

Презентация  
по теме: «Механические  
колебания и волны»

Омск 2009 год

The background of the slide is a solid blue color. In the lower half, there are several sets of concentric, light blue circles of varying sizes, resembling ripples on water. These circles are positioned in the bottom right and bottom center areas of the slide.

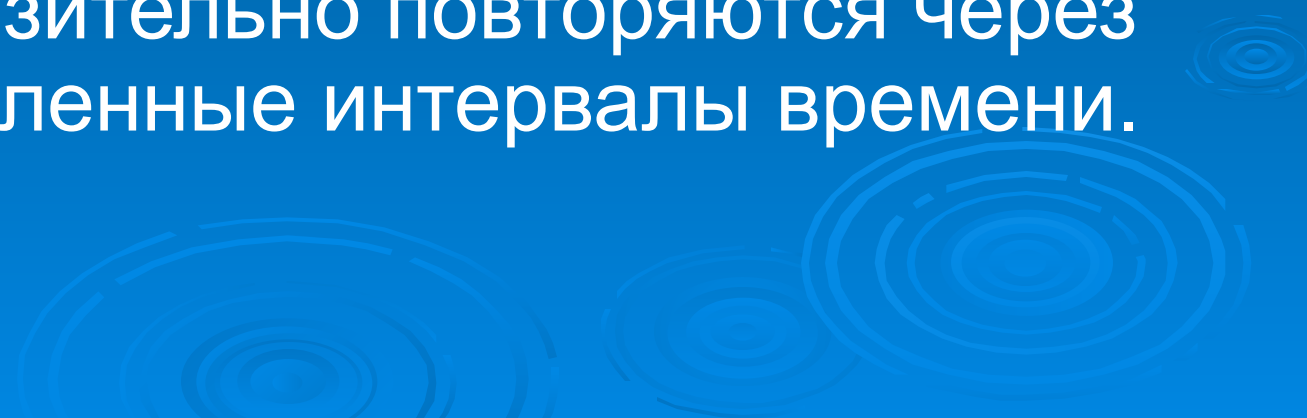
# Содержание

- 1. Колебания
- 2. Виды колебаний
  - 2.1. Свободные колебания
  - 2.2. Математический маятник
  - 2.3. Пружинный маятник
- 3. Гармонические колебания
  - 3.1. Понятие
  - 3.2. Уравнение и графики
  - 3.3. Превращение энергии
- 4. Вынужденные колебания
  - 4.1. Собственная частота
  - 4.2. Резонанс
- 5. Автоколебания
- 6. Волны
- 7. Поперечные и продольные волны
- 8. Волны в среде
- 9. Звуковые волны
- 10. Свойства волн
  - 10.1. отражение и преломление волн
  - 10.2. Интерференция волн
  - 10.3. Дифракция волн
  - 10.4. Поляризация волн

Механические колебания и волны –  
раздел механики, изучающий особый вид  
движения – колебания, а так же  
распространение колебаний в пространстве

# 1. Колебания

Колебания – это движения или  
процессы, которые точно или  
приблизительно повторяются через  
определенные интервалы времени.



# Механические колебания

- Колебания механических величин (смещения, скорости, ускорения, энергии и т. п.)

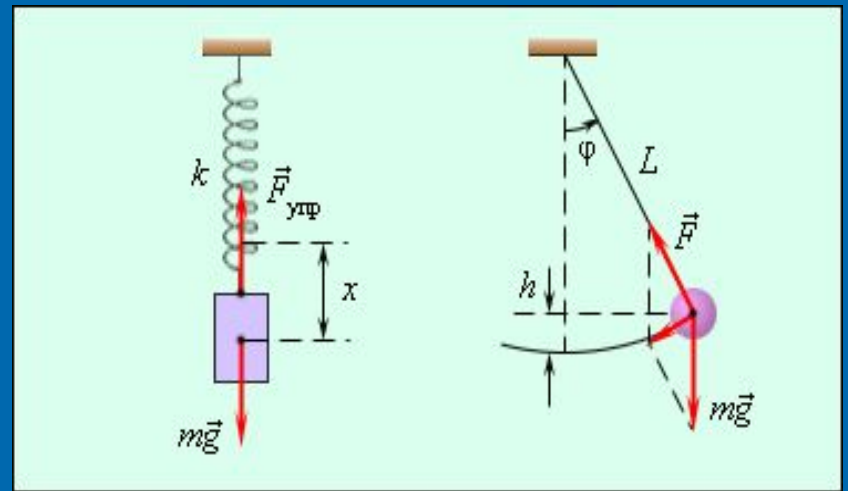
## Виды колебаний

- Свободные
- Вынужденные
- Автоколебания

Колебательная система –  
это система тел, совершающих колебание.

## □ Свободные

Колебания, возникающие при однократном воздействии внешней силы (первоначальном сообщении энергии) и при отсутствии внешних воздействий на колебательную систему.



Условия возникновения свободных колебаний

1. Колебательная система должна иметь положение устойчивого равновесия.
2. При выведении системы из положения равновесия должна возникать равнодействующая сила, возвращающая систему в исходное положение
3. Инертность системы
4. Силы трения (сопротивления) очень малы.

# Математический маятник

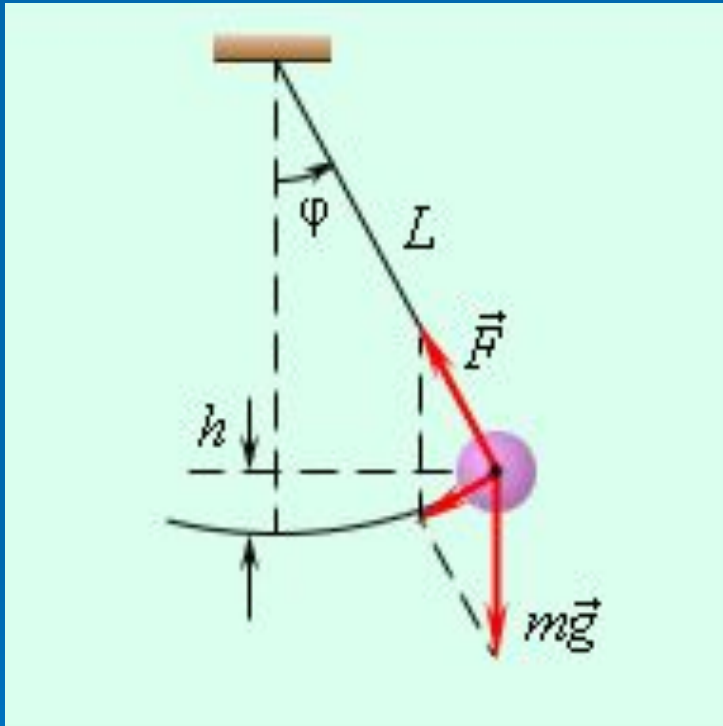
- это материальная точка, подвешенная на невесомой и нерастяжимой нити. Реальный маятник можно считать математическим, если длина нити много больше размеров подвешенного на ней тела, масса нити ничтожна мала по сравнению с массой тела, а деформации нити настолько малы, что ими вообще можно пренебречь.

- Колебательную систему в данном случае образуют нить, присоединенное к ней тело и Земля, без которой эта система не могла бы служить маятником.

- Причинами свободных колебаний математического маятника являются:

1. Действие на маятник силы натяжения и силы тяжести, препятствующей его смещению из положения равновесия и заставляющей его снова опускаться.
2. Инертность маятника, благодаря которой он, сохраняя свою скорость, не останавливается в положении равновесия, а проходит через него дальше.

- Период свободных колебаний математического маятника не зависит от его массы, а определяется лишь длиной нити и ускорением свободного падения в том месте, где находится маятник.



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

• Период свободных колебаний математического маятника

# Пружинный маятник



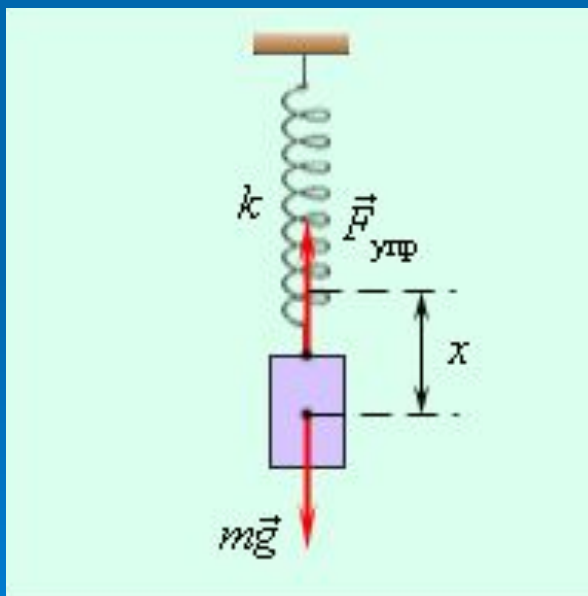
Уравнение движения маятника

$$ma = -m\omega^2 x = -kx$$

где  $k = m\omega^2$  - коэффициент “жесткости”.

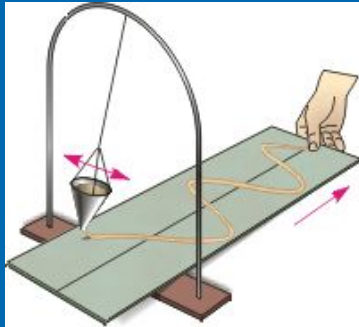
Циклическая частота и период колебаний равны, соответственно:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}};$$



- Материальная точка, закрепленная на абсолютно упругой пружине

Гармонические колебания – это колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса или косинуса



•уравнения гармонических колебаний (законы движения точек) имеют вид

1	$x = x_M \cos \omega t$ $q = q_M \cos \omega t$	
2	$x' = v = -x_M \omega \sin \omega t$ $q' = i = -q_M \omega \sin \omega t$	
3	$x'' = a = -x_M \omega^2 \cos \omega t$ $q'' = -q_M \omega^2 \cos \omega t$	

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛЕБАНИЙ

**Амплитуда** — модуль максимального отклонения физической величины от ее среднего (равновесного) значения. Амплитуда обозначается обычно латинской буквой с индексом "М", например,  $x_M$ ,  $I_M$  и т.п.

**Частота  $\nu$**  - число колебаний в единицу времени.  $[\nu] = \Gamma\zeta = \text{с}^{-1}$ .

**Период  $T$**  — время одного полного колебания, т.е. минимальный промежуток времени, через который происходит повторение процесса. Период и частота связаны соотношением

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

## ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Так называют колебания, происходящие по закону синуса или косинуса.

### Уравнение гармонических колебаний

$$x = x_M \cos(\omega t + \varphi_0),$$

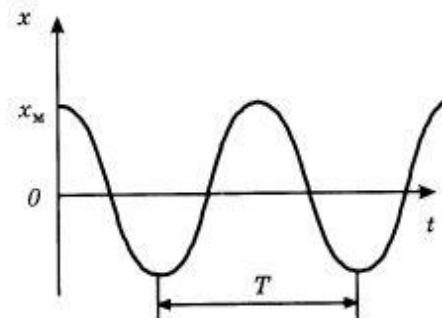


График гармонических колебаний

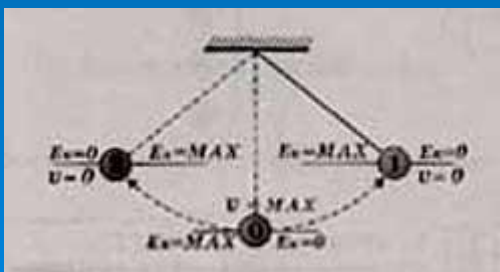
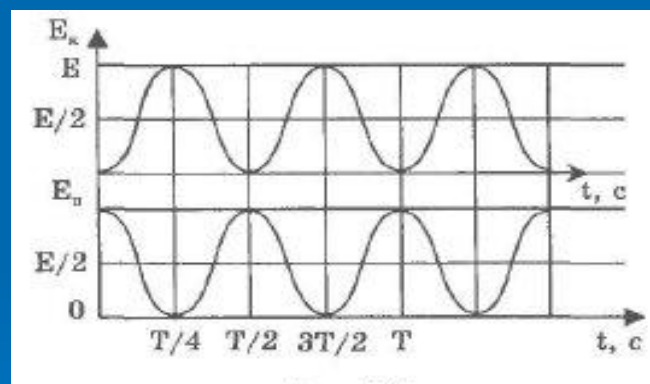
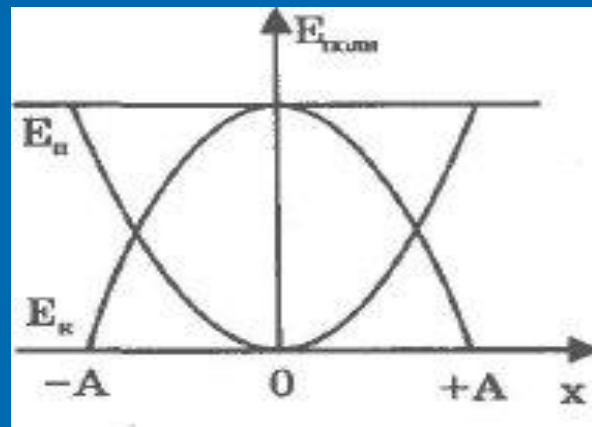
где  
 $x$  — величина смещения от положения равновесия,  
 $x_M$  — амплитуда,  
 $\omega$  — циклическая частота, связанная с частотой  $\nu$  соотношением  $\omega = 2\pi\nu$ ,  
 $\varphi = \omega t + \varphi_0$  — фаза колебания,  
 $\varphi_0$  — начальная фаза колебания,  
 $t$  — время.

Если процесс описывается уравнением  $x'' = -\omega^2 x$ , то он представляет собой гармоническое колебание с циклической частотой  $\omega$ .



# Преобразование энергии

- график зависимости потенциальной и кинетической энергии пружинного маятника от координаты  $x$ .
- качественные графики зависимостей кинетической и потенциальной энергии от времени.



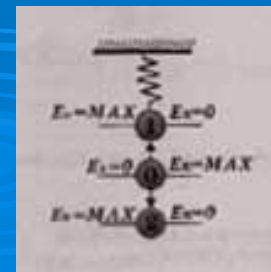
## ЭНЕРГИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Прямо пропорциональна квадрату амплитуды.

Например, энергия колебаний пружинного маятника  $W = \frac{kx_M^2}{2}$ .

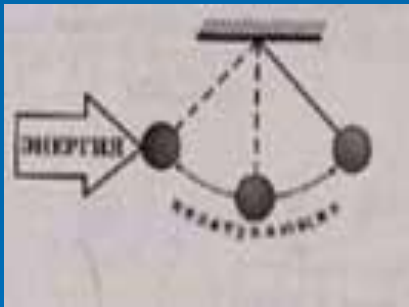
При колебаниях происходят превращения кинетической энергии  $W_k$  в потенциальную  $W_p$  и обратно.

В отсутствие сил трения  $W_k + W_p = \text{const}$ . Следовательно,  $\frac{kx_M^2}{2} = \frac{mv_M^2}{2}$ .



## □ Вынужденные

Колебания, возникающие под действием внешних, периодически изменяющихся сил (при периодическом поступлении энергии извне к колебательной системе)



- Частота вынужденных колебаний равна частоте изменения внешней силы
- Если  $F_{\text{вс}}$  изменяется по закону синуса или косинуса, то вынужденные колебания будут гармоническими

- Резонанс – это явление, при котором резко возрастает амплитуда вынужденных колебаний (происходит наиболее полная передача энергии от одной колебательной системы к другой )

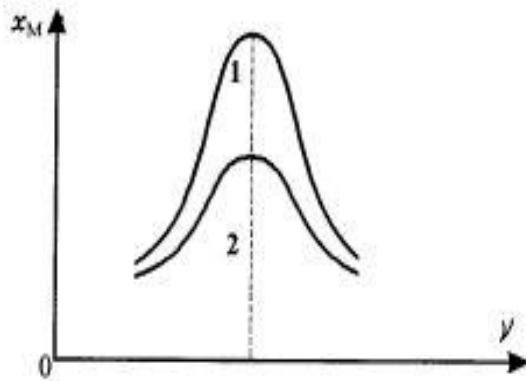


График зависимости амплитуды  $x_M$  вынужденных колебаний от частоты  $\gamma$  внешней силы.

1 — малая сила трения; 2 — большая сила трения.



рис. 2 Связанные маятники

- Чем меньше трение, тем больше возрастает амплитуда резонансных колебаний
- Резонанс наблюдается, когда частота собственных колебаний совпадает с вынужденной частотой  $V = V_0$

## АВТОКОЛЕБАНИЯ

Так называются колебания, поддерживаемые за счет **внутренних источников энергии** системы при отсутствии внешней переменной силы.

Пример автоколебательной системы — механические часы.

Автоколебательная система состоит из следующих основных элементов:



- При автоколебаниях необходимо периодическое поступлении энергии от собственного источника внутри колебательной системы

# ВОЛНЫ

- Распространение колебаний от точки к точке (от частицы к частице) в пространстве с течением времени.

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

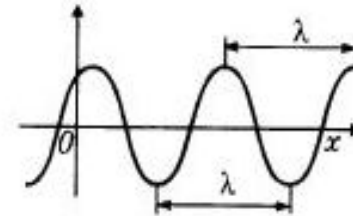
$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$

$$v = \lambda\nu$$

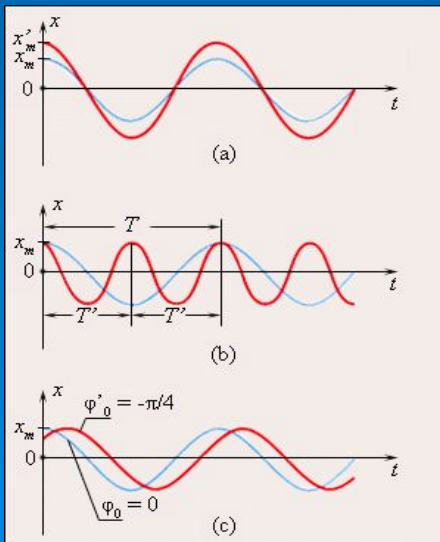
**Частота  $\nu$**  – определяется количеством периодов в секунду

**Период  $T$**  – это время, за которое совершается одно полное колебание

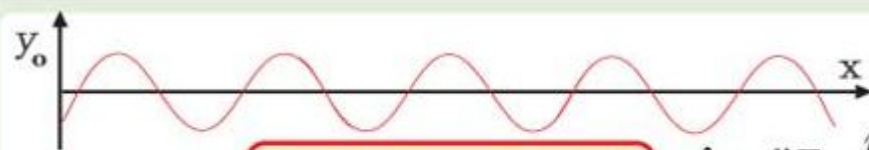
**Скорость волны  $v$**  – скорость перемещения точки, в которой колебание имеет определённую фазу (например, скорость перемещения "гребня" или "впадины")



Длина волны  $\lambda$  — расстояние между ближайшими точками на одном луче, колебания в которых происходят в одинаковой фазе (например, расстояние между соседними максимумами)



## Уравнение волны



$$y = y_0 \sin \omega \left( t - \frac{x}{v} \right)$$

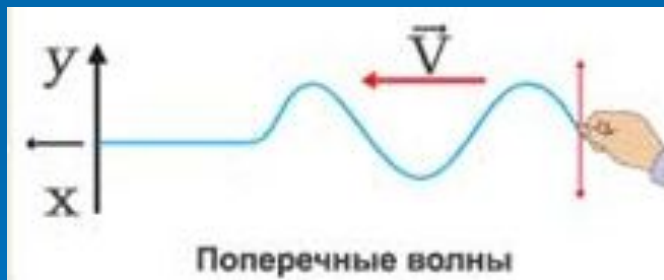
$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$$

# Причины возникновения механических волн

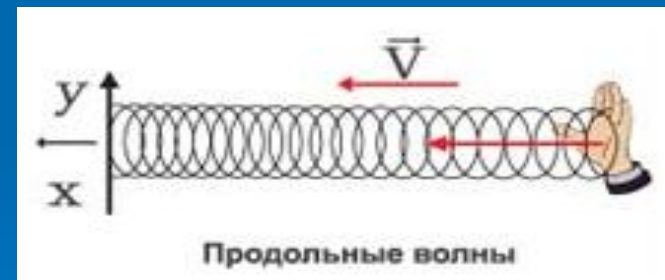
1. Упругая среда (частицы среды взаимодействуют за счет сил упругости)
2. Инертность частиц

## Волны и энергия

1. Вместе с колебаниями волной переносится энергия колебаний, хотя сами носители этой энергии, колеблющиеся частицы, с волной не переносятся
2. Волна является переносчиком энергии



- Поперечные -это волны, в которых частицы среды колеблются перпендикулярно направлению волны,
- Деформация сдвига в твердых телах, на поверхности жидкости



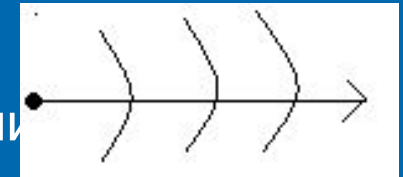
- Продольные – это волны, в которых частицы среды колеблются вдоль направления распространения волны.
- Деформация сжатия в газах, жидкостях, твердых телах

# Волны в среде.

Волновая поверхность – геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе

Волновой фронт – геометрическое место точек, до которых доходят колебания к моменту времени  $t$

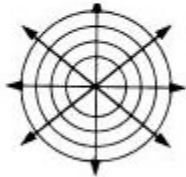
Луч – линия перпендикулярная волновой поверхности (эта линия показывает направление распространения волны)



## Виды волн

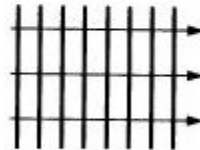
### 1. Сферические волны

Волновые поверхности имеют форму концентрических сфер. Такие волны распространяются в однородной среде от точечного источника. На поверхности жидкости возникают круговые волны.

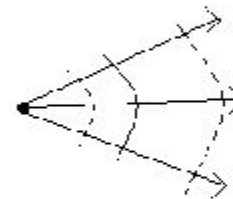


### 2. Плоские волны

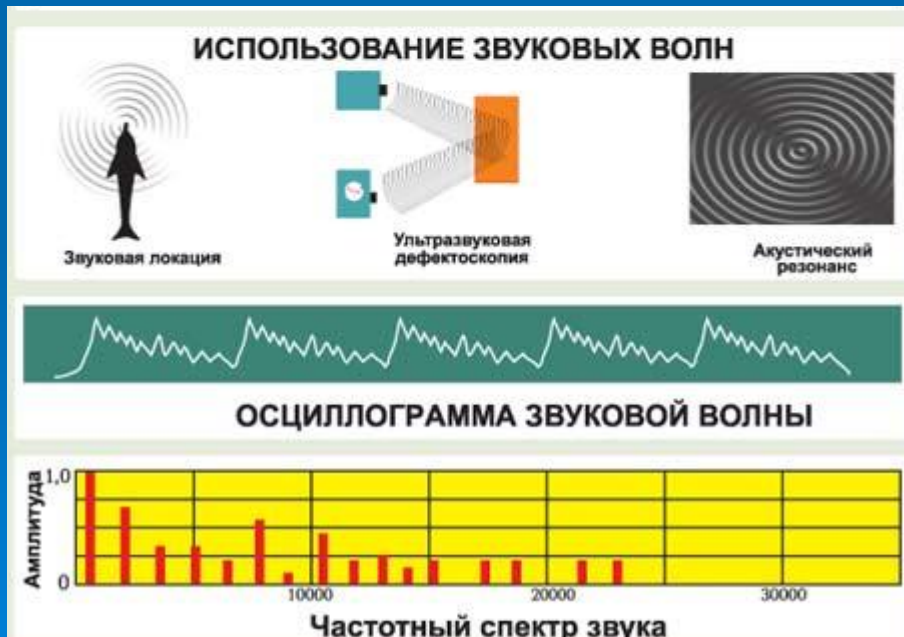
Волновые поверхности имеют форму параллельных плоскостей (или прямых, если волна распространяется по поверхности)



### 3. Кольцевая волна



При достаточно большом удалении от источника любую волну в ограниченном объеме пространства можно приближенно рассматривать как плоскую.



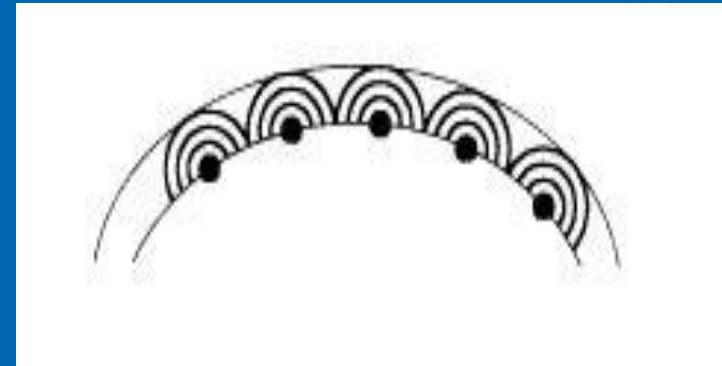
- Звук – продольная механическая волна определенной частоты
  
- Звуковые волны с частотами от 16 до 2104 Гц воздействуют на органы слуха человека, вызывают слуховые ощущения и называются **слышимыми звуками**. Звуковые волны с частотами менее 16 Гц называются **инфразвуками**, а с частотами более 2104 Гц – **ультразвуками**.
  
- Восприятие звука органами слуха зависит от того, какие частоты входят в состав звуковой волны.
  
- Скорость звука в воздухе приблизительно 330 м/с
  
- **Высота тона** зависит от частоты: чем больше частота, тем выше тон.
  
- **Громкость звука** зависит от интенсивности звука, т.е. определяется амплитудой колебаний в звуковой волне. Наибольшей чувствительностью органы слуха обладают к звукам с частотами от 700 до 6000 Гц.



# Свойства волн

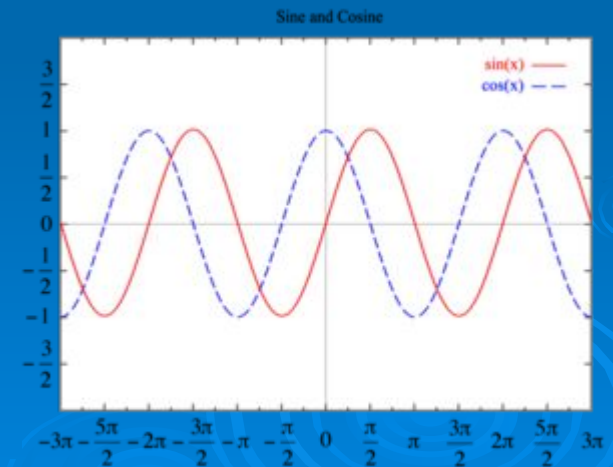
## □ Принцип Гюйгенса

Каждая возбужденная волной точка сама становится источником элементарных волн. Огибающая элементарных волн дает новое положение волнового фронта



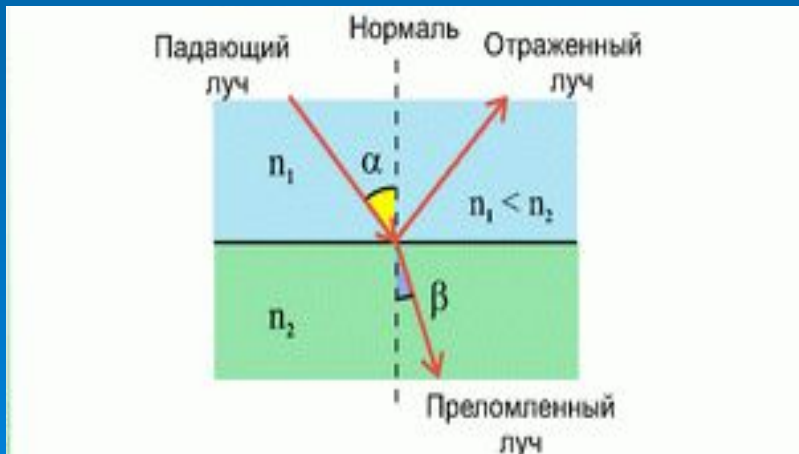
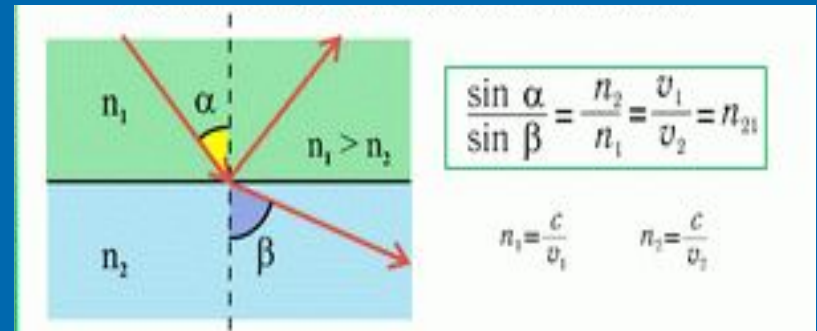
## □ Принцип суперпозиции волн

При распространении в среде нескольких волн каждая из них распространяется так, как будто другие волны отсутствуют



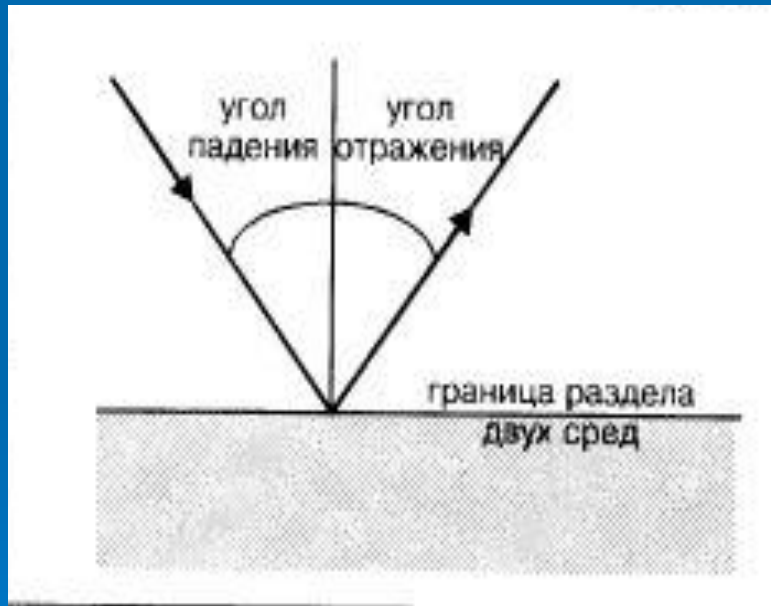
# Законы преломления

- 1. Падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр в точке падения лежат в одной плоскости



- 2. Отношение синусов угла падения и угла преломления есть величина постоянная и равна отношению скоростей волны в этих средах

# Законы отражения



1. Падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр в точке падения лежат в одной плоскости

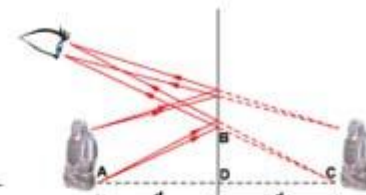
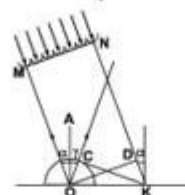
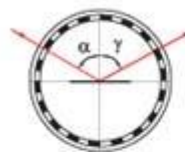
2. Угол падения равен углу отражения

$$\alpha = \beta$$



### Отражение света

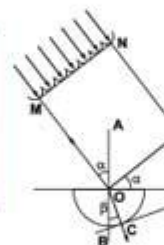
$$\alpha = \gamma$$



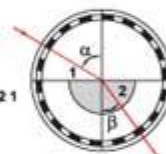
Отражение света от плоского зеркала

Получение изображения в плоском зеркале

### Преломление света



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{2,1}$$



$$n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} = const$$

Преломление света

Закон преломления света

### Полное внутреннее отражение света



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\beta_0 = 90^\circ \quad \sin \beta_0 = 1$$

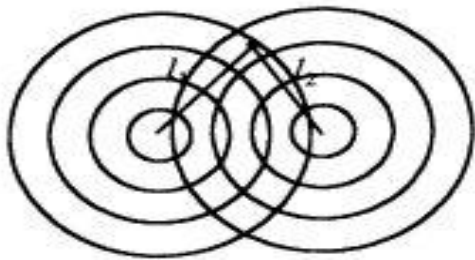
$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}$$



Отражение света при переходе из оптически более плотной среды в менее плотную

# Интерференция волн

- Устойчивая картина чередования максимумов и минимумов колебаний точек среды при наложении когерентных волн
- Когерентные волны – это волны одинаковой частоты с постоянной разностью фаз



Разностью хода волн называется величина

$$\Delta l = |l_1 - l_2|$$

**Условие интерференционного максимума** для волн от двух точечных источников, разность фаз которых равна нулю:

$$\Delta l = k\lambda,$$

то есть разность хода волн  $\Delta l$  равна целому числу длин волн (или, что то же самое, **четному** числу полуволен).

**Условие интерференционного минимума:**

$$\Delta l = (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

то есть разность хода волн равна **нечетному** числу полуволен.



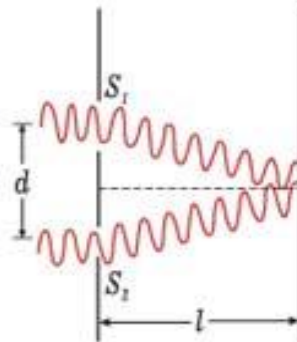
Томас Юнг



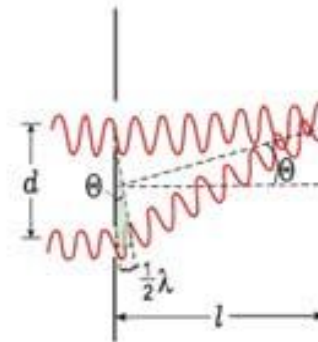
Интерференция волн на воде



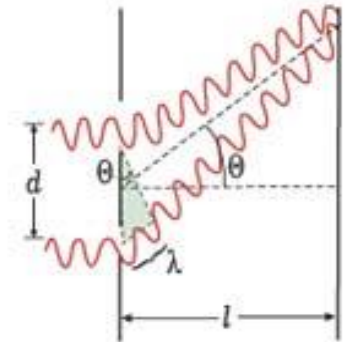
Интерференция света



Нулевой интерференционный максимум



Первый интерференционный минимум



Первый интерференционный максимум

Интерференция в тонких пленках



Интерференция света на пленке масла

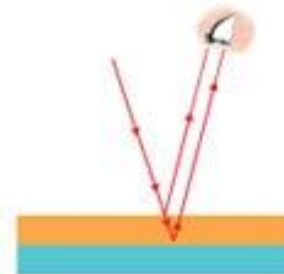
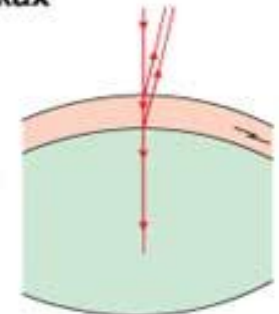
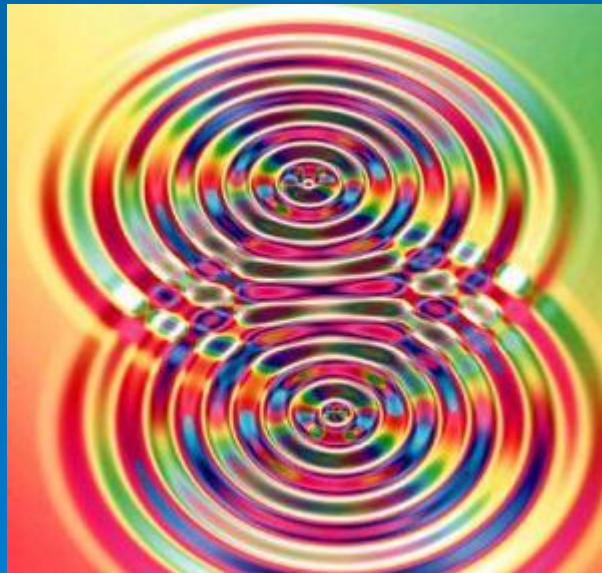


Схема хода лучей при интерференции в тонкой пленке

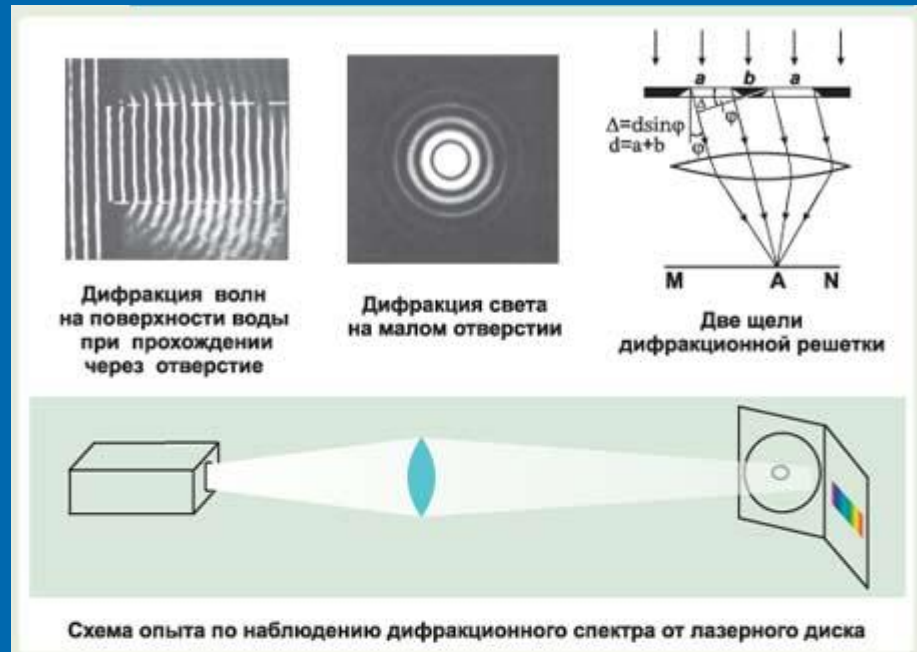


Просветление оптики

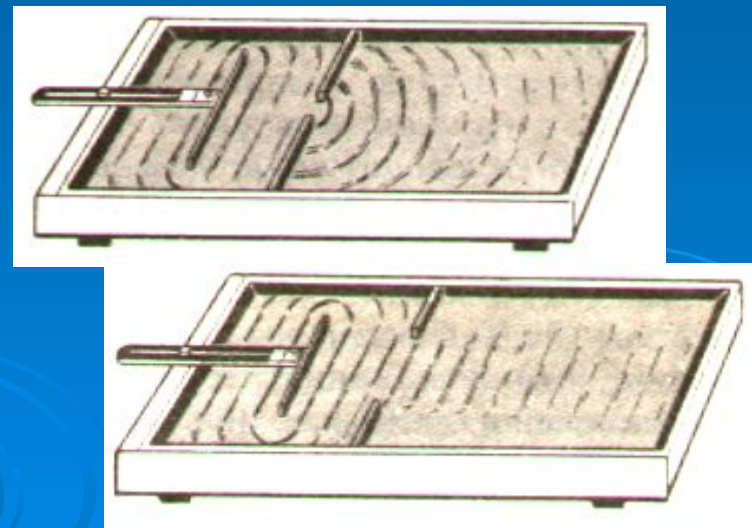


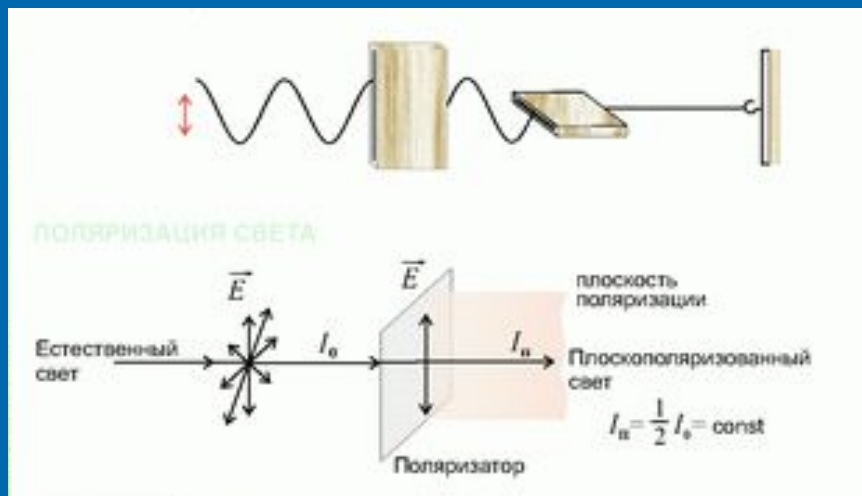
# Дифракция волн

- Отклонение направления распространения волн от прямолинейного у границы преграды (огибание волнами препятствий)

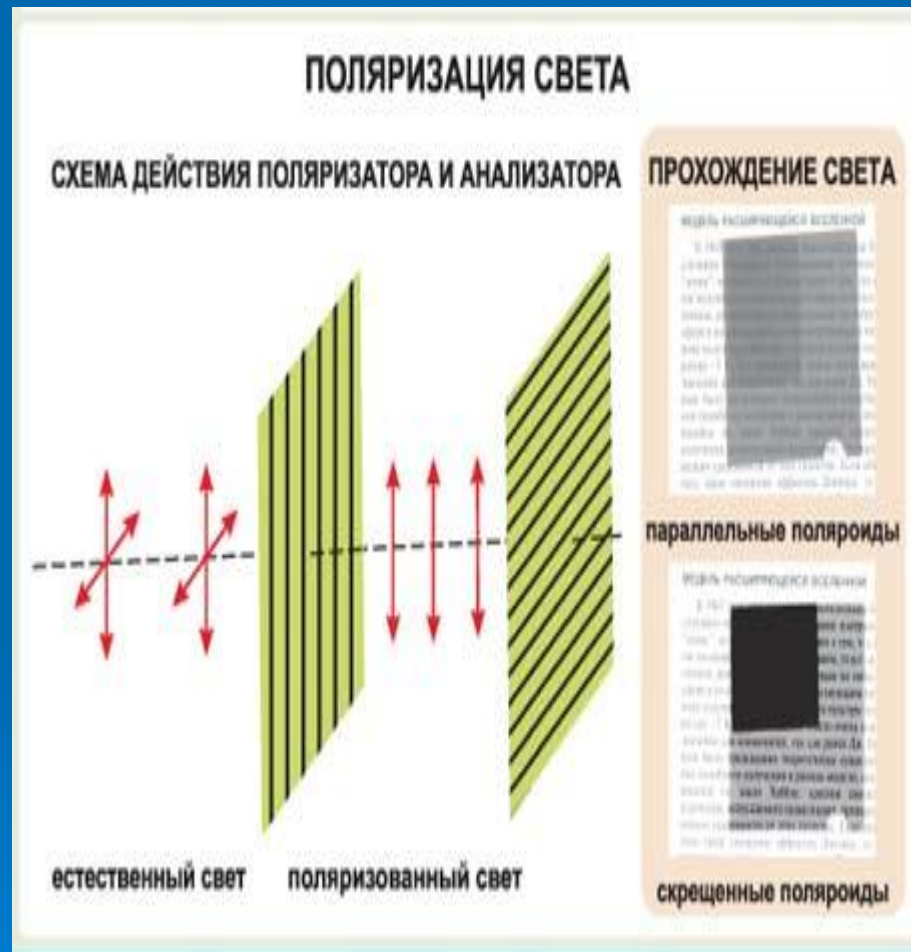


- Условие: размеры препятствия должны быть сравнимы с длиной волны





- Поляризация – это выделение колебаний поперечной волны строго одного направления (при помощи поляризатора)





# Тест по теме

1. Какое изображение не отражает явление интерференции волн?

А) 1 Б) 2 В) 3

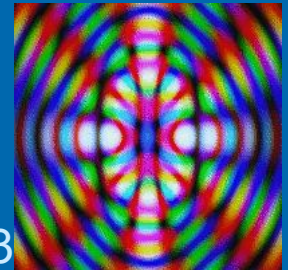
1



2



3



2. «Благодаря» какому явлению в наших домах дребезжат стекла, когда вблизи пролетает самолет?

А) резонанс Б) дифракция В) преломление

3. Высота звука определяется

А) частотой Б) амплитудой В) длиной волны

4. Слышать друг друга в густом лесу мы можем только благодаря эффекту

А) отражения Б) дифракции  
В) преломления волн

5. Каков период на рисунке 1?

А) 20см Б) 8с В) 2м

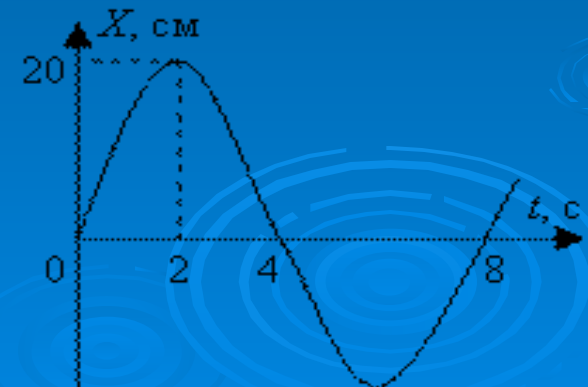


Рис. 1

# Ответы на тест

□ 1 В

□ 2 А

□ 3 А

□ 4 Б

□ 5 Б