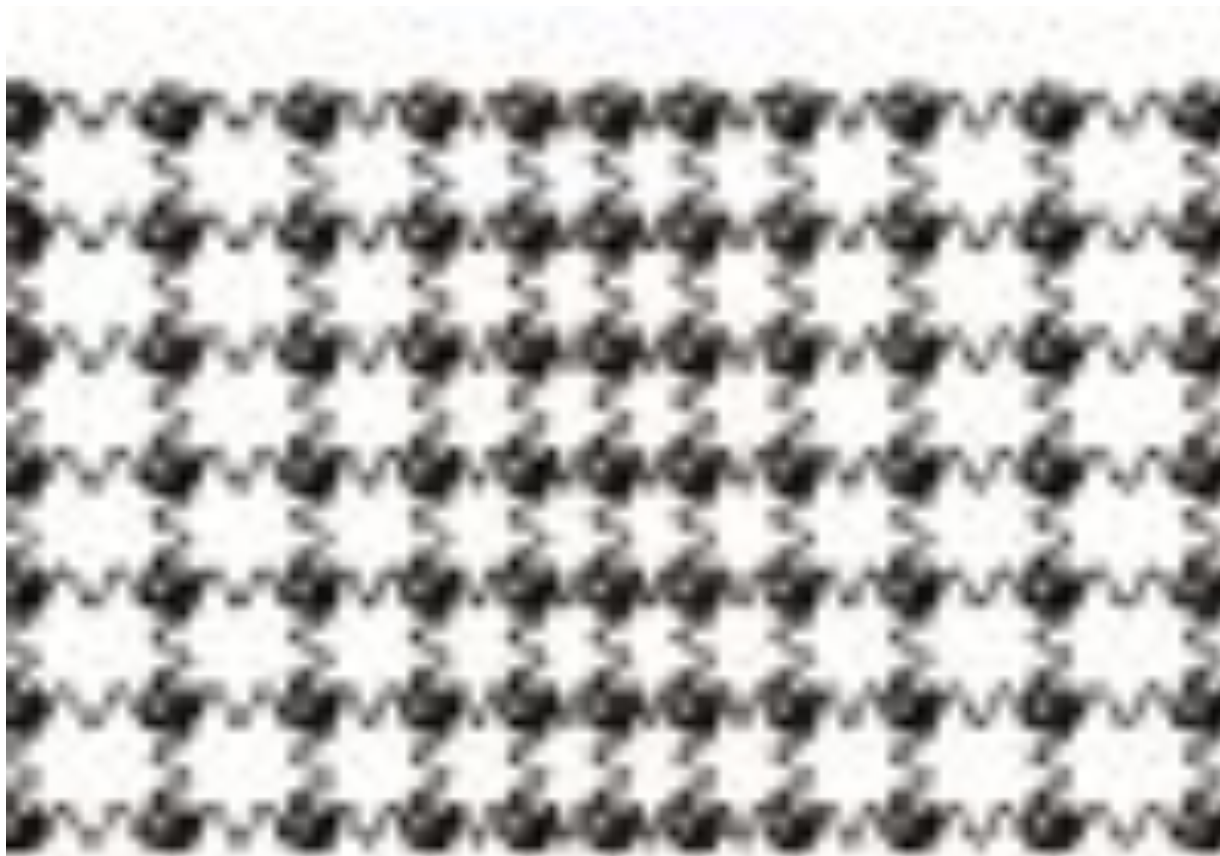
*Продольные упругие волны* – волны, при распространении которых *частицы среды совершают колебания вдоль направления распространения волны.*

Простые продольные колебания – это процесс распространения в пространстве областей сжатий и растяжений среды. Продольные волны могут распространяться в жидкостях или газах, где возможны объемные деформации среды, или в твердых телах, где возникают деформации удлинения или сжатия.

---

# Упругие продольные волны.

---



# Характеристики волны

---

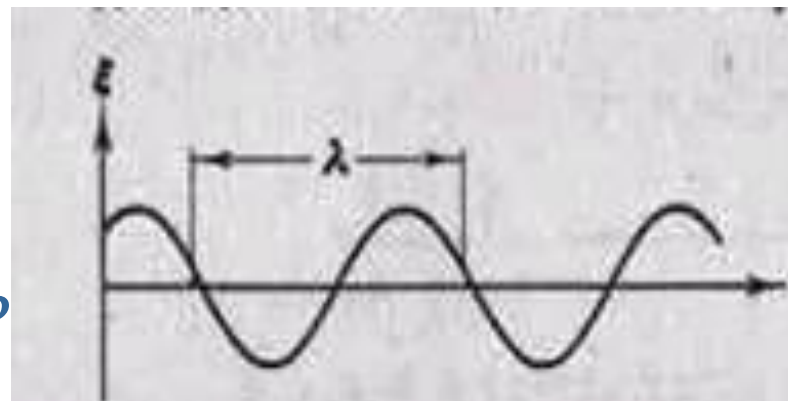
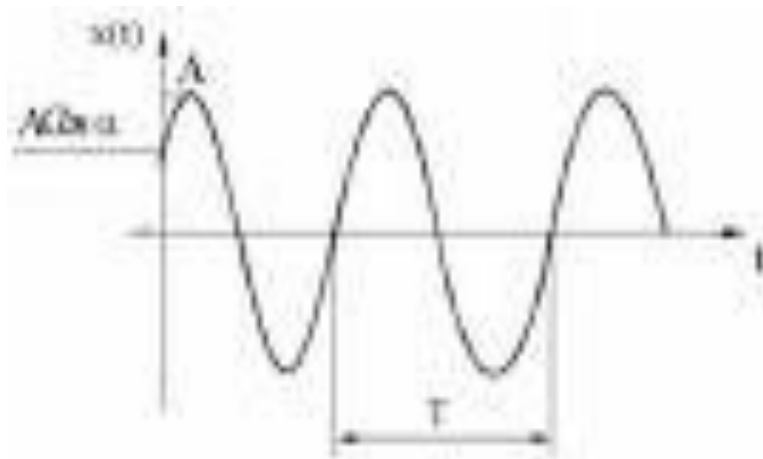
Для волнового процесса характерна *периодичность по времени и по координате.*

*T* – период колебаний точек среды.

Роль *пространственного периода* играет *длина волны*

*$\lambda$*

---



# Характеристики волны

---

*Соотношение между периодом и циклической частотой* задается формулой:

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

Аналогичное соотношение можно записать для *длины волны* и величины  $k$ , называемой *волновым числом*:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}$$

---

# Волны

---

При распространении волн *переноса вещества* в направлении распространения волны *не происходит*. В процессе распространения волны частицы среды лишь совершают колебания около положений равновесия. Однако *волны переносят энергию* колебаний от одной точки среды к другой.

---

# Уравнение волны

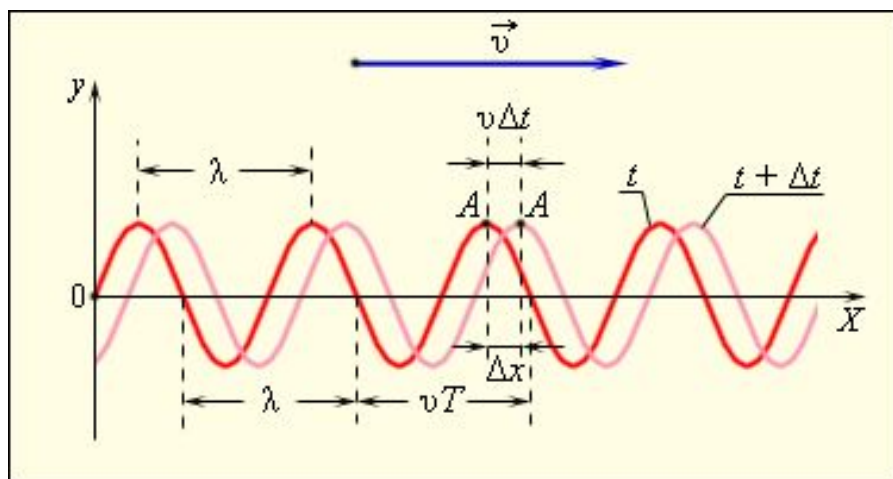
---

*Уравнением волны* называется *зависимость от координат и времени* скалярных или векторных величин, характеризующих колебания среды при прохождении по ней волны. Так, для волн в твердом теле такой величиной является смещение от положения равновесия любой точки тела в произвольный момент времени.

---

# Уравнение волны

---



Уравнение плоской  
монохроматической волны

$$s(t) = A \sin(\omega t - kx)$$

где  $A$  – амплитуда волны,  
 $\omega$  – частота волны,  $k$  –  
волновое число.

---

# Уравнение плоской монохроматической ВОЛНЫ

---

*Монохроматической (гармонической) называется волна, в которой соответствующие ей колебания частиц среды происходят по синусоидальному закону.*

*Фазовой скоростью называется скорость перемещения постоянной фазы.*

*Зависимость фазовой скорости волн в среде от их частоты называется дисперсией волн.*

---



# Принцип Гюйгенса

---

*Каждая точка среды, до которой дошла волна, сама становится источником вторичных волн.*

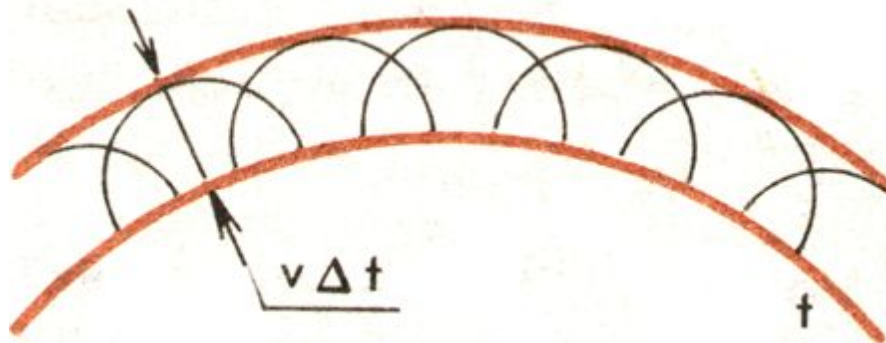
*Поверхность, касательная ко всем вторичным волнам, представляет собой волновую поверхность в последующие моменты времени.*

---



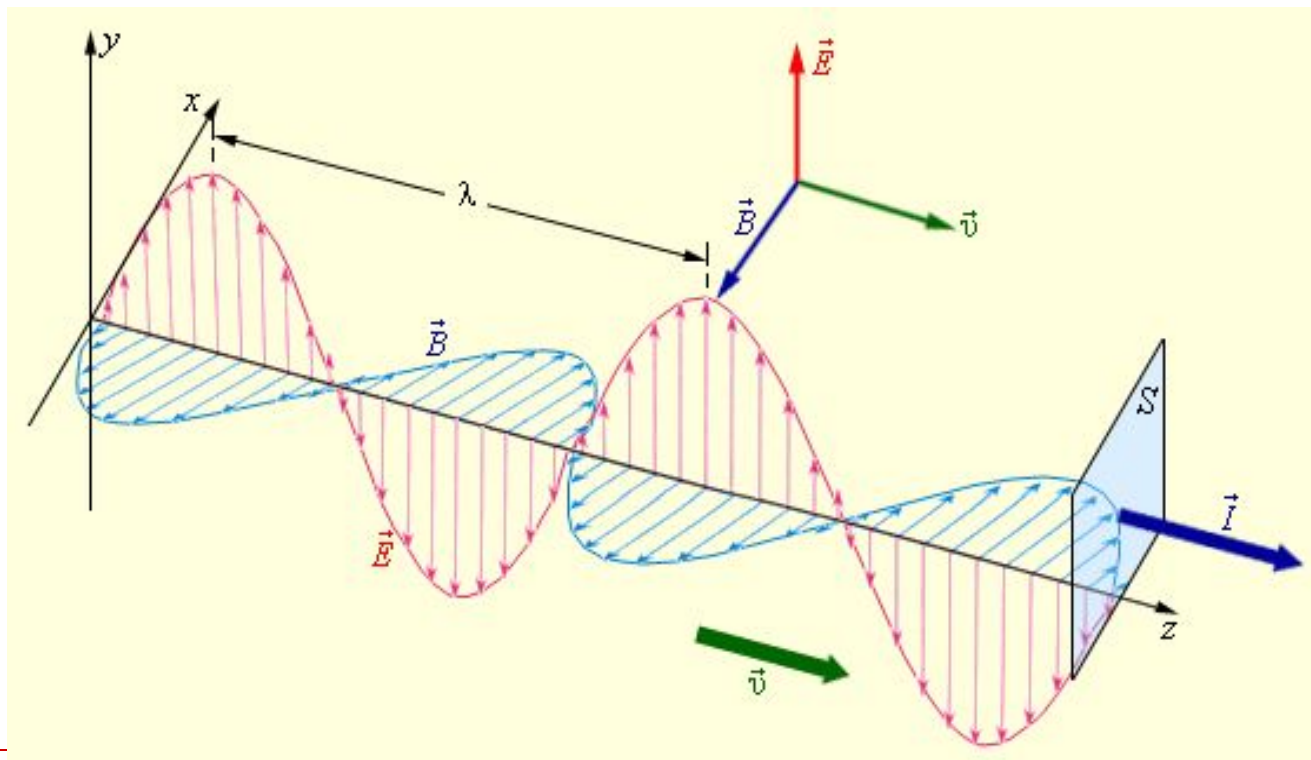
# Принцип Гюйгенса

---



# Электромагнитная волна

*Электромагнитной волной называется переменное электромагнитное поле, распространяющееся в пространстве.*



# Свойства электромагнитных волн

---

1. Электромагнитные волны - *поперечные волны*.
  2. Векторы  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  поля электромагнитной волны *взаимно перпендикулярны друг другу*.
  3. Вектор скорости волны и векторы  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  образуют *правую тройку векторов*.
  4. Взаимно перпендикулярные векторы  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  *колеблются в одной фазе* (их колебания синфазные).
  5. Электромагнитная волна в вакууме распространяется *со скоростью света*.
-

# Энергия электромагнитной волны

---

*Объёмная плотность энергии  $w$*

$$w = \frac{\vec{E} \cdot \vec{D}}{2} + \frac{\vec{H} \cdot \vec{B}}{2}$$

Первое слагаемое в равенстве представляет собой объёмную плотность электрической энергии в среде, второе — объёмную плотность магнитной энергии, т.е.

$$w = w_{\text{эл}} + w_{\text{м}}$$

---

# Интенсивность электромагнитной волны

---

*Плотностью потока* или *интенсивностью*  $I$  называют электромагнитную энергию, переносимую волной за единицу времени через поверхность единичной площади:

$$I = (w_{\text{э}} + w_{\text{м}}) c$$

Плотность потока энергии в СИ измеряется в *ваттах на квадратный метр* (Вт/м<sup>2</sup>).

$$I = \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}} \cdot E^2$$

---

# Волновая оптика

---

Свет – электромагнитная волна, длина волны которой лежит в интервале от 0,38 мкм до 0,76 мкм

Во всех процессах взаимодействия света с веществом основную роль играет электрический вектор поэтому его называют *световым вектором*.

---

# Явление интерференции

---

Под *интерференцией света* понимают широкий круг явлений, в которых при наложении световых пучков происходит перераспределение интенсивности света в пространстве.

При этом результирующая интенсивность в любой точке не равна сумме интенсивностей отдельных пучков. В результате интерференции возникает *интерференционная картина*: в одних точках интенсивность света больше суммы интенсивностей двух волн, в других – меньше.

---



# Сущность явления интерференции

---



Интерференционная картина представляет чередование светлых и темных полос. При использовании белого света интерференционные полосы оказываются окрашенными в различные цвета спектра.

---

# Принцип суперпозиции волн

---

Если в пространстве распространяются две волны, то в каждой точке результирующее колебание представляет собой *геометрическую* сумму колебаний, соответствующих каждой из складывающихся волн.

Принцип суперпозиции волн соблюдается обычно с большой точностью и нарушается при распространении волн с очень большой амплитудой (интенсивностью).

---

# Принцип суперпозиции волн

---

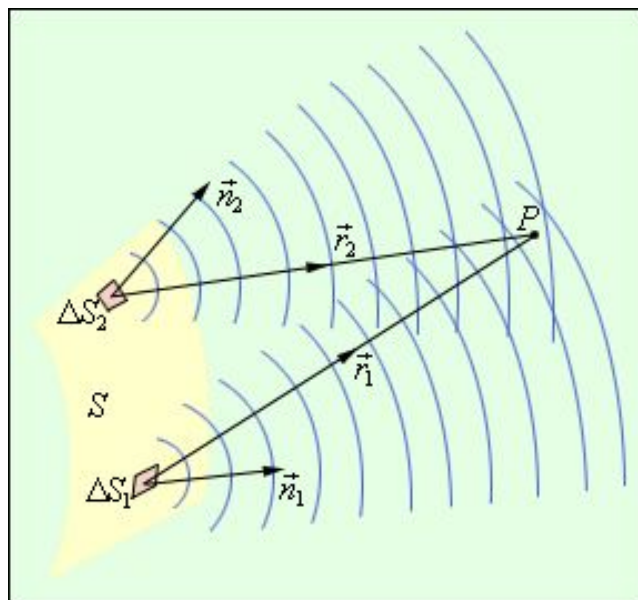
Физически содержание принципа суперпозиции для электромагнитных волн означает, что если в среде распространяется несколько электромагнитных волн, то среда реагирует на каждую волну так, как будто других волн нет.

---

# Явление интерференции

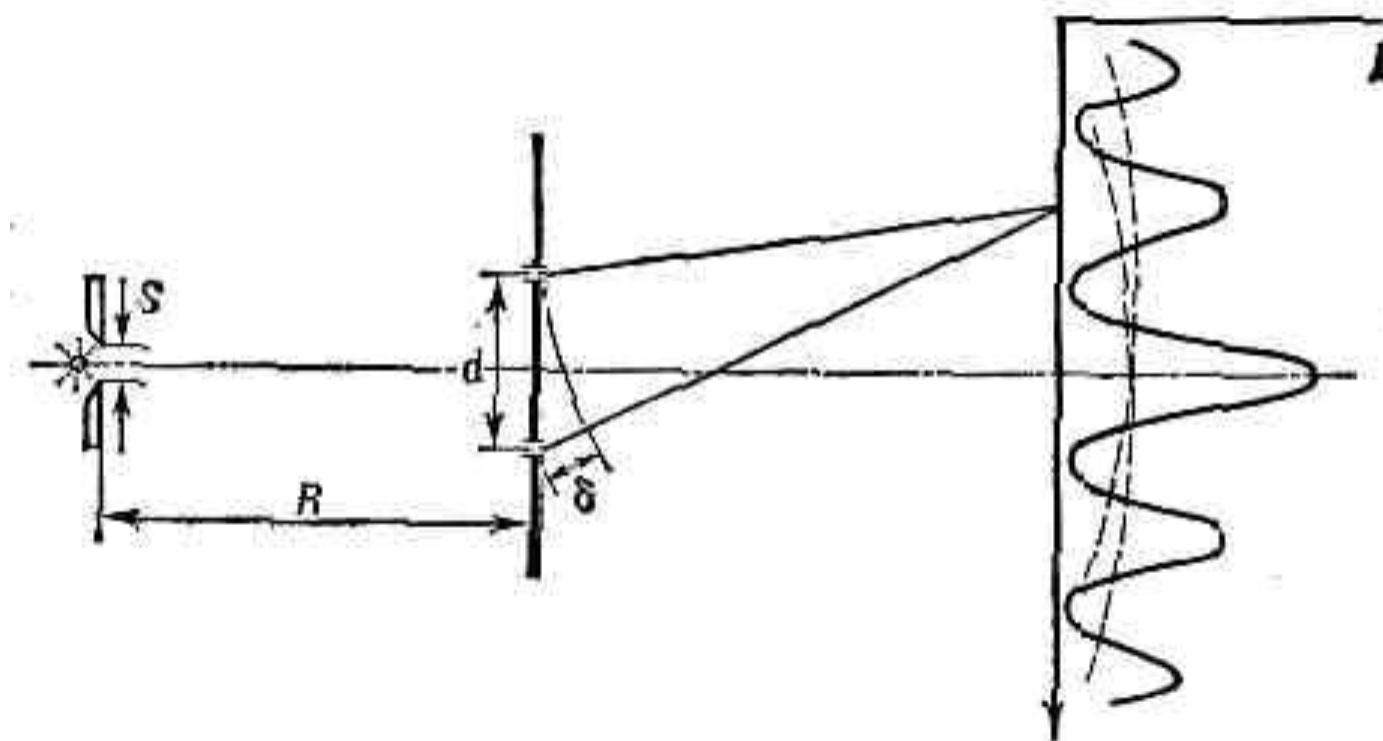
---

Интерференционная картина устойчива только в случае *когерентных волн*, у которых одинаковая частота и постоянная во времени разность фаз.



# Опыт Юнга

---



# Условия интерференционного максимума и минимума

---

Условия максимума и минимума для оптической разности хода

$$\Delta = \begin{cases} m\lambda_0 & - \text{max,} \\ m\lambda_0 + \frac{\lambda_0}{2} & - \text{min,} \end{cases} \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

# Явление дифракции

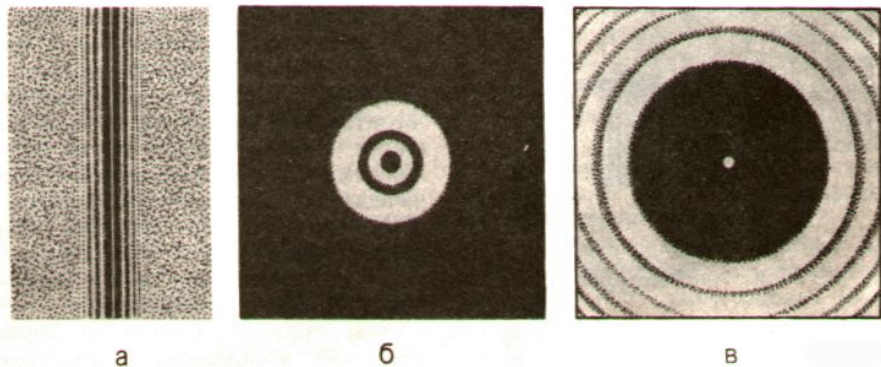
---

*Дифракцией света* называется явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий. Как показывает опыт, свет при определенных условиях может заходить в область геометрической тени.

---

# Явление дифракции

---



Волны отклоняются от прямолинейного распространения на заметные углы только на препятствиях, размеры которых сравнимы с длиной волны, а длина световых волн мала, поэтому дифракцию света наблюдать нелегко.

---



# Дифракционная решетка

---

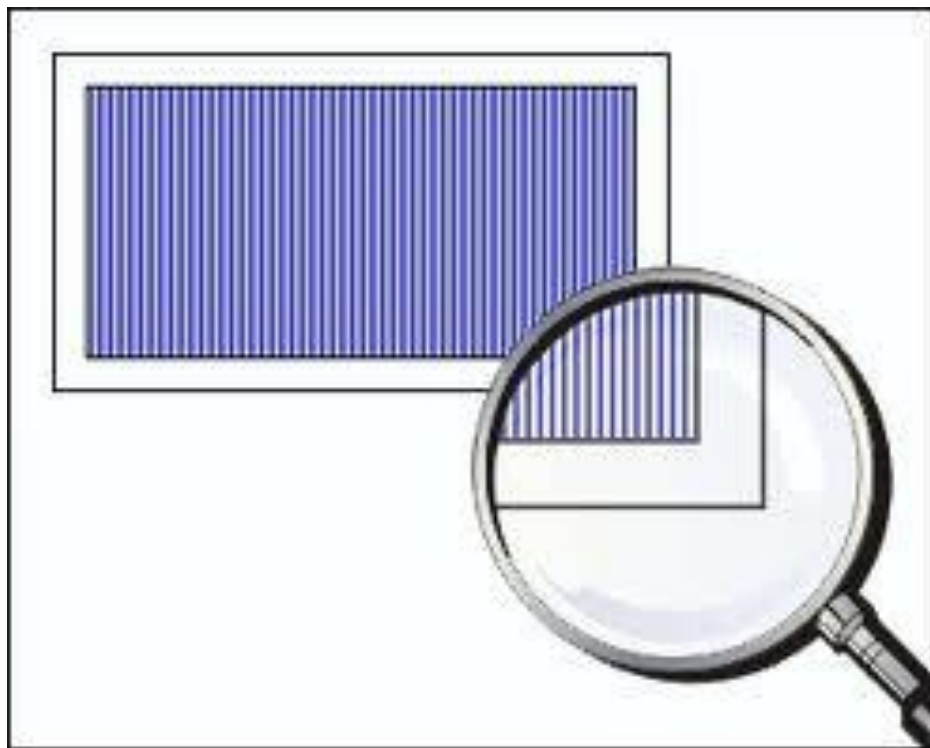
Дифракционные явления имеют большое практическое значение, они лежат в основе принципа действия многих спектральных приборов, в частности, дифракционных решеток.

*Дифракционная решетка – это совокупность большого числа очень узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками.*

---

# Дифракционная решетка

---

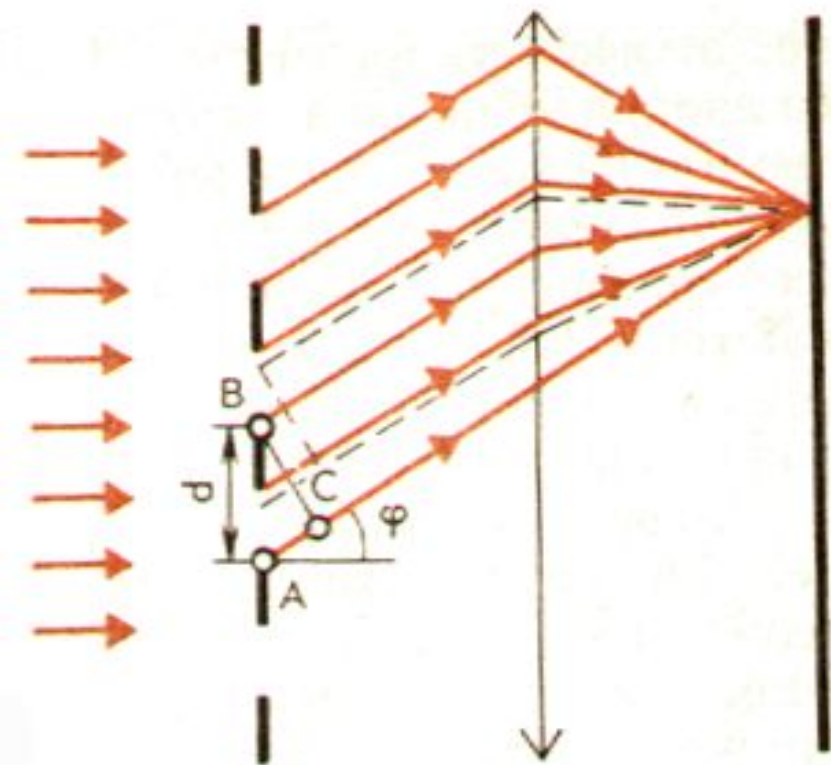


Постоянная решетки

$d=a+b$ , где  $a$  – ширина щели,  $b$  – расстояние между щелями.

# Дифракционная решетка

---



Условие дифракционных максимумов в дифракционной решетке:

$$d \sin \varphi = m \lambda$$

$m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$  - порядок спектра

---

# Дифракционная решетка

---

