第十章 机械波

第十章 机械波

教学内容

10.1 机械波的形成和传播

10.2 平面简谐波的波函数

10.3 波的能量　*声强

10.4 惠更斯原理　波的衍射

10.5 波的叠加原理　波的干涉

10.6 驻波

演示实验

横波模型

纵波模型

涡电流

弦振动驻波

10.1.1 机械波产生的条件

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）

振动方向

传播方向（波线）

- **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。

振动方向

传播方向（波线）

- **特征：具有交替出现的密部和疏部.**

[横波与纵波演示视频]

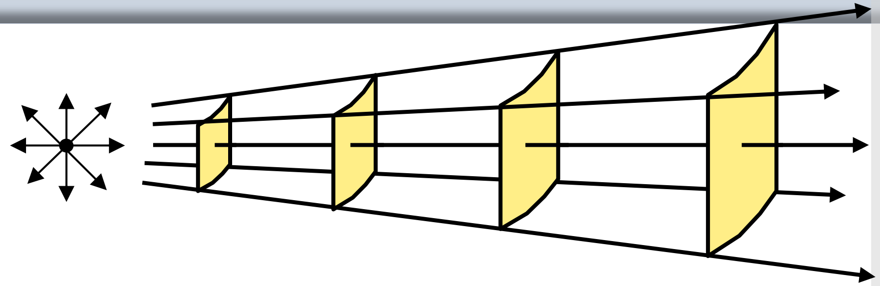
10.1.2　横波 纵波

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。这种运动的复杂性，是由于液面上液体质点受到重力和表面张力共同作用的结果。但任何复杂的波都可以分解为横波和纵波来研究。

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。

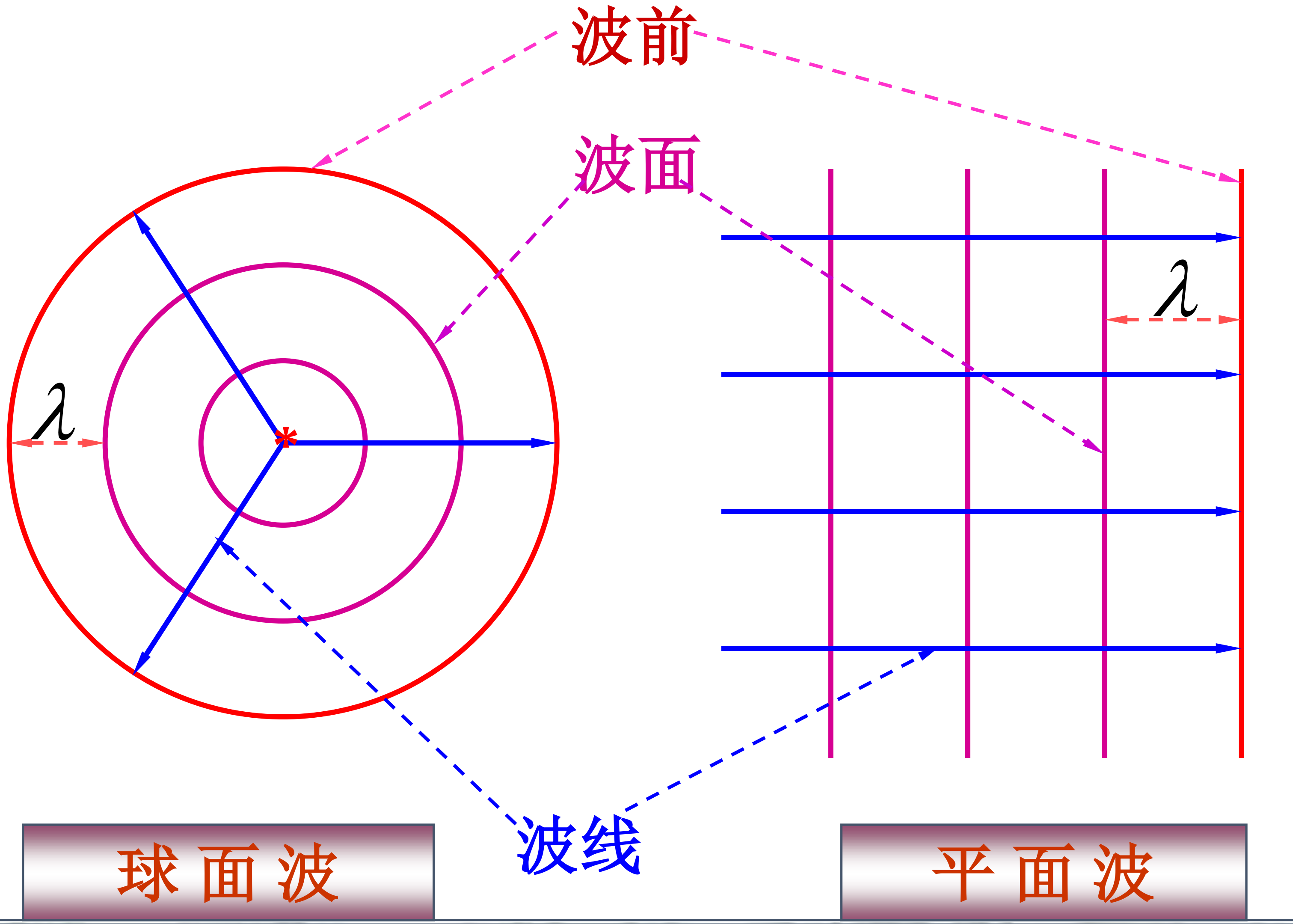
(*a*) 点波源

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



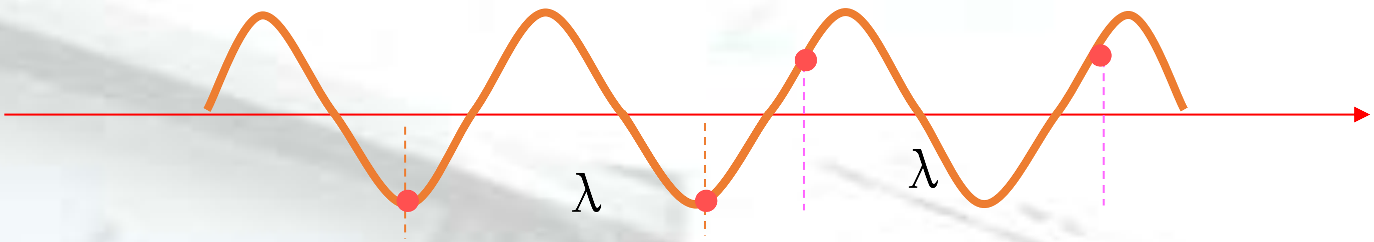
10.1.4　简谐波

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。以下我们所提到的介质都是这种理想化的介质。由于任何复杂的波都可以看成由若干个简谐波叠加而成，因此，研究简谐波具有特别重要的意义。

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2π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：是指一个完整波形通过波线上某点所需要的时间.

频率 ν：是指单位时间内通过波线上某点的完整波的数目.

$$\nu=\frac{1}{T}=\frac{\omega}{2\pi}$$

上一页　下一页　返回目录

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。

波长、波速、周期三者间关系：

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

10.2.1 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

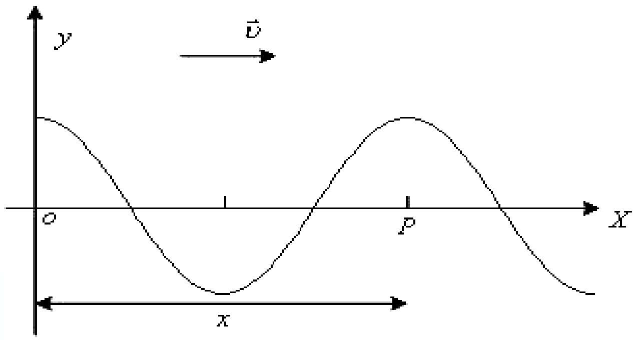
- 简谐波：在均匀的、无吸收的介质中，波源作简谐运动时，在介质中所形成的波.

- 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 $y_0 = A\cos(\omega t + \varphi_0)$



x点的振动比原点落后时间 x/u

时间推迟方法

点O 的振动状态 $y_0 = A\cos(\omega t + \varphi_0)$ $\xrightarrow{\Delta t = \frac{x}{u}}$ 点 P

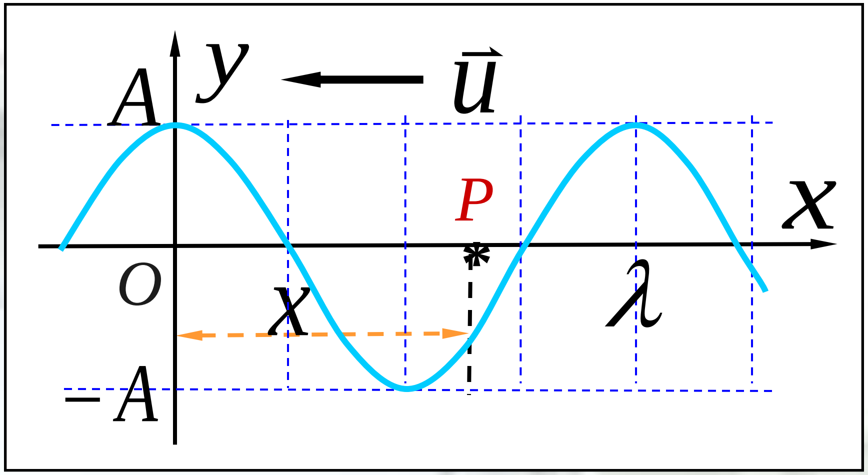
$t-x/u$时刻点O 的运动 = t 时刻点 P 的运动

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

上一页 下一页 返回目录

10.2.1 平面简谐波的波函数

➢上式即为沿x轴正方向传播的平面简谐波的波函数，或称波动表达式.



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

10.2.1 平面简谐波的波函数

波函数

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

$$y = A\cos[\omega(t+\frac{x}{u})+\varphi_0]$$ u 沿 x 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 υ 和振动加速度 a，即

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

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

10.4惠更斯原理　波的衍射

10.4.1　惠更斯原理

1 惠更斯原理

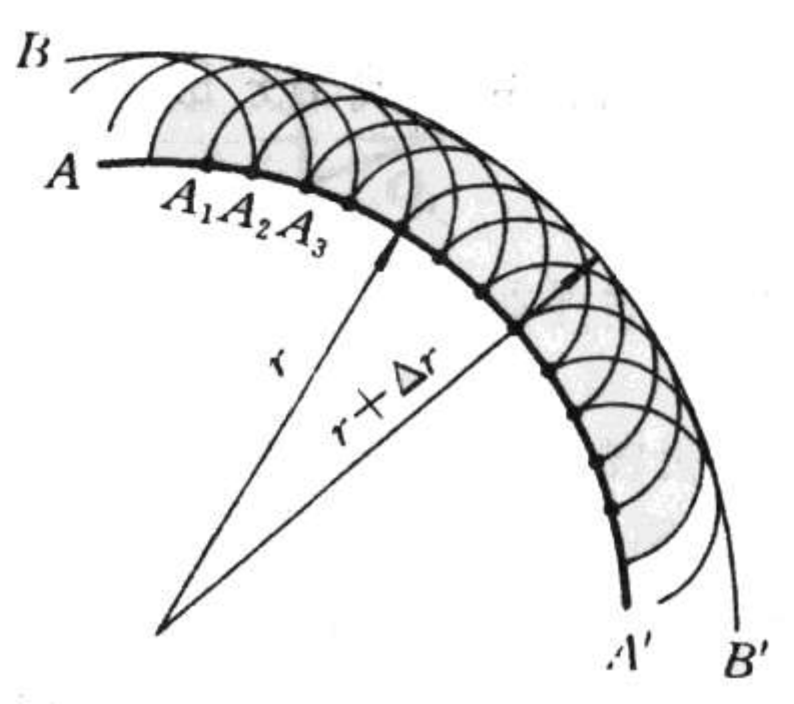
✓　介质中波阵面(波前)上的各点，都可以看做是发射子波的波源，其后任一时刻这些子波的包迹就是新的波阵面. 这就是惠更斯原理.

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，只要知道了某一时刻的波阵面，就可以根据这一原理，利用几何作图法来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。

上一页 下一页 返回目录

10.4.1 惠更斯原理

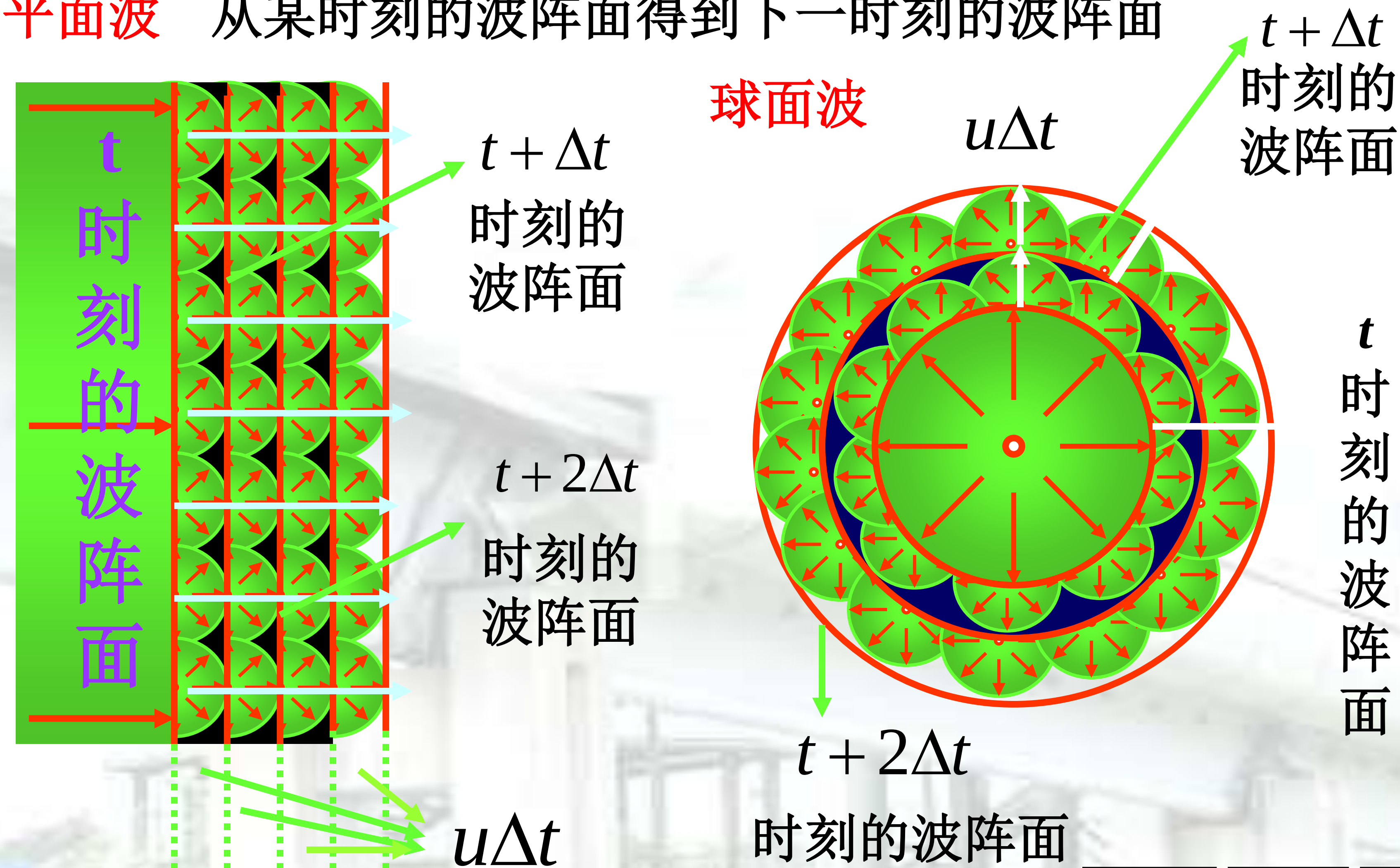
2 确定下一时刻的波阵面（波前）



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Δt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

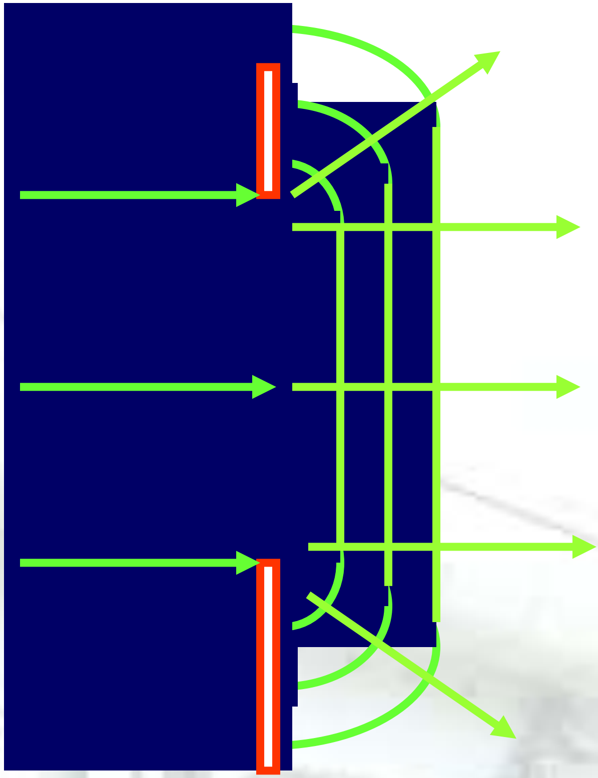


上一页　下一页　返回目录

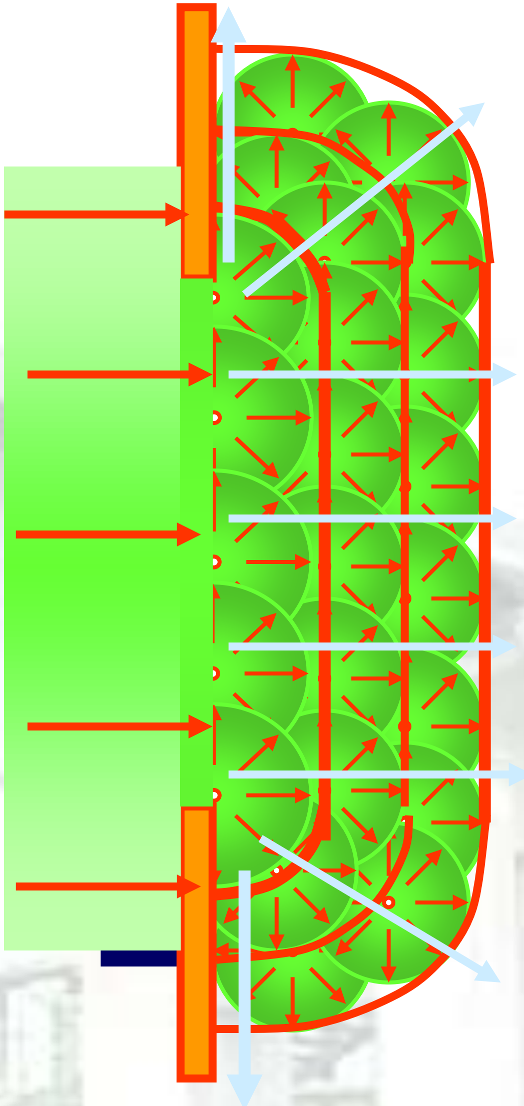
6.4.1　惠更斯原理

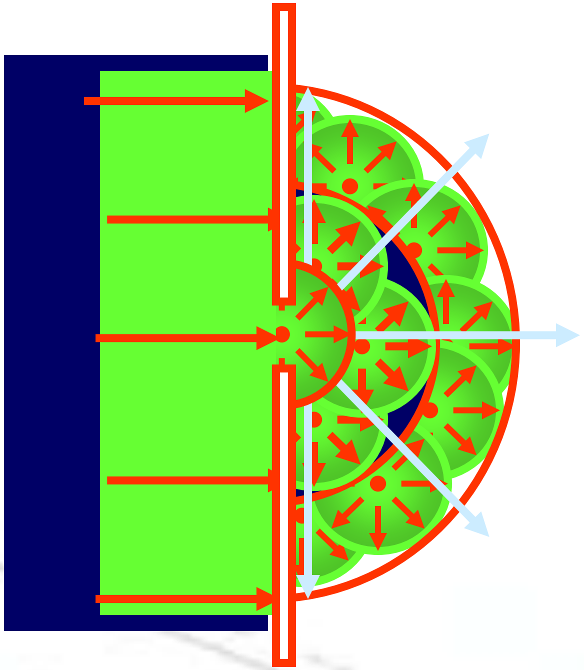
3 波的衍射　　衍射（绕射）--波动在传播过程中遇到障碍物时能绕过障碍物的边缘前进的现象

“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。

上一页 下一页 返回目录

10.5. 波的叠加原理　波的干涉

10.5.1　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，好象没有遇到过其他波一样。（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。

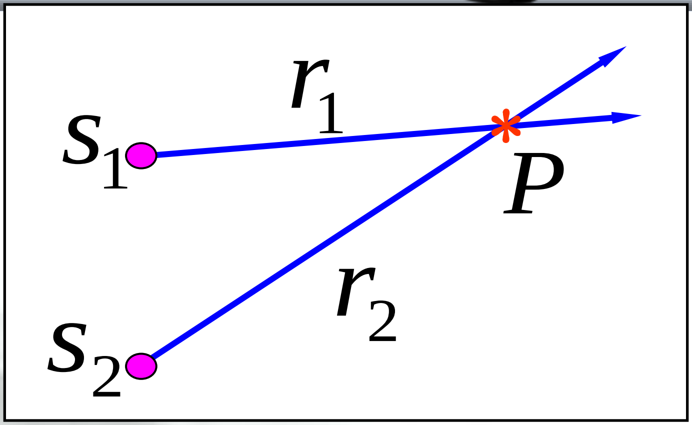
两列波相遇会发生什么？

10.5.2　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。显然波的相干条件是：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



✓ 波的相干条件

1）频率相同；

2）振动方向相同；

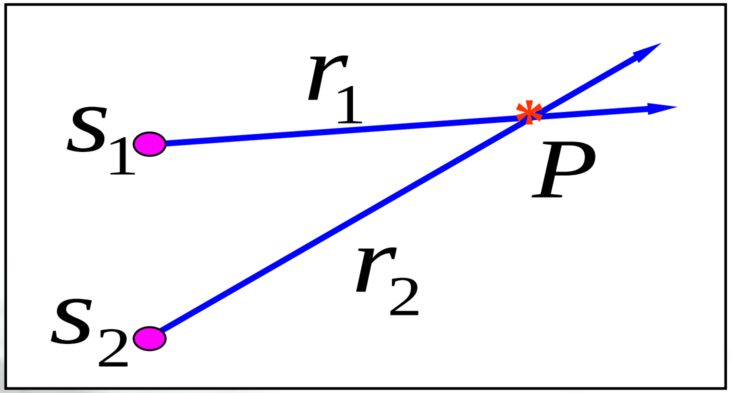
3）位相相同或位相差恒定.

设S_1和S_2为两相干波源，它们的简谐振动方程分别为

波源振动
$$\begin{cases} y_{10} = A_{10}\cos(\omega t + \varphi_{10}) \\ y_{20} = A_{20}\cos(\omega t + \varphi_{20}) \end{cases}$$

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

10.5. 波的叠加原理　波的干涉



P点的合振动方程

$$y = y_1 + y_2 = A\cos(\omega t + \varphi_0)$$

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

振幅　$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi$$

位相差　$$\Delta\varphi = (\varphi_{20} - \varphi_{10}) - 2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda}$$

上一页　下一页　返回目录

10.5. 波的叠加原理　波的干涉

振幅 $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\Delta\varphi$

位相差 $\Delta\varphi = (\varphi_{20} - \varphi_{10}) - 2\pi\dfrac{r_2 - r_1}{\lambda}$

$\varphi_{20} - \varphi_{10}$是两个相干波源的相位差，为一常量；$r_2 - r_1$是两个相干波源发出的两列波传到点*P*的几何路程之差，$2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda}$是两列波之间因波程差产生的相位差，对于空间任一给定点*P*它也是常量；对于叠加区域内任意确定点来说，$\Delta\varphi$为一常量。

1）　合振动呈现出振幅或强度分布不均匀、而又相对稳定.

2）

$\Delta\varphi = \pm 2k\pi \quad k = 0,1,2,\cdots$

$A = A_1 + A_2$　振动始终加强　干涉相长

$\Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi \quad k = 0,1,2,\cdots$

$A = |A_1 - A_2|$　振动始终减弱　干涉相消

$\Delta\varphi =$其他　$|A_1 - A_2| < A < A_1 + A_2$

10.5. 波的叠加原理　波的干涉

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

若 $\varphi_{10} = \varphi_{20}$ 则 $\Delta\varphi = -2\pi\dfrac{\delta}{\lambda}$　　波程差 $\delta = r_2 - r_1$

3）
$$\begin{cases} \delta = \pm k\lambda \quad k = 0,1,2,\cdots \\ A = A_1 + A_2 \quad \text{干涉加强}\quad\text{干涉相长} \\ \delta = \pm(k + 1/2)\lambda \quad k = 0,1,2,\cdots \\ A = |A_1 - A_2| \quad \text{干涉减弱}\quad\text{干涉相消} \\ \delta = \text{其他} \quad |A_1 - A_2| < A < A_1 + A_2 \end{cases}$$

结论

当两个相干波源同位相时，在两列波的叠加区域内，波程差 δ 等于零或半波长偶数倍的各点，振幅和强度最大；波程差 δ 等于半波长奇数倍的各点，振幅和强度最小.