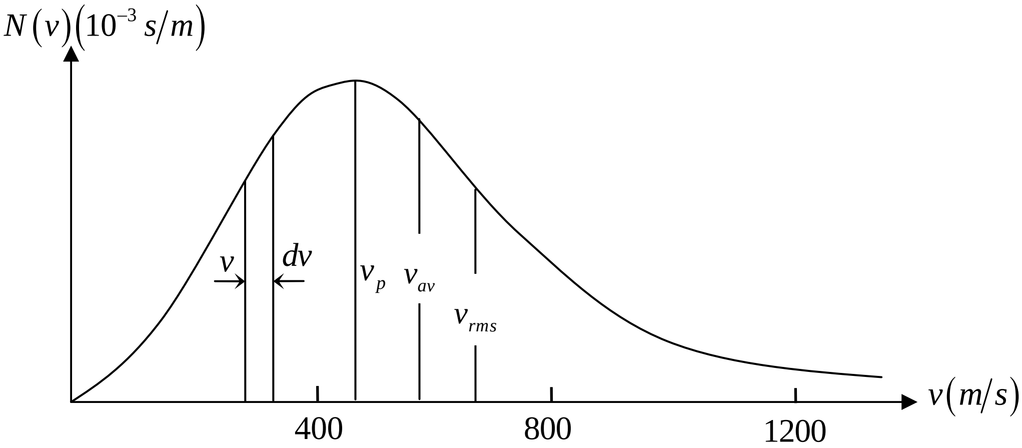
第 28 次课_分子速率,能量分布函数_温度-平动动能_几个特定速率_热力学第一定律_热量_功_内能_2007.12.14



$N(v)$ 是 v 的函数 $\longrightarrow$ ~~具有速率 v 的分子个数~~ $\longrightarrow$ 否则分子个数 $\rightarrow \infty$ ×

$N(v)dv \longrightarrow$ 分子速率在 v 到 $v+dv$ 区间内的分子个数

$N=\int_0^\infty N(v)dv$ $\qquad$ $N(v)\sim T \quad T\uparrow \quad N(v)$ 变化

但 $N=\int_0^\infty N(v)dv$ 不随温度变化

讨论：$T\uparrow$ 或 $m\uparrow$，速率分布函数如何变化？？

1) 最可几速率：$v_p=\sqrt{\dfrac{2kT}{m}}=\sqrt{\dfrac{2RT}{M}}$ $\qquad R=N_A\cdot k \quad \left(\dfrac{dN}{dv}=0\rightarrow v_p\right)$

$M=N_A\cdot m$ 摩尔质量

2) 平均速率：$v_{av}=\dfrac{\int_0^\infty vN(v)dv}{\int_0^\infty N(v)dv}=\dfrac{1}{N}\int_0^\infty vN(v)dv=\sqrt{\dfrac{8kT}{\pi m}}=\sqrt{\dfrac{8RT}{\pi M}}$

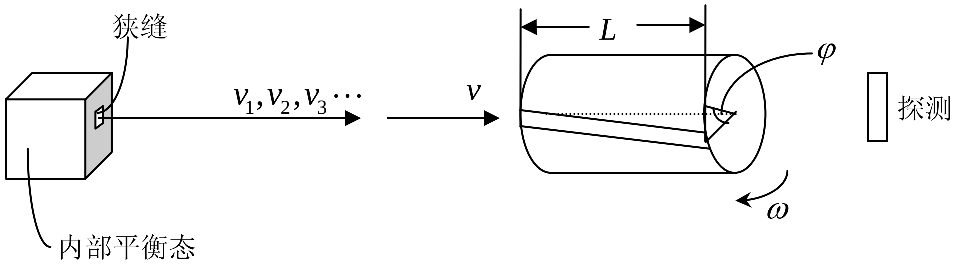
3) 方均根速率：$v_{rms}=\sqrt{\left(v^2\right)_{av}}=\sqrt{\dfrac{1}{N}\int_0^\infty v^2N(v)dv}=\sqrt{\dfrac{3kT}{m}}=\sqrt{\dfrac{3RT}{M}}$

4) 分子平均动能：$K=\dfrac{1}{2}m\left(v^2\right)_{av}=\dfrac{3}{2}kT$ (与前面物态方程＋压强公式推导一致)

用速率分布函数解释：
1) 水面结冰
2) 蒸发制冷（汽化热）
3) ……

麦克斯韦速率分布 的实验验证

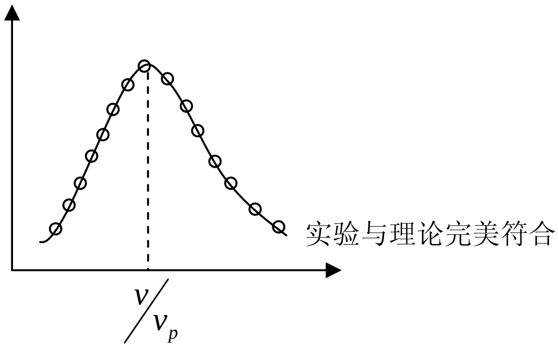
1860 (1920, 1955)



$$t = \frac{L}{v} = \frac{\varphi}{\omega} \Rightarrow v = \frac{L\omega}{\varphi}$$

L，φ 是固定参量

调整 ω，$\rightarrow$ 不同速率的分



分子能量分布：（只考虑分子具有平动动能）

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \longrightarrow v = \sqrt{2mE}$$

$v \quad \sim \quad v + \Delta v$ 区间分子数目

$\frac{1}{2}mv^2 \quad \frac{1}{2}m(v+\Delta v)^2 \quad ||$

$\downarrow \qquad \downarrow$

$E \quad \sim \quad E + \Delta E$ 区间分子数目

$$\underbrace{N(v)dv = N(E)dE}$$

$$N(E) = \frac{N(v)}{dE/dv} = \frac{N(v)}{mv}$$

$$N(E) = \frac{2N}{\sqrt{\pi}} \frac{1}{(kT)^{3/2}} E^{1/2} \underbrace{e^{-E/kT}}$$ （麦克斯韦—玻尔兹曼分布）

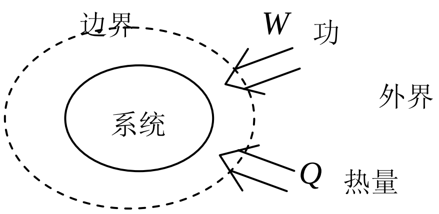
玻尔兹曼因子，其中 E 可以是其它能量形式

平均能量： $E_{av} = \int_0^\infty EN(E)dE/N = \frac{3}{2}kT$

最可几能量： $\frac{dN(E)}{dE} = 0 \longrightarrow$ 峰值能量 $E_p = \frac{1}{2}kT$

实际气体的物态方程 与 分子间力 （自修）

Chapter 23　The First Law of Thermodynamics



$Q>0$ 系统从外界吸收热量

$W>0$ 外界对系统做功

系统的内能：$\Delta E_{int} = Q + W$

ΔE_{int} → 动能＋势能＋⋯

$\underbrace{\text{热量}\quad\text{功}}_{\text{外界}}$

$\underbrace{\text{动能＋势能＋⋯}\quad\text{外界}}_{}$

热力学第一定律：能量守恒定律

1. Q　**2.** W　**3.** E_{int}

1. 热量 Q：能量的传输

	热量	温度	内能	
在热学中，人们往往对	Q	T	E_{int}	三个概念混淆不清
简单类比 重力做功	W	h	U	
	功	高度	重力势能	
	过程量	状态量		

热量 Q：外界与系统（或体系）的温度不同所产生它们之间的能量传输

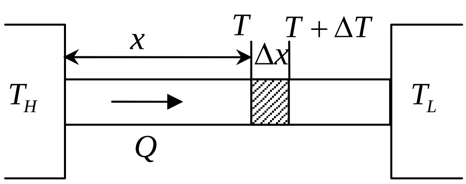
热量 Q 传输的三种方式： 1)　热传导

2)　对流

3)　热辐射

1)　热传导：（接触传导）

$T_H > T_L$



热量在微元Δx两边的传导速率（单位时间传输的热量） $H(x)$

$$H(x)=\frac{dQ}{dt} \quad \propto \quad A\cdot\frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \sim \quad A\frac{dT}{dx}$$

$$=-kA\frac{dT}{dx}$$ 负号表示Q从高T流向低T，与梯度方向相反

物理量随空间位置变化而产生的变化量

- 温度梯度（温度随空间位置变化而产生的变化量）
- “电场梯度”
- “电势梯度”
- “速度梯度”　差别（空间）$\longrightarrow$ 流动
- “速度梯度”
- “浓度梯度”
- ……

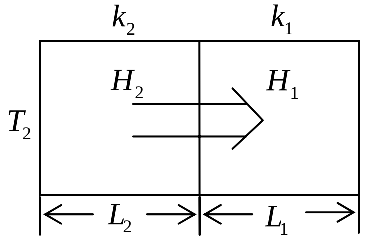
k 热导率 （$W/m\cdot K$）

		k（$W/m\cdot K$）
Metal:	Al	235
	Cu	401
	Ag	428
	不锈钢	14 （金属中的低热导材料）
无机：	玻璃	1.0
	混凝土	0.8
气体：	空气	0.026
	He	0.15
	H_2	0.18

热阻：$R=\frac{L}{k}$ —— L：热量传递经过的距离；k：热导率

$$R=\frac{L}{k}\quad H=-\frac{A(T_H-T_L)}{L/k}=-\frac{A(T_H-T_L)}{R}$$

例 23-1



$T_2>T_1$

$$H_2=H_1=H \qquad \underbrace{\frac{k_2A(T_2-T)}{L_2}}_{H_2}=\underbrace{\frac{k_1A(T-T_1)}{L_1}}_{H_1}$$

$$H=\frac{A(T_2-T_1)}{L_1/k_1+L_2/k_2}=\frac{A(T_2-T_1)}{R_1+R_2} \longrightarrow \text{热阻串联} \quad R=\sum R_i$$

问题：如果并联，如何？（并联绝热）$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$ 是否正确？

2) 对流：流体在重力场下由于热引起的温度不均匀所导致的流动

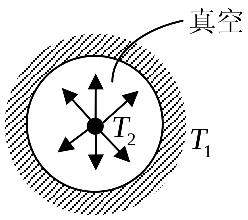
空气是很差的热导体，但有时表现出很好的热传导性 $\xleftarrow{\text{原因}}$ 对流

解释：北方暖气多在地面，且在窗口下（温差大地方 $\longrightarrow$ 对流强）

南方空调制热在上方的不科学性

3) 热辐射：任何一个有一定温度的物体都有直接向外辐射能量的能力

$\longrightarrow$ 不需要传热介质，与外界有温差 $\longrightarrow$ 热辐射导致热量流

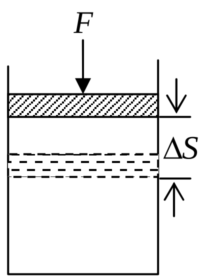


$T_2>T_1$ 腔内物体向真空腔壁辐射能量！

问题：若 $T_2=T_1$，腔内物体还是否有热辐射？

2. 功：

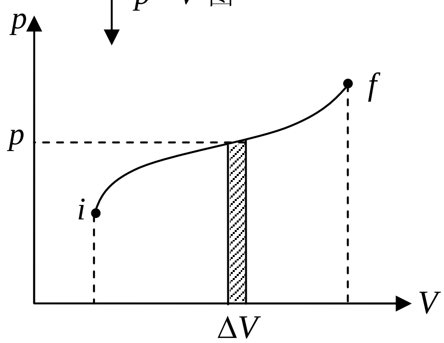
广义功
- 力学： 1) $\vec{F}\cdot\Delta\vec{S}$
- 热学： 2) $p\cdot\Delta V$ $\longrightarrow$ 活塞做功
  - p：广义力
  - ΔV：广义位移
- 电学： 3) ？ ？



$$\Delta W=F\cdot\Delta S=-p\cdot\underbrace{A\cdot\Delta S}_{\Delta V}$$

$$=-p\cdot\Delta V$$

$p-V$ 图



$$dW=-pdV$$

$$W=-\int_i^f pdV$$

$p-V$ 图中的每一点都是一个热平衡态，但实际过程中从一个平衡态 i 到另一个平衡态 f 都会经历非平衡态的过程，系统经历的非平衡态无法在 $p-V$ 图中表示。$p-V$ 图中表示 $i \to f$ 过程是一个理想过程：准静态过程 $\longrightarrow$ 也是一个可逆的过程

$\longrightarrow$ 每一点都是平衡态 $\to$ 只要过程进行非常缓慢，以致外界引起的微小变化系统会迅速到达热平衡态

3. **内能 E_{int}：**系统中所有分子的总能量（动能，势能，……）

平衡态

决定

状态量

$$\underbrace{\Delta E_{\text{int}}}_{\substack{\text{初末态决定} \\ \text{不依赖路径}}} = W + Q$$