

Тема 16. Механические колебания и волны

1. Колебания: основные характеристики

Колебание - это такой процесс, когда физическая система многократно отклоняясь от положения равновесия, каждый раз вновь возвращается к нему.

Колебание называется **периодическим**, если оно повторяется через одинаковые промежутки времени.

Период колебаний - это время, в течение которого происходит одно полное колебание. T ; $[T] - 1с$

Частота колебаний - это количество колебаний в единицу времени ν ; $[\nu] - 1Гц$

Свободные колебания - это колебания, происходящие в системе под действием *внутренних* сил.

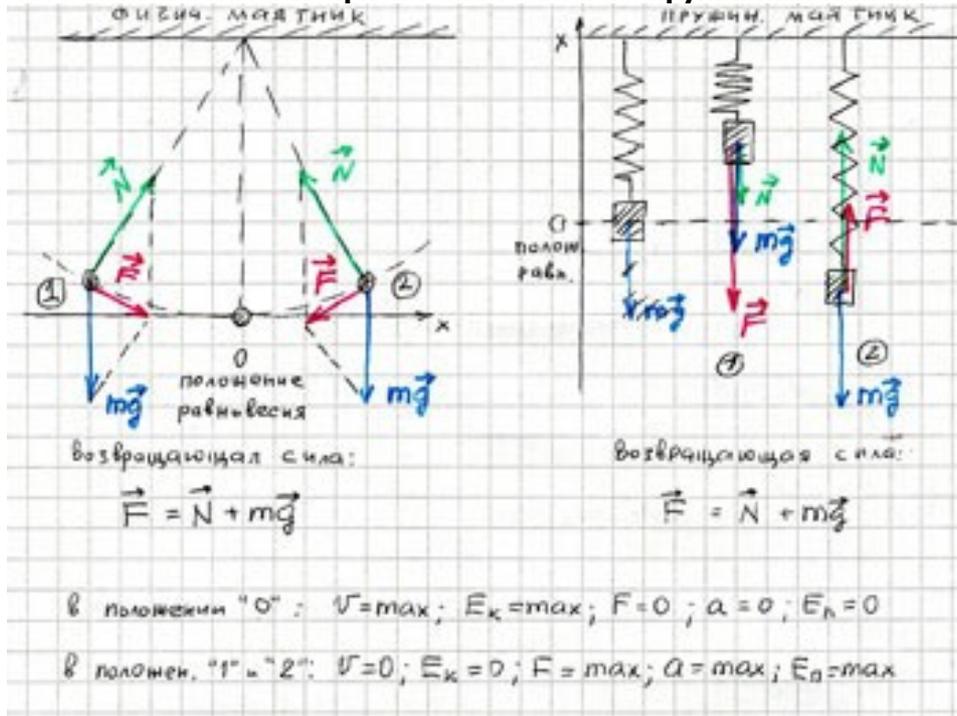
Вынужденные колебания - это колебания, происходящие в системе под действием *внешних* сил.

Амплитуда колебаний - это наибольшее значение физической величины, которая периодически изменяется в процессе колебаний.

Условия возникновения колебаний:

- $F_{тр}$ и/или $F_{сопр}$ в системе должны быть достаточно малы;
- при отклонении системы от положения равновесия должна возникать сила, стремящаяся вернуть систему в положение равновесия - **возвращающая** сила.

Колебательные системы - **физический маятник** и **пружинный маятник**:



2. Уравнение гармонических колебаний

Уравнение колебаний описывает изменение физической величины с течением времени.

В зависимости от **начальных условий**, возможны *два* варианта:

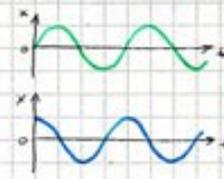
а) система выводится из состояния равновесия резким толчком с помощью внешней силы, т.е. физическому телу (грузику на нити или на пружине) сообщается некоторая **начальная скорость v_0** ;

б) система выводится из состояния равновесия путем смещения тела на **некоторое расстояние x_0** от положения равновесия с помощью внешней силы.

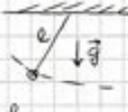
В любом случае колебания в системе не могут возникнуть сами по себе, обязательно необходимо внешнее воздействие.

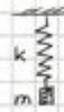
Колебания называются **гармоническими**, если они протекают по закону **SIN** или **COS**.

$$\begin{cases} x = X_0 \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \\ \text{или} \\ x = X_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \end{cases} \Rightarrow$$



x - координата в любой момент времени t
 X_0 - амплитуда (в равном случае - макс. отклонение от 0)
 ω_0 - собственная циклическая частота системы
 φ_0 - начальная фаза колебаний
 ω_0 - определяется только параметрами колебательной системы


 $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$
 l - длина нити
 g - ускор. свог. пад.


 $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$
 m - масса груза
 k - жесткость пружины

Известно, что $\omega_0 = 2\pi \nu_0 \Rightarrow \nu_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$, но $T = \frac{1}{\nu_0} \Rightarrow$
 $\Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega_0} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ и $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$

С т.з. математически уравнения (*) равносильны.

Если $\varphi_0 = 0 \Rightarrow x = X_0 \sin(\omega_0 t)$ и $x = X_0 \cos(\omega_0 t)$

можно получить $v(t)$ и $a(t)$: $v(t) = x'(t) = \frac{dx}{dt}$
 $a(t) = x''(t) = \frac{d^2x}{dt^2}$ или $a(t) = v'(t) = \frac{dv}{dt}$

3. Графики колебаний

График вынужденных гармонических представляет собой обычную синусоиду или косинусоиду:

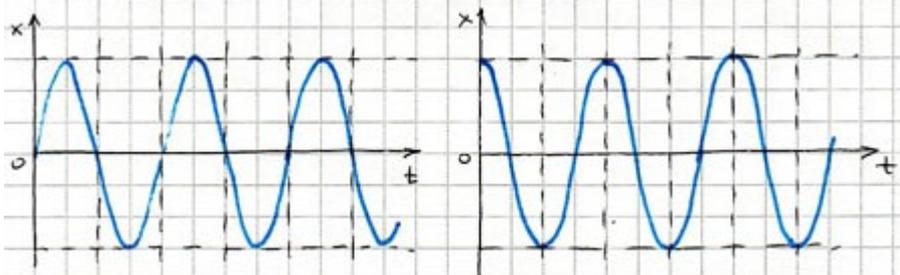
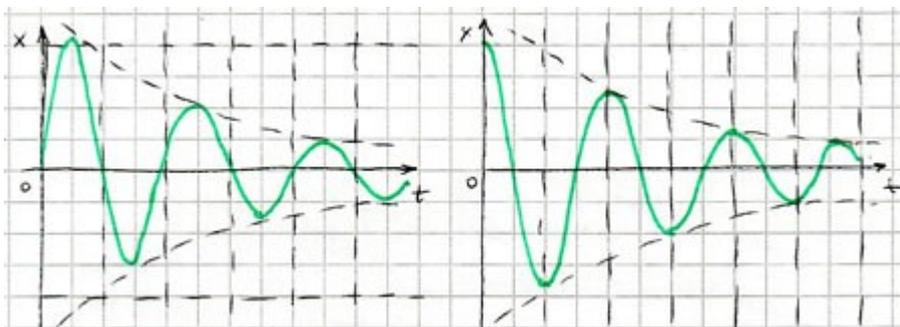


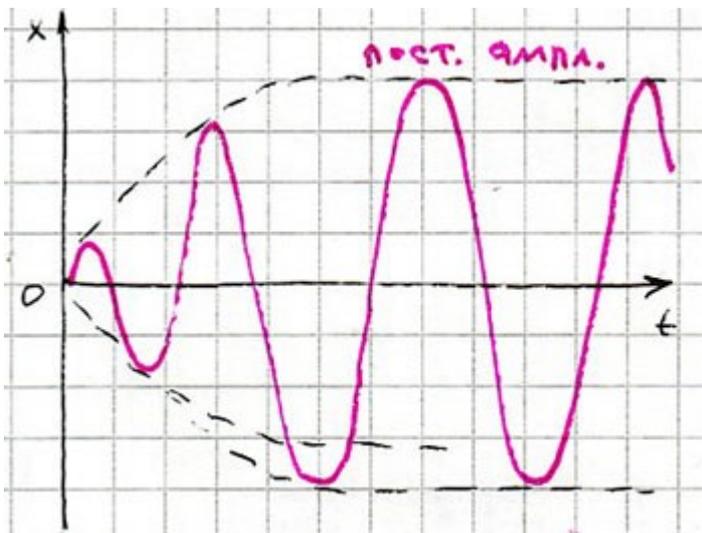
График свободных гармонических колебаний - это "затухающая" синусоида или косинусоида, т.к. в реальной системе $F_{тр}$ и $F_{сопр}$ не равны нулю:



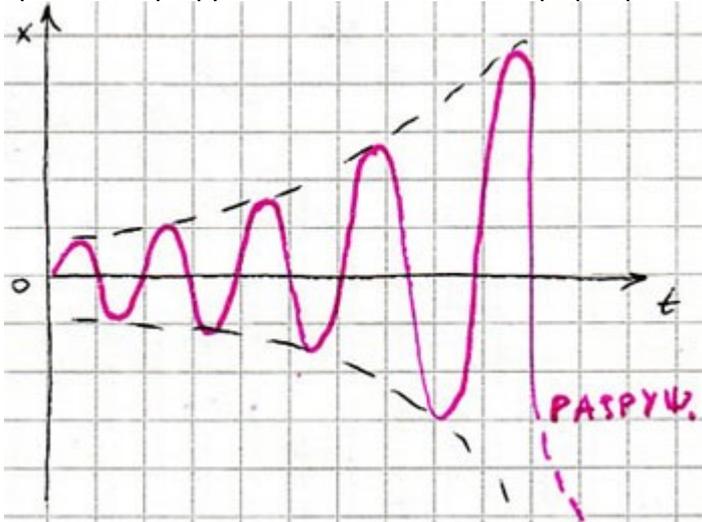
С колебаниями связано такое физическое явление как резонанс.

Резонанс - это явление возрастания амплитуды колебаний в системе, если частота внешнего периодического воздействия совпадает с собственной частотой колебательной системы.

Если $F_{тр}$ и $F_{сопр}$ в системе значительны, то график резонансных колебаний будет таким:



Если $F_{\text{тр}}$ и $F_{\text{сопр}}$ в системе равны нулю, то колебания в системе резко возрастают до такой степени, что происходит разрушение самой системы и график резонансных колебаний будет таким:



Зависимость $x(\nu)$ - координаты от частоты представляет собой кривую с максимумом в точке $\nu = \nu_0$, т.е. когда частота внешнего воздействия совпадает с собственной частотой колебательной системы, наблюдается максимум отклонения от положения равновесия - резонанс:

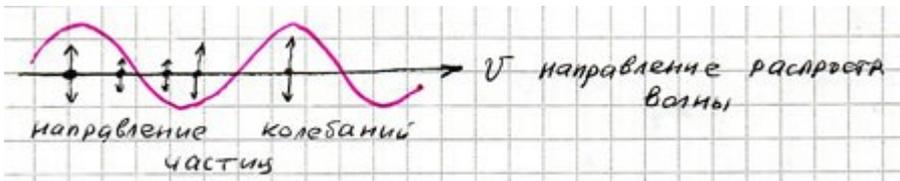


3. Механические волны

Волной называется распространение колебаний в пространстве с течением времени. При распространении волны происходит *перемещение определенного состояния среды* (возмущение среды), но не перенос вещества. Пример: теплопроводность твердых тел (см. Тема 9, п. 8).

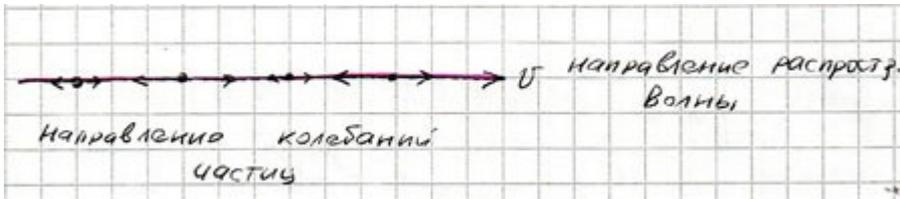
Важнейшей характеристикой волны является ее **скорость**. Волна любой природы распространяется в пространстве с конечной скоростью.

Волны бывают **поперечные**, когда направление колебаний частиц перпендикулярно направлению распространения волны:



(пример: волны на поверхности воды)

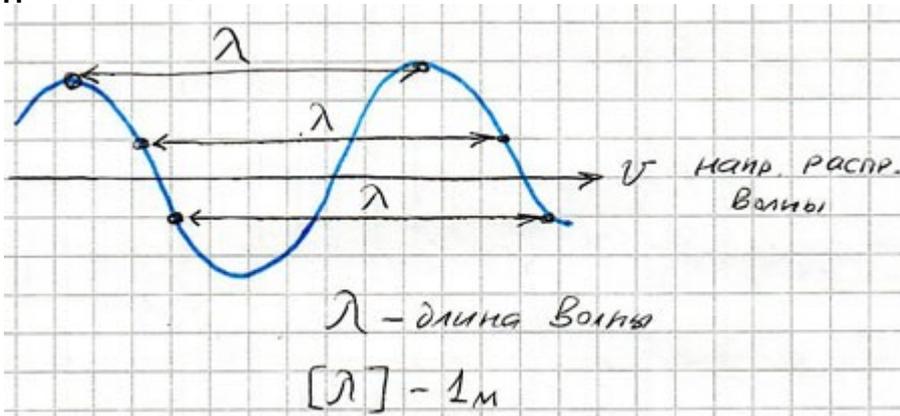
и продольные, когда направление колебаний частиц происходит вдоль направления распространения волны:



(пример: деформация пружин амортизаторов автомобиля)

Во время распространения волны происходит передача энергии, т.к. изменяется состояние среды => меняется скорость движения и силы взаимодействия частиц среды => меняются E_k и E_n .

Любая реальная волна постепенно затухает => E_k и E_n постепенно переходят во внутреннюю энергию U . Расстояние между двумя соседними точками волны, которые колеблются с одинаковой фазой, называется **длиной волны**.



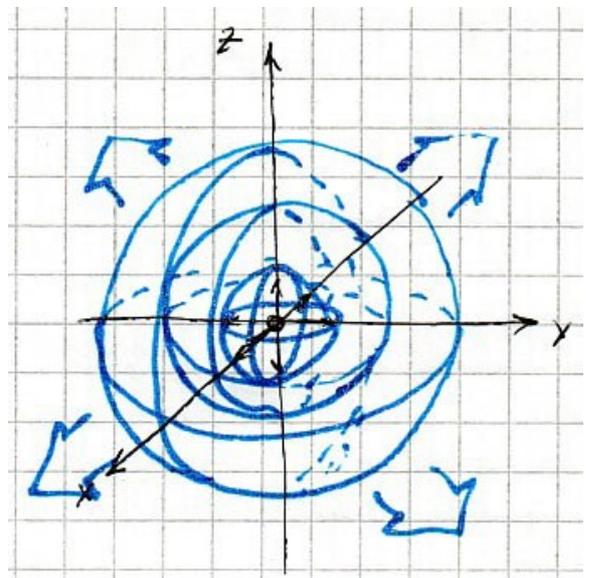
Иначе: длина волны - это расстояние, на которое волна распространяется за время, равное периоду T .

$$v = \frac{\lambda}{T}, \text{ но } T = \frac{1}{\nu} \Rightarrow \boxed{v = \lambda \nu}$$

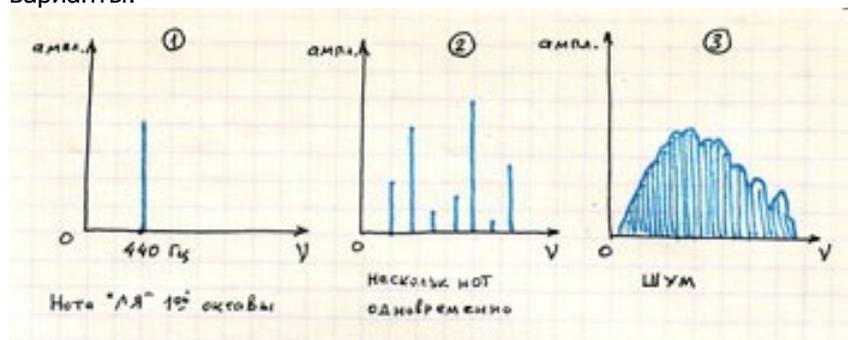
4. Волны в среде

В различных физических средах могут распространяться либо **плоские волны** (на поверхности воды), либо **объемные** - ударные волны в толще Земли или в атмосфере. Плоские волны распространяются в одном направлении, объемные - во всех направлениях. Поверхность волны, точки которой колеблются в одной фазе, называют также **фронтом волны**. Соответственно, у плоской волны фронт - плоский, у объемной - сферический (рис. Справа).

Звуковые волны могут распространяться в газе, жидкости или в твердом теле. При этом колебания частиц среды происходят вдоль направления распространения волны => звуковые волны - *продольные*. В воздухе они представляют собой чередования областей повышенного и пониженного давления. То, что мы называем **звуком** и слышим, соответствует колебаниям частотой **20-20000 Гц**. Колебания более низкой частоты - это **инфразвук**, более высокой - **ультразвук**. Раздел физики, в котором изучают звуковые колебания, называется **акустика**.



Если на графике показать зависимость амплитуды звуковых колебаний от частоты, то возможны следующие варианты:



Графическая зависимость амплитуды (громкости) от частоты звуковых колебаний называется **звуковым спектром** данных колебаний. Как видно, звуковой спектр нескольких "чистых" нот - **линейчатый** (2), а звуковой спектр шума - **сплошной** (3), т.к. в шуме присутствует очень много различных частот и выделить отдельные не представляется возможным. В дальнейшем мы еще неоднократно встретимся со спектрами различных колебаний.

Чем плотнее среда, тем быстрее в ней распространяется звук. Скорость звука **в воздухе при нормальных условиях** (см. Тема 8, п. 6) составляет примерно **330 м/с**.

Волны, распространяясь в среде, могут встречать на своем пути различные препятствия или накладываться друг на друга.

Огибание волнами препятствий, размер которых **не превышает длины волны**, называется **дифракцией**. За таким препятствием нет области "тени" от волны. **Наложение волн** друг на друга называется **интерференцией**. Интерференция возможна, если волны **когерентны**, т.е. если колебания происходят с **одной частотой и постоянной фазой**. Волны также могут беспрепятственно проходить одна сквозь другую.

Контрольные вопросы:

1. Что называют колебанием или колебательным процессом?
2. Дайте определения основных характеристик колебательных процессов.
3. При каких условиях возможно возникновение колебаний?
4. Что представляет собой физический маятник?
5. За счет каких сил физический маятник совершает колебания?
6. Из чего складывается возвращающая сила физического маятника?
7. Какие величины периодически меняются в процессе колебаний физического маятника?
8. Что представляет собой пружинный маятник?
9. За счет каких сил пружинный маятник совершает колебания?
10. Из чего складывается возвращающая сила пружинного маятника?
11. Какие величины периодически меняются в процессе колебаний пружинного маятника?
12. Что представляет собой уравнение колебаний?
13. Какими различными способами можно вывести колебательную систему из положения равновесия?
14. Какие колебания называют гармоническими?
15. Перечислите все параметры уравнения колебаний.
16. Чем определяется собственная циклическая частота маятника?
17. Чем определяется период колебаний маятника?
18. Как определить скорость колебаний из уравнения?
19. Как определить ускорение колебаний из уравнения?
20. Постройте схематически графики вынужденных колебаний.
21. Постройте схематически графики свободных колебаний.
22. Что такое «резонанс» колебательной системы?
23. Постройте схематически колебаний при резонансе, если в системе имеются силы трения и сопротивления.
24. Постройте схематически колебаний при резонансе, если в системе отсутствуют силы трения и сопротивления.
25. Что такое «резонансная кривая»?
26. Что называется волной?
27. Чем различаются продольные и поперечные волны?
28. Почему при распространении волны происходит изменение E_k и E_p ?
29. Какие изменения энергии происходят при затухании волн?
30. Что называется длиной волны?
31. Запишите формулы длины волны через частоту и период колебаний.

32. Какие волны могут быть в различных физических средах?
33. Что такое «фронт волны»?
34. Что представляют собой звуковые волны?
35. На какие типы подразделяют звуковые волны в зависимости от частоты колебаний?
36. Что такое «звуковой спектр»?
37. Какие бывают спектры звуковых колебаний?
38. От чего зависит скорость распространения звуковых волн в воздухе?
39. Что называют «дифракцией волн»?
40. Что называют «дифракцией волн»?

Литература:

[1] стр. 48-74

[3] стр. 240-253