大学物理

张磊 （13072919527）
B824，Cyrus Tang Building

班级QQ群、思源学堂

物理研讨课今天报名

电话： 13072919527

办公室： 仲英楼 B824

E-mail： zhangleio@mail.xjtu.edu.cn

爱课程mooc网站：

http://www.icourses.cn/imooc/

热学、方爱平

大学物理——机械振动、波和波动光学、刘丹东

2023秋 大学物理

群号: 782170668

扫一扫二维码，加入群聊

QQ

本学期的任务和要求

内容较多 覆盖面宽

- 机械振动
- 机械波
- 波动光学

整体相关性

- 热力学与气体动理论

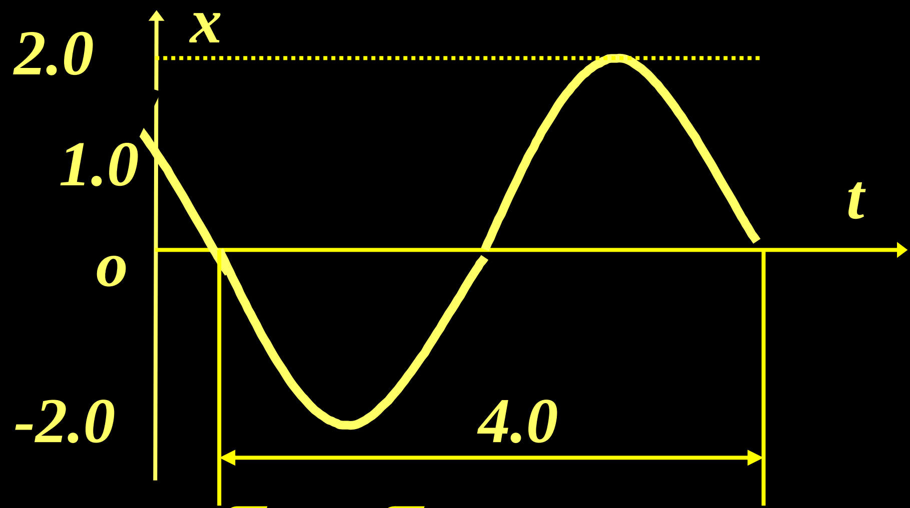
宏观与微观

- 量子物理基础
- 激光、固体能带理论

整体相关性

• 概念 • 方法 • 联系

例 有一振动曲线，如图示。试求物体振动方程和第一次通过零值的时间。



解: 解（1）求振动方程

$$\boxed{x = 2.0\cos\left(\frac{\pi}{2}t+\varphi\right)}$$

$$t=0 \Rightarrow x = 1.0$$

$$1.0 = 2.0\cos\varphi \quad \Rightarrow \quad \varphi = +\frac{\pi}{3}, -\frac{\pi}{3}$$

$$\frac{dx}{dt} = -\omega A\sin(\omega t+\varphi) = -\omega A\sin\varphi < 0$$

$$\boxed{x = 2.0\cos\left(\frac{\pi}{2}t+\frac{\pi}{3}\right)(SI)}$$ —— 运动学方程

解（2）

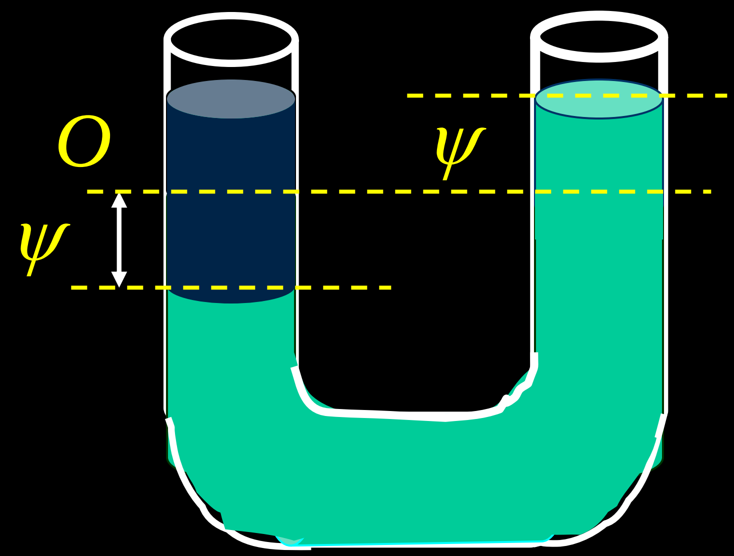
$$\boxed{x = 0 \Rightarrow \cos\left(\frac{\pi}{2}t+\frac{\pi}{3}\right) = 0}$$

$$\frac{\pi}{2}t+\frac{\pi}{3} = \frac{\pi}{2}$$

$$\boxed{t = \frac{1}{3}(SI)}$$

例　连通管中液体柱的运动，如图示。　已知液体的总质量为 $m = \rho LS$，忽略粘滞阻力。求振动周期。

解：液体柱内各部分具有相同速率。



t 时刻，系统动能为

$$E_K = \frac{1}{2}\rho LS\left(\frac{d\psi}{dt}\right)^2$$

t 时刻，系统势能为

$$E_p = \rho\psi Sg\psi = \rho Sg\psi^2$$

t 时刻，系统机械能 $E = E_K + E_P = C$ —— 机械能守恒

• 时间求导：$\rho LS\left(\frac{d\psi}{dt}\right)\left(\frac{d^2\psi}{dt^2}\right) + 2\rho Sg\psi\frac{d\psi}{dt} = 0$

$$\boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{2g}}} \Leftarrow \omega = \sqrt{\frac{2g}{L}} \Leftarrow \boxed{\frac{d^2\psi}{dt^2} + \frac{2g}{L}\psi = 0}$$

简 谐 振 动 总 结

分析振动系统 → 求动力学方程 → 求运动学方程

- 动力学特征

  $F = -kx$

- 运动学特征

  $a = -\omega^2 x$

- 能量特征

  $E = C$

- 求解圆频率

  ω

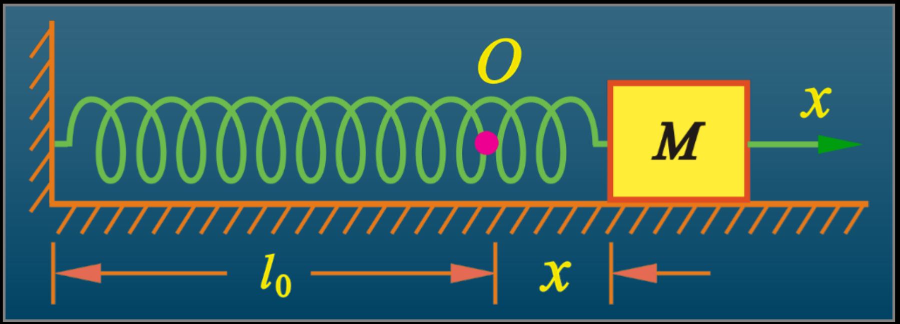
- 求解振动周期

  $T = \dfrac{2\pi}{\omega}$

- 求解振幅 A
- 求解初相 φ_0

- 初始条件
- 曲线法
- 旋转矢量法

谐振子



1. 受力特点:

线性回复力 $F=-kx$

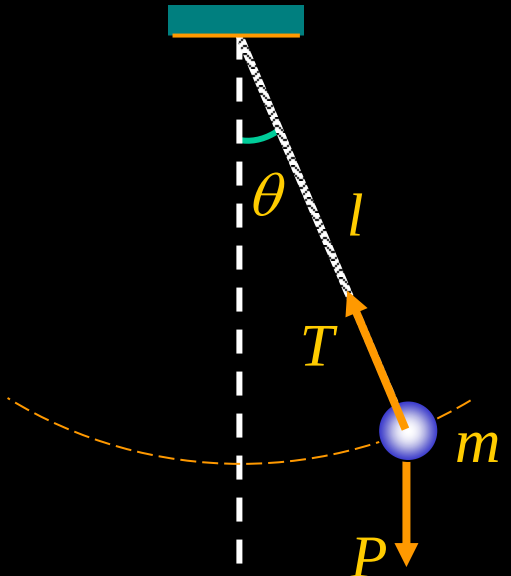
2. 动力学方程

$$F=-kx=ma$$

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

$$x(t)=A\cos(\omega t+\varphi)$$

单摆

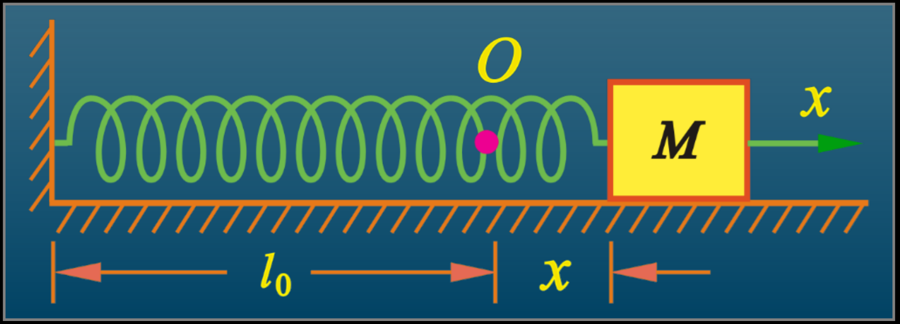


$$-P\sin\theta=m\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \qquad \ddot{\theta}+\frac{g}{l}\theta=0$$

谐振子

1. 受力特点:

线性回复力 $F = -kx$



2. 动力学方程

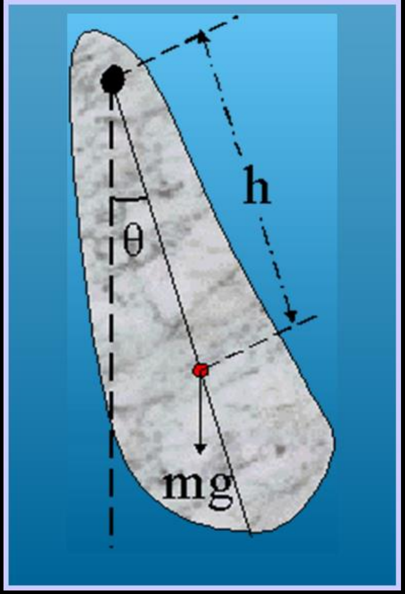
$$F = -kx = ma$$

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

$$x(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$$

复摆

$$M = -mgh\sin\theta = J\beta \qquad \ddot{\theta} + \frac{mgh}{J}\sin\theta = 0$$



§7.2 简谐振动的合成

一. 同方向同频率的简谐振动的合成

1. 分振动：

$$\begin{cases} x_1 = A_1\cos(\omega t + \varphi_1) \\ x_2 = A_2\cos(\omega t + \varphi_2) \end{cases}$$

2. 合振动：

$$x = x_1 + x_2 = A_1\cos(\omega t + \varphi_1) + A_2\cos(\omega t + \varphi_2)$$

$$= \underbrace{(A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2)}_{A\cos\varphi}\cos\omega t - \underbrace{(A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2)}_{A\sin\varphi}\sin\omega t$$

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)},\ \tan\varphi = \frac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2}$$

$$\boxed{x = A\cos\varphi\cos\omega t - A\sin\varphi\sin\omega t = A\cos(\omega t + \varphi)}$$

结论：合振动 x 仍是简谐振动

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

(1)若两分振动**同相**，即 $\varphi_2-\varphi_1=\pm 2k\pi$ $(k=0,1,2,\ldots)$

则 $A=A_1+A_2$，**两分振动相互加强**；当 $A_1=A_2$ 时， $A=2A_1$

(2)若两分振动**反相**，即 $\varphi_2-\varphi_1=\pm(2k+1)\pi$ $(k=0,1,2,\ldots)$

则 $A=|A_1-A_2|$，**两分振动相互减弱**；当 $A_1=A_2$ 时， $A=0$

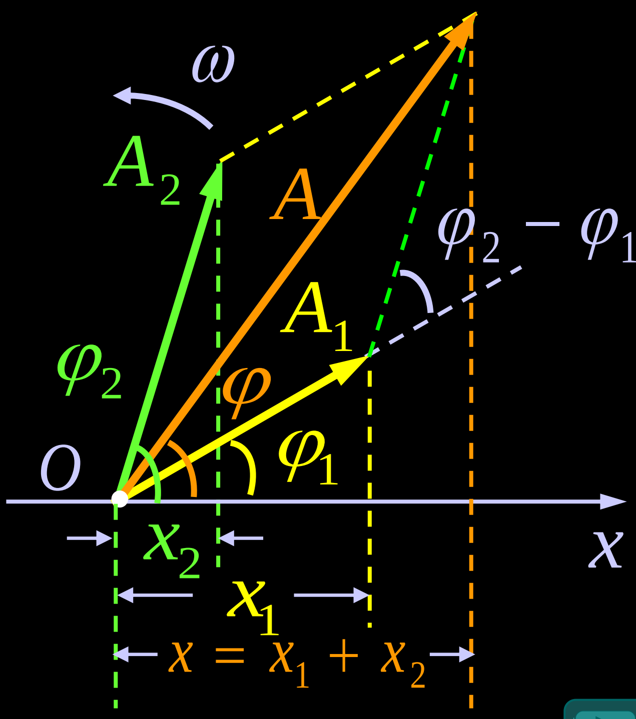
旋转矢量法处理谐振动的合成

$$x=x_1+x_2$$

$$=A\cos(\omega t+\varphi)$$

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

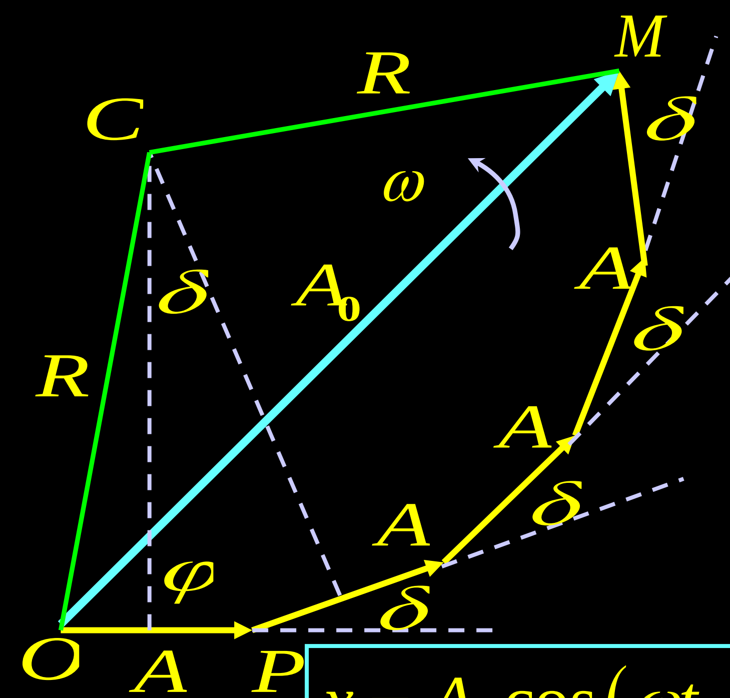
$$\tan\varphi=\frac{A_1\sin\varphi_1+A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1+A_2\cos\varphi_2}$$



推广：n 个同频率简谐振动的合成

设 n 个简谐振动，A 相同，初相依次相差一个**恒量**。

$$
\begin{cases}
x_1 = A\cos\omega t \\
x_2 = A\cos(\omega t+\delta) \\
x_3 = A\cos(\omega t+2\delta) \\
\quad\cdots\cdots \\
x_n = A\cos(\omega t+(n-1)\delta)
\end{cases}
$$



$$x = A_0\cos(\omega t+\phi)$$

求解合振动方程

$$\left.\begin{aligned}\angle OCM = n\delta \longrightarrow |A_0| &= 2R\sin\frac{n\delta}{2} \\ A &= 2R\sin\frac{\delta}{2}\end{aligned}\right\}$$

合振动的振幅

$$|A_0| = A\sin\frac{n\delta}{2}\bigg/\sin\frac{\delta}{2}$$

合振动的初相

$$\varphi = \angle COP - \angle COM = \frac{n-1}{2}\delta$$

例　有三个同方向、同频率的简谐振动，振动方程分别为：

$$x_1 = 0.05\cos(\pi t) \qquad x_2 = 0.05\cos(\pi t + \frac{\pi}{3})$$

$$x_3 = 0.05\cos(\pi t + \frac{2\pi}{3})$$

试求合振动的振动方程

解　合振动振幅为：

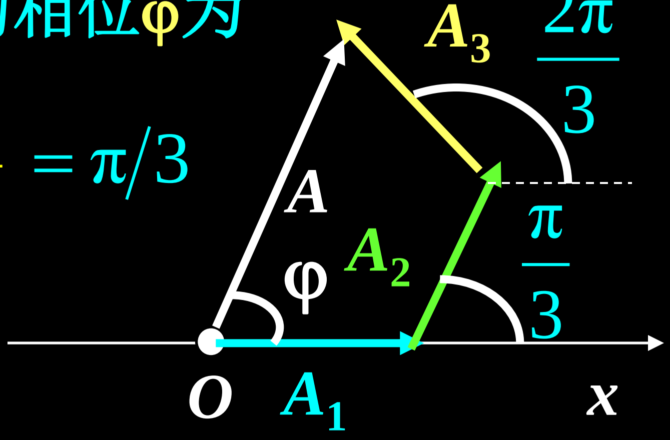
$$A = \sqrt{(A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2 + A_3\cos\varphi_3)^2 + (A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2 + A_3\sin\varphi_3)^2}$$

$$= A_0\sqrt{(1+\cos\frac{\pi}{3} + \cos\frac{2\pi}{3})^2 + (\sin\frac{\pi}{3} + \sin\frac{2\pi}{3})^2}$$

$$= 0.05\sqrt{1+3} = 0.10(\mathrm{m})$$

合振动初相位φ为

$$\varphi = \arctan\frac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2 + A_3\sin\varphi_3}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2 + A_3\cos\varphi_3} = \pi/3$$

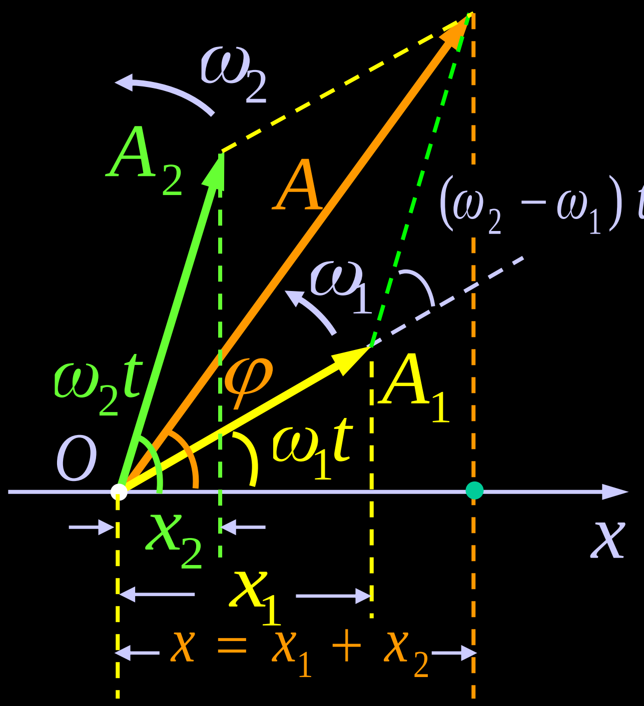


合振动方程　$x = 0.10\cos(\pi t + \frac{\pi}{3})$

二. 同方向不同频率的简谐振动的合成

1. 分振动： $\begin{cases} x_1 = A_1\cos\omega_1 t \\ x_2 = A_2\cos\omega_2 t \end{cases}$

2. 合振动： $x = x_1 + x_2$



当 $(\omega_2-\omega_1)t = 2k\pi$ 时，

A 有最大值 $A = A_1 + A_2$

当 $(\omega_2-\omega_1)t = (2k+1)\pi$ 时，

A 有最小值 $A = \left|A_1 - A_2\right|$

合振动振幅变化的频率为: $\nu = \left|\dfrac{\omega_2-\omega_1}{2\pi}\right| = \left|\nu_2-\nu_1\right|$

结论：合振动 x 不再是简谐振动

振幅相同不同频率的简谐振动的合成

1. 分振动： $\begin{cases} x_1 = A\cos\omega_1 t \\ x_2 = A\cos\omega_2 t \end{cases}$

2. 合振动： $x = x_1 + x_2 = A\cos\omega_1 t + A\cos\omega_2 t$

$$= 2A\cos(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2})t \cdot \cos(\frac{\omega_2 + \omega_1}{2})t$$

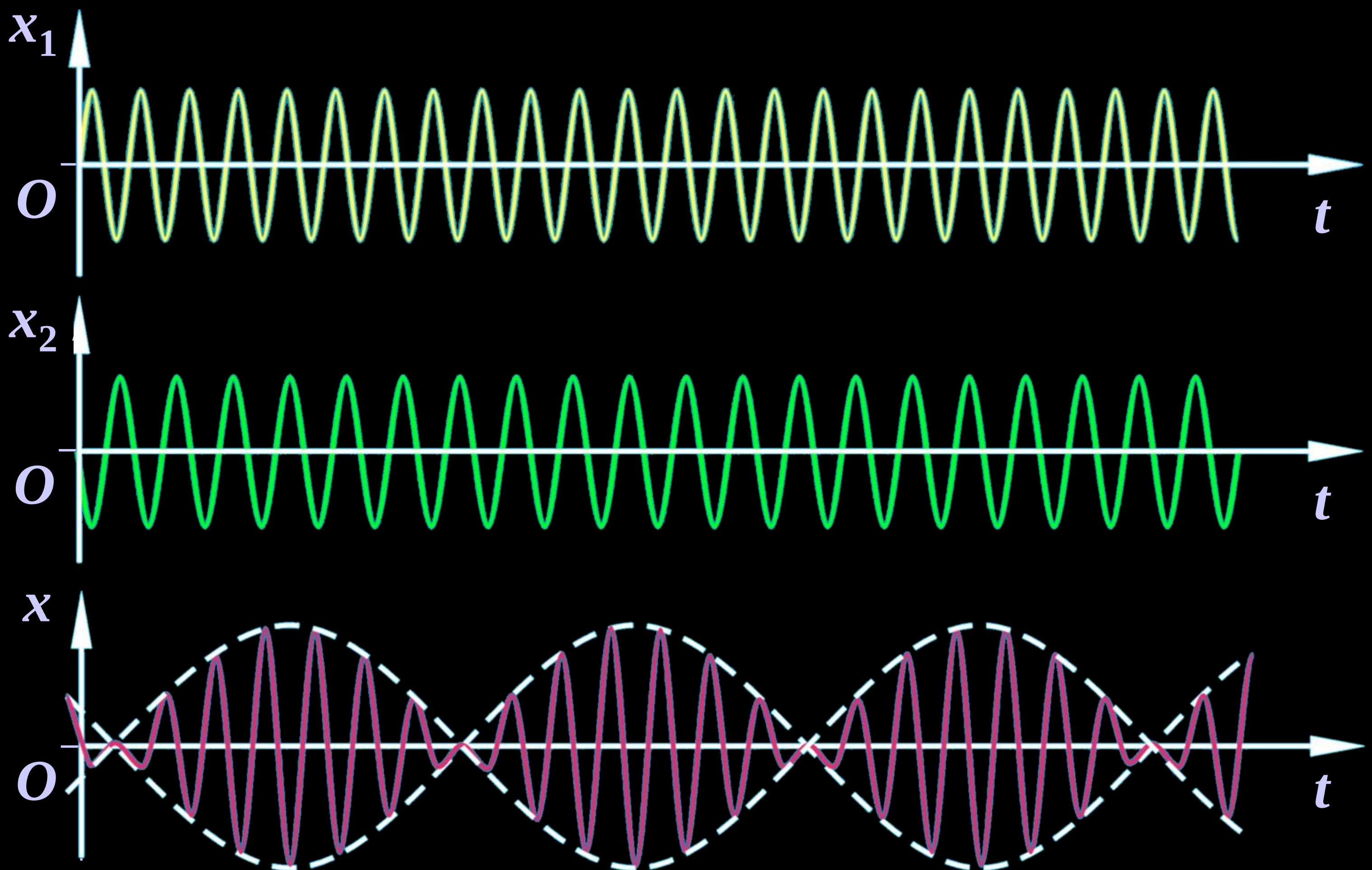
当 $\omega_2 \cong \omega_1$ 时， $\omega_2 - \omega_1 << \omega_2 + \omega_1$，令 $x = A(t)\cos\overline{\omega}\, t$

其中 $\boxed{A(t) = 2A\cos(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2}t)}$ ， $\boxed{\cos\overline{\omega}\, t = \cos(\frac{\omega_2 + \omega_1}{2}t)}$

随 t 缓变　　　　随 t 快变

结论：合振动 x 可看作是振幅缓变的简谐振动。

3. 拍的现象



拍频：单位时间内合振动振幅强弱变化的次数，即

$$\nu = \left|(\omega_2 - \omega_1)/2\pi\right| = \left|\nu_2 - \nu_1\right|$$

拍频：可用于测定频率

三. 垂直方向同频率简谐振动的合成

1. 分振动
$$\begin{cases} x = A_1\cos(\omega\ t+\varphi_1) \\ y = A_2\cos(\omega\ t+\varphi_2) \end{cases}$$

2. 合运动
$$\frac{x^2}{A_1^2}+\frac{y^2}{A_2^2}-2\frac{x}{A_1}\frac{y}{A_2}\cos(\varphi_2-\varphi_1)=\sin^2(\varphi_2-\varphi_1)$$

讨论

当 $\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1=k\pi$ (k为整数)时:

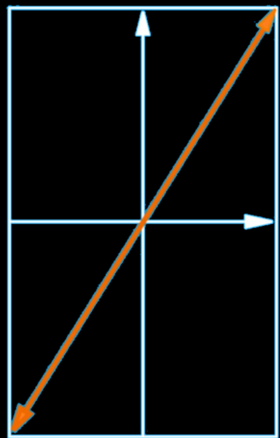
$$\frac{x^2}{A_1^2}+\frac{y^2}{A_2^2}\pm 2\frac{x}{A_1}\frac{y}{A_2}=0 \Rightarrow \frac{x}{A_1}\pm\frac{y}{A_2}=0$$

当 $\Delta\varphi=(2k+1)\pi/2$ (k为整数)时:

$$\frac{x^2}{A_1^2}+\frac{y^2}{A_2^2}=1$$

合成 ⟷ 分解

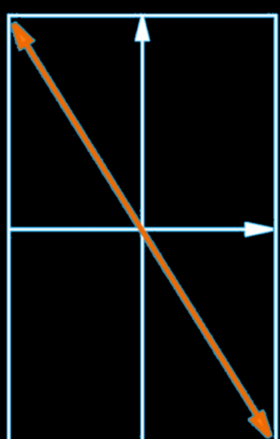
$\Delta\varphi = 0$ (第一象限) $\Delta\varphi = \pi/2$ (第二象限)



$$\frac{x}{A_1} \pm \frac{y}{A_2} = 0$$

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

$$\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$$



$\Delta\varphi = \pi$ (第三象限) $\Delta\varphi = 3\pi/2$ (第四象限)

四. 垂直方向不同频率简谐振动的合成

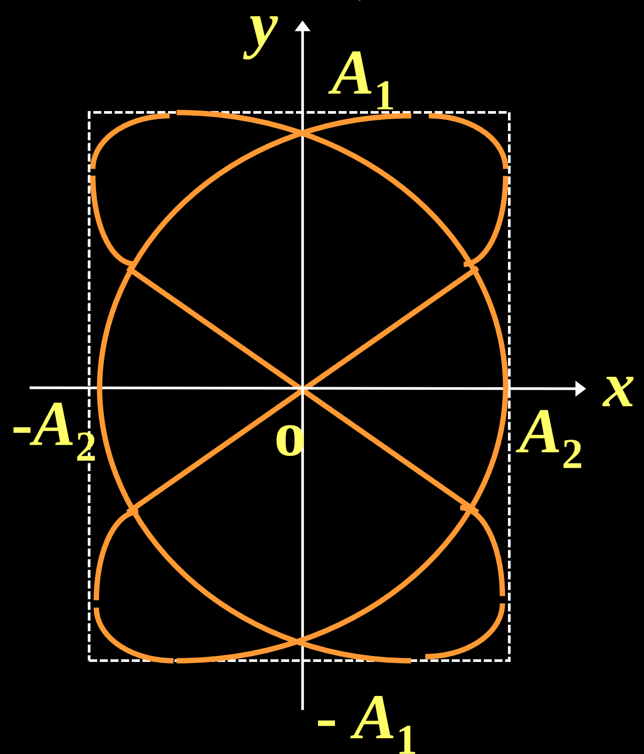
- 两分振动频率相差很小　$\Delta\varphi = (\omega_2-\omega_1)t + (\varphi_2-\varphi_1)$

　—— 可看作两频率相等而 $\varphi_2 - \varphi_1$ 随 t 缓慢变化合运动轨迹将按上页图依次缓慢变化

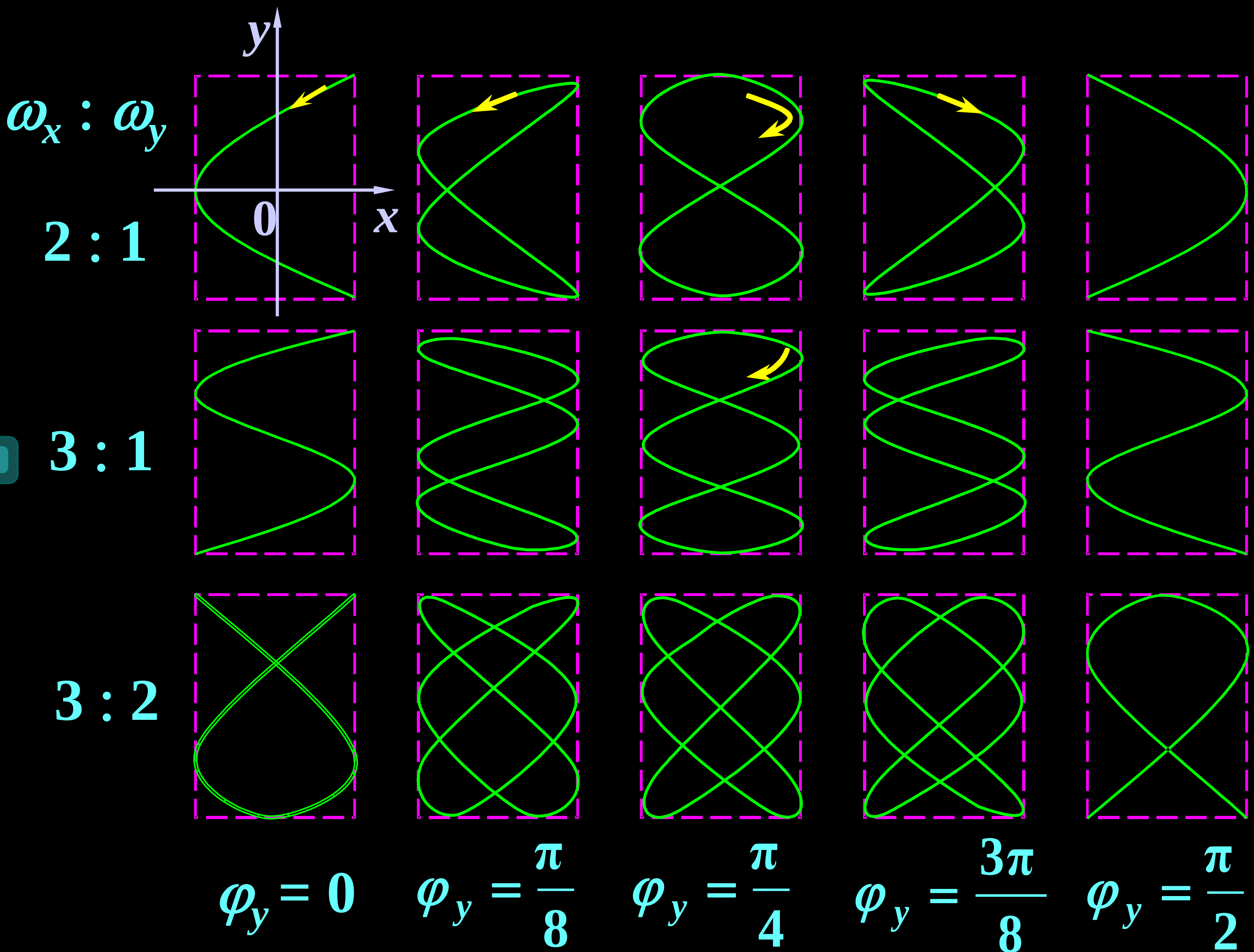
- 两振动的频率成<u>整数比</u>　—— 稳定轨迹　—— 李萨如图

如：$\omega_x : \omega_y = 3 : 2$

$\varphi_2 = 0, \varphi_1 = \pi / 4$



- 李萨如图 —— 周期性振动
- 两个频率比不成整数比、相互垂直振动的合成运动轨迹为永不闭合的曲线 —— 合成运动为非周期运动。



$\omega_x : \omega_y$
2 : 1
3 : 1
3 : 2
y
0
x
$\varphi_y = 0$
$\varphi_y = \frac{\pi}{8}$
$\varphi_y = \frac{\pi}{4}$
$\varphi_y = \frac{3\pi}{8}$
$\varphi_y = \frac{\pi}{2}$

同方向同频率的简谐振动的合成

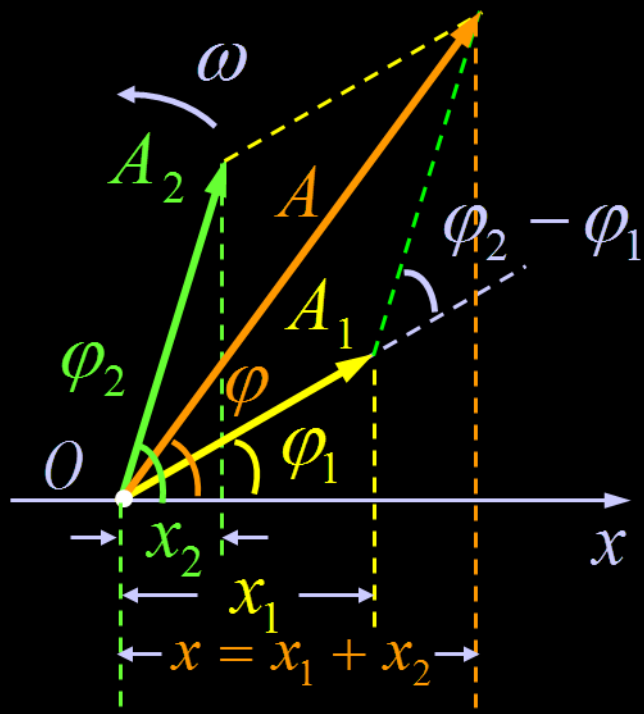
1. 分振动：$\begin{cases} x_1 = A_1\cos(\omega t + \varphi_1) \\ x_2 = A_2\cos(\omega t + \varphi_2) \end{cases}$

2. 合振动：

$$x = x_1 + x_2 = A\cos(\omega t + \varphi)$$

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

$$\tan\varphi = \frac{A_1\sin\varphi_1 + A_2\sin\varphi_2}{A_1\cos\varphi_1 + A_2\cos\varphi_2}$$

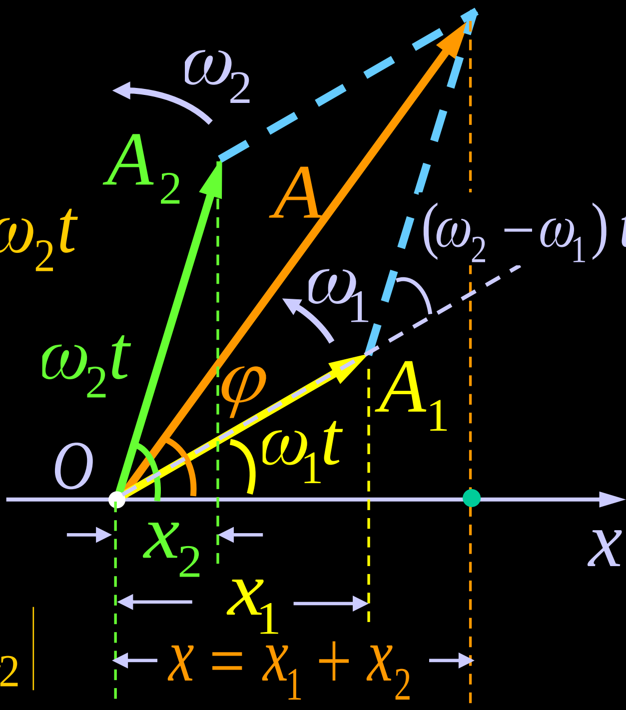


合振动 x 仍是简谐振动

当 $\varphi_2 - \varphi_1 = \pm 2k\pi$ 时，$A = A_1 + A_2$ —— 振动加强

当 $\varphi_2 - \varphi_1 = \pm(2k+1)\pi$ 时，$A = |A_1 - A_2|$ —— 振动减弱

同方向不同频率的简谐振动的合成



1. 分振动： $x_1 = A_1\cos\omega_1 t \quad x_2 = A_2\cos\omega_2 t$

2. 合振动： $x = x_1 + x_2$

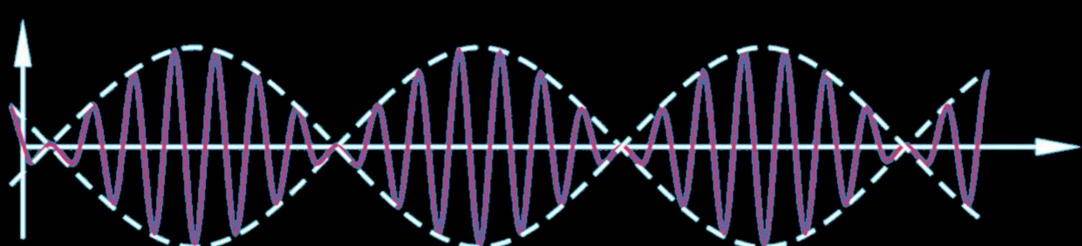
当 $(\omega_2-\omega_1)t = 2k\pi$ 时，$A = A_1 + A_2$

当 $(\omega_2-\omega_1)t = (2k+1)\pi$ 时，$A = |A_1 - A_2|$

合振动 x 不再是简谐振动

$$A_1 = A_2 \Rightarrow x = x_1 + x_2 = 2A\cos\left(\frac{\omega_2-\omega_1}{2}\right)t\cdot\cos\left(\frac{\omega_2+\omega_1}{2}\right)t$$

合振动 x 可看作是振幅缓变的简谐振动。



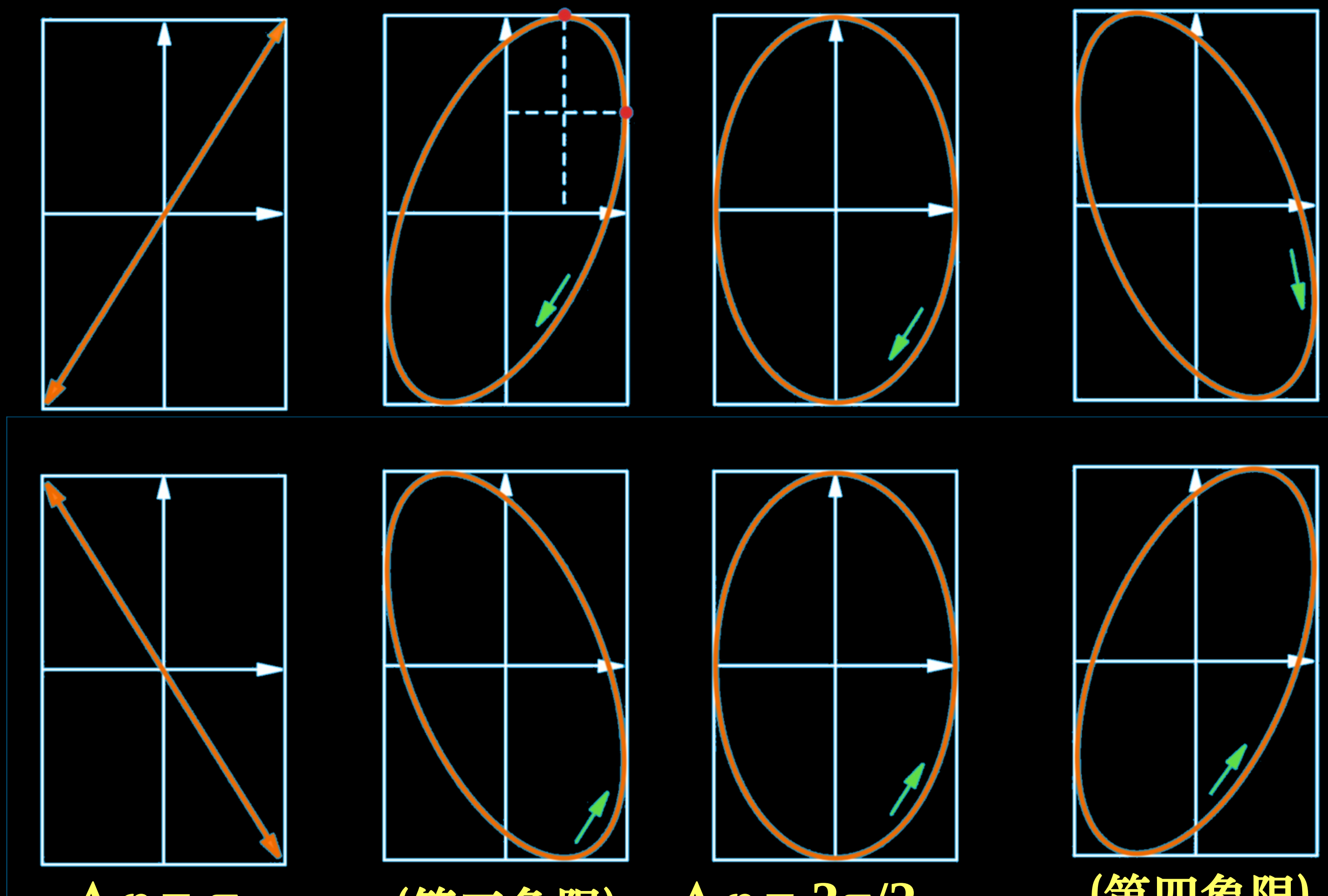
拍现象

$$\nu = |(\omega_2-\omega_1)/2\pi| = |\nu_2-\nu_1|$$

垂直方向同频率简谐振动的合成

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

$\Delta\varphi = 0$ (第一象限) $\Delta\varphi = \pi/2$ (第二象限)



$\Delta\varphi = \pi$ (第三象限) $\Delta\varphi = 3\pi/2$ (第四象限)

合成 ⟷ 分解

§7.3 阻尼振动和受迫振动

一. 阻尼振动

1. 阻尼力 $f = -\mu\dot{x}$

2. 振动的微分方程(以弹簧振子为例)

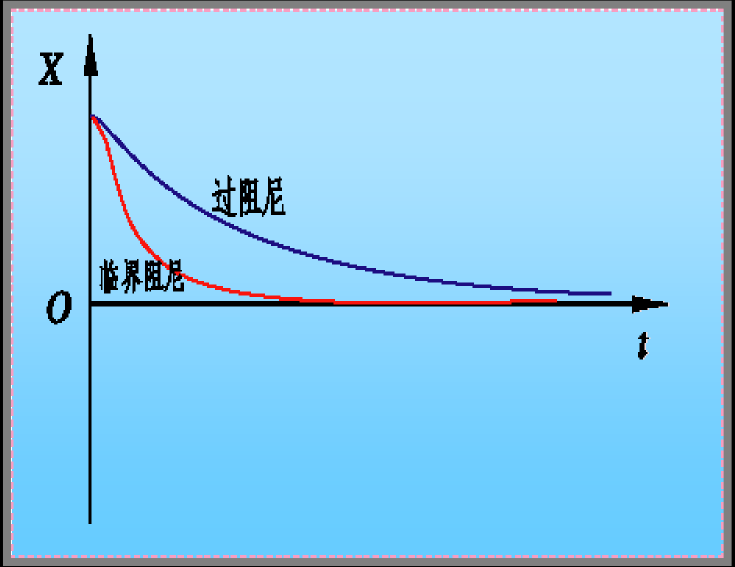
阻尼系数: $2n = \mu/m$

$$m\ddot{x} = -kx - \mu\dot{x} \quad \Longrightarrow \quad \ddot{x} + 2n\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

3. 阻尼振动的振动方程、表达式和振动曲线

(1) 小阻尼 ($n^2 < \omega_0^2$)

$$x = Ae^{-nt}\cos(\sqrt{\omega_0^2 - n^2}\,t + \varphi)$$



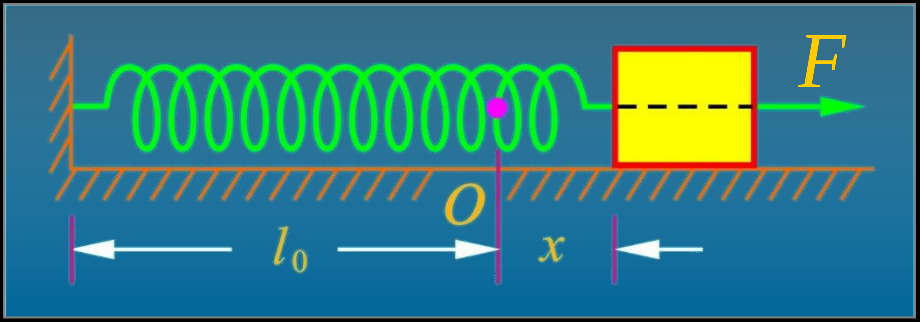
(2) 过阻尼和临界阻尼

临界阻尼: $n^2 = \omega_0^2$

过 阻 尼: $n^2 > \omega_0^2$

在过阻尼和临界阻尼时，无振动

二. 受迫振动（在外来策动力作用下的振动）



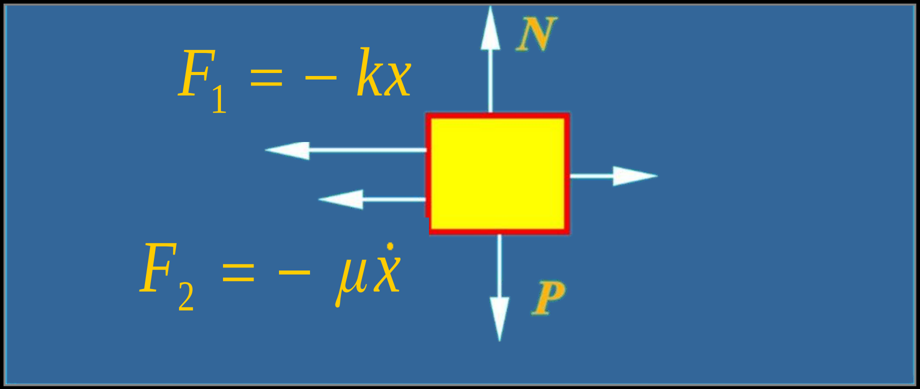
1. 系统受力

弹性力 $-kx$

阻尼力 $-\mu\dot{x}$

周期性策动力

$$F = F_0 \cos\omega t$$



2. 受迫振动的微分方程

$$m\ddot{x} = -kx - \mu\dot{x} + F_0 \cos\omega t$$

$$\boxed{\ddot{x} + 2n\dot{x} + \omega_0^2 x = f\cos\omega t}$$

其中 $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$ $\quad n = \dfrac{\mu}{2m}$ $\quad f = \dfrac{F_0}{m}$

3. 受迫振动微分方程的稳态解为:

$$x = A\cos(\omega t - \varphi)$$

可用旋转矢量叠加的方法求稳态解的振幅和初相

(将稳态解代入到振动微分方程中有):

$$\boxed{-\omega^2 A\cos(\omega t-\varphi) - 2\omega n A\sin(\omega t-\varphi) + \omega_0^2 A\cos(\omega t-\varphi) = f\cos\omega t}$$

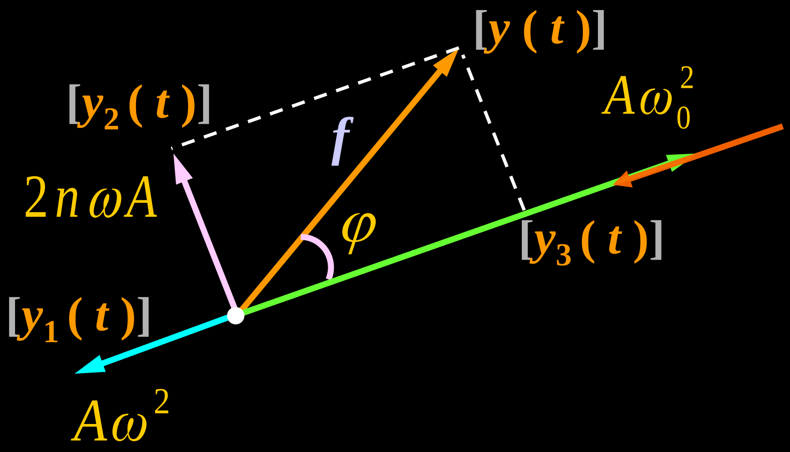
令(同时画出 t 时刻对应的矢量图):

$$y(t) = f\cos\omega t$$

$$y_1(t) = \omega^2 A\cos(\omega t - \varphi + \pi)$$

$$y_2(t) = 2\omega nA\cos(\omega t - \varphi + \pi/2)$$

$$y_3(t) = \omega_0^2 A\cos(\omega t - \varphi)$$



因而: $y(t) = y_1(t) + y_2(t) + y_3(t)$

根据 t 时刻的旋转矢量图，可得稳态时的振幅和初相：

$$A=\frac{f}{[(\omega^2-\omega_0{}^2)^2+4n^2\omega^2]^{1/2}}$$

$$\tan\varphi=\frac{2n\omega}{\omega_0^2-\omega^2}$$

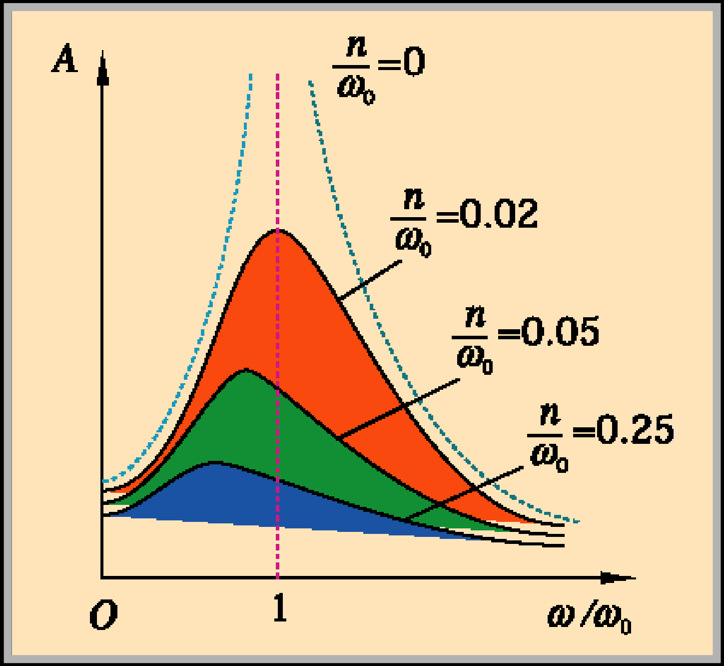
- **结论: 受迫振动的振幅 A 及受迫振动与驱动力的相位差 φ 都与起始条件无关。**

- **讨论**

（1）位移共振(振幅取极值)

共振频率： $\omega_r=\sqrt{\omega_0^2-2n^2}$

共振振幅： $A_r=\dfrac{f}{2n\sqrt{\omega_0^2-n^2}}$



（振幅共振曲线）

(2）速度共振

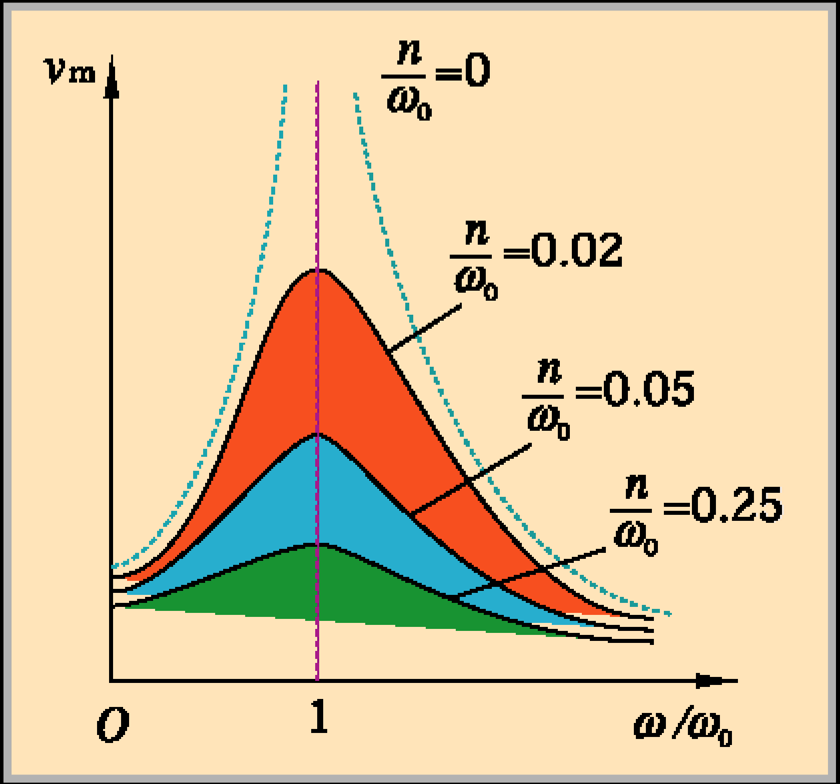
(速度振幅ωA取极值)

$$v_m = \frac{f\omega}{\sqrt{(\omega^2-\omega_0^2)^2+4n^2\omega^2}}$$

共振频率： $\omega = \omega_0$

共振速度振幅：$v_m = \dfrac{f}{2n}$

$$\tan\varphi \to \infty \Rightarrow \varphi = \frac{\pi}{2}$$



(速度共振曲线)

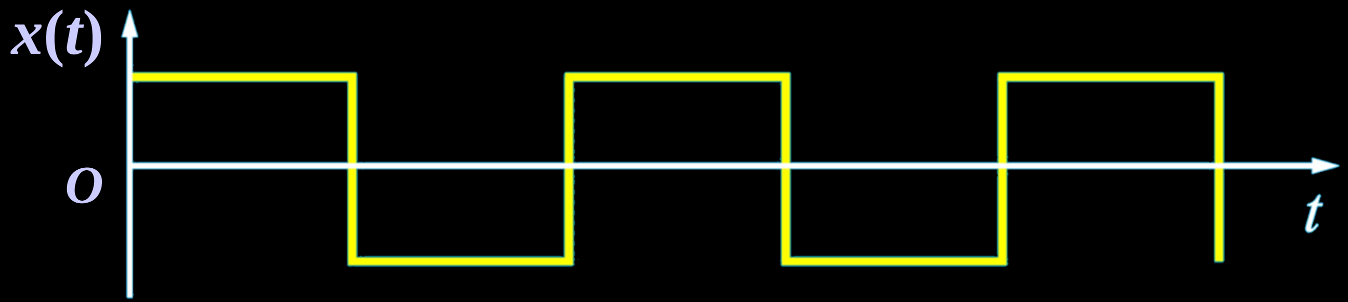
速度共振时，速度与策动力同相，一周期内策动力总作正功，此时向系统输入的能量最大。

§7.4 非谐振动的傅氏分解 频谱

任何一个周期性复杂振动都可分解为一系列谐振动的叠加

例如:

方波:
(基频为ν_0)



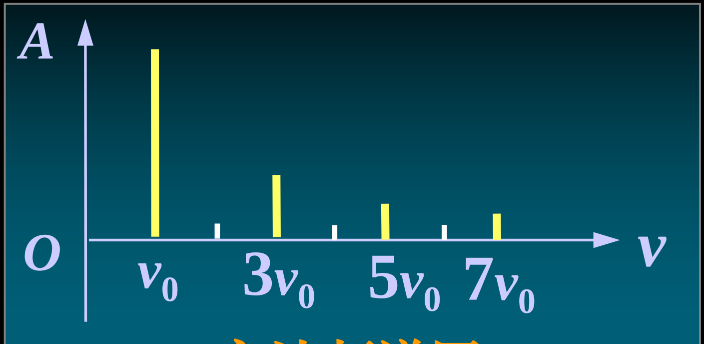
由傅里叶理论，有

$$x(t)=\frac{4}{\pi}\sin 2\pi\nu_0 t+\frac{4}{3\pi}\sin 6\pi\nu_0 t+\frac{4}{5\pi}\sin 10\pi\nu_0 t+\cdots$$

结论:

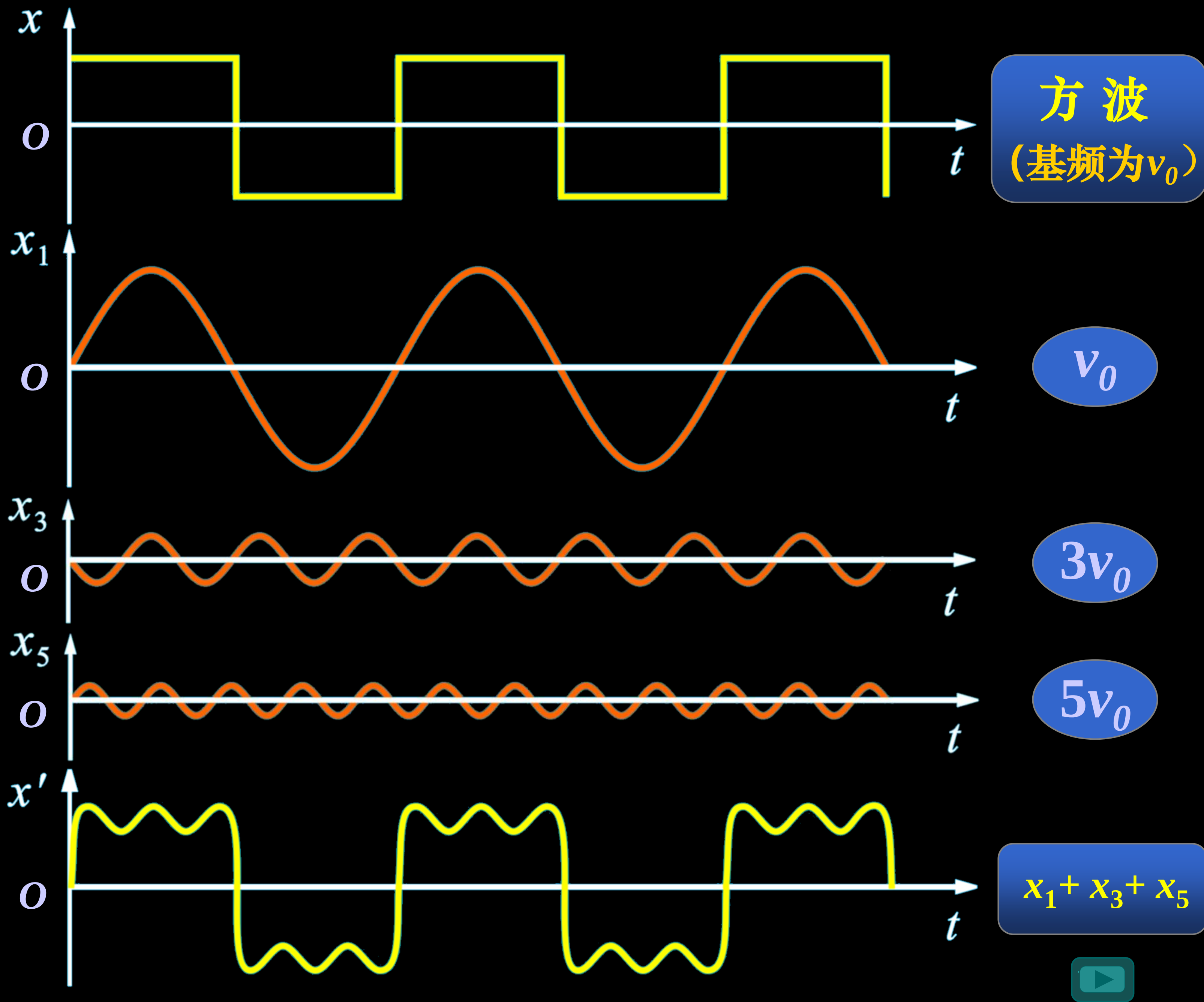
1.方波可分解为 ν_0 ，3 ν_0，5 ν_0 等谐振动的叠加。

2.谐频次数越高的项振幅越小。

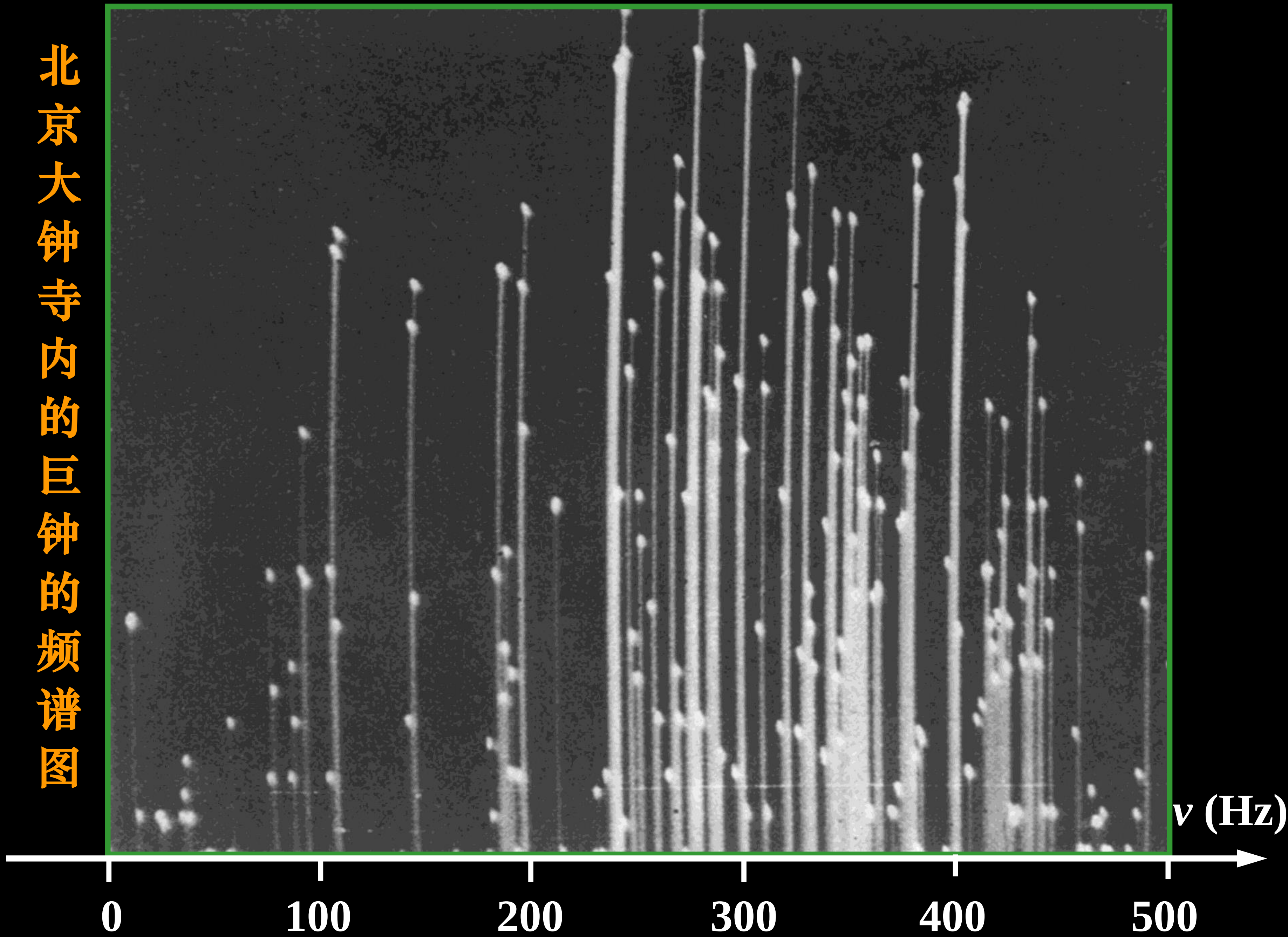


方波频谱图

方波的分解图



北京大钟寺内的巨钟的频谱图

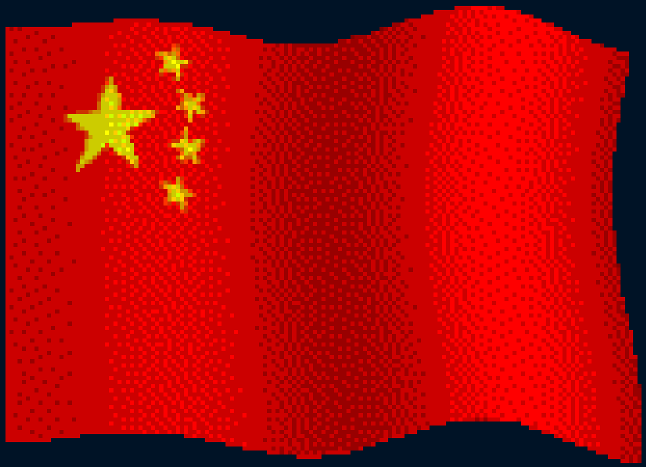


第13章 机械波

Mechanical wave

国家管弦乐团在联合国总部的演出

V 字形二维“锥形波”—“舷波”



战机突破音障的瞬间

波动(wave) —— 振动或扰动在空间以一定的速度传播

机械波 *Mechanical wave*

—— 机械振动或扰动在介质中的传播

—— 声波、水波、地震波……

—— 遵从**经典力学理论**

电磁波 *Electromagnetic wave*

—— 变化电场和变化磁场在空间的传播

—— 无线电波、光波、X射线……

—— 遵从**麦克斯韦电磁场理论**

机械波和电磁波统称为**经典波**

—— 代表的是某种<u>实在的物理量</u>的波动。

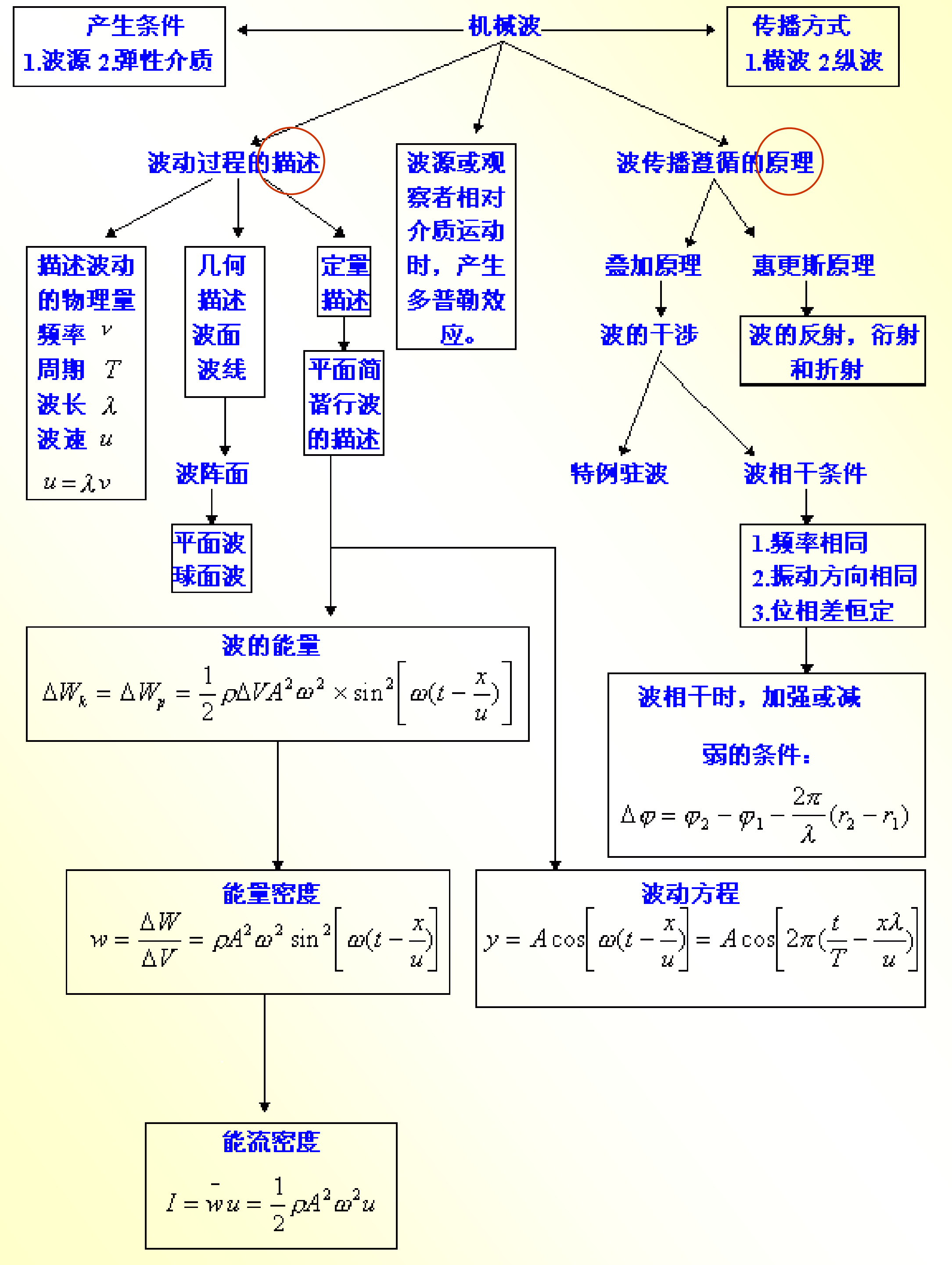
物质波 —— 近代物理实验中发现，电子、质子和中子等微观粒子也能发生干涉和衍射等现象。

—— **微观粒子具有波动性**（波粒二象性）

—— 描述微观粒子在空间各点分布的**几率波**

—— 遵从**量子理论**

- 形成各类波的具体**物理机制各不相同**，具有各自的性质和规律
- 形式上具有很多**共同的特征和规律**：**叠加性，波的反射、折射、干涉**和**衍射**现象以及能量的传播等
- 都具有的波动的普遍性质
- 描述各类波的方法可以**相互借鉴、相互利用**



◆了解机械波在介质中传播的物理机制和图象，理解波动和振动的联系与区别；

◆理解描述波动的物理量（波频、波长、波速等）的物理意义，掌握这些量之间的关系；

◆掌握建立平面简谐波波动表达式的方法，理解波动表达式的意义；

◆了解波的能量传播特征，理解能流、能流密度等概念；

◆了解惠更斯原理及波的衍射、反射和折射现象；

◆理解波的叠加原理，掌握波的相干条件，掌握波程差与相位差的关系；

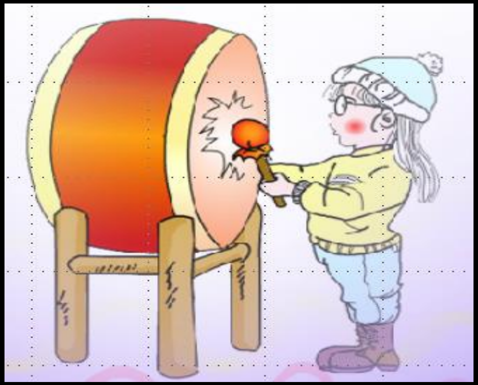
◆了解驻波形成的条件及主要特征；

◆了解多普勒效应的形成机理及简单应用。

§13.1 机械波的产生和传播

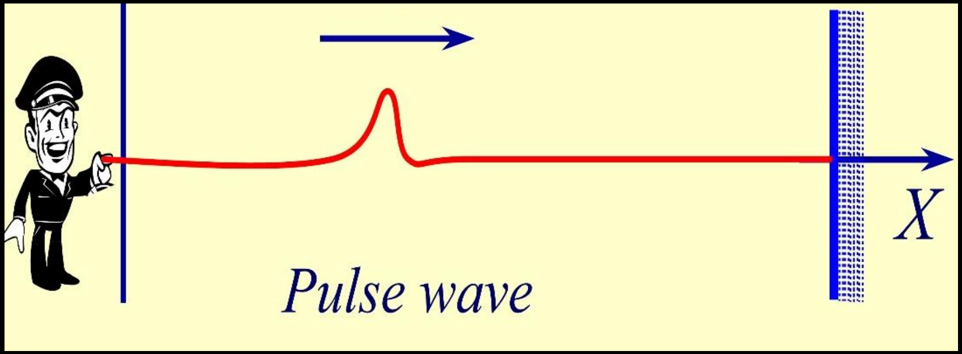
一. 机械波的产生

例1. 声波　　——— 鼓声

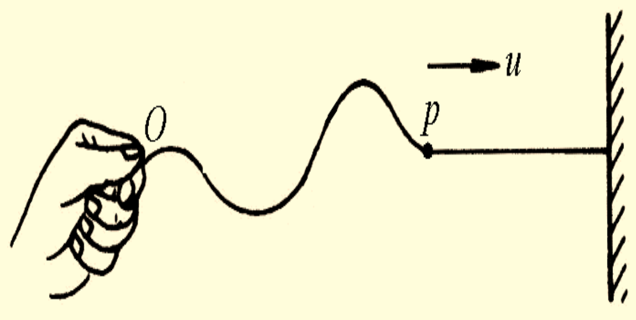


例2. 绳波

固定绳子的另一端抖动一下，该扰动在绳子中向前传播



若扰动是连续的振动，就形成连续波



机械波(mechanical wave)：

弹性介质的质元受外界扰动而发生振动时，因质元之间的弹性联系，会使振动传播开去

机械振动以一定速度在弹性介质中由近及远地传播出去，就形成机械波。

产生机械波的条件
- 波源：产生机械振动的物体
- 弹性介质：承担传播振动的物质

空气中传播的声波

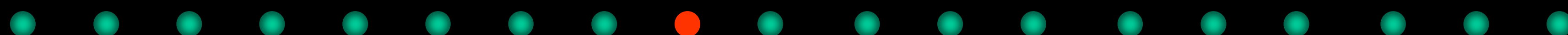
—— 介质质点的振动方向和波传播方向相互平行

—— 纵波

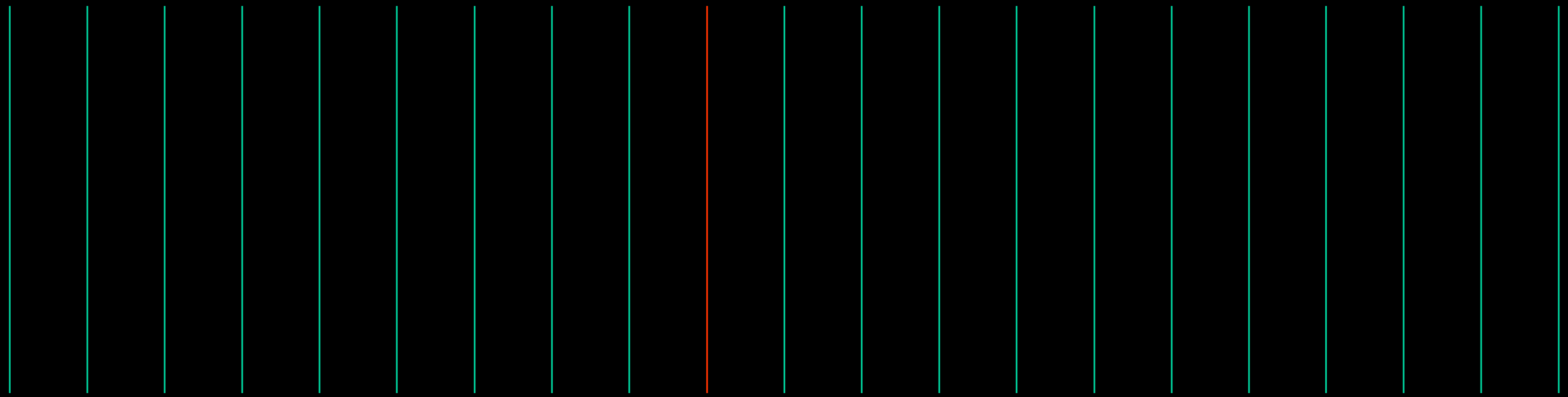
柔绳上传播的绳波

—— 介质质点的振动方向与波传播方向相互垂直

—— 横波

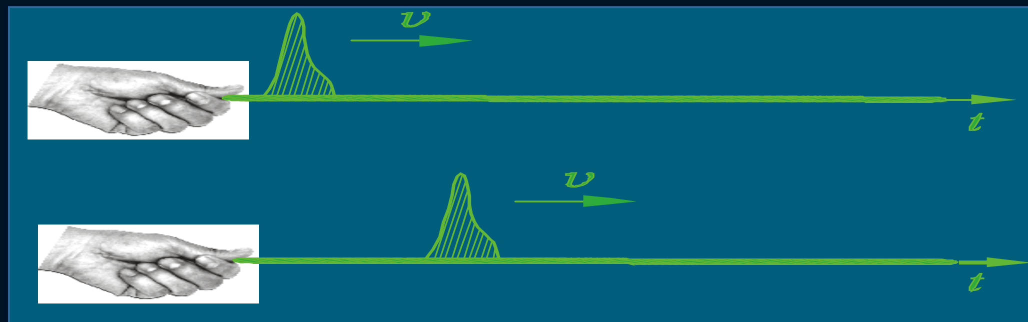


横波演示

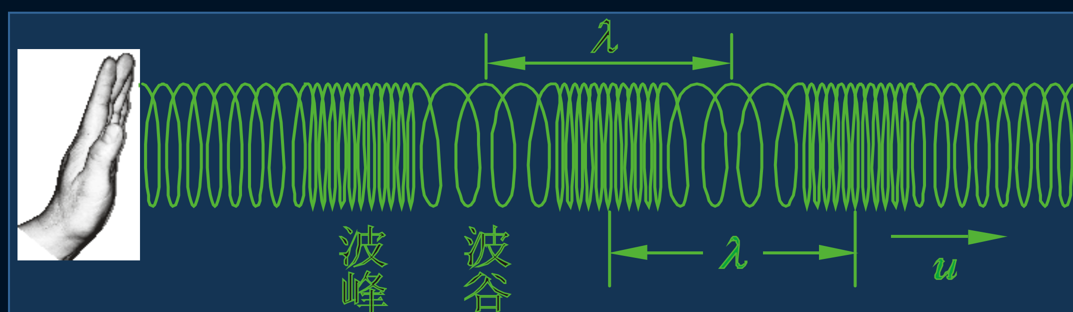


纵波演示

◆ 横波：介质质点的振动方向与波传播方向**相互垂直**的波；如柔绳上传播的波.

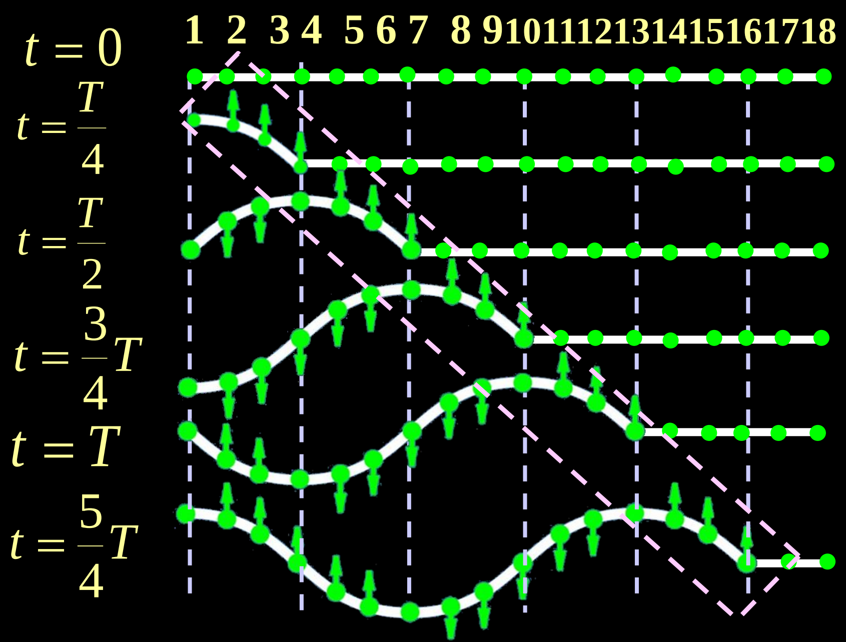


◆ 纵波：介质质点的振动方向和波传播方向**相互平行**的波；如空气中传播的声波.



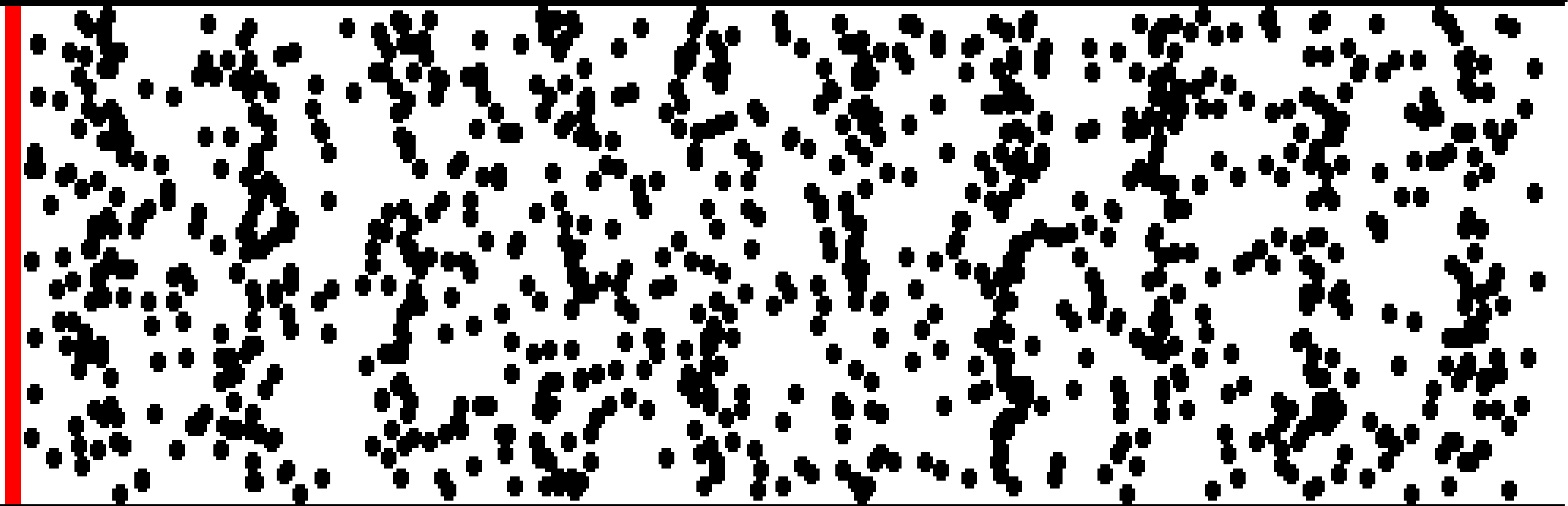
(气体和液体内只能传播纵波，不能传播横波)

横波： 质点振动方向 ⊥ 波传播方向

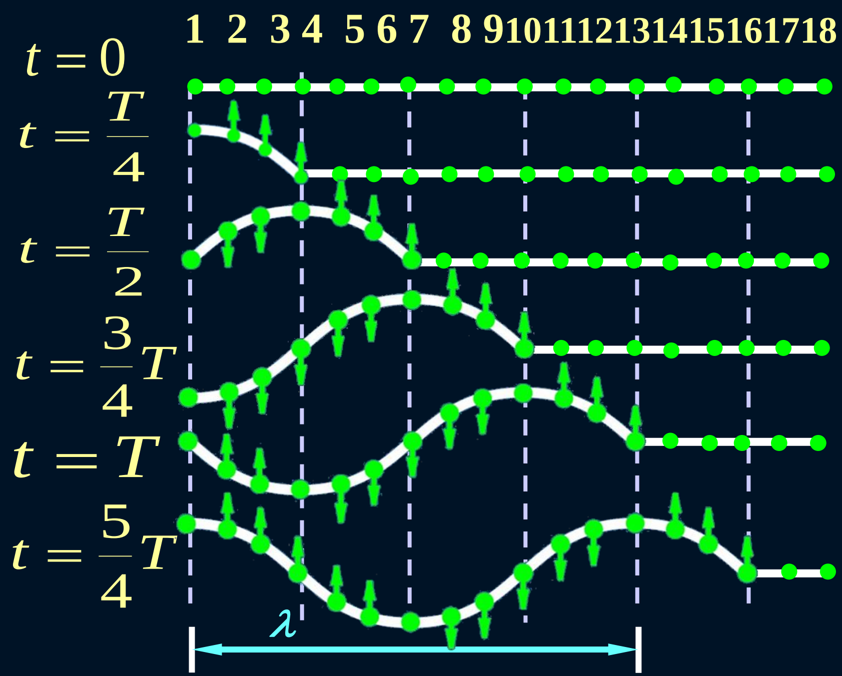


- 横波的产生 → 介质切向形变产生**切向弹性力**
  → 相邻质元依次作用下去形成横波
- 横波只能在**固体**中传播
- 横波传播时各质点并不随波前进
- **波动是振动状态的传播，是相位的传播**

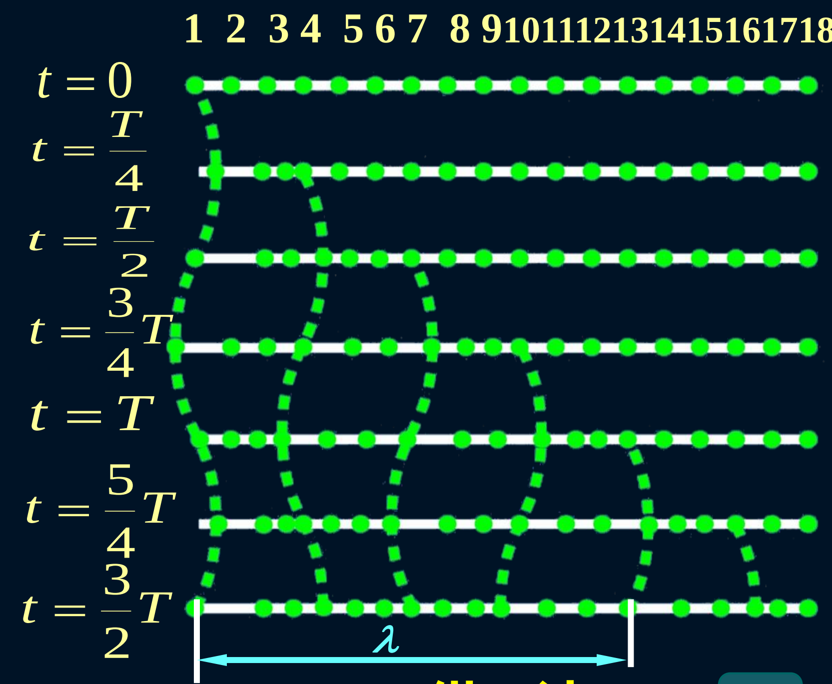
纵波： 质点振动方向 // 波传播方向



- 纵波的产生 → 介质的拉伸和压缩产生**纵向弹性力**
  → 相邻质元依次作用下去形成纵波
- 纵波能在**固体**、**液体**和**气体**中传播
- 纵波传播时各质点并不随波前进
- **波动是振动状态的传播，是相位的传播**



横　波



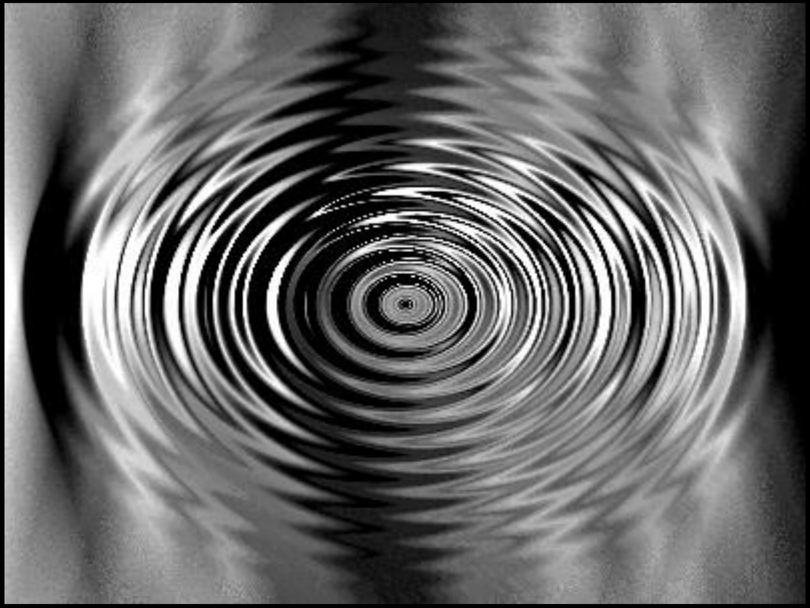
纵　波

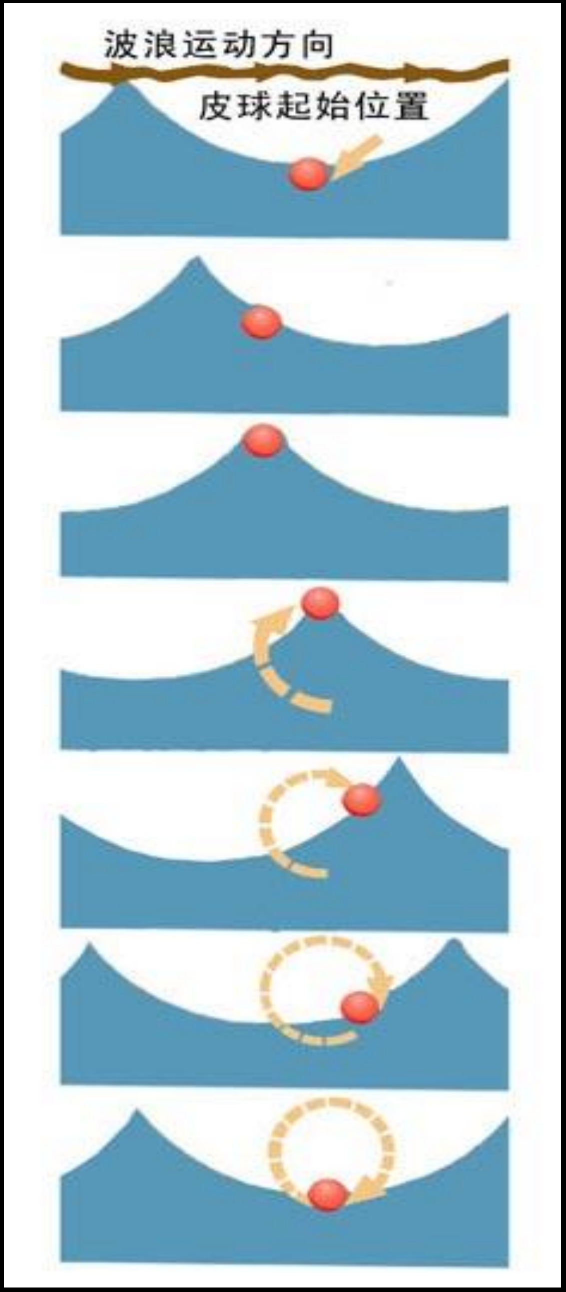
结论

(1) 波动中各质点并不随波前进；

(2) 沿波的传播方向,各个质点的相位依次落后,波动是相位(振动状态)的传播；

水面波

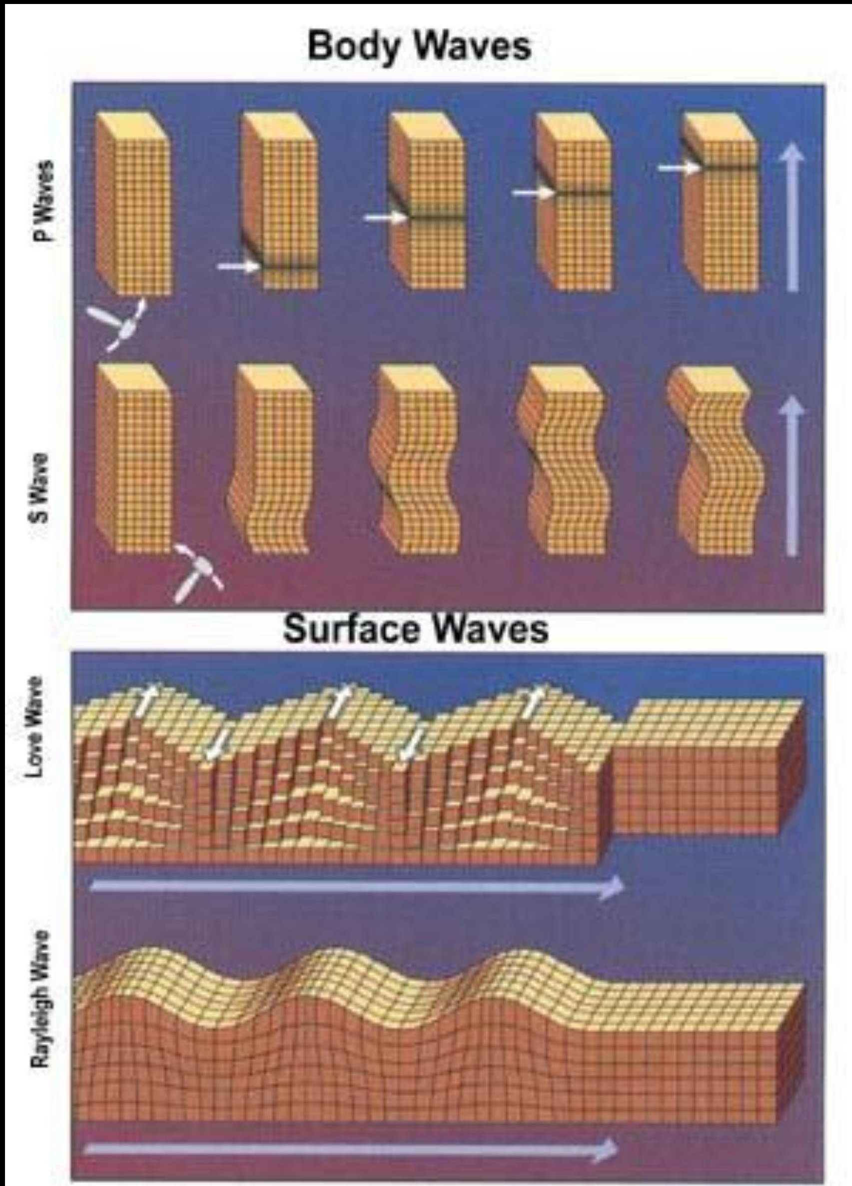




水面波既非横波又非纵波

地震波：从震源产生向四外辐射的弹性波

地震波： 从震源产生向四外辐射的弹性波



两种：**体波和面波**

体波在地球内部传播，又分成**P波和S波**。**P波为纵波**，是推进波，速度最快，它使地面发生上下振动，破坏性较弱。**S波为横波**，是剪切波，第二个到达震中，它使地面发生前后、左右抖动，破坏性较强。

面波是由纵波与横波在地表相遇后激发产生的混合波，其波长大、振幅强，只能沿地表面传播，是造成建筑物强烈破坏的主要因素。