СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

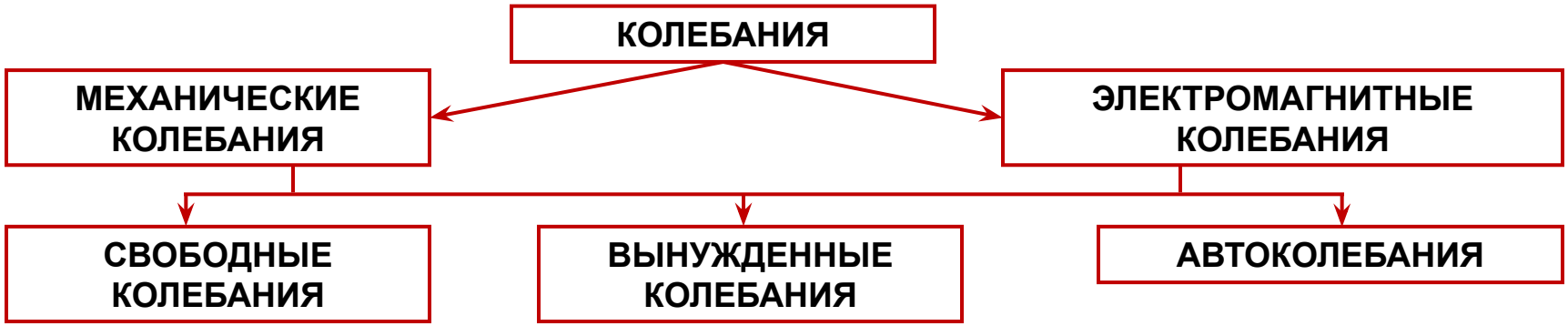
Лекция 3.1 КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Е.В. Феськова,
канд. пед. наук, доцент кафедры «Инженерный бакалавриат CDIO»

Красноярск 2021

ВИДЫ И ПРИЗНАКИ КОЛЕБАНИЙ

Колебания – движения или процессы, повторяющиеся во времени.



Для колебаний характерно:
превращение одного вида энергии в другую – кинетической в потенциальную, магнитной в электрическую и т.д.

Три признака колебательного движения:
повторяемость (**периодичность**) – движение по одной и той же траектории туда и обратно;
ограниченность пределами крайних положений;
действие силы

Условия существования колебаний:
1. Сопротивление системы стремится к нулю;
2. Наличие силы, которая стремится вернуть систему в положение равновесия;
3. Инерция – не позволяет колеблющемуся телу остановиться в устойчивом состоянии

КОЛЕБАНИЯ

Свободные (или собственные) колебания – совершаются за счет первоначально сообщенной энергии при последующем отсутствии внешних воздействий на колебательную систему

Затухающие колебания — колебания, амплитуды которых из-за потерь энергии реальной колебательной системой с течением времени уменьшаются.

Автоколебания — незатухающие колебания, которые могут существовать в системе без воздействия на нее внешних периодических сил

– незатухающие колебания в системе, амплитуда и частота которых в течение длительного промежутка времени могут оставаться постоянными, не зависят от начальных условий и определяются свойствами самой системы

ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Колебания, которые совершаются с течением времени по закону синуса или косинуса, называют **гармоническими колебаниями**.

Уравнение колебательного движения записывают в виде

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_0) \qquad \text{или} \qquad x = A\sin(\omega t + \varphi_0)$$

x **– смещение** в данный момент времени, расстояние материальной точки от положения равновесия до точки, в которой она находится *(м)*;

***A* – амплитуда** колебания, характеризующая величину наибольшего смещения материальной точки от положения равновесия *(м)*;

$(\omega t + \phi_0)$ – фаза колебания, определяет смещение колеблющейся величины от положения равновесия в данный момент времени *(рад)*;

ω– циклическая (круговая, собственная) **частота,** показывает сколько колебаний совершается за 2π секунд *(рад/с)*;

ϕ_0 – начальная фаза колебания, определяет смещение колеблющейся величины от положения равновесия в начальный момент времени *(рад)*

ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Период колебания Т – это промежуток времени одного полного колебания *(с)*.

Период колебания Т- минимальный промежуток времени, по истечении которого повторяются значения всех физических величин, характеризующих колебание

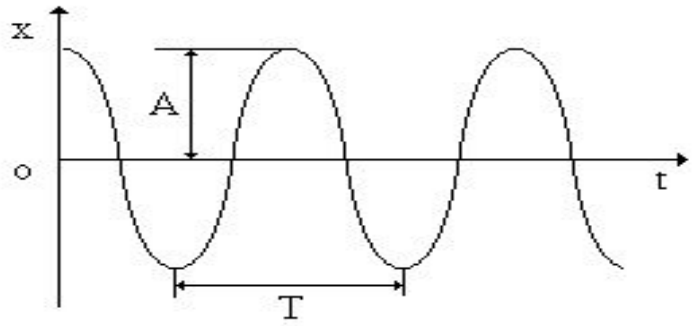
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu}$$

Частота колебаний определяется, как число полных колебаний в 1 секунду. Частоту, измеряют в герцах (1/с; Гц):
1 Гц = 1 колебание в секунду.

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

Циклическая (круговая, собственная) частота – число полных колебаний за 2 π секунд. Измеряют в *рад/с*.

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



ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Смещение описывается уравнением $$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

Скорость гармонических колебаний $$\upsilon_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -\omega A\sin(\omega t + \varphi)$$

Амплитуда скорости гармонических колебаний $$\omega A = \upsilon_m$$

Ускорение гармонических колебаний $$a_x = \frac{\mathrm{d}\upsilon_x}{\mathrm{d}t} = -\omega^2 A\cos(\omega t + \varphi)$$

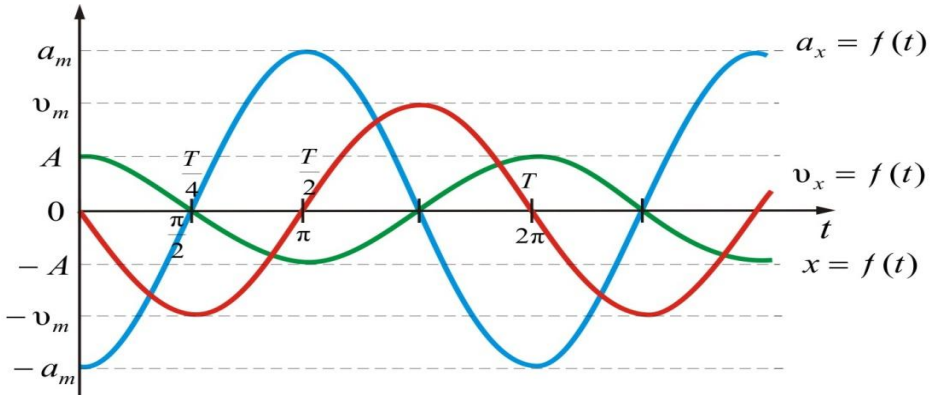
Амплитуда ускорения гармонических колебаний $$\omega^2 A = a_m$$

Сила при гармонических колебаниях $$F = -m \cdot \omega^2 \cdot A\cos(\omega t + \varphi)$$

Амплитуда силы при гармонических колебаниях $$F_x = -m \cdot \omega^2 \cdot A$$

сила пропорциональна смещению материальной точки из положения равновесия и направлена в противоположную сторону (к положению равновесия).

ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ



Ускорение и смещение опережают колебания скорости по фазе на π/2

дифференциальное уравнение гармонических колебаний (ускорение в любой момент времени пропорционально смещению и всегда направлено противоположно смещению)

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

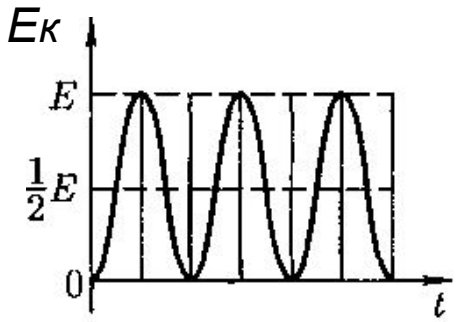
решение дифференциального уравнения гармонических колебаний

$$x = A\cos(\omega t + \varphi)$$

ЭНЕРГИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

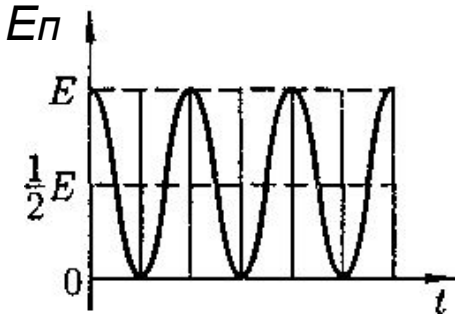
Кинетическая энергия материальной точки, совершает гармонические колебания с круговой частотой 2ω, а величина ее периодически изменяется от 0 до ½ m $\omega^2 A^2$.

$$E_K = \frac{m \cdot \upsilon^2}{2} = \frac{m \cdot \omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0)}{2}$$

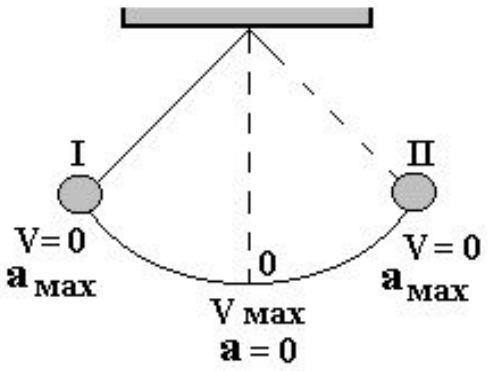


Потенциальная энергия физической системы периодически изменяется от 0 до m $\omega^2 A^2/2$ и совершает гармонические колебания с круговой частотой 2ω.

$$E_П = \frac{m \cdot \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0)}{2}$$



ПОЛНАЯ ЭНЕРГИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ



Полная механическая энергия системы:

$$E = E_K + E_П = \frac{m \cdot \omega^2 A^2}{2} = const$$

Полная энергия остается постоянной, так как при гармонических колебаниях справедлив закон сохранения энергии, поскольку упругая сила консервативна

Полная энергия колебательной системы, совершающей колебания

$$E = \frac{m \cdot \omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0)}{2} + \frac{m \cdot \omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0)}{2}$$

Амплитуда полной энергии не зависит от времени $E = \frac{m \cdot \omega^2 A^2}{2}$

так как $\sin^2 \alpha = \cos^2 \alpha$, то $\langle E_K \rangle = \langle E_П \rangle = \frac{1}{2} E$

ГАРМОНИЧЕСКИЙ ОСЦИЛЛЯТОР

Гармоническим осциллятором называется система, совершающая колебания, изменяющиеся по гармоническому закону и описываемые уравнением вида

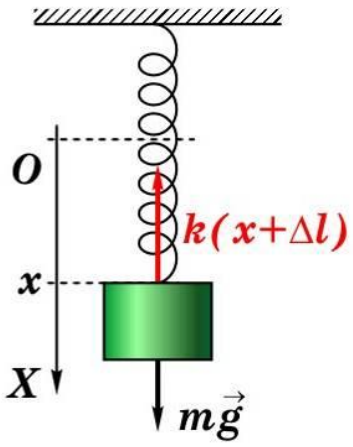
$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$$

Примерами гармонического осциллятора являются пружинный, физический и математический маятники, колебательный контур

ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК

Пружинный маятник – это груз массой *m*, подвешенный на абсолютно упругой пружине с жесткостью *k*, совершающий гармонические колебания под действием упругой силы

$$F = -k\Delta x$$



Период колебаний пружинного маятника

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

Выполняется если масса пружины мала по сравнению с массой тела

Квадрат круговой частоты прямо пропорционален коэффициенту жесткости пружины *k* и обратно пропорционален его массе *m*

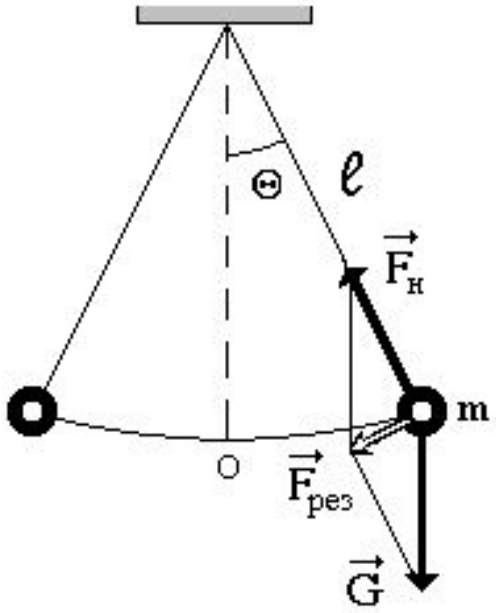
$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

Потенциальная энергия пружинного маятника

$$E_П = \frac{k^2}{2}$$

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Математическим маятником называют материальную точку, закрепленную на невесомой и нерастяжимой нити, совершающую свободные гармонические колебания в вертикальной плоскости под действием силы тяжести.



Собственная частота колебания математического маятника

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

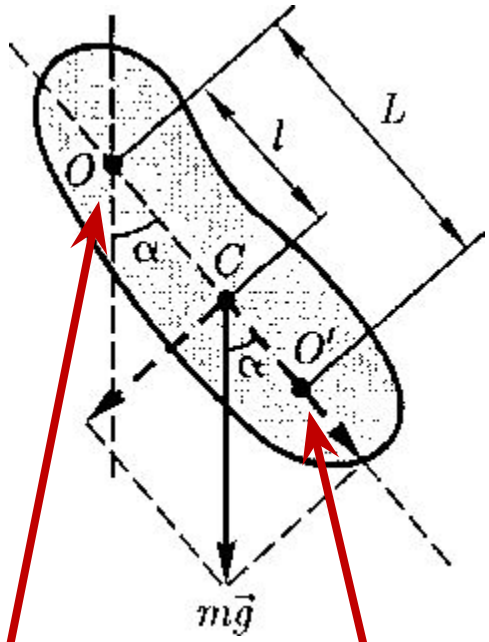
Период колебаний математического маятника

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

математический маятник частный случай физического маятника

ФИЗИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

Физический маятник – твердое тело произвольной формы, свободно совершающее колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси, не проходящей через его центр масс



Точка подвеса

Центр качений

Собственная частота колебания физического маятника

$$\omega = \sqrt{\frac{mgl}{J}}$$

Период колебаний физического маятника

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgl}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

Приведенная длина физического маятника

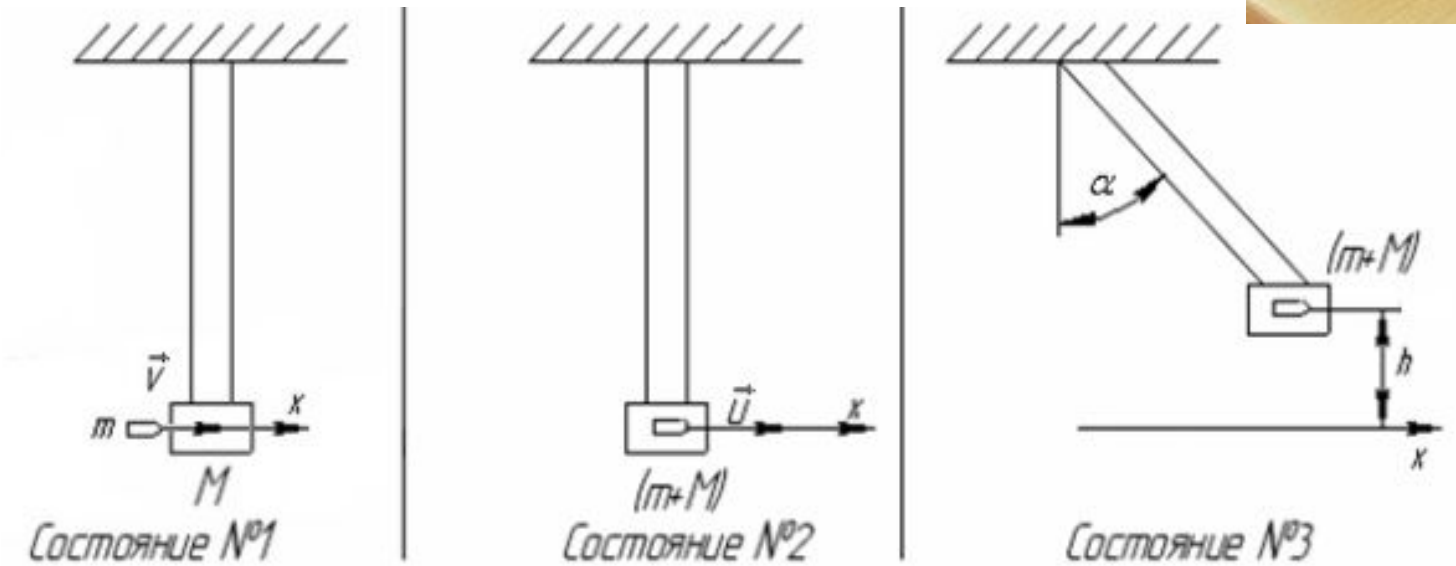
$$L = \frac{J}{ml}$$

Точка подвеса маятника и центр качаний обладают **свойством взаимозаменяемости**: если точку подвеса перенести в центр качаний, то прежняя точка подвеса станет новым центром качаний, и период колебаний физического маятника не изменится

БАЛЛИСТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

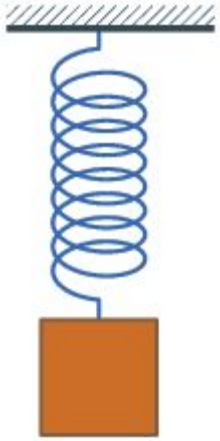
Баллистический маятник представляет собой тяжелое тело, подвешенное на двойных нитях.

$$\upsilon = \frac{M + m}{m} \cdot \sqrt{2gh}$$

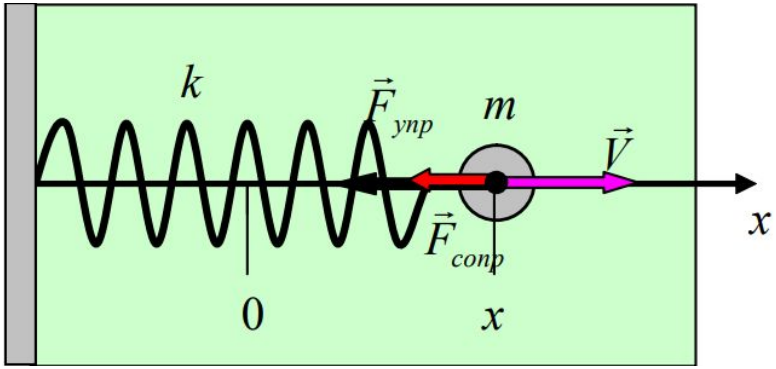


ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ

Затухающие колебания — колебания, амплитуды которых из-за потерь энергии реальной колебательной системой с течением времени уменьшаются.
Энергия механических колебаний постепенно расходуется на работу против сил трения и амплитуда колебаний уменьшается



Затухающие колебания характеризуются тем, что амплитуда *A* является убывающей функцией. Затухание происходит под действием сил сопротивления среды, выражаемых линейной зависимостью от скорости колебаний.



Сила трения (или сопротивления)

$$F_{тр} = -r\vec{\upsilon}$$

где *r* – коэффициент сопротивления,
$\vec{\upsilon}$ – скорость движения

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ СВОБОДНЫХ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

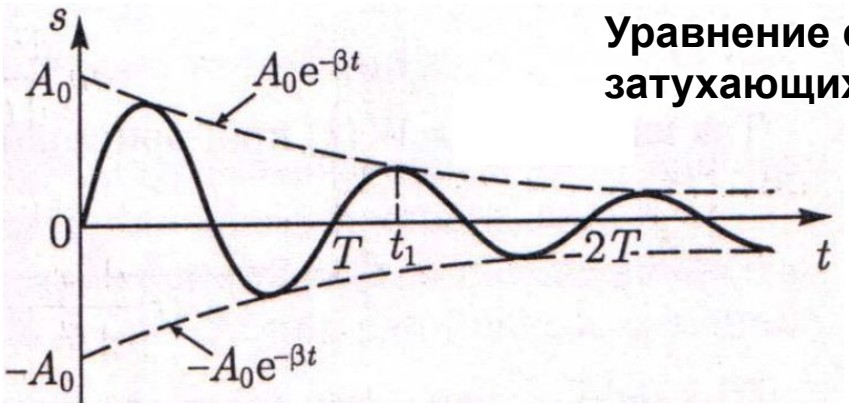
Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta\frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$$

где ***x*** — колеблющаяся величина, описывающая тот или иной физический процесс,

β = const —коэффициент затухания,

ω_0 — собственная циклическая частотой колебательной системы, т. е. частота свободных незатухающих колебаний той же колебательной системы при β = 0 (при отсутствии потерь энергии)



Уравнение свободных затухающих колебаний

$$x = Ae^{-\beta t}\sin\left(\omega t + \varphi_0\right)$$

Амплитуда свободных затухающих колебаний

$$A = A_0e^{-\beta t}$$

Коэффициент затухания $\delta = \frac{r}{2m}$

r — коэффициент сопротивления

Собственная частота системы – частота, с которой совершались бы свободные колебания системы в отсутствии сопротивления среды

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ СВОБОДНЫХ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

Дифференциальное уравнение свободных затухающих колебаний

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta\frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$$

В зависимости от величины коэффициента затухания решение разделяется на три возможных варианта.

Апериодичность
Если β > 1, то колебания с самого начала экспоненциально затухают. **Сильное затухание**

Граница апериодичности
Если β = 1, в данном случае может иметь место временный рост, но потом – **экспоненциальное затухание**.

Слабое затухание
Если β <1

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ СВОБОДНЫХ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

Коэффициент затухания – определяет, насколько быстро уменьшается амплитуда колебаний с течением времени.

$$\beta = \frac{r}{2m}$$

Время релаксации – промежуток времени τ = 1/β, в течение которого амплитуда затухающих колебаний уменьшается в e = 2.7 раз

Период затухающих колебаний равен (условно)

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 - \beta^2}}$$

Ne – число колебаний за промежуток времени, в течение которого амплитуда уменьшается в e раз. Время одного колебания – период

$$N_e = \frac{\tau}{T} = \frac{1}{\beta T}$$

Циклическая частота затухающих колебаний

$$\omega = \sqrt{\omega^2 - \beta^2}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{r}{2m}\right)^2}$$

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ СВОБОДНЫХ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

Логарифмическим декрементом затухания – отношения амплитуд затухающих колебания в моменты времени, разделенные промежутком в один период

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \frac{A_0 e^{-\beta t}}{A_0 e^{-\beta(t+T)}} = \ln\ e^{\beta T} = \beta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{N_e}$$

N_e— число колебаний, совершаемых за время уменьшения амплитуды в е раз. Логарифмический декремент затухания — постоянная для данной колебательной системы величина

Добротность – физическая величина, характеризующая потери энергии при затухающих колебаниях. Добротность безразмерна.

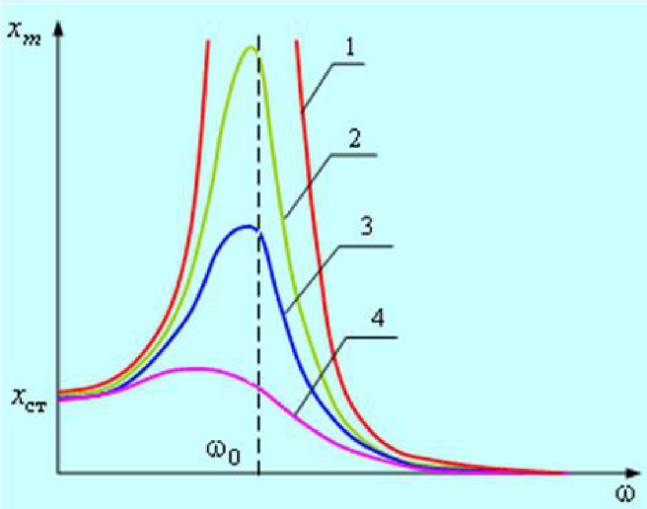
$$Q = \frac{\pi}{\lambda} = \pi N_e = \frac{\pi}{\beta T_0} = \frac{\omega}{2\beta}$$

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ. РЕЗОНАНС

зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты при различных значениях β:

1- коэффициент $\beta=0$;

2,3,4 – реальные резонансные кривые при $\beta_2 < \beta_3 < \beta_4$

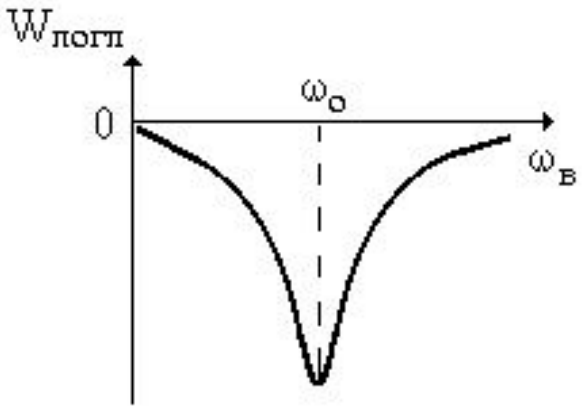


Чем меньше β, тем выше и правее лежит максимум данной кривой

С увеличением коэффициента затухания явление резонанса проявляется все слабее и исчезает при

$$\beta > \frac{\omega}{\sqrt{2}}$$

амплитуда вынужденных колебаний зависит от вынуждающей частоты и имеет резонансный максимум при $\omega_в = \omega_o$,; поглощаемая энергия, наоборот, имеет резонансный минимум, «провал» или «яму»

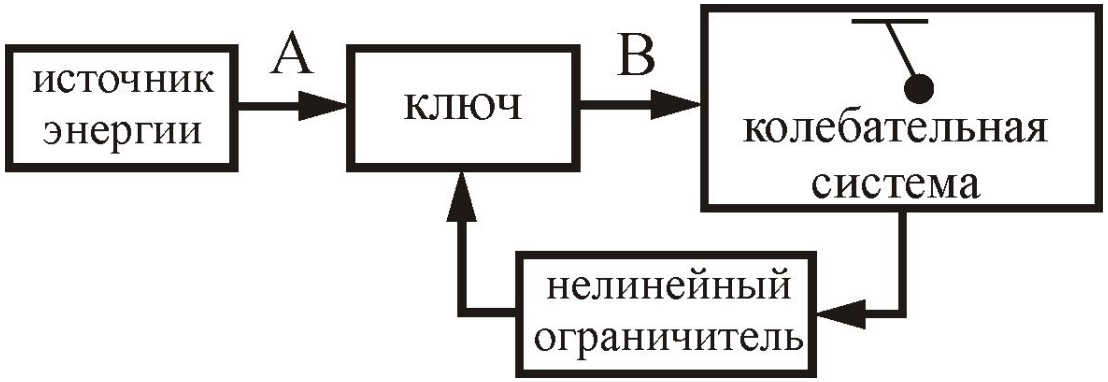


АВТОКОЛЕБАНИЯ

Классическим примером автоколебательной системы служат механические часы с маятником и гирями.

Автоколебания — незатухающие колебания, поддерживаемые в диссипативной системе за счет постоянного внешнего источника энергии, причем свойства этих колебаний определяются самой системой

Принцип работы всех автоколебательных систем

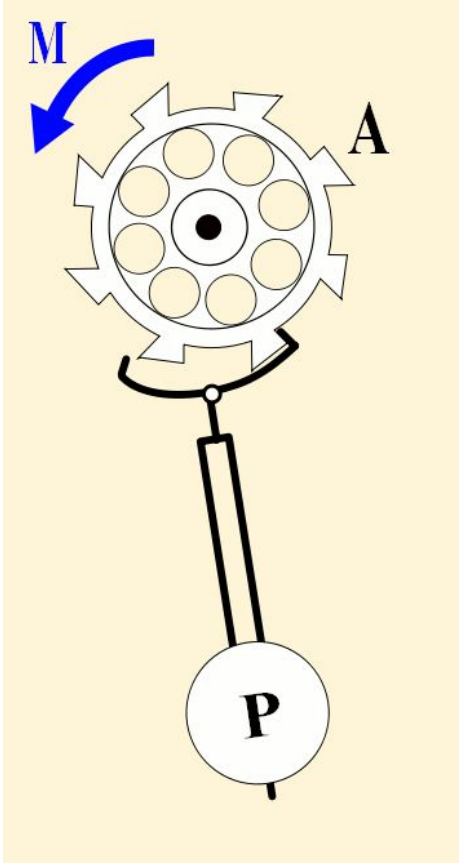


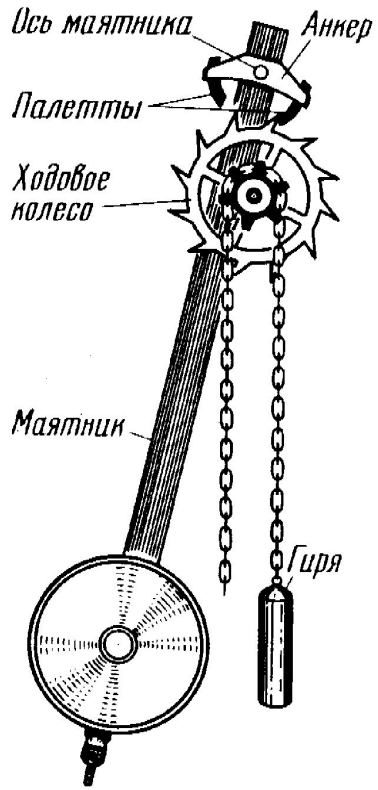
Периодическим поступлением энергии в колебательную систему от источника энергии по каналу АВ управляет сама колебательная система посредством обратной связи.

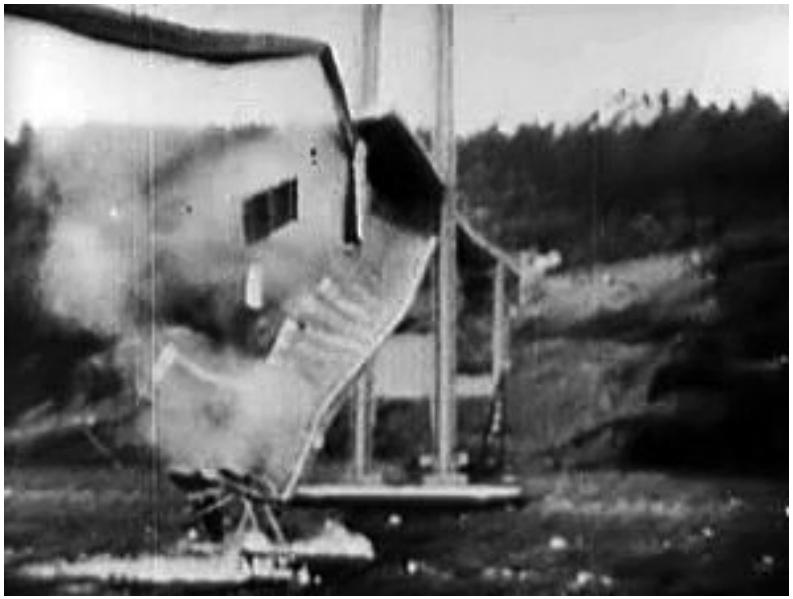
АВТОКОЛЕБАНИЯ

В конструкции часового механизма присутствует специальное устройство – анкер, выполняющий роль ключа.

Анкер, представляющий собой коромысло, приводится в колебание самим маятником часов.







Разрушение Тэкомского моста (США) 7 ноября 1940 года вследствие автоколебаний, возникших под действием ветра.

ЗАДАЧИ 1

1.1 Начальная фаза гармонического колебания ϕ=0. При смещении точки от положения равновесия x_1 = 2,4 см скорость точки v_1 = 3 см/с, а при смещении x_2 = 2,8 см ее скорость v_2 = 2 см/с. Найти амплитуду A и период T этого колебания.

1.2 К пружине подвешен груз массой m = 10 кг. Зная, что пружина под влиянием силы F = 9,8 Н растягивается на l = 1.5 см, найти период T вертикальных колебаний груза.

1.3 Период затухающих колебаний T=4c; логарифмический декремент затухания λ=1,6; начальная фаза ϕ_0=0. При t=T/4 смещение точки x=4,5см. Написать уравнение движения этого колебания.

СВОБОДНЫЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

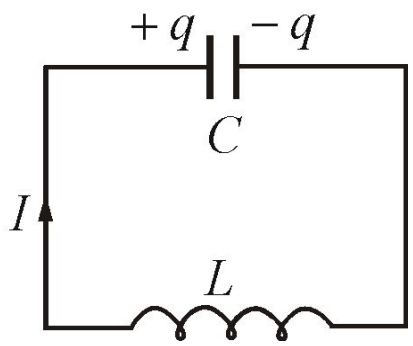
Электромагнитными колебаниями называют периодические взаимосвязанные изменения заряда, силы тока и напряжения.

Свободными колебаниями называют такие, которые совершаются без внешнего воздействия за счет первоначально накопленной энергии.

Свободные электромагнитные колебания – это периодически повторяющиеся изменения электромагнитных величин (q – электрический заряд, I – сила тока, U – разность потенциалов), происходящие без потребления энергии от внешних источников.

Простейшей электрической системой, способной совершать свободные колебания, является **последовательный LC-контур** или **колебательный контур**.

СВОБОДНЫЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ



Колебания в контуре можно вызвать либо зарядив конденсатор, либо вызвав в катушке ток

в начальный момент времени t=0 между обкладками конденсатора возникнет электрическое поле, энергия которого

$$W = \frac{Q^2}{2C}$$

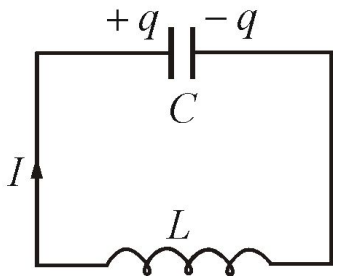
При замыкании конденсатора на катушку индуктивности, он начнет разряжаться, и в контуре потечет возрастающий со временем ток I.
Энергия электрического поля конденсатора будет уменьшаться, а энергия магнитного поля катушки возрастать

$$W = \frac{LI^2}{2}$$

Так как R ≈ 0, то, согласно закону сохранения энергии, полная энергия колебательного контура равна

$$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{LI^2}{2} = const$$

СВОБОДНЫЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ



заряд на обкладке конденсатора изменяется по гармоническому закону с частотой **ω₀**

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

Сила тока в катушке

$$I = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t + \varphi) = I_m \cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

Напряжение на конденсаторе

$$U = \frac{q_m}{C}\cos(\omega_0 t + \varphi) = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

ω_0 – собственная частота контура

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Период колебаний определяется по **формуле Томсона**

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$$

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Вынужденные электромагнитные колебания в цепи, содержащей резистор, катушку индуктивности и конденсатор называются **переменным током**

Законы Ома и правила Кирхгофа (установлены для постоянного тока) − справедливы для мгновенных значений изменяющегося тока

Переменный ток квазистационарный – мгновенные значения силы тока в сечениях цепи одинаковы, так как их изменения происходят медленно, а электромагнитные возмущения распространяются по цепи со скоростью света

Электромагнитные сигналы распространяются по цепи со скоростью света ***c, l*** – длина электрической цепи; **t** - время распространения сигнала в данной цепи

$$t = \frac{l}{c}$$

Закон Ома для контура

$$U_m = I_m \sqrt{\frac{L}{C}}$$

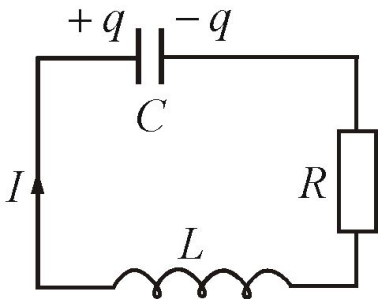
Волновое сопротивление [Ом]

$$R_{вол} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

ВЫНУЖДЕННЫЕ ЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Вынужденными называются колебания в цепи под действием внешней периодической электродвижущей силы

Реальный контур обладает **активным сопротивлением R**. Энергия контура расходуется в на нагревание и колебания затухают

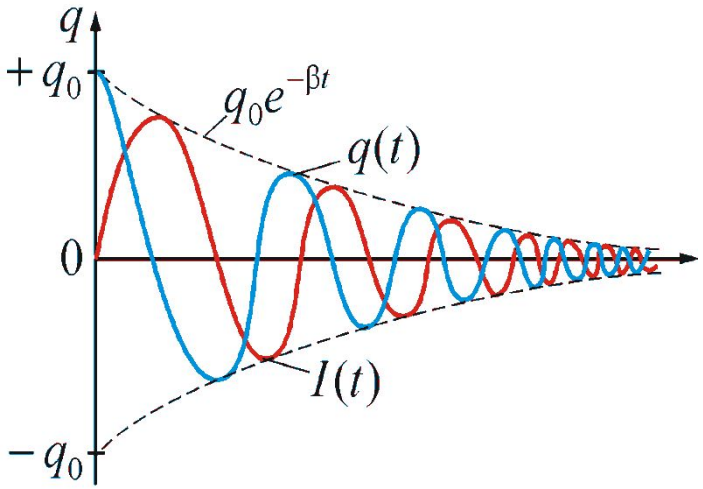


Уравнение свободных затухающих колебаний в контуре R,L и C

$$\frac{d^2q}{dt^2} + 2\beta\frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0$$

Решение уравнения:

$$q = q_0 e^{-\beta t}\cos(\omega t + \varphi)$$



Коэффициент затухания

$$\beta = R / 2L$$

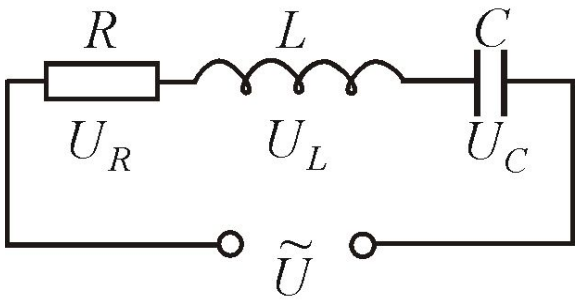
Декремент затухания

$$\frac{A(t)}{A(t+T)} = e^{\beta T}$$

Логарифмический декремент затухания

$$\chi = \ln\frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T$$

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ



К контуру подается переменное напряжение *U* :

$$U = U_m \cos \omega t$$

$$U = U_R + U_L + U_C$$

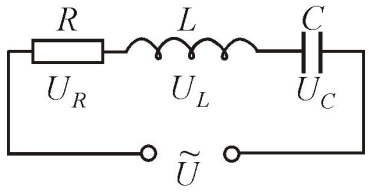
Уравнение силы тока

$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega_0 q_m \sin(\omega_0 t + \varphi) = I_m \cos\left(\omega_0 t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

Уравнение заряда

$$q = q_m \cos(\omega t + \varphi)$$

ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



Напряжение в цепи

$$U_m = I_m \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Закон Ома для переменного тока с последовательно соединенными R, L и C

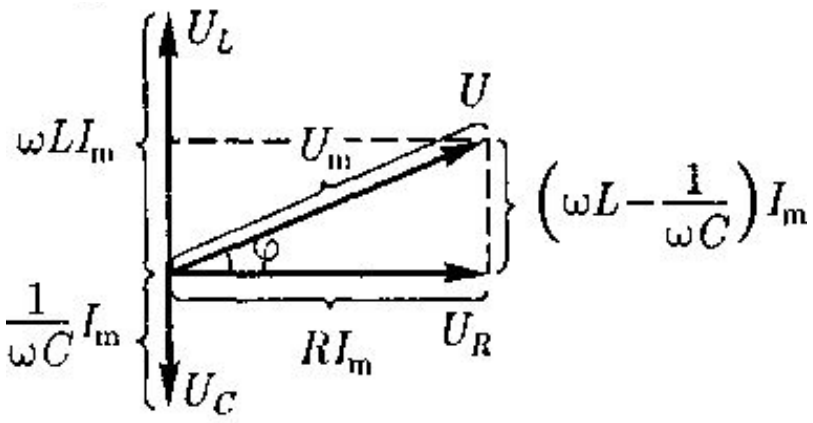
$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{U_m}{Z}$$

полное сопротивление цепи или импеданс - отвечает за потерю мощности в цепи

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

угол ф определяет разность фаз между напряжением и силой тока

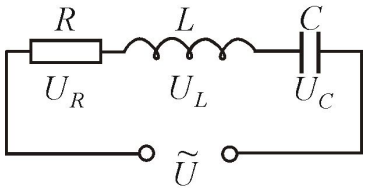
$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{U_p}{U_a} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$



реактивное сопротивление - определяет величину энергии пульсирующей в цепи с частотой 2ω

$$X = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ



При последовательном соединении *R*, *L*, *C*, при наблюдается **резонанс**

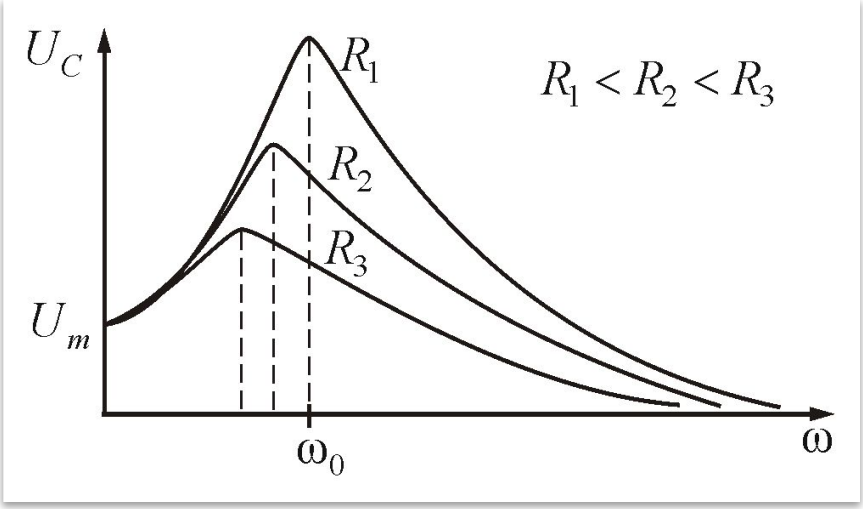
$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

Резонансная частота

$$\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

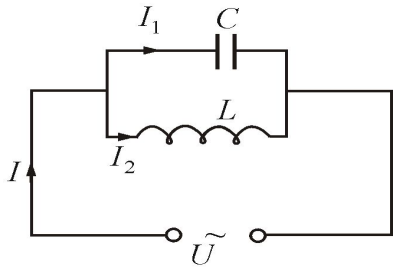
Тогда $U = U_R$, а U_C и U_L одинаковы по амплитуде и противоположны по фазе

Такой вид резонанса называется **резонансом напряжения** или **последовательным резонансом**



Эффект **используется в усилительных устройствах**

РЕЗОНАНС ТОКОВ



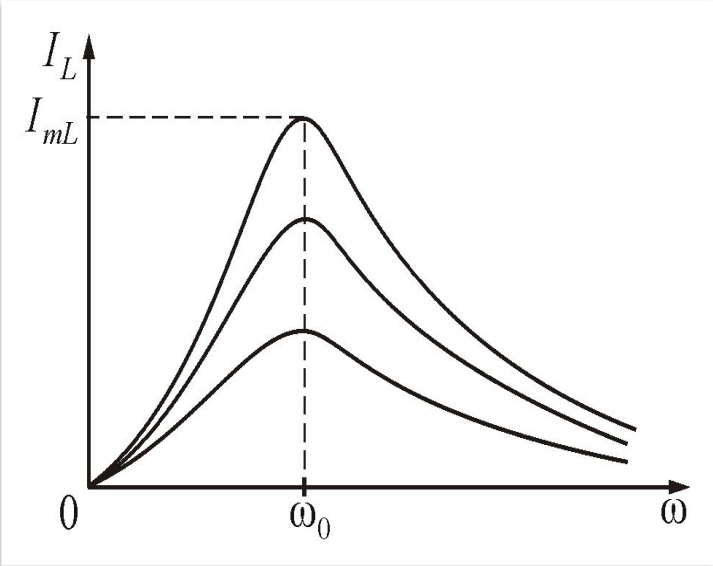
В цепях переменного тока содержащих параллельно включенные ёмкость и индуктивность наблюдается другой тип резонанса

$$I_1 = I_{m1}\cos(\omega t - \varphi_1) \qquad I_2 = I_{m2}\cos(\omega t - \varphi_2)$$

Разность фаз в ветвях цепи $\varphi_1 - \varphi_2 = \pi$ т.е. токи противоположны по фазе

Если $\omega \to \omega_{рез} = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ то $I_{m1} = I_{m2}$ следовательно $I_m \to 0$

Ёмкость конденсатора можно подобрать так, что **в результате резонанса ток в подводящих цепях резко уменьшается, зато ток через индуктивность возрастёт**

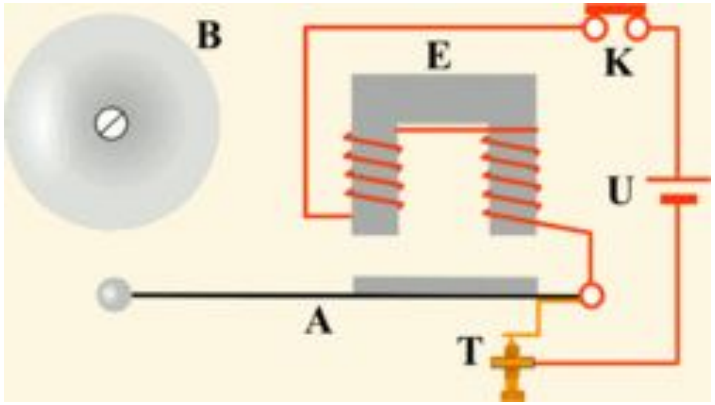


Уменьшение амплитуды тока во внешней цепи и резкое увеличение тока в катушке индуктивности, при приближении частоты приложенного напряжения ω к $\omega_{рез}$ называется **резонансом токов**, или **параллельным резонансом**

Используется в резонансных усилителях, приемниках, а также в индукционных печах для разогрева металла

АВТОКОЛЕБАНИЯ

Простейший пример релаксационных автоколебаний – работа электрического звонка.



Источник постоянного (непериодического) воздействия – электрическая батарея **U**; нелинейный регулятор – прерыватель **T**, замыкающий и размыкающий электрическую цепь, в результате чего в ней возникает прерывистый ток; колеблющимися элементами являются магнитное поле, периодически наводимое в сердечнике электромагнита **E**, и якорь **A**, движущийся под воздействием переменного магнитного поля. Колебания якоря приводят в действие прерыватель, что и образует обратную связь.

ВОЛНЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ ВОЛН

Волна – это процесс распространения колебаний (возмущений) в среде

Волнами называют распространяющиеся в веществе или поле возмущения какой-либо физической величины, характеризующей состояния этого вещества или поля.

Если какое-либо тело (источник колебаний) совершает колебания в упругой среде, то оно воздействует на частицы среды, заставляя их совершать вынужденные колебания.

Упругие волны распространяются в упругой среде.
Основное свойство волн –перенос импульса и энергии без переноса вещества

При распространении волны, частицы среды не движутся вместе с волной, а колеблются около своих положений равновесия

Вместе с волной от частицы к частице, передается лишь состояние колебательного движения и его энергия

МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

Среди волн, встречающихся в природе и технике, выделяются их типы: **волны на поверхности жидкости, упругие и электромагнитные волны**

Волны на поверхности жидкости (поверхностные волны) – это распространяющиеся вдоль свободной поверхности жидкости (или поверхности раздела двух несмешивающихся жидкостей) возмущения этой поверхности, возникающие под влиянием внешних воздействий (падения тел, движения судов, ветра и тому подобное). В образовании и распространении этих волн определяющую роль играют силы поверхностного натяжения и тяжести.

Упругими (или механическими) волнами называются механические возмущения, распространяющиеся в упругой среде (звуковые и сейсмические волны (колебания, распространяющиеся в Земле от очагов землетрясений, взрывов и других источников))

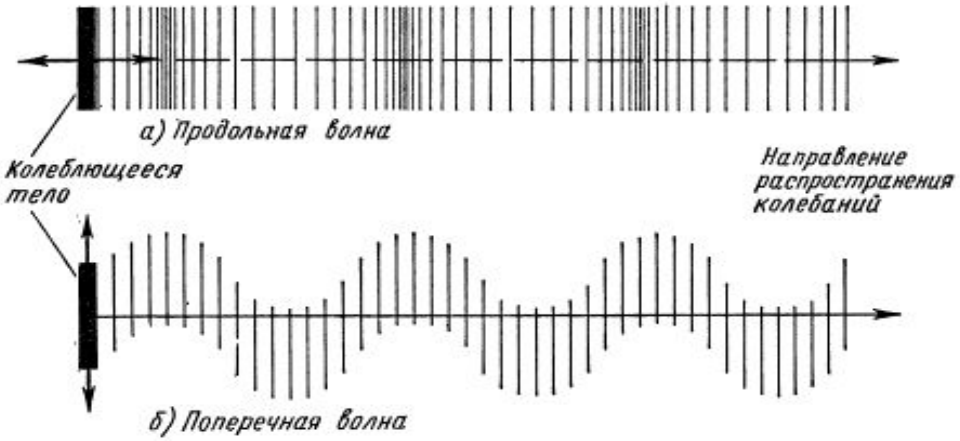
МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

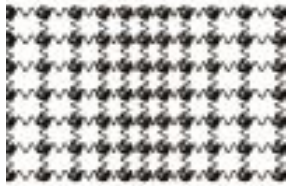
УПРУГИЕ ВОЛНЫ

Продольные
- волны, при распространении которых частицы среды колеблются в направлении распространения волны

Поперечные –
волны, при распространении которых частицы среды колеблются в направлении перпендикулярном распространению волны

в твердой, жидкой и газообразной средах



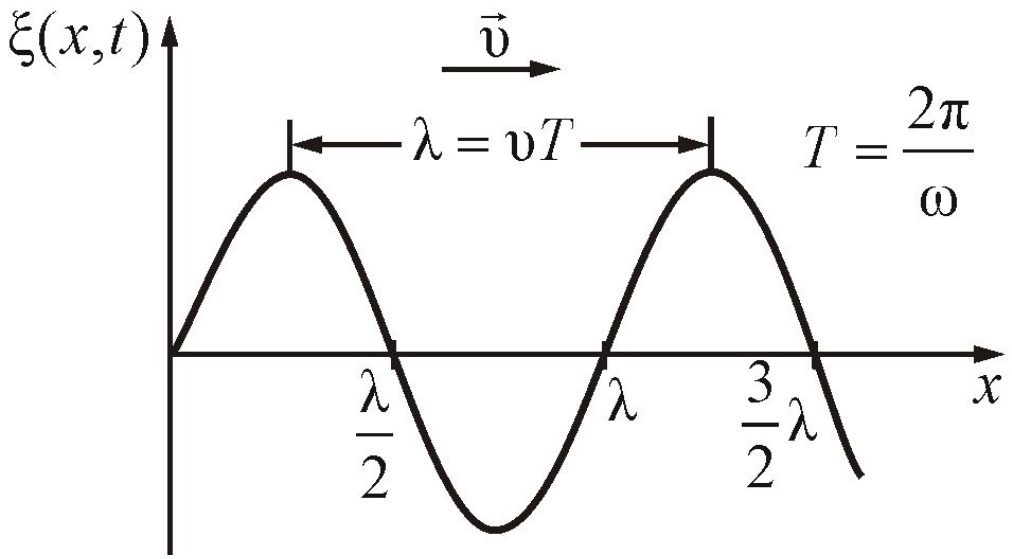


в твердой, среде

МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

Монохроматической называется волна определенной частоты или длины волны

Упругая волна называется **гармонической**, если соответствующие ей колебания частиц среды являются гармоническими



Расстояние между ближайшими частицами, колеблющимися в одинаковой фазе, называется **длиной волны λ**

$$\lambda = \upsilon T$$

v – частота T– период

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

$\upsilon = \lambda \nu$ – скорость распространения волны :

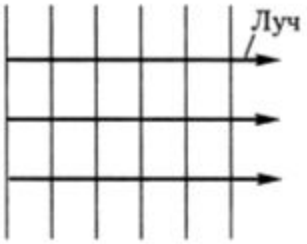
ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Фронт волны – геометрическое место точек, до которых доходит возмущение в момент времени t. В однородной среде направление распространения перпендикулярно фронту волны. Фронт волны – один. Фронт волны постоянно перемещается.

Волновая поверхность – геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе. Число волновых поверхностей – бесконечно. Волновые поверхности неподвижны.

ВИДЫ ВОЛН ПО ВОЛНОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Плоская - волна, фазовые поверхности которой представляют собой совокупность параллельных друг другу плоскостей



Сферическая - волна, фазовые поверхности которой представляют собой совокупность концентрический сфер

УРАВНЕНИЕ ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ

Уравнение плоской волны, распространяющейся вдоль положительного направления оси x в среде, **не поглощающей энергию**, имеет вид (общий случай)

$$\xi(x, t) = A\cos\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right)$$

где A=const - амплитуда волны,

ω - циклическая частота,

ϕ_0 - начальная фаза волны, определяемая в общем случае выбором начал отсчета x и t,

$\omega\left(t - \frac{x}{\upsilon}\right) = const$ - фаза плоской волны

Выражение определяет связь между временем (t) и тем местом (x), в котором зафиксировано определенное значение фазы

Таким образом, скорость распространения волны U в уравнении - есть скорость перемещения фазы, в связи, с чем ее называют **фазовой скоростью**

УРАВНЕНИЕ ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ

Для характеристики волн используют **волновое число** $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{\upsilon T} = \frac{\omega}{\upsilon}$

Тогда **уравнение плоской волны** запишется так $\xi = A\cos(\omega t - kx + \varphi_0)$

Скорость распространения волны (скорость перемещения фазы волны), называют **фазовой скоростью.** Из формулы для волнового числа получим формулу для фазовой скорости

$$\frac{\omega}{k} = \upsilon$$

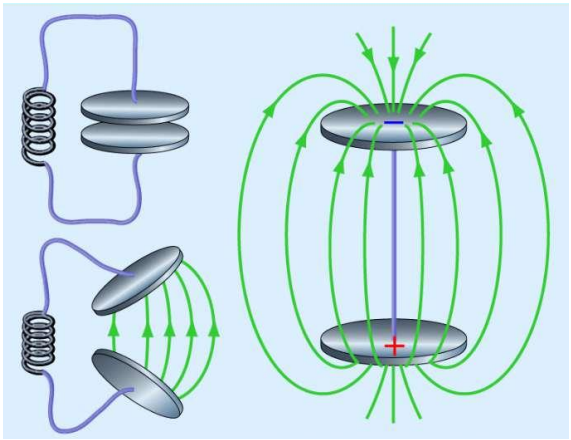
Если **фазовая скорость волн** в среде **зависит от их частоты**, то это явление называют **дисперсией волн**, а среда, в которой наблюдается дисперсия волн, называется **диспергирующей средой**

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Генрих Рудольф Герц
(1857 -1894)

Электромагнитные волны — распространение в пространстве с конечной скоростью переменного электромагнитного поля

Источником электромагнитных волн может быть любой электрический колебательный контур или проводник, по которому течет переменный электрический ток.



Переменное электрическое поле

или

Переменное магнитное поле

→ **Электромагнитные волны**

Излучающая способность источника определяется его формой, размерами и частотой колебаний

Чтобы излучение было значительным, необходимо увеличить объем пространства, в котором переменное электромагнитное поле создается

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Скорость распространения электромагнитных волн в среде зависит от ее электрической и магнитной проницаемостей.

$n = \sqrt{\varepsilon\mu}$ абсолютный показатель преломления

$$\upsilon = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}\frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{c}{n} \quad \text{и} \quad n = \frac{c}{\upsilon}$$

показатель преломления есть физическая величина, равная отношению скорости электромагнитных волн в вакууме к их скорости в среде

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

1820 год Ампер открыл закон, показывающий, что электрический ток производит магнитное поле.
1831 год Фарадей открыл закон электромагнитной индукции.
1864 год Максвелл создал теорию электромагнитного поля.
1888 год Герц подтвердил существование электромагнитного поля.
1891 год Тесла улучшил и запатентовал передатчик волн Герца для радиочастотного энергоснабжения.
1894 год Тесла зажёг без проводов фосфорную лампу накаливания.
1894 год Боше дистанционно воспламенил порох, показывая, что сигналы связи можно посылать без проводов.
25 апреля (7 мая) 1895 года А. Попов продемонстрировал изобретённый им радиоприёмник и передал сигнал на 50 км.
2 июня 1896 года Маркони подал заявку на изобретение радио.
2009 год норвежская компания «Wireless Power & Communication» представила фонарь, способный безопасно работать и перезаряжаться бесконтактным способом.
2009 год фирма «Haier Group» представила первый в мире полностью беспроводной LCD-телевизор, основанный на беспроводной передаче энергии.
2015 год учёные из Вашингтонского университета выяснили, что электричество можно передавать посредством технологии Wi-Fi.
2017 год учёные того же университета создали прототип мобильного телефона без батареи.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

С помощью спектрального анализа

- открывают новые элементы (рубидий, цезий и др.)
- узнали химический состав Солнца и звезд
- определяют состав руд и металлов

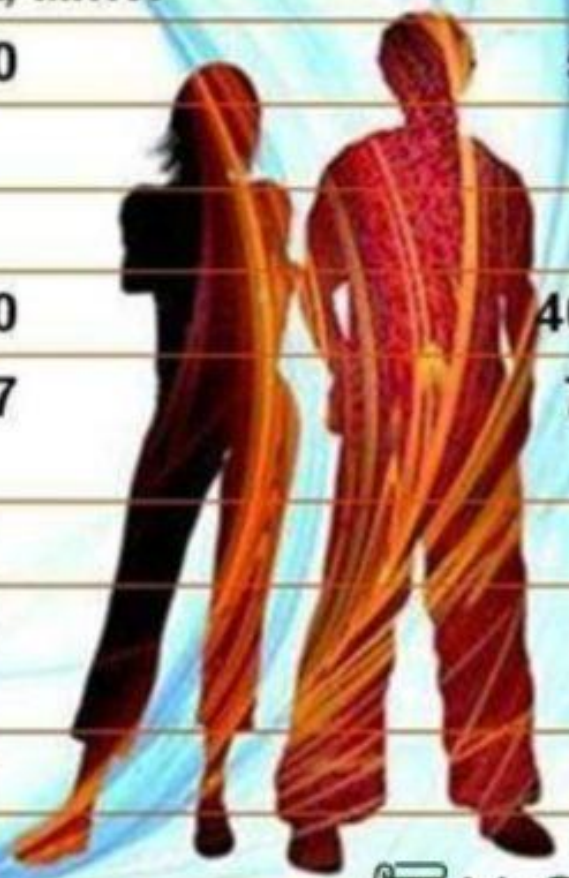
Спектральный анализ является основным методом контроля в металлургии, машиностроении, атомной промышленности.

Источники Электромагнитных излучений в быту

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Превышение допустимых норм электромагнитного излучения (ЭМИ)

Источник ЭМИ	Показатели излучения, мкТл	Превышение, раз
Компьютер	1–100	5–500
Холодильник	1	5
Кофеварка	10	50
Печь СВЧ	8–100	40–500
Электробритва и фен	15–17	75–85
Провод от лампы	0,7	3,5
Трамвай, троллейбус	150	750
Метро	300	1500
Сотовый телефон	40	200

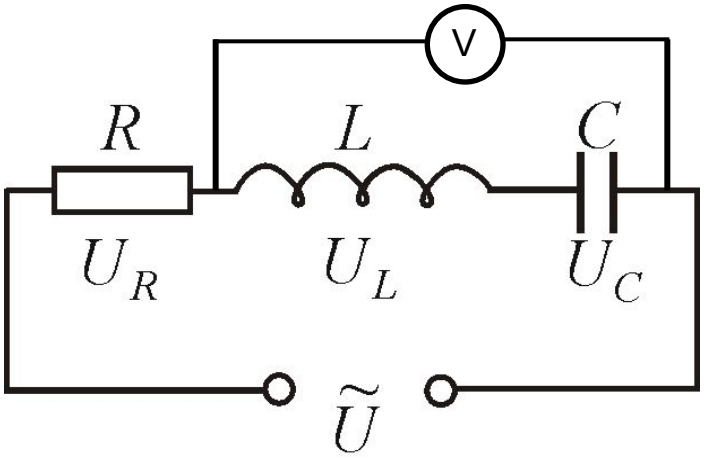


MyShared

Предельно допустимая норма для человека — 0,2 мкТл.

ЗАДАЧИ 2

2.1 Колебательный контур содержит катушку индуктивностью L = 25 мГн, конденсатор емкостью C = 10 мкФ и резистор сопротивлением R = 1 Ом. Конденсатор заряжен количеством электричества Q_m = 1 мКл. Определите: 1) период колебаний контура; 2) логарифмический декремент затухания колебаний; 3) уравнение зависимости изменения напряжения на обкладках конденсатора от времени.

2.2 Определите логарифмический декремент затухания при котором энергия колебательного контура за N = 5 полных колебаний уменьшается в n = 8 раз.

2.3 В цепи переменного тока с частотой ω = 314 рад/с вольтметр показывает нуль при L = 0,2 Гн. Определите емкость конденсатора.