



第四章 气体动理论基础

当阿吉 一 快 阿 话 论 零 加



第四章 气体动理论基础

117系

教学内
容

4.1 平衡态 温度 理想气体状态方程

4.2 理想气体压强公式

4.3 温度的统计解释

4.4 能量均分定理 理想气体的内能

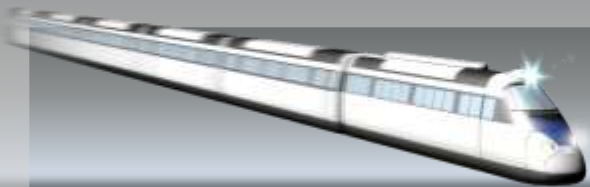
4.5 麦克斯韦速率分布律

4.7 分子的平均碰撞频率和平均自由程

演示实验

伽尔顿板

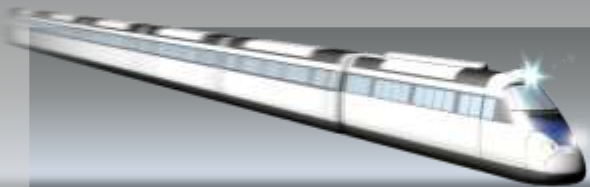
速率分布演示



教学基本要求

一 了解气体分子热运动的图像。理解平衡态、平衡过程、理想气体等概念。

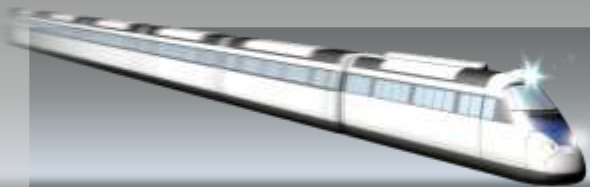
二 理解理想气体的压强公式和温度公式，能从宏观和微观两方面理解压强和温度的统计意义。



教学基本要求

三 了解自由度概念，理解能量均分定理，会计算理想气体的内能。

四 理解麦克斯韦速率分布律、速率分布函数和速率分布曲线的物理意义。会计算气体分子热运动的三种统计速度。



教学基本要求

五 理解 气体分子平均碰撞次数和平均自由程 的概念和公式.



4.1 平衡态 温度 理想气体状态方程

4.1.1 平衡态

1 热力学系统

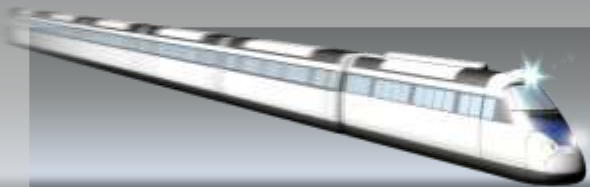
由大量微观粒子（分子、原子等微观粒子）所组成的宏观物体或系统。

★ 热力学系统分类

根据系统与外界交换能量或物质的特点，可以分为三种：

- (1) 孤立系统——与外界既无能量交换，又无物质交换的系统
- (2) 封闭系统——与外界只有能量交换，但无物质交换的系统
- (3) 开放系统——与外界既有能量交换，又有物质交换的系统

2 平衡态



4.1.1 平衡态

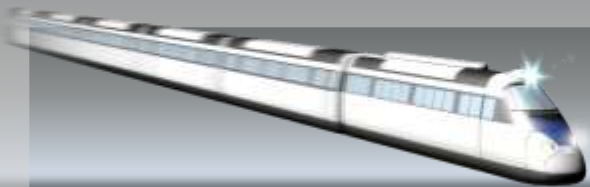
对于一个不受外界影响的系统，不论其初始状态如何，经过足够长的时间后，必将达到一个宏观性质不再随时间变化的稳定状态，这样的一个状态称为**热平衡态**，简称**平衡态**。

系统处于平衡态，必须同时满足两个条件：

- ✓ 系统与外界在宏观上无能量和物质的交换
- ✓ 系统的宏观性质不随时间变化

3 气体的状态参量

1) 气体压强 p : 作用于容器壁上单位面积的正压力
(**力学**描述)



4.1.1 平衡态

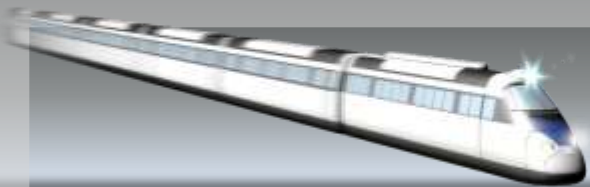
单位: $1\text{Pa} = 1\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$

标准大气压: 45° 纬度海平面处, 0°C 时的大气压.

$$1\text{atm} = 760\text{ mmHg} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

2) 体积 V : 气体所能达到的最大空间 (几何描述)

单位: $1\text{m}^3 = 10^3 \text{ L}$

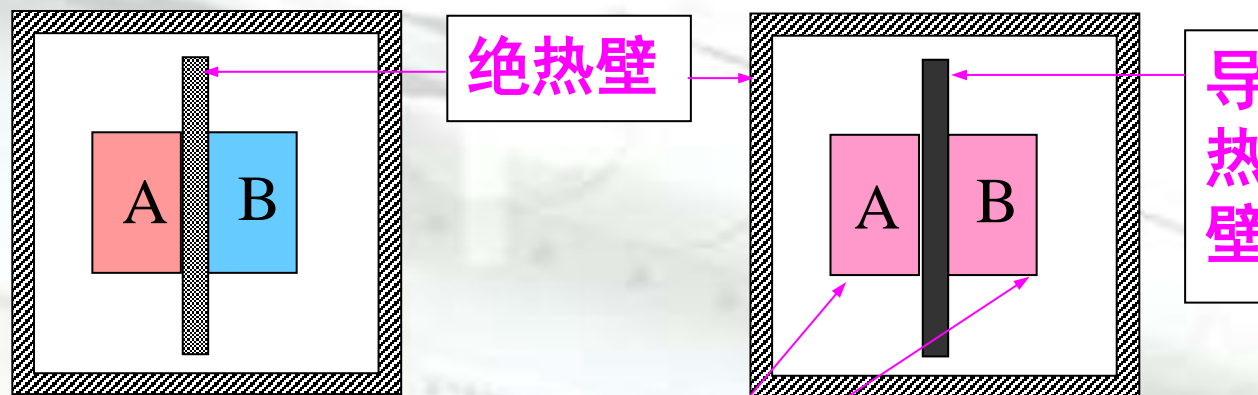


4.1.2 热力学第零定律 温度

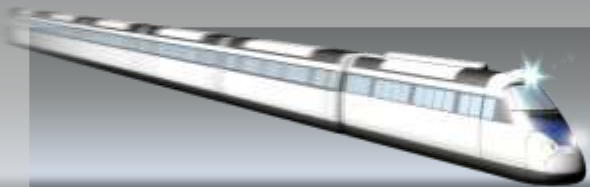
1 温度 T 概念

温度是表征物体冷热程度的宏观状态参量。温度概念的建立是以热力学第零定律为基础的。

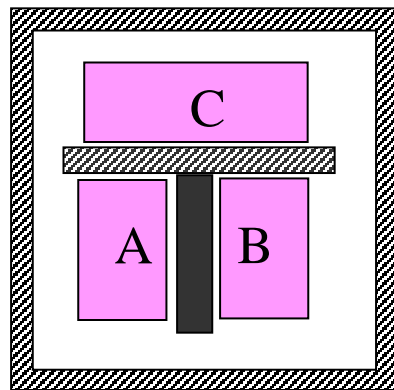
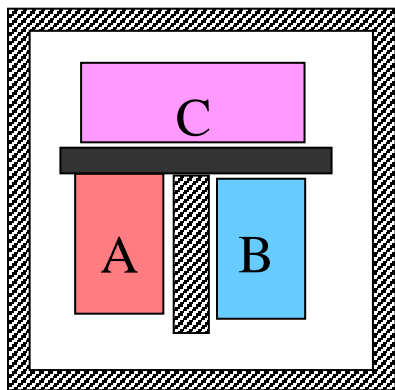
2 热力学第零定律



两系统彼此处于热平衡。

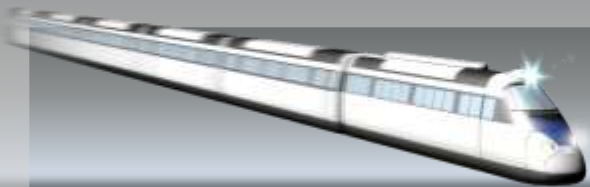


4.1.2 热力学第零定律 温度



如果两个系统分别与第三个系统的同一平衡态达到热平衡, 那么, 这两个系统彼此也处于热平衡. 这个结论称为**热力学第零定律**.

热力学第零定律说明, 处于相互热平衡状态的系统必定拥有某一个共同的宏观物理性质。若两个系统的这一共同性质相同, 当两个系统热接触时, 系统之间不会有热传递, 彼此处于热平衡状态; 若两个系统的这一共同性质不相同, 两个系统热接触时就会有热传递, 彼此的热平衡状态会发生变化。决定系统热平衡的这一共同的宏观性质称为系统的温度。



4.1.2 热力学第零定律 温度

3. 温标 温度计

温度计:即测温的工具。

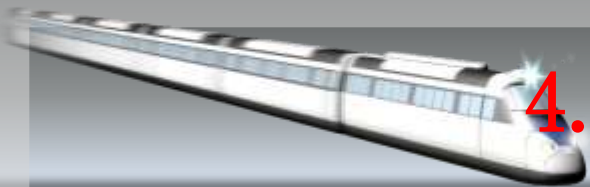
温度计要能定量表示和测量温度，还需要建立**温标**，即温度的数值表示法。

4. 热力学温标

一种与测温质和测温特性无关的温标。开尔文（lord Kelvin）在热力学第二定律的基础上建立了这种温标，称**热力学温标**。

规定水的三相点（水，冰和水蒸汽平衡共存的状态）为**273.16K**。

热力学温标可导出摄氏温标 $T = t + 273.15$



4.1.3 理想气体状态方程

1 理想气体

理想气体宏观定义：遵守三个实验定律的气体。

2 理想气体的状态方程

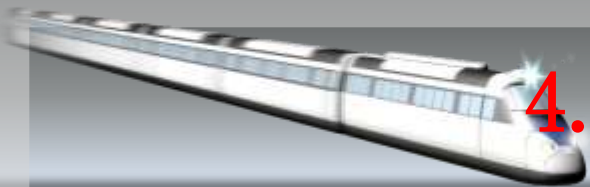
状态方程：理想气体平衡态下各个状态参量之间的关系式。

$$pV = \frac{M}{M_{mol}} RT$$

M_{mol} 为气体的摩尔质量

M 为气体质量

R 为普适气体常量 $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$



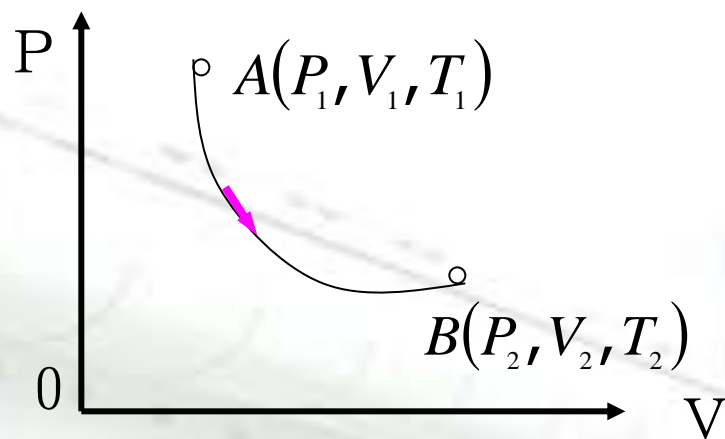
4.1.3 理想气体状态方程

3 状态图（ $P-V$ 图、 $P-T$ 图、 $V-T$ 图）

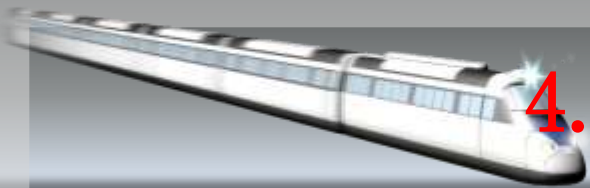
气体的平衡态除了可用一组状态参量来描述，还可利用状态图来表示，而一组状态参量在状态图中对应的是一个点。不同的状态在状态图中对应点不同。

在状态图中，一条光滑的曲线代表一个由无穷多个平衡态所组成的变化过程，如右图所示。

曲线上的箭头表示过程进行的方向。



由于非平衡态不能用一组确切的状态参量来描述，因此在状态图中，非平衡态过程也就无法找到相应的过程曲线与之对应。



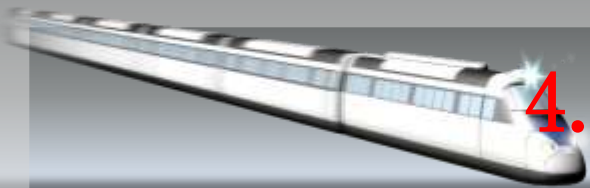
4.1.3 理想气体状态方程

例 4-1 容器内装有质量为 0.10 kg 的氧气，压强为 10^6Pa ，温度为 47°C 。因为容器漏气，经过若干时间后，压强降到原来的 $\frac{5}{8}$ ，温度降到 27°C 。问（1）容器的容积有多大？（2）漏去了多少氧气？（假设氧气看作理想气体）

解 （1）根据理想气体状态方程， $pV = \nu RT = \frac{M}{M_{\text{mol}}} RT$ ，

求得容器的容积 V 为

$$V = \frac{MRT}{M_{\text{mol}} p} = \frac{0.10 \times 8.31 \times (273 + 47)}{0.032 \times 10^6} = 8.31 \times 10^{-3} \text{ (m}^3\text{)}$$



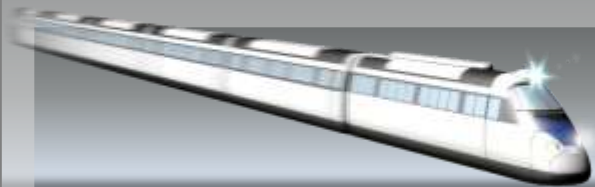
4.1.3 理想气体状态方程

(2) 设漏气若干时间之后，压强减小到 p' ，温度降到 T' 。如果用 M' 表示容器中剩余的氧气的质量，从状态方程求得

$$M' = \frac{M_{\text{mol}} p' V}{RT'} = \frac{0.032 \times \frac{5}{8} \times 10^6 \times 8.31 \times 10^{-3}}{8.31 \times (273 + 27)} \\ = 6.67 \times 10^{-2} \quad (\text{kg})$$

所以漏去的氧气质量为

$$\Delta M = M - M' = 0.10 - 6.67 \times 10^{-2} = 3.33 \times 10^{-2} \quad (\text{kg})$$



谢谢！