第 23 次课　粘滞系数_层流_湍流_混沌流_非牛顿流体_简谐振动 2007.11.23

$$f=\eta\Delta A\frac{dv}{dy}\quad \eta\to 0\quad \text{超流}$$

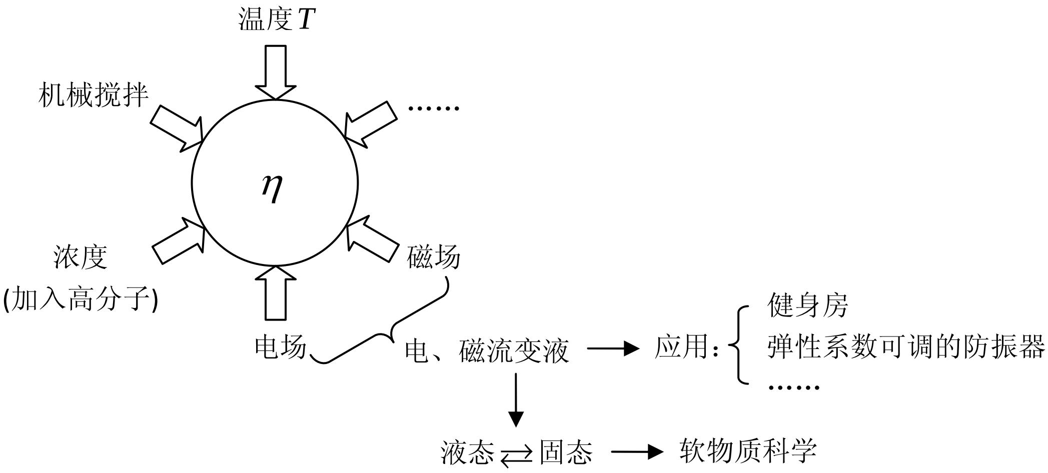
但实际流体 $\eta\neq 0$，η 较小时近似为理想流体

如何改变 η？　温度 T，　水 $\left(0^{\circ}C\right)$　$\eta=1.792\times10^{-5}$ 泊

$\left(20^{\circ}C\right)$　1.0×10^{-5} 泊

$\left(40^{\circ}C\right)$　0.656×10^{-5} 泊

$T\uparrow$，$\eta\downarrow$



浓度变化：

水中加一点多氧素（聚乙烯氧化物高分子），$\eta\downarrow\downarrow$，内摩擦大大下降

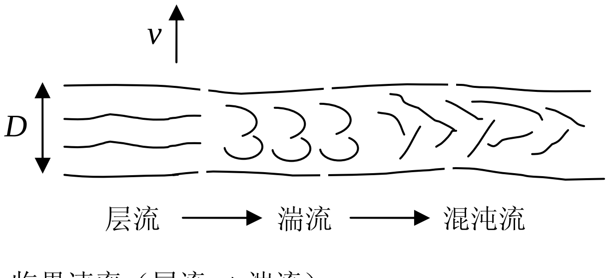
举例：1)　英国西部 800 年历史的港口城市 排污

2)　高压水枪，喷射高度提高 30%，10 升水＋2 克多氧素

层流 — 湍流 — 混沌流：

$\downarrow$

定常流动



例如：水管的振动

v_c 临界速率（层流 $\rightarrow$ 湍流）

量纲方法：$v_c \propto \dfrac{\eta}{\rho D}$ D：管道直径

推导详见教材

$$= R\frac{\eta}{\rho D}$$

$\downarrow$

雷诺数（无量纲）

$$R = \frac{\rho D v}{\eta}$$

R 大，v 可以越大，发生湍流所需的速率越大.

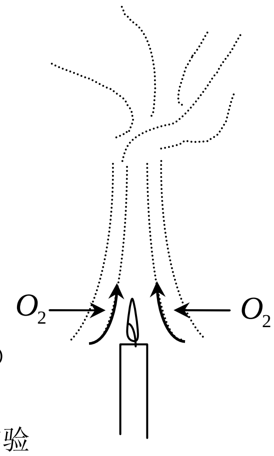
对于给定的的 R，η 越大，v_c 越大，不容易发生湍流.

层流 $\xrightarrow{v\uparrow}$ 湍流　　举例：1)　交通

2)　上升热空气（烟）

3)　管道中的水流

4)　烟圈 $\rightarrow$ 自主实验



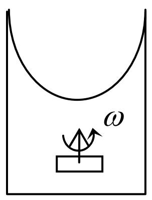
失重的火焰还会燃烧吗？

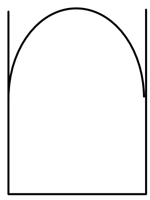
以上我们讨论的流体都是牛顿流体，可以用牛顿力学解决问题。

在现实中还有非牛顿流体

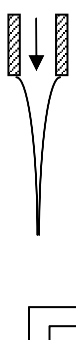
牛顿流体　　**非牛顿流体**

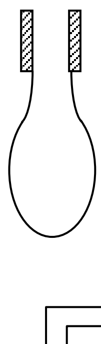
1)



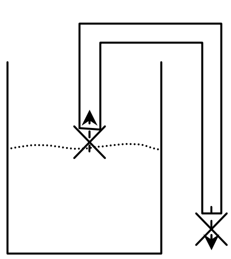


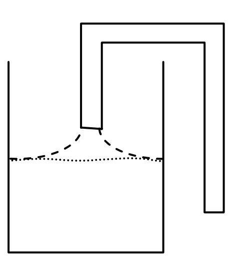
2)





3)





无管虹吸

Chapter 17　Oscillation　(振荡) 比较规则

Vibration　(振动) 包括不规则的

任何一个物理量

（$\vec{r}(t)$，$\vec{v}(t)$，$I(t)$，$V(t)$，$\theta(t)$，$\vec{E}(t)$，……）

↓

在任一个特定值附近

↓

往复（规则与非规则）变化

↓

振动，振荡

力学所研究的振动通常是偏离稳定平衡后的一种往复运动！

稳定平衡

↓

势能极小点

↓

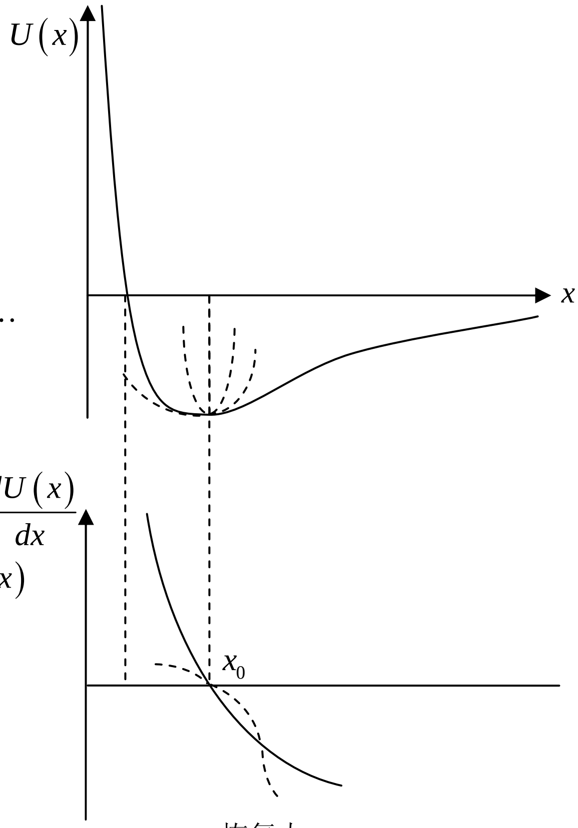
有恢复力（力方向与位移方向相反）

↓

1) 弹簧—物块系统
2) 单摆
3) 行星运动
4) 分子振动

保守系统中：

x_0 平衡点



$$U(x)=U(x_0)+\frac{U'(x_0)}{1!}(x-x_0)+\frac{U''(x_0)}{2!}(x-x_0)^2$$

$$+\frac{U'''(x_0)}{3!}(x-x_0)^3+\cdots+\frac{U^{(n)}(x_0)}{n!}(x-x_0)^n+\cdots$$

$(x-x_0)$ 小量，忽略高阶小量

$$\approx U(x_0)+\frac{U''(x_0)}{2!}(x-x_0)^2$$

$$F=-\frac{dU(x)}{dx}$$
$$=-U'(x)$$

$$U(x)-U(x_0)\approx\underbrace{\frac{U''(x_0)}{2}}_{常量}(x-x_0)^2$$

$$f(x)\approx-\underbrace{U''(x_0)}_{常量}\underbrace{(x-x_0)}_{偏离平衡位置位移}$$

$$k=U''(x_0)$$

$$=-k\Delta x \qquad k=U''(x_0)$$

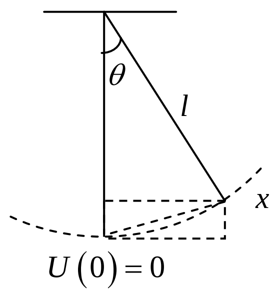
$$m\frac{d^2(\Delta x)}{dt^2}=-k\Delta x$$ 牛顿方程

这个方程解：$\Delta x=\Delta x_{\max}\cos(\omega t+\phi)$ $\omega=\sqrt{\frac{k}{m}}$ ，$\Delta x_{\max}$ 和 ϕ 由初始条件决定

简谐振动　有规律、规则的变化

这种振动的物理对象：谐振子

1) 单摆



$$U(\theta)=mg(l-l\cos\theta)$$

$$=2mgl\sin^2\frac{\theta}{2}$$

$$=\frac{mgl}{2}\theta^2$$

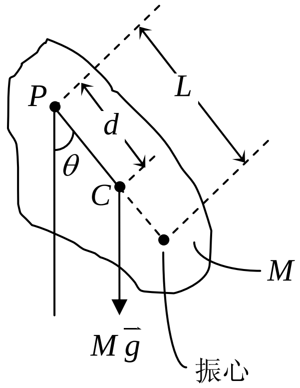
$$\frac{dU(\theta)}{dx}=\frac{dU(\theta)}{ld\theta}$$

$$=mg\theta$$

$$ml\frac{d^2\theta}{dt^2}=-mg\theta \qquad \frac{d^2\theta}{dt^2}=-\frac{g}{l}\theta$$

$$\omega=\sqrt{\frac{g}{L}}$$

2) 复摆



$$\alpha_z = \frac{d^2\theta}{dt^2} \qquad \tau_z = -Mgd\sin\theta \approx -Mgd\theta$$

$$I\alpha_z = \tau_z \qquad \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{Mgd}{I}\theta$$

$$\omega = \sqrt{\frac{Mgd}{I}} \qquad T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{Mgd}}$$

$\theta = \theta_m \cos(\omega t + \varphi)$ $\quad \theta_m$，φ 由初始条件决定

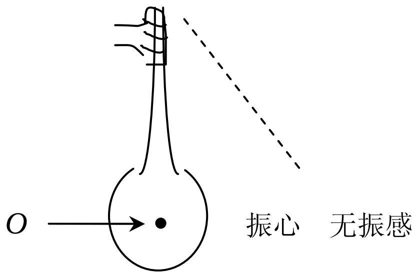
复摆等效成一个单摆： $T' = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{Mgd}}$

$$\Downarrow$$

$L = \frac{I}{Md}$ 等效为质量 M，长度为 L 的单摆

利用测刚体转动惯量

振心



冲力通过振心，无需横向力支持

不通过振心，有平动趋势，振感

物理量： A 随时间变化率的变化率 $\frac{d^2A}{dt^2}$

$$\downarrow$$

与该物理量的负值 $-A$ 成比例

$$\downarrow$$

$$\frac{d^2A}{dt^2} \propto -A$$

$$\downarrow$$

简谐振动、振荡

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x$$ 弹簧—物块系统

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$ 角频率

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi}$$ 频率

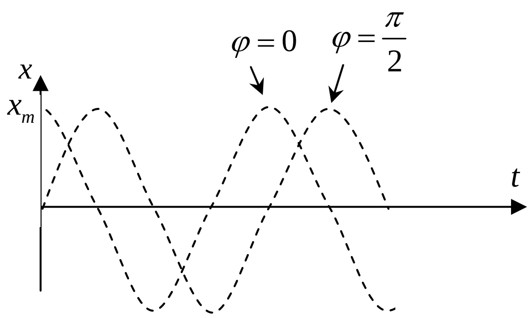
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{1}{\nu}$$ 周期　振动一次的时间

$$x = \underbrace{x_m}_{\text{振幅}} \cos\underbrace{\left(\omega t + \varphi\right)}_{\text{相角、相位}}$$

φ：初相角 φ　或初位相

x_m，φ　初始条件决定

ω　系统参数决定



$$v_x = -x_m\omega\sin\left(\omega t + \varphi\right)$$

$$a_x = -x_m\omega^2\cos\left(\omega t + \varphi\right)$$

相位

廿世纪物理学三大主旋律
1) 量子化
2) 对称性
3) 相位