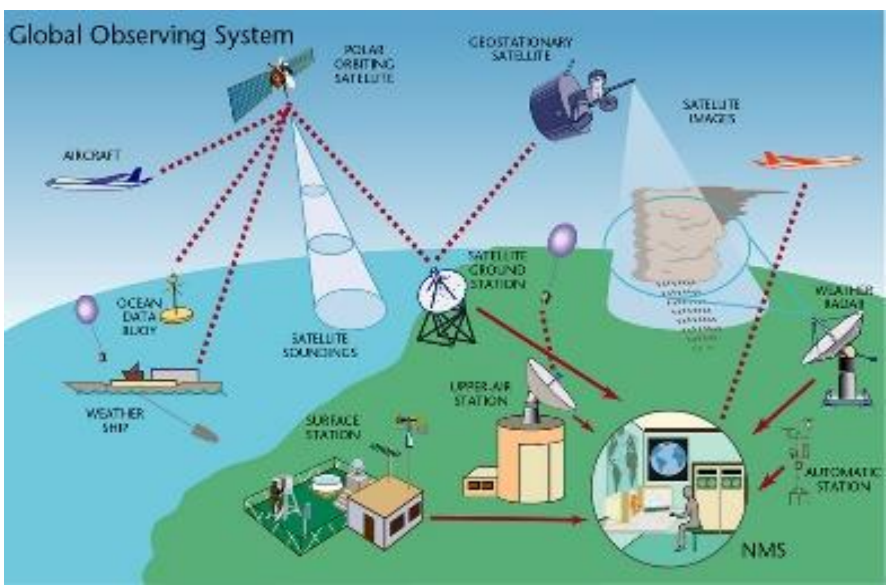
第十一章　机械波和电磁波

引入新课



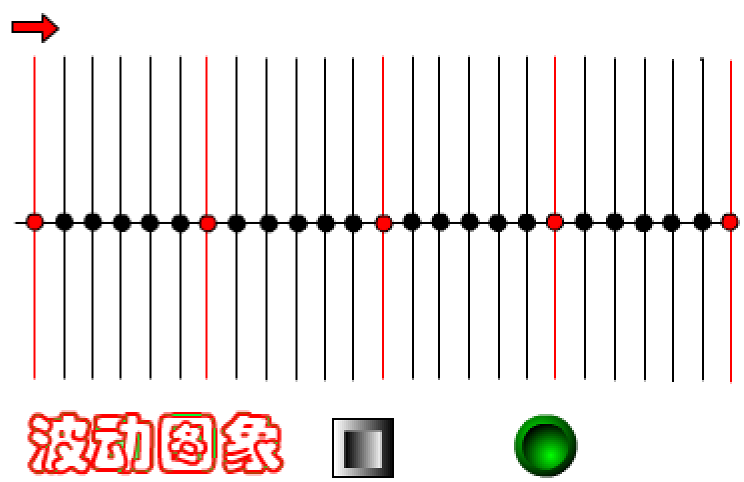

我们生活在一个波的世界里！




§ 11-1 机械波的产生和传播

一、机械波产生的条件

机械波： 机械振动在弹性介质中的传播过程



波源： 产生机械振动的振源

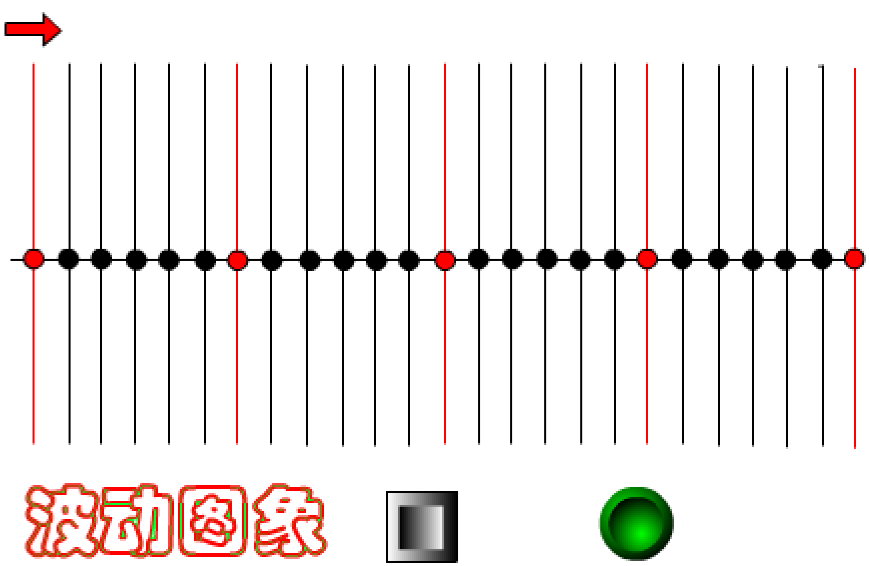
弹性介质： 传播机械振动的介质

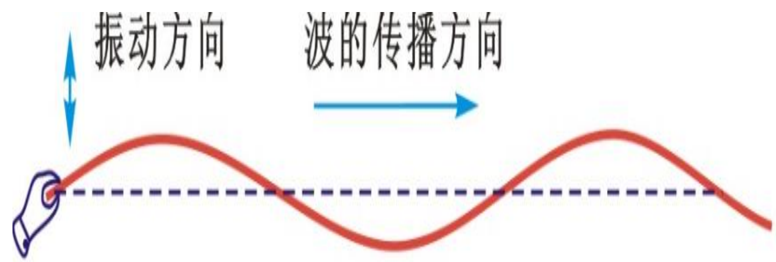
波动： 是波源的振动状态或振动能量在介质中的传播

二、机械波传播的特点

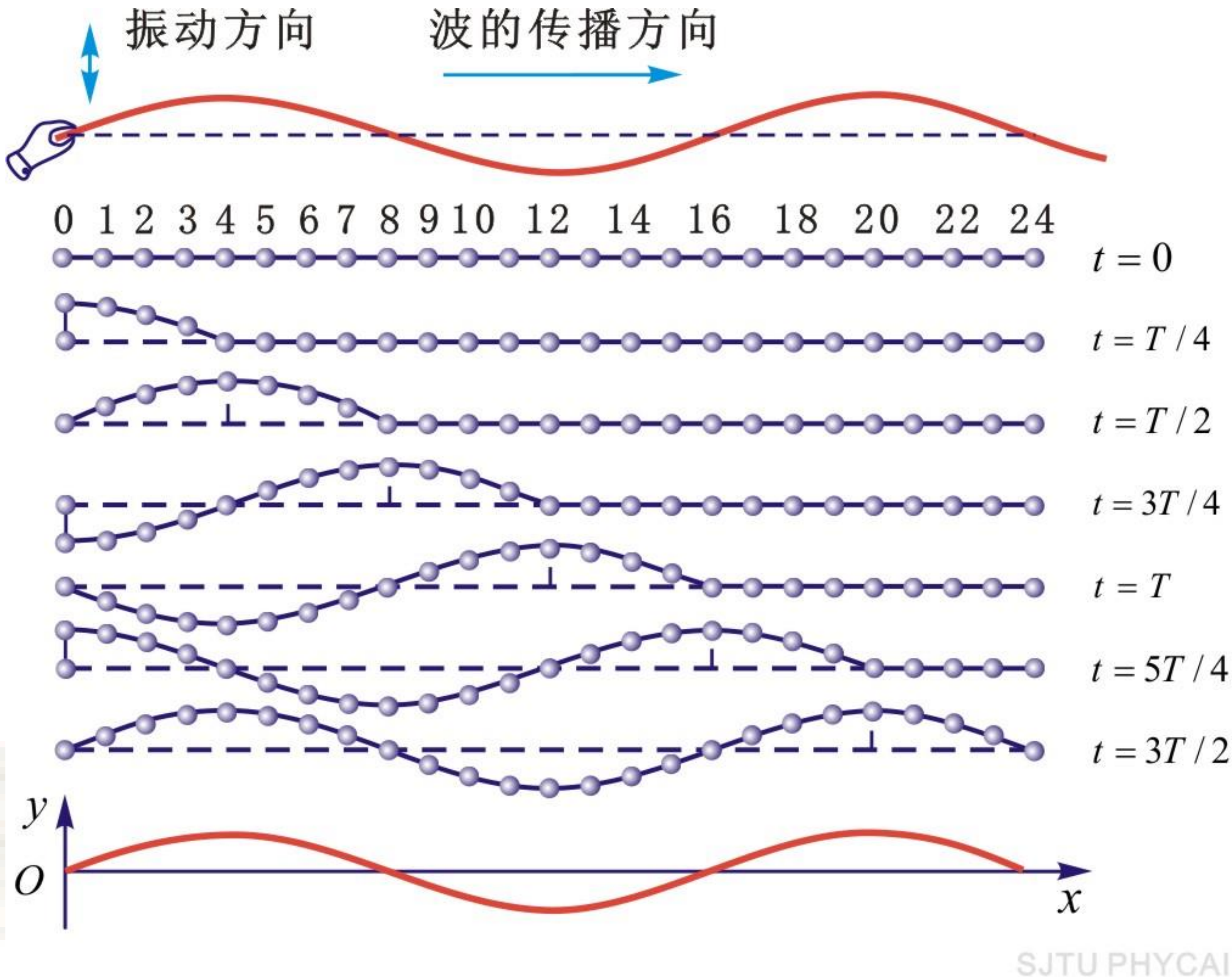
- 波动中各质点并不随波前进，而是在各自的平衡位置附近振动；
- 各个质点的相位依次落后，波动是振动状态或能量由近及远的传播.

1、横波：质点的振动方向和波的传播方向垂直





波形特征：存在波峰和波谷

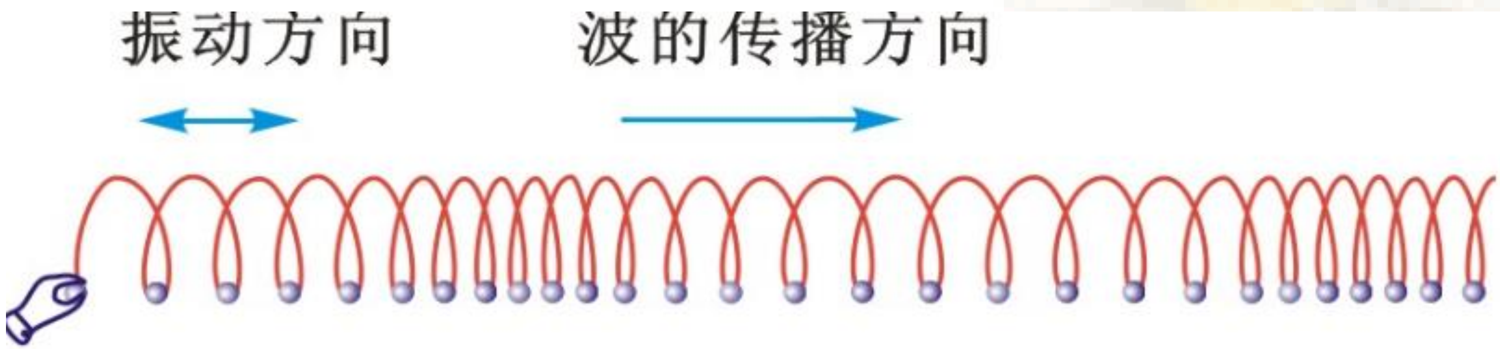


振动方向
波的传播方向
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 12 14 16 18 20 22 24
t = 0
t = T / 4
t = T / 2
t = 3T / 4
t = T
t = 5T / 4
t = 3T / 2
y
O
x
SJTU PHYCAI

绳索上的横波

2、纵波：质点的振动方向和波的传播方向相平行

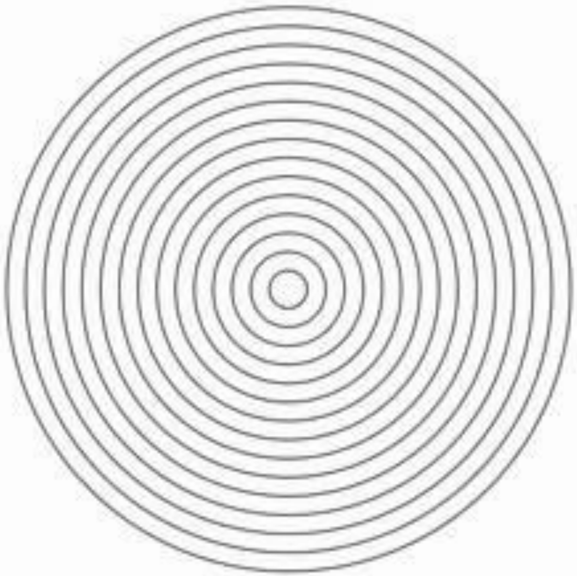
波形特征：存在疏密相间的区域



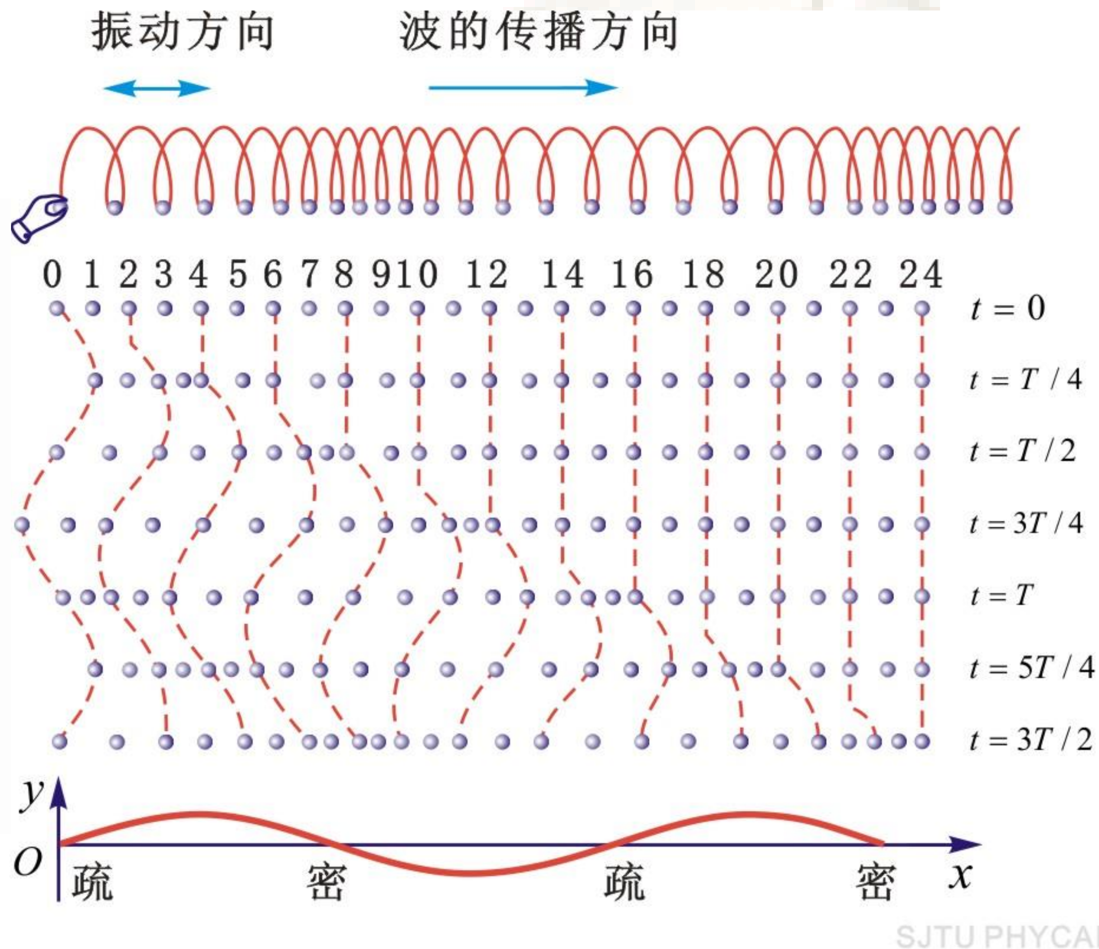
横波：固体

纵波：固体、液体、气体

注：在液体、气体中，因无剪切效应，只能传播纵波。



声波

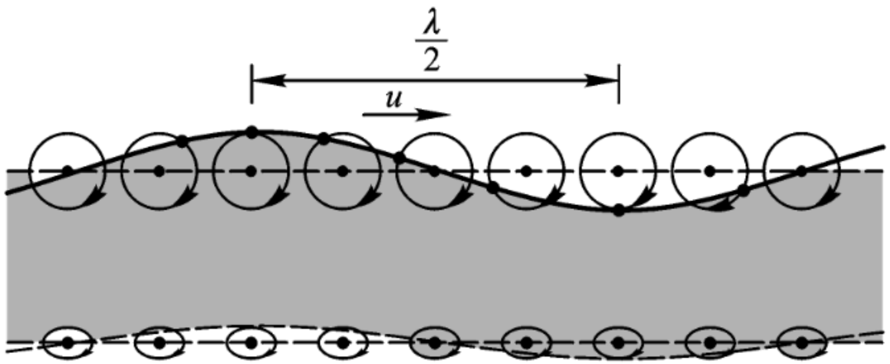


振动方向
波的传播方向
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 12 14 16 18 20 22 24
$t = 0$
$t = T/4$
$t = T/2$
$t = 3T/4$
$t = T$
$t = 5T/4$
$t = 3T/2$
y
O
疏
密
疏
密
x
SJTU PHYCAI

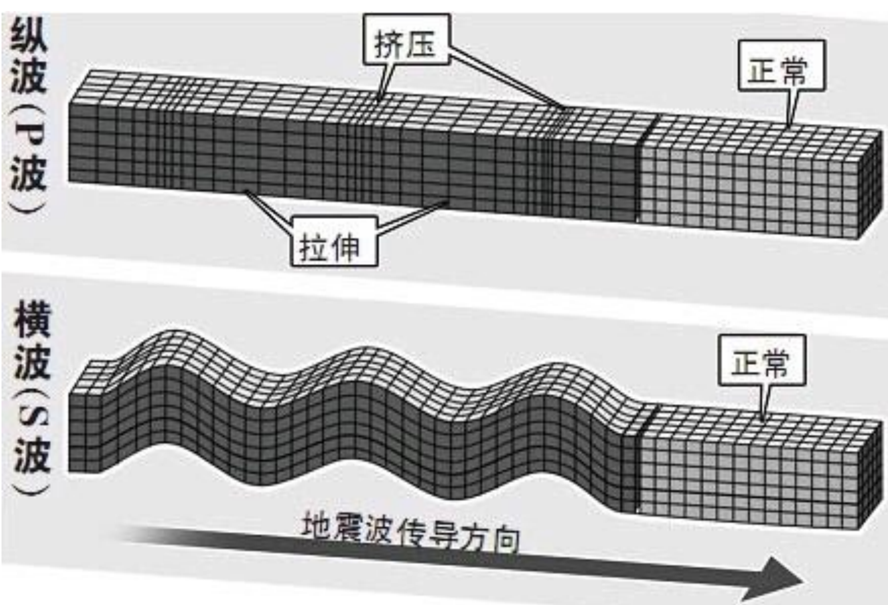
弹簧中的纵波

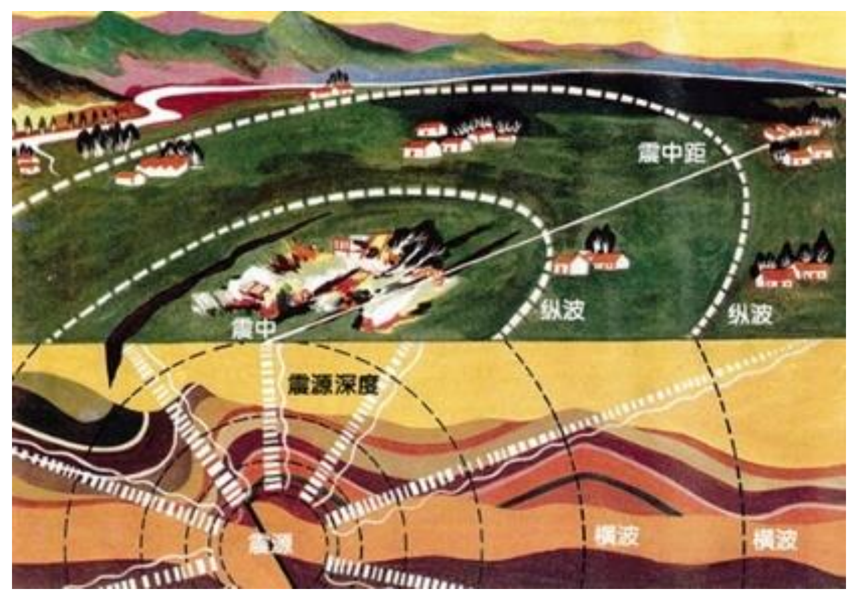
水面波：既不是横波，也不是纵波。

水中质元形成椭圆（深水）轨迹或圆形（浅水）轨迹。



地震波：既有横波，又有纵波。



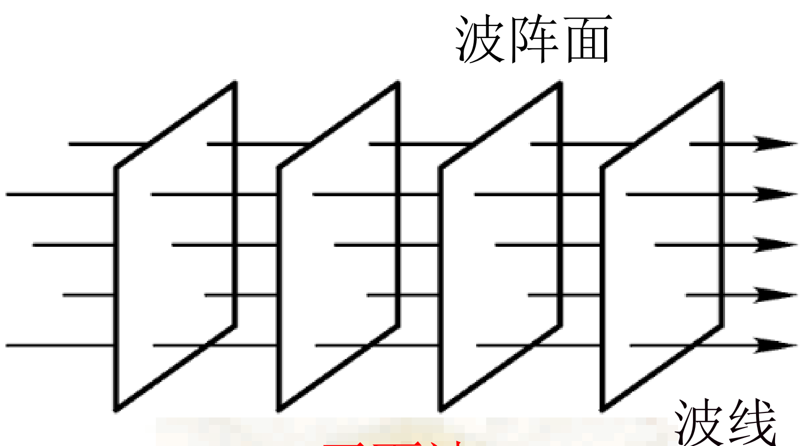


三、波的几何描述

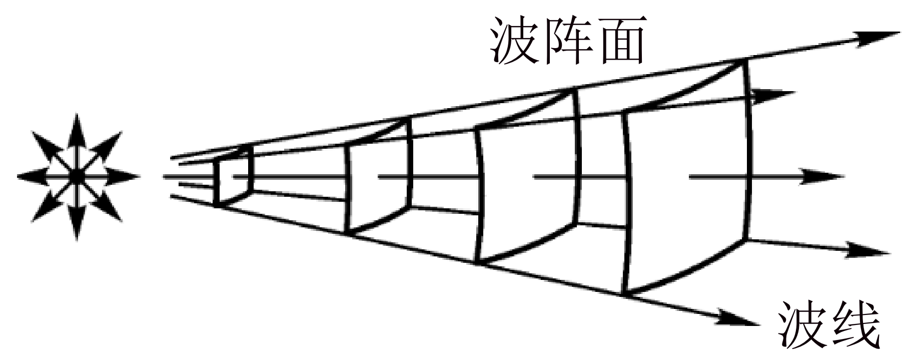
波阵面： 某一时刻振动相位相同的点连成的面（简称波面）

波前： 任意时刻最前面的那个波阵面

波线： 表示波的传播方向的有向线段



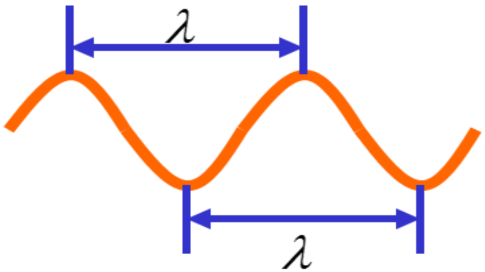
平面波

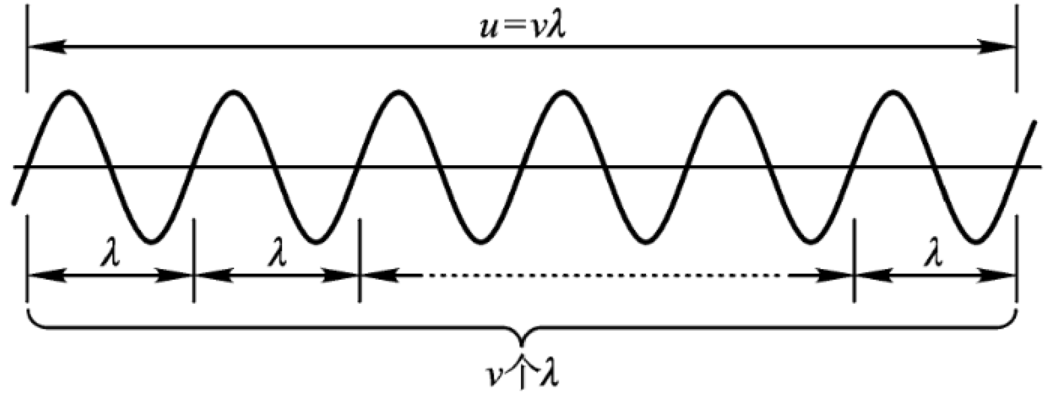


球面波

- 各向同性介质中，波线与波阵面处处垂直；
- 在远离波源的球面波波面上的任何一个小部份，都可视为平面波。

四、描述波动的特征量





1. 波长λ： 沿波的传播方向两相邻同相位点之间的距离

2. 周期T： 波前进一个波长距离所需的时间

频率ν： 单位时间内波动前进距离中完整波的数目

$$\nu = \frac{1}{T}$$

角频率： $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$

3. 波速 u： 单位时间内振动状态传播的距离

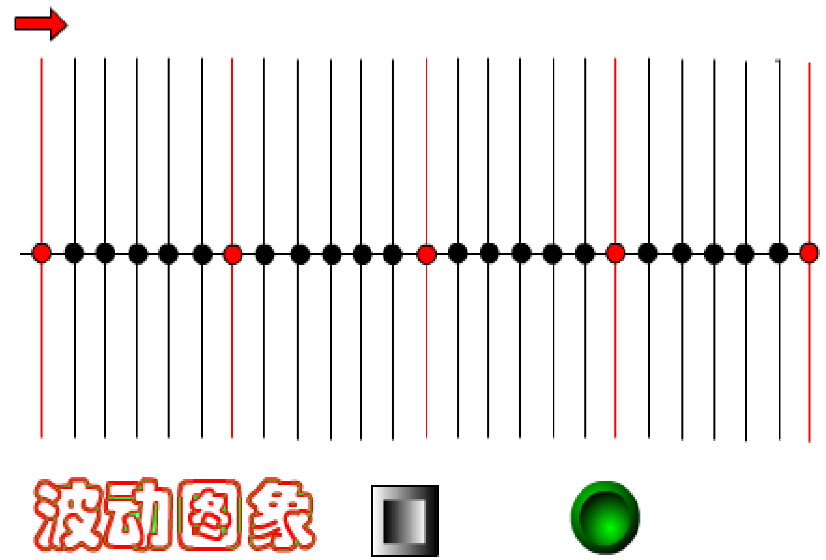
即振动相位的传播速度(相速)。

$$u = \frac{\lambda}{T} = \nu\lambda$$

说明：

（1）波的周期和频率与介质的性质无关；一般由波源决定，与波源振动的周期和频率相同。

（2）波速由介质的性质决定，与波的频率无关；且波长也与介质性质有关。



- 绳索或弦线中的(横波)波速

$$u=\sqrt{\frac{F}{\rho_l}}$$

F为张力，ρ_l为线密度。

➢ 固体中

横波： $u=\sqrt{\dfrac{G}{\rho}}$

G为切变弹性模量

ρ为固体密度

纵波： $u=\sqrt{\dfrac{E}{\rho}}$

E为杨氏弹性模量

➢ 液体、气体中

纵波： $u=\sqrt{\dfrac{K}{\rho}}$

K为容变弹性模量，ρ为流体密度。

理想气体中的声速： $u=\sqrt{\dfrac{K}{\rho}}=\sqrt{\dfrac{\gamma p}{\rho}}=\sqrt{\dfrac{\gamma RT}{M}}$

§ 11-2 平面简谐波的波函数

一、波函数

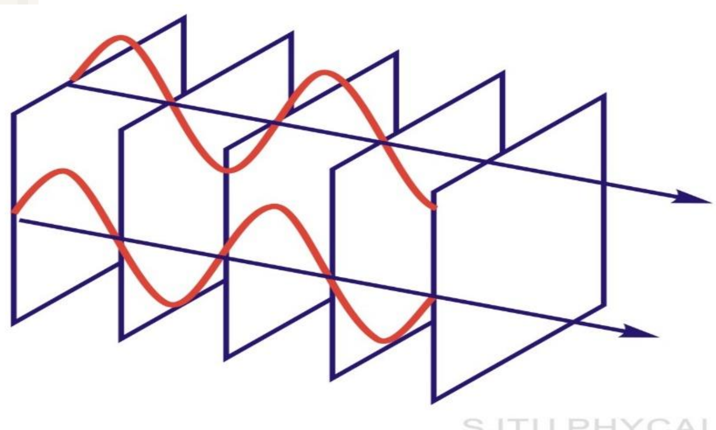
$$\xi(\vec{r},t) = f(\vec{r},t) = f(x,y,z,t)$$

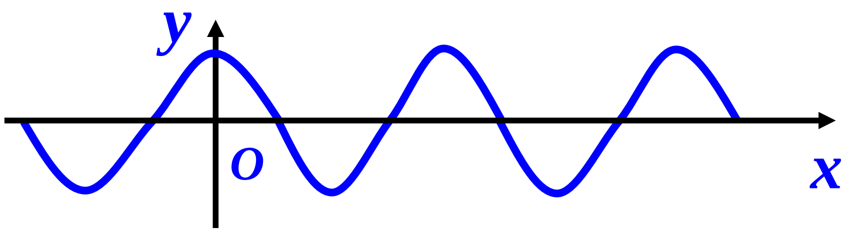
ξ 表示任一物理量，如质元的位移、弹性介质的形变等。

二、平面简谐波的波函数

简谐波：简谐振动在介质中传播形成的波

平面简谐波——波阵面为平面的简谐波

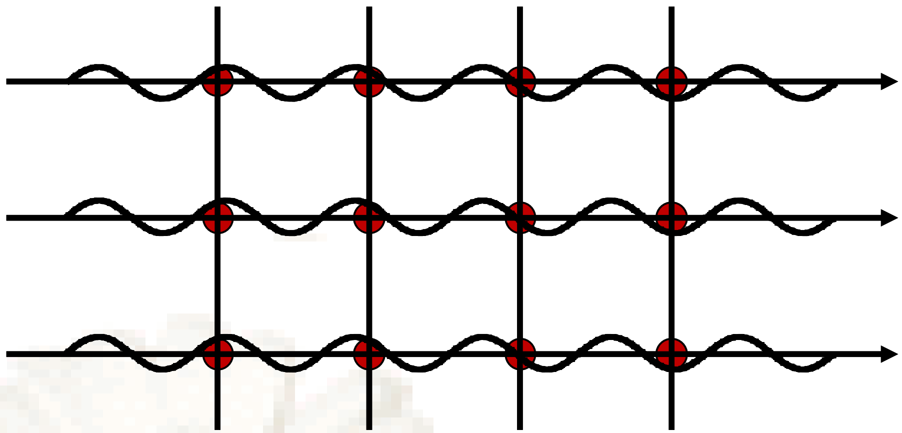




$$y = y(x,t)$$

——波函数

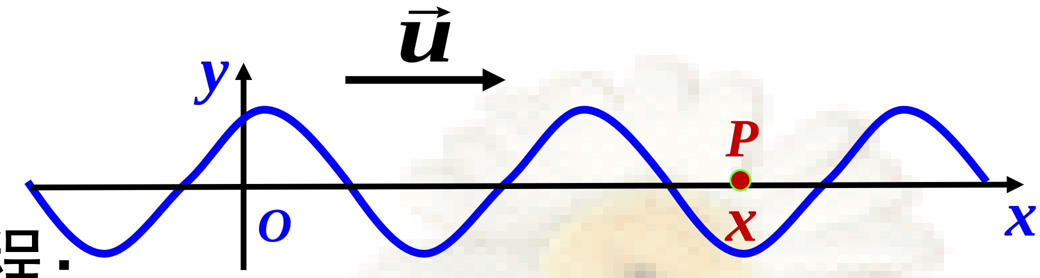
一质点 ➜ 一个方程



x ～各质点平衡位置的坐标

y ～各质点相对各自平衡位置的位移

（1）沿 Ox 轴正向传播



已知O点处质点的振动方程：

$$\boxed{y_o = A\cos(\omega t + \varphi_0)}$$

P点t时刻的位移是0点(t-Δt）时刻的位移

任一点P？ ω、ν 不变；A不变.

时间上落后：$\Delta t = t - t' = \dfrac{x}{u}$

P 点振动方程：$y_P(t) = y_0(t') = A\cos[\omega(t - \dfrac{x}{u}) + \varphi_0]$

φ_P

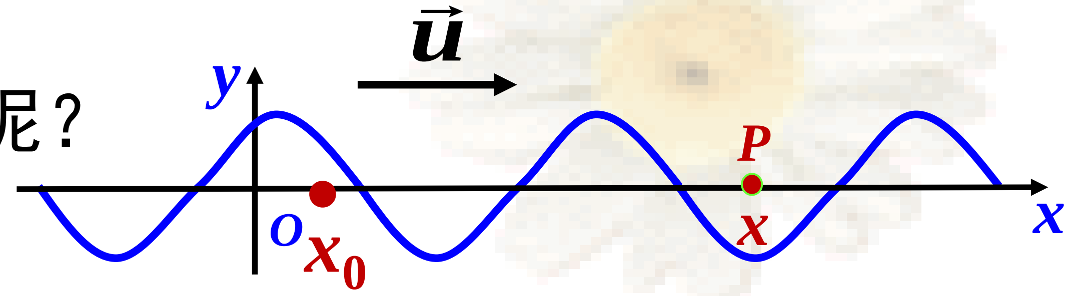
相位上落后：$\Delta\varphi = \omega\Delta t = \omega\dfrac{x}{u}$;

$$\boxed{y(x,t) = A\cos[\omega(t - \frac{x}{u}) + \varphi_0]} \Longleftrightarrow \text{波函数}$$

（1）沿 *Ox* 轴正向传播

若已知点不在原点呢？

注意基本思路！



时间上落后：$\Delta t = t - t' = \dfrac{x - x_0}{u}$

相位上落后：$\Delta\varphi = \omega\Delta t = \omega\dfrac{x - x_0}{u}$

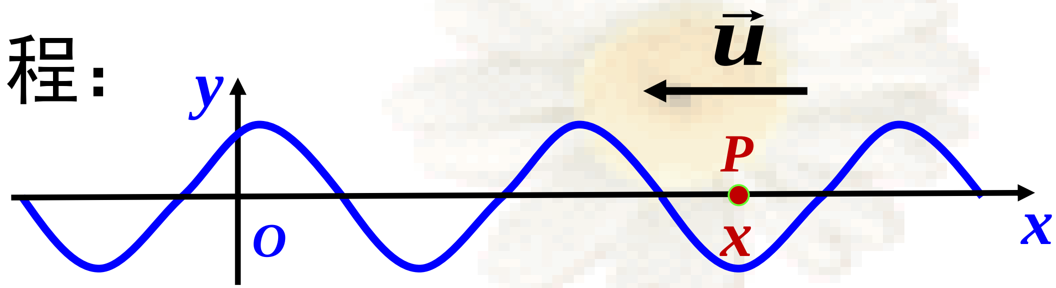
P 点振动方程： $y_P = A\cos[\underbrace{\omega(t - \frac{x - x_0}{u}) + \varphi_0}_{\varphi_P}]$

$$\boxed{y(x,t) = A\cos[\omega(t - \frac{x - x_0}{u}) + \varphi_0]}$$ ——波函数

（2）沿 *Ox* 轴负向传播

已知**O**点处质点的振动方程：

$$\boxed{y_o = A\cos(\omega t + \varphi_0)}$$



P点t时刻的位移是0点（t+Δt）时刻的位移

时间上超前：$\Delta t = t' - t = \dfrac{x}{u}$

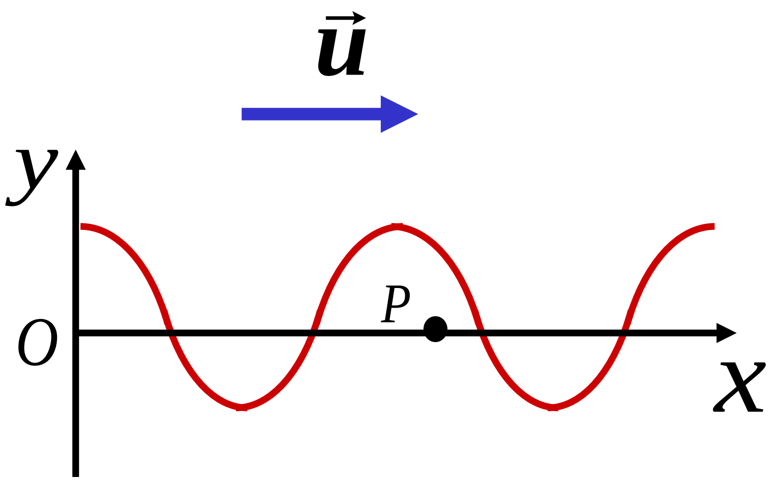
P 点振动方程：$y_P(t) = y_0(t') = A\cos[\omega(t + \dfrac{x}{u}) + \varphi_0]$

φ_P

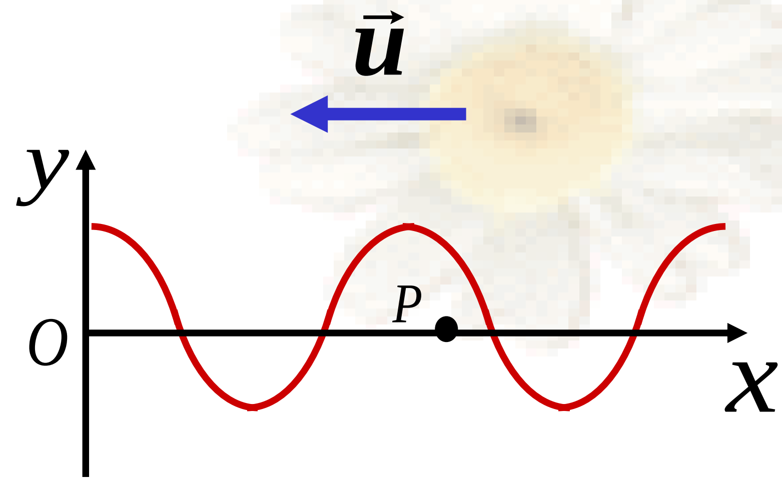
相位上超前：$\Delta\varphi = \omega\Delta t = \omega\dfrac{x}{u}$

$$\boxed{y(x,t) = A\cos[\omega(t + \frac{x}{u}) + \varphi_0]}$$ ——波函数

沿x轴正方向传播



沿x轴负方向传播



P点落后O点 $\frac{x}{u}$ 时间

$$t' = t - \frac{x}{u}$$

P点超前O点$\frac{x}{u}$ 时间

$$\boldsymbol{t' = t + \frac{x}{u}}$$

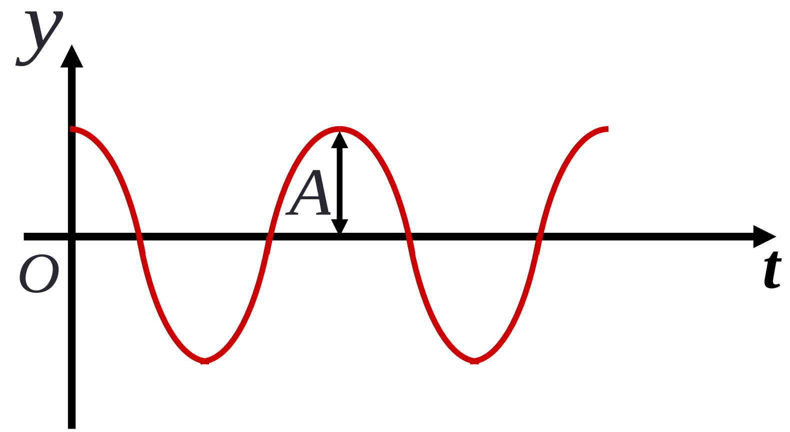
波函数为 $y(x,t) = A\cos[\omega(t \mp \frac{x}{u}) + \phi_0]$

平面简谐波的波函数：

$$y(x,t)=A\cos[\omega(t-\frac{x}{u})+\phi_0]$$

✦ 讨论：

① x不变，t变化



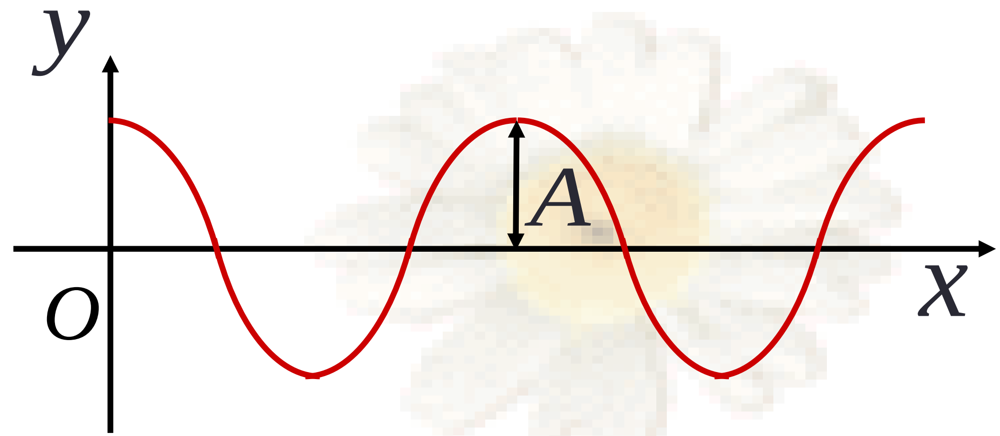
$$y=y(t)$$

$$y=A\cos[\omega(t-\frac{x_1}{u})+\varphi_0]$$

x_1 处质点在其平衡位置附近以角频率ω作**简谐振动！**

② t 不变，x变化

$$y = y(x)$$



$$y = A\cos[\omega\ (t_1 - \frac{x}{u}) + \varphi_0]$$

代表 t_1 时刻波线上各个质点偏离各自平衡位置的位移所构成的波形图！

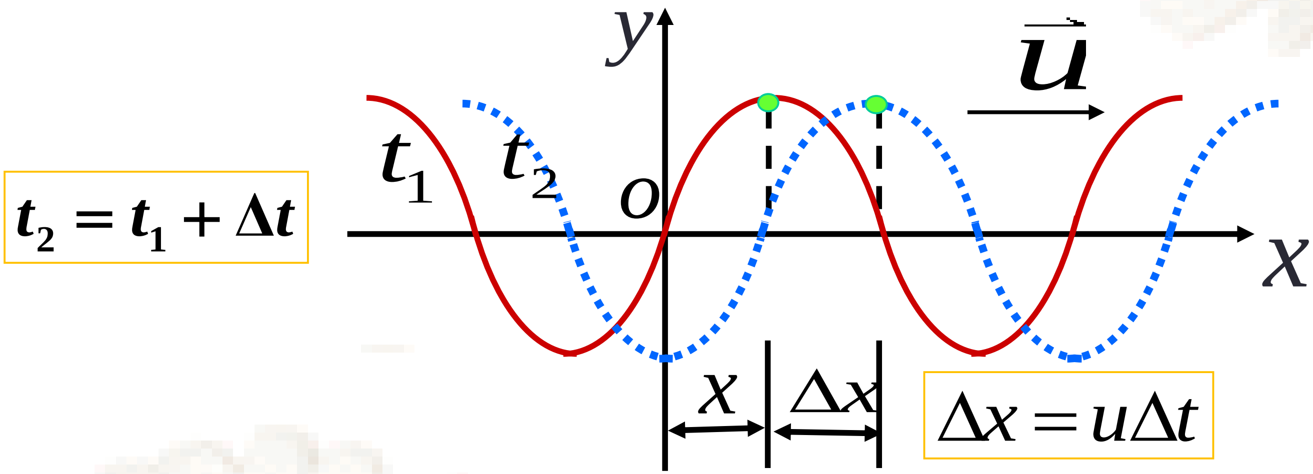
$$\varphi_1 = \omega\left(t - \frac{x_1}{u}\right) = 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}\right) \qquad \varphi_2 = \omega\left(t - \frac{x_2}{u}\right) = 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda}\right)$$

相位差为: $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}\right) - 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda}\right) = 2\pi\frac{x_2 - x_1}{\lambda}$

$$\boxed{\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta x}$$

③ x, t都在变化

$$y = y(x, t)$$



- 波函数反映了波形的传播——行波
- 波函数反映了波的时间、空间双重周期性

小结：

1、平面简谐波波函数的建立方法

① 建立坐标系，写出已知点O的振动方程；

$$y_O = A\cos(\omega t + \varphi_0)$$

② 求出波线上任意一点P 的振动方程；

$$y_P = A\cos[\omega(t \mp \Delta t) + \varphi_0]$$

③ 写出平面简谐波的波函数：

$$y(x,t) = A\cos[\omega(t \mp \Delta t) + \varphi_0]$$

结论：相当于用 $t \mp \Delta t$ 代替已知点振动方程中的 t