

振动和波动的关系：

波动——振动的传播

振动——波动的成因

波动的种类：

机械波、电磁波、物质波



一 机械波的形成

1 波源 作机械振动的物体
(声带、乐器等)

2 介质 能传播机械振动的媒质
(空气、水、钢铁等)

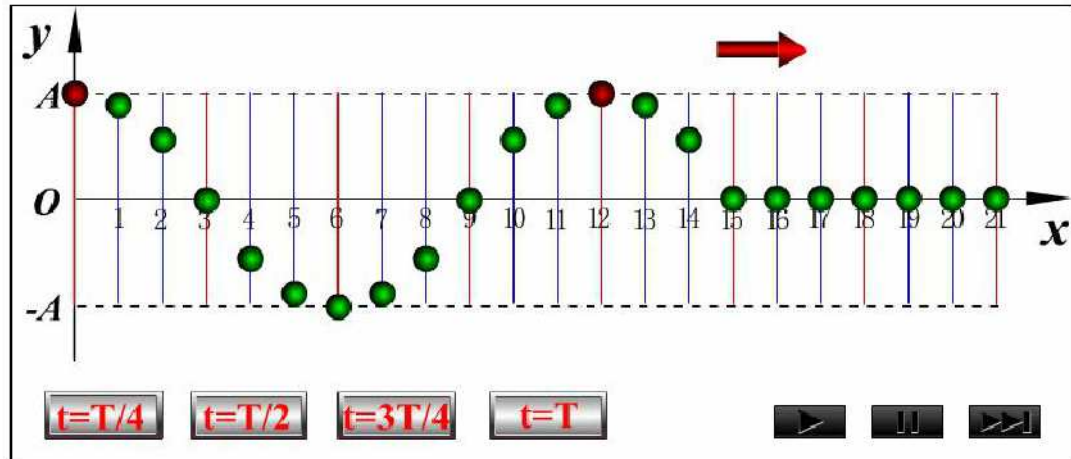
注意

波是运动状态的传播，介质的质点并不随波传播。



二 横波与纵波

1 横波



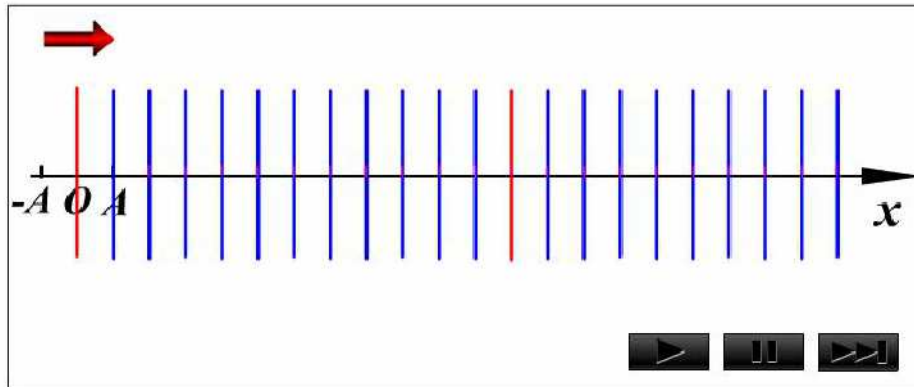
特点： 波传播方向上各点的振动方向与波传播方向垂直

2 纵波（又称疏密波）

例如：弹簧波、 声波



纵波



特点：质点的振动方向与波传播方向一致



3 复杂波

例如：地震波

特点：复杂波可分解为横波和纵波的合成

简谐波

特点：波源及介质中各点均作简谐振动

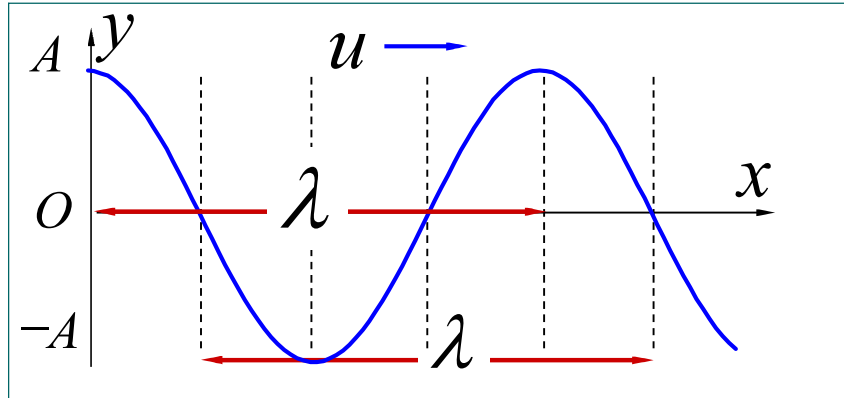
(本章研究对象)



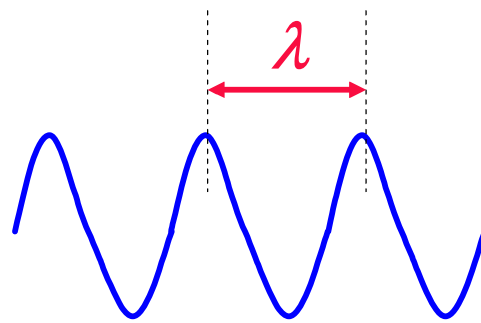
三 波长 波的周期和频率 波速

1 波长 λ

波传播方向上相邻两振动状态完全相同的质点间的距离（一完整波的长度）。



横波： 相邻 波峰——波峰 波谷——波谷



纵波： 相邻 波疏——波疏 波密——波密



2 周期 T

波传过一波长所需的时间，或一完整波通过波线上某点所需的时间。

$$T = \lambda / u$$

3 频率 ν

单位时间内波向前传播的完整波的数目。（1 s内向前传播了几个波长）



4 波速 u

波在介质中传播的速度

例如，声波在空气中 $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

水 中 $1500 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

钢铁中 $5000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

决定于介质的性质（弹性模量和密度）



四个物理量的联系

$$\nu = 1/T \qquad u = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu \qquad \lambda = \frac{u}{\nu} = T u$$

注意

周期或频率只决定于波源的振动

波速只决定于介质的性质



例1 在室温下，已知空气中的声速 u_1 为 $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，水中的声速 u_2 为 $1\,450 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，求频率为 200 Hz 和 $2\,000 \text{ Hz}$ 的声波在空气中和水中的波长各为多少？

解 由 $\lambda = \frac{u}{\nu}$ ，频率为 200 Hz 和 $2\,000 \text{ Hz}$ 的声波在空气中的波长

$$\lambda_1 = \frac{u_1}{\nu_1} = \frac{340}{200} \text{ m} = 1.7 \text{ m}$$



$$\lambda_2 = \frac{u_1}{v_2} = 0.17 \text{ m}$$

在水中的波长

$$\lambda'_1 = \frac{u_2}{v_1} = \frac{1450}{200} \text{ m} = 7.25 \text{ m}$$

$$\lambda'_2 = \frac{u_2}{v_2} = 0.725 \text{ m}$$



例2 假如声波在空气中的传播过程可看作绝热过程.

(1) 若视空气为理想气体, 试证声速 u 与压强 p 的关系为 $u = \sqrt{\gamma p / \rho}$, 与温度 T 的关系为 $u = \sqrt{\gamma RT / M}$. 式中 $\gamma = C_p / C_V$ 为气体的摩尔热容之比, ρ 为密度, R 为摩尔气体常数, M 为摩尔质量.

(2) 求 0°C 和 20°C 时, 空气中的声速.
(空气的 $\gamma = 1.4$, $M = 2.89 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)



已知:绝热过程, 证 $u = \sqrt{\gamma p / \rho}$, $u = \sqrt{\gamma RT / M}$
求 0°C , 20°C 时的声速

解 (1) 气体中纵波波速为 $u = \sqrt{K/\rho}$
式中体积模量 K 被定义为压强增量 dp 与体积应变 (dV/V) 的比, 即

$$K = -V \frac{dp}{dV}$$

负号表示压强增大(减小)时体积缩小(增大)



由理想气体绝热方程 $pV^\gamma = \text{常量}$

取微分, 得 $\gamma p V^{\gamma-1} dV + V^\gamma dp = 0$

$$\frac{dp}{dV} = -\frac{\gamma p}{V} \longrightarrow K = \gamma p \longrightarrow u = \sqrt{\gamma p / \rho}$$

$$\text{又 } \rho = \frac{Mp}{RT} \longrightarrow u = \sqrt{\gamma RT / M}$$



(2) 0 °C时空气中声速

$$u = \sqrt{\frac{1.4 \times 8.31 \times 273}{2.89 \times 10^{-2}}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 331 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

20°C时声速

$$u = \sqrt{\frac{1.4 \times 8.31 \times 293}{2.89 \times 10^{-2}}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$



四 波线 波面 波前

1 波线

波的传播方向

2 波阵面

振动相位相同的点组成的面称为波阵面

任一时刻波源最初振动状态在各方向上传到的点的轨迹. 波前是最前面的波阵面



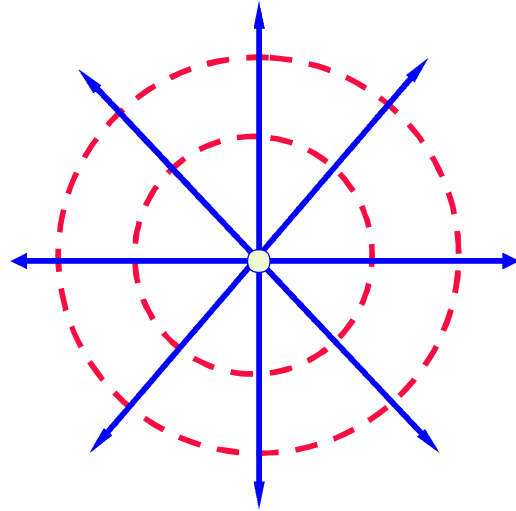
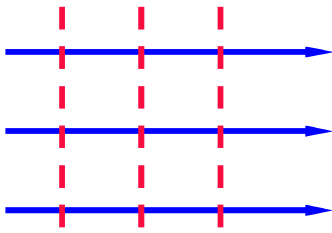
性质

- (1) 同一波阵面上各点振动状态相同.
- (2) 波阵面的推进即为波的传播.
- (3) 各向同性介质中，波线垂直于波阵面.



分类 (1) 平面波

(2) 球面波



选择进入下一节:

- 10-0 教学基本要求
- 10-1 机械波的几个概念
- 10-2 平面简谐波的波函数
- 10-3 波的能量 能流密度
- 10-4 惠更斯原理 波的衍射和干涉
- 10-5 驻波

