# 第十章 机械波

# 10.1 机械波的形成和传播

## 1 什么是机械波

机械波：机械振动在连续介质内的传播

## 2 机械波产生的条件：

- ✓ 有作机械振动的物体——波源
- ✓ 有连续的介质

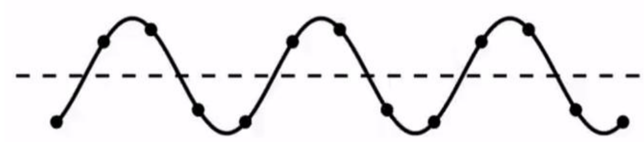
简谐振动在理想介质中的传播，叫简谐波。

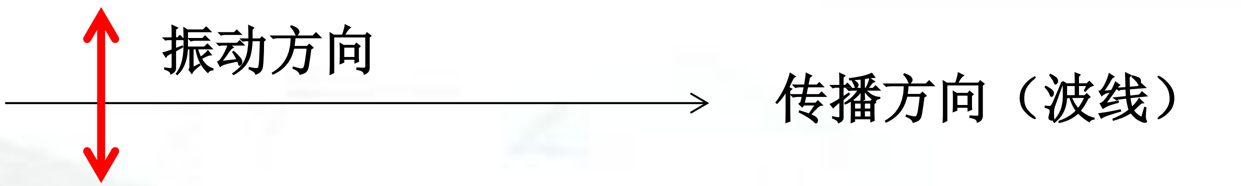
注意

波是振动运动状态的传播，介质的质点并不随波传播

# 10.1.2　横波 纵波

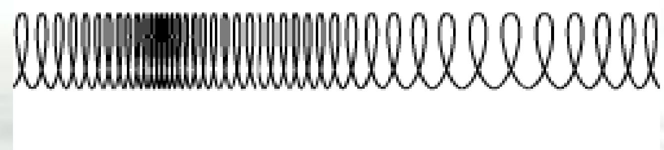
横波：质点的振动方向和波的传播方向垂直。只能存在于有剪切应力的介质中。（固体、稠液体）

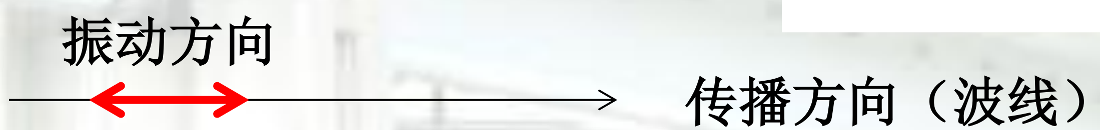





特征：具有交替出现的波峰和波谷

纵波：质点的振动方向和波的传播方向平行。存在于固体、液体、气体各种媒质中。





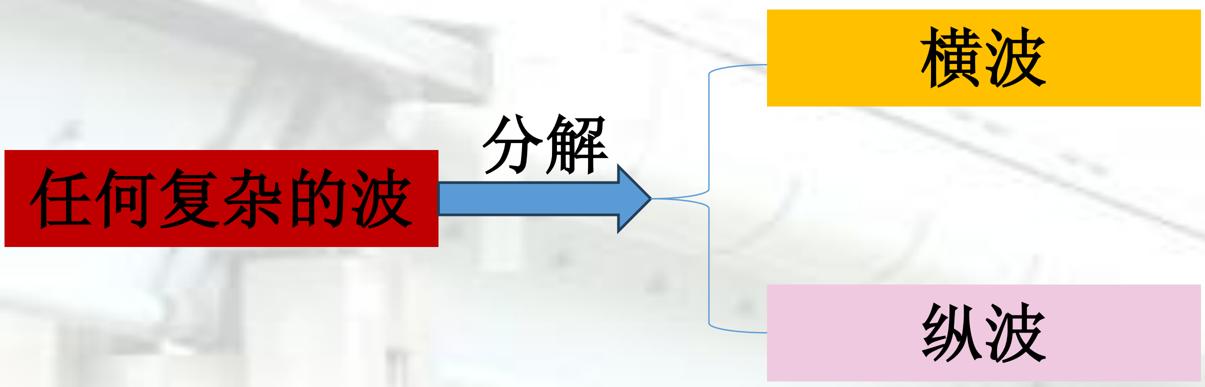

特征：具有交替出现的密部和疏部

横波与纵波演示视频

上一页　下一页　返回目录

# 10.1.2 横波 纵波

一般而言，介质中质点的振动情况是很复杂的，由此产生的波也很复杂。例如水面上传播的水面波，水质点既有上下振动，也有前后运动，因此既不是纯粹的横波，也不是纯粹的纵波。



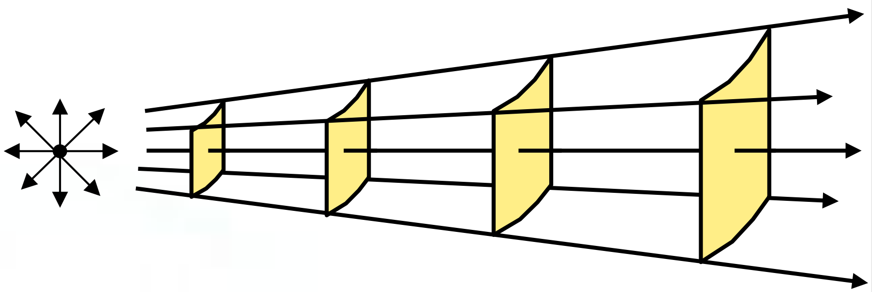

上一页 下一页 返回目录

# 10.1.3　波面　波线

1　波所传播到的空间叫波场

2　从波源沿各传播方向所画的带箭头的线，称为波线。

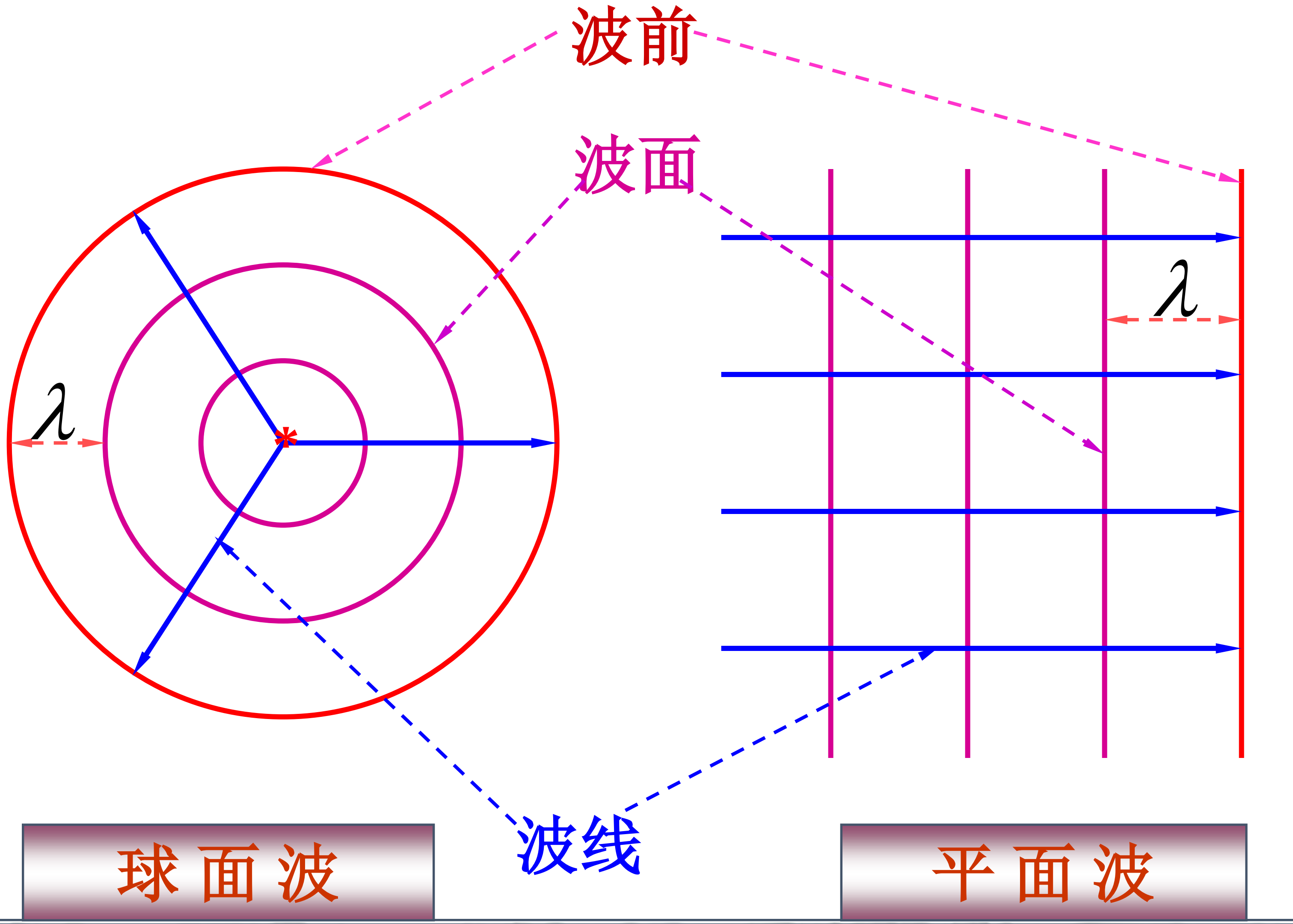
3　波在传播过程中，所有振动相位相同的点连成的面，称为波面。最前面的一个波面称波阵面（或波前）



在各向同性介质中，波线恒与波面垂直

按波面的形状分类：平面波、球面波和柱面波等

# 10.1.3 波面 波线



# 10.1.4　简谐波

一般说来，波动中各质点的振动是复杂的。最简单而又最基本的波动是简谐波，即波源以及介质中各质点的振动都是谐振动。这种情况只能发生在各向同性、均匀、无限大、无吸收的连续弹性介质中。

任何复杂的波 —分解→ 简谐波1

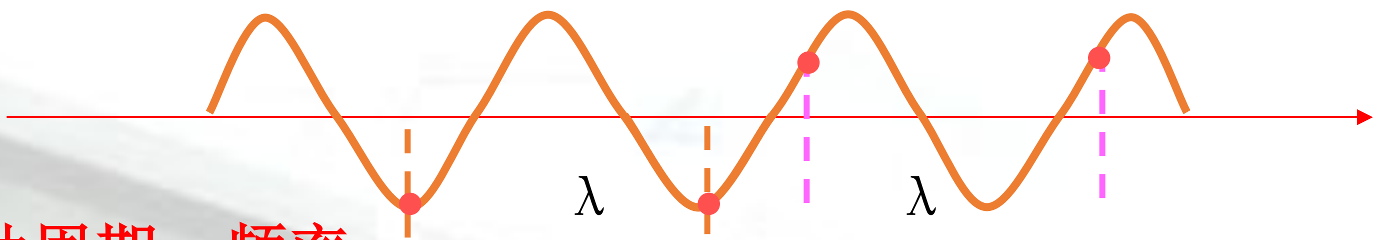
⋮

简谐波n

# 10.1.6 描述波动的几个物理量

## 1 波长λ

同一波线上两个相邻的相位差为$2\pi$的质点间的距离，即一个完整波的长度称为波长。




## 2 波动周期、频率

周期$T$：一个完整波形通过波线上某点所需要的时间

频率$\nu$：单位时间内通过波线上某点的完整波的数目$\nu=\frac{1}{T}=\frac{\omega}{2\pi}$

## 3 波速$u$

在波动过程中，某一振动状态（即振动相位）在单位时间内所传播的距离叫做波速，用$u$表示。波速决定于介质的性质。

$$\lambda = u\cdot T=\frac{u}{\nu}=\frac{2\pi\cdot u}{\omega}$$

# 10.2 平面简谐波的波函数

介质中任一质点（坐标为$x$）相对其平衡位置的位移（坐标为$y$）随时间的变化关系，即$y(x,t)$称为波函数.

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

各质点相对平衡位置的位移

波线上各质点平衡位置

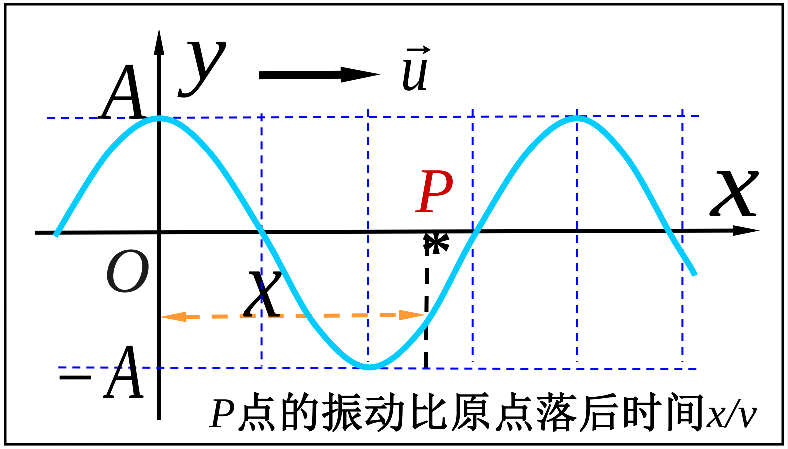
➢ 简谐波：在均匀的、无吸收的介质中，波源作简谐运动时，在介质中所形成的波。

➢ 平面简谐波：波面为平面的简谐波。

x/u

# 10.2.1 平面简谐波的波函数

以速度$\vec{u}$沿$x$轴正向传播的平面简谐波。设原点处的质点振动表达式为$y_0 = A\cos(\omega t + \varphi_0)$




$\Delta t = \dfrac{x}{u}$

时间推迟方法

点O 的振动状态
$y_0 = A\cos(\omega t + \varphi_0)$
→ 点 P

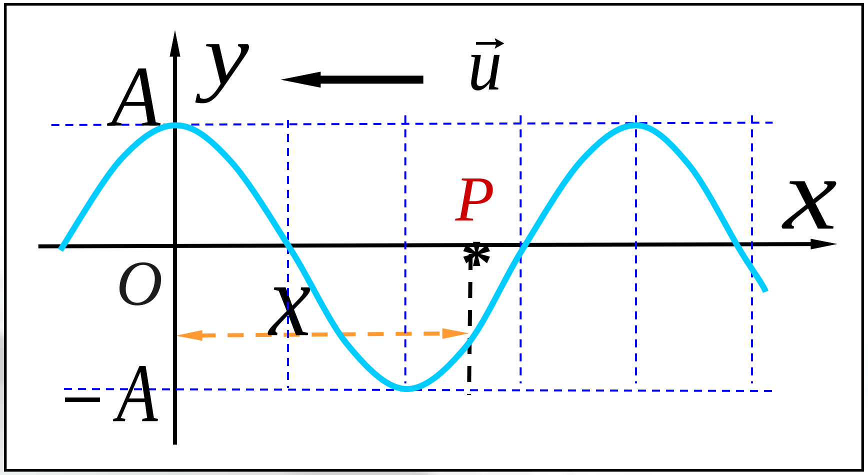
$t\text{-}x/u$时刻点O 的运动 = $t$ 时刻点 P 的运动

P点在t时刻的振动方程$y = A\cos\left[\omega\left(t - \dfrac{x}{u}\right) + \varphi_0\right]$

上式为沿x轴正方向传播的平面简谐波的波函数

上一页 下一页 返回目录

# 10.2.1 平面简谐波的波函数




若沿$x$轴负方向传播点 $O$ 振动方程$y_0 = A\cos(\omega t + \varphi_0)$

$P$点的振动**超前**$O$点的振动，超前的时间为$+\frac{x}{u}$。$t$时刻$P$点的振动状态就是$t+\frac{x}{u}$时刻0点的振动状态。

点 $P$ 振动方程$y = A\cos[\omega\left(t+\frac{x}{u}\right)+\varphi_0]$（沿$x$轴负向传播）

上式为沿$x$轴负方向传播的平面简谐波的波函数

# 10.2.1 平面简谐波的波函数

**波函数**

$$y = A\cos[\omega(t - \frac{x}{u}) + \varphi_0] \quad u\text{沿}x\text{轴正向}$$

$$y = A\cos[\omega(t + \frac{x}{u}) + \varphi_0] \quad u\text{沿}x\text{轴负向}$$

✓ **平面简谐波波函数的其它形式**

$$y = A\cos[2\pi(\frac{t}{T} \mp \frac{x}{\lambda}) + \varphi_0]$$

$$y = A\cos[2\pi\nu t \mp \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi_0]$$

# 10.2.1 平面简谐波的波函数

我们可以将上述推广到更一般的情形，若波沿 $Ox$ 轴正方向传播，且已知 $x_0$ 处点 $Q$ 的振动表达式为

$$y_Q = A\cos(\omega t + \phi_{x0})$$

则相应的波的表达式为

$$y = A\cos\left[\omega\left(t - \frac{x - x_0}{u}\right) + \phi_{x0}\right]$$

由波的表达式可以求得介质中各质点的振动速度 $v$ 和振动加速度 $a$，即

$$v = \frac{\partial y}{\partial t} = -\omega A\sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) + \phi_0\right]$$

$$a = \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\omega^2 A\cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{u}\right) + \phi_0\right]$$

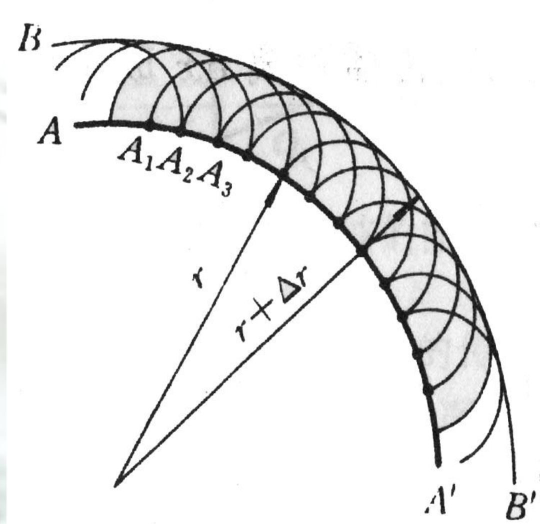
# 10.4 惠更斯原理　波的衍射

## 1 惠更斯原理

介质中波阵面(波前)上的各点，都可以看做是发射子波的波源，其后任一时刻这些子波的包迹就是新的波阵面。这就是惠更斯原理。

惠更斯原理不仅适用于机械波，也适用于电磁波。不论传播波动的介质是均匀的还是非均匀的，是各向同性的还是各向异性的，只要知道某一时刻的波阵面，就可以根据这一原理确定以后任一时刻的波阵面，进而确定波的传播方向。此外，根据惠更斯原理，还可以很简单地说明波在传播中发生的反射和折射现象。

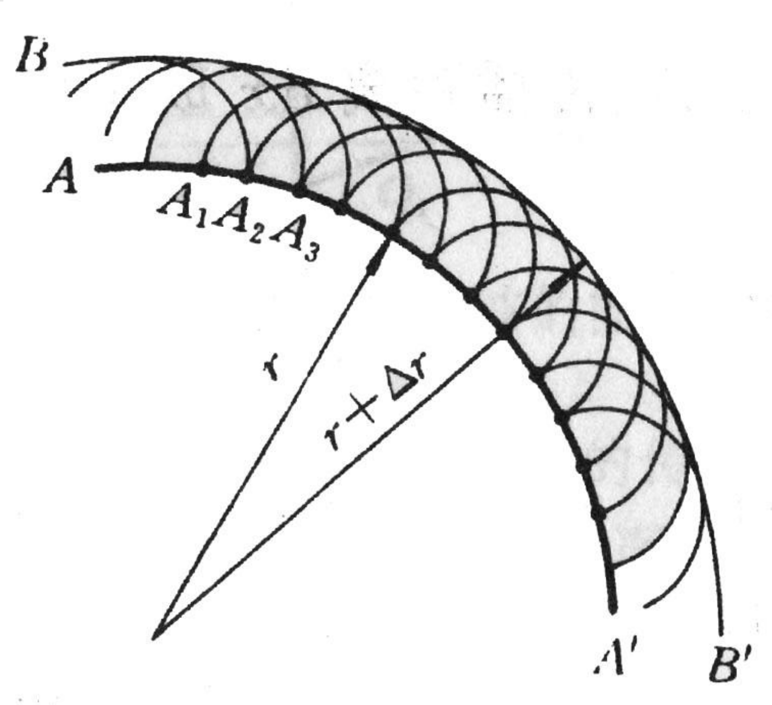
惠更斯，C.




上一页 下一页 返回目录

# 10.4.1　惠更斯原理

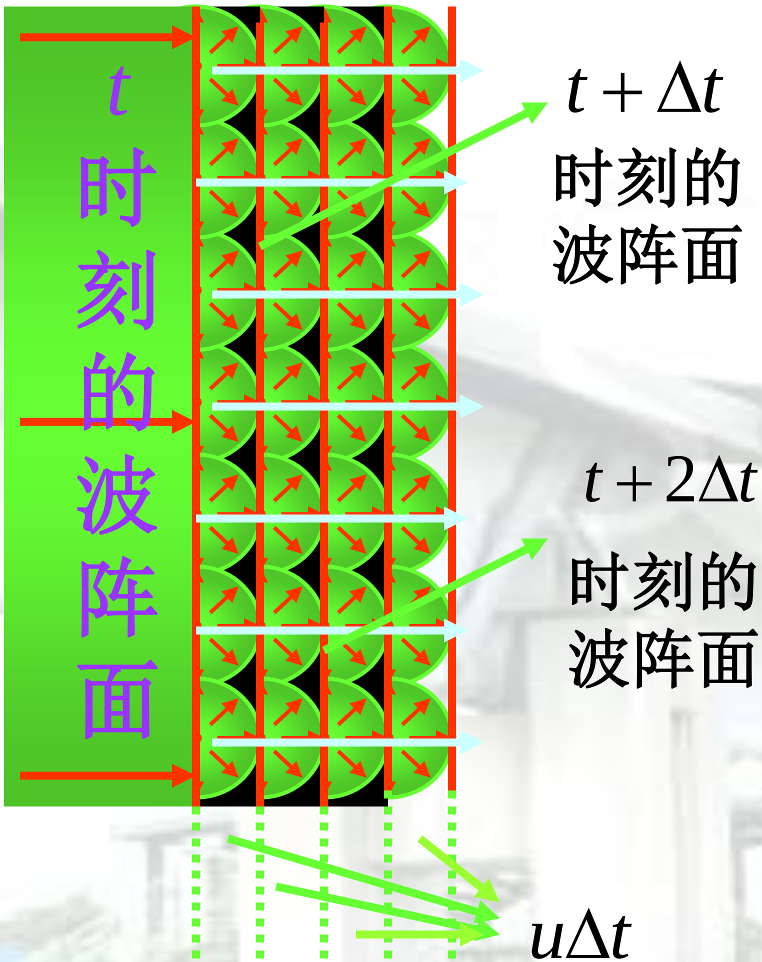
## 2 确定下一时刻的波阵面（波前）

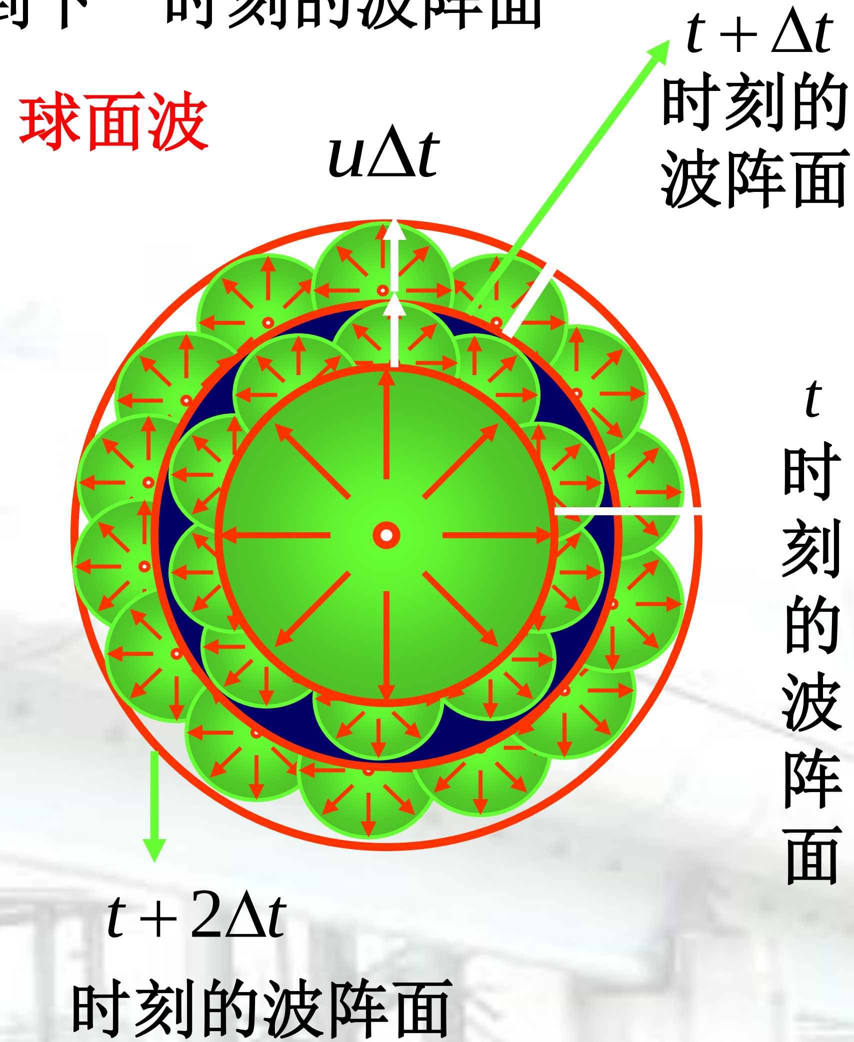



假设$t$时刻波动传至波面$AA'$上各点$A_1$、$A_2$、$A_3$、…，每一点都可看作是一个新的波源（子波源），由子波源发射出新的波动（子波）。经$\Delta t$时间，子波均向前传播了$\Delta r = u\Delta t$的距离。取这些子波的包面$BB'$，就是原来的波动在$t+\Delta t$时刻的新波面

# 10.4.1 惠更斯原理

平面波从某时刻的波阵面得到下一时刻的波阵面

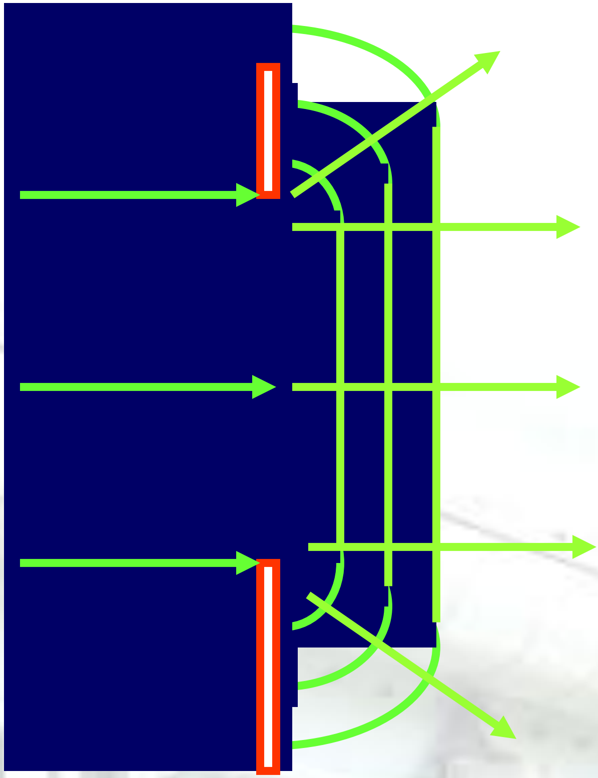


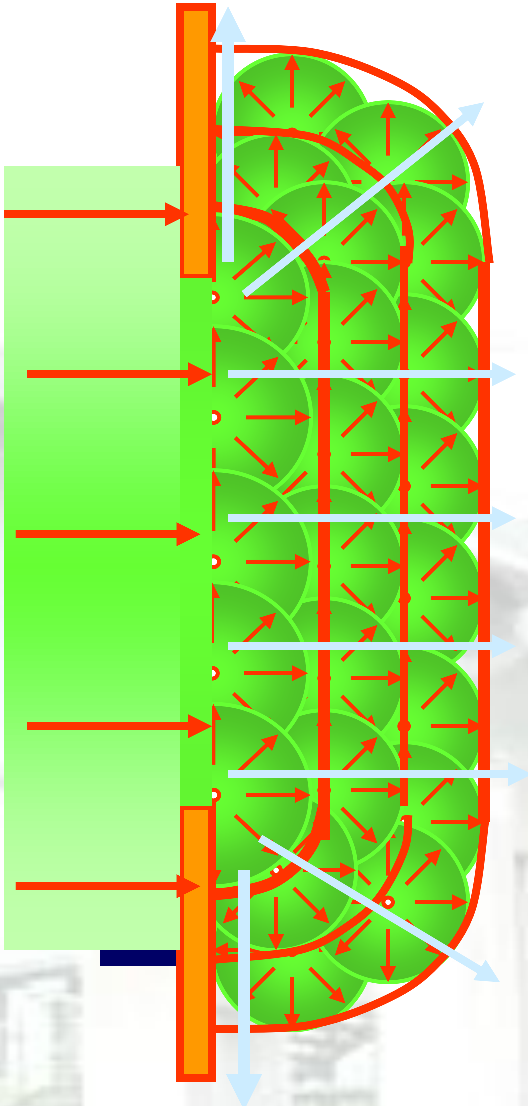
# 6.4.1 惠更斯原理

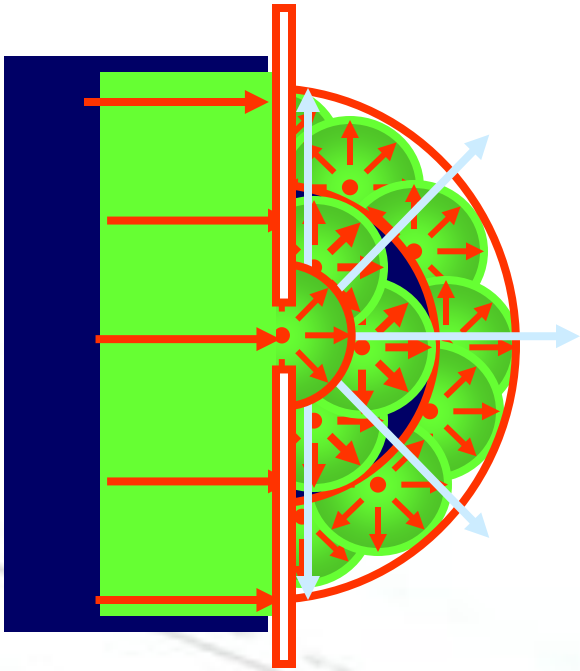
3 波的衍射衍射（绕射）—波动在传播过程中遇到障碍物时能绕过障碍物的边缘前进的现象

“室内讲话，墙外有耳”



# 10. 4. 1　惠更斯原理





不足：不能解释波的强度及为什么只考虑向前传播的波。

# 10.5. 波的叠加原理　波的干涉

## 1 波的叠加原理

波的叠加原理包含两个内容，一是波传播的独立性，二是波的可叠加性，具体来说：

（1）几列波相遇以后，仍然保持它们各自原有的特性（频率、波长、振幅、振动方向等）不变，并按照原来的方向继续前进，好象没有遇到过其它波一样。

（2）在相遇区域内任一质点的振动位移，等于各列波单独存在时在该点所引起的振动位移的矢量和。

两列波相遇会发生什么？

# 10.5 波的叠加原理　波的干涉

## 2 波的干涉

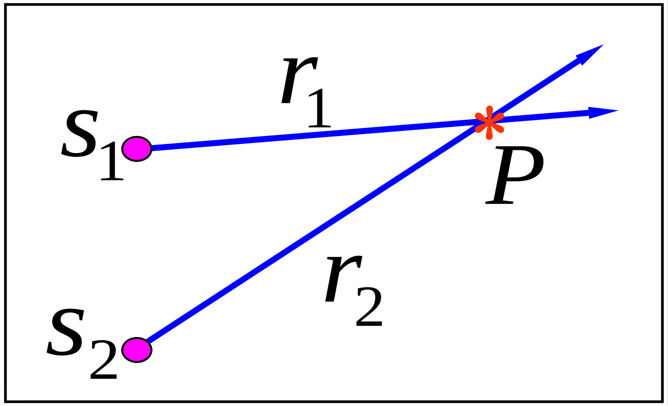
两列波若频率相同、振动方向相同、在相遇点的相位相同或相位差恒定，则在合成波场中会出现某些点的振动始终加强，另一些点的振动始终减弱(或完全抵消)，这种现象称为波的干涉。

满足上述条件的波源，称为相干波源，由相干波源发出的波，称为相干波。两列波产生干涉的条件称为相干条件。

波的相干条件是：频率相同、振动方向相同、在相遇点的位相相同或位相差恒定。

波的干涉演示动画

# 10.5. 波的叠加原理　波的干涉




设$S_1$和$S_2$为两相干波源，其发射的波在P点的振动方程分别为

$$\begin{cases} y_1 = A_1\cos(\omega t - \dfrac{2\pi r_1}{\lambda} + \varphi_{10}) \\ y_2 = A_2\cos(\omega t - \dfrac{2\pi r_2}{\lambda} + \varphi_{20}) \end{cases}$$

$P$点的合振动方程$y = y_1 + y_2 = A\cos(\omega t + \varphi_0)$

振幅 $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi$, $\Delta\varphi = (\varphi_{20} - \varphi_{10}) - 2\pi\dfrac{r_2 - r_1}{\lambda}$

$\varphi_0$的正切值 $\tan\varphi_0 = \dfrac{A_1\sin(\varphi_{10} - \frac{2\pi r_1}{\lambda}) + A_2\sin(\varphi_{20} - \frac{2\pi r_2}{\lambda})}{A_1\cos(\varphi_{10} - \frac{2\pi r_1}{\lambda}) + A_2\cos(\varphi_{20} - \frac{2\pi r_2}{\lambda})}$

# 10.5. 波的叠加原理　波的干涉

振幅 $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi, \Delta\varphi = (\varphi_{20} - \varphi_{10}) - 2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda}$

$\varphi_{20} - \varphi_{10}$是两个相干波源的初始相位差，$r_2 - r_1$是两个相干波源发出的两列波传到点$P$的几何路程之差，$2\pi\frac{r_2-r_1}{\lambda}$是因几何路径之差产生的相位差，对于空间任一给定点$P$它也是常量，即$\Delta\varphi$为一常量。

$$\begin{cases} \Delta\phi = \pm 2k\pi，\quad k = 0,1,2,\cdots \\ \quad A = A_1 + A_2，\text{振动始终加强，干涉相长} \\ \Delta\phi = \pm(2k+1)\pi，\quad k = 0,1,2,\cdots \\ \quad A = \left|A_1 - A_2\right|，\text{振动始终减弱，干涉相消} \\ \Delta\phi = \text{其它} \\ \quad \left|A_1 - A_2\right| < A < A_1 + A_2 \end{cases}$$