

1. L'estremità di una corda è sollecitata armonicamente con frequenza di 2,5 Hz. Se la perturbazione si propaga alla velocità di 4,0 m/s, quanto vale la lunghezza d'onda?

$$f = 2,5 \text{ Hz} \quad v = 4,0 \text{ m/s} \quad \lambda = ?$$

Applico la definizione di velocità:

$$v = f\lambda \Rightarrow \lambda = \frac{v}{f} = \mathbf{1,6 \text{ m}}$$

2. Un'onda elastica trasversale si propaga lungo una corda tesa di densità lineare 0,06 g/cm con una velocità di 15 m/s. Calcola la tensione a cui è soggetta la corda.

$$\mu = 0,06 \text{ g/cm} = 0,06 \cdot 10^{-1} \text{ kg/m} \quad v = 15 \text{ m/s} \quad F = ?$$

Applico la definizione di velocità in funzione della tensione:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow F = v^2 \mu = \mathbf{1,35 \text{ N}}$$

3. Quattro onde sono descritte dalle seguenti funzioni, nelle quali tutte le distanze sono misurate in centimetri e tutti i tempi in secondi:

$$y_A = 5 \cos(2x - 5t) \quad y_B = 7 \cos(3x - 2t)$$

$$y_C = 3 \cos(-4x - t) \quad y_D = 2 \cos(3x + t)$$

- A. Quale di queste onde viaggia nella direzione + x?  
 B. Quale di queste onde viaggia nella direzione - x?  
 C. Quale onda ha la maggiore frequenza?  
 D. Quale onda ha la maggiore lunghezza d'onda?  
 E. Quale onda ha la maggiore velocità?

Osservando i due termini fra parentesi nelle espressioni che descrivono le funzioni d'onda armoniche si può notare che:

- A. in  $y_A$  e  $y_B$  i due termini hanno segno opposto, quindi queste funzioni descrivono onde che viaggiano nella direzione + x, cioè onde *progressive*.  
 B. in  $y_C$  e  $y_D$  i due termini hanno lo stesso segno, quindi queste funzioni descrivono onde che viaggiano nella direzione - x, cioè onde *regressive*.  
 C. Scrivendo l'equazione nella forma:  $y = A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t\right)$ , poiché  $f = \frac{1}{T}$ , nei quattro casi ottengo:

$$f_A = \frac{1}{T_A} = \frac{5}{2\pi} \text{ Hz} \quad f_B = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{\pi} \text{ Hz} \quad f_C = \frac{1}{T_C} = \frac{1}{2\pi} \text{ Hz} \quad f_D = \frac{1}{T_D} = \frac{1}{2\pi} \text{ Hz}$$

L'onda  $y_A$  è quella con frequenza maggiore.

- D. Scrivendo l'equazione nella forma:  $y = A \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{2\pi}{T}t\right)$ , nei quattro casi ottengo:

$$\lambda_A = \pi \text{ cm} \quad \lambda_B = \frac{2}{3}\pi \text{ cm} \quad \lambda_C = \frac{1}{2}\pi \text{ cm} \quad \lambda_D = \frac{2}{3}\pi \text{ cm}$$

L'onda  $y_A$  è quella con lunghezza d'onda maggiore.

- E. Per la definizione di velocità:  $v = \lambda f$

$$v_A = \mathbf{2,5 \text{ cm/s}} \quad v_B = 0,67 \text{ cm/s} \quad v_C = 0,25 \text{ cm/s} \quad v_D = 0,33 \text{ cm/s}$$

L'onda  $y_A$  è quella con velocità maggiore.

4. Un ragazzo batte una volta con un martello l'estremità di una rotaia lunga 800 m. All'altra estremità un uomo percepisce due suoni distinti. Sapendo che il suono nella rotaia si propaga alla velocità di 5100 m/s e nell'aria alla velocità di 330 m/s, calcola l'intervallo di tempo che intercorre tra gli istanti di percezione dei due suoni.

$$l = 800 \text{ m} \quad v_A = 5100 \text{ m/s} \quad v_o = 330 \text{ m/s} \quad t_o - t_A = ?$$

Trattandosi di un moto rettilineo uniforme, vale la legge:  $v = \frac{s}{t}$ , perciò:

$$t_o - t_A = \frac{s}{v_o} - \frac{s}{v_A} = \mathbf{2,27 \text{ s}}$$

5. Un raggio di luce colpisce la superficie di separazione acqua-aria con un angolo di incidenza di  $30^\circ$ . Calcola l'angolo di rifrazione.

Applichiamo la legge di Snell-Cartesio:

$$n_{acqua} \text{sen } \alpha = n_{aria} \text{sen } 30^\circ \quad \Rightarrow \quad \alpha = \text{sen}^{-1} \left( \frac{n_{aria}}{n_{acqua}} \text{sen } 30^\circ \right) = \mathbf{22^\circ}$$

6. Due suoni hanno rispettivamente intensità  $4000 \mu\text{W}/\text{m}^2$  e  $20 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Di quanti decibel il primo è più intenso del secondo?

$$I_1 = 4000 \mu\text{W}/\text{m}^2 \quad I_2 = 20 \mu\text{W}/\text{m}^2 \quad \beta_1 - \beta_2 = ?$$

Per la definizione di livello di intensità:

$$\beta_1 - \beta_2 = 10 \text{ dB} \log \frac{I_1}{I_0} - 10 \text{ dB} \log \frac{I_2}{I_0} = 10 \text{ dB} \log \frac{I_1}{I_2} = \mathbf{23 \text{ dB}}$$

7. Una delle quattro corde di un violino, precisamente quella corrispondente al "la<sup>3</sup>", è realizzata mediante un budello di densità lineare  $\mu = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/\text{m}$ . La corda è tenuta in tensione fra due punti fissi (nodi) da una forza traente pari a 740 N. Sapendo che la frequenza fondamentale della nota "la" è pari a 440 Hz, a quanto corrisponde la lunghezza della corda tesa tra i due punti fissi?

$$\mu = 9,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/\text{m} \quad F = 740 \text{ N} \quad f = 440 \text{ Hz} \quad L = ?$$

Dalla definizione di velocità in funzione della densità lineare e della forza e dalla lunghezza della corda in funzione della lunghezza d'onda nella prima armonica:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad e \quad f = \frac{v}{2L} \quad \Rightarrow \quad L = \frac{v}{2f} = \frac{\sqrt{\frac{F}{\mu}}}{2f} = \mathbf{33 \text{ cm}}$$

8. Indicando con  $y$  la distanza fra i due fari di un'automobile, posta a una distanza  $L$  dall'osservatore, indicando con  $\lambda$  la lunghezza d'onda della luce e con  $D$  il diametro della pupilla, che legame esiste tra il diametro  $D$  della pupilla e la lunghezza  $L$  alla quale posso distinguere i due fari come due diverse sorgenti di luce? Perché la vista di un'aquila è più acuta della vista di un uomo?

Secondo il criterio di Rayleigh, due oggetti possono essere visti come separati solo se la loro separazione angolare è maggiore del valore minimo:

$$\vartheta_{min} = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

Siccome si tratta di un angolo piccolissimo, posso esprimere la distanza  $L$  tra l'osservatore e l'automobile in funzione di  $\vartheta_{min}$ :

$$y = L \operatorname{tg} \vartheta \quad \Rightarrow \quad L = \frac{y}{\operatorname{tg} \vartheta}$$

All'aumentare del diametro pupillare  $D$ , l'angolo diminuisce, perciò anche la sua tangente diminuisce e, di conseguenza, la distanza  $L$ , essendo inversamente proporzionale alla tangente dell'angolo, aumenta.

Per questo motivo la vista dell'aquila è più acuta della vista di un uomo, perché il diametro pupillare è maggiore.

9. Oggi sappiamo che la luce ha proprietà sia ondulatorie che corpuscolari e questo comportamento è chiamato dualismo onda-corpuscolo. Eppure, nel passato, si riteneva che una teoria dovesse escludere l'altra. Per circa un secolo, a prevalere fu la teoria corpuscolare di Newton, ma all'inizio dell'Ottocento lo scienziato inglese Thomas Young annunciò di aver osservato l'interferenza di due raggi di luce e di averne dedotto che la natura della luce fosse ondulatoria. Anche Poisson, pur non credendo alla teoria ondulatoria, aveva ipotizzato un esperimento che, di fatto, avrebbe dovuto dimostrare che la teoria corpuscolare era quella più adeguata a spiegare il comportamento della luce.

Descrivi entrambi gli esperimenti. Per l'esperimento di Young specifica perché le fenditure del secondo schermo devono essere equidistanti dalla prima fenditura, perché l'esperimento è una conferma della teoria ondulatoria e cosa si sarebbe dovuto verificare se fosse valsa la teoria corpuscolare e concludi facendo riferimento al principio di Huygens.

Esperimento di Young: Un fascio di luce monocromatica viene fatto passare attraverso una piccola fenditura praticata su uno schermo, in modo che si ottenga una sorgente puntiforme di luce. La luce che esce dalla fenditura illumina altre due fenditure, poste su un secondo schermo, in modo che siano equidistanti dalla singola fenditura: la luce che le attraversa ha la stessa fase e le due fenditure agiscono come sorgenti coerenti di luce monocromatica, come è richiesto per produrre interferenza.

Se la luce avesse una natura corpuscolare, passerebbe attraverso le due fenditure seguendo semplicemente una traiettoria rettilinea e illuminerebbe lo schermo solo in corrispondenza di ogni fenditura. Essendo un'onda, secondo il principio di Huygens, ogni fenditura agisce come una sorgente di onde che si propagano verso l'esterno in tutte le direzioni e il risultato è che la luce si apre su un'ampia zona dello schermo lontano (il terzo) e produce un'alternanza di frange luminose e scure.

Esperimento di Poisson: utilizzando un modello matematico Poisson prevede che, se la luce si fosse comportata come un'onda, nell'ombra prodotta da una moneta avrebbe dovuto ottenere un punto luminoso nella parte più scura dell'ombra. Ritenendo questo risultato un assurdo, pensava che ciò fosse sufficiente per predire la natura corpuscolare della luce.