

第二篇



热 学

Heat

热学



热 学

“热是人类最早发现的一种自然力，
是地球一切生命的源泉。”

——恩格斯

我国古代，燧人氏**钻木取火**以化腥臊，
奉为千古圣皇；

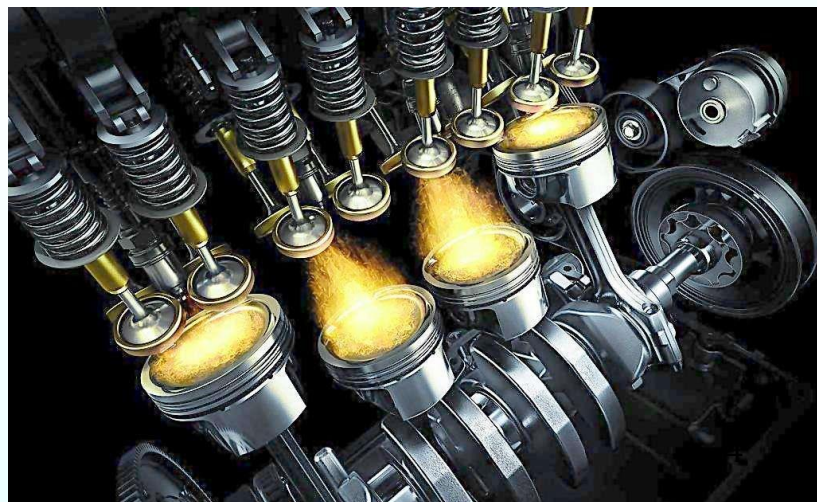
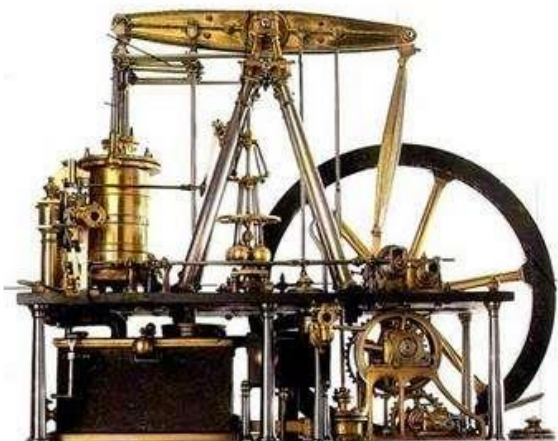


古希腊，普罗米修斯**盗天火**开罪于主神
而泽慧天下，奉为世间英雄。



在古代，“**火**”与“**热**”几乎是同义词，
热学则起源于人类对于热和冷现象本质的追求。

热学



热 学

研究对象：**宏观物体**——重点研究理想气体

研究内容：

热现象：

是物体中大量分子(原子)无规则运动的集体表现

——大量分子(原子)的无规则运动称为**热运动**

热学是研究物体热运动的性质和规律的学科

研究方法：

微观：统计的方法 \longrightarrow **气体动理论（第6章）**

从物质分子结构和分子运动出发，研究集体效应

宏观：实验的方法 \longrightarrow **热力学（第7章）**

以实验为基础，归纳和推理找出功能转换的条件

第二篇

热 学

第6章

气体动理论



Heat

第6章 气体动理论（统计物理）

Kinetic Theory of Gasses

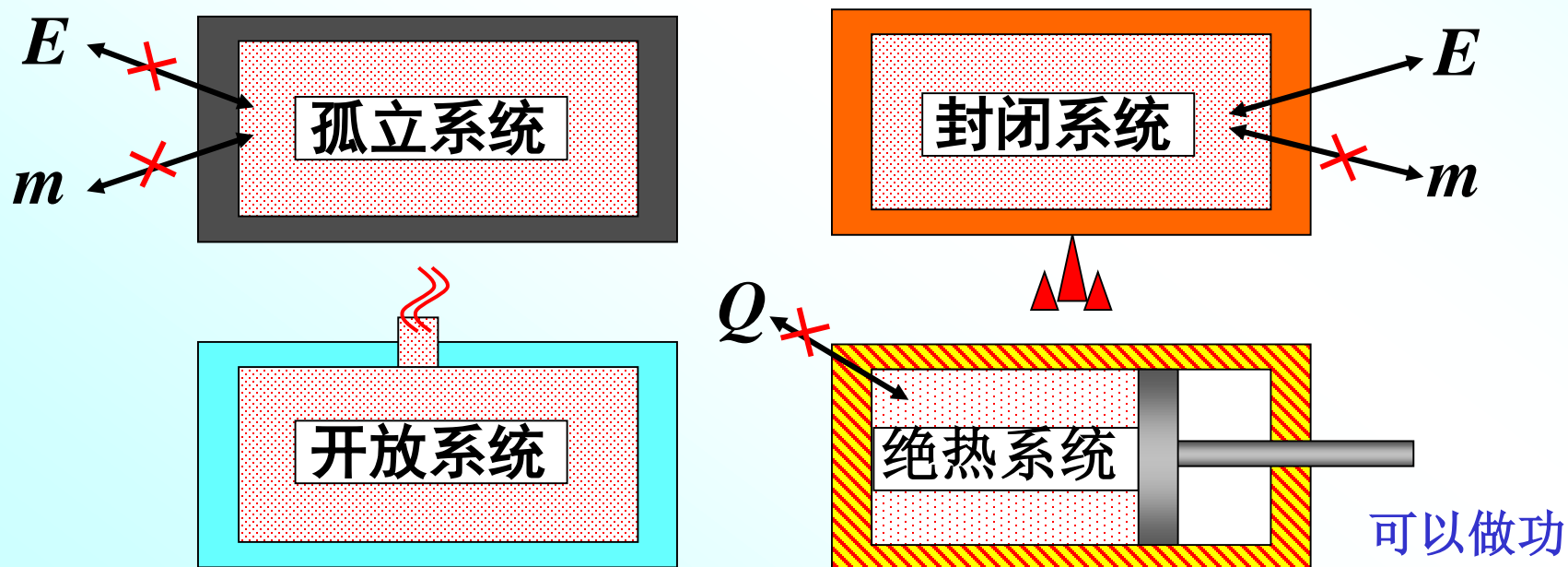
- 一、热学系统与平衡态
- 二、对理想气体的基本描述
- 三、能量均分定理 理想气体的内能
- 四、麦克斯韦分子按速率分布定律
- 五、对真实气体的几点简介

一、热学系统与平衡态

1. 热力学系统

在给定范围内，由大量微观粒子所组成的宏观客体（气、液、固、...）——简称**系统**

能够与所研究的热力学系统发生相互作用的其它物体 ——系统的外界（简称**外界**）

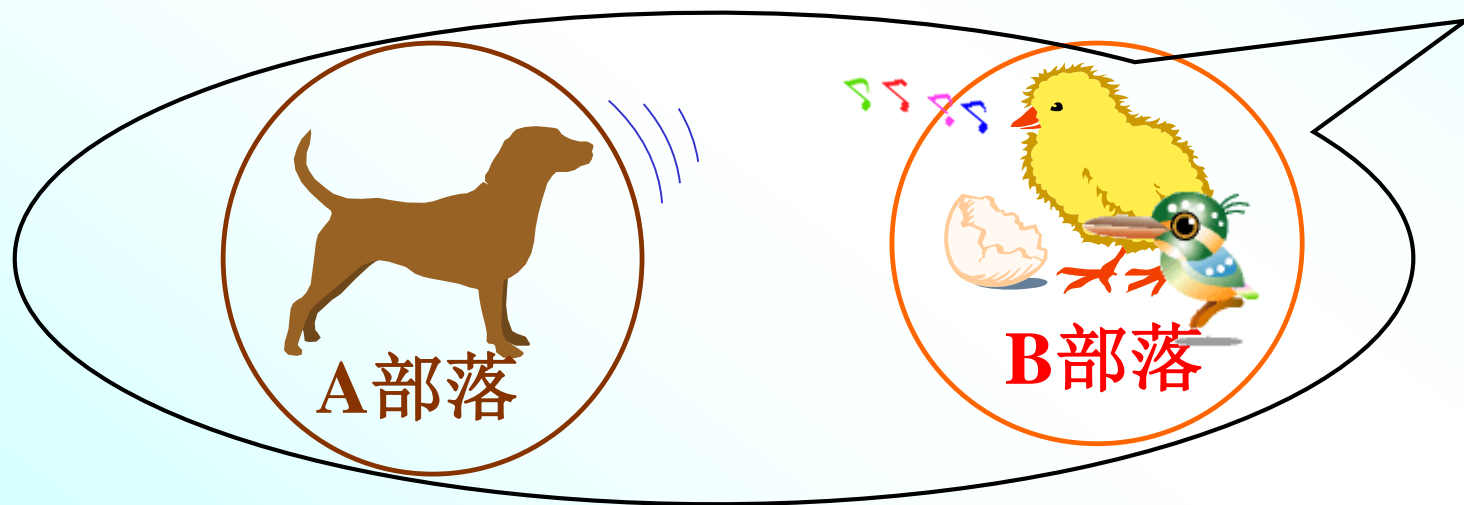


孤立系统与绝热系统的关系：

绝热系统 \longrightarrow 与外界仅**无热量交换** \nrightarrow 孤立系

孤立系统 \longrightarrow 与外界无任何交换 \Longrightarrow 绝热系

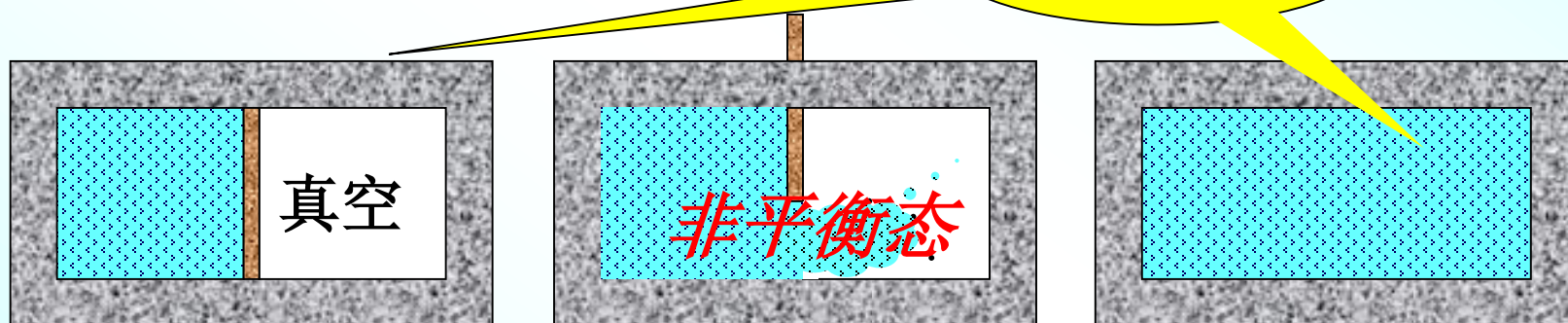
“鸡犬之声相闻，民至老死不相往来”



热学系统的划分完全是“**人为**”的，对于不同的问题，甚至对于同一问题可取不同的系统。

2. 热力学平衡态 (equilibrium state)

一个系统在不受外界影响的条件下，若它的宏观性质不再随时间变化，则此系统处于**热力学平衡态**。——系统的一种特殊情况
例：理想气体绝热自由膨胀



一定质量的气体，与外界无能量交换，内部无化学反应、核反应，仅由于分子热运动使气体内各部分达到：密度 ρ 、温度 T 、压强 P 均匀的状态

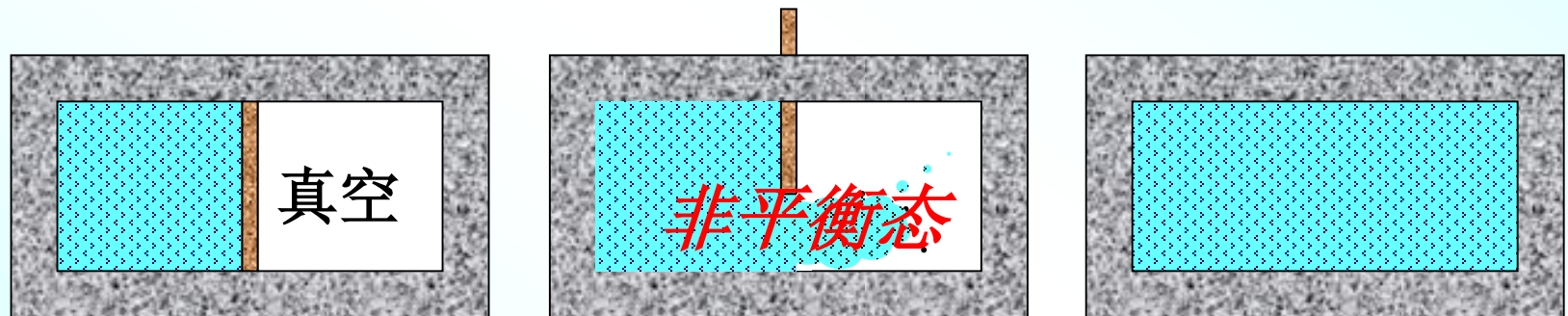
平衡态

注：

1°一个孤立系统的状态——必定会处于平衡态

理想状态

2°平衡态实质上只是一种热动平衡



3°本篇主要涉及对系统平衡态的讨论

3. 状态参量、状态图

(1) 状态参量

——平衡态的描述

几何参量 (如: V)

力学参量 (如: P)

化学参量 (如: ν 、 M)

电磁场参量 (如: E 、 B)

热学参量 (如: T)

微观量: 表征单个分子性质与状态 (如: m, r, v)

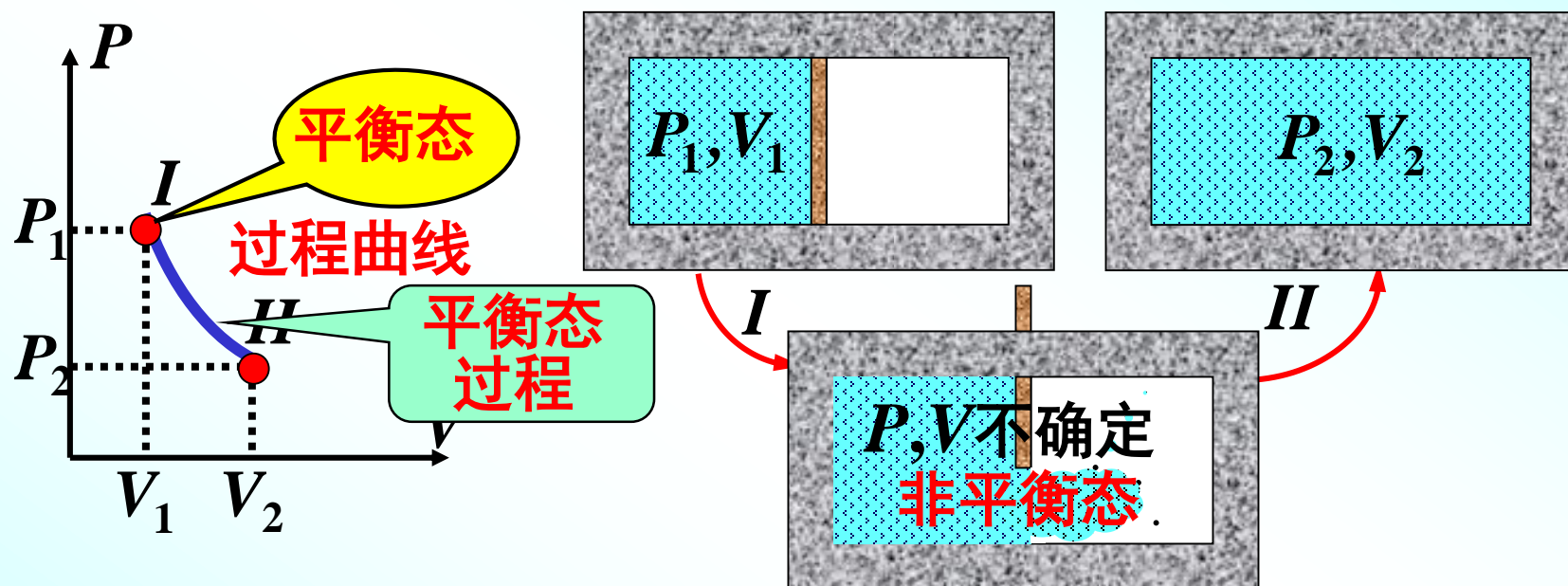
宏观量: 反映整个系统宏观性质和状态 (如: P, T, V)

广延量: 总系统=各个子系统之和 (如: V, ν)

强度量: 总系统=各个子系统 (如: T, P)

(2) 状态图

状态参量空间：以独立的状态参量为坐标构成的一个空间



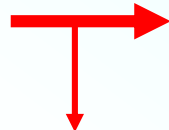
若系统在变化过程中经历的每一状态都是平衡态,可将其经历的所有平衡态在状态空间上表示此过程——**平衡态过程**

注：非平衡态、非平衡过程不能用状态图描述

4.热力学过程

系统从

一个状态



另一个状态

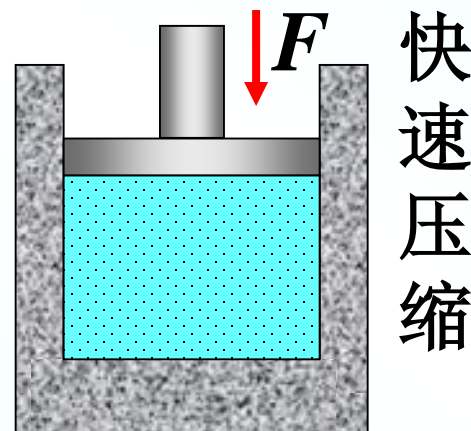
系统经历了一个热力学过程

——过程

当系统在变化过程中经历的每一状态都是平衡态，此过程——平衡过程

显然：实际的热力学过程中任一状态都不是平衡态

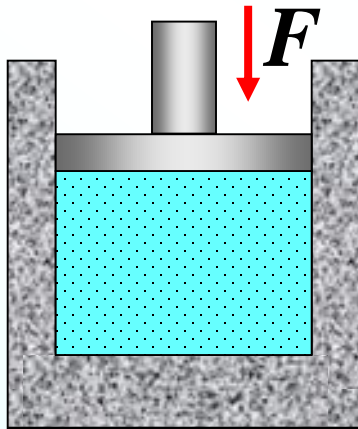
例如：一实际汽缸的气体作为系统，当活塞运动中气体被压缩，使系统在整个压缩过程中经历了一系列状态。



非平衡过程

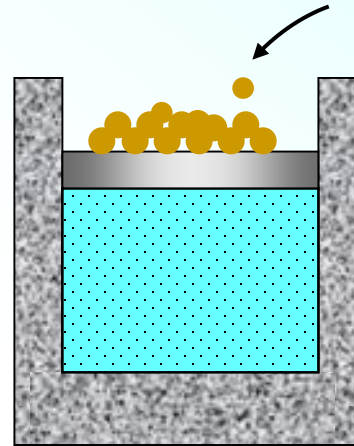
实际的热力学过程中任一状态都不是平衡态

快速压缩



非平衡过程

设想

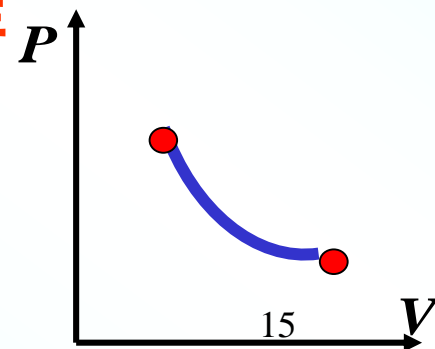


无限缓慢

趋近平衡态过程

一个过程其任意时刻的中间态都无限接近于一个平衡态，则此过程为**准静态过程**

对准静态过程中间状态的平衡态及系统的准静态变化过程均可用**状态图**表示



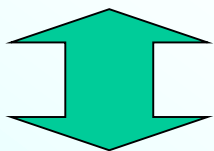
分子相空间:

六维空间中一点 (x, y, z, v_x, v_y, v_z) 同一个分子的运动状态对应, 该点称为分子的代表点, 这一六维空间称为**分子的相空间**。

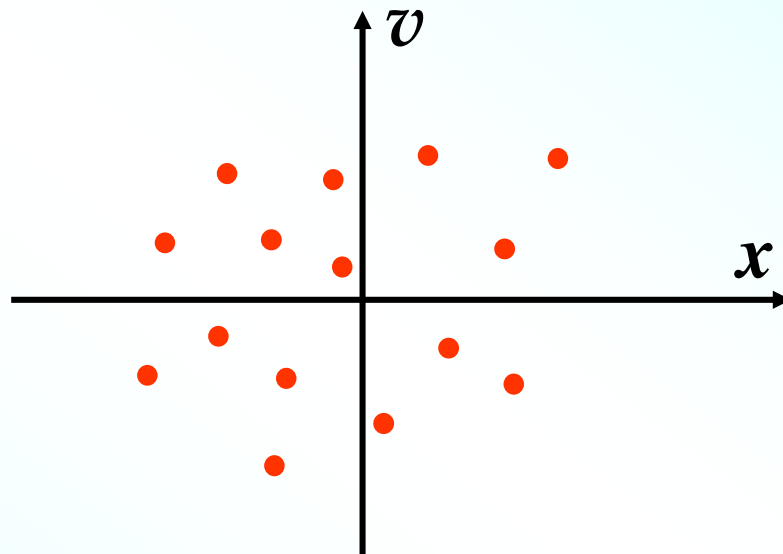
相空间横坐标: **位置**

纵坐标: **速度 (或动量)**

分子体系某一瞬时状态



体系所有分子在相空间的一个确定分布 (该时刻)



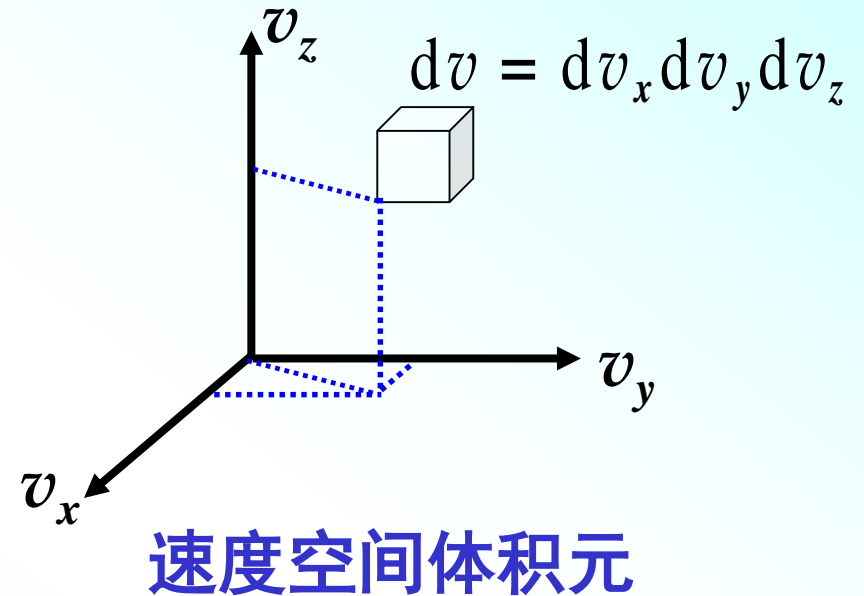
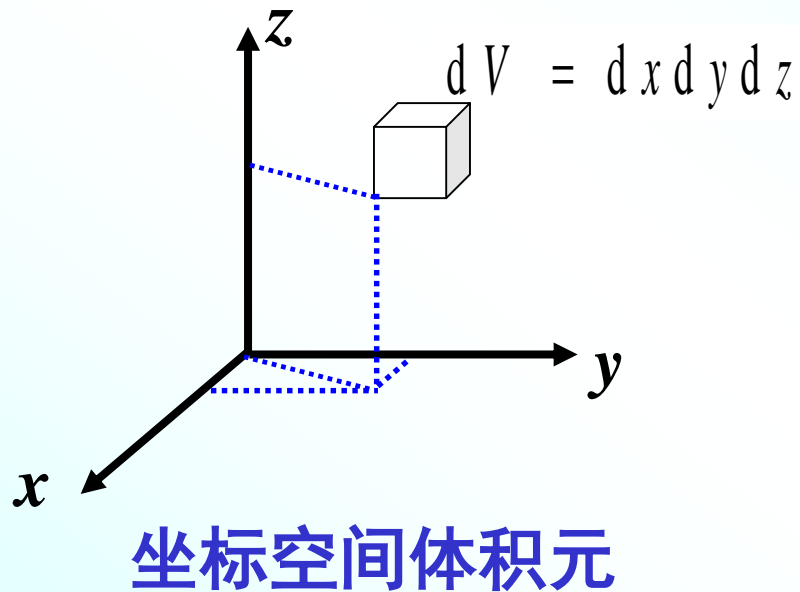
相空间空间坐标: $x, y, z,$

空间坐标微元: $dx dy dz$

相空间速度坐标: $v_x, v_y, v_z,$

空间速度微元: $dv_x dv_y dv_z$

坐标与速度空间体积元



分子相空间体积元：

$$dx dy dz dv_x dv_y dv_z = d^3\vec{v} d^3\vec{r}$$

5. 温度

(1) 什么是温度？

将两个分别处于平衡态的系统A和B
用一刚性隔板分隔开

若隔板为“**绝热板**” →

A和B两系统的状态可
独立地变化互不影响

若隔板为“**导热板**”

一个系统状态的变化会引起
另一系统状态的变化

当复合系统达到平衡时

——两系统处于**热平衡**

两系统有共同的宏观性质 →

温度



说明:

1° 温度的概念与人们日常对温度的理解
(温度——冷热程度) 是一致的。

2° 温度是热学中特有的物理量, 它决定一系统
是否与其它系统处于热平衡。

(2) 热力学第零定律 —— 温标 (温度的数字表示法)

如果两个系统分别与第三个系统达到热平衡,
则这两个系统彼此也将处于热平衡。

常用的两种温标

摄氏温标: 水的三相点 $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

热力学温标: 与任何物质的性质无关 $T = t + 273.15\text{ K}$

SI
单位制

二、对理想气体的基本描述

1. 理想气体的微观模型 ——理想模型

- (1) 分子本身大小忽略不计
- (2) 分子间相互作用忽略不计
- (3) 分子间、分子与器壁间的碰撞是弹性碰撞

理想气体是大量不停的、无规则运动着的、无引力[第(2)条]的弹性[第(3)条]质点[第(1)条]的集合。

组成理想气体的质点的运动遵循经典力学规律。

在压强较低、温度较高时与实际情况较符合。

Gay-Lussac
Boyle
Charles Avogadro
combined
ideal

$$\frac{PV}{TN} = k_B$$

Relationships between Boyle's, Charles's, Gay-Lussac's, Avogadro's, combined and ideal gas laws, with the Boltzmann constant $k_B = \frac{R}{N_A} = \frac{nR}{N}$ (in each law, properties circled are constant and properties not circled are variable)

2. 理想气体的状态方程

根据实验及波意耳定律，当气体系统的质量 m 一定时

若系统从 $(P_1 V_1 T_1) \rightarrow (P_2 V_2 T_2)$ 有

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \text{常量}$$

气体的标准状态为 $(P_0 V_0 T_0)$ 则

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \nu \frac{P_0 v_0}{T_0} \quad v_0 = 22.41 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{mol}$$

$$R = \frac{P_0 v_0}{T_0} = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \quad \text{—— 气体普适常数 (摩尔气体常量)}$$

$PV = \nu RT$

$\nu = \frac{m}{M}$
摩尔数

$PV = \frac{m}{M} RT$

理想气体状态方程

摩尔
体积



$$PV = \nu RT$$

$$PV = \frac{m}{M} RT$$

$$R = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

方程的另一表示:

1mol 任何气体的分子数目

$$N_A = 6.023 \times 10^{23} / \text{mol}$$

——沟通微观领域与宏观领域的桥梁

设 V 中有 N 个气体分子, 则

$$\nu = \frac{N}{N_A} \quad PV = \frac{N}{N_A} RT$$

$$PV = NkT$$

$$\text{或 } P = nkT$$

$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

——波耳兹曼常数

n ——分子密度

3. 理想气体的压强

(1) 统计规律

单个事件看不出什么规律，大量事件将出现规律，这种规律叫**统计规律**

例2. 有大量的三色小球（各色小球数量相同）



将小球一个一个从袋中拿出来，每次拿出什么颜色的球是不可预测的。（单个事件无规律可言）

拿的次数多了，就有规律了。例：拿了三万次统计一下结果：



10006个，



9991个，



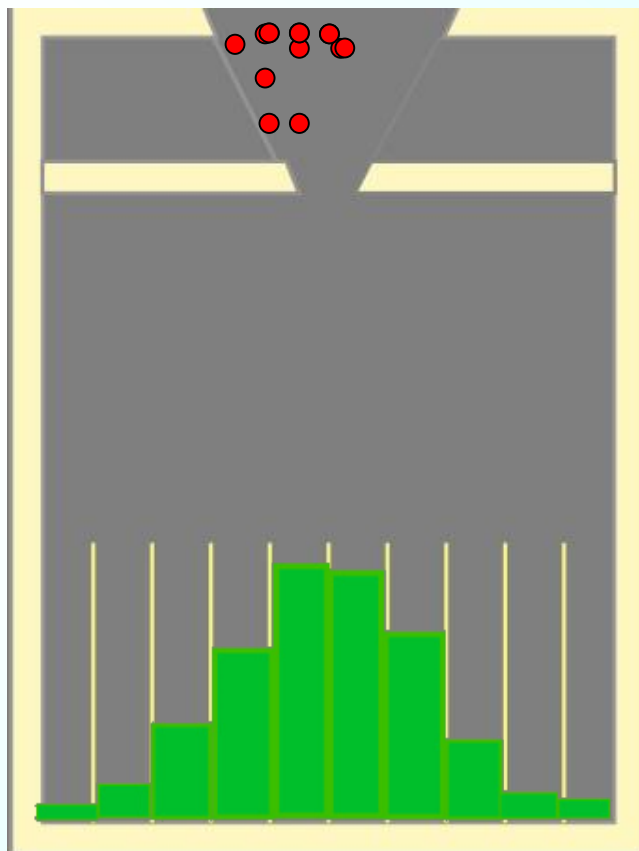
10003个

大量事件遵循的规律叫**统计规律**
上述方法，叫**统计方法**。

统计规律

单个事件看不出什么规律，大量事件将出现规律，

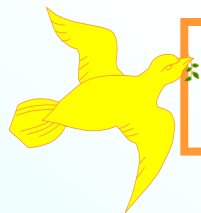
“伽尔顿板”



(2) 概率

一个统计概念, 某个事件出现的可能性的量度

用数学式表示为 $p_i = \lim_{N \rightarrow \infty} (N_i / N)$



● 10006个, ● 9991个, ● 10003个

红色小球出现的概率 $p_{\text{红}} = \frac{10006}{30000} \approx \frac{1}{3}$

黄色小球出现的概率 $p_{\text{黄}} = \frac{9991}{30000} \approx \frac{1}{3}$

兰色小球出现的概率 $p_{\text{兰}} = \frac{10003}{30000} \approx \frac{1}{3}$

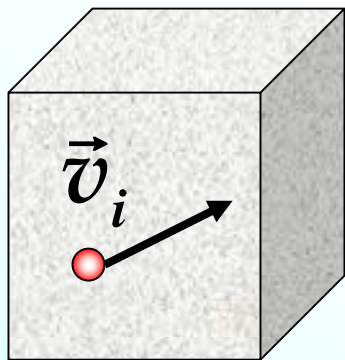
次数越多
所得结果
越准确

三色球出现的总概率: $P = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 1$

一定!
 $P = \sum_i p_i = 1$ 这叫**概率的归一化条件**

等概率原理 三种颜色的球拿出来一样的概率是一样的

例3. 在标准状态下, 1cm^3 气体分子个数的数量级是 $N=10^{19}$ 个, 问: 在各个方向上 N 个分子速率的平均值有什么关系?

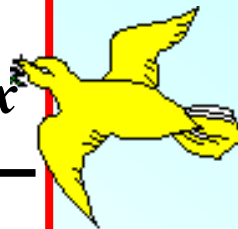


$$\begin{aligned}\bar{v}_x &= \frac{v_{1x} + v_{2x} + \cdots + v_{Nx}}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N v_{ix}}{N} \\ \bar{v}_y &= \frac{v_{1y} + v_{2y} + \cdots + v_{Ny}}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{v}_{iy}}{N} \\ \bar{v}_z &= \frac{v_{1z} + v_{2z} + \cdots + \bar{v}_{Nz}}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{v}_{iz}}{N}\end{aligned}$$

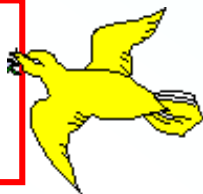
按统计理论各方向上分子速率的统计平均值相等

$$\overline{v_x} = \overline{v_y} = \overline{v_z}$$

$$\bar{v}_x = \frac{v_{1x} + v_{2x} + \cdots + v_{Nx}}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N v_{ix}}{N}$$



$$\bar{v}_x = \bar{v}_y = \bar{v}_z$$



$$\text{显然 } \overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$$

我们可以对容器中处于热动平衡下的大量气体分子作如下统计假设：

1° 容器中任一位置处单位体积的分子数不比其它位置占优势

2° 分子沿任何方向运动(个数、速率)不比其它方向占优势

5-T2 在 S 系中有一个静止的正方形, 其面积为 100 m^2 , 观察者 S' 以 $0.8c$ 的速度沿正方形的对角线运动。问 S' 测得的该面积是多少?

解: 观察者走过的对角线 $l = \sqrt{2}L \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2} = 0.6\sqrt{2}L$

则观测到的边长 $L' = \frac{l}{\sqrt{2}} = 0.6L$

$$S' = L'^2 = (0.6L)^2 = 36 \text{ m}^2$$

$$S' = \frac{L' \cdot \sqrt{2}L}{2} = 60 \text{ m}^2$$

5-T2 在 S 系中有一个静止的正方形, 其面积为 100 m^2 , 观察者 S' 以 $0.8c$ 的速度沿正方形的对角线运动。问 S' 测得的该面积是多少?

$$\frac{4}{5} - \frac{3}{5}$$



$$S = 100 \text{ m}^2$$

$$d = 10 \text{ m}$$

$$\text{对角线 } L = 10\sqrt{2} \text{ m}$$

可知, L 为原长

$$L' = L \times \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2} = 6\sqrt{2} \text{ m}$$

$$S' = L'^2 = 72 \text{ m}^2$$

$$S' = \frac{L' \cdot L}{2} = 60 \text{ m}^2$$

$$\frac{4}{5} = \frac{3}{5}$$

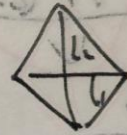
5-T2 在 S 系中有一个静止的正方形, 其面积为 100 m^2 , 观察者 S' 以 $0.8c$ 的速度沿正方形的对角线运动。问 S' 测得的该面积是多少?

解 $l_{\text{静}} = \sqrt{S} = 10 \text{ m}$ $l_{\text{静对}} = 10\sqrt{2} \text{ m} = 14.14 \text{ m}$

$l'_{\text{对}} = l_{\text{静}} \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2} = \frac{3}{5} l_{\text{静}} = 6\sqrt{2} \text{ m}$

$\therefore l' = \frac{6\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 6 \text{ m}$

$S' = l'^2 = 36 \text{ m}^2$ $6 \times 10 = 60 \text{ m}^2$



只有 l_1 收缩 ✓

l_2 不收缩 ✓

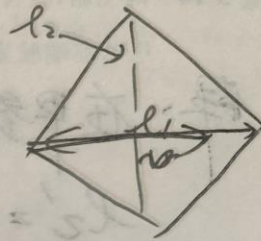
5-T2 在 S 系中有一个静止的正方形, 其面积为 100 m^2 , 观察者 S' 以 $0.8c$ 的速度沿正方形的对角线运动。问 S' 测得的该面积是多少?

$S' = \frac{1}{2} l_1 l_2$

在 S' 系中长度为原长 $l_{\text{原}}$
 l_1 l_2 长度不变

$l_{\text{原}} = \frac{l_1}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$

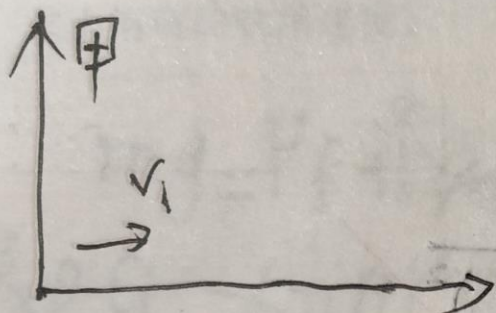
$S' = \frac{1}{2} l_1 l_2 = \frac{1}{2} l_{\text{原}} \cdot l_2 \cdot \sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}$
 $= 100 \cdot \sqrt{1 - 0.64}$
 $= 60 \text{ m}^2$



5-T4 两飞船, 在自己的静止参照系中测得各自的长度均为 100 m . 飞船甲上的仪器测得飞船

甲的前端驶完飞船乙的全长需 $\frac{5}{3} \times 10^{-7}\text{ s}$. 求两飞船的相对速度的大小。

解! 甲



假设甲飞船速度为 v
相对

$$L_{z0} = 100\text{ m}$$

$$L_{z\text{测}} = \frac{L_{z0}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\Delta v}{c}\right)^2}} = \Delta v t$$

$$\Delta v = \frac{3}{5} \times 10^8\text{ s}$$

$$L_{z\text{测}} = L_{z0} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta v}{c}\right)^2}$$

5-T4 两飞船, 在自己的静止参照系中测得各自的长度均为 100 m, 飞船甲上的仪器测得飞船甲的前端驶完飞船乙的全长需 $\frac{5}{3} \times 10^{-7}$ s。求两飞船的相对速度的大小。

$$L' = L \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{L'}{v} = \frac{5}{3} \times 10^{-7}$$

$$v = \frac{2}{\sqrt{5}} c$$

甲看乙在运动。

则甲看自己静止。

如何能驶完 L' ?

还用的是乙的速度。

可以看作乙以一定速度
通过甲的前端

(3) 运动的尺变短

例如：在地面测正在以速度 v 行驶的车

垂直运动方向不受影响

$$y=y' \quad z=z'$$

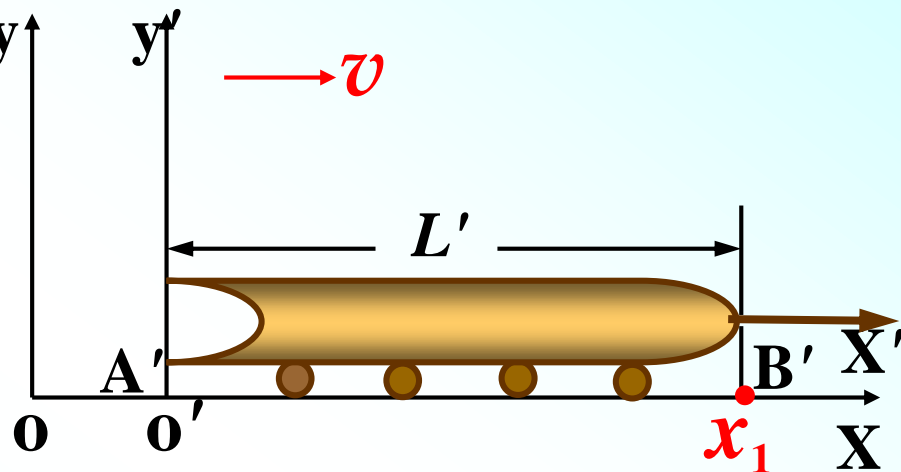
在 S' 系测车的长度为
 L'

在 S 系测量

t 时刻, B' 经过 x_1 点

$t + \Delta t$ 时刻, A' 经过 x_1 点, B' 经过 $x_2 = x_1 + v\Delta t$ 点

车的长度: $L = x_2 - x_1 = v\Delta t$



4-T6 在一开口的大容器中装有密度 $\rho = 1.9 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 的硫酸。硫酸从液面下 $H = 5 \text{ cm}$ 深处的水平细管中流出, 已知细管半径 $R = 0.05 \text{ cm}$ 、长 $L = 10 \text{ cm}$ 。若测得 1 min 内由细管流出硫酸的质量 $m = 6.54 \times 10^{-4} \text{ kg}$, 试求此硫酸的黏度。

解:

$$V = \frac{m}{\rho} = 3.44 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

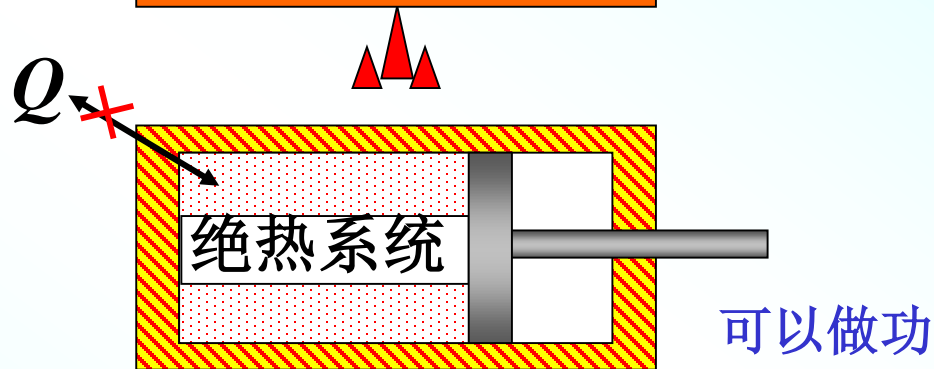
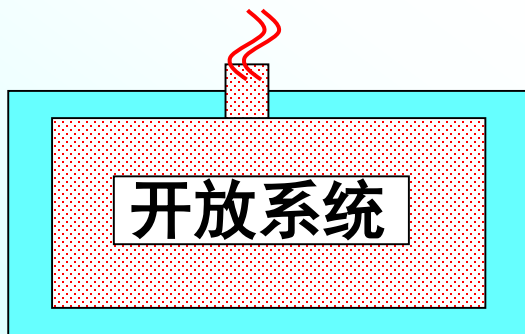
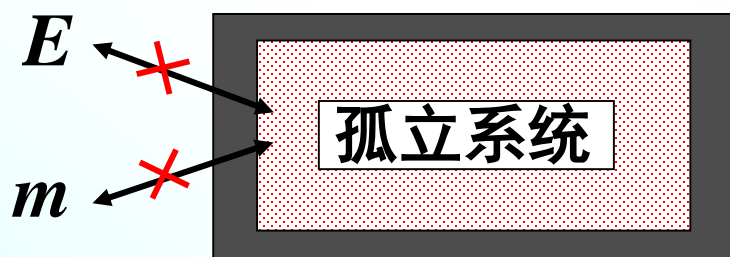
$$\therefore q_v = \frac{V}{t}$$

$$\therefore q_v = \frac{\pi R^4}{8\eta L} (P_1 - P_2) = \frac{\pi R^4}{8\eta L} \rho g H$$

$$\therefore \eta = \frac{\pi R^4}{8q_v L} \rho g H \approx 0.041 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

上节课的主要内容

一、几个基本概念

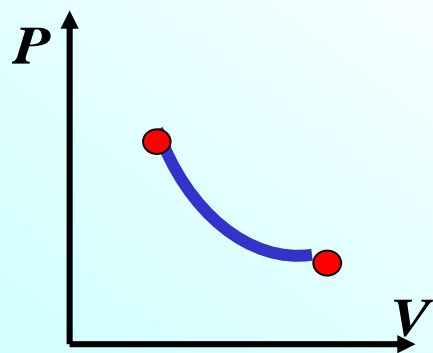


平衡态

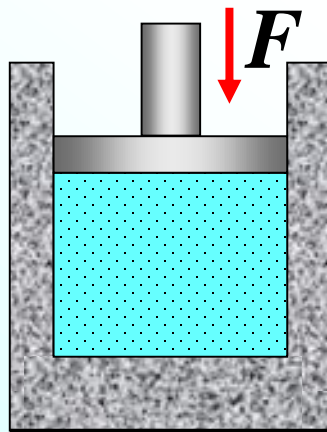
上节课的主要内容

一、几个基本概念

孤立系统、绝热系统、
平衡态、准静态过程、
状态参量、状态图、温度

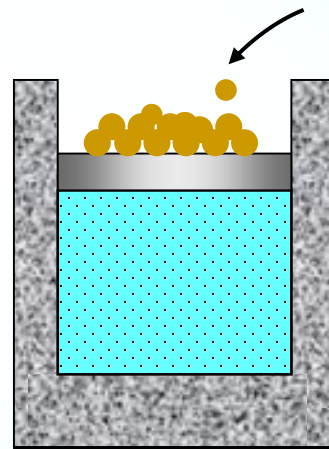


快速压缩



非平衡过程

设想



无限缓慢

趋近平衡态过程

上节课的主要内容

二、对理想气体的基本描述

- (1) 分子本身大小忽略不计
- (2) 分子间相互作用忽略不计
- (3) 分子间、分子与器壁间的碰撞是弹性碰撞

理想气体的状态方程

$$PV = \nu RT \quad PV = \frac{m}{M} RT$$

另一表示 $R = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$

$$PV = NkT \quad P = nkT$$

$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

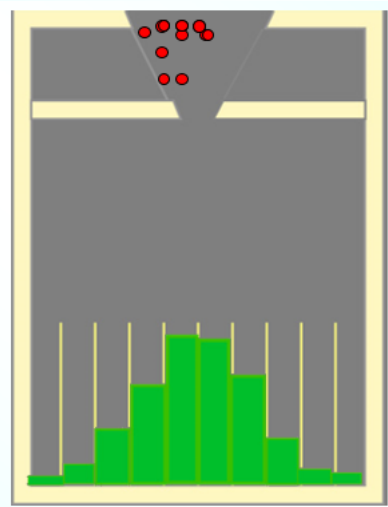
上节课的主要内容

统计规律

宏观

统计规律

微观



伽尔顿板实验

$$P = \sum_i p_i = \overset{\text{一定!}}{1} \quad \text{概率的归一化条件}$$

等概率原理

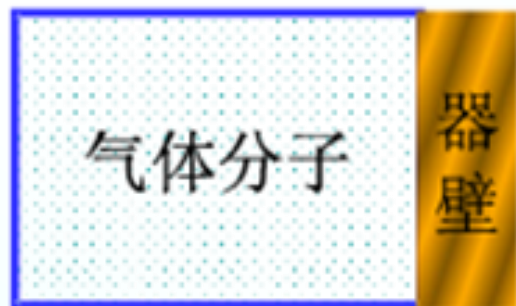
$$\overline{v_x} = \overline{v_y} = \overline{v_z} \quad \overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$$

1° 容器中任一位置处单位体积的分子数不比其它位置占优势

2° 分子沿任何方向运动(个数、速率)不比其它方向占优势

(3) 理想气体的压强

压强的产生



密集雨点对雨伞的冲击力

单个分子碰撞器壁的作用力是不连续的、偶然的、不均匀的
而大量分子作用力的总效果上看，是一个持续的平均作用力

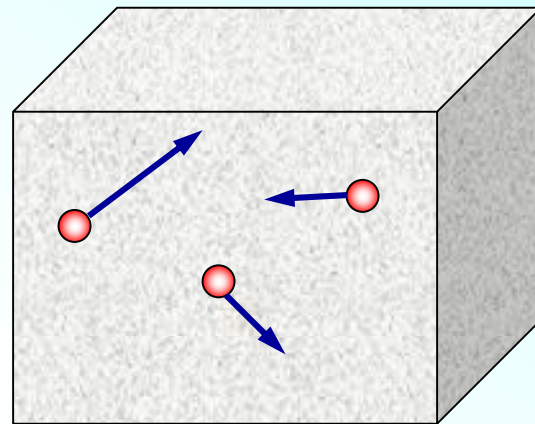
这个压力是多少？

(3) 理想气体的压强

设长方体 V 中有 N 个理想气体分子
单位体积有 $n = N/V$ 个分子

每个分子质量为 m

每个分子速度的大小, 方向各不相同; 热平衡下分子与6个壁都要碰撞, 各个面所受的压强相等



将所有分子分成若干组, 每组内分子的速度大小方向都相同

第 i 组的分子密度: n_i 总分子密度: $n = \sum_i n_i$

第 i 组的分子速度: $\vec{v}_i = \begin{cases} v_{ix} \\ v_{iy} \\ v_{iz} \end{cases}$

垂直x轴处任取面积元 dA , 计算 dA 上的压强:

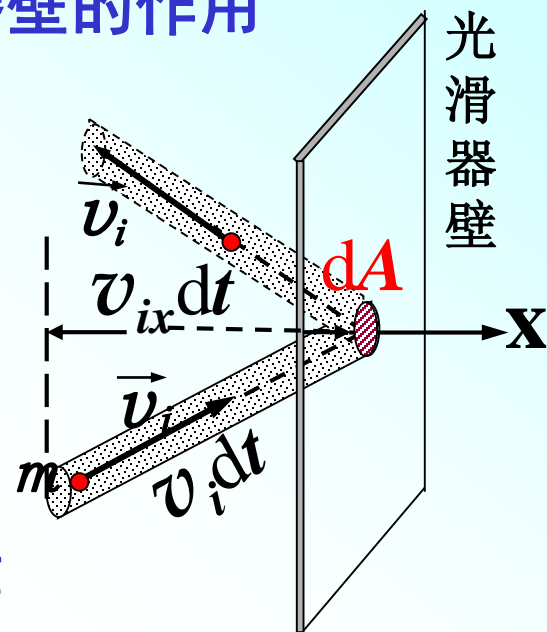
1° 速度为 v_i 的单个分子在一次碰撞中对器壁的作用

碰撞前 $v_i \Rightarrow (v_{ix} \ v_{iy} \ v_{iz})$

碰撞后 $v_i' \Rightarrow (-v_{ix} \ v_{iy} \ v_{iz})$

碰撞前后动量改变 $\Delta P_i = -2m v_{ix}$

分子施于 dA 的冲量 $\Delta I_i = 2m v_{ix}$



2° dt 时间内具有 v_i 的分子施于 dA 的冲量

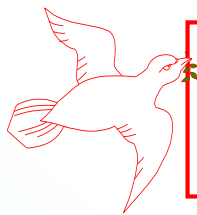
取 $v_i dt$ 为斜高、 dA 为底的斜柱体

体积为 $v_{ix} dt dA$

分子数为 $n_i v_{ix} dt dA$

dt 内施于 dA 的冲量 $dI_i = 2m n_i v_{ix}^2 dt dA$

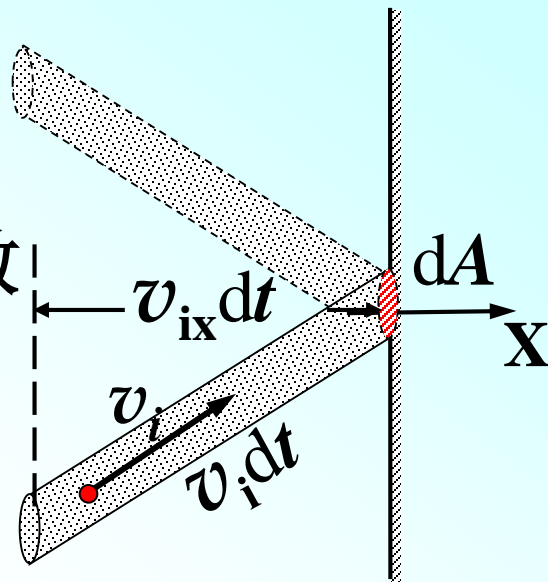
所有分子施于 dA 的冲量 $dI = \sum_i dI_i = \sum_{v_{ix} > 0} 2m n_i \vec{v}_{ix}^2 dt dA$



$$dI = \sum_{v_{ix} > 0} 2m n_i v_{ix}^2 dt dA$$

按概率分布 $v_{ix} > 0$, $v_{ix} < 0$ 的分子数各占一半:

$$\begin{aligned} dI &= \frac{1}{2} \sum_i 2m n_i v_{ix}^2 dt dA \\ &= \sum_i m n_i v_{ix}^2 dt dA \end{aligned}$$



根据冲量定理: $dI = F dt \rightarrow F = \frac{dI}{dt}$ $\xrightarrow[\text{压强}]{dA \text{ 受到}}$ $P = \frac{F}{dA}$

$$\therefore P = \frac{dI}{dt dA} = \sum_i m n_i v_{ix}^2 = m \left[\sum_i n_i v_{ix}^2 \right] \frac{n}{n}$$

$$\overline{v_x^2} = \frac{n_1 v_{1x}^2 + n_2 v_{2x}^2 + \cdots + n_k v_{kx}^2}{n_1 + n_2 + \cdots + n_k} = \frac{\sum_i n_i v_{ix}^2}{n}$$

容器中气体
总体的分子
数密度

即 $P = nm \cancel{\overline{v_x^2}} \overline{v_x^2}$



$$P = nm\overline{v_x^2}$$

按统计的观点,每个分子速度指向任何方向的机会相等, 则有

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} \quad \text{而} \quad \overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$$

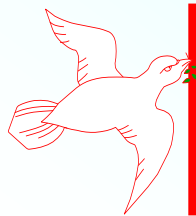
$$\therefore \overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}$$

$$P = \frac{1}{3} nm \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \left(\frac{1}{2} m \overline{v^2} \right) = \frac{2}{3} n \overline{\epsilon_{kt}}$$

$$\overline{\epsilon_{kt}} = \frac{1}{2} m \overline{v^2}$$

分子的平均平动动能

结论：



$$P = \frac{2}{3} n \overline{\varepsilon_{kt}}$$

P ： N 个分子构成的气体系统的压强——宏观量

$\overline{\varepsilon_{kt}}$ ： 一个分子的平均平动动能的平均值——微观量

P 的微观本质：

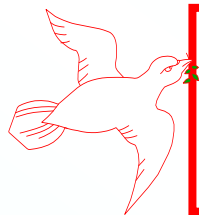
压强的大小反映了分子的平均平动动能的大小
(分子数密度不变情况下)

P 的意义：

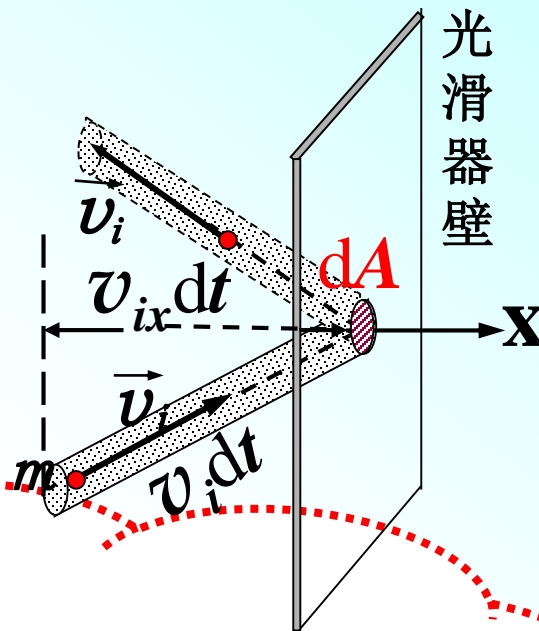
1°大量分子与器壁不断碰撞的结果，是统计平均值，
对单个分子谈压强是毫无意义的。

2°压强公式把宏观量 P 与微观量 n 、 ε_{kt} 联系起来了
显示了宏观量和微观量的关系。

● 理想气体的压强



$$P = \frac{2}{3} n \overline{\varepsilon_{kt}}$$



问题1： 若器壁不是光滑的，
或者不是平面，公式是否仍成立呢？

问题2： 斜柱体内凡是速率为 v_i ($v_{ix} > 0$) 的分子是否
都能到达面元 dA ？



4.理想气体的温度

由状态方程 $P = nkT$ $\xrightarrow{P = \frac{2}{3}n\overline{\varepsilon_{kt}}}$ $\overline{\varepsilon_{kt}} = \frac{3}{2}kT$

宏观量

物理意义:

微观量

1°理想气体分子的平均平动动能只与温度 T 有关

T 的微观实质: $T \uparrow \quad \overline{\varepsilon_{kt}} \uparrow$

温度是分子无规则运动剧烈程度的标志!

温度 T 是宏观量——统计意义:

是大量微观分子热运动的集体表现。

没有意义

问: 一个分子的温度是多少? \rightarrow



2°对分子热运动 $\overline{\varepsilon_{kt}} \neq 0$ 永远

$\therefore T \neq 0$ 绝对零度是不可能的!

5.方均根速率

$$\text{由 } \overline{\varepsilon_t} = \frac{1}{2} m \overline{v^2} = \overline{\varepsilon_t} = \frac{3}{2} kT \longrightarrow \overline{v^2} = \frac{3kT}{m}$$

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad \text{分子速率的一种统计平均值}$$

当 T 一定, m 大 $\sqrt{\overline{v^2}}$ 小, m 小 $\sqrt{\overline{v^2}}$ 大

如: $T = 0^\circ\text{C}$ 时, 氧气分子 $\sqrt{\overline{v^2}} = 461 \text{ m/s}$

氢气分子 $\sqrt{\overline{v^2}} = 1.84 \times 10^3 \text{ m/s}$

在常温下气体分子的速率与声波在空气中传播速率等量级