

MOVIMENT ONDULATORI

Conceptualització

Anomenem **moviment ondulatori** a la propagació d'un moviment vibratori al llarg de l'espai i el temps de forma simultània. Aquest moviment pot ser una pertorbació de l'estat de vibració d'un medi material a través del qual viatja o també una oscil·lació del valor d'un cert camp definit sobre l'espai-temps. Anomenem **ona** a aquesta pertorbació que es propaga en un moviment ondulatori. Una ona, en essència, transporta energia sense implicar un transport de matèria. Podem classificar una ona segons els següents esquemes:

a.- Dimensions de l'espai en què es propaga la ona

- (i) *Ones Unidimensionals*: es propaguen al llarg d'una única direcció \mathbb{R} (ona al llarg d'una molla)
- (ii) *Ones Bidimensionals*: es propaguen en una superfície plana \mathbb{R}^2 (ones sobre un llac)
- (iii) *Ones Tridimensionals*: es propaguen en totes les direccions de l'espai \mathbb{R}^3 (ones de llum)

b.- Direcció de vibració vs. Direcció de propagació

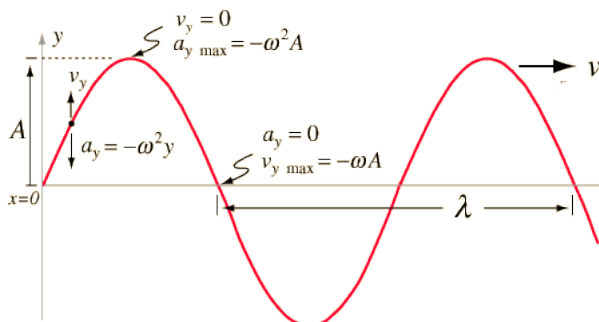
- (i) *Ones Longitudinals*: la vibració es produeix en la mateixa direcció en què es propaga la ona (ona sònica)
- (ii) *Ones Transversals*: la vibració es produeix perpendicularment a la direcció en què es propaga la ona

c.- Medi de Propagació

- (i) *Ones Mecàniques*: Són ones que necessiten d'un medi material per propagar-se doncs l'energia de la ona es transmet, a nivell nanoscòpic, a partir de les interaccions entre els àtoms o mol·lècules del medi (ones marítimes)
- (ii) *Ones Immaterials*: Són ones que no necessiten d'un medi material per propagar-se i poden viatjar pel buit doncs la pertorbació es dona sobre els valors de camps de forces i l'energia de la ona es transmet directament a través del propi teixit de l'espai-temps (ones electromagnètiques i ones gravitacionals)

Una ona es caracteritza físicament amb els següents paràmetres i matemàticament amb l'equació de sota:

Magnitud	Símbol	Descripció	Unitats
Amplitud	A	Distància màxima a què arriba l'elongació	m
Elongació	x o y	Distància a què es troba un punt del medi respecte la seva posició d'equilibri (en ones mecàniques) o valor d'un camp respecte al seu valor mitjà (en ones immaterials)	m
Longitud d'ona	λ	Mínima distància entre dos punts que es trobin en fase, és a dir, en el mateix estat de vibració	m
Nombre d'ona	k	$k = 2\pi/\lambda$	rad/m
Període	T	El temps que tarda la ona en completar una vibració o el temps que tarda la ona en completar una longitud d'ona	s
Freqüència	ν	Nombre de oscil·lacions per segon o la inversa del període	Hz (s^{-1})
Freqüència Angular	ω	$\omega = 2\pi/T$	rad/s
Velocitat de Propagació	v	Distància que avança la ona per unitat de temps. En medis homogenis, la velocitat no varia: $v = \lambda/T = \omega/k$	m/s



$$y(x, t) = A \cdot \sin(\omega t \pm kx + \phi_0)$$

$$y(x, t) = A \cdot \sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda}\right) + \phi_0\right]$$

$$v_y(x, t) = \frac{dy(x, t)}{dt} = A\omega \cdot \cos(\omega t \pm kx + \phi_0)$$

$$a_y(x, t) = \frac{d^2y(x, t)}{dt^2} = -A\omega^2 \cdot \sin(\omega t \pm kx + \phi_0)$$

MOVIMENT ONDULATORI

Propagació de l'Energia en el Moviment Ondulatori

Anomenem **front d'ona** al locus de punts que es troben en el mateix estat de vibració o en fase.

Per a ones unidimensionals, el front d'ona és un sol punt.

Per a ones bidimensionals, el front d'ona és una línia recta o el perímetre d'una circumferència.

Per a ones tridimensionals, el front d'ona és un pla o una superfície esfèrica.

La **Potència** d'una ona és l'energia que aquesta transporta per unitat de temps.

La **Intensitat** d'una ona és la potència per unitat d'extensió del seu front d'ona i és sempre proporcional al quadrat de l'amplitud d'oscil·lació $\rightarrow I \propto A^2$

ATENUACIÓ

El fenomen d'**atenuació** és la reducció de la intensitat d'una ona a causa de la seva distància al focus. A mida que una ona s'allunya del seu focus, la potència que transporta es reparteix al llarg de tota l'extensió del seu front d'ona. Per a ones bi i tridimensionals la intensitat de la ona decreix amb la distància com també ho fa l'amplitud de les oscil·lacions doncs l'energia transportada es reparteix en línies o superfícies.

Considerem dos fronts d'ona F_1 i F_2 allunyats del focus unes distàncies r_1 i r_2 respectivament. Les intensitats de la ona respectives a la posició d'aquests fronts d'ona compleixen:

Ones 1D	Ones 2D	Ones 3D
$I_1 = I_2$	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2}{r_1}$	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$

ABSORCIÓ

El fenomen d'**absorció** es produeix quan una ona travessa un medi material i interactua amb les partícules del medi. Aquesta interacció, sovint en forma de friccions, dissipa l'energia de l'ona i la intensitat d'aquesta decau exponencialment a mida que la ona penetra en el medi. Quan una ona de intensitat inicial I_0 penetra una distància x en un medi que tingui un coeficient d'absorció β (que depen de les propietats físico-químiques del medi), la seva intensitat decreix com:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\beta x}$$

Definim el **gruix de semi-absorció** $D_{1/2}$ com la distància que ha de penetrar la ona en el medi perquè la seva intensitat es redueixi a la meitat:

$$D_{1/2} = \frac{\ln 2}{\beta}$$

Interacció del Front d'Ona amb el Medi: Principi de Huygens

PRINCIPI DE HUYGENS: Una ona avança de manera que cada punt del front d'ona es converteix en un focus emissor d'una ona de les seves mateixes característiques.

Quan una ona avança dins d'un medi material o traspasa la frontera entre dos medis diferents es sotmet als següents fenòmens ¹:

- **Reflexió:** Quan la ona rebota en arribar a una interfície entre dos medis
- **Refracció:** Quan la ona traspasa la interfície entre dos medis i canvia la seva direcció de propagació
- **Difracció:** Quan la ona colisiona amb un obstacle i canvia la seva direcció de propagació

Interferències Lliures

Un punt on conflueixen 2 o més ones queda sotmès a la suma de cada pertorbació per separat. Considerem 2 ones y_1 i y_2 d'igual amplitud i freqüència que interfereixen en un punt P situat a distàncies x_1 i x_2 respectivament de cada focus d'ona. El MVHS del punt P és:

$$y_P(t) = 2A \cdot \cos \left[k \cdot \frac{(x_2 - x_1)}{2} \right] \cdot \sin \left[\omega t - k \cdot \frac{(x_2 + x_1)}{2} \right]$$

- Interferència Constructiva: $x_2 - x_1 = n\lambda$

- Interferència Destructiva: $x_2 - x_1 = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$

Interferències Confinades: Ones estacionàries

Quan dues ones d'igual amplitud, freqüència i longitud d'ona es propaguen en sentits oposats interfereixen per formar **ones estacionàries** ². Aquestes ones presenten punts d'oscil·lació màxima (ventres) i punts que mai oscil·len (nodes). L'equació d'una ona estacionària és:

$$y(x, t) = 2A \cdot \cos(kx) \cdot \sin(\omega t)$$

- Posicions dels Ventres: $x = n \frac{\lambda}{2}$

- Posicions dels Nodes: $x = (2n + 1) \frac{\lambda}{4}$

¹ veure fitxa d'òptica — ² veure fitxa d'acústica