

# 热学总复习

学生: 杨凤     教师: 马祥芸

June 28, 2024

## Contents

<b>1</b>	<b>热力学</b>	<b>2</b>
1.1	分子动理论	2
1.1.1	物体是由大量分子构成的	2
1.1.2	微观量的估算	2
1.1.3	扩散现象和布朗运动	3
1.1.4	分子之间的作用力	3
1.1.5	分子之间的能量	4
1.1.6	分子动能	4
1.1.7	温度和温标	5
1.1.8	内能	5
1.2	物态及物态的变化	5
1.2.1	晶体与非晶体	5
1.2.2	液体	6
1.2.3	饱和汽与饱和汽压	7
1.2.4	相对湿度与绝对湿度	7
1.3	理想气体	8
1.3.1	气体压强的微观解释	8
1.3.2	压强的表示以及画法	8
1.3.3	气体三大实验定律	9
1.3.4	液柱的移动	9
1.4	热力学三大定律	9
1.4.1	热力学第一定律和能量守恒	9
1.4.2	热力学第二定律和永动机	10
1.4.3	热力学第三定律	10

# 1 热力学

## 1.1 分子动理论

### 1.1.1 物体是由大量分子构成的

#### 1. 分子的大小

- (1) 分子直径数量级:  $10^{-10} m$
- (2) 分子质量数量级:  $10^{-26} kg$
- (3) 测量分子直径的方法: 油膜法

#### 2. 两种分子模型

- (1) 球体模型: 认为分子是一个个紧挨着的球体 (适用对象: 固体, 液体; 体积:  $V = \frac{4\pi}{3} R^3$ )
- (2) 立方体模型: 认为分子是一个个紧挨着的立方体 (适用对象: 气体; 体积:  $V = d^3$ )

固液相使用球体模型更为准确, 气相使用立方体模型更为准确, 这里的立方体空间是气体分子的活动空间

#### 3. 油墨法测量分子的直径

- 思路: 滴一滴油酸 (已知体积  $V$ ) 摊开在水面上, 近似看成单分子层 (厚度为  $d$ )  
此滴油酸体积可求  $V = S \cdot d$ , 测量面积  $S$  即可计算厚度  $d$
- 模型: 认为油酸分子为球体模型
- 要点:
  - 1ml 油酸溶液配制成 500ml 油酸酒精溶液 (酒精易挥发特点)
  - 取 100 滴油酸酒精溶液测得体积为 1ml
  - 先对水撒痱子粉, 后滴液解决油膜的透明问题
  - 往水面上注射一滴油酸酒精溶液
  - 稳定后使用玻璃板盖进行描边
  - 使用**格子法**来计算不规则面积 (不足半格取 0, 超过半格取 1)
  - 一滴为  $\frac{1}{100} ml$  油酸酒精溶液, 其油酸体积为  $\frac{1}{100} ml \cdot \frac{1}{500} = 2 \times 10^{-11} m^3$

### 1.1.2 微观量的估算

- (1) 分子层面: 单个分子质量  $m_0$ , 单个分子所占空间体积  $V_0$
- (2) 化学层面: 摩尔质量  $M_{mol} (g/mol)$ , 摩尔体积  $V_{mol} (L/mol)$
- (3) 实际层面: 质量  $M$ , 体积  $V$

物理量之间的关系:  $n = \frac{N}{N_A} mol$  ( $N_A = 6.02 \times 10^{23}$ )

$$M_{mol} = \frac{M}{n} \quad m_0 N_A = M_{mol}$$

$$V_{mol} = \frac{V}{n} \quad V_0 N_A = V_{mol}$$

摩尔体积适用于固液相, 但是计算出来的并不能视作单分子体积, 而是单分子占用空间  
摩尔体积不适用于气体, 因为标况下气体为 22.4L, 那么除以  $N_A$  会导致每个分子一样大  
标况:  $0^\circ C$ , 一个标准大气压 (约 101kPa)

密度: 区分 分子密度 与 气体密度, 利用气体密度所求体积为 分子所占空间体积

### 1.1.3 扩散现象和布朗运动

一切物质的分子都在不停地做无规则的 (热) 运动

#### 1. 扩散现象

- (1) 定义: 相互接触的不同物质能够彼此进入对方  
此现象并不是宏观受力的作用下发生的, 且各个状态下都会存在扩散现象
- (2) 前提: 浓度差 (梯度)
- (3) **直接**反映了分子的无规则运动
- (4) 扩散现象的快慢: 与物质的状态与温度有关, 气体 > 液体 > 固体

#### 2. 布朗运动

- (1) 定义: 悬浮在液体或 (气体) 中的微粒 (宏观层面) 的无规则运动
- (2) 实验背景: 布朗看水中的花粉 (显微镜)
- (3) 观察结论: 微粒越小或温度越高, 布朗运动越强烈
- (4) 原因: 水分子对布朗微粒撞击的不平衡 (不均匀)
- (5) 布朗运动**不是**分子运动, **间接**反映了分子的无规则运动

#### 3. 扩散与布朗运动的混淆点

- (1) 扩散现象: 微观力作用, 宏观现象肉眼可见
- (2) 布朗运动: 宏观力作用, 宏观现象光学显微镜观察可见 ( $10^{-6}$ )
- (3) 两者都是微观层面的分子无规则运动所形成的宏观现象

### 1.1.4 分子之间的作用力

#### • 现象

- (1) 分子虽然有空隙, 大量分子聚集形成固体或液体说明了分子之间存在**引力**
- (2) 用力压缩物体, 物体内会产生反抗压缩的弹力, 说明了分子之间存在**斥力**

#### • 研究表明

- (1) 分子之间引力和斥力**同时存在**
- (2) 引力与斥力都随着分子间距离增大而减小
- (3) 斥力的变化比引力的变化更加明显

#### • 结论

- (1) 分子距离较近时  $< r_0$  体现为 **斥力**
- (2) 分子距离较远时  $> r_0$  体现为 **引力**
- (3) 分子距离为  $= r_0$  合力为 0
- (4) 当分子间距离  $> 10 r_0$ , 引力、斥力均忽略不计

### 1.1.5 分子之间的能量

- 分离两个很近的分子
  - (1) 做功情况: 先斥力做正功, 后续引力做负功
  - (2) 能量变化: 分子势能先减小, 后增大
  - (3) 默认规定: 取无穷远处地方的势能为 0
  - (4) 特殊点:  $d = r_0$  时, 合力最小, 势能最小 (且为负)
- 分子势能的体现
  - (1) 微观上: 分子势能与分子间位置有关
  - (2) 宏观上: 分子势能与宏观体积有关

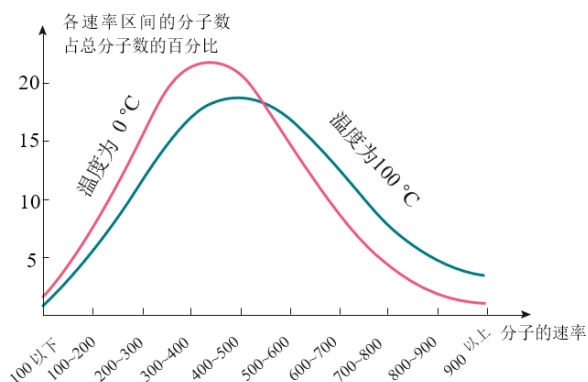
### 1.1.6 分子动能

- 分子动能
  - (1) 定义: 分子热运动所具有的能量
  - (2) 分子平均动能: 所有分子动能的平均值
  - (3) 研究单个分子的动能没有意义, 所以我们研究的动能是分子的平均动能
  - (4) 影响因素: 有且只有一个**温度**
  - (5) 易错点: 平均分子动能与分子种类无关, 与实际速度无关  
单个分子的动能与温度并非严格正相关

- 分子势能的体现
  - (1) 微观上: 分子势能与分子间位置有关
  - (2) 宏观上: 分子势能与宏观体积有关

- 图像中分子动能的规律

$$f(v) = \frac{dN}{Ndv} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{m}{kT}\right)^{\frac{3}{2}} v^2 \exp\left(\frac{-mv^2}{2kT}\right) \quad \int_0^{+\infty} f(v)dv = \int_0^N \frac{dN}{N} = 1$$
$$[v_1, v_2] \text{ 区间分子数 } N_0 = \int_{v_1}^{v_2} N f(v)dv \quad [v_1, v_2] \text{ 区间的概率 } \frac{dN}{N} = \int_{v_1}^{v_2} f(v)dv$$



(1) 中间高, 两头低

(2) 温度越高, 峰值点下降并横移

(3) 任何温度下, 图像围成的面积为 1

### 1.1.7 温度和温标

#### 1. 气体的状态参量

- 几何性质: 体积
- 力学性质: 压强
- 热学性质: 温度
- $\frac{PV}{T} = C$  ( $C$  常数, 与质量和气体种类相关)

#### 2. 温度

- 意义: 宏观上表示物体的冷热程度, 微观上表示的是分子热运动的剧烈程度
- 温标: 摄氏温度  $t$ , 单位  $^{\circ}\text{C}$ ; 热力学温标  $T$ , 单位  $\text{K}$ (开)
- 转化:  $T = t + 273.15$  (绝对零度:  $T = 0 \implies t = -273.15^{\circ}$ )

#### 3. 热平衡: 两个热力学系统之间无温度差 (温度相同)

### 1.1.8 内能

#### 1. 分子平均动能: 温度有关

#### 2. 分子势能: 由分子的位置决定, 在微观上与分子间距相关, 宏观上与体积相关

#### 3. 内能的概念: 物体所有分子的热运动的动能与分子势能的总和

#### 4. 内能的决定因素:

- (1) 微观上: 分子个数, 分子平均动能, 分子势能
- (2) 宏观上: 质量, 温度, 体积

#### 5. 理想气体: 有质量, 分子无体积, 分子之间没有作用力的气体

#### 6. 两个意义: 分子无体积 (仍有占有体积) 意味着气体可以无限被压缩 分子间无作用力 (气体内能不包含分子势能)

#### 7. 结论: 理想气体内能只有动能项, 其内能大小仅和温度有关

## 1.2 物态及物态的变化

### 1.2.1 晶体与非晶体

#### 1. 固体

- 根据有无固定熔点分为: 晶体 (有) 非晶体 (无)
  - 根据有无规则的外形分为: 单晶体 (有) 多晶体 (无)
- 单晶体: 其内部微粒有规律地排列在一个空间格子内的晶体.  
其晶体结构是连续的, 或者说, 在宏观尺度范围内单晶不包含晶界.

多晶体: 仅存在于固体, 由多颗大小及方向各异的晶粒所构成  
而这些晶粒一般都由大量微小的单晶或微晶 (微结晶、结晶粒、结晶子) 组成.  
在材料不同位置生长的结晶粒相遇时形成晶界

- 常见晶体: 石英 食盐 明矾 云母 天然水晶
- 常见非晶体: 蜂蜡 橡胶 玻璃

- 互相转换:

糖块 是多晶体; 组成糖块的颗粒 是单晶体

天然水晶 是单晶体; 融化后再凝固的玻璃 是非晶体

## 2. 各向同性与各向异性:

- 定义: 各个方向上的物理性质的同异 (主要指导电性, 导热性, 透光性等)
- 单晶体: 其具有规则外形, 因此不同方向上物理性质具有差异, 各向异性
- 多晶体与非晶体: 其具有不规则外形, 因此不同方向上物理性质一致, 各向同性

## 3. 总结:

	单晶体	多晶体	非晶体
外形	规则	无规则	无规则
固定熔点	有	有	无
物理性质	各向异性	各向同性	各向同性

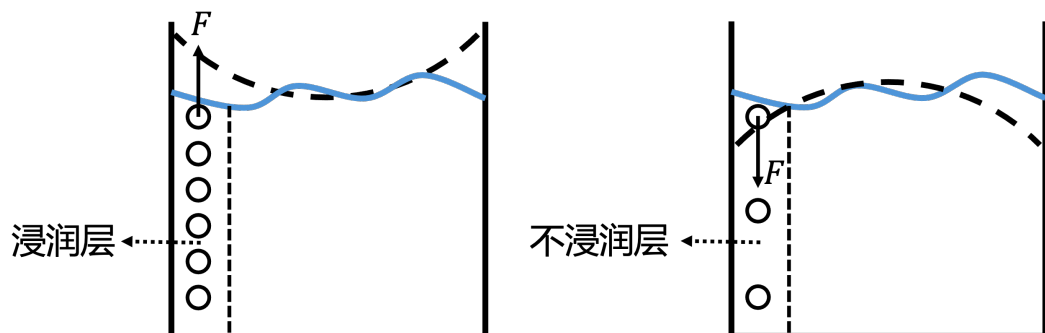
### 1.2.2 液体

#### 1. 表面张力

- (1) 生活中的现象: 球形露珠, 水面上的水蜘蛛
- (2) 作用: 表面张力是液体具有**收缩**的趋势
- (3) 效果: 使得表面积趋于最小, 而在体积  $V$  相同的情况下, **球体表面积最小**
- (4) 成因: 表面层蒸发使得分子较为稀疏, 间距较大, 表现为分子间的引力
- (5) 方向: 与液体表面相切, 与液体的分界线垂直
- (6) 大小: 温度越高张力越小 (例如蒸发现象), 有杂质的时候张力更小 (类似隔断)

#### 2. 浸润与不浸润

- (1) 浸润现象: 毛巾洗脸, 下雨衣服湿了, 试管凹液面
- (2) 不浸润现象: 荷叶上的水滴, 水银凸液面
- (3) 成因: 固体分子对液体分子的作用力



- (4) 毛细现象: 本质上是 **浸润** 和 **表面张力** 的共同作用  
 浸润时尽可能贴附固体分子 (水液面上升)  
 非浸润时尽可能排斥固体分子 (水银液面下降)  
 试管越细, 那么管内的液体则越少, 毛细现象越明显

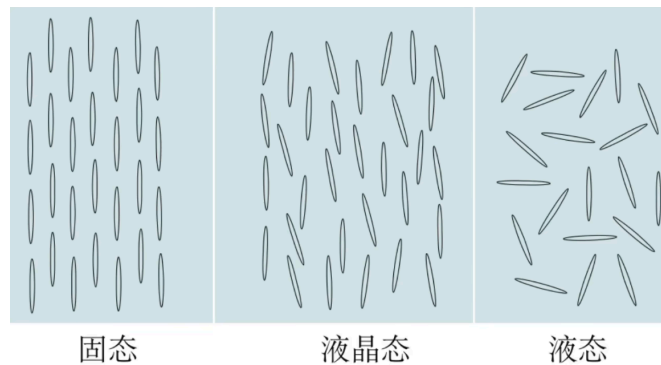
$$\text{液面上升高度 } h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r} \quad (\theta: \text{液面切线与固体面所成锐角})$$

$\gamma$ : 表面张力系数;  $\theta$ : 接触角;  $\rho$ : 液体密度;  $r$ : 试管半径

下雨**踩土** (减少土壤缝隙宽度) **加强**毛细现象, 减少树木根部积水

下雨**刨土** (使得土壤不再有缝隙) **破坏**毛细现象, 增加树木根部水量

3. 液晶: 像液体一样具有流动性, 光学性质与单晶体相似具有各向异性  
液晶不是单/多晶体与非晶体, 独立种类



### 1.2.3 饱和汽与饱和汽压

1. 概念:
  - (1) 饱和汽: 与液体处于动态平衡的蒸汽
  - (2) 饱和汽压: 饱和汽的压强
2. 理解: 在溶液中既有水分子蒸发出去, 也有水分子液化回来
  - 蒸发 (与温度相关): 蒸发的水分子数 > 液化水分子数
  - 液化 (与温度相关, 与蒸汽密度相关): 液化的水分子数 > 蒸发水分子数
  - 平衡: 蒸发的水分子数 = 液化水分子数
3. 饱和汽压的影响因素:
  - 温度: 温度越高, 蒸发与冷凝强度均高, 分子密度也越大, 蒸汽的饱和汽压越大
  - 体积: 与液面上方的体积**无关** (改变体积会改变当前状态, 稳态不变)
  - 密度: 无关。增大体积, 上方蒸汽密度下降, 液化能力下降, 蒸发能力不变  
上方净累积分子, 稳态后, 密度不变

### 1.2.4 相对湿度与绝对湿度

- 绝对湿度: 此时水蒸气的**压强**
- 相对湿度: 绝对湿度除以水的饱和汽压
- 相对湿度公式:  $\text{相对湿度} = \frac{\text{绝对湿度}}{\text{饱和汽压}}$
- 人体感觉潮湿或干燥: 感受到的是相对湿度
- 干湿泡温度计: 两根温度计, 一根温度计裹着湿棉布, 另一根测量室温  
湿棉布蒸发吸热, 温度计示数低, 两根温度计示数差  
温度差越大, 蒸发现象越明显, 无温差则无蒸发现象  
因此绝对湿度与饱和汽压相差较大, 比值是相对湿度会越小

## 1.3 理想气体

### 1.3.1 气体压强的微观解释

#### 1. 理解气体压强

- (1) 气压: 气体分子对物质界面不断的撞击
- (2) 推导:

证明.

$$F\Delta t = Nmv \quad (\text{分子碰撞后停止})$$

$$N = n\Delta V = n \times (v\Delta t S) = nvS\Delta t$$

$$P = \frac{F}{S} = nmv^2$$

□

- (3) 影响压强的因素:  $n$  单位体积分子数 (体积  $V$ ),  $v$  分子热运动速度 (温度  $T$ )

$n = \frac{N}{S\Delta t}$ ,  $n$  也可以被定义成单位面积, 单位时间撞击次数.

### 1.3.2 压强的表示以及画法

#### 1. 压强的表示方法

- (1) 公式:  $P = \frac{F}{S}$  单位: 帕斯卡  $Pa$
- (2) 表示方法
  - i. 帕斯卡:  $Pa$
  - ii. 一个大气压:  $1atm = 10^5 Pa$
  - iii. 汞柱高度:  $cmHg$  ( $1atm = 76cmHg$ )
  - iv. 任意液柱:  $\rho gh$

#### 2. 压强的画法: 气体垂直指向碰撞面

#### 3. 压强的等式

##### (1) 液面封闭气体

- 研究对象: 液柱
- 列式模版: 大气压两侧平衡 (包括液压)
- 注意: 等式两边的单位制应该一致, 同时用帕斯卡  $Pa$  或者  $cmHg$ ,  $h$  取竖直高度

##### (2) 连通器

- 原理: 等高液面的压强是相等的
- 研究对象: 等高液面
- 列式模版: 连通器两侧对于等高液面的压强相等
- 注意:  $h$  为高度差, 以及液体的压强方向

##### (3) 活塞 (考虑质量)

- 研究对象: 活塞 (受力分析)
- 列式模版: 压强转化为力, 力学平衡等式
- 注意: 活塞有一侧为斜面时, 斜面积需要重新计算, 同时该力进行分解



### 1.3.3 气体三大实验定律

#### 1 气体的状态参量

(1) 参量:  $PVT$

(2) 关系:  $\frac{PV}{T} = C$

(3) 适用条件: 同一气体且质量 (物质的量) 不变 (当漏气时  $C$  下降)

#### 2 玻意耳定律 (人名要记忆)— $T$ 不变

- 概念: 温度一定时, 一定质量的气体,  $P, V$  成反比  $\Rightarrow PV = C$
- 记忆方式: 耳的右边有类似  $T$  的存在

#### 3 查理定律 (人名要记)— $V$ 不变

- 概念: 体积一定时, 一定质量的气体,  $P, T$  成正比  $\Rightarrow \frac{P}{T} = C$
- 记忆方式: 查中间有个倒着的  $V$

#### 4 盖-吕萨克定律 (人名要记)— $P$ 不变

- 概念: 压强一定时, 一定质量的气体,  $V, T$  成正比  $\Rightarrow \frac{V}{T} = C$
- 记忆方式: 萨左下角有个类似  $P$  的存在

### 1.3.4 液柱的移动

#### • 瞬态变化量的计算

$$\frac{P}{T} = \frac{\Delta P}{\Delta T} \quad \text{or} \quad \frac{V}{T} = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (\text{过原点的函数才能这样写})$$

等式只用做计算  $\Delta P$  or  $\Delta T$  or  $\Delta V$  瞬间变化程度, 以此来判断液面移动方向  
并不代表稳态后的  $\Delta P$  or  $\Delta T$  or  $\Delta V$

若在瞬态过程中, 有同时有多个量导致液面的上升或下降

可以直接考虑末态方程, 从结果上判断某些量的确定增减性, 在进行判断液面

#### • 充放气问题-物质的量的变化

克拉伯龙方程:  $PV = nRT$  ( $n$ : 物质的量;  $R$ : 气体常数)

涉及气体物质的量的变化, 待被充气体  $P\Delta V = \Delta nRT$  ( $n, V, m$  具有等价性)

## 1.4 热力学三大定律

### 1.4.1 热力学第一定律和能量守恒

#### 1 改变物体内能的两种方式

- (1) 做功 (摩擦生热等)
- (2) 热传递 (热辐射等)

#### 2 热力学第一定律

- (1) 内容: 一个热力学系统的内能增量等于外界向它传递的热量与外界对它所做的功的和
- (2) 表达式:  $\Delta u = W + Q$

	$W$	$Q$	$\Delta u$
+	外界对物体做功	吸收热量	内能增加
-	物体对外界做功	放出热量	内能减少

(3) 气体膨胀/压缩时: 物体对外界做功/外界对物体做功

(4) 判断内能变化不同研究对象分析方式不同:

(a) 研究对象为 **固体或液体** 时:

晶体 (固定熔点) 熔化时温度不变, 吸热使得内能增大

破坏了空间点阵结构, 增大了分子势能

同质量的  $0^{\circ}\text{C}$  水和  $0^{\circ}\text{C}$  冰, 后者吸热变成水, 因此前者内能更大

(b) 研究对象为 **理想气体** 时

$m$  一定时, 理想气体无分子势能, 其内能只和温度有关

(5) 做功公式:  $W = P \cdot \Delta V$  (必须要求恒压过程)

### 3 解题中的特殊字眼

(1) 绝热: 没有热传递  $Q = 0$

(2) 真空: 不做功  $W = 0$

(3) 膨胀: 对外做功  $W < 0$

4 能量守恒定律: 能量既不可能凭空消失, 也不能凭空产生

它只能从一种形式转换为另一种形式, 总量保持不变

## 1.4.2 热力学第二定律和永动机

### 1 概念:

克劳修斯表述: 热量不能**自发**的从低温传递到高温 (方向性表述)

开尔文表述: 不可能从单一热源吸收能量, 使之完全变成**有用功**, 而不产生其他影响  
热机的效率不可能达到 100%

### 2 : 易错概念:

热量不能自发地从内能低的传到内能高的物体 (×)

根据热力学第二定律, 各种形式的能可以互相转换 (×)

自然界中自发进行的与热现象有关的宏观物理过程都具有方向性 (✓)

一切与热现象有关的宏观自然过程都是不可逆的 (✓)

### 3 永动机

(1) 第一类永动机 [内部能量互相转换](无法造出来): 违背能量守恒, 会有其他能量损耗

(2) 第二类永动机 [从外界吸收能量, 即将耗散的能量再作为输入](无法造出):

违背热二的热传递方向性问题, 耗散能量无法完全利用

## 1.4.3 热力学第三定律

概念: 绝对零度无法达到 ( $0\text{ K or } -273^{\circ}$ )