大学物理

College Physics

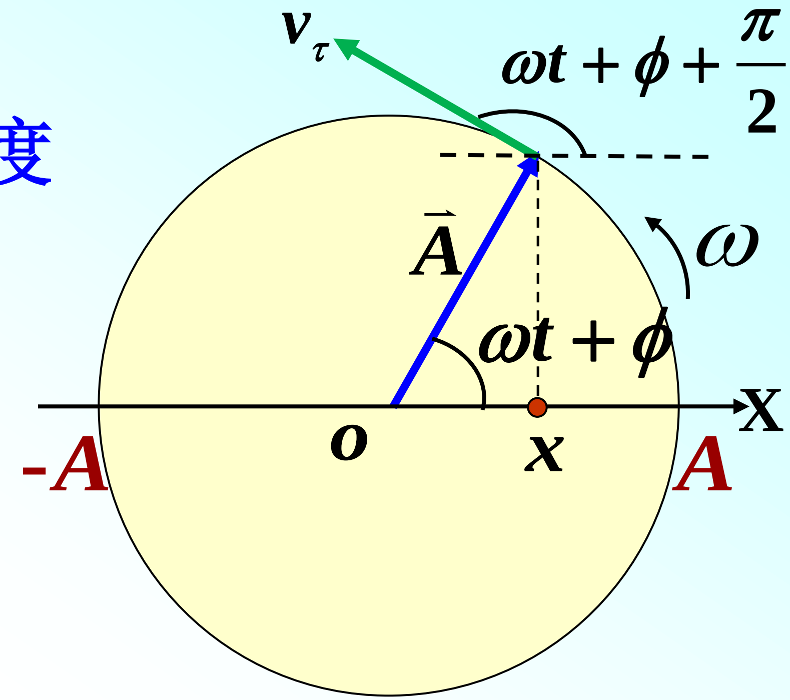
主讲
华 中 科 技 大 学
刘超飞

● 旋转矢量与谐振动的速度和加速度

v_τ 在X轴上的投影：

$$v_{\tau x} = A\omega \cdot \cos(\omega t + \phi + \frac{\pi}{2})$$

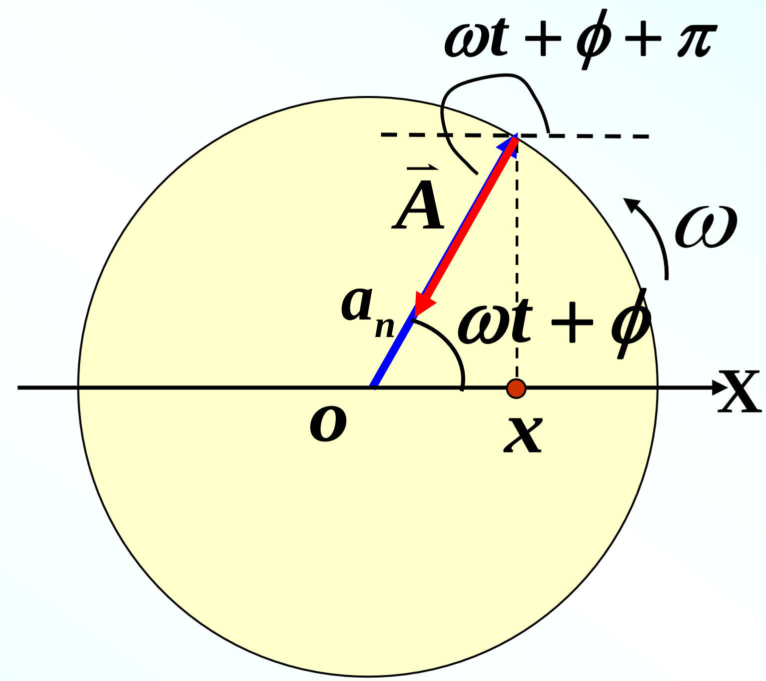
即：$v = -A\omega\sin(\omega t + \phi)$



a_n 在X轴上的投影：

$$a_{nx} = A\omega^2 \cos(\omega t + \phi + \pi)$$

即：$a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \phi)$

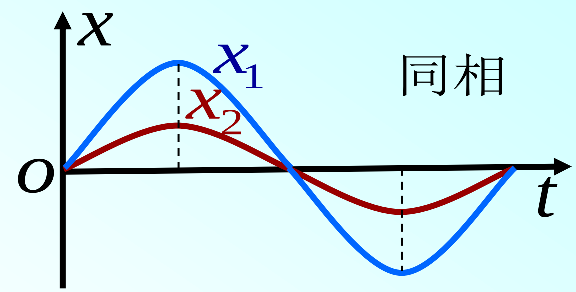


等于简谐振动的速度和加速度

●位相差

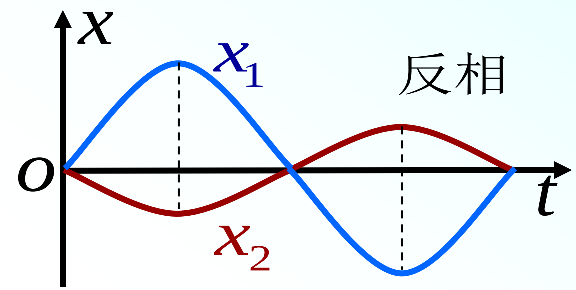
设两频率相等的谐振动：

$$\begin{cases} x_1 = A_1\cos(\omega t + \phi_1) \\ x_2 = A_2\cos(\omega t + \phi_2) \end{cases}$$



它们的位相差：$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \phi_2 - \phi_1 = \Delta\phi$

由$\Delta\phi$可以比较两振动的步调：



(1) $\Delta\phi = 2k\pi$ ——同相

(2) $\Delta\phi = (2k+1)\pi$ ——反相

(3) $\Delta\phi \neq k\pi$ 则两振动不同相，若$\Delta\phi > 0$，

则称x_2比x_1超前$\Delta\phi$的位相 (或x_1比x_2落后$\Delta\phi$的位相)

(4)不同物理量也可比较振动的步调

●谐振动系统的能量

1）E_K、E_p各自随时间作周期性变化

$$E_k = \frac{1}{2}kA^2\sin^2(\omega t+\phi) \qquad E_p = \frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega t+\phi)$$

谐振动的过程是动能与势能相互转换的过程。

2）$E_{总}$=常量 $\propto A^2$

3）动能与势能的时间平均值均为总机械能的一半:

$$\overline{E}_p = \overline{E}_k = \frac{1}{2}E_{总}$$

四、谐振动的合成

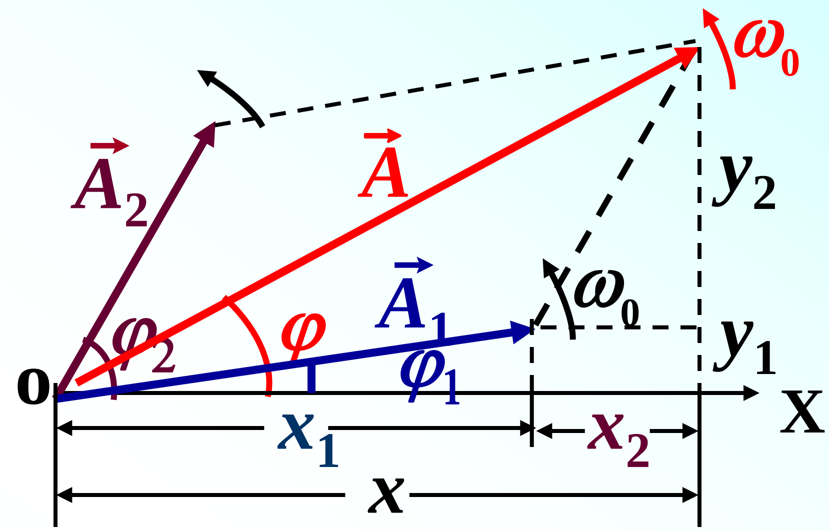
1.同振动方向、同频率的两个谐振动的合成

设两谐振动分别为：

$$x_1 = A_1\cos(\omega_0 t + \varphi_1)$$

$$x_2 = A_2\cos(\omega_0 t + \varphi_2)$$

合振动： $x = x_1 + x_2$



由矢量合成法，可得:

$$\boxed{x = A\cos(\omega_0 t + \varphi)}$$

结论： 合振动是谐振动，其频率仍为ω_0，其中

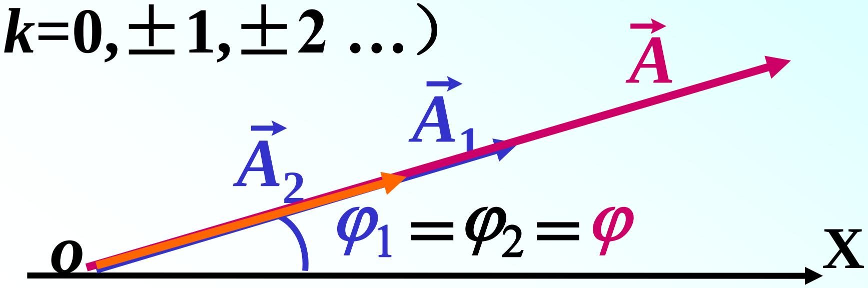
$$\begin{cases} A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)} \\ \mathrm{tg}\varphi = \dfrac{y_1 + y_2}{x_1 + x_2} = \dfrac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2} \end{cases}$$

$$\boxed{A^2=A_1^{\ 2}+A_2^{\ 2}+2A_1A_2\cos(\varphi_2-\varphi_1)}$$

$$\boxed{\mathrm{tg}\phi=\frac{A_1\sin\phi_1+A_2\sin\phi_2}{A_1\cos\phi_1+A_2\cos\phi_2}}$$

两个重要的特例：

（1）两分振动同相 $\varphi_2-\varphi_1=2k\pi$ （k=0,±1,±2 …）



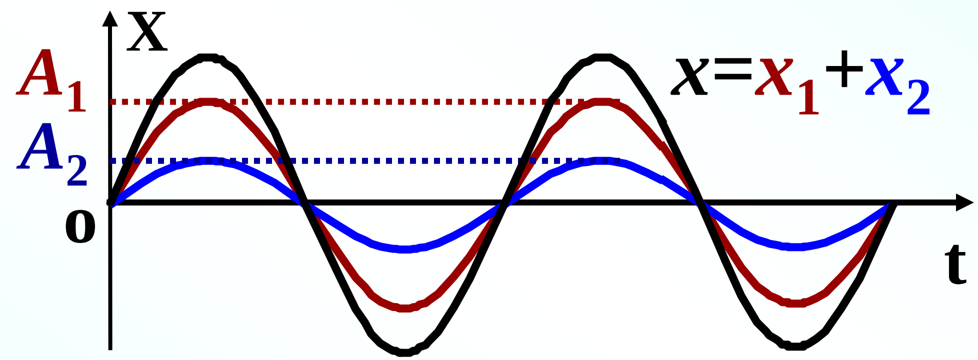
$\vec{A}_1$ $\vec{A}_2$ 重合，合振幅为：

$$A=A_1+A_2$$

合振动初位相：$\varphi=\varphi_1=\varphi_2$

合振动方程：

$$x=x_1+x_2$$
$$=(A_1+A_2)\cos(\omega t+\phi_1)$$



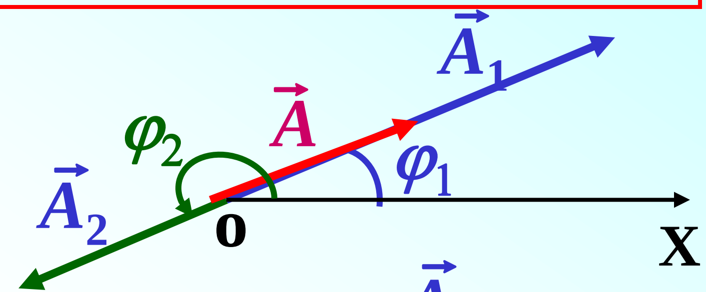
合振动的振幅最大。

两振动的合成效果： 使振动加强

$$\boxed{A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

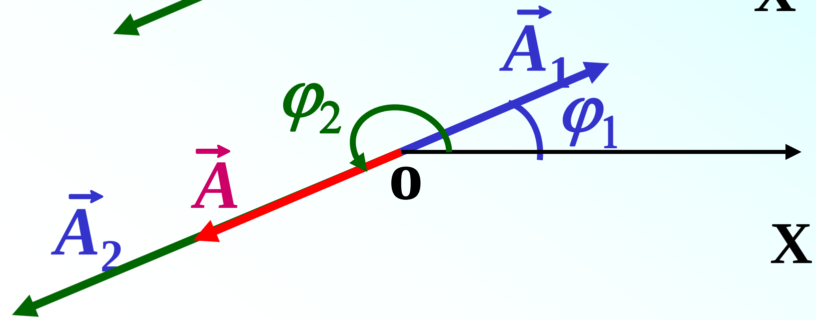
$$\boxed{\mathrm{tg}\phi = \frac{A_1\sin\phi_1 + A_2\sin\phi_2}{A_1\cos\phi_1 + A_2\cos\phi_2}}$$

（2）两分振动反相 $\varphi_2 - \varphi_1 = (2k+1)\pi$



$\vec{A}_1$与 $\vec{A}_2$方向相反，合振幅为：

$$A = |A_1 - A_2|$$



合振动初位相：

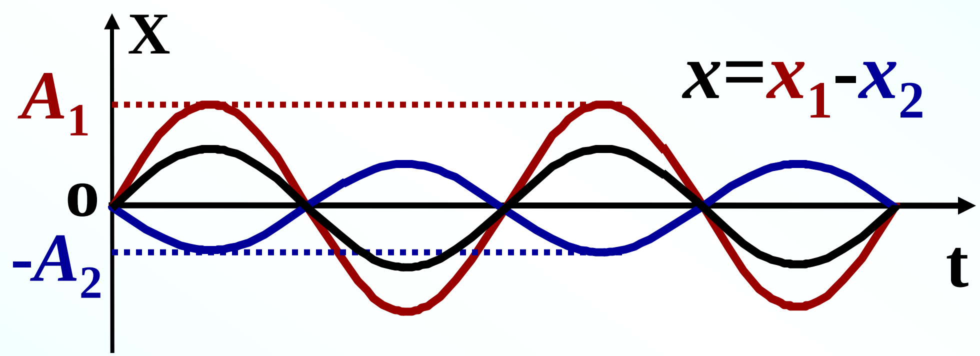
若$A_1 > A_2$　　$\varphi = \varphi_1$

若$A_1 < A_2$　　$\varphi = \varphi_2$

两振动合成的振幅最小。

两振动的合成效果：

使振动减弱



（3）两分振动的位相差：

$\varphi_2 - \varphi_1 \neq k\pi$

合成振动的振幅：　$|A_1 - A_2| < A < A_1 + A_2$

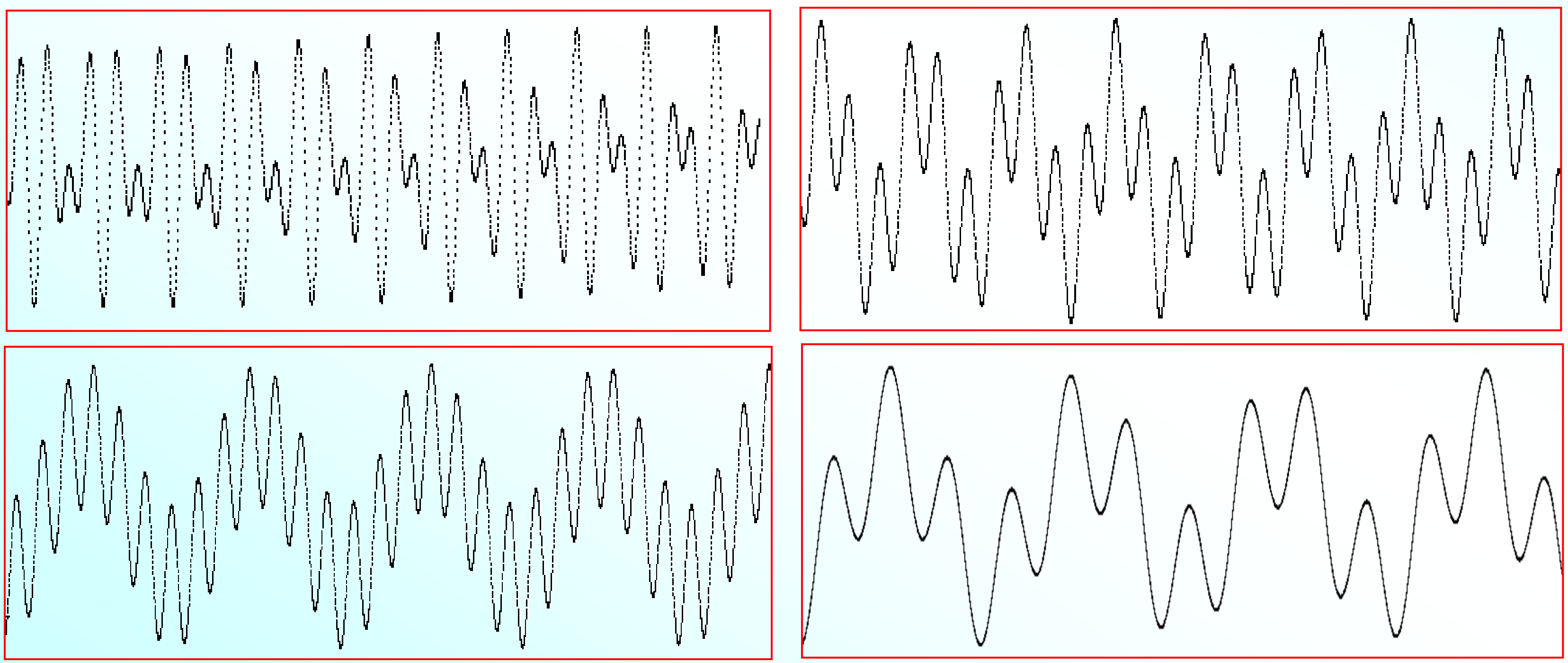
2. 同振动方向、不同频率的两个谐振动的合成

两振动：$x_1 = A_1\cos(\omega_1 t+\varphi)$　　　$x_2 = A_1\cos(\omega_2 t+\varphi)$

合振动：$x = x_1 + x_2 = \underline{2A_1\cos(\frac{\omega_2-\omega_1}{2}t)}\cos(\frac{\omega_2+\omega_1}{2}t+\varphi)$

振幅按余弦函数变化，变化范围：$0\le A\le 2A_1$

因此，合振动显然不是谐振动。**振动曲线取决于频率差。**

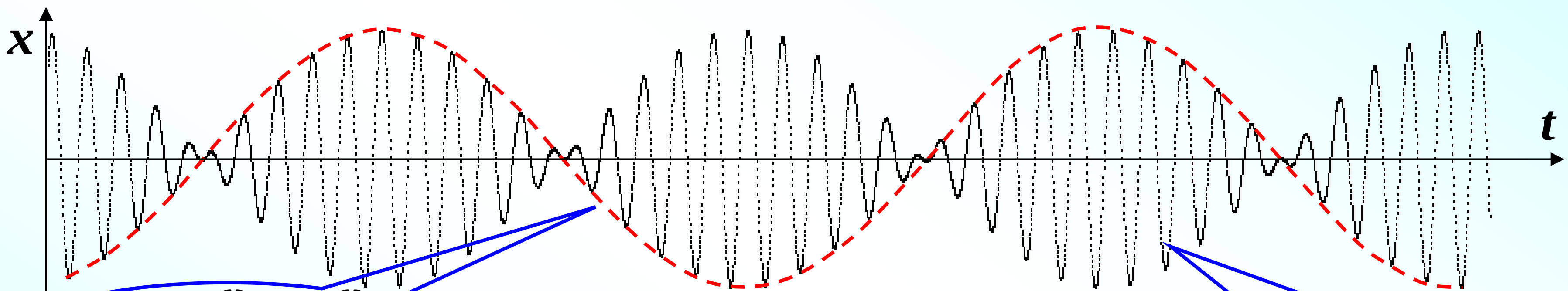


若频率差很小?

若频率差很小：振幅将出现明显的加强和减弱现象 ——拍

$$\boxed{x = 2A_1\cos\left(\frac{\omega_2-\omega_1}{2}t\right)\cos\left(\frac{\omega_2+\omega_1}{2}t+\phi\right)}$$

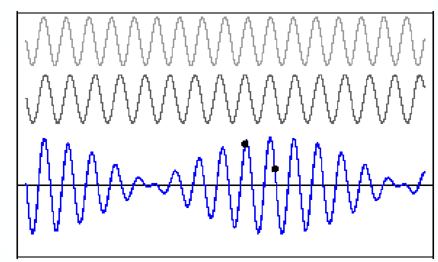
可见 $\dfrac{\omega_2-\omega_1}{2}t$ 改变 π 时，A就重复出现一次变化



$2A_1\cos\left(\dfrac{\omega_2-\omega_1}{2}t\right)$ 拍频

质点振动频率 $\cos\left(\dfrac{\omega_2+\omega_1}{2}t+\phi\right)$

拍的周期τ： $\dfrac{\omega_2-\omega_1}{2}\tau=\pi \quad \Rightarrow \tau=\dfrac{2\pi}{\omega_2-\omega_1}$



拍的频率ν： $\nu=\dfrac{1}{\tau}=\dfrac{\omega_2-\omega_1}{2\pi}=\nu_2-\nu_1$

拍频与合振动位移变化的频率是完全不同的。

拍现象只在两分振动的频率相差不大时才明显。

3. 振动方向相互垂直、频率相等的两个谐振动的合成

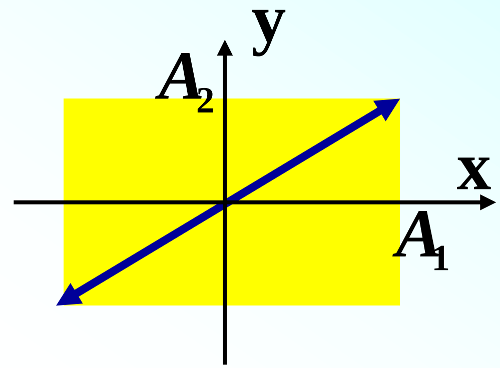
两振动：$x = A_1\cos(\omega t+\varphi_1)$ $\qquad y = A_2\cos(\omega t+\varphi_2)$

消去t：$\Rightarrow \boxed{\dfrac{x^2}{A_1{}^2}+\dfrac{y^2}{A_2{}^2}-\dfrac{2xy}{A_1A_2}\cos(\varphi_2-\varphi_1)=\sin^2(\varphi_2-\varphi_1)}$

讨论几种特殊情况：

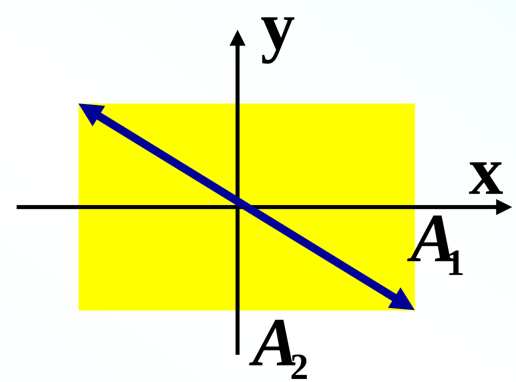
1）$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1=0$ $\quad \Rightarrow \left(\dfrac{x}{A_1}-\dfrac{y}{A_2}\right)^2=0$

$\Rightarrow y=\dfrac{A_2}{A_1}x$ 斜率：$\mathrm{tg}\theta=\dfrac{A_2}{A_1}$ $\qquad \varphi_2=\varphi_1=\varphi$



2）$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1=\pi$ $\quad \Rightarrow \left(\dfrac{x}{A_1}+\dfrac{y}{A_2}\right)^2=0$

$\Rightarrow y=-\dfrac{A_2}{A_1}x$ 斜率：$\mathrm{tg}\theta=-\dfrac{A_2}{A_1}$



频率、振幅同上，质点沿$y=-\dfrac{A_2}{A_1}x$直线做谐振动

$$\left.\begin{array}{l} x=A_1\cos(\omega t+\varphi_1) \\ y=A_2\cos(\omega t+\varphi_2) \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{x^2}{A_1^2}+\frac{y^2}{A_2^2}-\frac{2xy}{A_1A_2}\cos(\varphi_2-\varphi_1)=\sin^2(\varphi_2-\varphi_1)$$

3） $\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1=\dfrac{\pi}{2} \quad \Rightarrow \dfrac{x^2}{A_1^2}+\dfrac{y^2}{A_2^2}=1$

轨迹为一正椭圆。长短轴分别为$2A_1$、$2A_2$

（若$A_1=A_2$，就是一个圆）

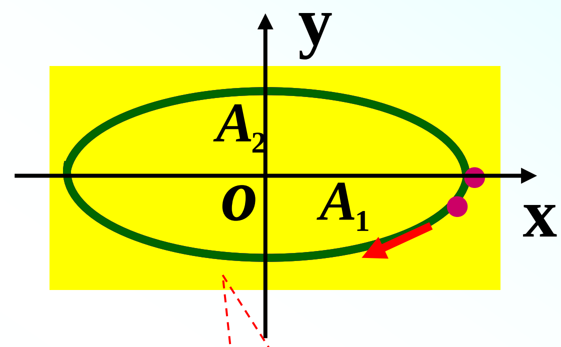
问题：振动方向？ 设$\varphi_2=\varphi_1+\dfrac{\pi}{2}$

$$\Rightarrow \begin{cases} x=A_1\cos(\omega t+\varphi_1) \\ y=A_2\cos(\omega t+\varphi_1+\dfrac{\pi}{2}) \end{cases}$$

$$=-A_2\sin(\omega t+\varphi_1)$$

当 $\omega t+\varphi_1=0$ 时：$x=A_1$，$y=0$

而$\omega(t+\Delta t)+\varphi_1$时： $y<0$



右旋椭圆

振动为顺时针方向

$$\left.\begin{aligned} x &= A_1\cos(\omega t+\varphi_1) \\ y &= A_2\cos(\omega t+\varphi_2) \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{x^2}{A_1^{\,2}}+\frac{y^2}{A_2^{\,2}}-\frac{2xy}{A_1A_2}\cos(\varphi_2-\varphi_1)=\sin^2(\varphi_2-\varphi_1)$$

4） $\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1=\dfrac{3\pi}{2} \quad \Rightarrow \dfrac{x^2}{A_1^{\,2}}+\dfrac{y^2}{A_2^{\,2}}=1$

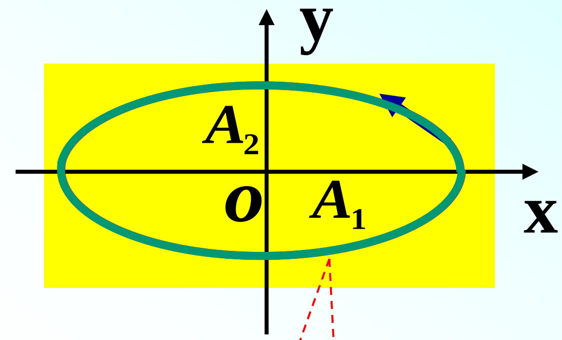
设$\varphi_2=\varphi_1+\dfrac{3\pi}{2}$

$$\Rightarrow \begin{cases} x = A_1\cos(\omega t+\varphi_1) \\ y = A_2\cos(\omega t+\varphi_1+\dfrac{3\pi}{2}) \end{cases}$$

$$= A_2\sin(\omega t+\varphi_1)$$

当 $\omega t+\varphi_1=0$ 时：$x = A_1, y = 0$

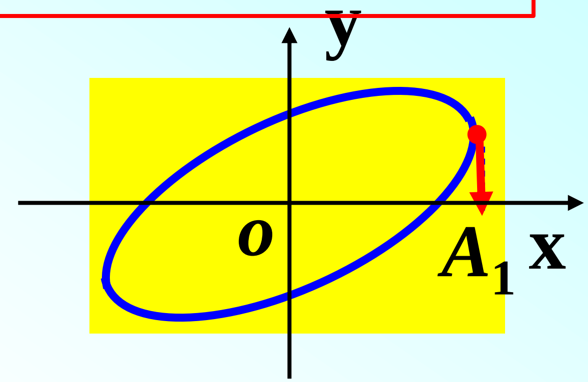
$\omega(t+\Delta t)+\varphi_1$ 时： $y > 0$



左旋椭圆

$$\boxed{\left.\begin{aligned} x &= A_1\cos(\omega t+\varphi_1) \\ y &= A_2\cos(\omega t+\varphi_2) \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{x^2}{A_1^2}+\frac{y^2}{A_2^2}-\frac{2xy}{A_1A_2}\cos(\varphi_2-\varphi_1)=\sin^2(\varphi_2-\varphi_1)}$$

5） $\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1=\varphi$ 　φ为其它任意值，



轨迹是任意一个斜椭圆　　左旋?右旋?

为便于讨论：令$\varphi_1=0$，即

$$\begin{cases} x = A_1\cos(\omega t) \\ y = A_2\cos(\omega t+\varphi) \end{cases}$$

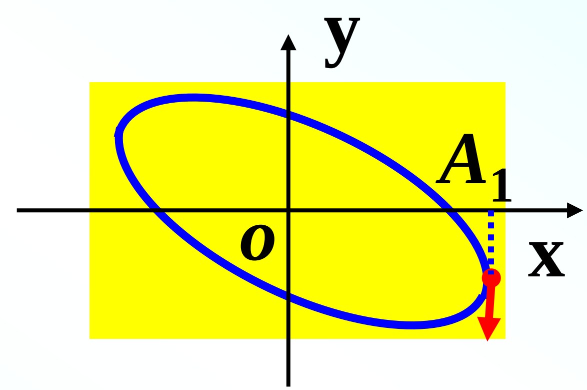
t=0 时：$x=A_1$，$y=A_2\cos\varphi$

当 $0<\varphi<\pi$，

$$v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=-\omega A_1\sin\omega t\,\Big|_{t=0} \ =0$$

$$v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}=-\omega A_2\sin(\omega t+\varphi)\Big|_{t=0}$$

$$=-\omega A_2\sin\varphi<0$$



右旋椭圆

$$\left.\begin{aligned} x &= A_1\cos(\omega t+\varphi_1) \\ y &= A_2\cos(\omega t+\varphi_2) \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{x^2}{A_1^{\,2}}+\frac{y^2}{A_2^{\,2}}-\frac{2xy}{A_1A_2}\cos(\varphi_2-\varphi_1)=\sin^2(\varphi_2-\varphi_1)$$

5） $\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1=\varphi$　　φ为其它任意值，

轨迹是任意一个斜椭圆　　左旋?右旋?

为便于讨论：令$\varphi_1=0$，即

$$\begin{cases} x = A_1\cos(\omega t) \\ y = A_2\cos(\omega t+\varphi) \end{cases}$$

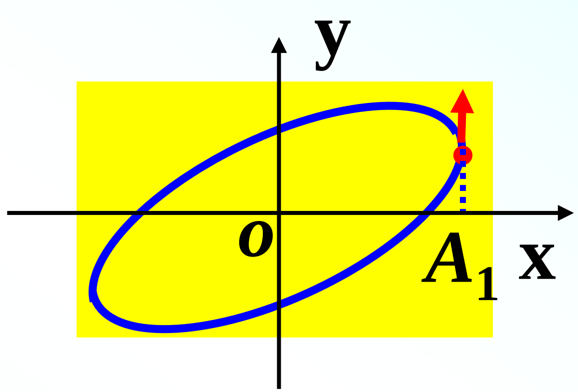
t=0 时：$x=A_1$，$y=A_2\cos\varphi$

当 $\pi<\varphi<2\pi$，或 $-\pi<\varphi<0$

$$v_x=\frac{dx}{dt}=-\omega A_1\sin\omega t\,\Big|_{t=0}=0$$

$$v_y=\frac{dy}{dt}=-\omega A_2\sin(\omega t+\varphi)\Big|_{t=0}$$

$$=-\omega A_2\sin\varphi>0$$



左旋椭圆

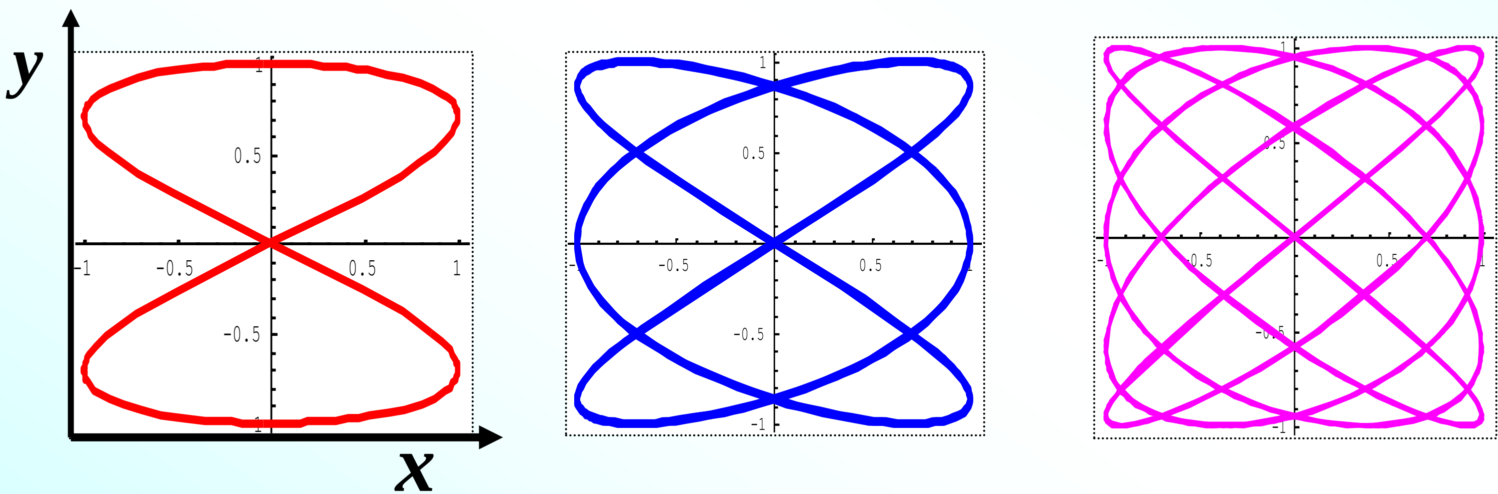
4、不同频率垂直方向谐振动的合成

设两振动为： $x = A_1\cos(\omega_1 t + \varphi_1)$ $y = A_2\cos(\omega_2 t + \varphi_2)$

合振动轨迹曲线一般很复杂，且不稳定。

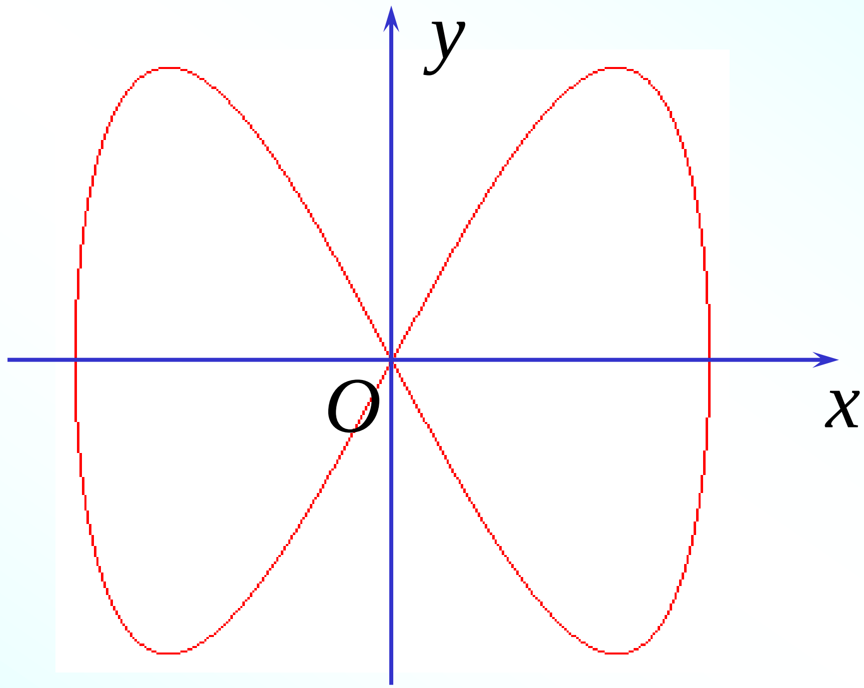
两振动的频率成**整数比**时，合成轨迹稳定，

称为**李萨如图形**。如：



由切点数之比 $\dfrac{N_y}{N_x} = \dfrac{T_y}{T_x} = \dfrac{\nu_x}{\nu_y}$ 可用于测频率。

$\omega_x : \omega_y = 1:2$ **时，对应不同初相位差的李萨如图形**

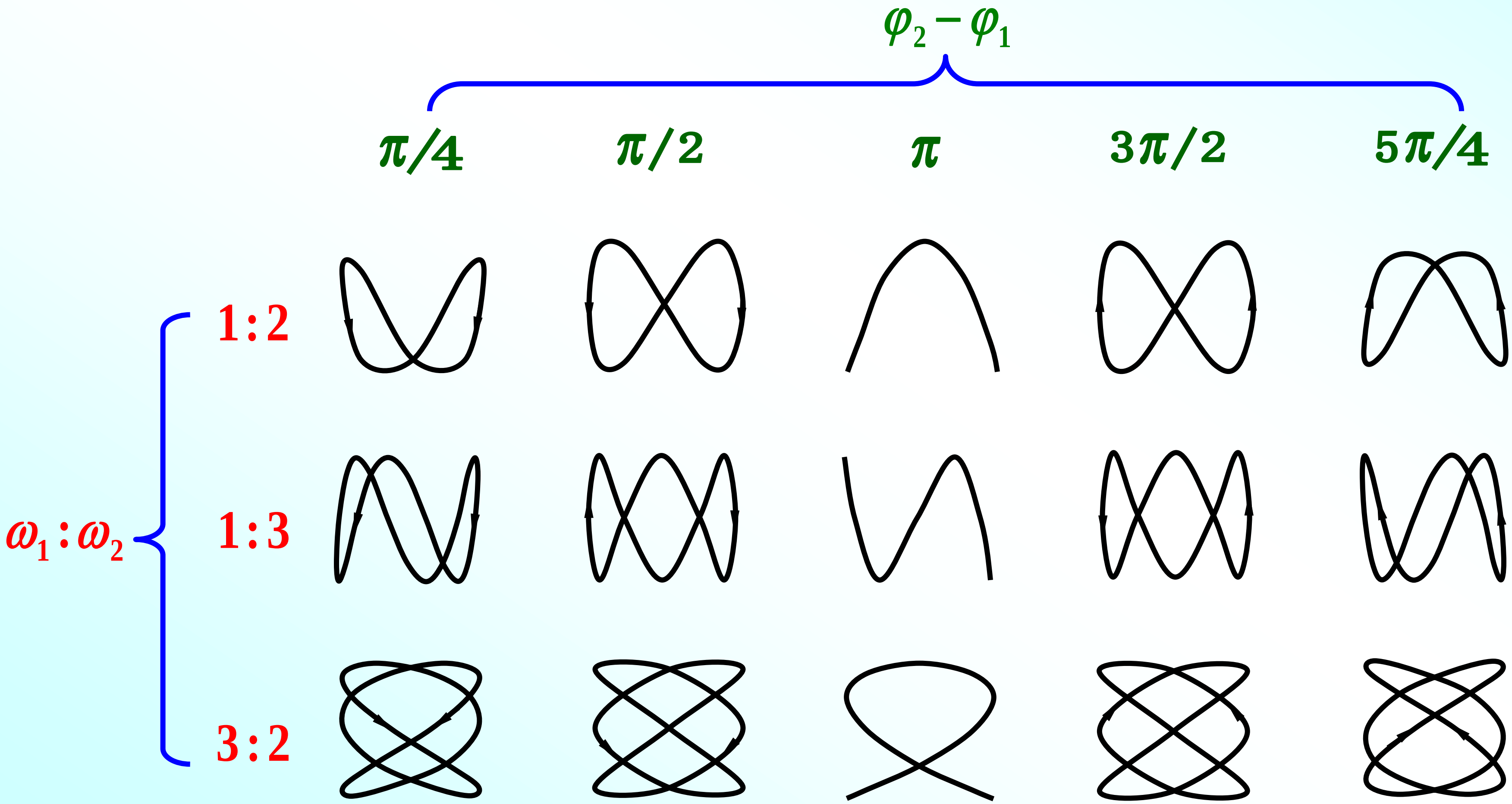


相邻的李萨如图形初相位差为12°

李萨如图形示例

$$x = A_1\cos(\omega_1 t + \varphi_1)$$

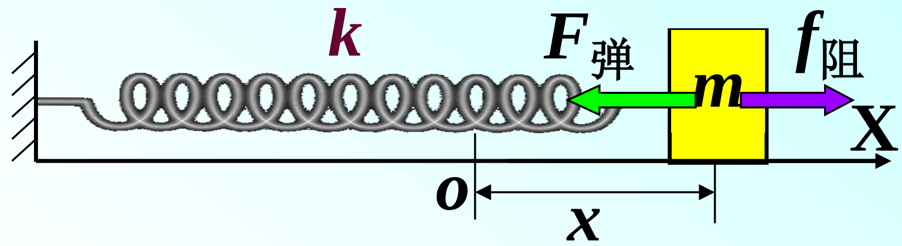
$$y = A_2\cos(\omega_2 t + \varphi_2)$$



五、振动的一般情形

1.谐振子的阻尼振动

1）动力学方程



$$\begin{cases} F = F_{弹} + f_{阻} \\ F_{弹} = -kx \\ f_{阻} = -\gamma v = -\gamma \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} \\ \text{牛顿定律：} F = m\dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} \end{cases}$$

对比无阻尼谐振动

$$\boxed{\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}+\omega_0^2 x=0}$$

$$\Rightarrow m\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = -kx - \gamma\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$$

令：$\omega_0^2 = \dfrac{k}{m}$，$2\beta = \dfrac{\gamma}{m}$

$$\Rightarrow \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} + 2\beta\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} + \omega_0^2 x = 0$$ ——动力学方程

阻尼项

$\boxed{\beta\text{——阻尼系数}}$

$$\boxed{\frac{d^2x}{dt^2}+2\beta\frac{dx}{dt}+\omega_0^2x=0}$$

2）运动学特征

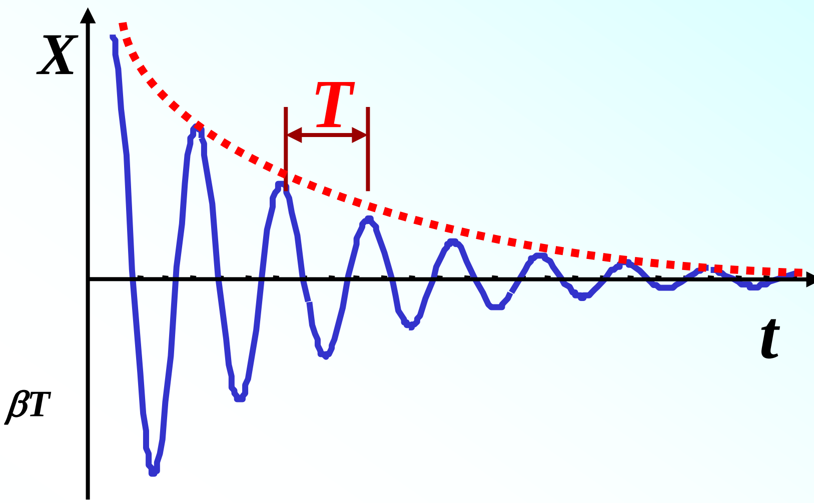
一般 β 不同振动状态就不同

（1）阻尼较小时（$\beta<\omega_0$）称为弱阻尼。

方程的解：$x(t)=A_0e^{-\beta\cdot t}\cos(\omega t+\phi_0)$

其中：振幅 $A=A_0e^{-\beta t}$

频率 $\omega=\sqrt{\omega_0^2-\beta^2}$



振动特点：

1. 振幅随时间按指数衰减

间隔一个周期的振幅比：$\dfrac{A_0e^{-\beta t}}{A_0e^{-\beta(t+T)}}=e^{\beta T}$

2. 是准周期运动　位相改变2π所经历的时间 ~ 周期

出现两次极大的时间间隔：$T=\dfrac{2\pi}{\omega}=\dfrac{2\pi}{\sqrt{\omega_0-\beta^2}}>T_0=\dfrac{2\pi}{\omega_0}$

相比于无阻尼运动，周期变长，振动变慢。

3. 能量E随振幅A的减小而衰减（$E\propto A^2$）

2）运动学特征

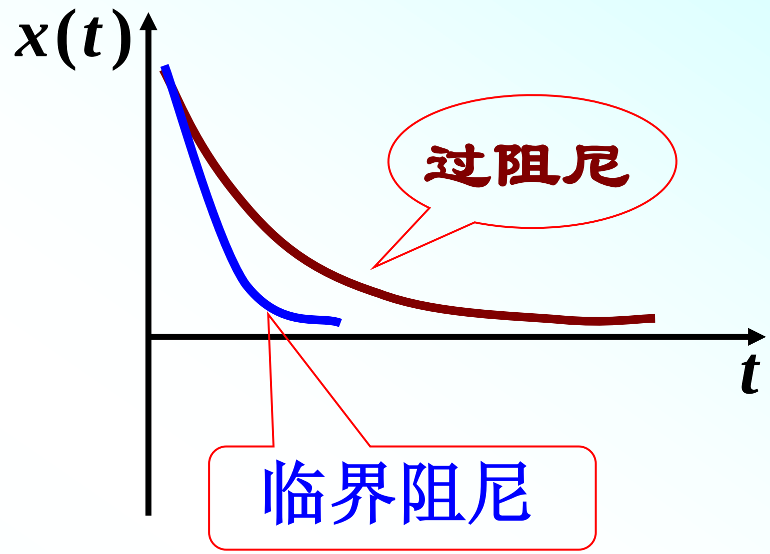
$$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}+2\beta\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}+\omega_0^2x=0$$

一般 β 不同振动状态就不同

（2）阻尼较大时（$\beta>\omega_0$），称为过阻尼。

方程的解：$x(t)=C_1e^{-(\beta-\sqrt{\beta^2-\omega_0^2})t}+C_2e^{-(\beta+\sqrt{\beta^2-\omega_0^2})t}$

其中的积分常数 C_1、C_2 由初始条件决定。



振动特点:非周期运动，无振动发生。

物体从初始位置开始一直是向着平衡位置运动，到达平衡位置后停止。

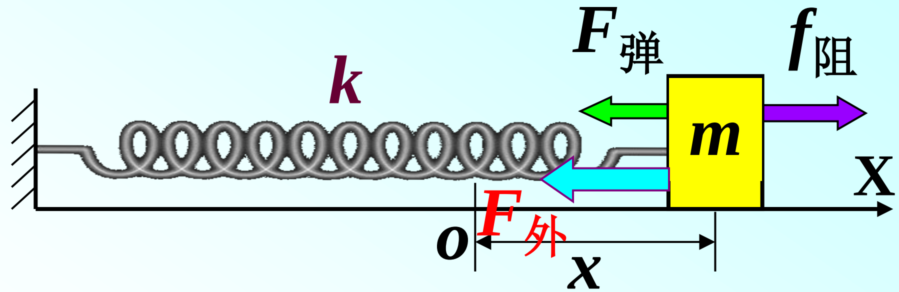
（3）$\beta=\omega_0$，称为临界阻尼。

方程的解：$x(t)=(C_1+C_2t)e^{-\beta t}$　　C_1、C_2 由初始条件决定。

振动特点同上，但比过阻尼更快回到平衡位置。

2. 谐振子的受迫振动（共振）

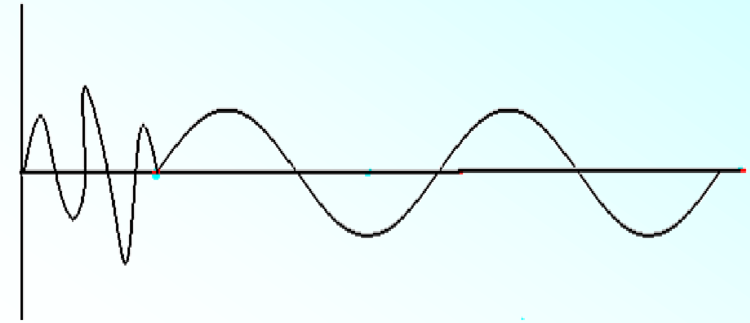
1)谐振子的受迫振动方程



设强迫力 $F_{外}=F_0\cos(\omega_{外}t)$

$$m\frac{d^2x}{dt^2}=F_{弹}+f_{阻}+F_{外}$$

$$\omega_0^2=\frac{k}{m}\quad 2\beta=\frac{\gamma}{m}\quad f_0=\frac{F_0}{m}$$



$$\Rightarrow\frac{d^2x}{dt^2}+2\beta\frac{dx}{dt}+\omega_0^2x=f_0\cos(\omega_{外}t)$$ ——动力学方程

$$\Rightarrow x(t)=\underbrace{A_0e^{-\beta\cdot t}\cos(\omega_0t+\phi_0)}_{反映系统的暂态行为}+\underbrace{A_p\cos(\omega_{外}t+\alpha)}_{系统的稳定振动状态}$$

经过足够长的时间，第一项变为0，振动变为稳态：

$$\Rightarrow x(t)=A_p\cos(\omega_{外}t+\alpha)$$

$$\boxed{\frac{d^2x}{dt^2}+2\beta\frac{dx}{dt}+\omega_0^2x=f_0\cos(\omega_{外}t)} \xrightarrow{\text{稳态解}} \boxed{x(t)=A_p\cos(\omega_{外}t+\alpha)}$$

即：稳态时的受迫振动由**周期性**强迫力决定。

稳态频率：　$\omega=\omega_{外}$

将稳态解代入方程可得：

$$\begin{cases} 振幅：A_p=\dfrac{f_0}{m\sqrt{(\omega_0^2-\omega_{外}^2)^2+4\beta^2\omega_{外}^2}} \\ 位相：\ \mathrm{tg}\alpha=-\dfrac{2\beta\omega_{外}}{\omega_0^2-\omega_{外}^2} \end{cases}$$

2) 稳定受迫振动与谐振动的区别

1. 受力不同：弹簧振子— $F_{弹}$，受迫振动—$F_{外}$

2. 三特征量的本质不同：

弹簧振子 $\begin{cases}\omega_0 & \text{—系统固有} \\ A \\ \varphi \end{cases}$ $\left.\begin{matrix} A \\ \varphi \end{matrix}\right\}$ **由初始条件决定**

受迫振动 $\begin{cases}\omega_{外} & \text{—由外力决定} \\ A \\ \alpha \end{cases}$ $\left.\begin{matrix} A \\ \alpha \end{matrix}\right\}$ **与初始条件无关**

3. 能量情况不同：谐振动系统**能量守恒**

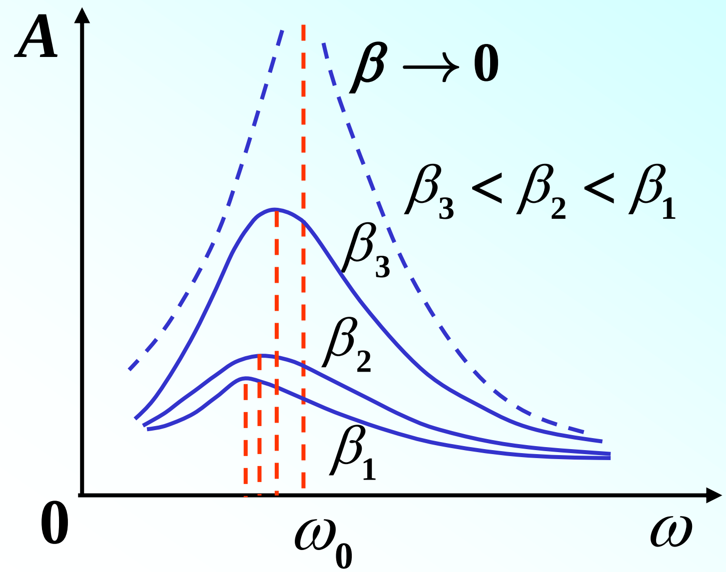
受迫振动系统阻力消耗能量 = 外力的功

3. 共振 —— 位移共振

在一定条件下，振幅出现 极大值，振动剧烈的现象。

受迫振动振幅为： $A=\dfrac{f_0}{m\sqrt{(\omega_0^2-\omega_{外}^2)^2+4\beta^2\omega_{外}^2}}$

振幅取极大值： $\dfrac{\mathrm{d}A}{\mathrm{d}\omega_{外}}=0$



$\Rightarrow \omega_{外r}=\sqrt{\omega_0^2-2\beta^2}$ ——共振频率

$\Rightarrow A_{Max}=\dfrac{f_0}{2\beta\sqrt{\omega_0^2-\beta^2}}$ ——共振振幅A_r

一般 $\omega_r<\omega_0$，是β的函数

β大， 则ω_r小　 A_{max}—小

β小， 则ω_r大　 A_{max}—大

若 $\beta\ll\omega_0$ $\Rightarrow$ $\begin{cases}\omega_{外r}=\omega_0\\ A=\dfrac{f_0}{2\beta\omega_0}\end{cases}$

尖锐共振

若$\beta\to 0$ $\Rightarrow A_{Max}\to\infty$

波动

波动：振动的传播，是物质运动的一种形态。

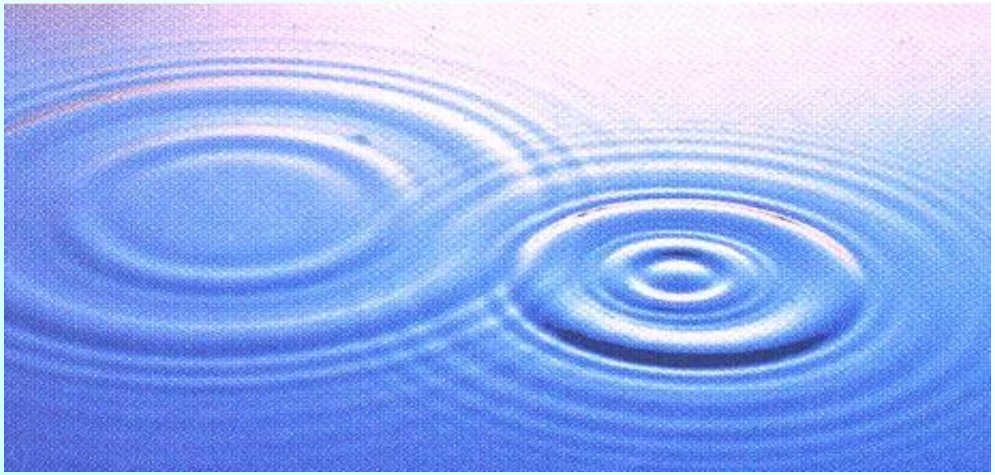
波动与振动是两个不同的概念，但是又紧密相连。

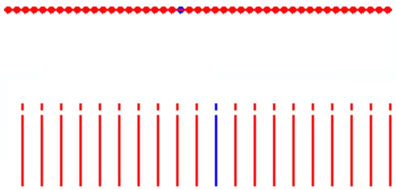
振动是波动的基础，波动是振动的传播。

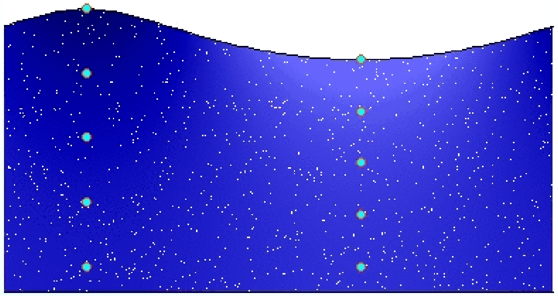
波的分类

按振动方向与传播方向分类

- 横波：振动方向与传播方向垂直 如:电磁波
- 纵波：振动方向与传播方向相同 如:声波
- 混合波: 如 水面波、地震波







波动

波动：振动的传播，是物质运动的一种形态。

波的分类

按性质分类
- 机械波：机械振动在弹性媒质中的传播过程
- 电磁波：电磁场周期性变化在空间的传播
- 引力波：时空形变，以c的速度在空间传播

本质不同，但具有共同特征：

1. 都是由物质间的相互影响引起的
2. 以有限的速度传播，伴随着能量的传递。
3. 都有干涉、衍射现象，横波有偏振。
4. 服从共同的数学规律。

机械波

一、机械波产生的条件

1）波源——产生振动的机构

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。

注意：

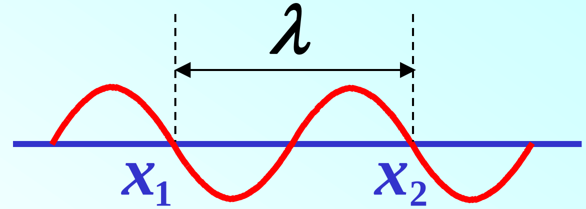
1) 波的传播过程是振动状态的传播过程。

（质点本身不随波运动）

传播的是位相，是能量。

2) 波是指媒质整体表现的运动状态, 其特点是：相邻质点的振动位相依次落后。

二、描述波的几个基本概念



1、波长 λ： 空间周期

在波的传播方向上，两相邻的 位相差为 2π 的质点间的距离 。

2、周期 T： 时间周期

波向前传播一个波长所用的时间。

3、波速 u：

振动状态(位相)在媒质中的传播速度。

波速的大小决定于媒质的性质.

——媒质的密度和弹性模量等

三者之间的关系：$\boxed{u=\dfrac{\lambda}{T}}$

4、频率 ν：

单位时间内，波推进的距离中包含的完整的波长的数目。

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

注意：

1）波动与质点振动 $\begin{cases} \text{周期相等，即 } T_{\text{波}} = T_{\text{振}} \\ \text{频率相等，即 } \nu_{\text{波}} = \nu_{\text{振}} \end{cases}$

$$T_{\text{波}} = \frac{\lambda}{u} \qquad T_{\text{振}} = \frac{2\pi}{\omega}$$

2）波速与质点振动的速度是不同的概念

$$\boxed{u_{\text{波}} \neq v_{\text{振}}}$$

5、**波数 k**：

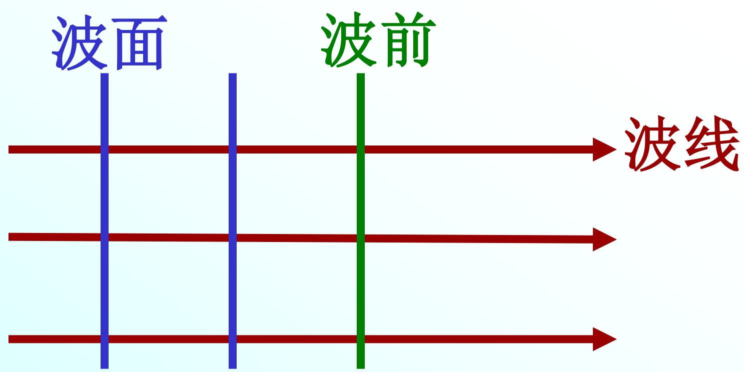
单位长度内包含的波长的个数 $k=\dfrac{1}{\lambda}$

角波数：在波的传播方向上 2π 长度内包含的波长的个数 $k=\dfrac{2\pi}{\lambda}$

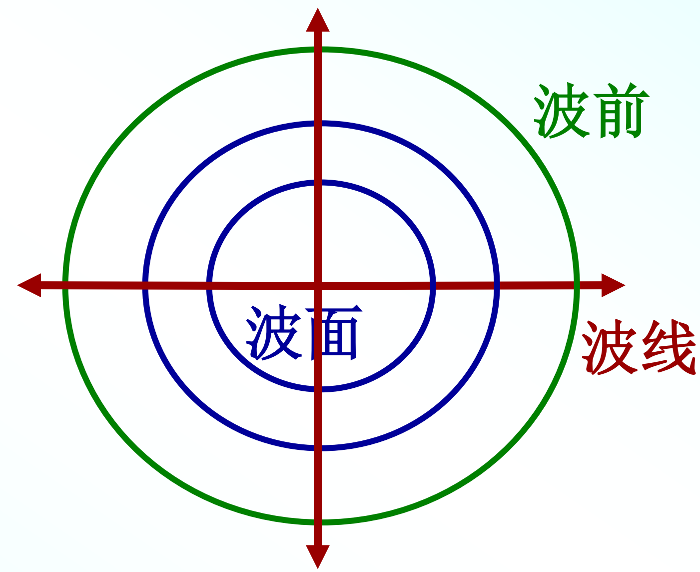
6、**波阵面（波面）**：振动位相相同的点组成的面

波前：传播在最前的波面

平面波



点波源产生球面波



7、**波线**：

发自波源，与波面垂直指向波的传播方向的射线

三、平面简谐波　　又叫一维简谐波

媒质中各质点都作谐振动，并且波阵面是一组平行平面。

同一个波面上的所有质点振动方式完全相同，

⇨ 一条波线上的质点振动状态可以代表整个空间的波动状态

1. 波函数　**能够描述任意质点在任意时刻的振动情况**

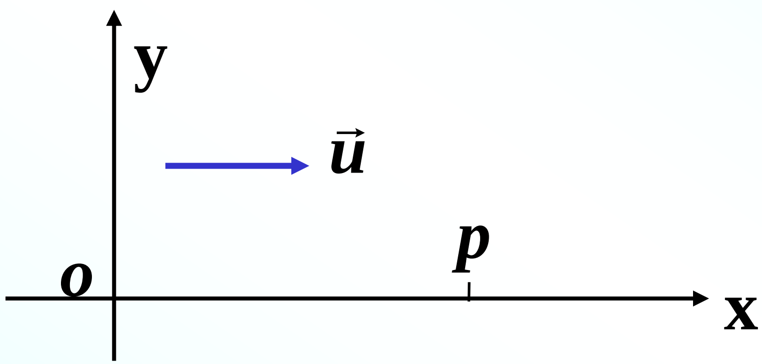
以横波为例：

设一简谐波以速度u向x轴方向传播，

在坐标原点o处引起的振动为：

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

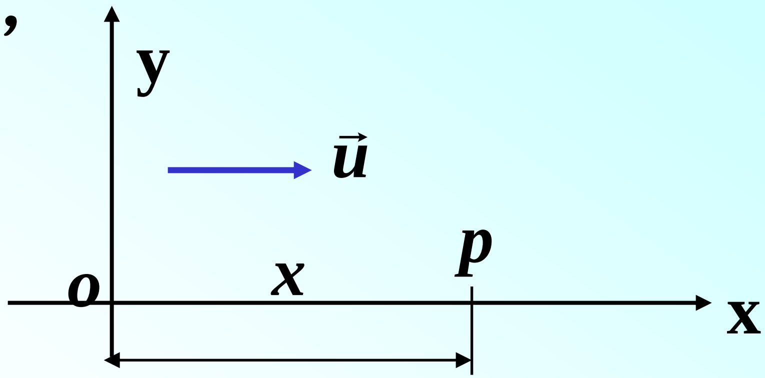
那么任意一点的振动表示为？



设一简谐波以速度u向x轴方向传播，

在坐标原点o处引起的振动为：

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



那么任意一点的振动表示为？

任选一点 p， 记$op=x$

注：波传播的是质点的振动状态

p点的振动是从o点振动传过来	→	p点的位相总是落后于o点的位相
o点位相传到p点所需时间为 $\Delta t = x/u$	→	则p点t时刻的位相等于o点$(t-\Delta t)$时刻的位相

已知o点t 时刻位相：$\omega t + \phi$

→ o点$(t-\Delta t)$时刻位相：$\omega(t-\Delta t)+\phi$

→ p点 t 时刻位相：$\omega(t-\Delta t)+\phi$

点p在时刻t的位相为$\omega(t-\Delta t)+\phi$

所以p点的振动方程为：$y=A\cos[\omega(t-\Delta t)+\phi]$

即：$\boxed{y=A\cos[\omega(t-\frac{x}{u})+\phi]}$（平面简谐波的波函数）

描述了整个空间任意质点在任意时刻的振动状态。

注意:

平面简谐波的传播方向可以是沿着x轴的负方向

但我们习惯将u理解为速度的绝对值(总是正的)

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

表示正向传播的
平面简谐波的波函数

作业：11—T7-T12

作业要求

1. 独立完成作业。
2. 图和公式要有必要的标注或文字说明。
3. 作业纸上每次都要写姓名以及学号(或学号末两位)。
4. 课代表收作业后按学号排序，并装入透明文件袋。
5. 每周二交上周的作业。迟交不改。
6. 作业缺交三分之一及以上者综合成绩按零分计。