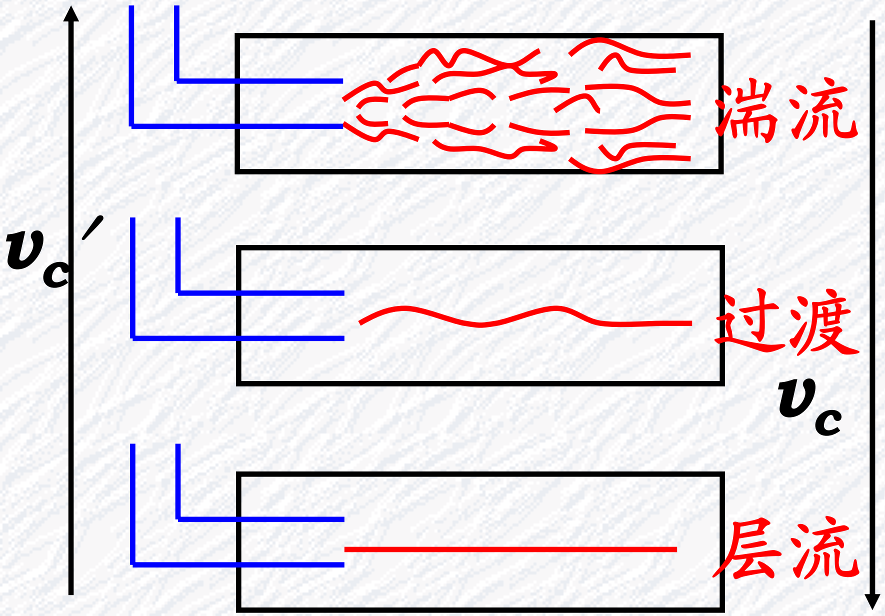
FangYi

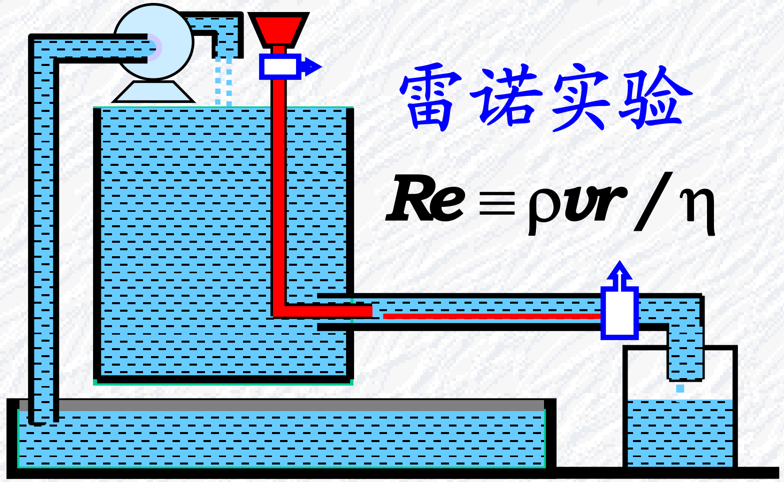
3.1黏性现象的宏观规律—力学不平衡

1° 牛顿黏性定律

(1) 层流与湍流



雷诺实验



$$Re \equiv \rho v r / \eta$$

层流：质点有规则的运动

$Re \le 2000$ 互不干扰互不混杂

湍流：质点混乱的运动

$Re > 2000$(圆管)

层→湍上临界：v_c'

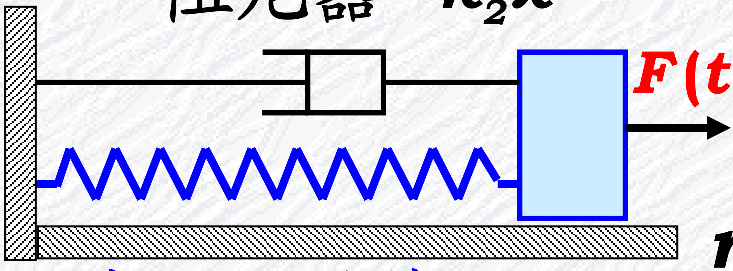
湍→层下临界：v_c

$v_c' > v_c \Longrightarrow$

- $v < v_c$　一定是层流
- $v > v_c'$　一定是湍流
- $v_c < v < v_c'$　可能层流可能湍流

*混沌与分形

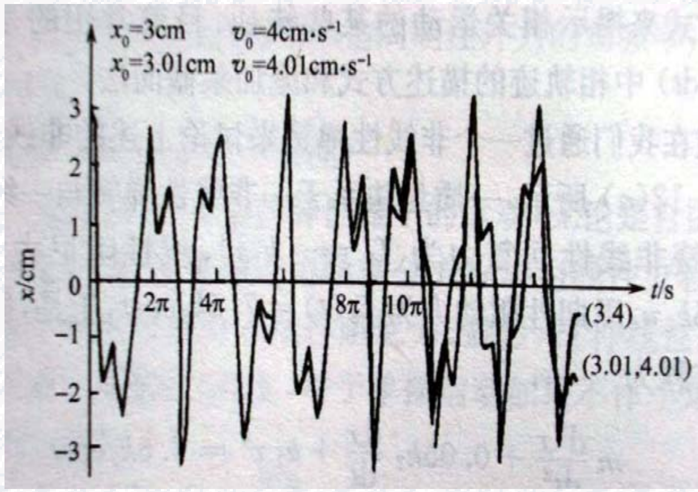
阻尼器 $-k_2\dot{x}$



$F(t)= k_3\cos t$

非线性弹簧 $-k_1x^3$

$$m\ddot{x} = -k_1x^3 - k_2\dot{x} + k_3\cos t$$



对初值依赖的敏感性——混沌

非线性系统内在随机性——混沌

理论上因果性

事实上随机性

并存于非线性系统

FangYi

混沌—现象

分形—方法

混沌—产生

分形—特征

自相似性
分数维数

混沌—特征 初值敏感

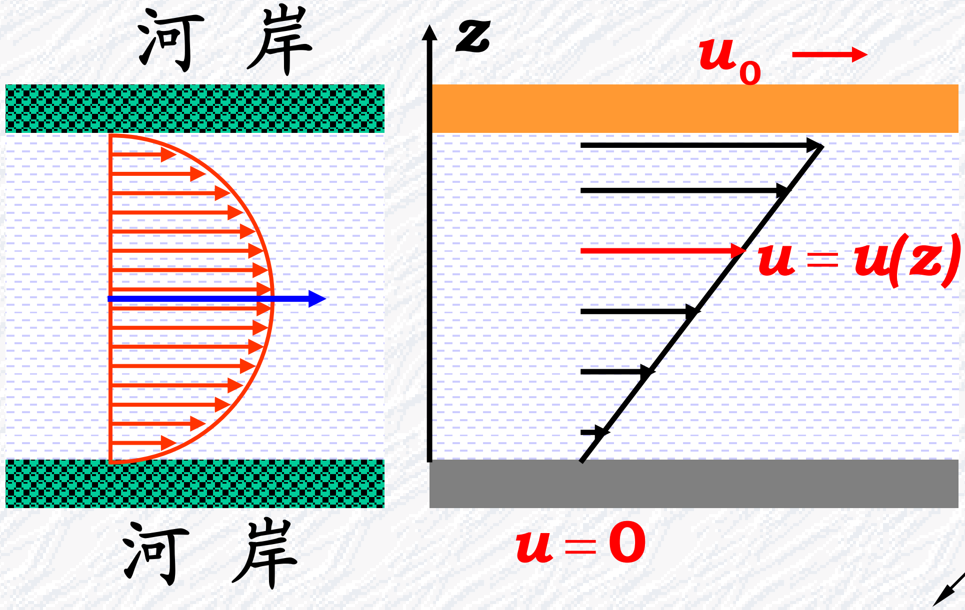
分形—形态

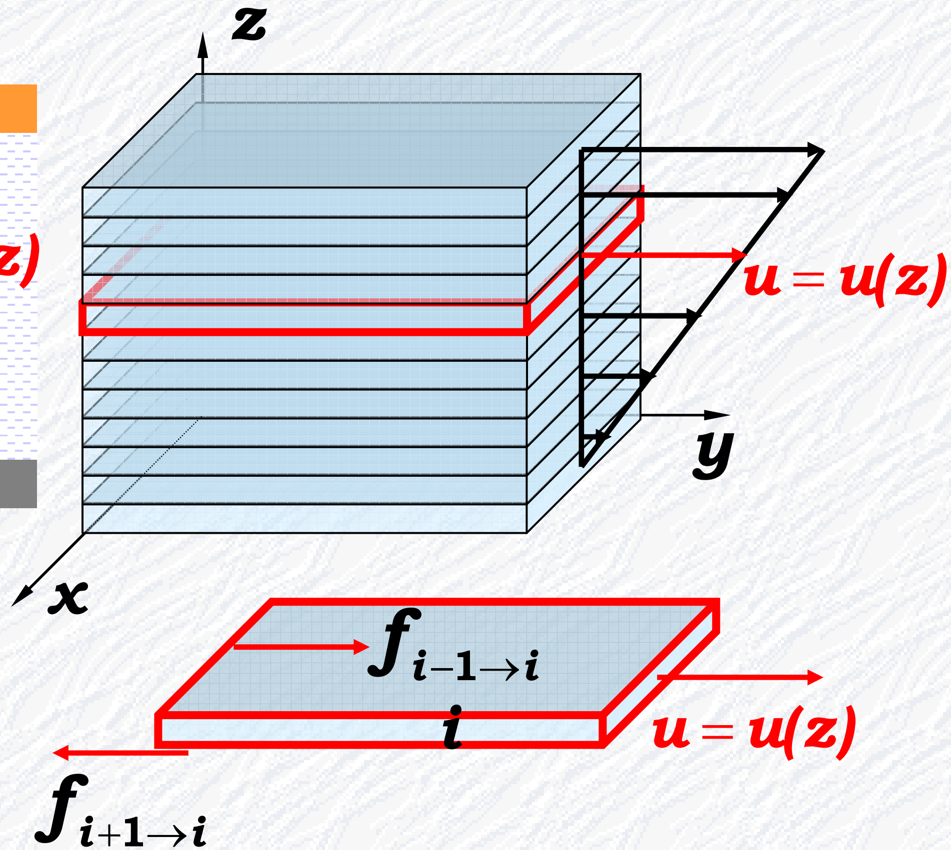
线　性
非线性
随机(统计)

混沌—结构 自相似性

分形—应用

(2) 稳恒层流中粘性现象





稳恒层流: 各层流速不变
层层间有梯度

微观机制: 微观热运动：使不同层间交换分子

→各层宏观定向运动快慢变化 $\begin{cases}快\to慢\\慢\to快\end{cases}$

力学语言：黏性力（内摩擦力）

FangYi

(3) 牛顿黏性定律:

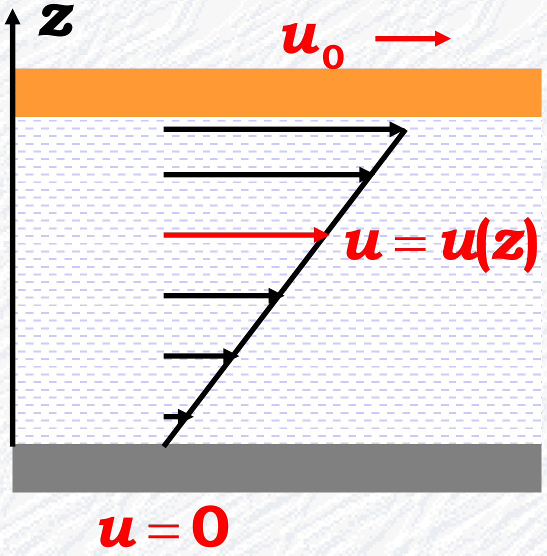
实验定律 $\boxed{f = -\eta \dfrac{du}{dz} A}$

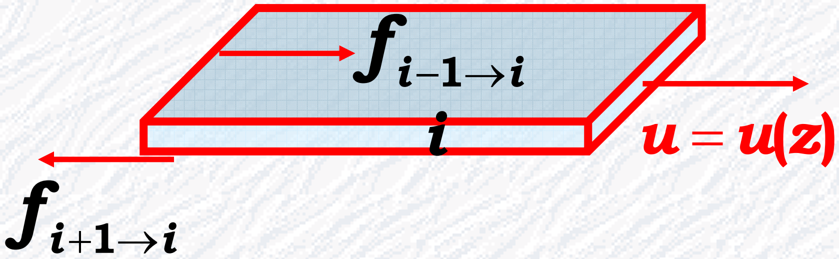
$$\eta_{液} = \eta_0 (1 + at + bt^2)^{-1}$$

$$a_{水} = 0.0337, b_{水} = 0.000221$$

$$\eta_{气} = \eta_0 \frac{273 + c}{T + c} \left(\frac{T}{273}\right)^{1.5}$$

t摄氏; T开氏





(4) 切向动量流密度:

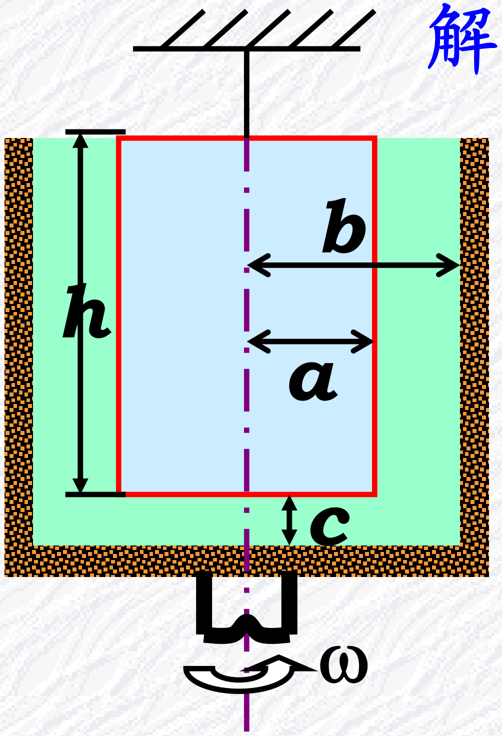
稳恒层流: 各层流速不变

$$f_{i+1\to i} = f_{i-1\to i} \equiv f$$

$$\left.\begin{aligned} f &= -\eta \frac{du}{dz} A \\ J_p &= \frac{dp}{dt}\frac{1}{A} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \boxed{J_p = -\eta \frac{du}{dz}}$$

FangYi

【例题1】同心圆筒粘度计$b-a<<a$，扭丝力矩M，求η



解：侧面力矩

$$\left.\begin{aligned} M_{侧} &= fa \\ f &= -\eta\frac{du}{dz}A \\ \frac{du}{dz} &= \frac{\omega b-0}{b-a} \\ A &= 2\pi ah \end{aligned}\right\}$$

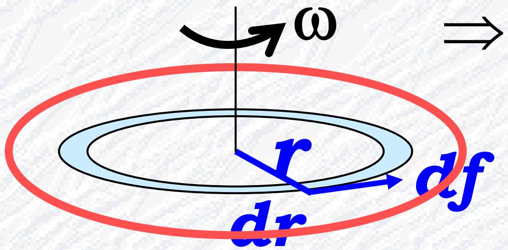
$$\Rightarrow M_{侧} = -\frac{2\pi a^2 bh\omega}{b-a}\eta$$

底面力矩

$$\left.\begin{aligned} dM_{底} &= rdf \\ df &= -\eta\frac{du}{dz}dA \\ \frac{du}{dz} &= \frac{\omega r-0}{c} \\ dA &= 2\pi rdr \end{aligned}\right\}$$

$$\Rightarrow \int_0^{M_{底}} dM_{底} = \int_0^a -\eta\frac{2\pi\omega}{c}r^3 dr$$

$$\Rightarrow M_{底} = -\frac{\eta\pi\omega a^4}{2c}$$

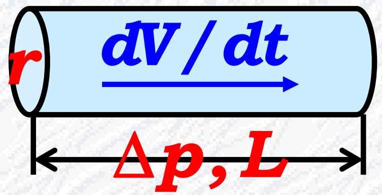


$$M = \left|M_{侧}\right| + \left|M_{底}\right| = \frac{2\pi a^2 bh\omega}{b-a}\eta + \frac{\pi\omega a^4}{2c}\eta \Rightarrow \eta = \frac{2M(b-a)c}{4\pi a^2 bch\omega + \pi\omega a^4(b-a)}$$

2° 泊肃叶定律

(1) 泊肃叶定律 –管两端压强与体积流率间关系

水平直圆管　小流量　层流



实验定律 $\boxed{\dfrac{dV}{dt}=\dfrac{\pi r^4\Delta p}{8\eta L}}$ 体积流率与管径_黏度_压强梯度有关

(2) 量纲分析法

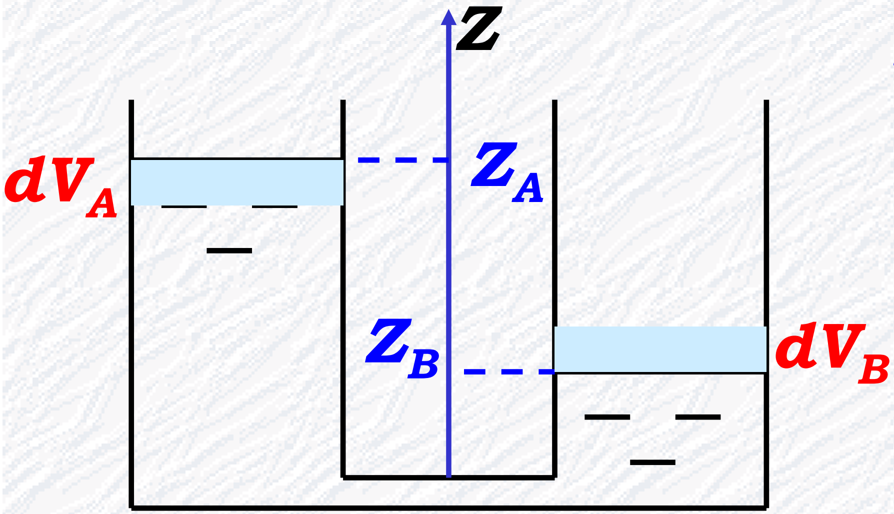
$$\frac{dV}{dt}\propto r^{\alpha}\eta^{\beta}\left(\frac{\Delta p}{L}\right)^{\gamma}\Rightarrow\left[\frac{dV}{dt}\right]=[r]^{\alpha}[\eta]^{\beta}\left[\left(\frac{\Delta p}{L}\right)\right]^{\gamma}$$

$$\boxed{f=-\eta\frac{du}{dz}A}$$

$$\Rightarrow L^3T^{-1}=L^{\alpha}(MT^{-1}L^{-1})^{\beta}(MT^{-2}L^{-2})^{\gamma}=L^{\alpha-\beta-2\gamma}M^{\beta+\gamma}T^{-\beta-2\gamma}$$

$$\Rightarrow\begin{cases}3=\alpha-\beta-2\gamma\\0=\beta+\gamma\\-1=-\beta-2\gamma\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}\alpha=4\\\beta=-1\\\gamma=1\end{cases}\Rightarrow\frac{dV}{dt}=\frac{\pi}{8}r^4\eta^{-1}\left(\frac{\Delta p}{L}\right)^1$$

【例题2】两圆柱半径a，用$L, r\,(\ll a)$细管连底部，液体ρ，η，求两边液面高度差降为原一半需t



$$dV_A = -dV_B < 0$$

(4) (2) 代入 (1)

(3) 代入 (5) 化简

解：

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta L} \qquad (1)$$

$$p_A - p_B = \rho g (z_A - z_B) \qquad (2)$$

$$V_A - V_B = \pi a^2 (Z_A - Z_B) \qquad (3)$$

$$dV_A - dV_B = -2dV \qquad (4)$$

$$-\frac{d(V_A - V_B)}{2dt} = \frac{\pi r^4 \rho g \Delta z}{8\eta L} \qquad (5)$$

$$\Rightarrow \int_H^{\frac{H}{2}} \frac{d\Delta z}{\Delta z} = \int_0^t -\frac{\rho g r^4}{4\eta L a^2} dt$$

$$\Rightarrow t = \frac{4\eta L a^2}{\rho g r^4} \ln 2$$

FangYi

(3) 类比法

流体力学$\leftrightarrow$电学

$\frac{dV}{dt} \leftrightarrow I(\frac{dq}{dt})$ $\Delta p \leftrightarrow U$ $R_F \leftrightarrow R$

$$\left.\begin{aligned} R_F &= \frac{\Delta p}{dV/dt} \\ \frac{dV}{dt} &= \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta L} \end{aligned}\right\} \Rightarrow R_F = \frac{8\eta L}{\pi r^4}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

流阻的串并联 串：$R_{F总} = \sum_i R_{Fi}$

并：$R_{F总}^{-1} = \sum_i R_{Fi}^{-1}$

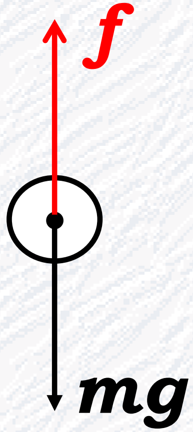
3° 斯托克斯定律

(1) 斯托克斯定律

$f = 6\pi\eta vR$　　适用条件：$Re < 1$

如果：$Re \sim 10^3 \sim 10^5 \xrightarrow{\text{与黏性无关}} f = 0.2\pi\rho R^2 v^2$

(2) 应用—云雾的形成



$$f = mg$$

$$\Rightarrow 6\pi\eta vR = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho g$$

收尾速度：$v_{max} = \dfrac{2\rho g R^2}{9\eta}$

3.2扩散现象的宏观规律—化学不平衡

1° 菲克定律

(1)扩散

粒子数密度不均匀
分子热运动

$$\left.\begin{array}{l}\text{粒子数密度不均匀}\\ \text{分子热运动}\end{array}\right\} \Rightarrow \text{高密度} \rightarrow \text{低密度}$$

(2)菲克定律

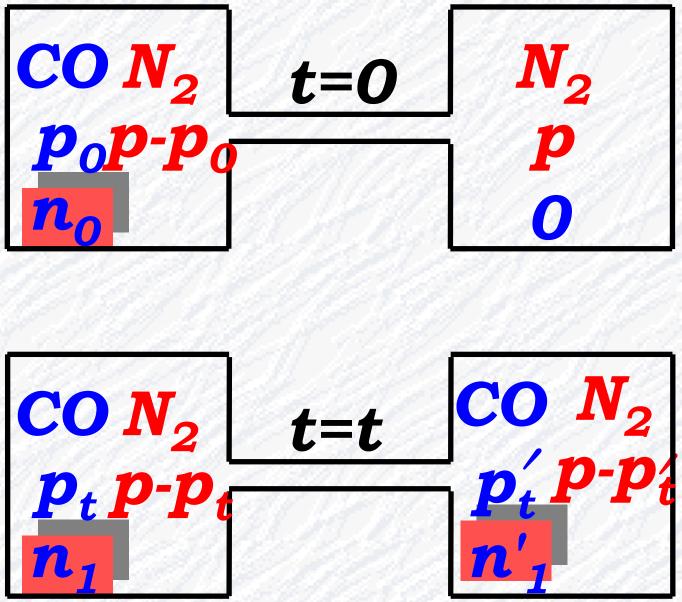
粒子流密度J_N：单位时间单位面积扩散的粒子数

$$\boxed{J_N = -D\frac{dn}{dz}} \Rightarrow J_N A m = -D\frac{dn}{dz}Am$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{dM}{dt} = -D\frac{d\rho}{dz}A}$$ 单位时间过A扩散的质量

【例题3】均为V两容器，用$L, A(<<V)$水平管连接，设CO向N_2、N_2向CO扩散系数均为D，求左边容器CO分压$p_{(t)}$

FangYi



解：菲克定律 $J_N = -D\dfrac{dn}{dz}$

$$\left.\begin{aligned} \frac{dn_1}{dt} &= -D\frac{n_1 - n_1'}{L\,V}A \\ n_1 + n_1' &= n_0 \end{aligned}\right\}$$

$$\Rightarrow \int_{n_0}^{n_{1(t)}} \frac{dn_1}{2n_1 - n_0} = -\frac{DA}{LV}\int_0^t dt$$

$$\left.\begin{aligned} \Rightarrow n_{1(t)} &= \frac{1}{2}n_0\left[1 + e^{-\frac{2DAt}{LV}}\right] \\ p &= nkT \end{aligned}\right\}$$

$$\Rightarrow p_{1(t)} = \frac{1}{2}p_0\left[1 + e^{-\frac{2DAt}{LV}}\right]$$

[思考]p, p_0已知，如何求右边容器N_2分压$p_{(t)}$

3.3热传导的宏观规律—热学不平衡

1° 傅立叶定律

(1)热传导

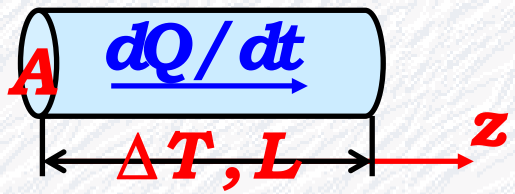
$$\left.\begin{array}{l}\text{温度分布不均匀}\\ \text{热量传递方向}\end{array}\right\}\Longrightarrow \text{高温}\rightarrow\text{低温}$$

(2)傅立叶定律

热流密度J_T: 单位时间单位面积流过的热量

$$\boxed{J_T = -\kappa \frac{dT}{dz}}$$

κ：热导系数



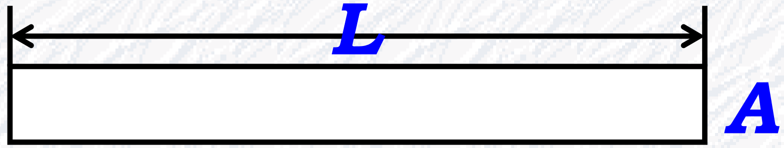
$$\boxed{\dot{Q} = -\kappa \frac{dT}{dz} A}$$

单位时间流过A的热量

FangYi

2° 热欧姆定律

类比法



热学↔电学

$I_T(\dot{Q}) \leftrightarrow I(\frac{dq}{dt})$ $\Delta U_T(-\Delta T) \leftrightarrow U$ $R_T \leftrightarrow R$

$$\boxed{\dot{Q} = -\kappa \frac{dT}{dz} A} \Rightarrow I_T = \kappa \frac{\Delta U_T}{L} A \Rightarrow I_T = \frac{\Delta U_T}{L/\kappa A}$$

$$\Rightarrow R_T = \frac{L}{\kappa A} = \frac{\rho_T L}{A}$$

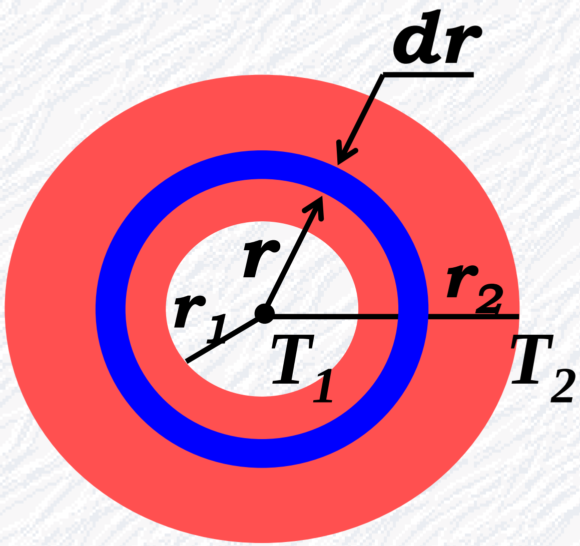
ρ_T：热阻率

热阻的串并联　串：$R_{T总} = \sum_i R_{Ti}$

并：$R_{T总}^{-1} = \sum_i R_{Ti}^{-1}$

FangYi

【例题4】均匀球壳内外表面保持T_1, T_2不变，求稳态时球壳温度$T_{(r)}$



解：对球壳$r \to r+dr$，温度$T \to T+dT$

应用傅立叶定律 $\boxed{\dot{Q} = -\kappa \dfrac{dT}{dz} A}$

稳　态 $\dot{Q} = c$

$$\Rightarrow \int dT = -\frac{c}{4\pi\kappa}\int \frac{dr}{r^2}$$

$$\Rightarrow T_{(r)} = \frac{A}{r} + B \quad \begin{cases} T_1 = \dfrac{A}{r_1} + B \\ T_2 = \dfrac{A}{r_2} + B \end{cases} \Longrightarrow \begin{cases} A = \dfrac{r_1 r_2 (T_1 - T_2)}{r_2 - r_1} \\ B = \dfrac{T_2 r_2 - T_1 r_1}{r_2 - r_1} \end{cases}$$

$$\Rightarrow T_{(r)} = \frac{r_1 r_2 (T_1 - T_2)}{r(r_2 - r_1)} + \frac{T_2 r_2 - T_1 r_1}{r_2 - r_1}$$

3.4辐射传热

1° 热辐射有关概念

(1) 热辐射 -与温度有关的辐射.

任何物体任何温度，因分子或原子受到热激发而向外辐射电磁波的现象.

(2) 辐射出射度M(总辐射本领) (W/m^2)

单位时间单位面积各种波长总辐射能

(3) 吸收本领$\alpha(\lambda,T)$：吸收能量/入射能量

(4) 反射本领$\rho(\lambda,T)$：反射能量/入射能量

不透明物体$\alpha(\lambda,T)+\rho(\lambda,T)=1$

固体温度升高时颜色的变化

(5) 辐射本领与吸收本领的关系

各物体辐射本领/吸收本领=常量

吸收本领大的物体，辐射本领大

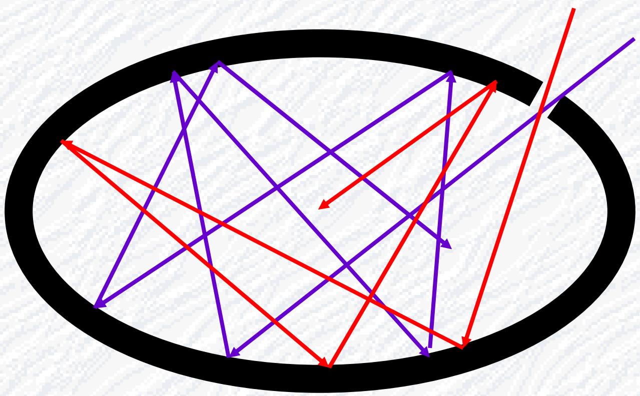
(6) 绝对黑体：任意T，对任意λ，$\alpha(\lambda, T)\equiv 1$的物体

无反射

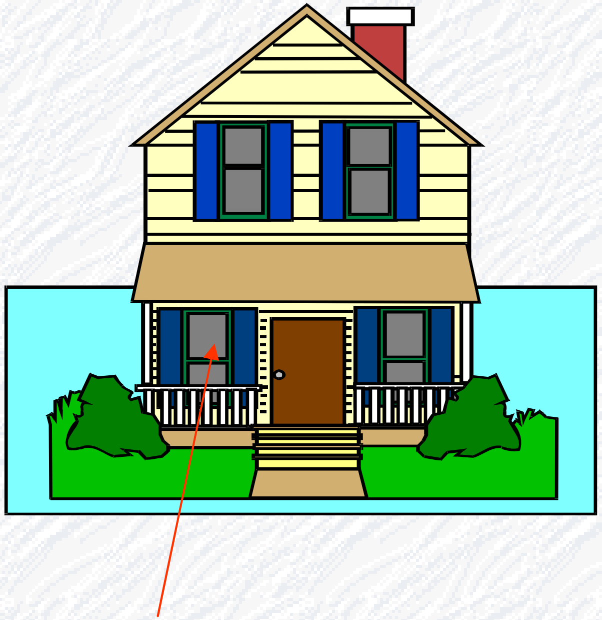
无透射

$$\boxed{M = \alpha\sigma T^4}$$

$\sigma = 5.699\times 10^{-8}$SI



不透明空腔小孔



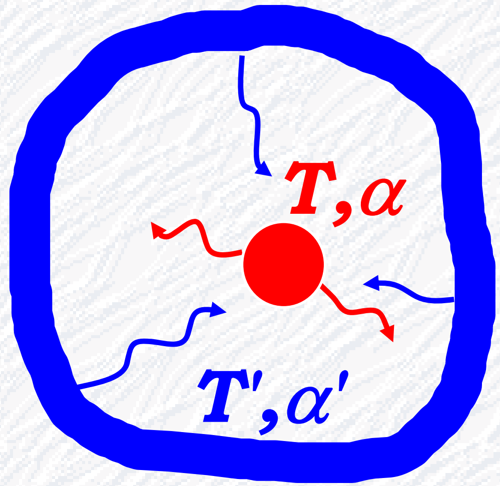
白天开窗的室内

煤炭$\alpha(\lambda, T)$=99%

2° 热辐射有关现象

(1) 温室防热辐射

(2) 空腔热辐射



空腔出射度 $M' = \alpha' \sigma T'^4$

物体辐照度 $E = M'$

物体吸收辐照能量 αE

物体出射度 $M = \alpha \sigma T^4$

→物体净能流密度 $\boxed{J_T = \alpha \alpha' \sigma T'^4 - \alpha \sigma T^4}$

小物体空腔辐射传热

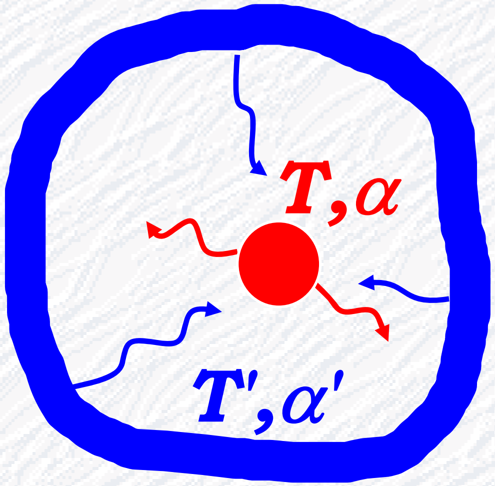
FangYi

(3) 人体热辐射

人 $\alpha \approx 1$ 空腔环境 $\alpha' \approx 1$

人体得到热辐射净功率

$$\left.\begin{array}{l} p = J_T A = \sigma(T'^4 - T^4)A \\ T' = 293K \quad T = 306K \\ A = 1.7m^2 \end{array}\right\}$$



物体净能流密度

$$\boxed{J_T = \alpha\alpha'\sigma T'^4 - \alpha\sigma T^4}$$

$$\Rightarrow \left|\begin{array}{l} p = -135W \\ \quad + \\ p_{基础} = -81W \end{array}\right| \Bigg\} > p_{食物} = 121W$$

小物体空腔辐射传热

FangYi

3.5对流传热

1° 自然对流

(1) 概念 借助于流体重力流动传热($\rho_{高温} < \rho_{低温}$)

(2) 示例- 空调强迫对流,太阳能热水器

2° 牛顿冷却定律

(1) 牛顿冷却定律

$$\dot{Q} = hA(T - T_0)$$

T:热源温度

T_0:环境温度

A: 热源表面积

h: 热适应系数_与散热面取向有关

$$h_{面向上} > h_{面的法向水平} > h_{面向下}$$

(2) 集成电路散热

FangYi

【例题5】热容C物体处于T_0环境，以功率p_0加热，物体能达到最高T_1，漏热服从牛顿冷却定律，停止加热，物体从T_1降为$(T_1+T_0)/2$需t?

解：以p_0提供物体能量=物体向环境漏热时

物体达到最高温度，温度不再升高

$$\left.\begin{aligned} &\dot{Q} = hA(T - T_0) \\ &p_0 = -\dot{Q}\Big|_{T=T_1} = -hA(T_1 - T_0) \\ &dQ = CdT \end{aligned}\right\} \Rightarrow \int_0^t dt = -\frac{C(T_1 - T_0)}{p_0}\int_{T_1}^{\frac{T_1+T_0}{2}} \frac{dT}{T - T_0}$$

$$\Rightarrow t = \frac{T_1 - T_0}{p_0} C \ln 2$$

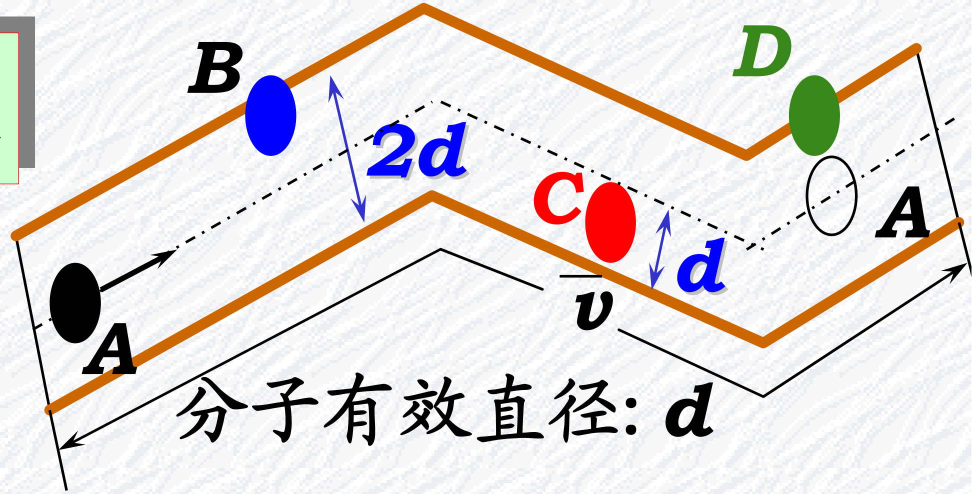
FangYi

3.6气体分子的平均自由程

1°平均碰撞频率 $\overline{z}$

(1) 概念: 一分子每秒与其它分子碰撞的统计平均次数

(2) 表达式: $\overline{z}=\sqrt{2}\pi d^2\overline{v}n$



A分子以$\overline{v}$运动，
其它分子不动.

每秒分子的路程$\overline{v}$

凡中心位于管内的分子都将与A分子碰撞

曲圆柱体积 $\pi d^2\overline{v}$　相应碰撞次数　$\pi d^2\overline{v}n$

考虑其它分子运动，碰撞次数修正系数为 $\sqrt{2}$

*散射截面(碰撞截面) σ　同种分子 $\sigma = \pi d^2$

FangYi

不同分子 $\sigma = \pi(\frac{d_1 + d_2}{2})^2$

d:分子碰撞的有效直径　$t\uparrow \to E_{k0}\uparrow \to r$轴上移$\uparrow \to d\downarrow$

r_0:两分子刚接触其质心间距,称为分子直径 r_0与t无关

2°平均自由程

(1) 自由程λ:分子在连续两次碰撞之间自由走过的路程

(2) 平均自由程$\bar{\lambda}$:自由程的统计平均值

(3) 表达式:

$$\boxed{\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}n\sigma}} \xrightarrow{p=nkT} \boxed{\bar{\lambda} = \frac{kT}{\sqrt{2}\sigma p}}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}t}{\bar{z}t} = \frac{\bar{v}}{\sqrt{2}\pi d^2 \bar{v} n} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n}$$

FangYi

【例题6】空气平均分子量29, d=3.5×10^{-10} m

求标况空气分子平均自由程、平均碰撞频率

解: $\bar{\lambda} = kT/(\sqrt{2}\pi d^2 p)$

$$= \frac{1.38\times10^{-23}\times273.15}{\sqrt{2}\pi\times(3.5\times10^{-10})^2\times1.013\times10^5}$$

$$= 6.98\times10^{-8}\,m$$

$$\bar{z} = \bar{v}/\bar{\lambda} = \sqrt{8RT/(\pi M)}\,/\,\bar{\lambda}$$

$$= \sqrt{\frac{8\times8.31\times273.15}{\pi\times29\times10^{-3}}}\,/(6.98\times10^{-8})$$

$$= 6.5\times10^9/S = 65\text{亿次}/s$$

[讨论题] 一定量某理气, 等容使T→4T;
再等温使V→4V, 则分子平均Z
是原频率的 ___1/2___ 倍。

$$p_1V_1T_1 \xrightarrow[\text{等容}]{\frac{p}{T}=const} 4p_1V_14T_1 \xrightarrow[\text{等温}]{pV=const.} p_14V_14T_1$$

解: $\bar{Z}=\sqrt{2}n\pi d^2\bar{v}=\sqrt{2}(N/V)\pi d^2\sqrt{8RT/(\pi M)}=c\sqrt{T}/V$

$$\Rightarrow \bar{Z}_3=c\sqrt{T_3}/V_3=c\sqrt{4T_1}/(4V_1)=\bar{Z}_1/2$$

FangYi

[讨论题]p一定的某理气，(A)$\bar{Z}$与T无关 (B)$\bar{Z} \propto \sqrt{T}$

(C)$\bar{Z} \propto \dfrac{1}{\sqrt{T}}$ √　(D)$\bar{Z} \propto T$

解：$\bar{Z} = \sqrt{2} n\pi d^2 \bar{v} = \sqrt{2}\dfrac{p}{kT}\pi d^2 \sqrt{\dfrac{8RT}{\pi M}} \propto \dfrac{1}{\sqrt{T}}$

FangYi

3.7气体输运

1°气体输运系数

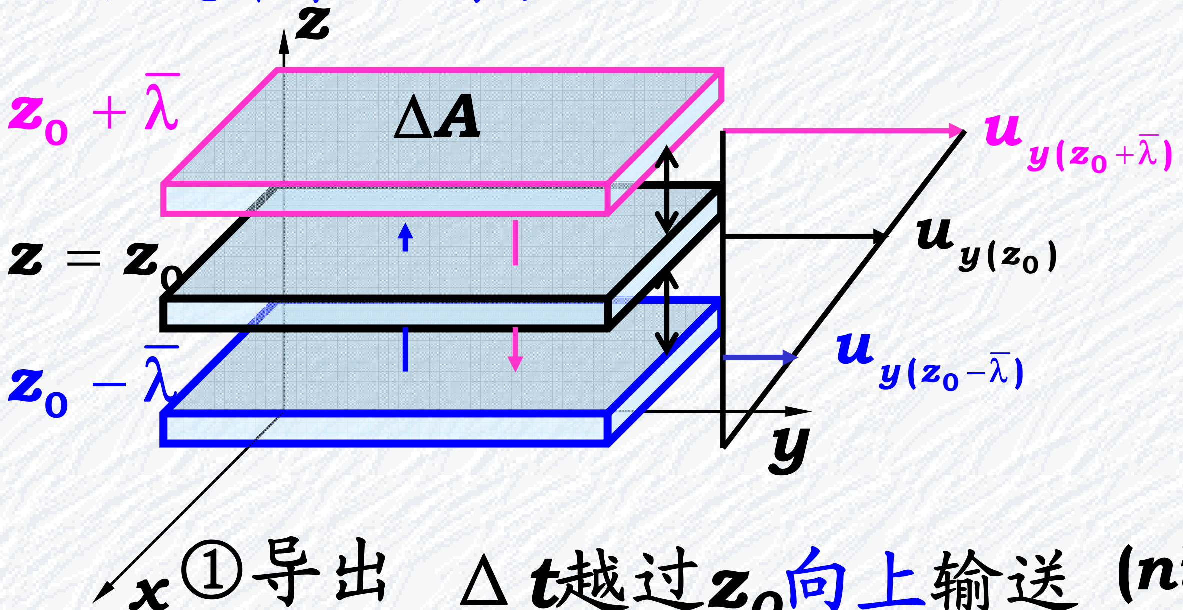
输运微观本质：分子热运动

输运宏观结果：输运宏观物理量(动量,质量,能量)

输运问题讨论条件：近平衡的非平衡过程

足够稀薄又不是真空

(1) 气体黏性系数



①导出　Δt越过z_0向上输送 $(n\bar{v}/6)\Delta A\Delta t\, m u_{y(z_0-\bar{\lambda})}$

Δt越过z_0向下输送 $(n\bar{v}/6)\Delta A\Delta t\, m u_{y(z_0+\bar{\lambda})}$

沿速度增方向净输送

$$\left.\begin{aligned} u_{y(z_0+\bar{\lambda})} &= u_{y(z_0)} + \frac{\partial u_y}{\partial z}\bar{\lambda} \\ u_{y(z_0-\bar{\lambda})} &= u_{y(z_0)} - \frac{\partial u_y}{\partial z}\bar{\lambda} \end{aligned}\right\} \Longrightarrow \left\{\begin{aligned} & f\Delta t = (n\bar{v}/6)[m u_{y(z_0-\bar{\lambda})} - m u_{y(z_0+\bar{\lambda})}]\Delta A\Delta t \\ & u_{y(z_0-\bar{\lambda})} - u_{y(z_0+\bar{\lambda})} = -2(\partial u_y/\partial z)\bar{\lambda} \\ & f = -\eta\frac{du}{dz}A \end{aligned}\right.$$

$$\Rightarrow \boxed{\eta = \frac{1}{3}nm\bar{v}\bar{\lambda}}$$

FangYi

②讨论

$$\left.\begin{array}{l}\eta=\dfrac{1}{3}nm\bar{v}\bar{\lambda}\\ \bar{\lambda}=\dfrac{1}{\sqrt{2}n\sigma}\end{array}\right\}\Rightarrow\eta=\dfrac{m\bar{v}}{3\sqrt{2}\sigma}$$

$$\left.\begin{array}{l}\eta=\dfrac{m\bar{v}}{3\sqrt{2}\sigma}\\ \bar{v}=\sqrt{\dfrac{8kT}{\pi m}}\end{array}\right\}\Rightarrow\eta=\frac{2}{3\sigma}\sqrt{\frac{km}{\pi}}T^{\frac{1}{2}}\propto\frac{T^{0.5}}{\sigma}$$ 与n无关

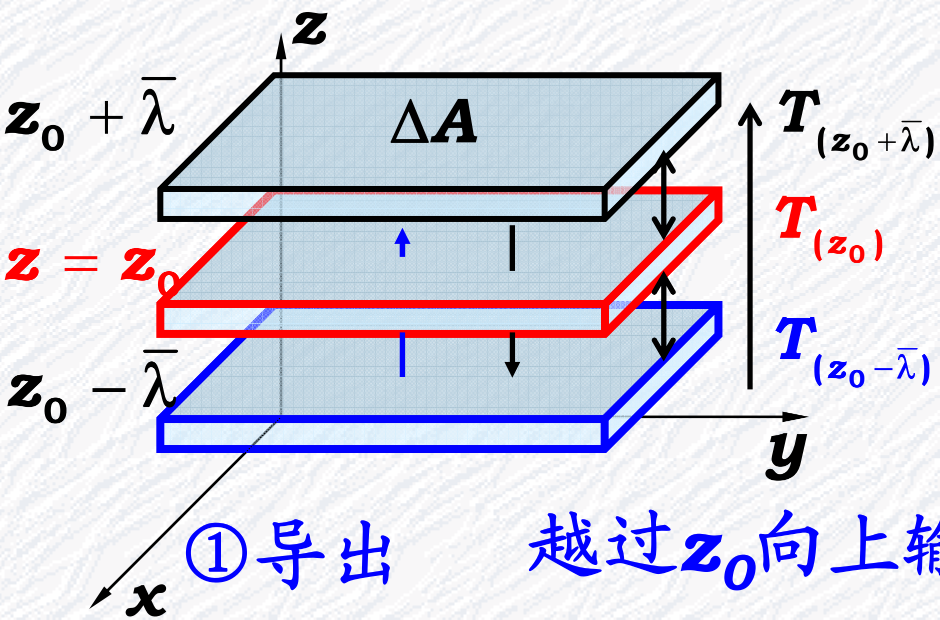
刚　性　球：$\sigma=\text{const.}\ \rightarrow\eta\propto T^{0.5}$

非刚性球：$\sigma\neq\text{const.}\rightarrow\eta\propto T^{0.7}$

由实验得T时η求出σ

(2) 气体热传导系数

FangYi



①导出　越过z_0向上输送 $\bar{\varepsilon}_{(z_0-\bar{\lambda})}$

越过z_0向下输送 $\bar{\varepsilon}_{(z_0+\bar{\lambda})}$

单位时间单位面积透热

$$\begin{cases} J_T = (n\bar{v}/6)[\bar{\varepsilon}_{(z_0-\bar{\lambda})} - \bar{\varepsilon}_{(z_0+\bar{\lambda})}] \\ \bar{\varepsilon}_{(z_0-\bar{\lambda})} - \bar{\varepsilon}_{(z_0+\bar{\lambda})} = -2(\partial\bar{\varepsilon}/\partial z)\bar{\lambda} \\ C_V = \partial(N_A\bar{\varepsilon})/\partial T \end{cases}$$

$$\left.\begin{aligned} \bar{\varepsilon}_{(z_0+\bar{\lambda})} &= \bar{\varepsilon}_{(z_0)} + \frac{\partial\bar{\varepsilon}}{\partial z}\bar{\lambda} \\ \bar{\varepsilon}_{(z_0-\bar{\lambda})} &= \bar{\varepsilon}_{(z_0)} - \frac{\partial\bar{\varepsilon}}{\partial z}\bar{\lambda} \end{aligned}\right\}$$

$$\Rightarrow J_T = -\frac{1}{3}n\bar{v}\bar{\lambda}\frac{C_V}{N_A}\frac{\partial T}{\partial Z} \Rightarrow \boxed{\kappa = \frac{1}{3}n\bar{v}\bar{\lambda}\frac{C_V}{N_A}}$$

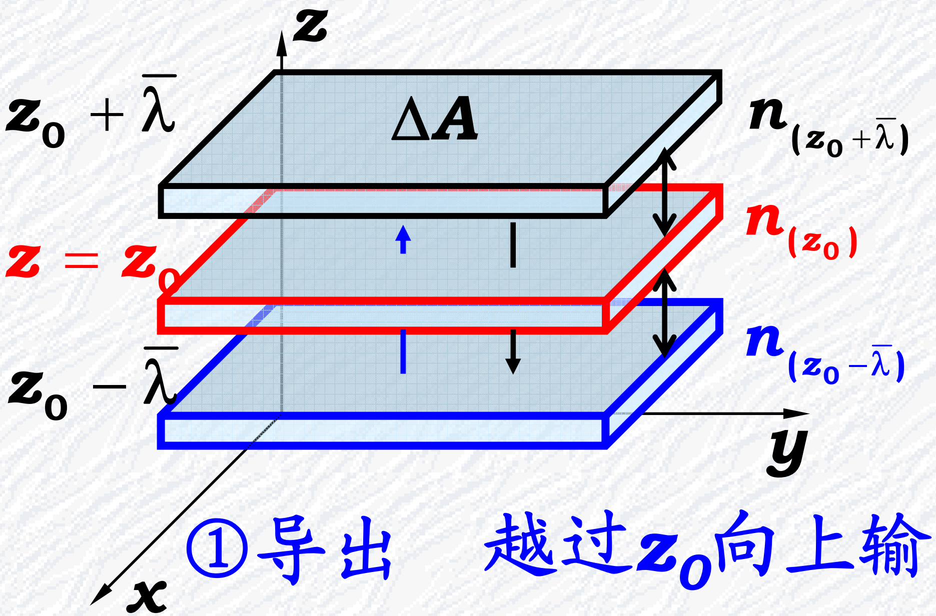
②讨论

$$\left.\begin{aligned} \kappa &= \frac{1}{3} n\bar{v}\bar{\lambda}\frac{C_V}{N_A} \\ \bar{\lambda} &= \frac{kT}{\sqrt{2}\sigma p} \\ \bar{v} &= \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \kappa = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{km}{\pi}}\frac{C_V}{M_m}\frac{T^{0.5}}{\sigma}$$

刚性球: σ=const. →$\kappa \propto T^{0.5}$, 与n无关

(3)气体扩散系数

FangYi



①导出

越过z_0向上输送$n_{(z_0-\bar{\lambda})}\bar{v}/6$

越过z_0向下输送$n_{(z_0+\bar{\lambda})}\bar{v}/6$

单位时间单位面积净输运

$$\left.\begin{aligned} n_{(z_0+\bar{\lambda})} &= n_{(z_0)} + \frac{\partial n}{\partial z}\bar{\lambda} \\ n_{(z_0-\bar{\lambda})} &= n_{(z_0)} - \frac{\partial n}{\partial z}\bar{\lambda} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left\{\begin{aligned} J_N &= (\bar{v}/6)[n_{(z_0-\bar{\lambda})} - n_{(z_0+\bar{\lambda})}] \\ n_{(z_0-\bar{\lambda})} - n_{(z_0+\bar{\lambda})} &= -2(\partial n/\partial z)\bar{\lambda} \\ J_N &= -D\frac{dn}{dz} \end{aligned}\right.$$

$$\Rightarrow \boxed{D = \frac{1}{3}\bar{v}\bar{\lambda}}$$

②讨论

$$\left.\begin{aligned} D &= \frac{1}{3}\bar{v}\bar{\lambda} \\ \bar{\lambda} &= \frac{kT}{\sqrt{2}\sigma p} \\ \bar{v} &= \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \end{aligned}\right\} \Rightarrow D = \frac{2}{3\sigma p}\sqrt{\frac{(kT)^3}{\pi}}\frac{1}{m^{1/2}}$$

刚性球且p, T=const. $\rightarrow D \propto m^{-0.5}$

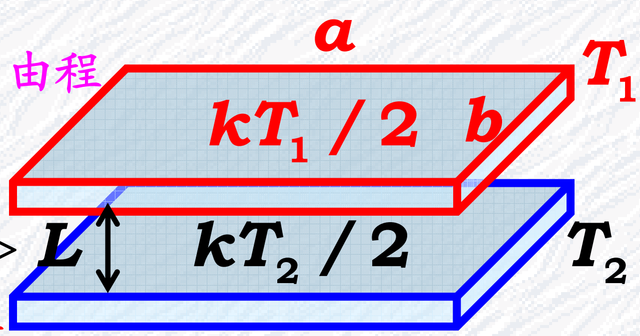
2°稀薄气体输运

FangYi

(1) 稀薄气体热传导 $\bar{\lambda} >> L$ 分子与器壁平均自由程

单位t单位面积平板上传递的能量

$\bar{\lambda} >> L$



$L << a(or\ b)$

$$J_T = -\frac{1}{6} n\bar{v} \cdot \boxed{\frac{1}{2} ik(T_1 - T_2)}$$

一个分子在两器壁间来回碰一次传递平均能量

$$J_T = -\kappa'(T_1 - T_2) / L$$

$$L = \bar{\lambda}_{分子器壁}$$

$$\frac{1}{2} ik = C_V / N_A$$

$$\rho = nm \qquad p = nkT$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$$

$$\Rightarrow \kappa' = \frac{1}{6} \rho \bar{v} \bar{\lambda}_{分子器壁} \frac{C_V}{M_m}$$

超高真空气体传热系数

$$\Rightarrow \kappa = \frac{1}{3} \rho \bar{v} \bar{\lambda}_{分子分子} \frac{C_V}{M_m}$$

气体传热系数

$$\Rightarrow J_T \propto p T^{-1/2} (T_1 - T_2)$$

T一定，超高真空气体单位t单位面积平板上传递热 $\propto p$

(2) 示例—杜瓦瓶

①超高真空夹层(热传导、对流)

②镀银内壁(热辐射)

现代的杜瓦瓶是苏格兰物理学家和化学家詹姆斯-杜瓦爵士发明的。

1892年，杜瓦设计出将玻璃吹制一个特殊的玻璃瓶。这是一个双层玻璃容器，两层玻璃胆壁都涂满银，然后把两层壁间的空气抽掉，形成真空。两层胆壁上的银可以防止辐射散热，真空能防止对流和传导散热，因此盛在瓶里的液体，温度不易发生变化。

后来，人们用镍制造外壳，保护易碎的玻璃瓶胆。起初，这种杜瓦瓶仅在实验室、医院和探险队中使用，以后在野餐或乘火车时也使用起来，最后逐步进入家庭。

社会物理学简介

应用自然科学(以物理学为核心)的思路、概念、原理和方法，经过有效拓展、合理融汇和理性修正，用来揭示、模拟、移植、解释和寻求社会行为规律和经济运行规律的交叉性学科。

社会物理学对于现实问题的探索，通常遵从一定的思考模式，并具有较严格的逻辑推演，在寻求机制的过程中形成了如下的基本认知框架:

(1)承认系统(无论自然、人文、社会) 无一例外地随时、空呈现出“差异”的绝对性;

(2)只要存在各种“差异”，必然产生广义的“梯度”;

(3)只要存在广义的“梯度”，必然产生广义的“力”;

(4)只要存在广义的“力”，必然产生广义的“流”;

“差异”→“梯度”→“力”→“流”

社会物理学着重探索广义“流”的存在形式、演化方向、行进速率、表现强度、相互关系、响应程度、反馈特征及其敏感性、稳定性，从而刻划“自然—社会—经济”复杂巨系统的时空行为和运行轨迹，寻求其内在机制和调控要点，在计算机等辅助工具的支持下，有效地服务于政治、经济、军事、社会等重大问题的决策与管理。