

Sintesi del capitolo

Onda: è una variazione periodica di una grandezza fisica nel tempo e nello spazio. L'oscillazione nel tempo si può descrivere con $s(t) = A \sin[(2\pi/T)t + \phi]$, dove A è l'ampiezza dell'oscillazione, T è il periodo, ϕ è la fase iniziale, $f = 1/T$ è la frequenza e $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$ è la pulsazione. La periodicità nello spazio si può descrivere con $s(x) = A \sin[(2\pi/\lambda)x + \phi']$, dove λ è la lunghezza d'onda e ϕ' è la fase iniziale. Nel S.I. delle unità di misura il periodo si misura in secondi, la frequenza in hertz ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$) e la lunghezza d'onda in metri.

Energia trasportata da un'onda: un'onda che si propaga trasporta una quantità di energia che è direttamente proporzionale al quadrato dell'ampiezza dell'oscillazione; l'energia trasportata per unità di tempo e per unità di superficie è l'intensità dell'onda.

Oscillazioni smorzate e forzate: se su un oscillatore armonico agisce una forza dissipativa si hanno delle oscillazioni smorzate; se invece vi è un apporto periodico di energia, si hanno oscillazioni forzate. In particolare, se questo apporto di energia ha la stessa frequenza del sistema oscillante, si ha risonanza.

Velocità di propagazione di un'onda: è legata alla lunghezza d'onda λ e alla frequenza f dalla relazione $v = \lambda f$.

Legge di propagazione delle onde: descrive la dipendenza dell'oscillazione sia dal tempo sia dallo spazio; per un'onda piana che si propaga lungo l'asse x con fase iniziale nulla, la legge si può scrivere come $s(x, t) = A \sin[2\pi(t/T - x/\lambda)] = A \sin(\omega t - kx)$, dove $\omega = 2\pi/T$ e $k = 2\pi/\lambda$.

Equazione di propagazione di un'onda sferica: lungo ciascun raggio si ha:

$$s(r, t) = \frac{A_0}{r} \sin[\omega t + \phi]$$

Onde trasversali e longitudinali: per le onde trasversali la direzione di propagazione è perpendicolare alla direzione di oscillazione, mentre per quelle longitudinali la propagazione e l'oscillazione hanno la stessa direzione.

Superficie d'onda: è l'insieme dei punti che si trovano nello stesso stato di vibrazione.

Principio di sovrapposizione: quando due o più onde si propagano nello stesso mezzo, ciascuna di esse si propaga in modo indipendente; inoltre, lo stato di vibrazione in un dato punto è la somma vettoriale degli stati di vibrazione delle singole onde.

Interferenza: se la differenza di fase tra due onde che si propagano nello stesso mezzo è zero o un multiplo pari di π , l'ampiezza dell'onda risultante è la somma delle due ampiezze singole (interferenza costruttiva); se invece la differenza di fase è un multiplo dispari di π , l'ampiezza risultante è nulla (interferenza distruttiva). L'interferenza può avvenire solo per onde coerenti, cioè con differenza di fase costante.

Diffrazione: si osserva quando un'onda incontra un ostacolo o una fenditura di dimensioni confrontabili con la lunghezza d'onda, e si spiega col principio di Huygens e l'interferenza: ogni punto della fenditura è sorgente di un'onda emisferica, e l'interferenza tra queste onde emisferiche dà luogo alla diffrazione.

Onde stazionarie: sono causate dall'interferenza tra due onde coerenti che hanno la stessa frequenza e si propagano lungo la stessa direzione con versi opposti. Tutti i punti del mezzo oscillano con la stessa fase, ma l'ampiezza dell'oscillazione dipende dalla variabile spaziale; i punti di ampiezza nulla si chiamano nodi, quelli di ampiezza massima si chiamano ventri, e la distanza tra due nodi o tra due ventri è pari a mezza lunghezza d'onda.

Onde sonore: sono date dalla propagazione di onde elastiche in un mezzo. Nei fluidi le onde sonore sono longitudinali, mentre nei solidi possono essere sia longitudinali sia trasversali.

Velocità del suono: dipende dal mezzo, ad esempio in aria è circa 344 m/s, mentre in acqua è circa 1450 m/s.

Pressione sonora: la propagazione del suono in un gas causa una variazione di pressione istantanea del tipo $\Delta p(t) = \Delta p_0 \sin(\omega t + \phi)$, dove Δp è la variazione di pressione rispetto alla pressione atmosferica e Δp_0 è l'ampiezza della perturbazione ondulatoria.

Legame tra l'ampiezza di pressione sonora e l'intensità del suono in un gas:

$$\Delta p_0 = \sqrt{2I\rho v}$$

dove I e v sono l'intensità e la velocità dell'onda sonora, mentre ρ è la densità del gas.

10 Onde meccaniche ed elettromagnetiche

Velocità del suono in un gas:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

dipendente dalla temperatura assoluta T del gas e dal suo peso molecolare M , ma indipendente dalla densità e dalla pressione del gas; γ è il rapporto tra il calore specifico a pressione costante e quello a volume costante, mentre R è la costante dei gas perfetti.

Dipendenza dell'intensità del suono dalla distanza: per un'onda sonora generata da una sorgente puntiforme, l'intensità su una superficie d'onda è inversamente proporzionale al quadrato del raggio; quindi, per due punti che distano R_1 e R_2 dalla sorgente, si ha $I_1/I_2 = R_2^2/R_1^2$.

Percezione sonora: l'orecchio umano può percepire solo onde sonore di frequenza compresa tra circa 20 Hz e circa 20.000 Hz. I suoni di frequenza superiore a 20.000 Hz si chiamano ultrasuoni, mentre quelli di frequenza inferiore a 20 Hz si chiamano infrasuoni.

Soglia di udibilità e soglia del dolore: il suono di intensità più bassa che l'orecchio umano può percepire ha una intensità $I_0 = 10^{-12}$ Watt/m² (soglia di udibilità), mentre un suono di intensità pari a 1 Watt/m² provoca dolore (soglia del dolore).

Livello di sensazione sonora: è dato da $\alpha(\text{dB}) = 10 \log(I/I_0)$, dove I è l'intensità del suono in Watt/m², I_0 è la soglia di udibilità e $\log$ indica il logaritmo in base 10. La soglia di udibilità e quella del dolore corrispondono rispettivamente a 0 dB e 120 dB.

Effetto Doppler: quando una sorgente sonora emette un suono di una data frequenza, se l'osservatore si avvicina alla sorgente (ferma) o se la sorgente si avvicina all'osservatore (fermo), l'osservatore percepisce un suono di frequenza maggiore rispetto alla frequenza propria della sorgente. Se invece l'osservatore si allontana dalla sorgente (ferma) o se la sorgente si allontana dall'osservatore (fermo), l'osservatore percepisce un suono di frequenza minore rispetto alla frequenza propria della sorgente. La variazione di frequenza percepita dipende sia dalla velocità del suono sia dalla velocità dell'osservatore (se la sorgente è ferma) o della sorgente (se l'osservatore è fermo).

Onda elettromagnetica (e.m.): è la variazione periodica nello spazio e nel tempo di un vettore campo elettrico e un vettore campo magnetico; un'onda e.m. piana che si propaga lungo l'asse z si può descrivere con relazioni del tipo $\mathbf{E}(z,t) = \mathbf{E}_0 \sin[2\pi(t/T - z/\lambda)]$ e $\mathbf{B}(z,t) = \mathbf{B}_0 \sin[2\pi(t/T - z/\lambda)]$, dove $\mathbf{E}_0$ e $\mathbf{B}_0$ sono le ampiezze massime dei due campi, T è il periodo e λ è la lunghezza d'onda. I due campi sono perpendicolari tra loro e sono perpendicolari alla direzione di propagazione dell'onda; inoltre, $E_0 = cB_0$.

Velocità delle onde e.m.: nel vuoto tutte le onde e.m. si propagano con la stessa velocità, che è $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. La velocità delle onde e.m. in un mezzo invece è sempre minore di c e dipende dalla frequenza, oltre che dal mezzo. Inoltre, nel vuoto si ha:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$$

mentre in un mezzo si ha:

$$v = \sqrt{\frac{1}{\epsilon \mu}}$$

dove ϵ_0 e μ_0 sono rispettivamente la costante dielettrica e la permeabilità magnetica del vuoto, mentre ϵ e μ sono la costante dielettrica e la permeabilità magnetica del mezzo. Come per qualsiasi onda, anche per le onde e.m. la velocità di propagazione è il prodotto tra la lunghezza d'onda e la frequenza

Spettro delle onde e.m.: in ordine di frequenza crescente (quindi di lunghezza d'onda decrescente), le onde e.m. si suddividono in: onde radio, microonde, raggi infrarossi, luce visibile, raggi UV, raggi X e raggi gamma. La luce visibile ha lunghezze d'onda comprese tra circa 400 nm (violetto) e circa 700 nm (rosso).

Legame tra l'intensità di un'onda e.m. e il campo elettrico e magnetico: $I = c^2 \epsilon_0 E B = c \epsilon_0 E^2$.

Quantizzazione dell'energia: l'energia di un'onda e.m. è disponibile come un multiplo intero di una quantità minima di energia detta quanto, o fotone; l'energia E di ogni fotone è proporzionale alla frequenza dell'onda f secondo la relazione $E = hf$, dove h è la costante di Planck.

Effetto fotoelettrico: si può verificare quando un fotone di energia sufficientemente alta urta un elettrone atomico di un orbitale interno; l'energia del fotone viene utilizzata in parte per liberare l'elettrone dall'atomo, e in parte come energia cinetica dell'elettrone stesso. L'esistenza di una energia di soglia sotto la quale l'effetto non può verificarsi dimostra che la luce ha anche un comportamento corpuscolare.