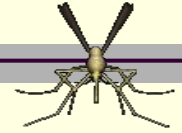


Коливальні рухи. Гармонічні КОЛИВАННЯ

КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ

Коливання - один з найпоширеніших процесів у природі і техніці.



- крила комах і птахів у польоті,

- висотні будівлі і високовольтні

- дроти під дією вітру,

- маятник заведених годинників і

- автомобіль на ресорах під час руху,

- рівень річки протягом року і температура людського тіла при хворобі.



Проміжок часу, протягом якого рух повторюється називається **періодом.**

Рух, який повторюється через певний проміжок часу, називається **коливальним**

Ознакою коливального руху є його **періодичність**

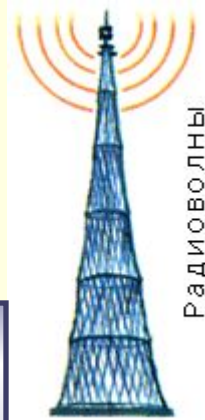
Види коливань



Механічні



Електромагнітні



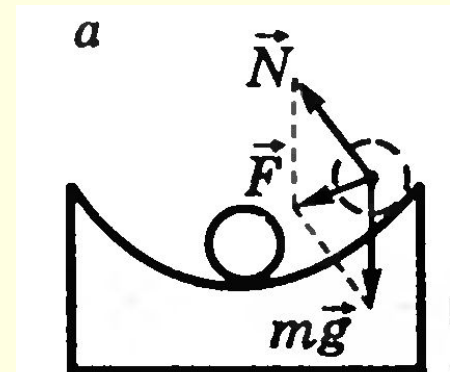
Атомні

Термодинамічні

- Всі вони мають між собою багато спільного і тому описуються одними і тими ж **рівняннями**.

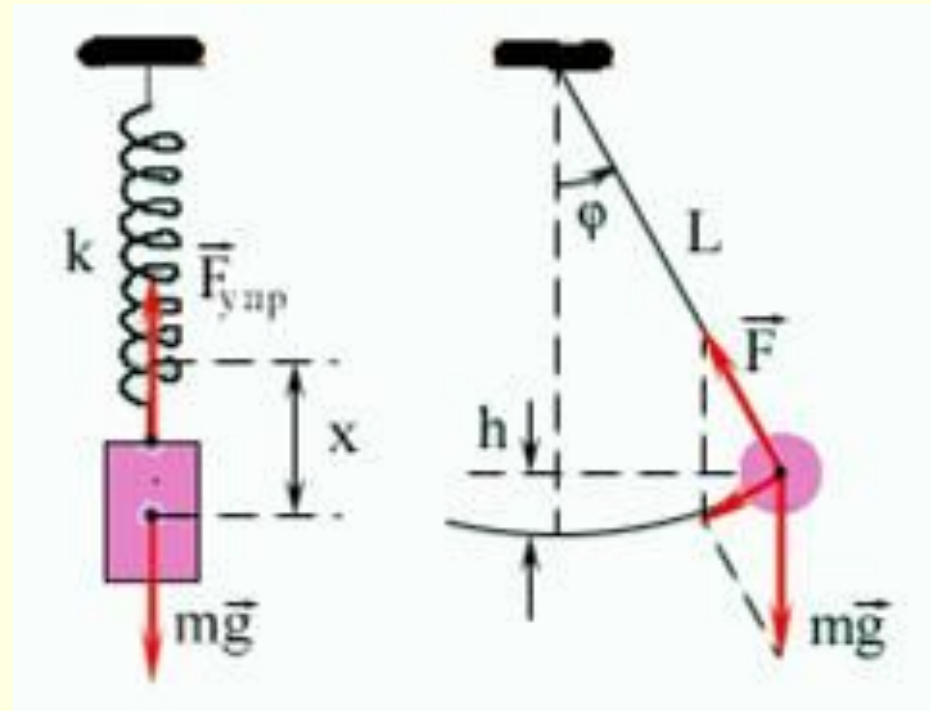
Механічні коливальні рухи

- Рухи при яких стан руху тіла повторюється через певні проміжки часу
- Періодичні коливання – це коливання при яких стан руху коливної системи повторюється через рівні проміжки часу
- Коливна система – тіло (система тіл), яке здійснює коливні рухи при виведенні з стану рівноваги



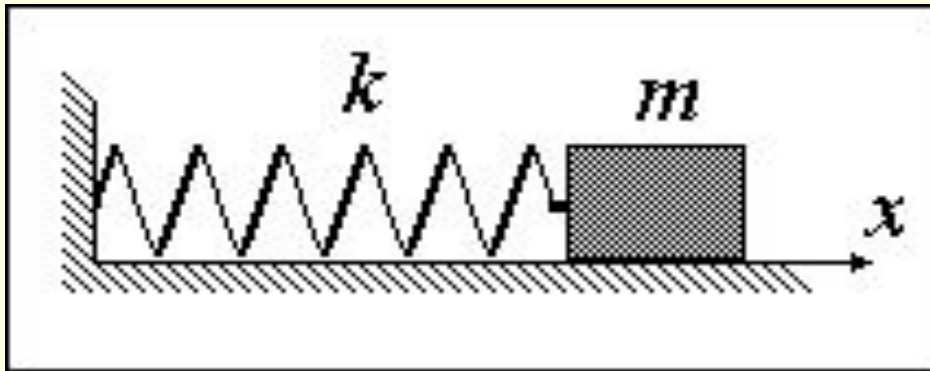
Вільні коливання

- Коливання, які відбуваються під дією внутрішніх сил коливної системи
- Повертаюча сила
- Стан рівноваги

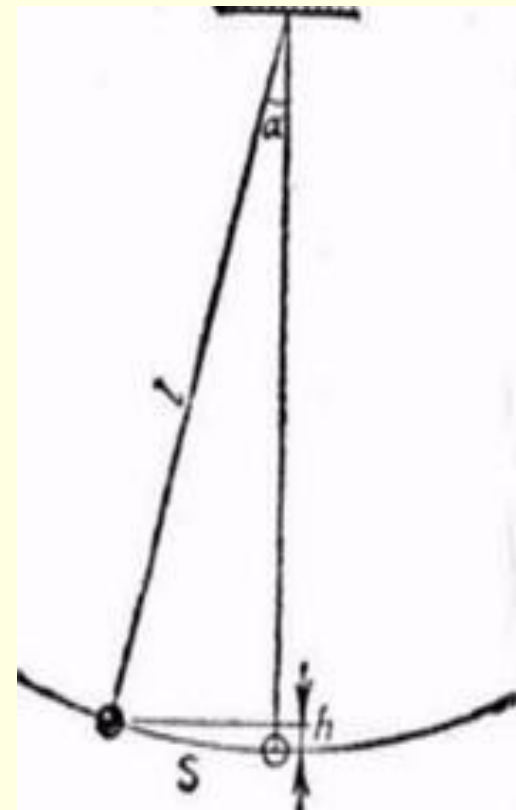


Механічні коливальні системи

- Пружинний маятник



- Математический маятник



Гармонічні коливання

- Коливання при яких зміщення матеріальної точки від положення рівноваги змінюється за законом синуса чи косинуса

$$x = x_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Коливні величини

- ϕ_0 – початкова фаза (рад)
- T – період коливань (с)
- ν - частота коливань (Гц)
- ω - циклічна частота (рад/с)

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

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

Фаза коливань. Різниця фаз

- У будь-який момент часу швидкості маятників спрямовані в протилежні боки - коливання відбуваються в протилежних фазах.
- У будь-який момент часу швидкості маятників спрямовані в один бік - коливання відбуваються в однакових фазах.



Коливання відбуваються з певною різницею фаз

Координата, швидкість, прискорення

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

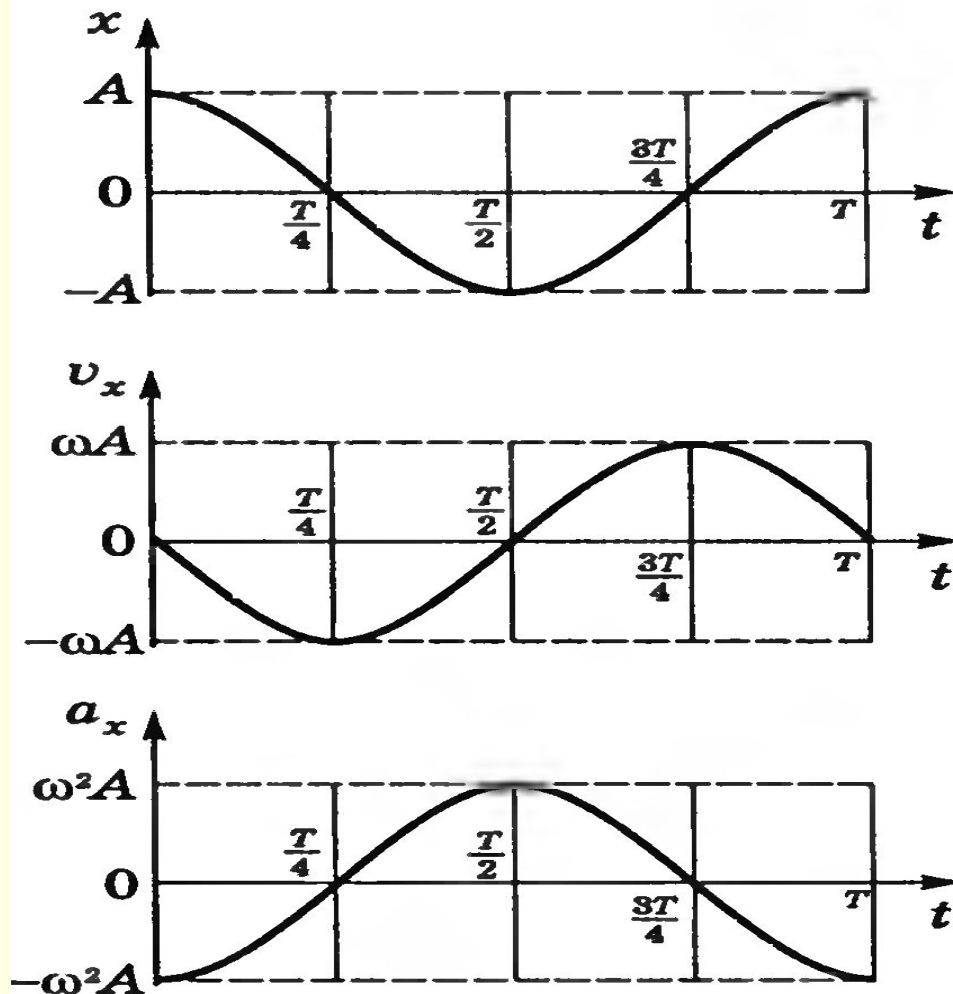
$$v_x = x' = -\omega A \sin \omega t = \omega A \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\omega A = |v_x|_m$$

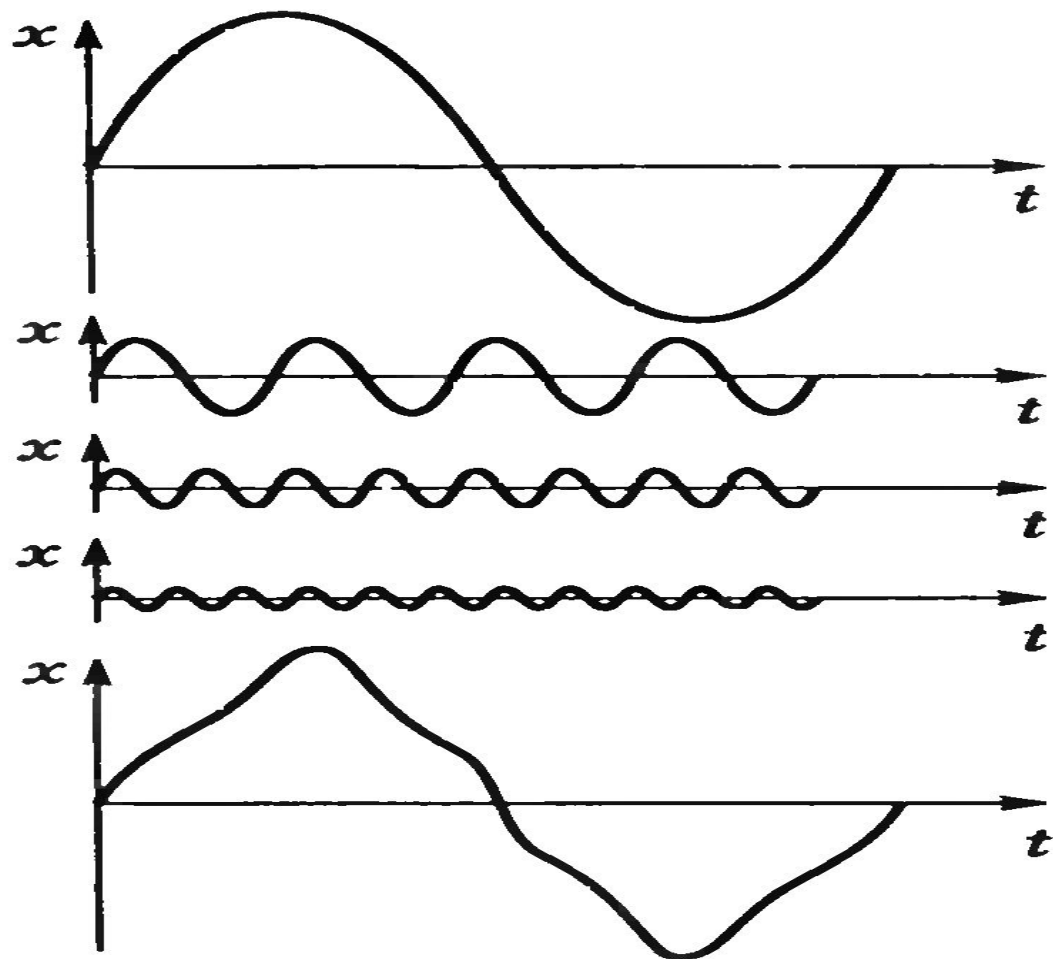
$$a_x = v'_x = -\omega^2 A \cos \omega t = \omega^2 A \cos(\omega t + \pi)$$

$$\omega^2 A = |a_x|_m$$

Графіки залежності коливних величин від часу



Негармонічні коливання



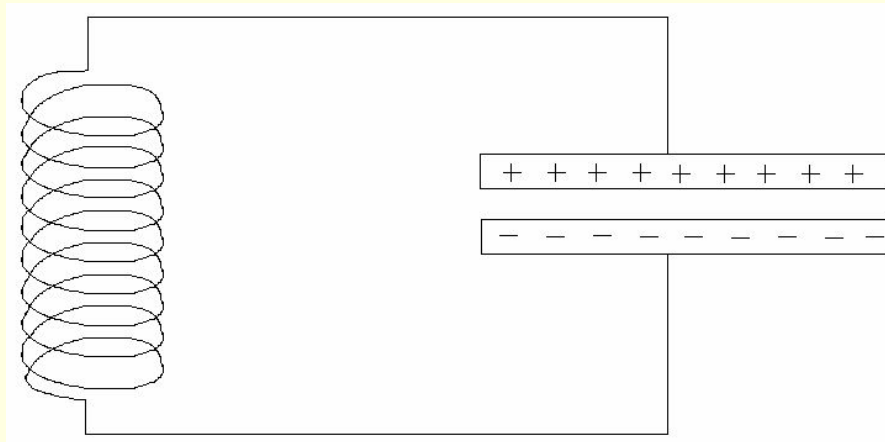
Електромагнітні коливання-

Це періодичні або майже
періодичні зміни
електромагнітних величин:

- заряду,
- сили струму,
- напруги

Коливальний контур

- Найпростіша система в якій можуть відбуватися вільні електричні коливання.
- Ідеальний коливальний контур складається з конденсатора з'єднаного з котушкою.



Електромагнітні коливання бувають:

Вільні електромагнітні коливання – які відбуваються без споживання енергії від зовнішніх джерел .

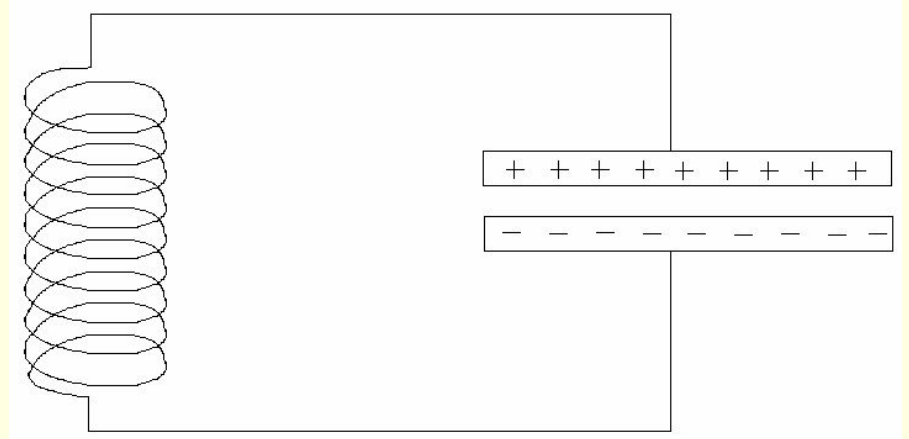
В ідеальному коливальному контурі відбуваються **незгасаючі електромагнітні коливання**.

В неідеальному коливальному контурі, в якому врахується електричний опір, відбуваються **згасаючі електромагнітні коливання**

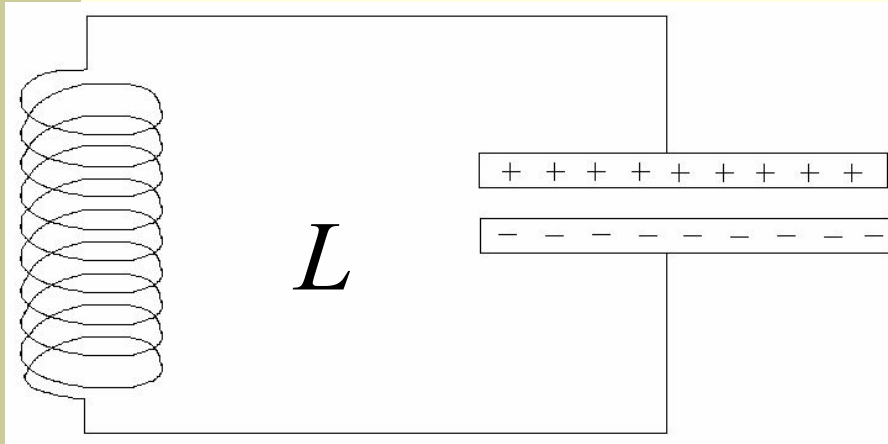
Вимушені – коливання в колі під дією зовнішньої періодичної електрорушійної сили

- Коливальний контур

Ідеальний коливальний контур складається з конденсатора з'єднаного з котушкою.



КОЛИВАЛЬНИЙ КОНТУР СКЛАДАЄТЬСЯ:

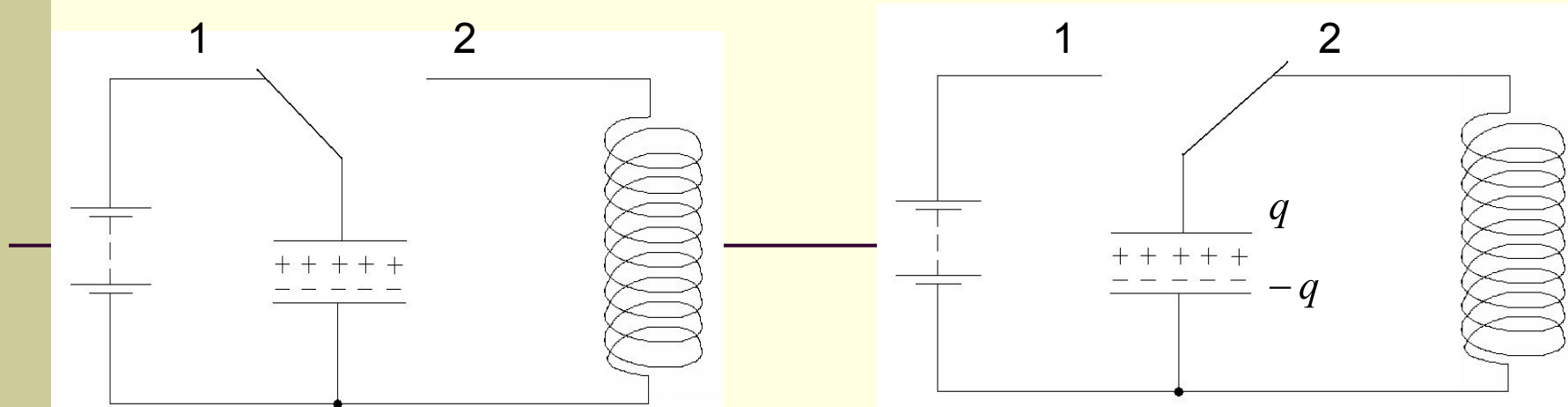


Основна властивість конденсатора – накопичення заряду

Конденсатор – це дві різнойменно заряджені металеві обкладинки, що знаходяться на невеликій відстані одна від одної.

$$C = \frac{q}{u}$$

Головною характеристикою конденсатора є електроємність



Зарядим конденсатор, присоединив его к батарее с помощью переключателя в положение 1.

При этом конденсатор получит энергию

$$W_p = \frac{q_m^2}{2C}$$

Переведём переключатель в положение 2.

Конденсатор начнёт разряжаться, и в цепи появится электрический ток.

При появлении тока возникает переменное магнитное поле.

Это переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое.

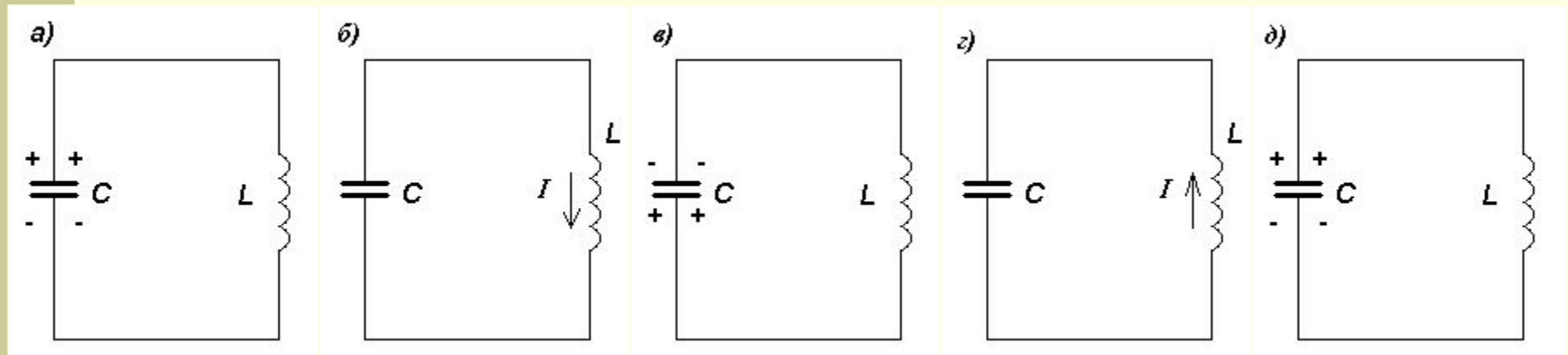
Вихревое электрическое поле при возрастании магнитного поля действует против тока и препятствует его мгновенному увеличению.

По мере разрядки конденсатора энергия электрического поля уменьшается, но одновременно возрастает энергия магнитного поля.

$$W_m = \frac{Li^2}{2}$$

Незатухаючі коливання

Якщо не враховується опір, то електричні коливання в коливальному контурі будуть незатухаючими



$$а) \quad W_p = \frac{q_m^2}{2C}$$

$$б) \quad W_m = \frac{LI_m^2}{2}$$

$$в) \quad W_p = \frac{q_m^2}{2C}$$

$$г) \quad W_m = \frac{LI_m^2}{2}$$

$$д) \quad W_p = \frac{q_m^2}{2C}$$

Повна електромагнітна енергія коливального контура

Максимальная энергия электрического поля
 $\frac{q_m^2}{2C} = \frac{CU_m^2}{2}$

Максимальная энергия магнитного поля
 $\frac{LI_m^2}{2}$

Повна енергія

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C} = \frac{LI_m^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C}$$

де i та q – сила струму та електричний заряд в будь-який момент часу

**Повна енергія W
електромагнітного поля
контура дорівнює сумі енергій
магнітного і електричного
полів:**

$$W = \frac{Li^2}{2} + \frac{q^2}{2C}$$

Коливні величини

- ϕ_0 – початкова фаза (рад)
- T – період коливань (с)
- ν - частота коливань (Гц)
- ω_0 - циклічна частота (рад/с)

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

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

Вільні незатухаючі коливання

Якщо опір R дорівнює нулю, то диференціальне рівняння електромагнітних незатухаючих коливань має вигляд:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0 \quad \longrightarrow \quad \cancel{L} + \omega_o^2 q = 0$$

де $\omega_o^2 = \frac{1}{LC}$

Рішення цього рівняння:

$$q = q_o \sin(\omega_o t + \varphi_o)$$

q_o – амплітуда (максимальне значення заряду);

ω_o – власна циклічна частота коливань;

$(\omega_o t + \varphi_o)$ – фаза коливань; φ_o початкова фаза коливань.

Сила струму в контурі також змінюється за гармонічним законом

$$I = \frac{dq}{dt} = q_o \omega_o \cos(\omega_o t + \varphi) = I_o \cos(\omega_o t + \varphi)$$

де I - сила струму в момент часу t ;
 $I_o = q_o \omega_o$ - амплітудне значення сили струму (максимальне значення).

ЕРС самоіндукції

$$\varepsilon_c = -L \frac{dI}{dt} = L q_o \omega_o^2 \sin(\omega_o t + \varphi) = \varepsilon_o \sin(\omega_o t + \varphi)$$

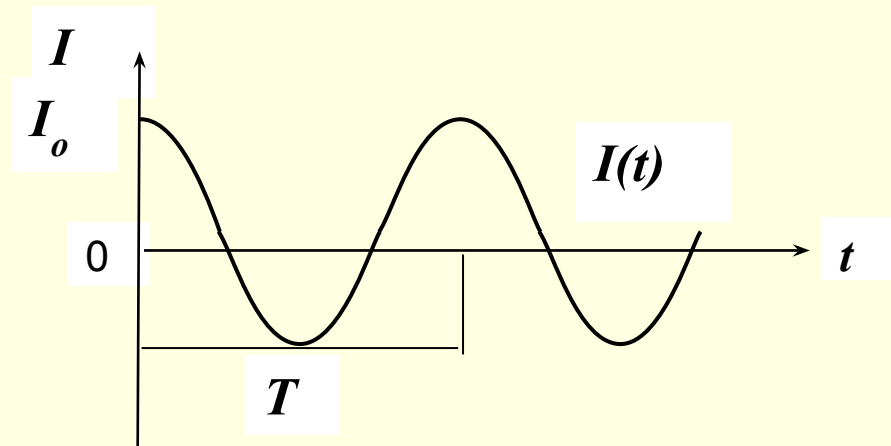
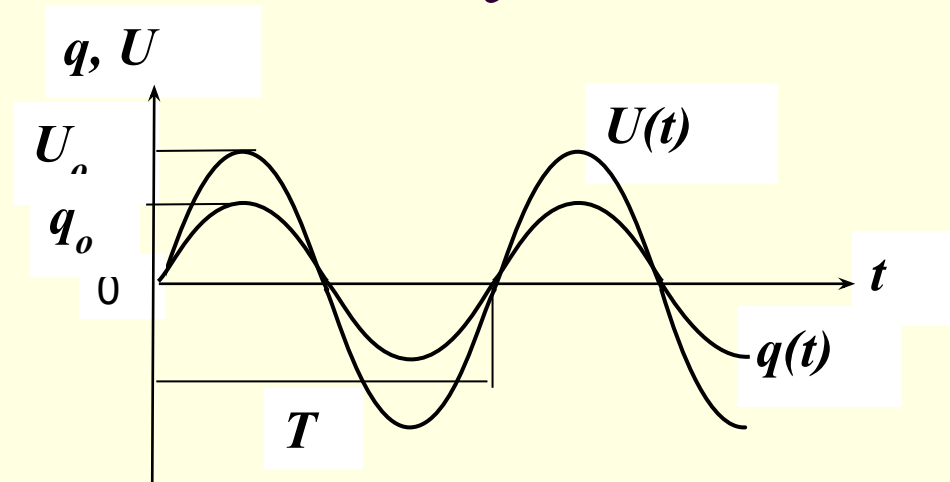
Таким чином, всі електричні величини в контурі

виконують гармонічні коливання.

Гармонічні коливання виконують також напруженість електричного поля конденсатора й напруженість магнітного поля в котушці

$$E = E_o \sin(\omega_o t + \varphi); \quad H = H_o \sin(\omega_o t + \varphi)$$

Графіки залежності коливних величин заряду, напруги та сили струму від часу



Формула Томпсона

Якщо яка-небудь величина змінюється з часом за законом $q = q_o \sin(\omega_o t + \varphi_o)$ то вона здійснює гармонічні коливання.

Проміжок часу, протягом якого значення коливних величин періодично повторюються, називається **періодом коливання**:

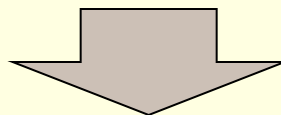
$$T_o = \frac{2\pi}{\omega_o}$$

Кількість коливань в одиницю часу називається частотою коливань:

$$\nu_o = \frac{1}{T} = \frac{\omega_o}{2\pi}$$

Для електричних коливань:

$$\omega_o^2 = \frac{1}{LC}$$



Період електромагнітних коливань

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

- Формула Томпсона

Механічна величина		Електрична величина	
Координата	X	Заряд	q
Швидкість	v	Сила струму	i
Маса	m	Індуктивність	L
Жорсткість пружини	k	Величина обернена ємності	$\frac{1}{C}$
Потенціальна енергія	$E_n = \frac{kx^2}{2}$	Енергія електричного поля	$E_{el} = \frac{CU^2}{2}$
Кінетична енергія	$E_k = \frac{mv^2}{2}$	Енергія магнітного поля	$\frac{Li^2}{2}$

ВІЛЬНІ ЗГАСАЮЧІ КОЛИВАННЯ

Ми розглянули ідеальні коливальні системи, тобто системи, в яких спочатку запасена енергія не переходить в інші види енергій, наприклад, в теплову.

Кажуть, що в системі не відбувається дисипації енергії.

У реальних системах завжди присутні процеси, що призводять до дисипації енергії. Це можуть бути, наприклад, сили тертя. Відбувається зміна амплітуди або затухання коливань.

Розглянемо закони зміни параметрів вільних загасаючих коливань.

Вільні затухаючі коливання - це такі вільні коливання, амплітуда яких через втрати енергії реальної коливальної системою з плином часу зменшується.

Закон загасання коливань визначається властивостями коливальних систем.

Вільні затухаючі коливання

ω_0 - циклічна частота *вільних незатухаючих* коливань коливальної системи при відсутності втрат енергії (при $\beta = 0$).

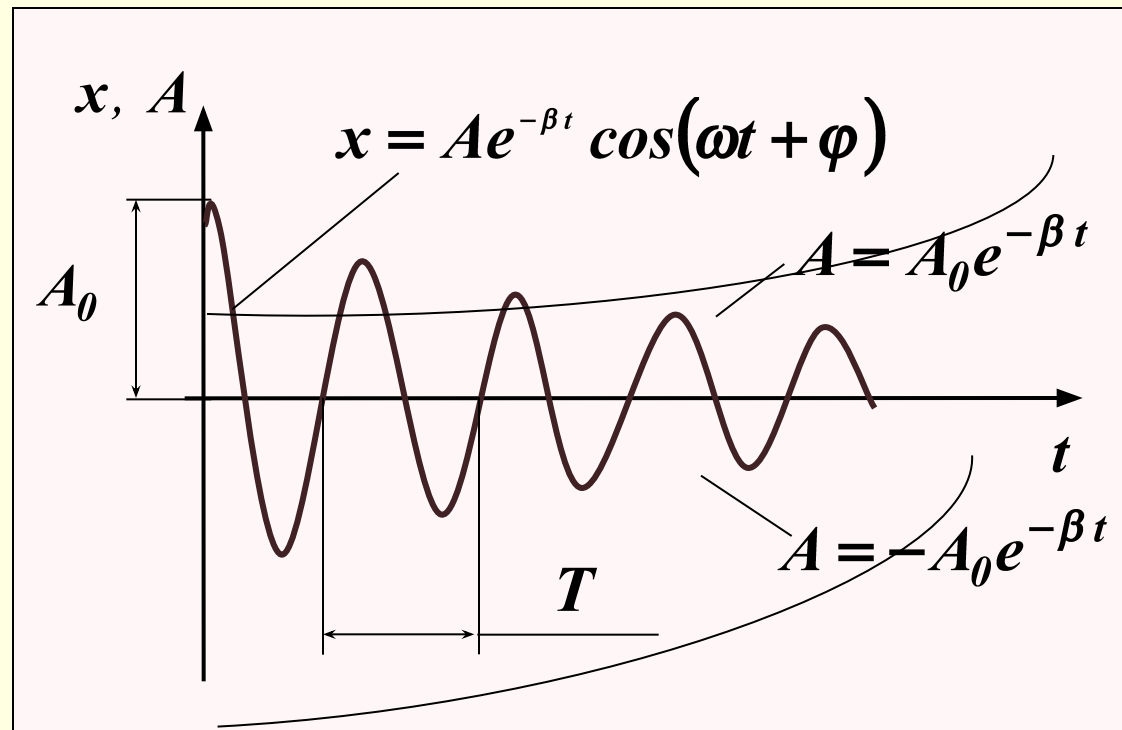
У випадку малих затухань ($\beta \ll \omega_0$) рішення рівняння затухаючих коливань має вигляд

$$x = Ae^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi)$$

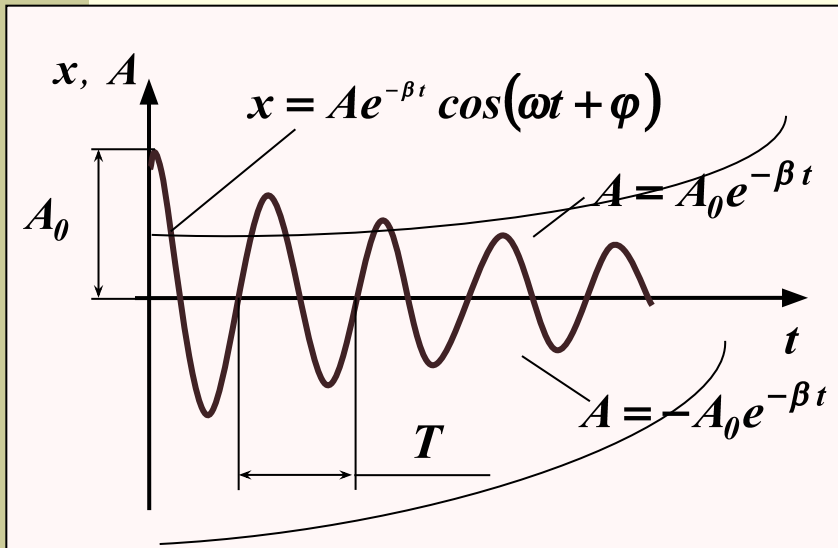
$A = A_0 e^{-\beta t}$ - амплітуда затухаючих коливань

A_0 - початкова амплітуда.

Час $\tau = 1/\beta$, за який амплітуда коливань зменшується в e разів, називається часом релаксації.



Вільні затухаючі коливання



Коливання $x = Ae^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi)$ не є періодичним і, тим паче, не є гармонічним.

Періодичність такого коливання порушується загасанням.

Отже, до загасаючих коливань не застосовується поняття періоду або частоти.

Але, якщо загасання мало, то можна умовно користуватися поняттям періоду як проміжку часу між двома наступними максимумами або мінімумами коливальної фізичної величини.

Тоді період затухаючих коливань дорівнює

$$T = 2\pi/\omega = 2\pi/\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$$

Вільні згасаючі коливання

Лінійні системи описуються *лінійними диференціальними рівняннями*.

Диференціальне рівняння вільних затухаючих коливань системи задається у вигляді

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0, \quad \text{или} \quad \ddot{x} + 2\beta \dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

$\beta = \text{const}$ - коефіцієнт затухання

ω_0 - власна частота коливальної системи.

Вільні згасаючі коливання

Для характеристики коливань використовують наступні параметри:

1. Логарифмічний декремент затухання.

Якщо $A(t)$ $A(t+T)$ - амплітуди двох послідовних коливань, які відповідають моментам часу, які відрізняються на період, то відношення

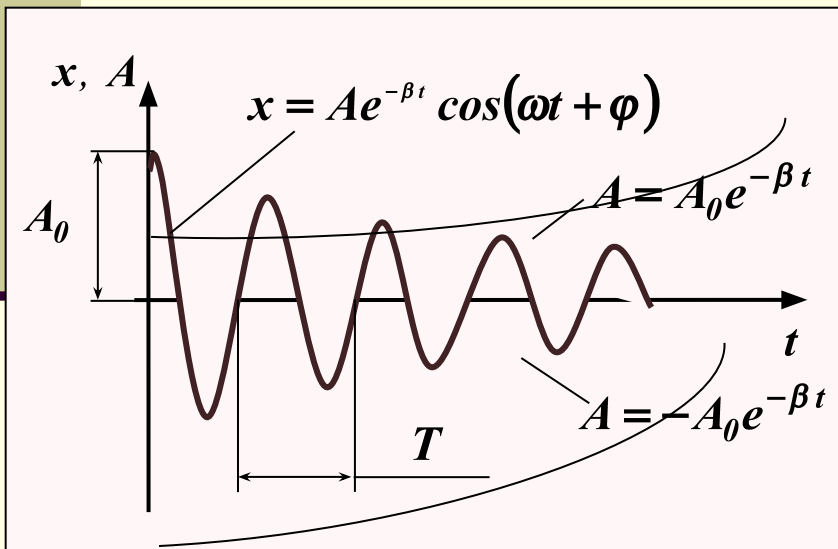
$$\frac{A(t)}{A(t+T)} = e^{\beta T}$$

- декремент затухання.

Логарифм декремента затухання називається *логарифмічним декрементом затухання*

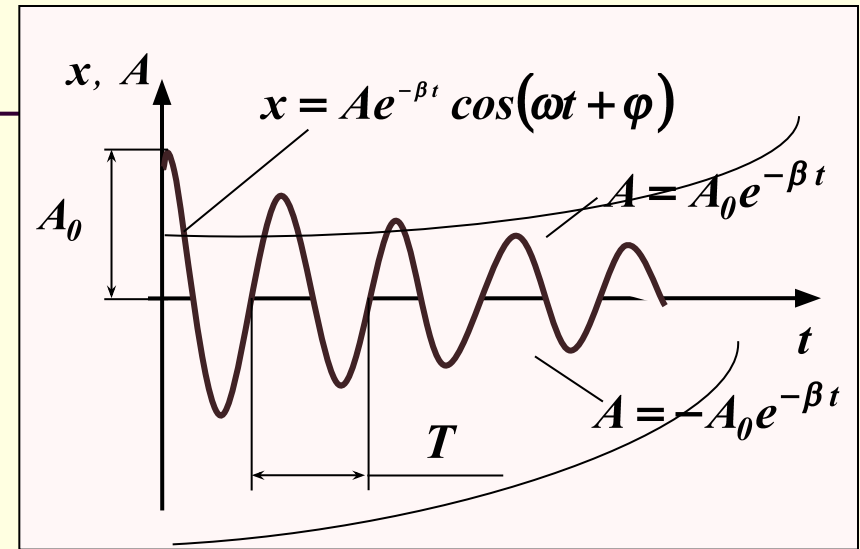
$$\theta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{N_e},$$

N_e - кількість коливань, які виконуються за час зменшення амплітуди в *e* разів.



Вільні згасаючі коливання

Таким чином, логарифмічний декремент загасання - це величина, зворотна числу коливань, що здійснюються за час, протягом якого амплітуда затухаючого коливання зменшиться в e разів.



2. Добротність коливальної системи.

Для характеристики коливальної системи використовується величина, обернено пропорційна логарифмічному декременту загасання.

При малих затуханнях $T \approx T_0$, таким чином, можна записати:

$$Q = \frac{\pi}{\theta} = \pi N_e = \frac{\pi}{\beta T_0} = \frac{\omega_0}{2\beta}$$

Добротність коливальної системи пропорційна кількості коливань N_e , які відбуваються за час релаксації.

Затухаючі електромагнітні коливання

Вільні електромагнітні коливання в реальному коливальному контурі є згасаючими коливаннями.

Реальний коливальний контур уявляє собою послідовне з'єднання котушки індуктивності L , конденсатора ємністю C і електричного опору R

Позначим

$$q + \frac{R}{L} q + \frac{1}{LC} q = 0$$

$$\frac{R}{L} = 2\beta \quad \frac{1}{LC} = \omega_o^2$$

Одержуємо диференціальне рівняння згасаючих коливань заряду конденсатора

$$q + 2\beta q + \omega_o^2 q = 0$$

Отримане рівняння аналогічно диференціальному рівнянню згасаючих механічних коливань

Рішення рівняння має вигляд

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

де q_0 - початкова величина заряду; β - коефіцієнт згасання

З формули видно, що заряд на конденсаторі із часом зменшується.

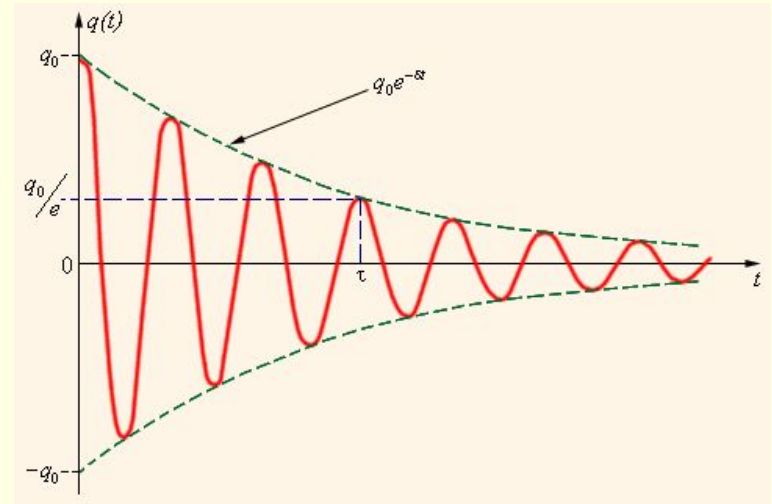
Залежність заряду від часу при затухаючих коливаннях

Циклічна частота вільних електромагнітних коливань в контурі:

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

Період вільних затухаючих електромагнітних коливань в контурі:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_3} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$$



Як і у випадку механічних коливань, опір R призводить до загасання електричних коливань у контурі.

При цьому частина енергії магнітного й електричного полів перетворюється в теплову енергію.

Вимушені коливання.

Сила тертя пропорційна швидкості, отже, вираз для сили тертя можна записати як

$$F_{mp} = -rv = -r \frac{dx}{dt}, \quad \text{де } r - \text{ коефіцієнт опору.}$$

Врахуємо наявність сил тертя в законі руху маятника:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - r \frac{dx}{dt} \quad \text{Це рівняння затухаючих коливань пружинного маятника.}$$

Нехай втрати, що виникають у коливальній системі за рахунок дії сил тертя, компенсуються дією вимушуючої сили . F

Тоді рівняння рух маятника можна представити у вигляді

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - r \frac{dx}{dt} + F_0 \cos \omega t$$

Вимушені коливання.

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - r \frac{dx}{dt} + F_0 \cos \omega t$$

Перетворюємо цей вираз. Розділимо обидві частини на m , введемо позначення:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad \frac{r}{2m} = \beta \quad - \text{коефіцієнт затухання пружинного маятника}$$

В результаті
отримаємо :

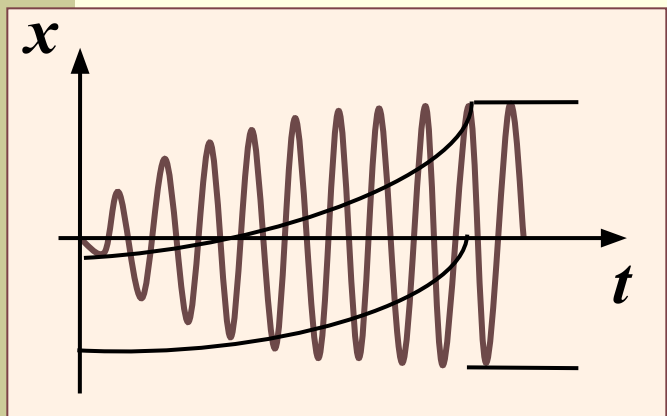
$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\omega_0^2 x - 2\beta \frac{dx}{dt} + \frac{F_0}{m} \cos \omega t, \quad \text{або}$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t, \quad \text{или} \quad \ddot{x} + 2\beta \dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t$$

Це лінійне неоднорідне диференціальне рівняння вимушених коливань пружинного маятника

Вимушені коливання.

$$m\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos \omega t$$



Частное рішення, що відповідає усталеним вимушеним коливанням маятника, має вигляд :

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

Запишемо довідково вирази для амплітуди вимушених коливань і величини, яка має сенс різниці фаз між змушуючою силою і вимушеними коливаннями.

$$A = \frac{F_0 / m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}$$

$$\varphi = \arctg \frac{2\beta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

РЕЗОНАНС

Залежність амплітуди вимушених коливань від частоти змушуючої сили призводить до того, що при деякій певній для системи частоті амплітуда коливань досягає максимального значення

Це явище називається **резонансом**, а відповідна частота - резонансною частотою.

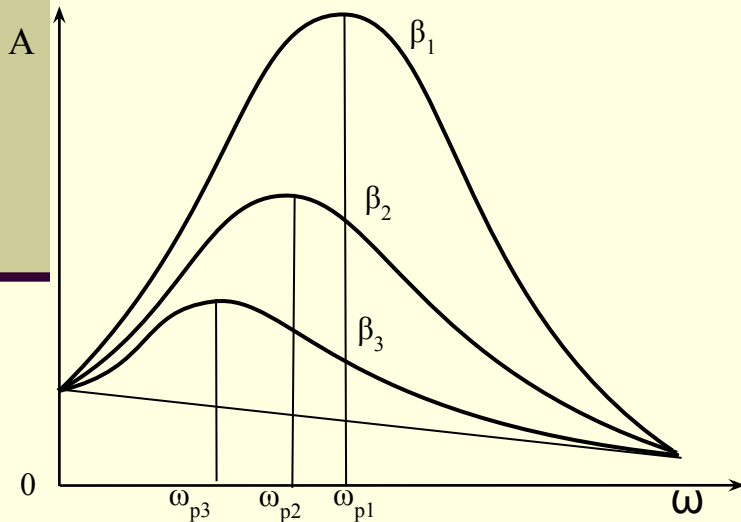


Рис.10.10

$$A = \frac{F_0 / m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}$$

$$\omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$$

Вимушені електромагнітні коливання

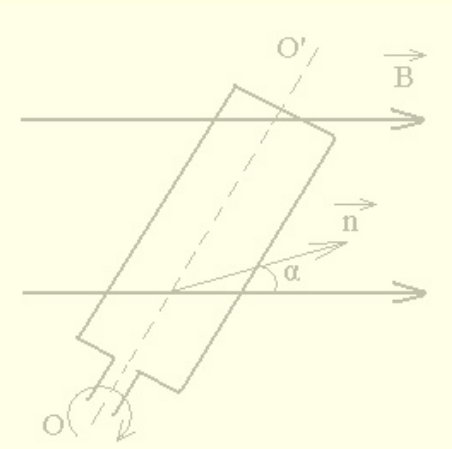
Незатухаючі коливання в колі під дією зовнішньої ЕРС, що періодично змінюється – називаються вимушеними електромагнітними коливаннями

$$e = E_m \sin \omega t$$

мгновенное значение ЭДС индукции в данный момент времени)

Амплитудное значение ЭДС

ω – циклическая частота переменной ЭДС



Магнітний потік Φ скрізь площину рамки:

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

α – угол между нормалью $\vec{n}$ к плоскости рамки и направлением

вектора магнитной индукции $\vec{B}$

По закону електромагнітної індукції:

$$E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ – скорость изменения магнитной индукции

$$e = BS \omega \sin \omega t = E_m \sin \omega t$$

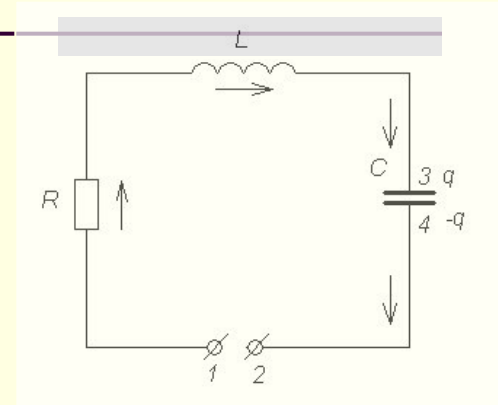
Амплитуда ЭДС индукции

Повний опір коливального контура

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

где $X = X_L - X_C$ – реактивное сопротивление колебательного контура

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



Згідно закону Ома для ділянки кола змінного струму:

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

Зсув фаз між коливаннями сили струму і напругою (відношення реактивного опору до активного):

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

Резонанс

Явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний тока в колебательном контуре, которое происходит при совпадении частоты вынужденных колебаний с собственной частотой колебательного контура – называется резонансом.

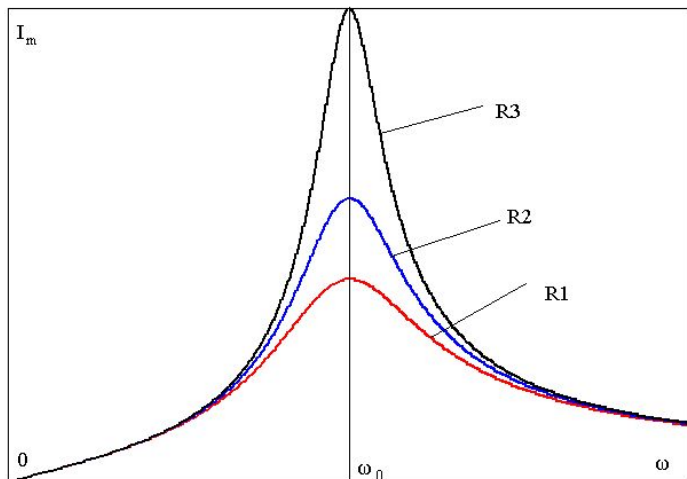
Якщо $U_m = \text{const}$, то амплітуда вимушених коливань сили струму залежить від ω :

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

Ре зависит от $\omega \Rightarrow I_m = \frac{1}{\omega C}$ справедливо если $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0$

ω_0 – собственная частота колебаний

ω – резонансная частота (частота переменного тока, при которой сила тока максимальна)



резонанс $I_m = \frac{U_m}{\omega C}$

$$I_m = \frac{U_m}{|X|} = U_m \left| \omega C - \frac{1}{\omega L} \right| = |I_{mC} - I_{mL}|$$

I_{mC} I_{mL} амплитудные значения силы токов

U амплитудное значение приложенного U

$$\text{Если } \omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow I_{mC} = I_{mL}, I_m = 0, R \rightarrow \infty$$

Умова резонанса струмів:

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

ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗОНАНСУ

Використовуючи явище резонансу, можна за допомогою невеликої вимушуючої сили викликати коливання з великою амплітудою.

Явище резонансу спостерігається при коливаннях будь-якої природи (механічних, звукових, електричних).

Він може бути як корисним, так і шкідливим.

Воно широко використовується в акустиці для посилення звуку, у радіотехніці для посилення електричних коливань.

Разом з тим, з явищем резонансу доводиться вважатися

при конструюванні машин, механізмів і різних споруджень,

оскільки резонанс може викликати сильну вібрацію конструкцій і навіть їх руйнування.

Хвильові процеси

- Якщо в пружному середовищі (твердому, рідкому або газоподібному) десь порушити коливання її частинок, то через взаємодію між частинками коливання почне поширюватися в середовищі.
- **Процес поширення коливань у просторі називається хвилею.**
- Частинки середовища, у якій поширюється хвиля, не переносяться хвилею, вони лише здійснюють коливання біля своїх положень рівноваги.
- **Загальна властивість всіх хвиль:** перенесення енергії, а не речовини

Як виникає хвиля?

- Причиною виникнення хвилі в будь-якому середовищі є відхилення значення тиску від початкового. Якщо дане відхилення періодично повторюється, то виникає стаціонарна хвиля.

~~Будь-яка зміна тиску (а отже і щільності середовища) передається з певною швидкістю сусіднім частинкам. Це і є швидкість поширення хвилі~~

- **Хвильова поверхня** – це поверхня, на якій фаза коливань всіх атомів і молекул в даний момент часу однакова (площина, коло, сфера).

- **Хвильовий фронт** - Геометричне місце точок, до яких доходять коливання в деякий момент часу.

- Хвильових поверхонь може бути безліч, хвильовий фронт в кожен момент часу один.

- Хвиля поширюється по нормалі до хвильовому фронту.

- Найпростіші випадки хвильових поверхонь:

Кругові хвилі: збудження розташоване по колу (від падіння каменя у воду).

Сферичні хвилі: збудження розташоване по сфері (звукова хвиля від сферичного гучномовця в однорідному середовищі)

Поздовжні і поперечні хвилі

- **Поздовжньою хвилею** називається хвиля, в якій атоми або молекули середовища здійснюють коливання уздовж напрямку поширення хвилі (приклад: удар по торцю пружного стрижня).
- **У поперечної хвилі** атоми або молекули середовища коливаються в напрямку, перпендикулярному до напрямку поширення хвилі (приклад: удар зверху по кінцю пружного стрижня).
- Механічні поперечні хвилі можуть виникнути лише в середовищі, що має опір зсуву.
- Тому в рідинах і газах можуть бути тільки поздовжні хвилі.
- У твердих тілах і поздовжні, і поперечні хвилі.
- На поверхні води (від падіння краплі) хвиля поперечна. Є сили поверхневого натягу, тобто є опір зсуву.

Довжина хвилі

Відстань між найближчими частинками, що коливаються в однаковій фазі, називається довжиною хвилі λ .

Довжина хвилі - це відстань, яку проходить хвиля за період T :

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

де k – хвильове число. Швидкість хвилі:

$$v = \lambda \nu$$

Рівняння бігучої хвилі. Хвильове рівняння.

~~Бігучою хвилею~~ називають хвилі, які переносять в просторі енергію.

Перенесення енергії хвилями кількісно характеризується вектором густини потоку енергії.

Цей вектор для пружних хвиль називається **вектором Умова**.

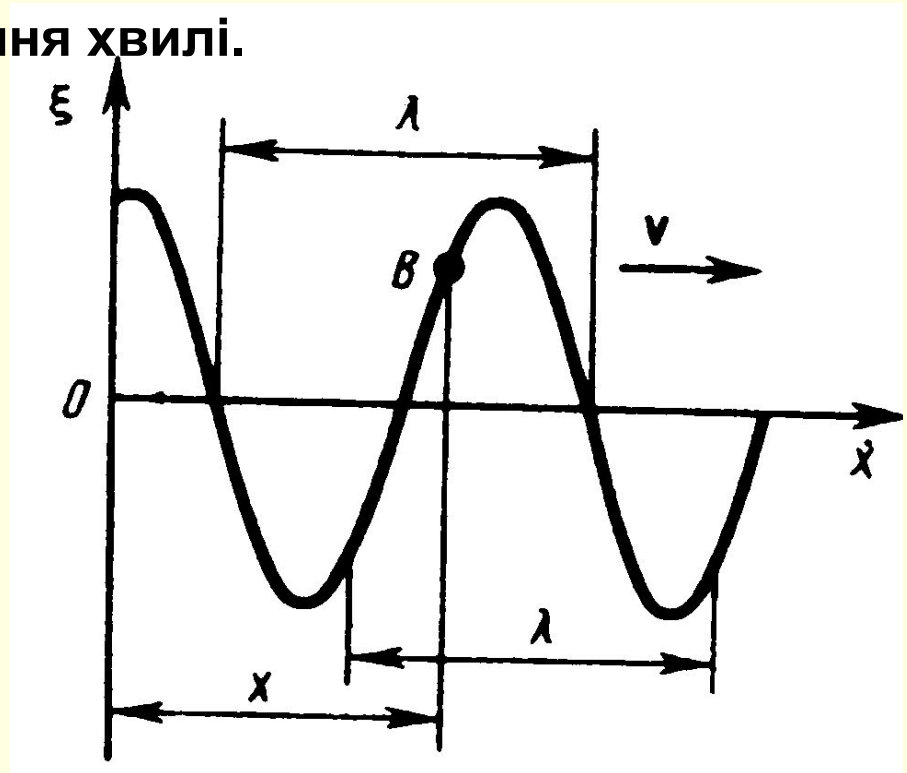
Напрямок вектора Умова збігається з напрямком переносу енергії. Його модуль дорівнює енергії, яку переносять хвилею за одиницю часу через одиничну площадку, розташовану перпендикулярно напрямку поширення хвилі.

Розглянемо деяку частинку **B** середовища, яка знаходиться від джерела коливань O на відстані X . Якщо коливання точок, що лежать у площині $X = 0$, описується функцією

$$\xi(0, t) = A \cos(\omega t)$$

то частинка **B** середовища коливається по тому ж закону, але її коливання будуть відставати за часом від коливання джерела на τ , так як для проходження хвилею відстані X потрібен час

, де $\tau = X/V$
 V - швидкість поширення хвилі.



Тоді рівняння коливань частинок, які лежать в площині , має вигляд

X

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

Рівняння бігучої хвилі

звідки випливає, що $\xi(x, t)$ є не тільки періодичною функцією часу, а й періодичною функцією координати.

•
Якщо плоска хвиля поширюється в протилежному напрямку, то

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

В загальному випадку рівняння плоскої хвилі, яка поширюється вздовж позитивного напрямку осі x в середовищі, що не поглинає енергію, має вигляд

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

де $A = \text{const}$ амплітуда
хвилі,

ω - циклічна частота,

φ_0 - початкова фаза хвилі, яка визначається в загальному випадку вибором початку відліку t і x ,

$\left[\omega \left(t - x/v \right) + \varphi_0 \right]$ - фаза плоскої хвилі.

Для характеристики хвиль використовують хвильове число

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{vT} = \frac{\omega}{v}$$

Тоді рівняння плоскої біжучої хвилі можна записати, як

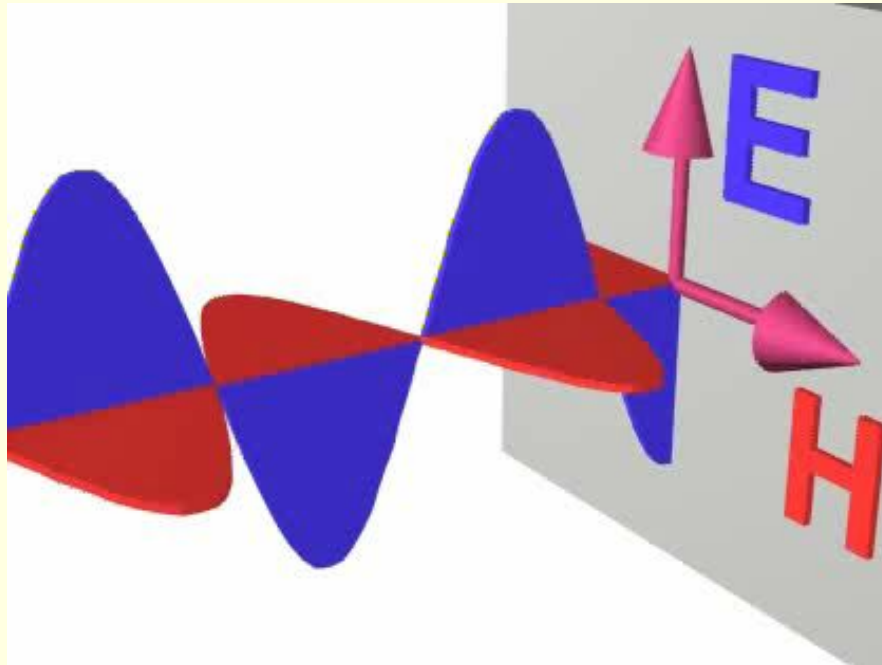
$$\xi(x, t) = A \cos[\omega t - kx + \varphi_0]$$

Ультразвук

- Енергія звукової хвилі мала (чайник можна гріти 10000 років) і швидко згасає.
- Ультразвукові хвилі – частота вище 20 кГц.
- Для локації підводних човнів (П. Ланжевен), айсбергів, косяків риби і т.д.
Крикнувши і вимірявши час до приходу луни (звуку відбитого від скелі тощо) можна помноживши половину цього часу на швидкість звуку $v = 331$ м/с (а у водні 1284, у воді 1490 м/с) знайти відстань до перешкоди. Це і використовують ехолокатори і летючі миші.
- Отримують за допомогою п'єзострикційних або магнітострикційних матеріалів

Електромагнітні хвилі

- **Електромагнітні хвилі** - це процес поширення в просторі електромагнітних коливань.
- Вони **поперечні**, тобто вектори $\mathbf{E}$ і $\mathbf{H}$ перпендикулярні один одному та напрямку поширення хвилі.



Отримання електромагнітних хвиль

- Електромагнітні хвилі можуть збуджуватись тільки **зарядами, що прискоренно рухаються**.

- Найпростішою системою, випромінюючої електромагнітні хвилі, є невеликий за розмірами електричний диполь, який називають **диполем Герца**.

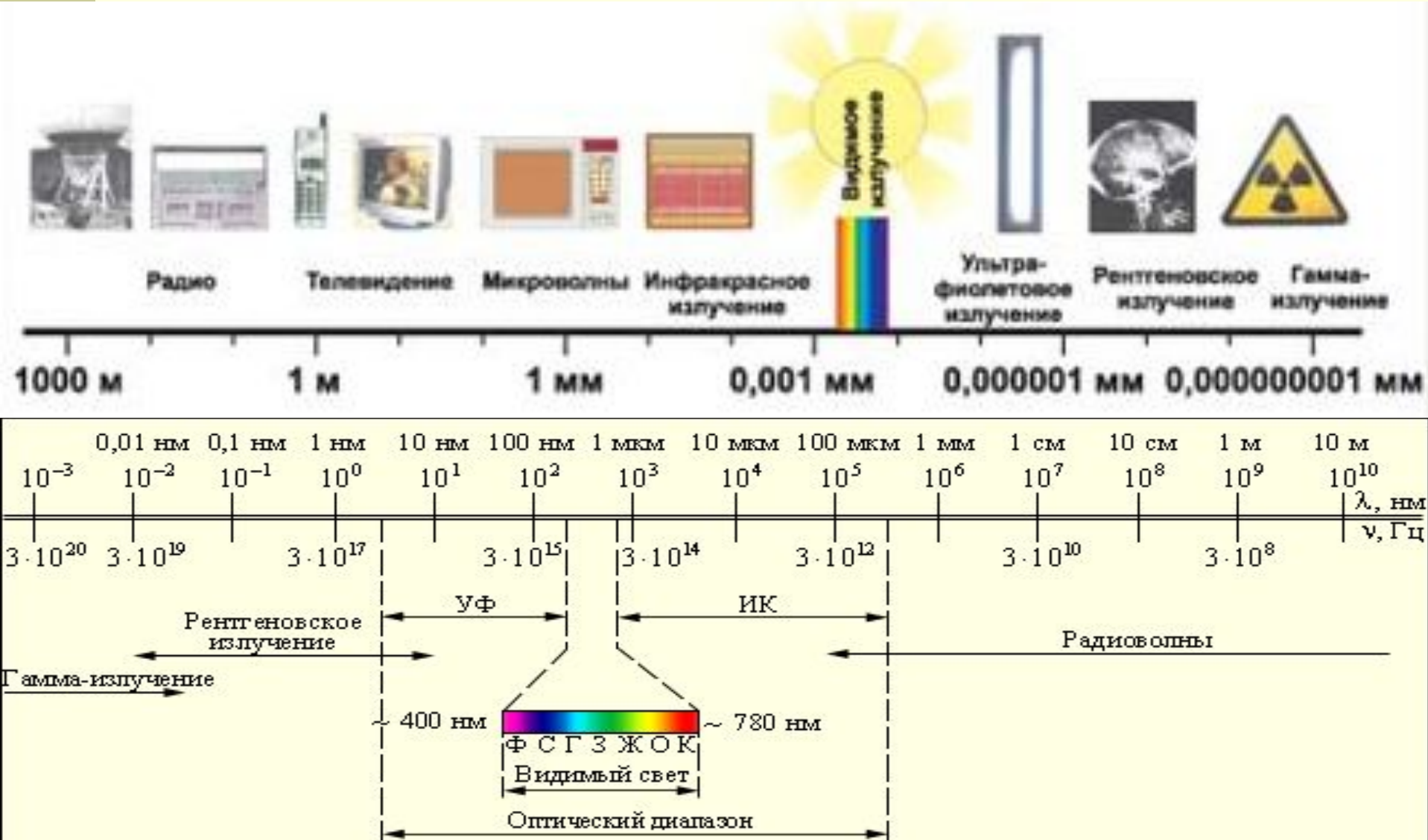
- У сучасній радіотехніці випромінювання електромагнітних хвиль проводиться за допомогою антен різних конструкцій, в яких збуджуються **швидкозмінні струми**.

- У радіотехніці диполь Герца еквівалентний невеликій антені, **розмір** якої багато **менше довжини хвилі λ** .

Швидкість поширення електромагнітних хвиль

- **Швидкість поширення** електромагнітних хвиль у вакуумі c (скорость света) – це світова константа:
 - **$c = 2,9979 \cdot 10^8$ м/с.**
- **Довжина хвилі** у вакуумі та її частота зв'язані формулою:
 - **$\lambda = c/\nu$**

Різні види електромагнітних випромінювань та їх застосування



Шкала электромагнитных волн



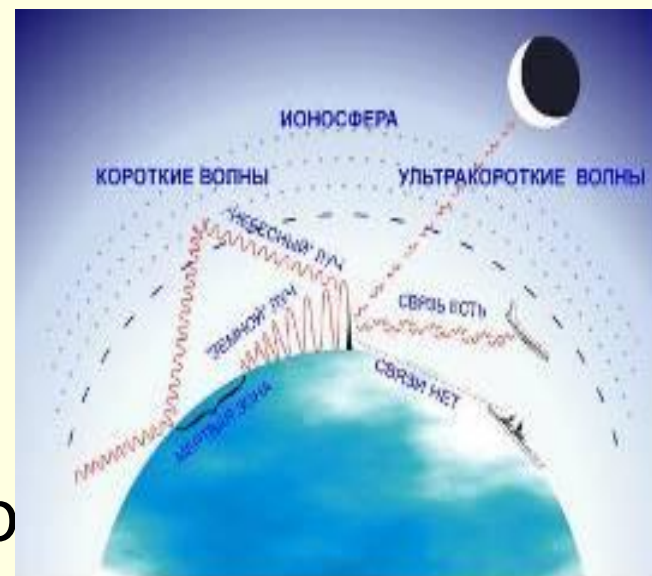
РАДІОХВИЛІ

Радіохвилі отримують за допомогою коливальних контурів і макроскопічних вібраторів.

Властивості:

- радіохвилі різних частот і з різними довжинами хвиль по-різному поглинаються і відбиваються середовищами.
- проявляють властивості дифракції, інтерференції.

Застосування: радіозв'язок, телебачення, радіолокація.



Інфрачервоне випромінювання

Інфрачервоне випромінювання (теплове) - випромінюється атомами або молекулами речовини.

Інфрачервоне випромінювання дають всі тіла при будь-якій температурі.

Свойства:

- проходить через деякі непрозорі тіла, а також скрізь дощ, серпанок, сніг, туман;
 - виробляє хімічну дію (фотопластинки);
 - поглинаючись речовиною, нагріває його;
 - невидимо;
- здатне до явищ інтерференції і дифракції;
 - реєструється тепловими методами.

ЗАСТОСУВАННЯ:

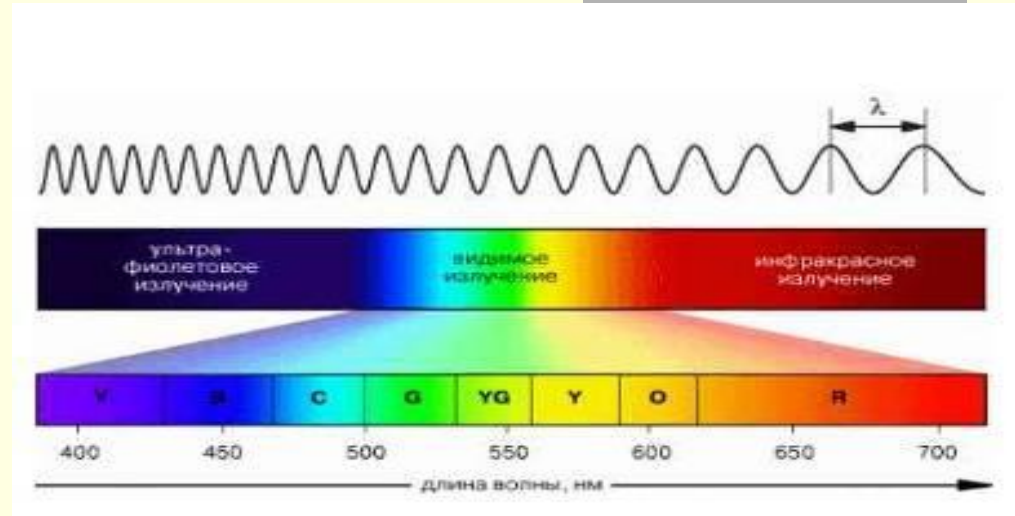
прилад нічного бачення,
криміналістика,
фізіотерапія,
в промисловості для сушіння виробів, деревини, фруктів .

Видиме випромінювання

Частина електромагнітного випромінювання, що сприймається оком .

Властивості:

відображення,
переломлення,
впливає на око,
здатне до явища дисперсії,
інтерференції,
дифракції.



Ультрафіолетове випромінювання

Джерело

тру

Вип

а та

Вла

Висо

неви

вели

вбив

в не

але

змін

обмі

Заст



к

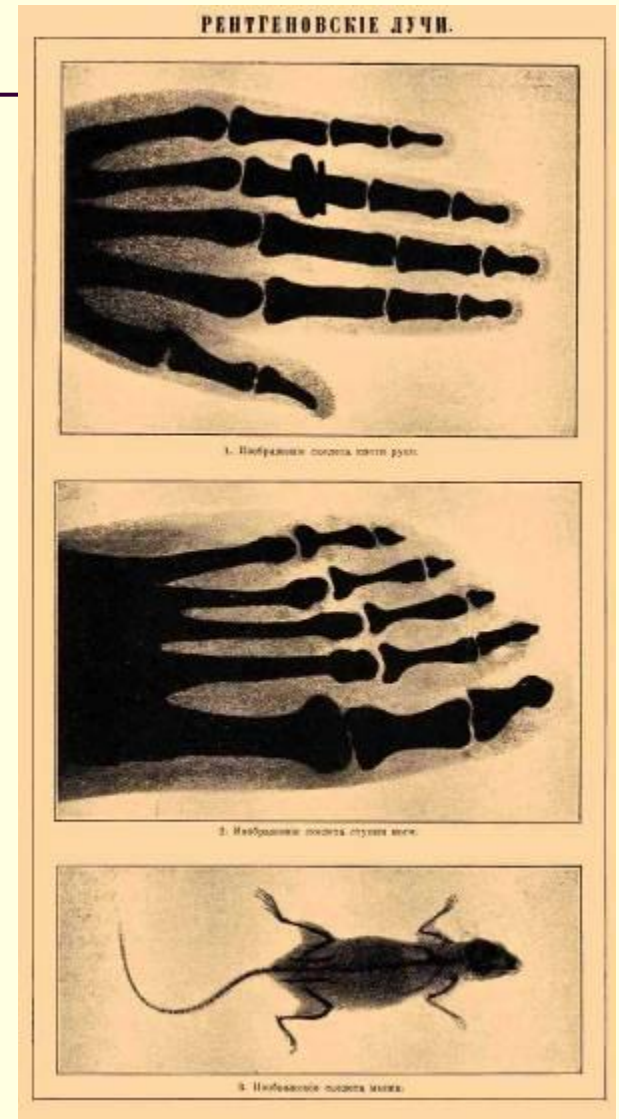
мага),

Рентгенівські промені

Випромінюються при великих прискореннях електронів.

Властивості: інтерференція, дифракція рентгенівських променів на кристалічній решітці, велика проникаюча здатність. Опромінення у великих дозах викликає променеву хворобу.

Застосування: в медицині з метою діагностики захворювань внутрішніх органів; в промисловості для контролю внутрішньої структури різних виробів.



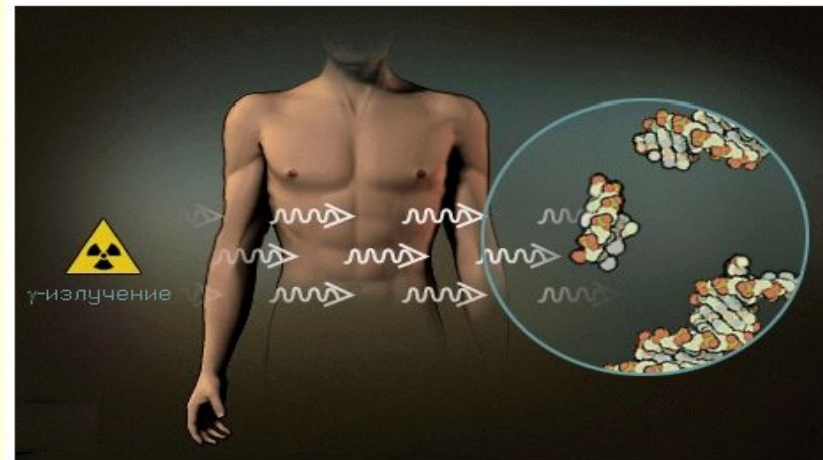
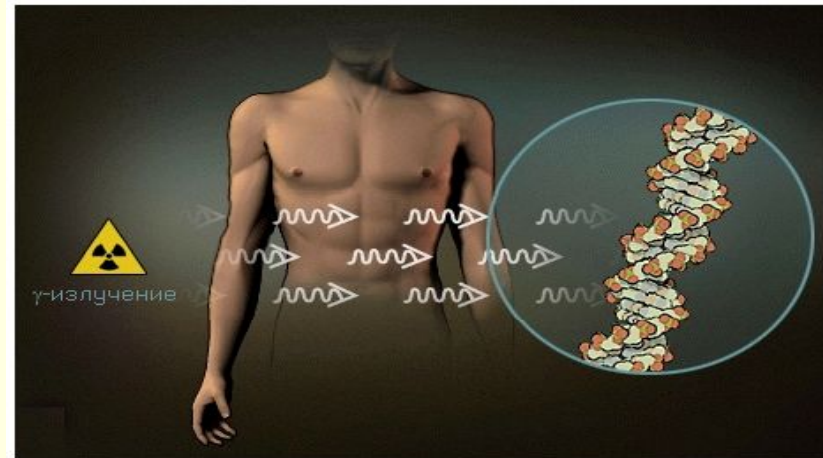
Джерела: атомне ядро
(ядерні реакції).

Властивості:

- Має **велику проникаючу здатність**,
- Чинить **сильний біологічний вплив**.

Застосування: в медицині,
виробництві (γ -
дефектоскопія).

Гама- випромінювання



Вплив електромагнітних випромінювань на живі організми.

Електромагнітне випромінювання частотою 50 Гц, яке створюється проводами мережі змінного струму, при тривалому впливі викликає сонливість, ознаки втоми, головні болі.

Щоб не посилювати дію побутових електромагнітних випромінювань, фахівці рекомендують не розташовувати близько один до одного працюють в наших квартирах електроприлади - мікрохвильову піч, електроплиту, телевізор, пральну машину, холодильник, праска, електричний чайник.

Відстань між ними повинна бути не менше 1,5—2 м.



Влияние электромагнитных излучений на живые организмы.

Антенны БС устанавливаются на высоте 15 - 100 метров от поверхности земли на уже существующих постройках или на специально сооруженных мачтах



Влияние электромагнитных излучений на живые организмы

Параметры ЭМП, влияющие на биосистемы

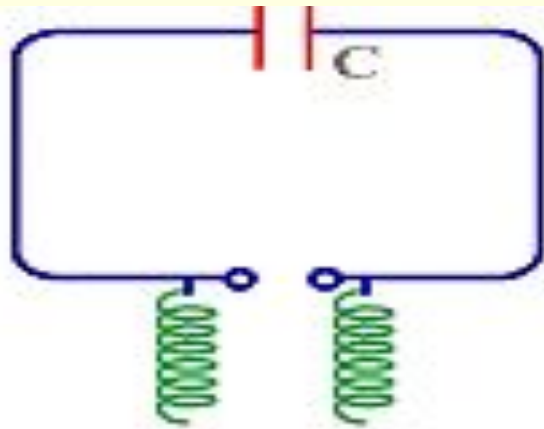
- интенсивность (величина) излучения;
- частота излучения;
- продолжительность облучения;
- модуляция сигнала;
- сочетание частот;
- периодичность действия.

ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА

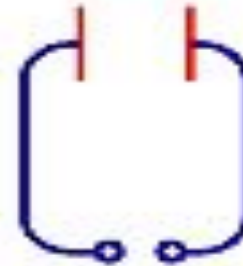
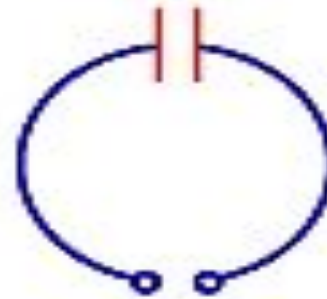
ЧЕЛОВЕКА:

нервная;
иммунная;
эндокринная;
половая.

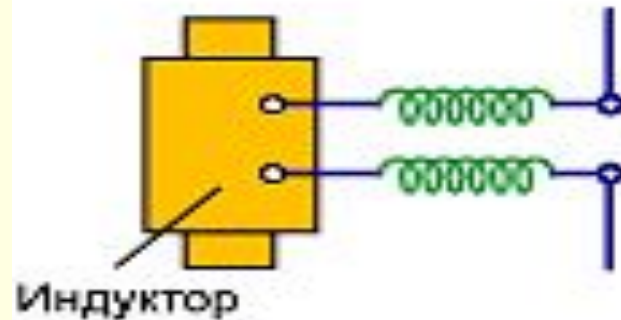
Вибратор Герца



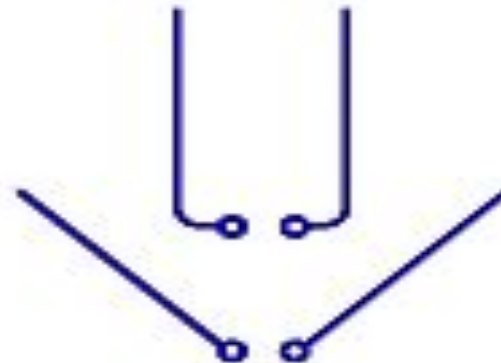
Колебательный контур с
искровым промежутком
(индуктивность распределенная,
т.е. соединительные провода)



Рабочая схема
вибратора Герца



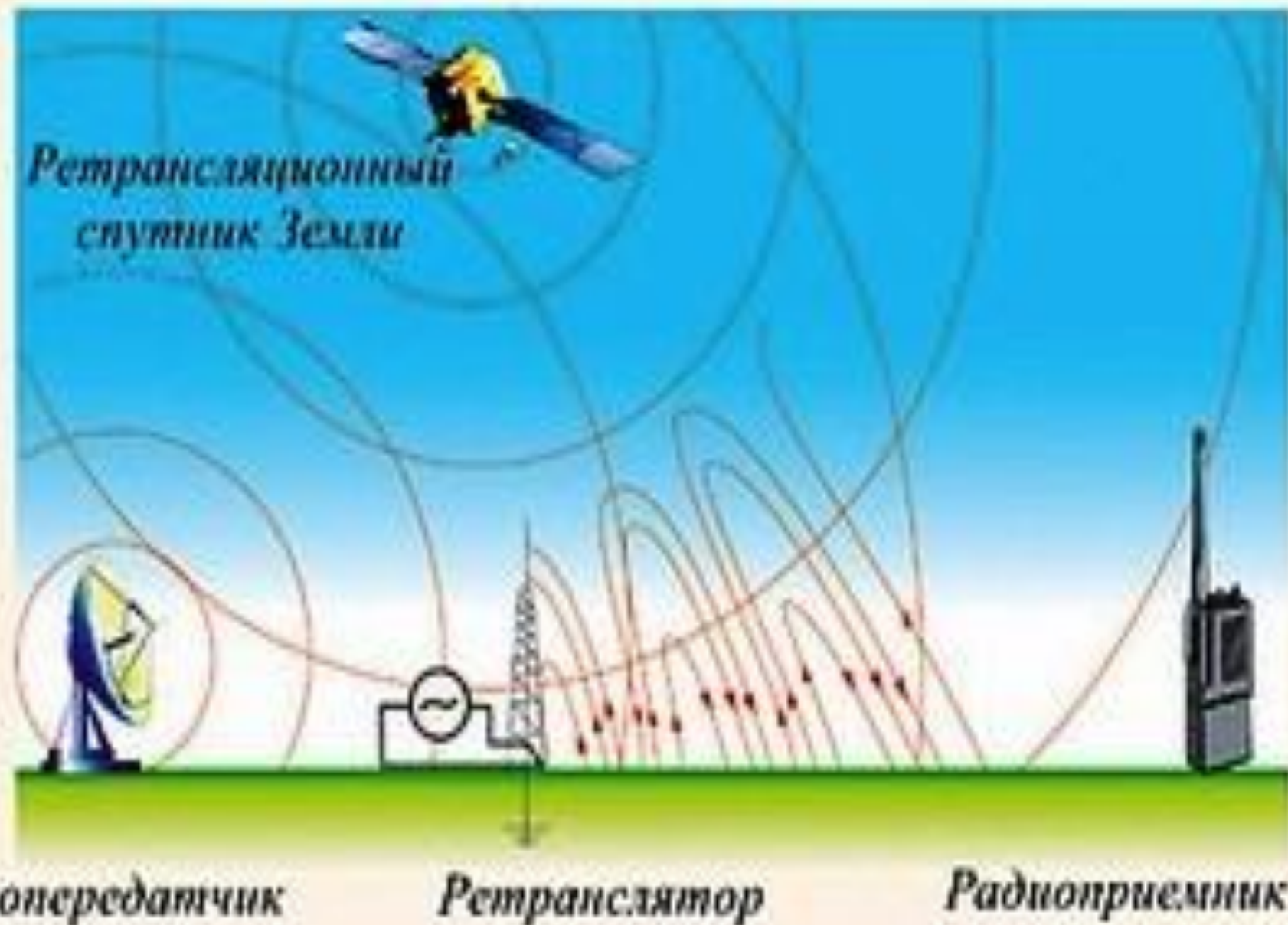
Переход от замкнутого
контура к электрическому диполю



Классификация видов радиоволн

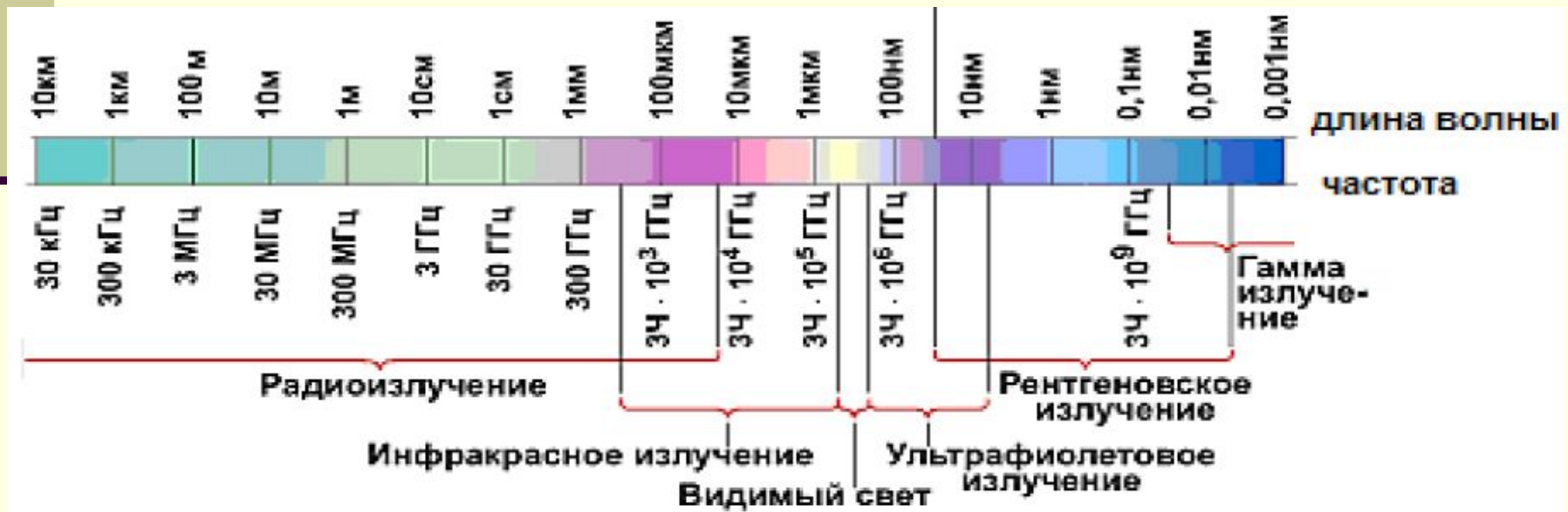
№ полосы частотного спектра	Метрическое наименование	Диапазон длин	Диапазон частот
4	Мириаметровые	10-100 км	3-30 кГц
5	Километровые	1-10 км	30-300 кГц
6	Гектометровые	10-1000 м	300-3000 кГц-
7	Декаметровые	10-100 м	3-30 МГц
8	Метровые	1-10 м	30-300 МГц
9	Дециметровые	10-0,1 м	300-3000 МГц
10	Сантиметровые	1-10 см	3-30 ГГц
11	Миллиметровые	1-10 мм	30-300 ГГц
12	Децимиллиметровые	0,1-1 мм	300-3000 ГГц

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РАДИОСВЯЗИ



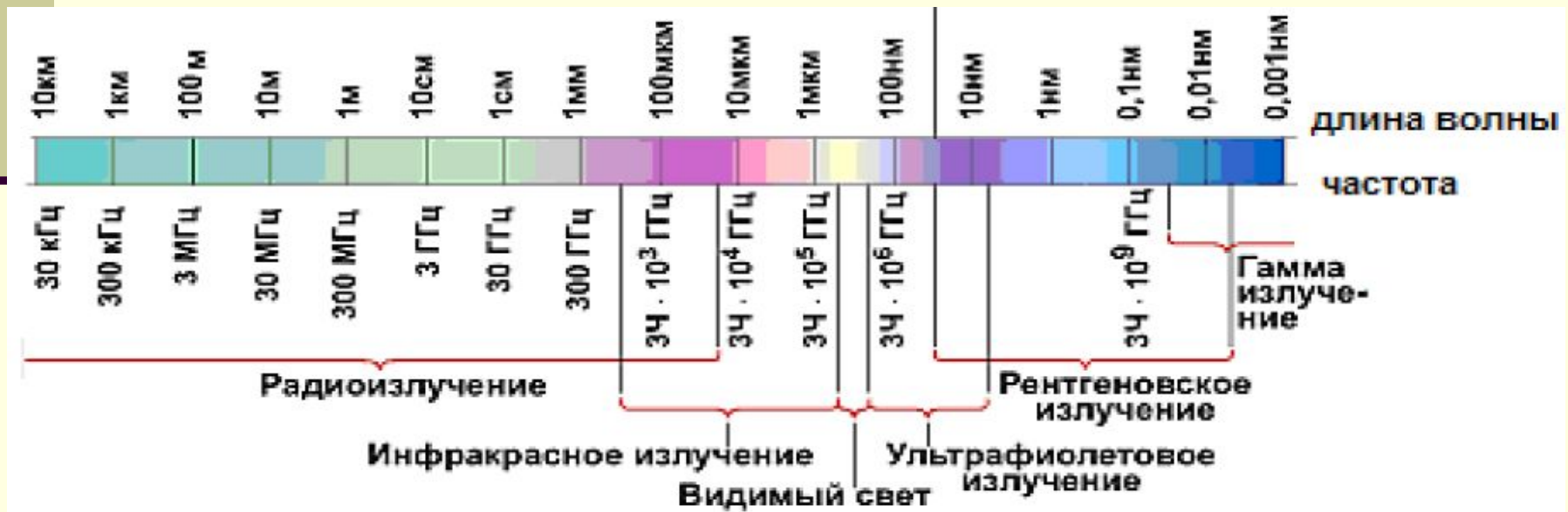
Яке електромагнітне випромінювання з перерахованих нижче видів має найбільшу довжину хвилі?

- 1) радіохвилі
- 2) світло
- 3) Інфрачервоне випромінювання
- 4) ультрафіолетове випромінювання



Яке електромагнітне випромінювання з перерахованих нижче видів має найбільшу довжину хвилі?

- 1) Радіохвилі
- 2) Видиме світло
- 3) Інфрачервоне випромінювання
- 4) Гама випромінювання



На рисунке приведена шкала электромагнитных волн. Определите, к какому виду излучения принадлежат электромагнитные волны с длиной волны 0,1 мм.



1. только радиоизлучению
2. только рентгеновскому излучению
3. ультрафиолетовому и рентгеновскому излучению
4. радиоизлучению и инфракрасному излучению

На рисунке приведена шкала электромагнитных волн. Определите, к какому виду излучения относятся электромагнитные волны с длиной волны 1 см.



1. только к радиоизлучению
2. только к рентгеновскому излучению
3. к радиоизлучению и инфракрасному излучению
4. к ультрафиолетовому и рентгеновскому излучению

На якій частоті працює радіостанція, що передає програму на хвилі 250 м? _____

На якій частоті судна передають сигнал лиха (SOS), якщо за міжнародною угодою довжина радіохвилі цього сигналу повинна бути рівною 600 м?

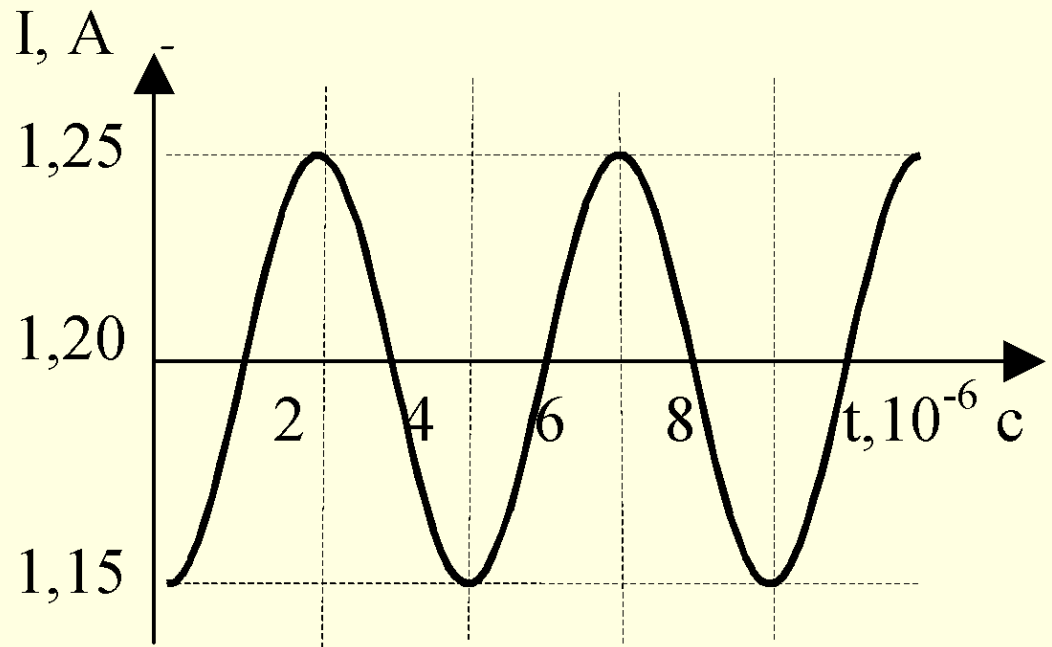
Чому дорівнює довжина хвиль, що посиляються радіостанцією, яка працює на частоті 1400 кГц?

Чому дорівнює довжина електромагнітної хвилі, що розповсюджується в повітрі з періодом коливань $T = 0,03$ мкс?

Чому дорівнює період коливань в електромагнітної хвилі, що поширюється в повітрі з довжиною хвилі 3 м?

На рисунке показан график колебаний силы тока в колебательном контуре с антенной. Определите длину электромагнитной волны, излучаемой антенной.

1. $1,2 \cdot 10^3$ м
2. $0,83 \cdot 10^{-3}$ м
3. $7,5 \cdot 10^2$ м
4. $6 \cdot 10^2$ м

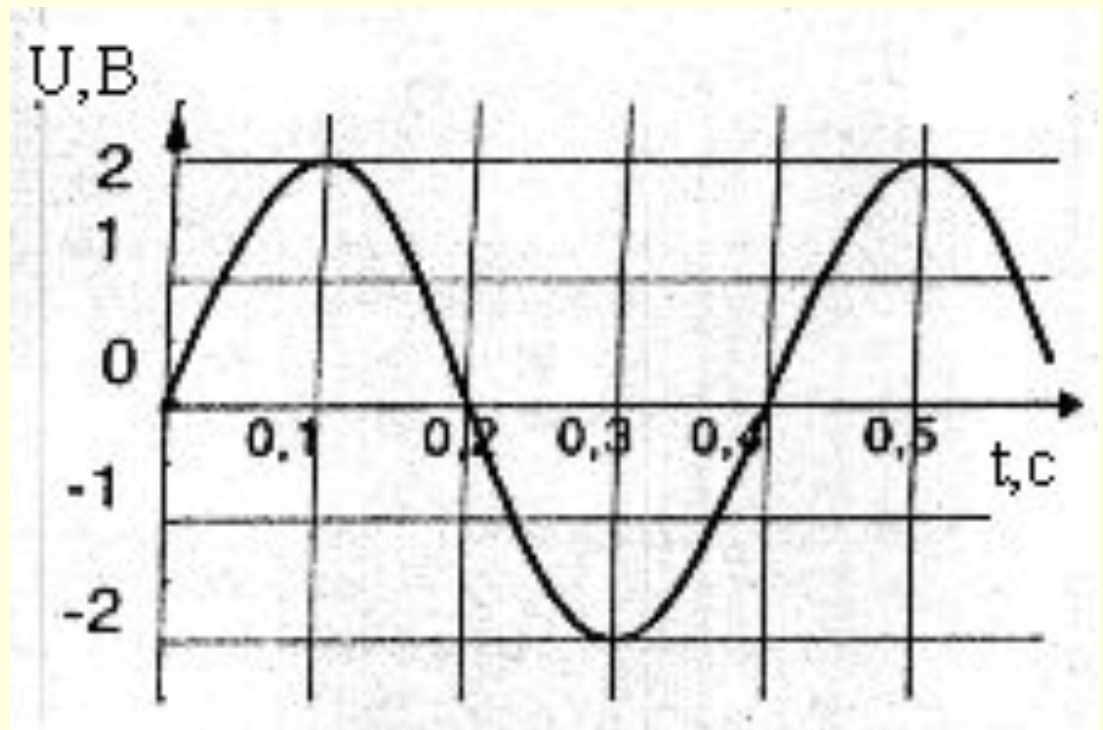


Колебания электрического поля в электромагнитной волне описывается уравнением $E = 10\cos(10^{-12}t + \pi/2)$. Определите циклическую частоту ω колебаний.

1. 10 с^{-1}
2. 10^{-12} с^{-1}
3. $\pi/2 \text{ с}^{-1}$
4. $3 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$

На рисунке приведен график изменения напряжения в электрической цепи с течением времени. Чему равен период колебаний напряжения?

1. 0,4 с
2. 2 В
3. 0,2 с
4. 4 В.



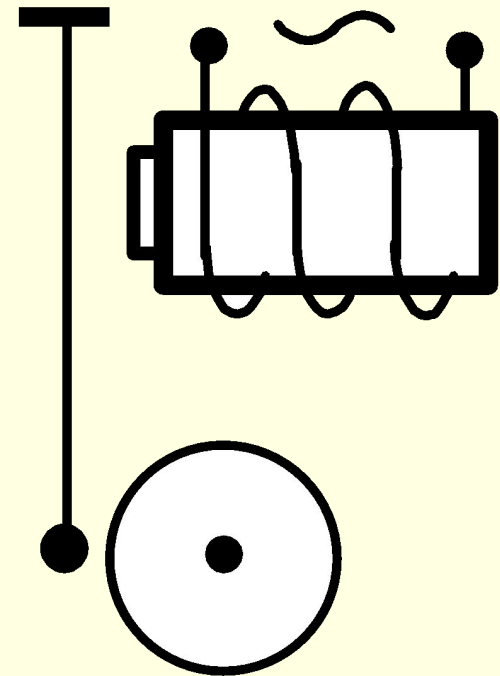
Радіостанція працює на частоті $0,75 \cdot 10^8$
Гц. Яка довжина хвилі, випромінюваної
антенною радіостанції?

Согласно теории Максвелла электромагнитные волны излучаются

- 1) при любом неравномерном движении заряда
- 2) только при гармонических колебаниях заряда
- 3) только при равномерном движении заряда по окружности
- 4) только при равномерном движении электронов по прямой

Катушка квартирного электрического звонка с железным сердечником подключена к переменному току бытовой электросети частотой 50 Гц (см. рисунок). Частота колебаний якоря

1. равна 25 Гц
2. равна 50 Гц
3. равна 100 Гц
4. зависит от конструкции якоря



Скорость распространения электромагнитных волн

1. имеет максимальное значение в вакууме
2. имеет максимальное значение в диэлектриках
3. имеет максимальное значение в металлах
4. одинакова в любых средах

Среди приведенных примеров электромагнитных волн максимальной длиной волны обладает

1. инфракрасное излучение Солнца
2. ультрафиолетовое излучение Солнца
3. излучение γ -радиоактивного препарата
4. излучение антенны радиопередатчика