



CHƯƠNG I: DAO ĐỘNG VÀ SÓNG

Bài giảng môn Vật lý 3 và thí nghiệm

Giảng viên: Tô Thị Thảo

Ngày 18 tháng 8 năm 2023

1 Dao động

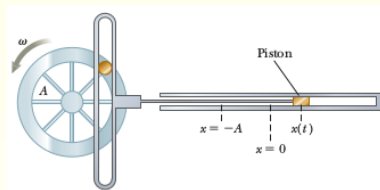
- 1.1. Dao động cơ
- 1.2. Dao động điện từ
- 1.3 Sự tổng hợp dao động
 - a. Tổng hợp hai dao động điều hoà cùng phương, cùng tần số
 - b. Tổng hợp hai dao động điều hoà có phương vuông góc, cùng tần số

2 Sóng

- 2.1. Sóng cơ
- 2.2 Sóng âm và hiệu ứng Doppler
- 2.3 Sóng điện từ và hệ phương trình Maxwell

- **Khái niệm dao động:**

Chuyển động được lặp lại nhiều lần theo thời gian

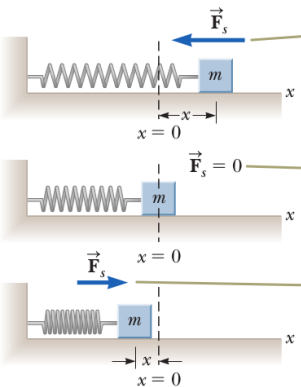


- **Điều kiện có hệ dao động:**

- Hệ phải có một vị trí cân bằng bền và chuyển động qua lại hai bên vị trí đó
- Khi hệ phải rời khỏi vị trí cân bằng bền luôn có một lực kéo hệ về vị trí cân bằng bền (lực kéo về)
- Hệ có quán tính, khi chuyển dời đến vị trí cân bằng do quán tính, nó tiếp tục vượt qua vị trí cân bằng đó.

Dao động cơ điều hòa:

Không có ma sát \Rightarrow dao động cơ điều hòa



- Phương trình dao động cơ điều hòa $F_s = -kx$
 \Rightarrow Lực đàn hồi của lò xo luôn đưa vật về vị trí bằng.

- Định luật II Newton $F_s = -kx = ma$

$$\Rightarrow m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \Rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$$

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2 \quad \frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0, \quad \omega_0 > 0$$

Nghiệm của phương trình: $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$

Dao động điều hòa là dao động có độ dời là hàm số SIN hoặc COS theo thời gian

Vận tốc và gia tốc của vật \Rightarrow rút ra từ các công thức ở phần động học:

- Vận tốc: $v = \frac{dx}{dt} = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) \Rightarrow v_{\max} = \omega_0 A$
- Gia tốc: $a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_0^2 A \cos(\omega_0 t + \varphi) = -\omega_0^2 x \Rightarrow v_{\max} = \omega_0^2 A$
- Chu kỳ: $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$
- Tần số: $f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{\omega_0}{2\pi}$

1.2. Dao động điện từ

a. Dao động điện từ điều hòa:

⇒ Biến đổi tuần hoàn giữa các đại lượng điện và từ.

Chuyển đổi năng lượng điện từ trong mạch LC

- Mạch điện:

- Cung cấp năng lượng ban đầu bằng cách nạp điện cho tụ C : $Q_0 = CU_0$.

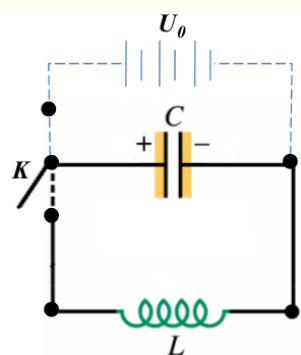
- Năng lượng của mạch:

- Năng lượng giữa 2 bản cực tụ (điện):

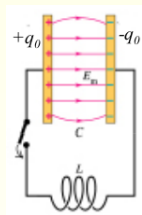
$$W_e = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C}$$

- Năng lượng trong cuộn dây (từ):

$$W_m = \frac{1}{2} LI_0^2$$

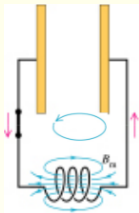


Chuyển đổi năng lượng trong mạch LC



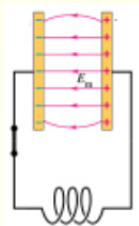
$$t = 0$$

$$W_{em} = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C}$$



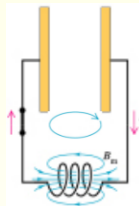
$$t = \frac{1}{4}T$$

$$W_{em} = \frac{1}{2} L I_0^2$$



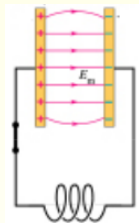
$$t = \frac{1}{2}T$$

$$W_{em} = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C}$$



$$t = \frac{3}{4}T$$

$$W_{em} = \frac{1}{2} L I_0^2$$



$$t = T$$

$$W_{em} = \frac{1}{2} \frac{Q_0^2}{C}$$

⇒ Tạo ra dao động điện từ điều hòa nếu như ko có mất mát năng lượng trong quá trình chuyển đổi.

Phương trình dao động điện từ điều hòa



Năng lượng toàn phần W của mạch dao động bảo toàn:

$$W = W_e + W_m = \text{const} \Leftrightarrow \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} Li^2 = \text{const}$$

- Đạo hàm theo thời gian: $\frac{q}{C} \frac{dq}{dt} + Li \frac{di}{dt} = 0$

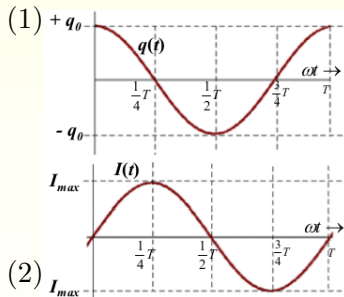
- Vì $i = \frac{dq}{dt} \Rightarrow \frac{q}{C} + L \frac{di}{dt} = 0$

- Phương trình dao động:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{1}{LC} i = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{d^2 i}{dt^2} + \omega_0^2 i = 0, \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

Dao động điện từ trong mạch LC là dao động điều hòa



Phương trình của cường độ dòng điện:

$$i = I_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) \quad (4)$$

trong đó, I_0 : biên độ dao động, φ : pha ban đầu.

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

là tần số góc dao động riêng của mạch dao động điện.

Chu kỳ của mạch dao động điều hòa:

$$T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{LC}$$

- Có thể viết được phương trình dao động điện từ điều hòa:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \omega_0^2 i = 0$$

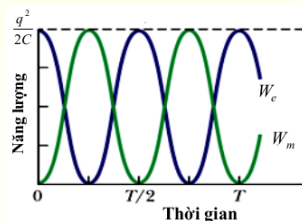
hay phương trình cho điện tích:

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

- Biến đổi năng lượng điện theo thời gian:

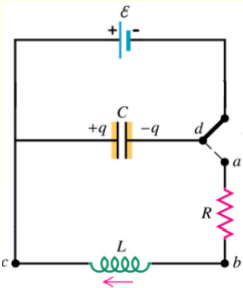
$$W_e = \frac{q^2(t)}{2C} = \frac{Q_0^2}{2C} \sin^2(\omega_0 t + \varphi)$$

$$W_m = \frac{1}{2} L i^2(t) = \frac{L I_0^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi)$$



b. Dao động điện từ tắt dần

Dao động trong mạch RLC:



- Ban đầu tụ C được tích điện;
- \Rightarrow quá trình chuyển hóa năng lượng điện trường trên $C \rightarrow$ năng lượng từ trường trên L ;
- Tỏa nhiệt trên $R \Rightarrow$ Biên độ dòng (điện tích) giảm \rightarrow tắt hẳn

Năng lượng tỏa nhiệt trên R trong thời gian $dt \Leftrightarrow$ độ giảm năng lượng điện từ trong mạch: $-dW = Ri^2 dt$

$$-d\left(\frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} Li^2\right) = Ri^2 dt$$

$$\frac{q}{C} \frac{dq}{dt} + Li \frac{di}{dt} = -Ri^2$$

$$\frac{q}{C} + L \frac{di}{dt} = -Ri$$

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\beta \frac{di}{dt} + \omega_0^2 i = 0$$

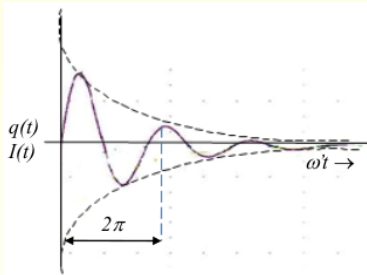
$$\beta = \frac{R}{2L}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- Nghiệm: (Điều kiện có dao động $\omega_0 > \beta$)

$$i = I_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} < \omega_0$$

- Chu kỳ: $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}} > T_0$



- Cường độ dòng điện i giảm dần theo thời gian với hàm exp.

- Điều kiện có dao động $\omega_0 > \beta \Rightarrow R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$

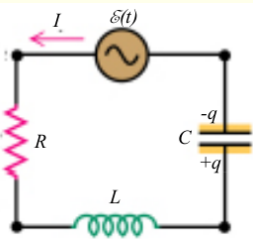
- Điện trở tới hạn $R_0 = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$

- Giảm lượng loga $\delta = \ln \frac{I_0 e^{-\beta t}}{I_0 e^{-\beta(t+T)}} = \beta T$

$\Rightarrow R$ càng lớn thì dao động tắt càng sớm.

c. Dao động điện từ cưỡng bức:

Dao động trong mạch RLC khi được kích thích bằng nguồn xoay chiều



- Nguồn $\xi(t)$: duy trì dao động không bị tắt dần:
 $\xi(t) = \xi_0 \sin \Omega t$
- Trong thời gian dt , nguồn ξ cung cấp năng lượng
 $= \xi \cdot i \cdot dt \rightarrow$ bù đắp phần năng lượng tỏa nhiệt trên
 R và làm tăng năng lượng điện từ dW trong mạch

$$dW + Ri^2(t)dt = \xi(t)i(t)dt$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} Li^2 \right) + Ri^2 = \xi i$$

Dao hàm theo thời gian, ta có: $\frac{q}{C} \frac{dq}{dt} + Li \frac{di}{dt} + Ri^2 = i \xi_0 \sin \Omega t$

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\beta \frac{di}{dt} + \omega_0^2 i = \frac{\xi_0 \Omega}{L} \cos \Omega t$$

Nghiệm $i = i_{td} + i_{cb}$, sau một thời gian i_{td} tắt hẳn, chỉ còn i_{cb}

$$i = I_0 \cos \Omega t$$

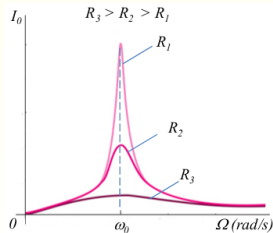
$$i = I_0 \cos(\Omega t + \varphi)$$

Với: $I_0 = \frac{\xi_0}{\sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}}$, và: $\tan \varphi = \frac{Z_L - Z_C}{R}$

Trong đó, $Z_C = \frac{1}{\Omega C}$: dung kháng, $Z_L = \Omega L$: cảm kháng.

Cộng hưởng điện từ mạch RLC:

- Nhận thấy $I_0 = \frac{\xi_0}{\sqrt{R^2 + (Z_L - Z_C)^2}} = \frac{\xi_0}{Z_R}$
- Khi ξ_0 và R cố định $\Rightarrow I_0$ max khi $Z_L - Z_C = \Omega L - \frac{1}{\Omega C} = 0$ hay $Z_L = Z_C$.
- Khi đó: $\Omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \omega_0$: tần số dao động riêng của mạch (LC): **Cộng hưởng dao động**.
- Dòng điện cực đại $I_{0max} = \frac{\xi_0}{R}$



Bài 1: Một mạch dao động điện từ có điện dung $C = 0,25\mu\text{F}$, hệ số tự cảm $L = 1,015\text{ H}$ và điện trở $R = 0$. Ban đầu hai cốt của tụ điện được tích điện $Q_0 = 2,5 \cdot 10^{-6}\text{C}$.

- Viết pt dao động của mạch điện đối với điện tích q và dòng điện i .
- Năng lượng điện từ của mạch.
- Tần số dao động của mạch.

Bài 2: Một mạch dao động điện từ có điện dung $C = 0,405\mu\text{F}$, hệ số tự cảm $L = 10^{-2}\text{ H}$ và điện trở $R = 2\Omega$. Tìm:

- Chu kỳ dao động của mạch.
- Sau thời gian một chu kỳ, hiệu điện thế giữa hai cốt của tụ điện giảm bao nhiêu lần?

a. Tổng hợp hai dao động điều hoà cùng phương, cùng tần số

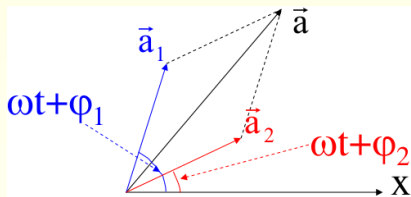
$$x_1 = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$x_2 = a_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

Dao động tổng hợp:

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

Sử dụng phương pháp giản đồ Fresnel: tổng hợp hai dao động điều hoà x_1 và x_2 cùng phương, cùng tần số góc cũng là một dao động điều hoà x có cùng phương và cùng tần số góc ω với các dao động thành phần, với



$$a = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}; \tan \varphi = \frac{a_1 \sin \varphi_1 + a_2 \sin \varphi_2}{a_1 \cos \varphi_1 + a_2 \cos \varphi_2}$$

- $(\varphi_2 - \varphi_1) = 2k\pi; k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$

$$a = a_1 + a_2 = a_{max}$$

- $(\varphi_2 - \varphi_1) = (2k + 1)\pi; k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$

$$a = |a_1 - a_2| = a_{min}$$

b. Tổng hợp 2 dao động điều hoà có phương vuông góc, cùng tần số

$$x = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

$$y = a_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

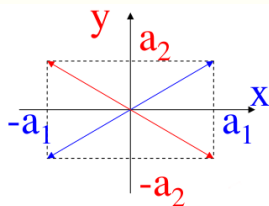
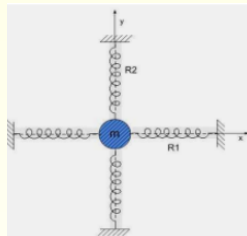
Dao động tổng hợp:

$$\frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{a_2^2} - \frac{2xy}{a_1 a_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$$

Quỹ đạo chuyển động tổng hợp của hai dao động điều hoà có phương vuông góc và có cùng tần số góc là một đường elip. Dạng của elip phụ thuộc vào hiệu pha $(\varphi_2 - \varphi_1)$ của hai dao động thành phần x và y .

$$1. (\varphi_2 - \varphi_1) = 2k\pi; (2k + 1)\pi; k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$$

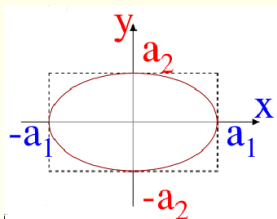
$$\frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{a_2^2} \mp \frac{2xy}{a_1 a_2} = 0 \Leftrightarrow \frac{x}{a_1} \mp \frac{y}{a_2} = 0$$



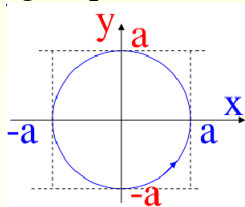
2.

$$(\varphi_2 - \varphi_1) = (2k + 1)\pi/2$$

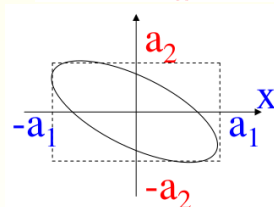
$$\frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{a_2^2} = 1$$



$$a_1 = a_2 = a$$



3. Trường hợp trung gian: Quỹ đạo là những hình ellip nghiêng trái hoặc nghiêng phải.



a. Khái niệm sóng và sóng cơ

Định nghĩa: Quá trình truyền các dao động trong không gian qua một môi trường (không khí, nước, chất rắn).

Sóng cơ: sự truyền dao động cơ trong môi trường đàn hồi → sóng đàn hồi ⇒ không tồn tại sóng cơ trong chân không!

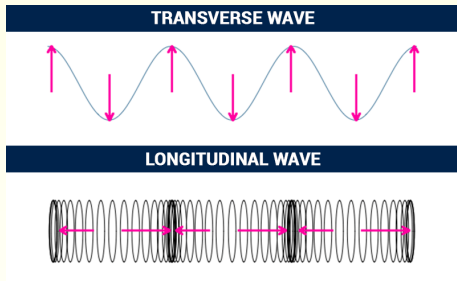
Các loại sóng:

- Sóng cơ: sóng âm, sóng nước và các sóng hạt...
- Sóng điện từ: sóng radio, sóng ánh sáng, tín hiệu TV...

Một số khái niệm:

- Nguồn sóng (tâm sóng): phần tử được kích thích gây ra dao động.
- Tia sóng: Phương truyền sóng
- Trường sóng: không gian sóng truyền qua
- Mặt sóng: Tập hợp những điểm trong trường sóng, tại đó các phần tử dao động cùng pha.
- Mặt đầu sóng: mặt sóng ngoài cùng trong trường sóng.

b. Sóng ngang và sóng dọc

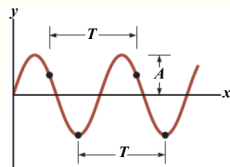
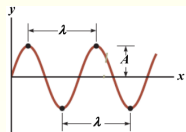


- **Sóng ngang:** phương dao động của các phần tử môi trường vuông góc với tia sóng \Rightarrow chỉ truyền trong môi trường rắn (sóng nước, sóng điện từ...).
- **Sóng dọc:** phương dao động của các phần tử môi trường trùng (song song) với tia sóng \Rightarrow xuất hiện trong các môi trường chịu biến dạng về thể tích \Rightarrow truyền được trong môi trường rắn, lỏng, khí (sóng dao động của lò xo, sóng âm...).

c. Các đại lượng đặc trưng của sóng cơ

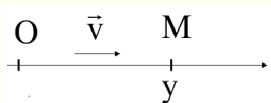
Định nghĩa: Quá trình truyền dao động trong môi trường đàn hồi gọi là sóng cơ. Phần tử đầu tiên phát ra dao động gọi là nguồn sóng.

- Sóng tuần hoàn: mỗi phần tử của môi trường thực hiện một chuyển động tuần hoàn.
- Sóng hình sin: chuyển động của các phần tử dưới dạng dao động điều hòa.
- Biên độ (A): Độ dịch chuyển cực đại của 1 điểm trên sóng.
- Bước sóng (λ): Khoảng cách ngắn nhất giữa các điểm có dao động cùng pha (các đỉnh hoặc ngọn sóng)
- Chu kì (T): Thời gian cho 1 điểm trên sóng thực hiện một chu trình dao động hoàn chỉnh.



c. Phương trình sóng cơ

Phương trình sóng phẳng



- Sóng tại O có phương trình $x = A \cos(\omega t)$
- Trạng thái dao động của phần tử tại M ở thời điểm $t' = t - \frac{y}{v}$ giống hệt tại O

$$x(t') = A \cos\left[\omega\left(t - \frac{y}{v}\right)\right]$$

$$\text{Do } T = \frac{2\pi}{\omega}, \lambda = T \cdot v = \frac{v}{f}$$

$$x(t') = A \cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{y}{T v}\right) = A \cos\left(\omega t - \frac{2\pi y}{\lambda}\right)$$

Phương trình sóng cầu

Phương trình sóng cầu cũng có dạng tương tự như sóng phẳng nhưng chúng khác nhau ở biểu thức biên độ.

$$x(t') = k \frac{A}{y} \cos\left[\omega\left(t - \frac{y}{v}\right)\right]$$

d. Năng lượng sóng cơ

- Sóng cơ là sóng vật chất nên có năng lượng.
- Trong môi trường đồng tính và đẳng hướng, năng lượng sóng cơ trong thể tích ΔV của môi trường:

$$\Delta W = A^2 \rho \Delta V \omega^2 \sin^2 \omega(t - \frac{y}{v})$$

- Năng lượng trung bình: $\overline{\Delta W} = \frac{1}{2} \rho \Delta V \omega^2 A^2$
- Mật độ năng lượng sóng: $\overline{w} = \frac{\overline{\Delta W}}{\Delta V} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2$

Năng thông

$$\overline{\psi} = \frac{\overline{W}}{\Delta t} = \frac{\overline{w} \Delta V}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 v \Delta S$$

Vector Umop-Pointing: Đặc trưng cho quá trình truyền năng lượng sóng cơ trong môi trường đàn hồi:

$$\vec{U} = \overline{w} \cdot \vec{v}$$

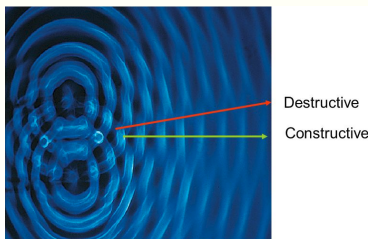
e. Nguyên lý chồng chất và sự giao thoa sóng cơ

Nguyên lý chồng chất sóng:

Khi hai hay nhiều sóng có biên độ nhỏ, đồng thời truyền qua miền nào đó của môi trường đàn hồi thì dao động của mỗi điểm \rightarrow tổng hợp các dao động gây bởi từng sóng riêng rẽ. Các sóng đó không làm nhiễu loạn nhau. Sau khi gặp nhau, các sóng đó vẫn truyền đi như khi chúng truyền đi riêng rẽ.

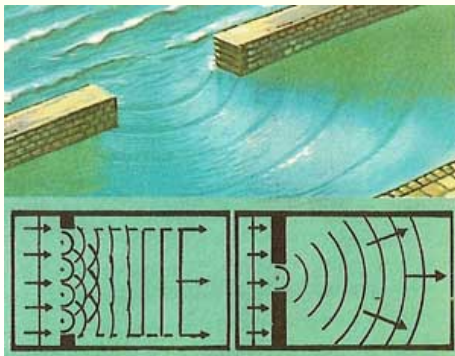
Sự giao thoa sóng cơ:

Khi có hai sóng kết hợp (là 2 nguồn có hiệu pha không đổi theo thời gian) gặp nhau thì trong miền gặp nhau có những chỗ biên độ dao động cực đại, những chỗ biên độ dao động cực tiểu.



Nguyên lý Huyghen: Mỗi điểm trong không gian nhận được sóng từ nguồn sóng thực S truyền đến đều trở thành nguồn thứ cấp phát sóng về phía trước nó.

Nhiễu xạ sóng cơ: Hiện tượng các tia sóng đối phương truyền khi đi qua các chướng ngại vật gọi là hiện tượng nhiễu xạ sóng.



a. Sóng âm:

Là sóng dọc lan truyền trong môi trường, (có biên độ nhỏ mà thính giác của ta có thể nhận biết được).

Héc là tần số của một quá trình dao động âm mà cứ mỗi giây thực hiện được một dao động.

- Dải tần: 20 Hz đến 20 000 Hz
- Sóng hạ âm: dao động < 20 Hz
- Sóng siêu âm: dao động $> 20\,000$ Hz
- Sóng âm nghe được có bước sóng từ 2cm đến 20m.

Âm có thể bị phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ, hấp thụ.... Khi tia âm truyền qua 2 môi trường có vận tốc truyền âm khác nhau \rightarrow ở mặt phân cách hai môi trường, một phần tia âm bị phản xạ, một phần bị khúc xạ.

- Góc phản xạ bằng góc tới.
- Khi tia âm truyền từ môi trường có $v_{\text{lớn}}$ \rightarrow môi trường có $v_{\text{nhỏ}}$ hơn thì góc khúc xạ $<$ góc tới và ngược lại.

Vận tốc âm v được tính bằng công thức: $v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}$

b. Hiệu ứng Doppler

Hiệu ứng Doppler xuất hiện khi nguồn sóng và người quan sát có sự dịch chuyển tương đối.

- Nguồn âm A phát ra âm có tần số $f \rightarrow$ máy thu B với vận tốc u
- Máy thu B chuyển động đối với nguồn A vận tốc u'
- Vận tốc truyền âm là v
- Nguồn âm **đến gần** máy thu thì $u > 0$, **đi xa** máy thu thì $u < 0$
- Máy thu **đến gần** nguồn âm thì $u' > 0$, **đi xa** nguồn âm thì $u' < 0$

Nguồn âm và máy thu đều chuyển động ($u \neq 0, u' \neq 0$).

- Giả sử nguồn âm và máy thu đi tới gặp nhau ($u > 0, u' > 0$)
- Máy thu \rightarrow nguồn âm \Rightarrow vận tốc truyền âm v được tăng thêm một lượng u' : $v' = v + u'$.
- Vận tốc truyền âm \nrightarrow vào chuyển động của nguồn âm.
- Nguồn đứng yên \rightarrow sau 1 chu kỳ, sóng truyền được một đoạn λ .
Trong khoảng thời gian này, nguồn A dịch chuyển thêm 1 đoạn uT
 \Leftrightarrow khoảng cách giữa 2 mặt sóng liên tiếp $\lambda' = \lambda - uT$.
- Bước sóng do nguồn A phát ra đã giảm một lượng uT .

Tần số của âm mà máy thu nhận được:

$$f' = \frac{v'}{\lambda'} = \frac{v + u'}{\lambda - uT}$$

Mà $\lambda = v.T$; $f = \frac{1}{T}$

$$f' = \frac{v + u'}{v - u} f$$

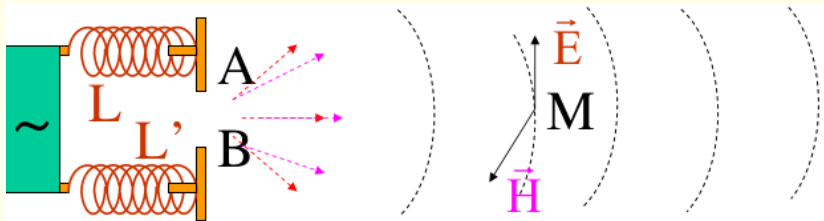
- Nguồn đứng yên, máy thu chuyển động ($u = 0, u' \neq 0$)

$$f' = (1 + \frac{u'}{v})f$$

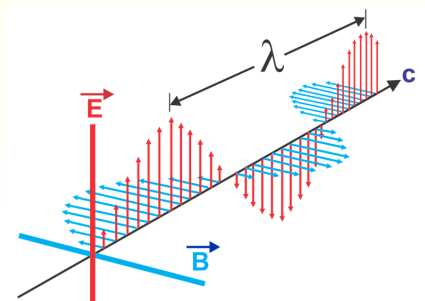
- Nguồn chuyển động, máy thu đứng yên ($u \neq 0, u' = 0$)

$$f' = \frac{v}{v - u} f$$

1. Thí nghiệm Hertz tạo ra sóng điện từ



Sóng điện từ là trường điện từ biến thiên truyền đi trong không gian.



2. Những tính chất của sóng điện từ

a. Hệ phương trình Maxwell của sóng điện từ

$$\begin{aligned}\text{rot } \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & \text{rot } \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \text{div } \vec{D} &= \rho & \text{div } \vec{B} &= 0 \\ \vec{D} &= \epsilon_0 \epsilon \vec{E} & \vec{B} &= \mu_0 \mu \vec{H}\end{aligned}$$

b. Những tính chất tổng quát của sóng điện từ

- Sóng điện từ tồn tại trong chân không và trong môi trường chất.
- Sóng điện từ là sóng ngang.
- Vận tốc truyền sóng điện từ trong môi trường đồng chất, đẳng hướng:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

- $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$: vận tốc truyền sóng trong chân không.
- ϵ, μ : là hằng số điện môi và độ từ thẩm của môi trường.
- $n = \sqrt{\epsilon\mu}$: chiết suất tuyệt đối của môi trường.

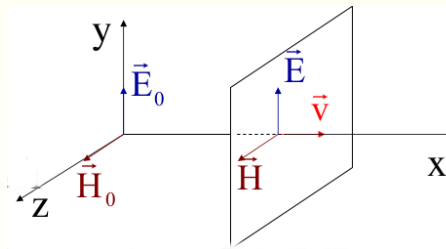
c. Sóng điện từ phẳng đơn sắc

- Các mặt sóng là những mặt phẳng song song: từ ∞ , phương \vec{E} , \vec{H} không đổi.
- Hai véc tơ luôn vuông góc: $\vec{E} \perp \vec{H}$ và vuông góc với phương truyền sóng.
- Ba véc tơ \vec{E} , \vec{H} , \vec{v} theo thứ tự tạo thành tam diện thuận.
- \vec{E} , \vec{H} luôn dao động cùng pha và có tỷ lệ: $\sqrt{\epsilon_0\epsilon}|\vec{E}| = \sqrt{\mu_0\mu}|\vec{H}|$

Phương trình dao động của \vec{E} , \vec{H}

$$E = E_0 \cos \omega(t - \frac{y}{v})$$

$$H = H_0 \cos \omega(t - \frac{y}{v})$$



d. Năng lượng và cường độ sóng điện từ

- Mật độ năng lượng sóng điện từ:

$$w = \frac{1}{2}\epsilon_0\epsilon E^2 + \frac{1}{2}\mu_0\mu H^2$$

Đối với sóng điện từ phẳng đơn sắc ta có:

$$\sqrt{\epsilon_0\epsilon}|\vec{E}| = \sqrt{\mu_0\mu}|\vec{H}|$$

$$w = \epsilon_0\epsilon E^2 = \mu_0\mu H^2$$

- Cường độ sóng điện từ là đại lượng có trị số bằng năng lượng truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian.
- Cường độ sóng điện từ tỉ lệ với bình phương biên độ của cường độ điện trường hay cường độ từ trường.