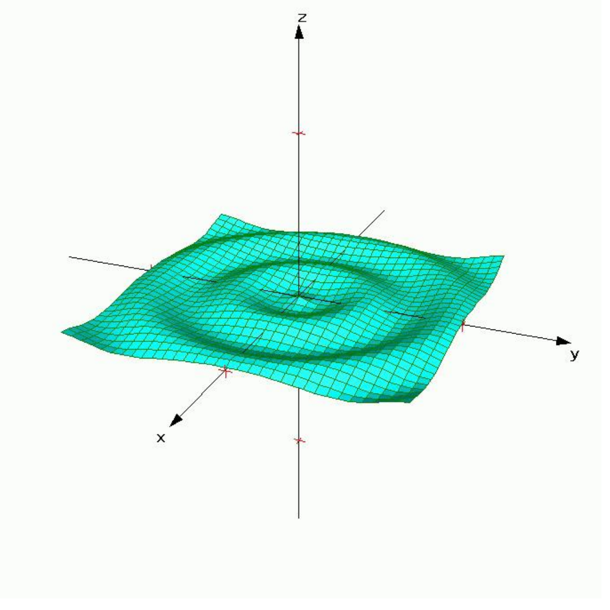
横波与纵波演示_哔哩哔哩_bilibili

印度士兵的人浪表演——波动形成_哔哩哔哩_bilibili

https://www.bilibili.com/video/av668540661/

第八章 波（Waves）

振动在空间的传播过程叫做波动也叫波。



两大任务：

认识与波相关的基本描述；

认识波传播的性质。

模块1

与波相关的基本描述

通过本模块，您将学会：

- 波的含义及描述波的物理参数
- 波动方程
- 波的能量

南開大學

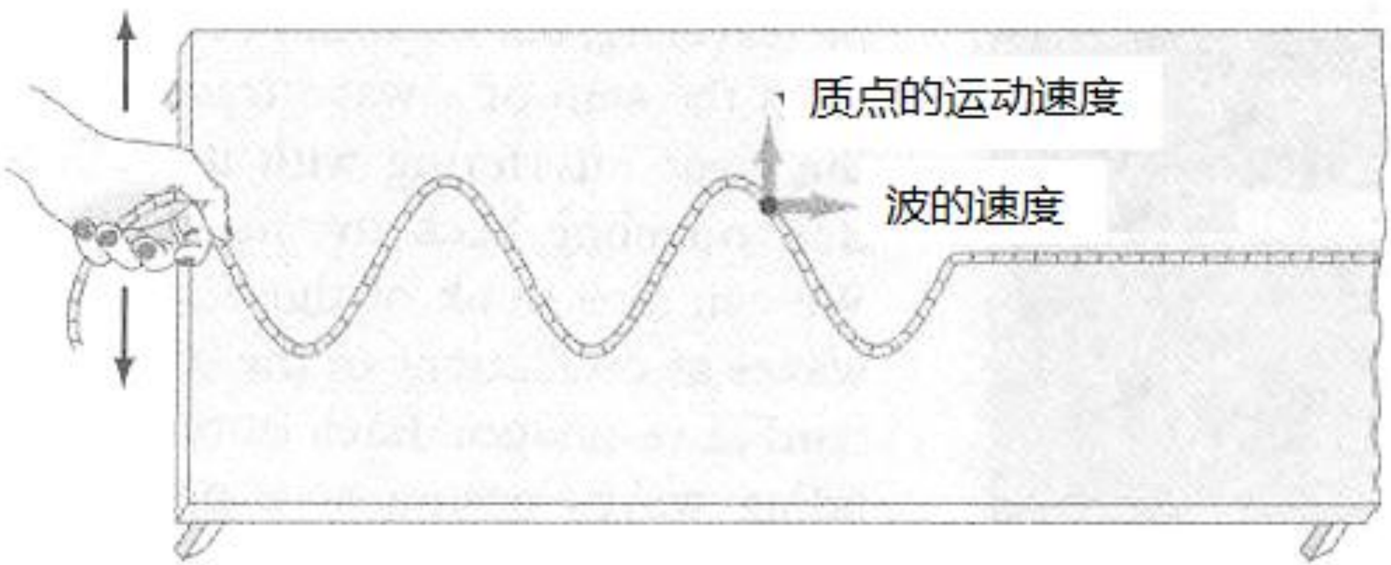
演示实验 《横波的形成》-生活视频-搜狐视频 (sohu.com)

对于单个颗粒，他的运动是怎样的？

对于这一排颗粒，他们的整体运动呈现什么特征？

波：振动向前传播，传播的只是振动状态（pattern）。

振动：质点只在平衡位置附近振动。



§1. 波的基本描述

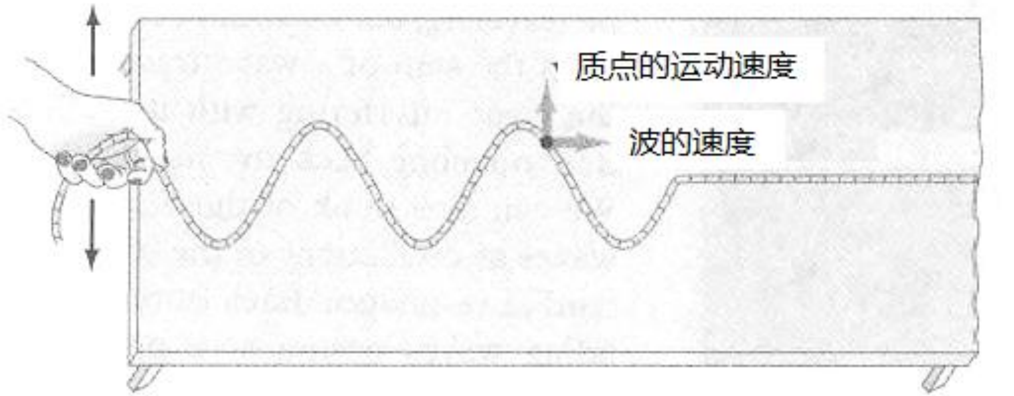
1、弹性介质和振源

由无穷多的质点，通过相互之间的弹性作用组合在一起的连续介质——**弹性介质**。

- 引起波动的初始振动物体——**波源/振源**。
- 足够小，可看做质点的波源叫**点波源**。

- **产生机械波的条件**：振源、弹性介质。

2、横波与纵波（transverse and longitudinal waves）



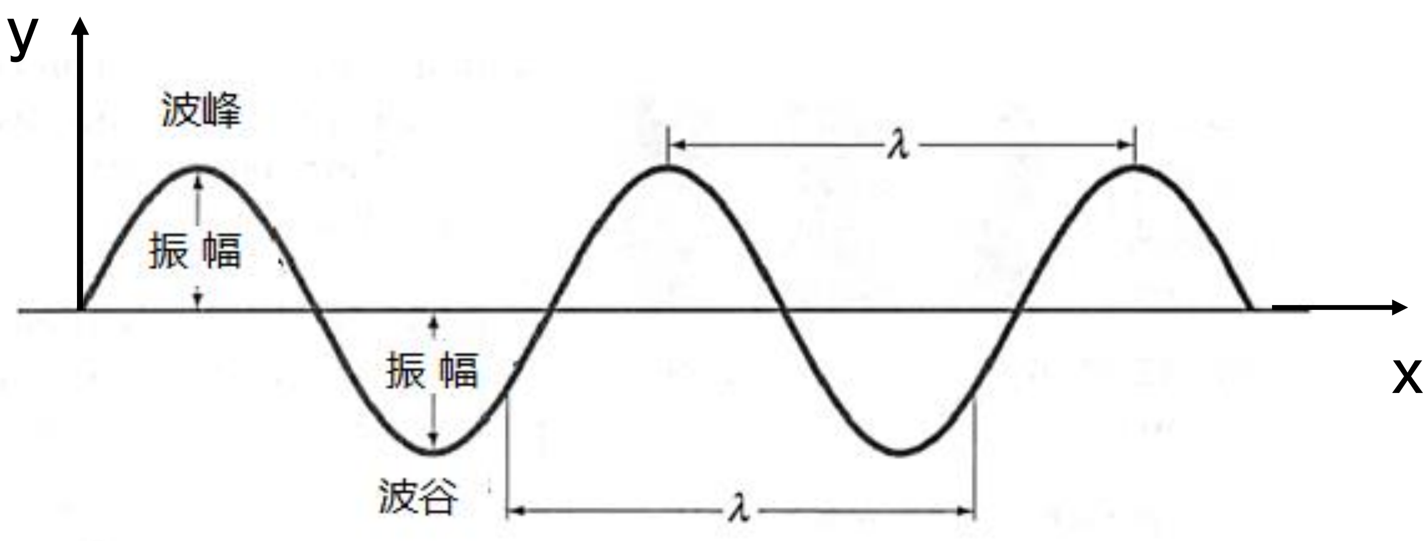
介质中质点振动方向与波的传播方向垂直——**横波**

介质中质点振动方向与波的传播方向相同——纵波

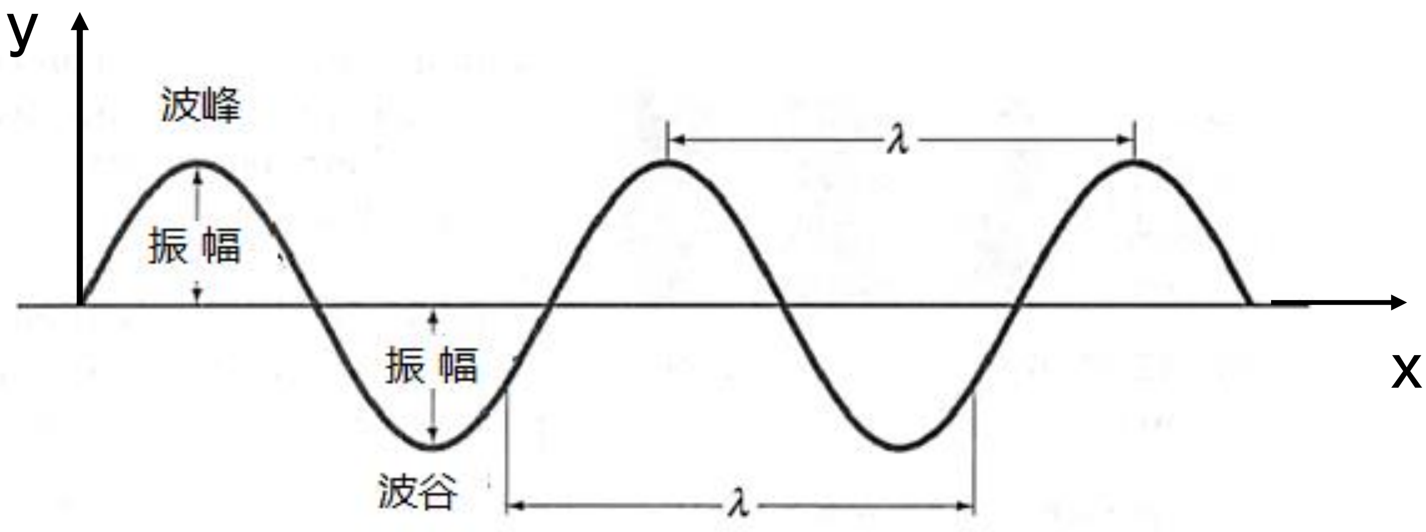
横波与纵波演示_哔哩哔哩_bilibili

3 波形曲线和波的参数

如果振源做简谐振动，如果介质是理想弹性物质，那么振动传播形成的波的图形也是简谐振动图样。



X正方向表示波的传播方向（或各质点的平衡位置），Y表示质点的位移。



对于一个传播的波，我们会关心哪些参数呢？

波速，　波长，　周期（频率）

波速 v ： 单位时间内振动状态传播的距离。

单位时间内相位传播的距离。（**相速**）

纵波波速：$v=\sqrt{\dfrac{E}{\rho}}$，**横波波速**：$v=\sqrt{\dfrac{G}{\rho}}$

波速与波传播的介质有关！！

波长 λ ： 振动状态在一个周期中传播的距离。

振动同相位的两个相邻点间的距离。

频率 f ：单位时间内，传播完整波长的个数。与质点的振动频率相同。

周期： $\mathrm{T}=\dfrac{1}{f}$, $v=\dfrac{\lambda}{T}$

各参数的关系： $f=\dfrac{v}{\lambda}$, $v=f\lambda$

两个绳子，一根粗另一根细，把它们连接起来形成一根长绳。一个波沿着绳子移动，并通过两根绳子的连接点。以下物理量中，在连接点发生变化的是（）

A 频率

B 周期

C 传播速度

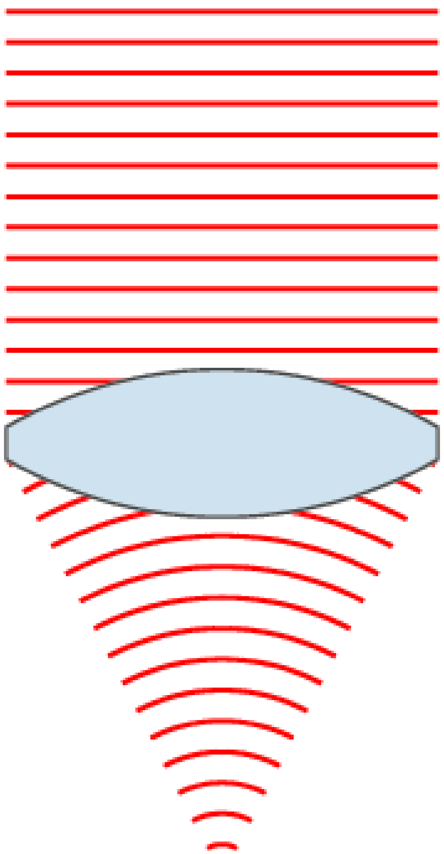
D 波长

E 频率和周期

F 传播速度和波长

提交

4、三维空间观察— 球面波和平面波



波前（波阵面）：在任一时刻在各个方向上振动信号所传到的最前方的点的轨迹；

波面：在任一时刻，介质内振动相位相同的点的轨迹。波前是最前面的一个波面；

球面波：波面是球面的波；

球面波的半径，$r = tv$

球面波的圆心：　波源

平面波：波面是平面的波；（波源在无穷远）

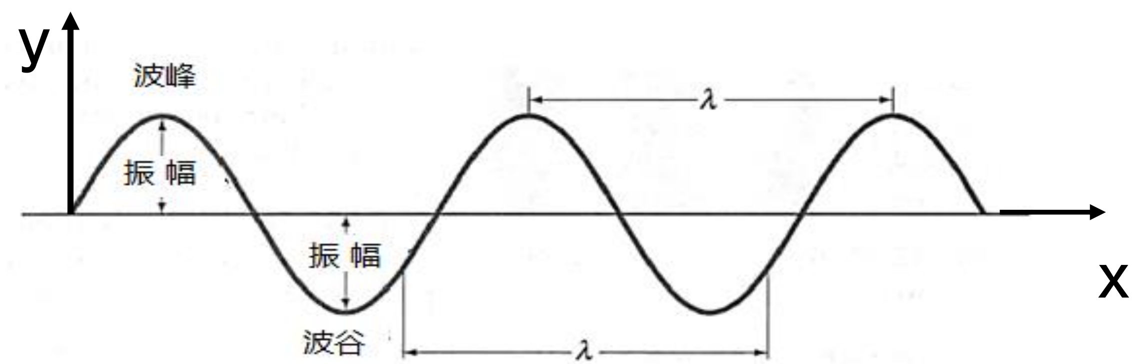
波线：与波面正交的直线，代表了波的传播方向。

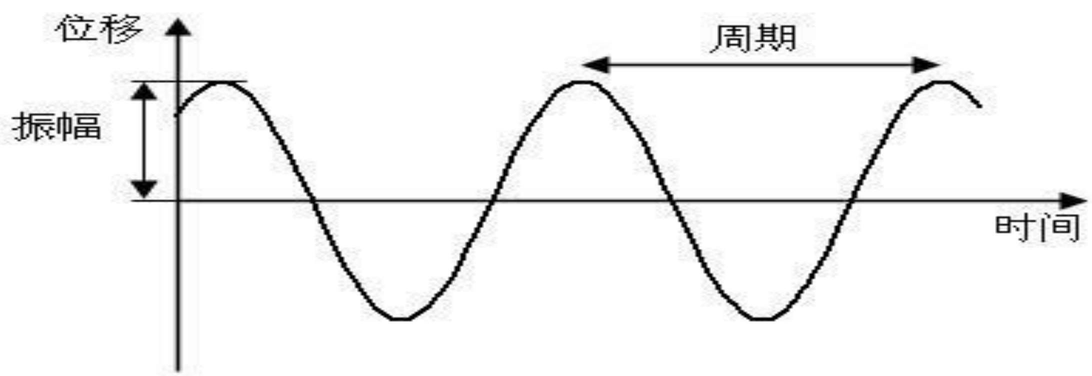
广岛原子弹爆炸模拟

https://www.bilibili.com/video/av668540661/

思考1：

波形曲线和振动曲线分别告诉了我们什么信息？有什么区别和联系？





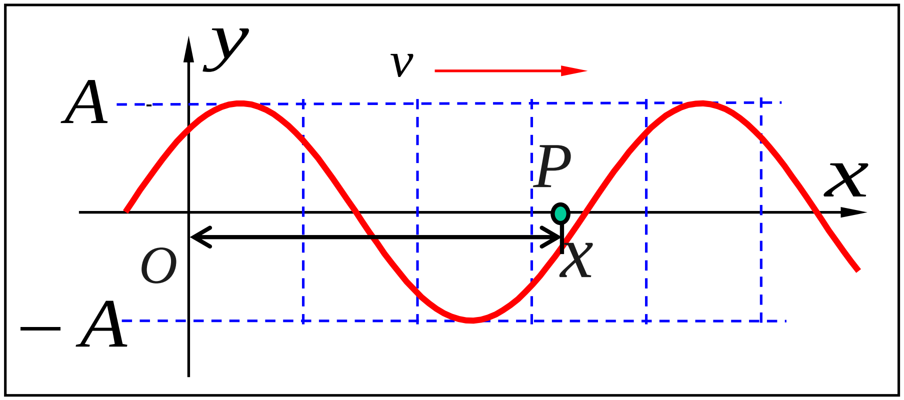
§2. 平面简谐波的表达式（Sinusoidal wave）

简谐波：简谐振动在介质中传播而形成的波

1、沿直线传播的简谐波

设一简谐波沿 x 轴正方向传播，已知在 t 时刻坐标原点 O 处质点振动表达式为：

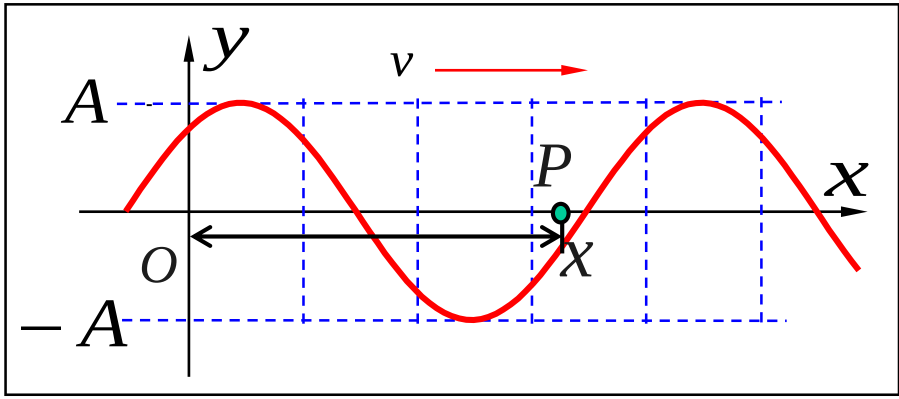
$$y_o = A\cos(\omega t + \phi)$$



y0 表示质点O 在 t 时刻离开平衡位置的距离

在 x 轴上任选一点P，坐标为x，0点的振动传到P点所需时间为：

$$\tau = \frac{x}{v}$$



P点振动与0点在 $t-\tau$ 时刻的振动是相同的。那么P点在t时刻的振动可以写为：

$$y_P = A\cos[\omega(t-\tau)+\phi)]$$

$$y_P = A\cos[\omega(t-\frac{x}{v})+\phi)]$$

P点的振动落后于0点振动 $\tau\omega$

如沿波 x 轴负方向传播，则P点振动超前O点 $\tau\omega$，则P点振动表达式：

$$y = A\cos[\omega(\,t+\frac{x}{v})+\phi)]$$

波动方程

$$\because \omega = 2\pi / T \qquad v = \frac{\lambda}{T}$$

$$\therefore \begin{cases} y = A\cos[2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}) + \phi] \rightarrow x\text{正向} \\ y = A\cos[2\pi(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}) + \phi] \rightarrow x\text{负向} \end{cases}$$

$$\because f = \frac{1}{T}$$

$$\therefore \begin{cases} y = A\cos[2\pi(\mathrm{f}\,t - \dfrac{x}{\lambda}) + \phi] \rightarrow x\text{正向} \\ y = A\cos[2\pi(\mathrm{f}\,t + \dfrac{x}{\lambda}) + \phi] \rightarrow x\text{负向} \end{cases}$$

波动方程的物理意义

1 如 x 一定，t变化

$$y = A\cos[\omega(t-\tau)+\phi)]$$

$$y = A\cos[\omega(t-\frac{x}{v})+\phi)]$$

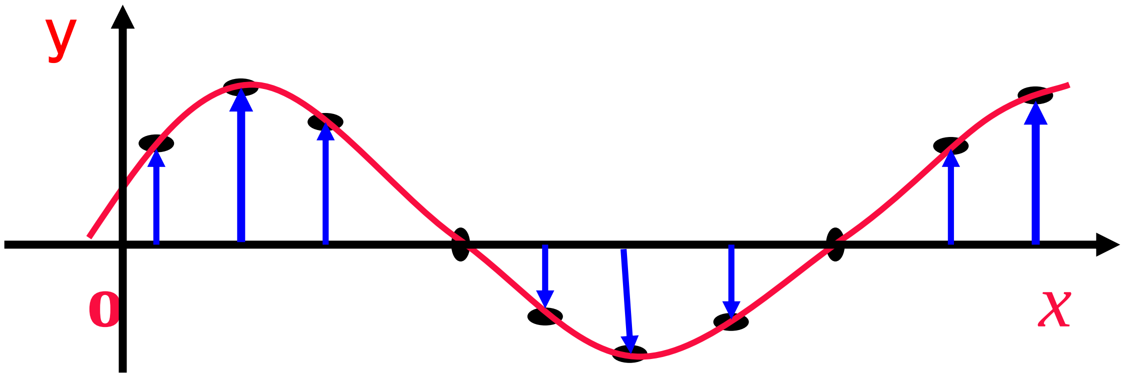
$$y = A\cos\left(\omega t-\frac{2\pi x}{\lambda}+\varphi\right)$$

$$\varphi' = -\frac{2\pi}{\lambda}x+\varphi$$

$$y = A\cos(\omega t+\varphi')$$

表达式描述的只是平衡位置在 x 处质点的振动。（y-t曲线）

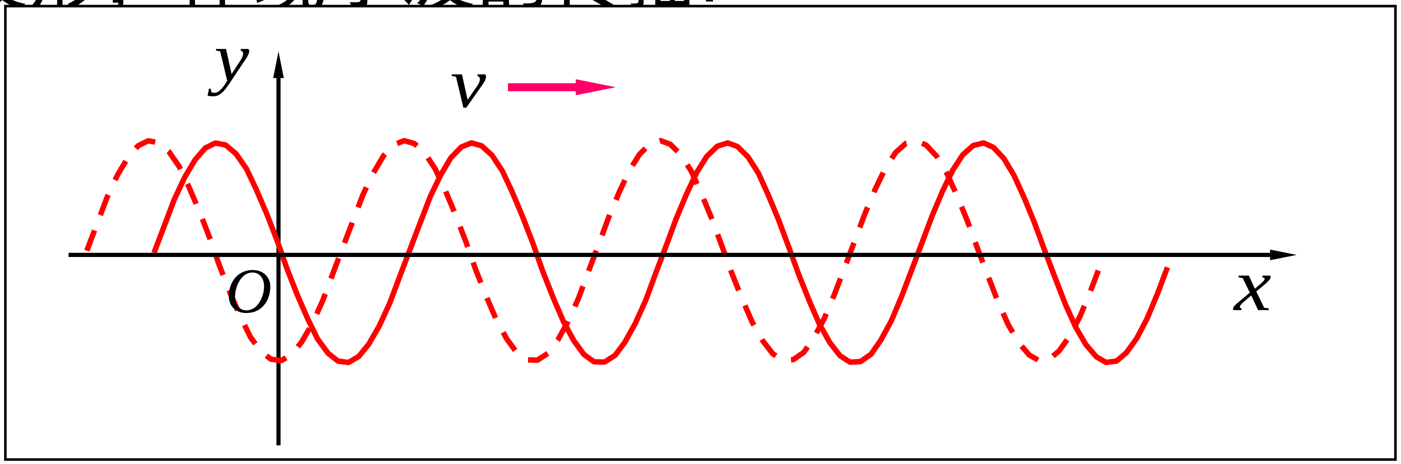
2. t 一定，x变化。



对于横波，该方程表示 t时刻波传播方向上各质点的位移， 即 该曲线为t 时刻的波形（y-x曲线）

3 x 、t 都变

方程表示在不同时刻各质点的位移，即不同时刻的波形，体现了波的传播.



从实质上看：波动是振动的传播.

从形式上看：波动是波形的传播.

南開大學

● 在同一时刻t，位于 x_1、 x_2 质点的振动相位差为：

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$= [2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}) + \varphi - 2\pi(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda}) - \varphi]$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1)$$

如 $x_2 - x_1 = k\lambda,$ 则$\Delta\varphi = 2k\pi$

即两质点振动相位相同。

如 $x_2 - x_1 = (2k+1)\frac{\lambda}{2},$ 则$\Delta\varphi = (2k+1)\pi$

即两质点振动相位相反。

2、平面波和球面波的表达式

- 平面波波线平行，同直线传播表达式。

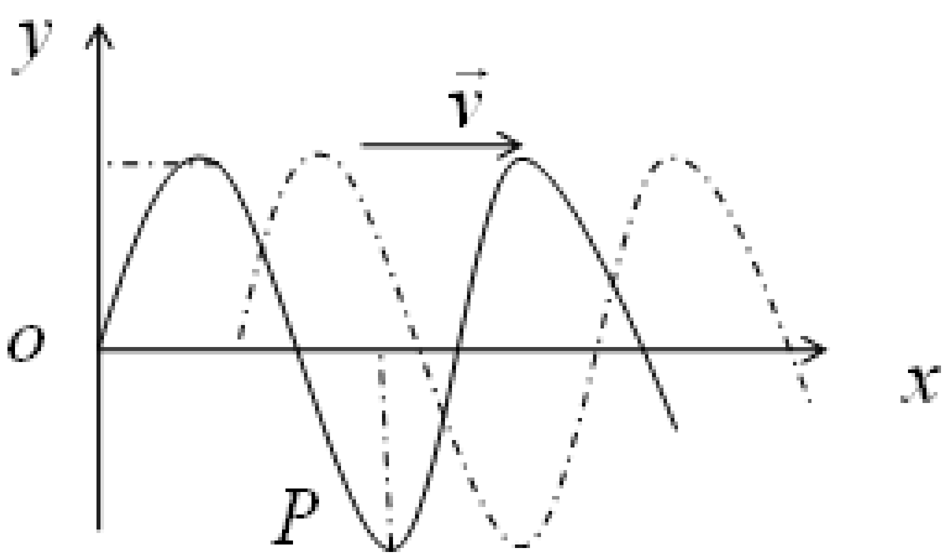
- 球面波，从能量角度可以证明：

$$y = \frac{A}{r}\cos[\omega(t \pm \frac{r}{v}) + \phi]$$

发散的球面波取负值，会聚的球面波取正值。

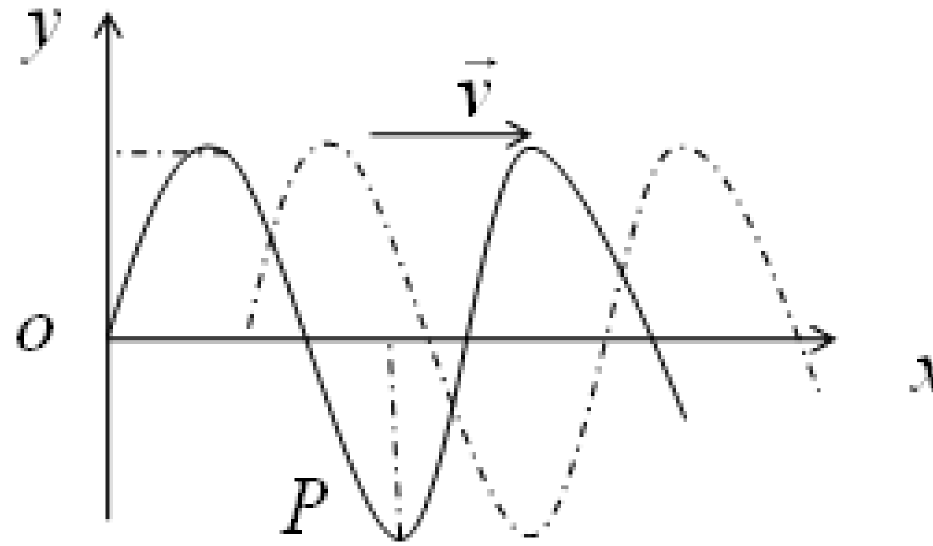
3、行波-在空间传播的波

例题：已知波沿 x 轴正方向以速度v传播，角频率为 ω，振幅为A，t=0时刻波形如图实线所示。求1）O点振动的初相位； 2）P点振动的初相位 3）波的表达式。



解：1）设0点振动为：

$$y_o = A\cos(\omega t + \phi)$$



$\because t = 0$时，$y = 0$

$\therefore 0 = A\cos\phi$

$$\phi = \pm\frac{\pi}{2}$$

因为Δt后，y<0，故 $\varphi = \dfrac{\pi}{2}$

2) O与P的相位差为

$$\Delta\varphi = \frac{x_2 - x_1}{\lambda} 2\pi = \frac{\frac{3}{4}\lambda}{\lambda} \cdot 2\pi = \frac{3}{2}\pi$$

$$\therefore \varphi_o - \varphi_P = \frac{3}{2}\pi$$

$$\varphi_P = \varphi_o - \frac{3}{2}\pi = \frac{\pi}{2} - \frac{3}{2}\pi = -\pi$$

3） $y = A\cos[\omega(t - \frac{x}{v}) + \frac{\pi}{2}]$

作业： 一平面简谐波以速度 $u = 20\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$ 沿直线传播，波线上点 A 的简谐运动方 程为：

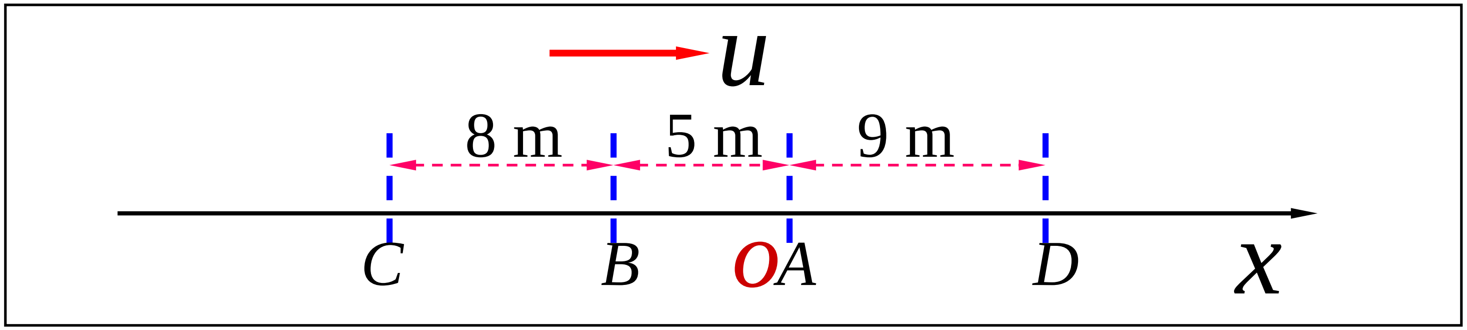
$$y_A = 3\times 10^{-2}\cos(4\pi t)$$ ；(y, t 单位分别为m，s).

求： (1) 以 A 为坐标原点，写出波动方程；

(2) 以 B 为坐标原点，写出波动方程；

(3) 求传播方向上点C、D 的简谐运动方程；

(4) 分别求出 BC ，CD 两点间的相位差.



思考2：

在波动中，每个质点只是在平衡位置振动，并没有向前的移动，那么波动中，传播的是什么？