大学基础物理学

University Fundamental Physics

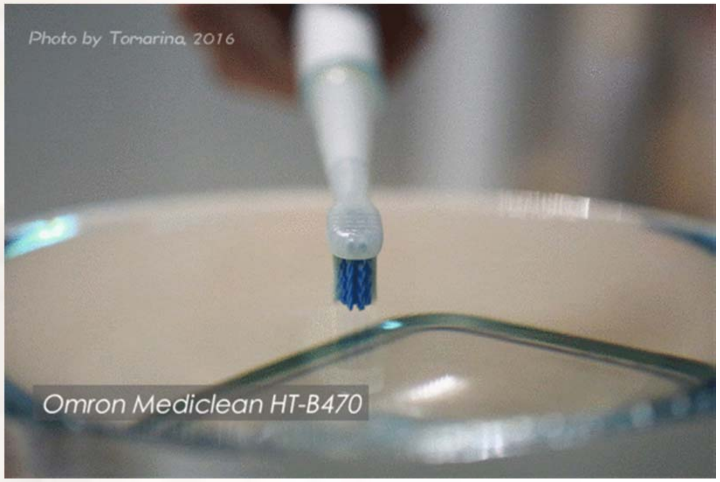
电子工程系@华东师范大学

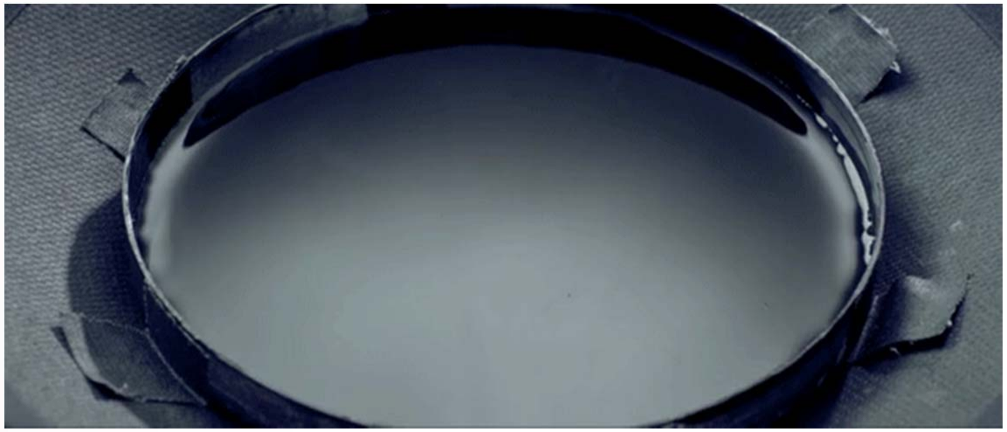
李波

2019年


波动

波动： 一定的扰动的传播称为波动





波动：一定的扰动的传播称为波动

机械扰动------机械波（声波、水波等）

电场&磁场------电磁波（无线电波、光波等）

相同的特征和规律：传播速度、能量传播、反射，折射等

波的分类

按波的性质

- 机械波（ mechanical wave ）
- 电磁波（electromagnetic wave ）
- …

按波线与振动方向关系

- 横波（transverse wave ）
- 纵波（longitudinal wave ）

按波面形状
- 平面波（plane wave）
- 球面波（spherical wave）
- 柱面波（ cylindrical wave）

按复杂程度
- 简谐波（simple harmonic wave）
- 复波（ compound wave）

按持续时间
- 连续波（continued wave）
- 脉冲波（pulsating wave）

按波形是否传播
- 行波（ travelling wave）
- 驻波（standing wave）

…

…

弹性媒质的质元受外界扰动而发生振动时，因媒质各部分间的弹性联系，会使振动传播开去，这就形成了**波动** (Wave)

机械振动— 机械波（mechanical wave）。

“上游”的质元依次带动“下游”的质元振动。某时刻某质元的振动状态将在较晚的时刻于“下游”某处出现。

机械波产生的条件

1）波源：产生振动

2）弹性媒质：无穷多质点通过相互之间的弹性力作用组合在一起的连续介质

从最直观的机械波开始

通过数学来定性、定量的描述

波动与振动是两个概念

振动是波动的基础，波动是振动的传播

波动是振动状态(相位)的传播，不是媒质的传播!

各段之间有相互作用

当用手**向上**带动第一个质元，第一个质元带动第二个质元，第二个质元带动第三个质元……**第N个带动第N+1个质元**……

当用手**向下**拉动第一个质元回到原位时，第一个质元带动第二个质元回来，第二个质元带动第三个质元回来……**第N个带动第N+1个质元回到原位**……

手在一端的扰动向另外一端**传递**，这种扰动的传播叫做“行波”

脉冲波 VS ***连续波***

质元的运动方向和扰动的传播方向***垂直***，**横波**

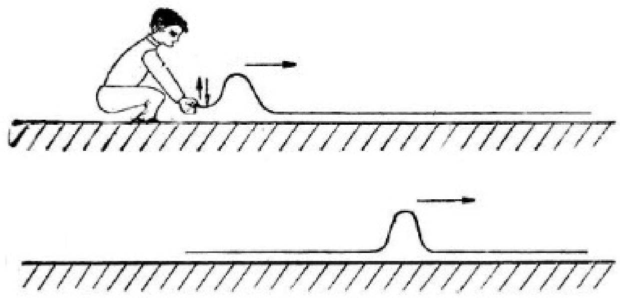
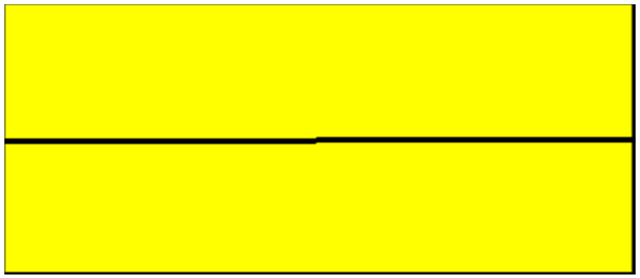


图 1.49-1

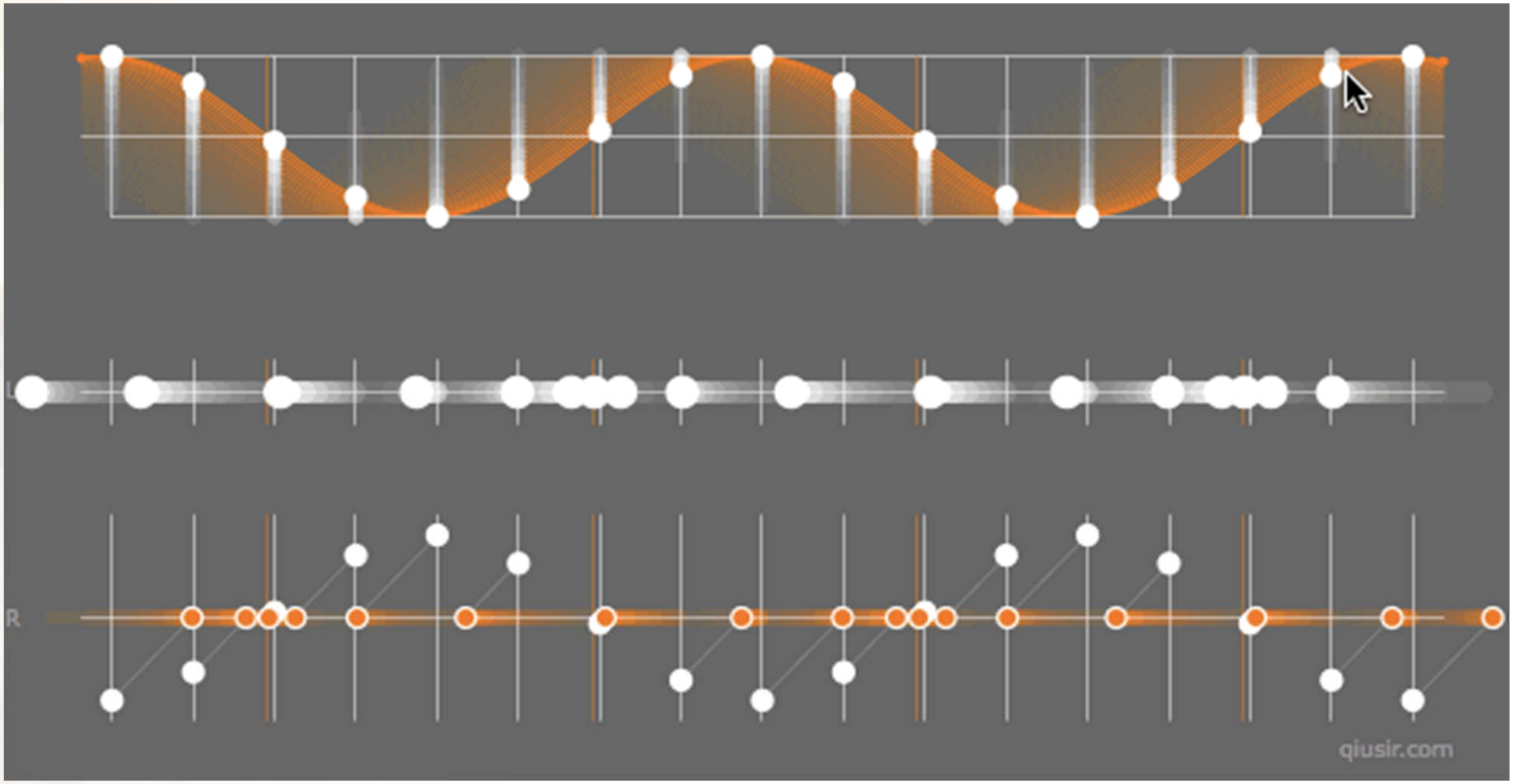


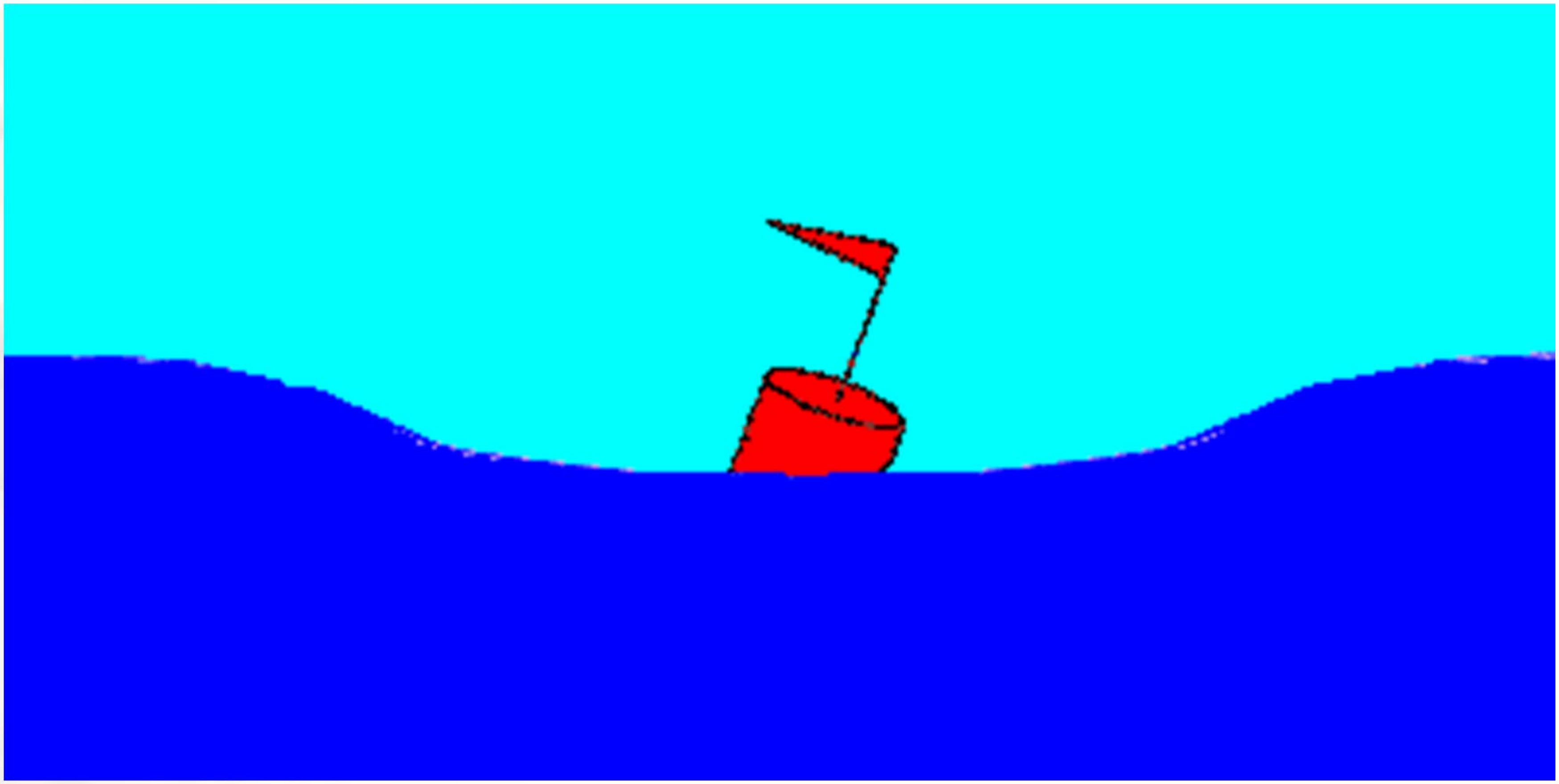
一定的扰动的传播称为波动

压缩的扰动沿弹簧向另一端**传播**

质元的运动方向和扰动的传播方向在***一条直线上***，**纵波**

- 纵波 & 横波 是弹性介质内波的两种基本形式
- 都是扰动的传播，介质本身并没有沿着波传播方向的迁移
- 质元的运动方向和扰动的传播方向***垂直***，**横波**
- 质元的运动方向和扰动的传播方向在***一条直线上***，**纵波**
- 自然界中的波动比较复杂

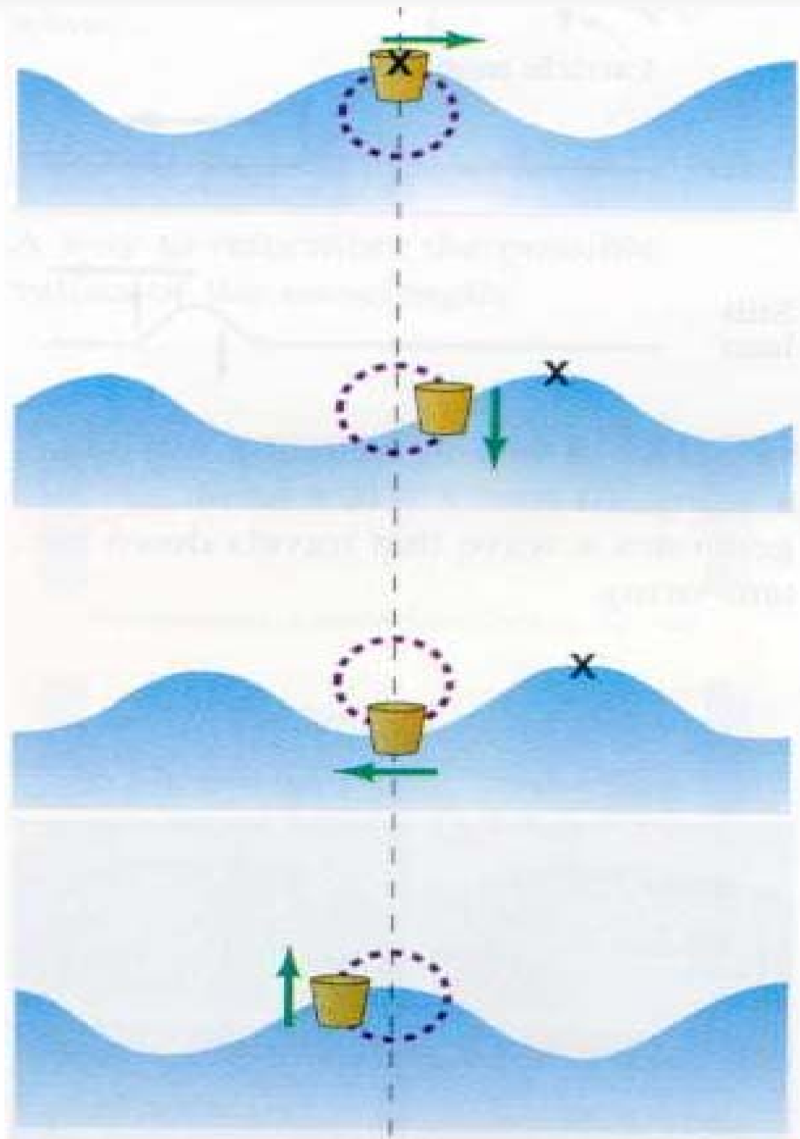

L
R
qiusir.com



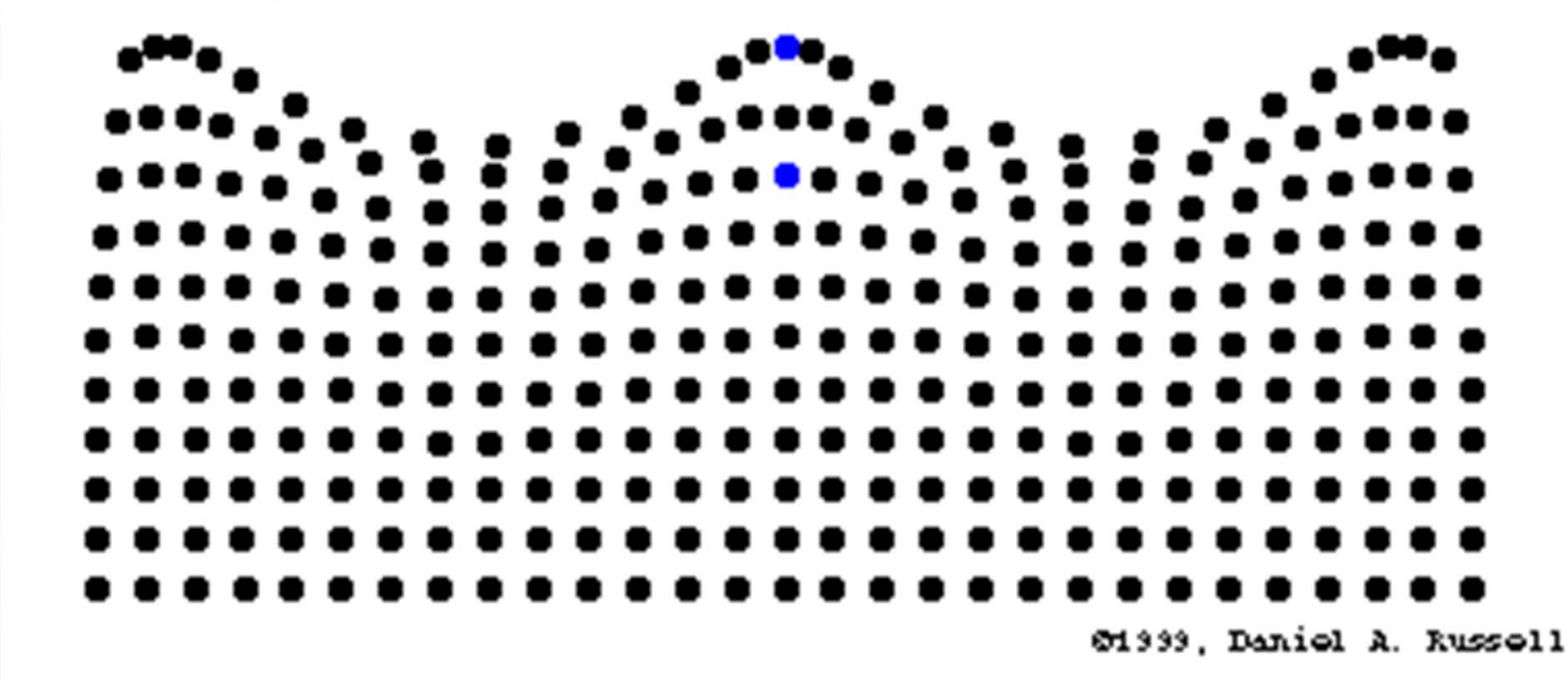
水表面的

波既非横波

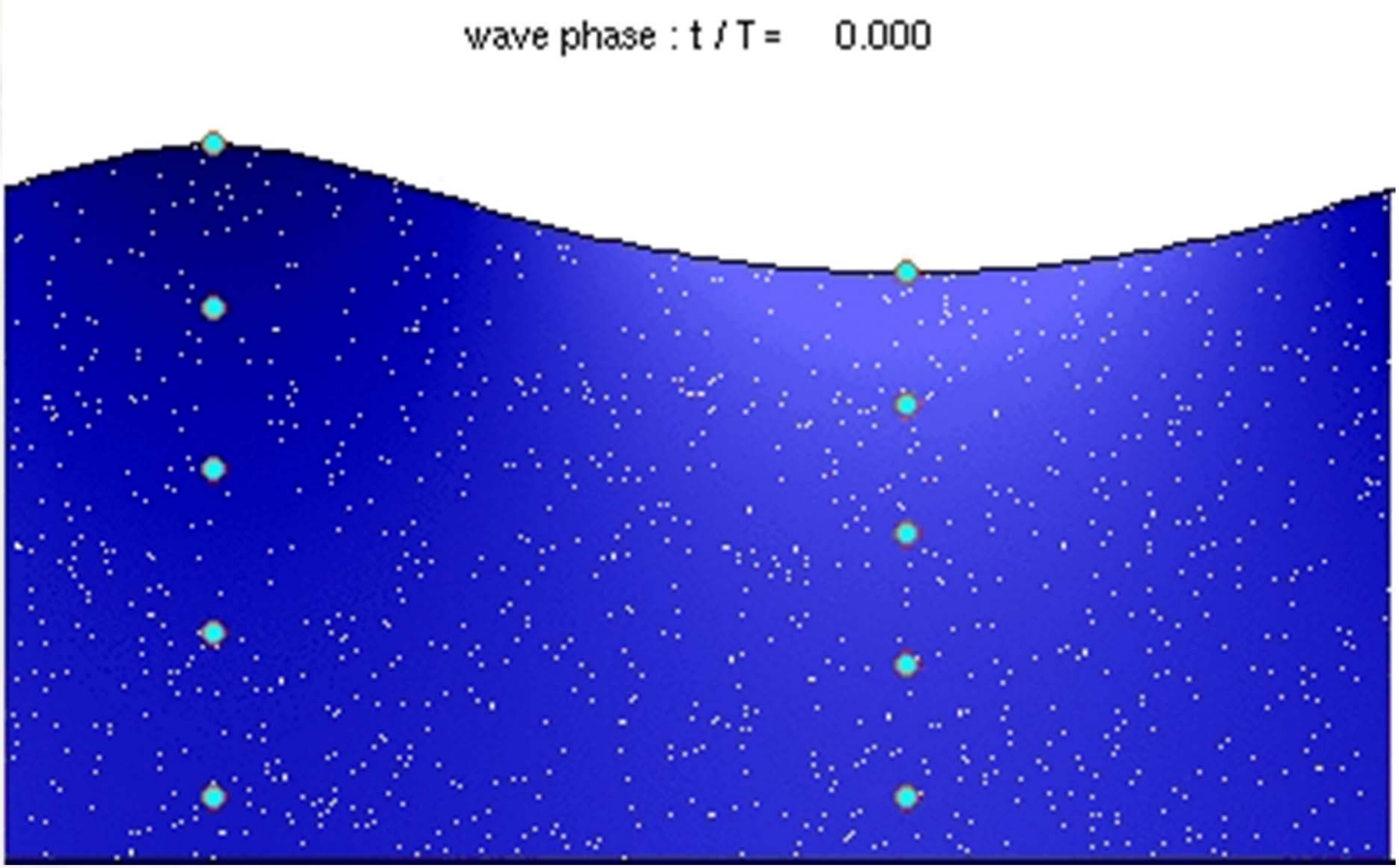
又非纵波



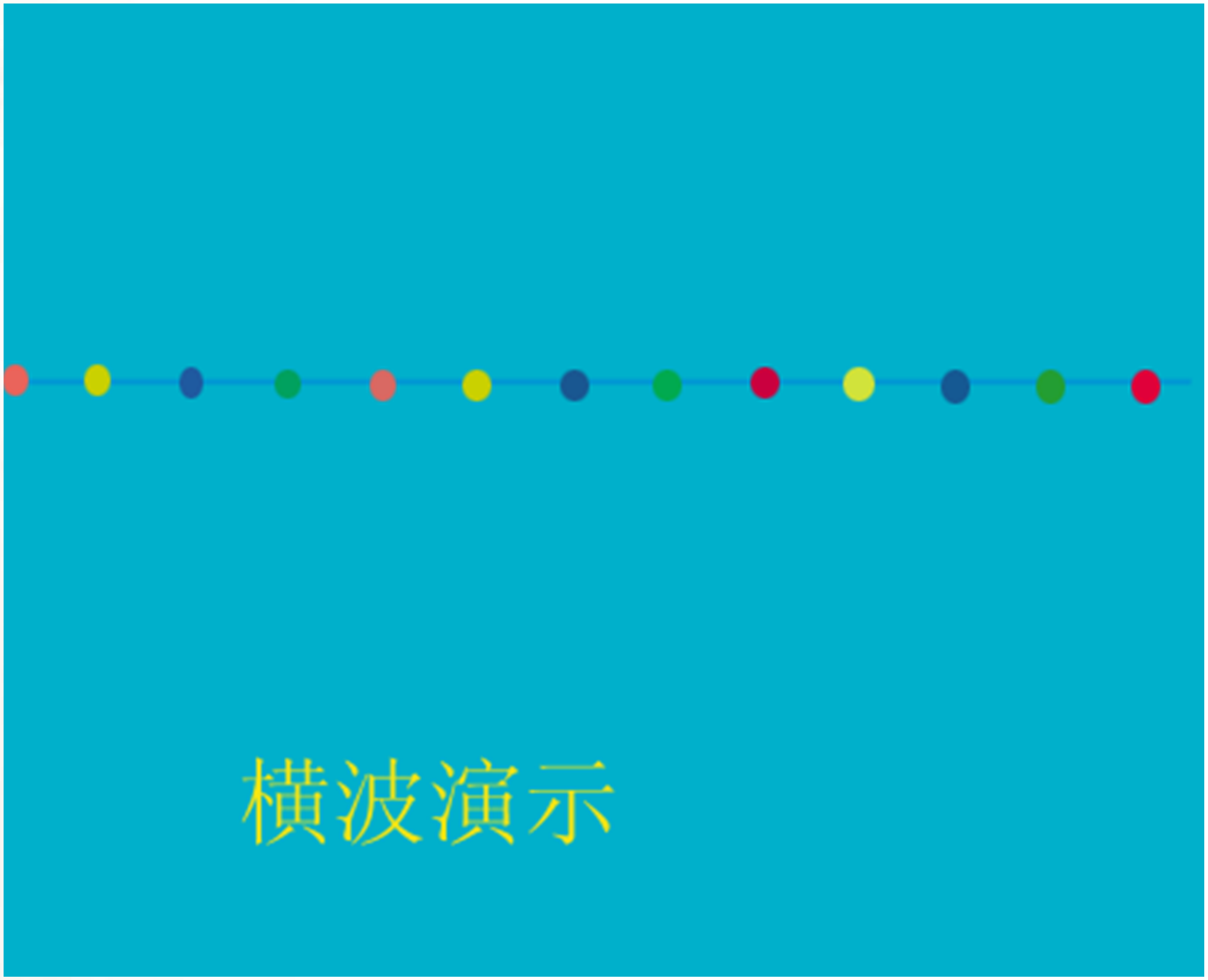
波速



水波中的水质元是做圆周（或椭圆）运动

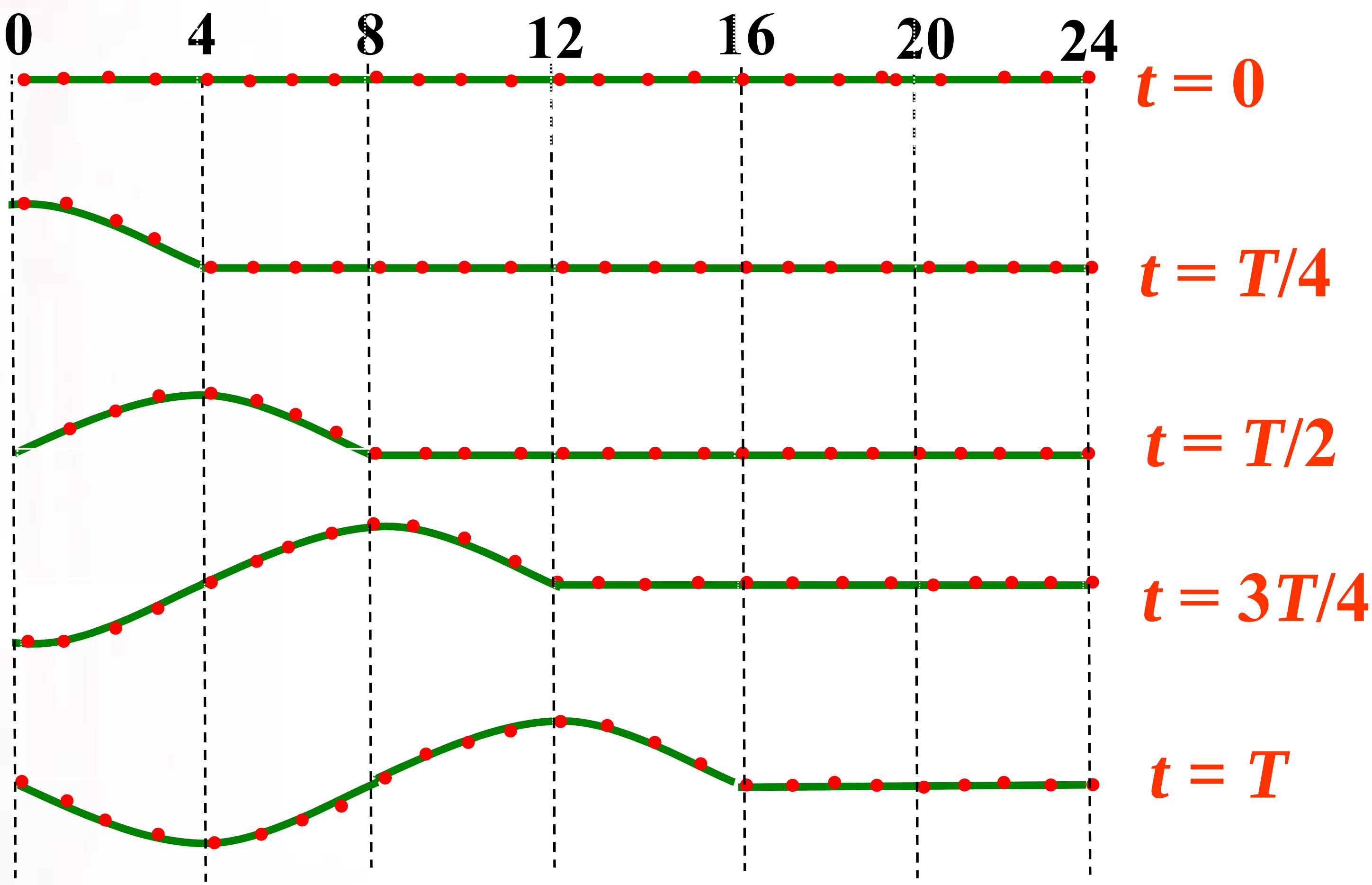

wave phase : t / T = 0.000

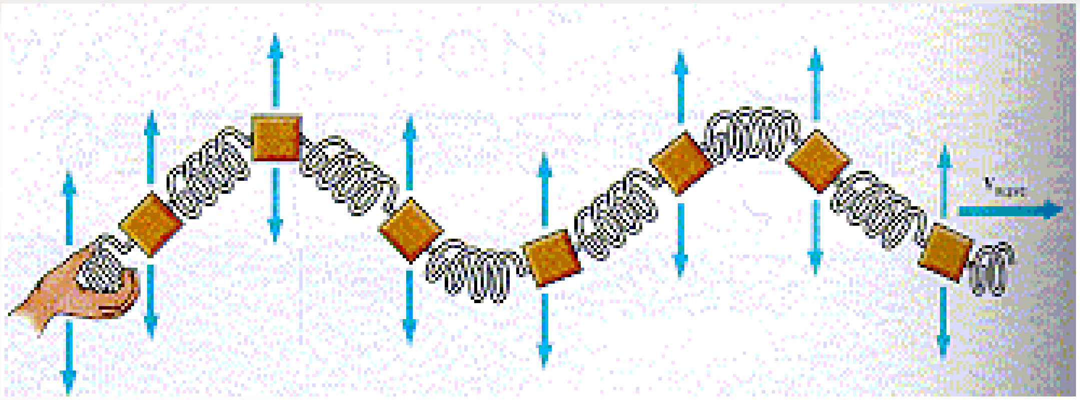
简谐波--- 传播的扰动形式是简谐运动，复杂的波可以看成简谐波的叠加



横波：

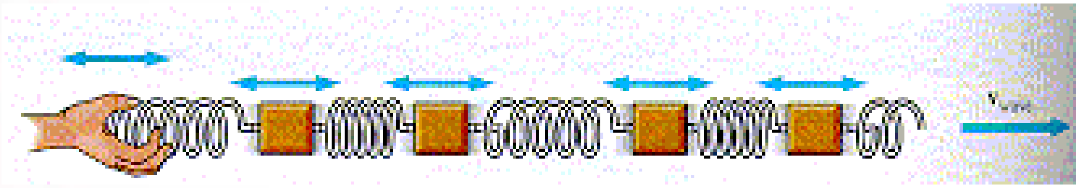
开始前，各自平衡位置；　剪切形变；





横波：

开始前，各自平衡位置；剪切形变；峰&谷



纵波：

开始前，各自平衡位置；线变；密度改变

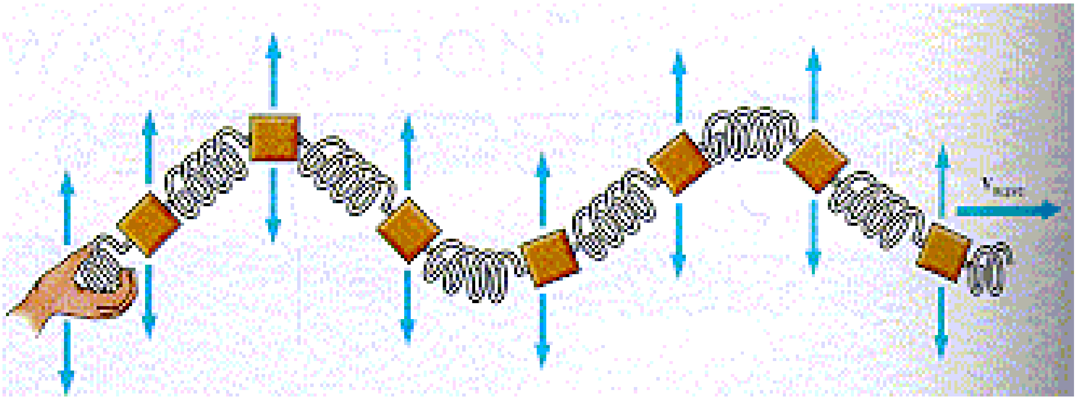
简谐波的波函数 & 波长

简谐运动传播时，各质元做简谐运动，位移随时间改变

各质元的初相位不同，简谐运动并不同步，在同一时刻，各质元的位移随位置的不同而不同

余弦波，单色波

横波，纵波

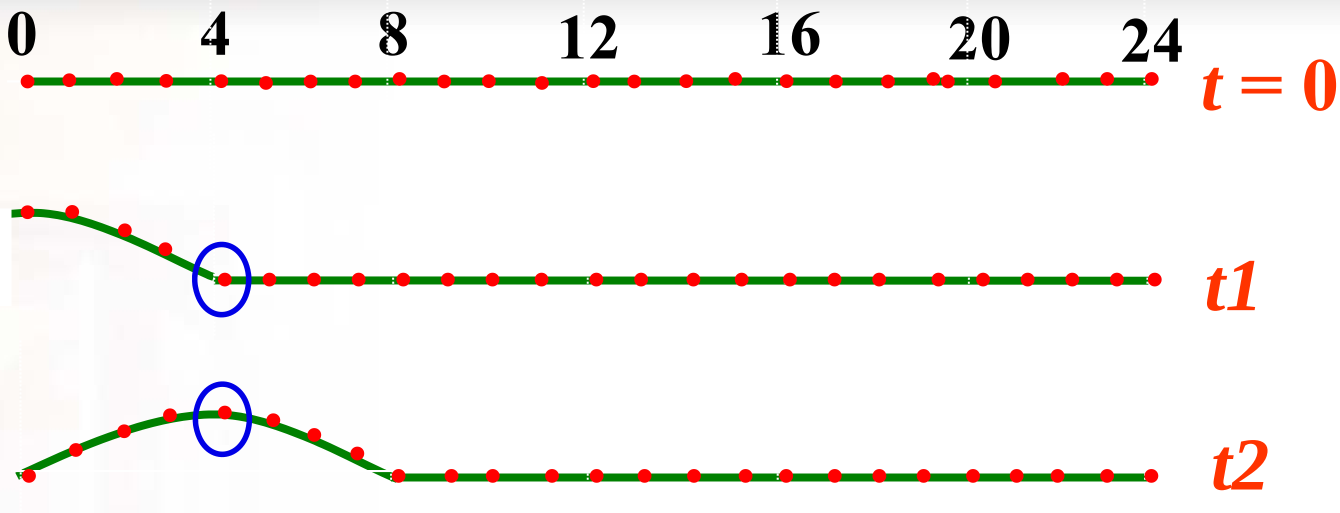


1. 一维平面简谐波的波函数

以机械波的横波为例，设平面波沿 x方向以速度 u 传播，媒质均匀、无限大，无吸收。

在 $x = 0$ 处质元振动方程为

$$\boxed{y(0,t) = A\cos\omega t,}$$



速度为 u

t1时刻刚开始运动，

$$y(x_1,t)=A\cos\omega t_1,$$

$$t_1=\frac{x_1}{u}$$

t2时刻

$$y(x_1,t)=A\cos\omega(t_2-t_1)$$

$$y(x,t)=A\cos\omega\left(t-\frac{x}{u}\right)$$

—— 波函数

$$\boxed{y(x,t) = A\cos\omega\left(t-\frac{x}{u}\right)}$$

(无吸收，故振幅 A不变)

上面波函数式中的 $\omega\left(t-\frac{x}{u}\right)$ 为波的**相位**

在x处，在时刻t的相 $\varphi = \omega\left(t-\frac{x}{u}\right)$

$$x = ut - \frac{\varphi u}{\omega}$$

$$x = ut - \frac{\varphi u}{\omega}$$

$$\boxed{\frac{dx}{dt} = u}$$

扰动传播的速度，也就是振动的相的传播速度，叫**相速度**

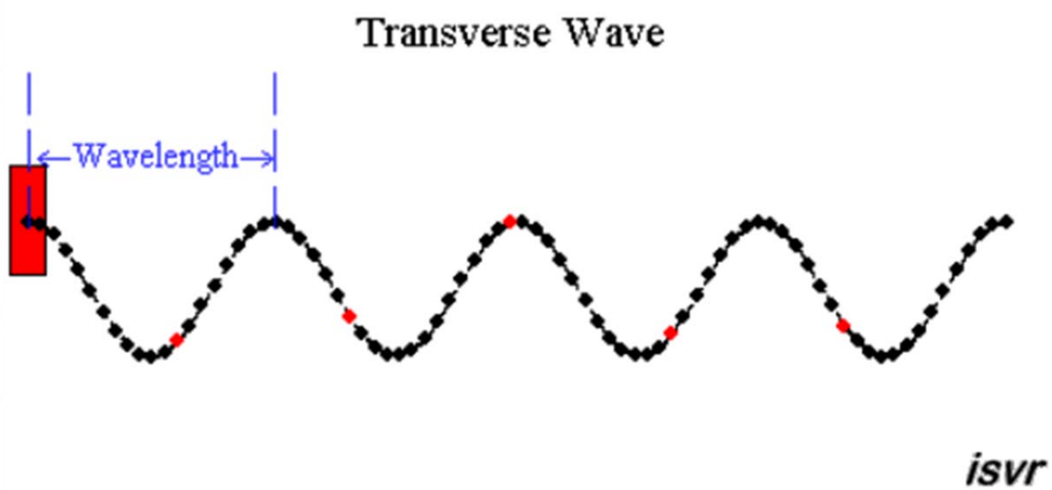
波速：振动状态传播的速度

由**媒质的性质**决定

声音在空气中传播速度	$u = 331 \ \text{m/s}$
声音在水中传播速度	$u = 1450 \ \text{m/s}$
声音在铁轨中传播速度	$u = 5000 \ \text{m/s}$
声音在混凝土中传播速度	$u = 4000 \ \text{m/s}$

$$y(x,t) = A\cos\omega\left(t - \frac{x}{u}\right)$$

波函数中不同的x，具有**相同**的ω，因此，波函数具有**时间周期性。**（也就是固定x，具有时间周期）



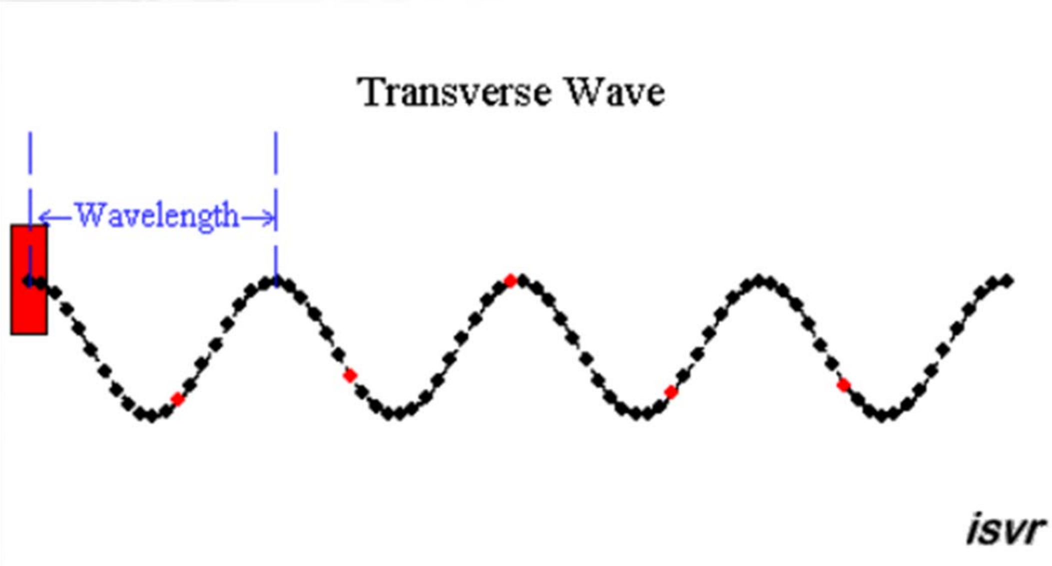
周期为：$$T = \frac{2\pi}{\omega} \qquad \nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$ 波源、观测者均不动时

$$y(x,t) = A\cos\omega\left(t - \frac{x}{u}\right)$$

波函数中不同的t时刻，由于cos函数，因此，波函数具有**空间周期性。**也就是固定t，具有空间周期

$$y(x+\Delta x) = A\cos\omega\left(t - \frac{x+\Delta x}{u}\right) = A\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) - \boxed{\frac{\omega\Delta x}{u}}\right] = 2k\pi$$

振动相同



$$\lambda = \frac{2\pi u}{\omega} = uT$$

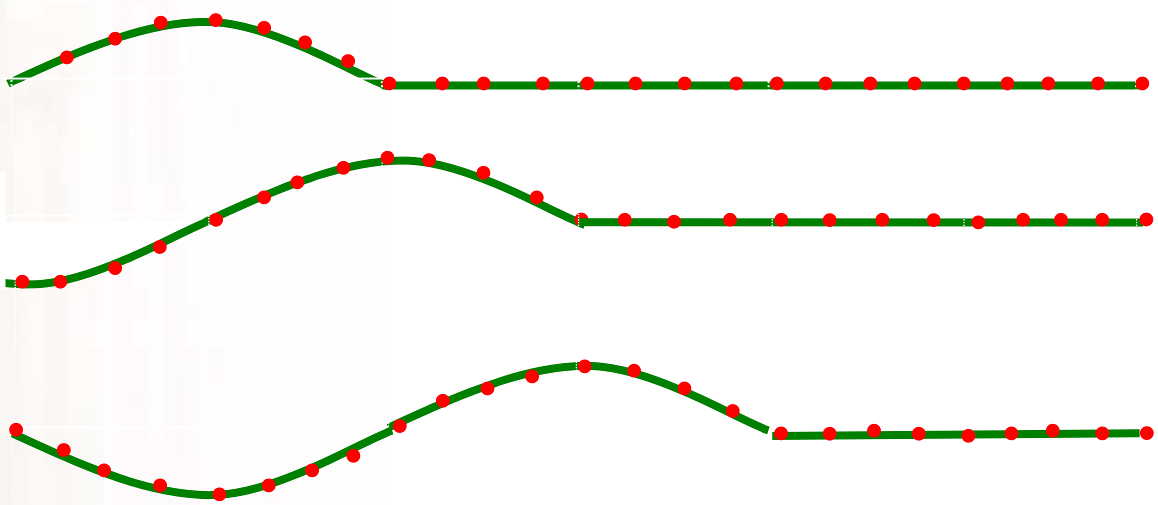
波长：一个周期内简谐扰动传播的距离，一个周期**相传播的距离**

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

$$\boxed{\lambda = \frac{2\pi u}{\omega} = uT}$$

波形曲线：一个周期内简谐扰动传播的距离，一个周期**相传播的距离**

横波：质元的位移　纵波：左负，右正

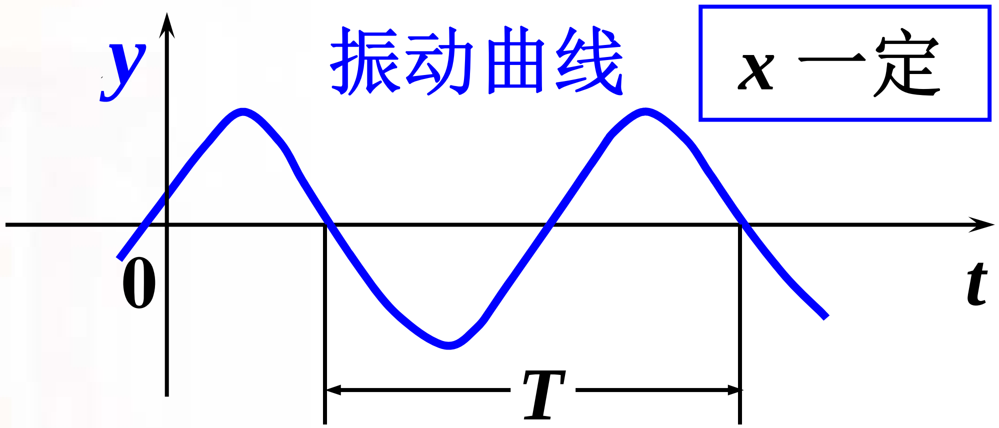


$t = T/2$

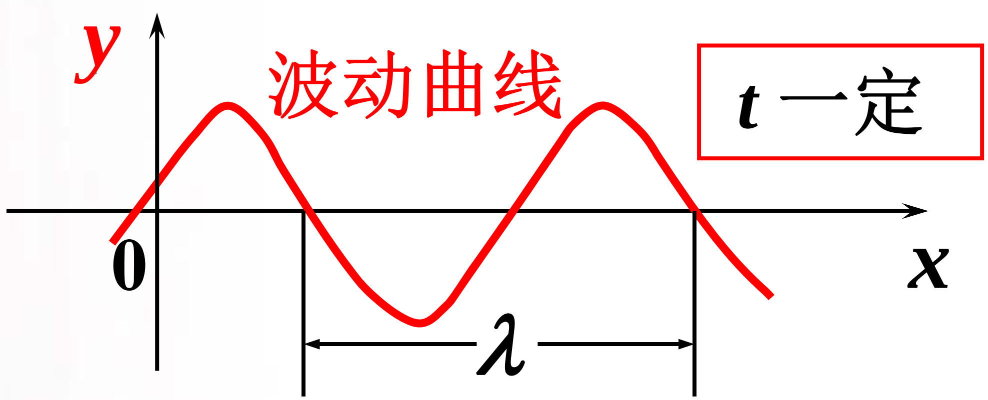
$t = 3T/4$

$t = T$

（1） x 一定，$y \sim t$ 给出 x 点的振动方程。



（2） t 一定，$y \sim x$ 给出 t 时刻空间各点位移分布。



波形曲线 y—x ， 振动曲线 y—t

波形曲线上应标明 时刻 t 、传播方向

振动曲线上应标明 哪个质元

要求掌握

1)由某时刻的波形曲线

→ 画出另一时刻的波形曲线

2)由某时刻的波形曲线

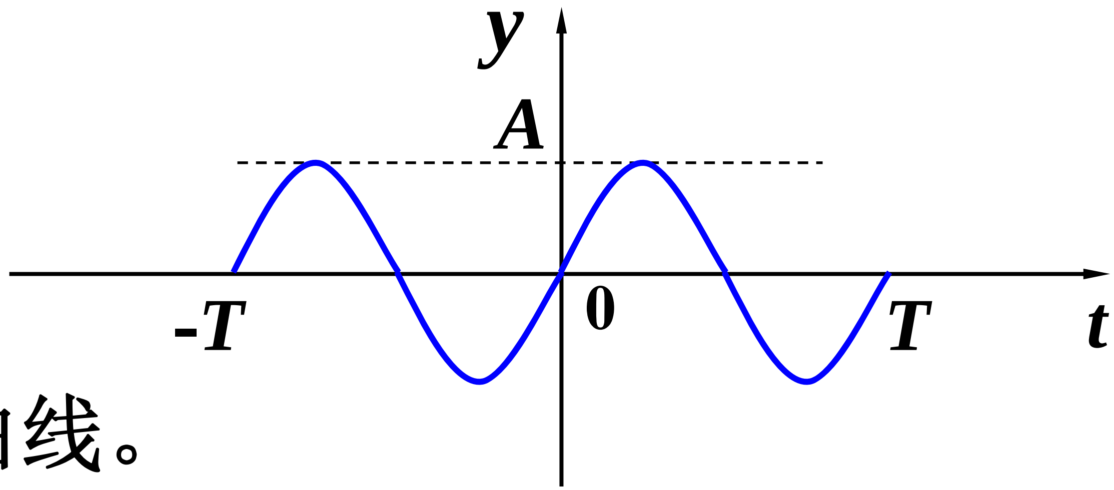
→确定某些质元的振动趋势

→画出这些质元的振动曲线

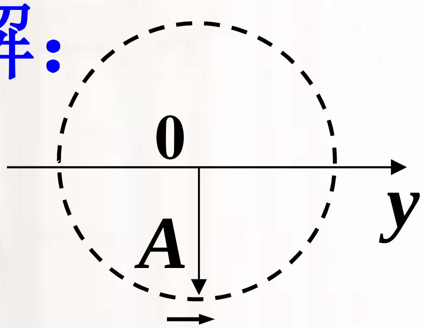
3)由某质元的振动曲线

→画出某时刻的波形曲线

[例]　已知：一个向右传播的波在 $x = 0$ 点的振动曲线如图所示。试画出该波在 $t = 0$ 时的波形曲线。



解：



0点初相位为- π /2

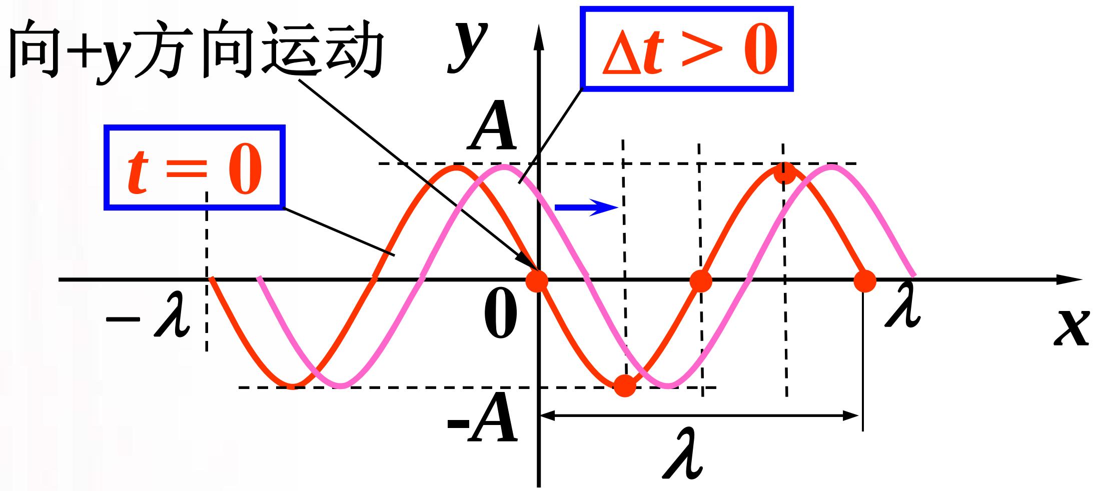
振动方程：

$$y(t) = A\cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) = A\sin\omega t$$

波函数：

$$\boxed{y(t) = A\cos\left[\omega(t - \frac{x}{u}) - \frac{\pi}{2}\right] = A\sin\omega(t - \frac{x}{u})}$$

$$y(t) = A\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) - \frac{\pi}{2}\right] = A\sin\omega\left(t - \frac{x}{u}\right)$$



$$\lambda = \frac{2\pi u}{\omega} = uT$$

$$\boxed{k = \frac{2\pi}{\lambda}}$$

2π的长度内，含有多少“完整波” ------**波数**

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \qquad \nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \qquad \lambda = \frac{2\pi u}{\omega} = uT \qquad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\boxed{y(x,t) = A\cos\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) = A\cos(\omega t - kx) = A\cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)}$$

注： 如果沿x轴负向传播，负号改为正号

$$y = A\cos(\omega t \mp kx)，\quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$ —— 波数 (wave number)

$$y = A\cos 2\pi\left(\frac{t}{T} \mp \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$y = A\cos k(ut \mp x)$$

$$y = Ae^{i(\omega t \mp kx)} \qquad (\mathrm{Re})$$

$$= \underbrace{Ae^{\mp ikx}}_{\text{空间因子（复振幅）}} \cdot \underbrace{e^{i\omega t}}_{\text{振动因子}} \qquad (\mathrm{Re})$$

谢谢！