

# 中学物理

田怿

2024 年 12 月 15 日



# 目录

<b>Part I</b>	<b>热学</b>	<b>1</b>
1	分子动理论 . . . . .	3
1.1	分子动理论 (molecular kinetic theory) . . . . .	3
1.2	固体 液体 气体 . . . . .	3
2	内能 . . . . .	5
2.1	内能 . . . . .	5
2.2	比热容 . . . . .	5
3	热机 . . . . .	7
3.1	热机 . . . . .	7
3.2	热机的效率 . . . . .	7
4	热力学定律 . . . . .	8
4.1	系统内能的改变 . . . . .	8
4.2	热力学第一定律 . . . . .	8
4.3	能量守恒定律 . . . . .	8
4.4	热力学第二定律 . . . . .	9

# Part I 热学

热学是研究物质热运动规律及其性质和应用的物理学分支。

# 1 分子动理论

## 1.1 分子动理论 (molecular kinetic theory)

- 物质是由大量分子组成的.
- 分子在永不停息地做无规则运动.
- 分子之间存在相互作用力.
- 分子直径约为  $10^{-10}\text{m}$ .
- 18g 水中含有水分子的个数约为  $6.02 \times 10^{23}$ , 即为阿伏伽德罗常数  $N_A$ .
- 在研究物体的热运动性质和规律时, 不必区分它们在化学变化中所起的不同作用, 而把组成物体的微粒统称为分子 (molecule).
- 不同的物质在相互接触时自发地彼此进入对方的现象叫做扩散 (diffusion).
- 扩散现象可以发生在气体、液体和固体之间.
- 扩散现象是物质分子永不停息地做无规则运动的证据之一.
- 悬浮微粒的无规则运动叫做布朗运动 (Brownian motion).
- 悬浮微粒的无规则运动并不是分子的运动, 但可以间接地反应液体分子运动的无规则性.
- 分子的无规则运动叫做热运动 (thermal motion).
- 温度是分子热运动剧烈程度的标志.
- 分子之间存在引力, 分子之间存在斥力.
- 分子之间, 引力和斥力同时存在.
- 分子间的作用力  $F$  与分子间距离  $r$  有关. 即:  
当  $r = r_0$  时, 分子间的作用力  $F$  为 0, 这个位置被称为平衡位置.  
当  $r > r_0$  时, 分子间的作用力  $F$  表现为引力.  
当  $r < r_0$  时, 分子间的作用力  $F$  表现为斥力.

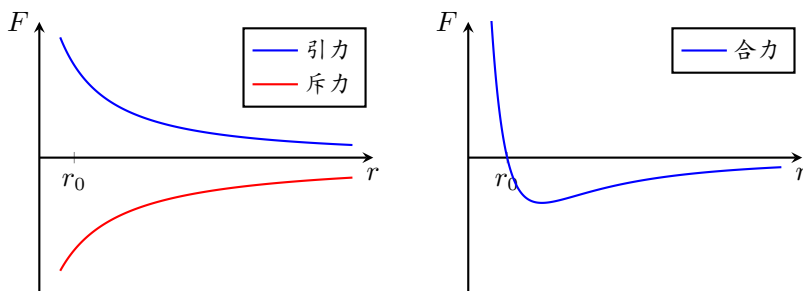


图 1.1 分子间的作用力与分子间的距离的关系

## 1.2 固体 液体 气体

- 固体分子间的距离小, 不容易被压缩和拉伸, 具有一定的体积和形状.
- 气体分子间的距离很大, 彼此间几乎没有作用力. 具有流动性, 容易被压缩.

- 液体分子间的距离比气体小、比固体大，液体分子间的作用力比固体小、比气体大，分子没有固定的位置，运动较自由。液体较难被压缩，没有一定的形状，具有流动性。

物态	微观特性		宏观特性	
	分子间距离	分子间作用力	固定形状	固定体积
固态	很小	很大	是	是
液态	较大	较大	否	是
气态	很大	很小	否	否

表 1.1 固体 液体 气体

## 2 内能

### 2.1 内能

- 分子由于热运动而具有的能叫做分子动能.
- 系统中所有分子的动能的平均值叫做分子热运动的平均动能.
- 物体温度升高时, 分子热运动的平均动能增加.
- 温度是分子热运动的平均动能的标志.
- 单原子分子的平均动能  $\overline{E_k} = \frac{3}{2}kT$ , 即  $\overline{E_k} \propto T$ .
- 分子之间由于存在相互作用力而具有的能叫做分子势能.
- 分子势能  $E_p$  与分子间的距离  $r$  有关. 即:
  - 当  $r = r_0$  时, 分子间的作用力  $F$  为 0, 分子势能最小.
  - 当  $r > r_0$  时, 分子间的作用力  $F$  表现为引力, 分子势能减小.
  - 当  $r < r_0$  时, 分子间的作用力  $F$  表现为斥力, 分子势能增大.
- 分子势能的大小由分子间的相对位置决定. 如果选定分子间距离  $r$  为无穷远时的分子势能  $E_p$  为 0, 则分子势能  $E_p$  随分子间距离变化的情况如图所示.

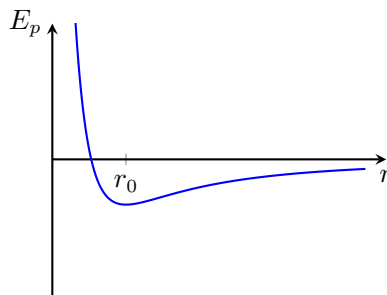


图 1.2 分子势能与分子间的距离的关系

- 分子势能与物体体积有关.
- 物体中所有分子的分子动能与分子势能的总和, 叫做物体的内能 (internal energy). 任何物体都具有内能. 内能的单位是焦耳 (J).
- 物体的内能与温度和体积有关.

### 2.2 比热容

- 内能由高温物体转移到低温物体的过程叫做热传递.
- 热传递的基本方式包括传导、对流和辐射.
- 在热传递过程中, 传递能量的多少叫做热量 (quantity of heat). 用符号  $Q$  表示. 单位是焦耳.
- 物体吸收热量是内能增加, 放出热量时内能减少. 热量是物体内能改变的量度.



- 一定质量的某种物体，在温度升高（或降低）时吸收（或放出）的热量与它的质量和升高（或降低）的温度乘积之比，叫做这种物质的**比热容**（specific heat capacity）. 用符号  $c$  表示. 单位是**焦每千克摄氏度**（ $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ）. 有：

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta t} \quad (1.1)$$

- 比热容反映**物质自身性质**的物理量.
- 不同的物质，比热容一般不同.
- 水的比热容为  $4.2 \times 10^3 \text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ .
- 热量的计算有  $\Delta Q = cm\Delta t$ .
- **热平衡方程**，即  $\Delta Q_{\text{吸}} = \Delta Q_{\text{放}}$ .

## 3 热机

### 3.1 热机

- **热机** (heat engine), 即利用内能做功 (**内能转化为机械能**) 的机械.
- **蒸汽机**, 即利用水蒸气膨胀做功的热机. 蒸汽机属于外燃机.
- 活塞从气缸的一端运动到另一端的过程叫做一个**冲程**.
- 四冲程汽油机一般包括**吸气**、**压缩**、**做功**和**排气**四个冲程.
- **汽油机**和**柴油机**都属于**内燃机**.
- **汽轮机**和**喷气发动机**.

### 3.2 热机的效率

- 能够燃烧的物质叫做**燃料**.
- 在燃烧过程中, 燃烧的**化学能**转化为**内能**.
- 某种燃料**完全燃烧**放出的能量与其质量或体积的比较做这种燃料的**热值** (combustion value) 或燃烧值. 用符号  $q$  表示. 单位是**焦耳没千克 ( $\text{J/kg}$ )** 或**焦每立方米 ( $\text{J/m}^3$ )**. 有:

$$q = \frac{Q_{\text{放}}}{m} \text{ 或 } q = \frac{Q_{\text{放}}}{V} \quad (1.2)$$

- 热值在数值上等于  $1\text{kg}$  或  $1\text{m}^3$  某种燃料**完全燃烧**放出的热量. 其中  $1\text{m}^3$  是**标准状态**下气体燃料的体积. 标准状态是指温度为  $0^\circ\text{C}$ 、压强为  $1\text{atm}$  的状态.
- 热量的计算有  $Q_{\text{放}} = qm$  或  $Q_{\text{放}} = qV$ .
- 做有用功的能量与燃料完全燃烧放出的能量之比叫做**热机的效率**, 有:

$$\mu = \frac{Q_{\text{有用}}}{Q_{\text{燃料}}} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

- 设燃料放出的热量为  $Q_1$ , 热机吸收的热量为  $Q_2$ , 废气带走的热量为  $Q_3$ , 则:

$$\mu = \frac{Q_1 - Q_2 - Q_3}{Q_1} \cdot 100\%$$

## 4 热力学定律

- 热学包括**热力学**和**统计物理**.
- 热力学的研究对象叫做**热力学系统** (thermodynamic system), 简称**系统**. 热力学系统是由大量分子组成的.
- 系统之外与系统发生相互作用的其他物体统称为**外界**.

### 4.1 系统内能的改变

- 改变系统内能的两种方式是**热传递**和**做功**.
- 在热传递过程中, 系统吸收热量内能增加, 放出热量内能减少.
- 热量是**热传递过程中**系统内能变化的量度.
- 系统与外界没有热传递的过程叫做**绝热过程** (adiabatic process) .
- 在绝热过程中, 外界对系统做功, 系统内能增加; 系统对外界做功, 系统内能减少.
- 做功是**绝热过程中**系统内能变化的量度.
- 焦耳的实验表明**热传递和做功对改变系统的内能是等效的**.

### 4.2 热力学第一定律

- **热力学第一定律** (first law of thermodynamics), 即热力学系统内能  $U$  的变化量等于系统从外界吸收的热量 (系统向外界放出的热量) 与外界对系统做的功 (系统对外界做的功) 之和. 有:

$$\Delta U = Q + W \quad (1.4)$$

系统对外界吸热,  $Q$  为正值; 系统对外界放热,  $Q$  取负值; 外界对系统做功,  $W$  取正值; 系统对外界做功,  $W$  取负值.

### 4.3 能量守恒定律

- 不同形式的能量可以在一定条件下相互转化.
- **能量守恒定律** (law of conservation of energy), 即能量既不会凭空产生, 也不会凭空消失, 它只能从一种形式**转化**为其他形式, 或者从一个物体**转移**到其他物体, 在转化或转移的过程中, 能量的总量保持不变.
- 能量守恒定律是自然界最普遍、最重要的基本定律之一.
- 能量守恒定律的本质是**时间平移对称性**.
- **永动机**, 即不需要动力就能源源不断地对外做功的机器, 分为第一类永动机和第二类永动机.
- 能量守恒定律的另一种表述为**第一类永动机不可能制成**.

#### 4.4 热力学第二定律

- 一切与热现象有关的宏观自然过程都是**不可逆**的.
- **热力学第二定律** (second law of thermodynamics) .
- **克劳修斯表述**, 即热量不能**自发**地从低温物体传到高温物体. 自发是指不需要任何第三者的介入, 不会对任何第三者产生任何影响. 自发的方向是从高温物体指向低温物体.
- 克劳修斯表述阐述了**传热的方向性**.
- **开尔文表述**, 即**不可能从单一热库吸收热量**, 使之完全变成功, 而不产生其他影响. 不可能从单一热库吸热, 而且一定对向另一个热库放热.
- 开尔文表述阐述了**机械能与内能转化的方向性**.
- **热力学第二定理的另一种表述为第二类永动机不可能制成**.
- 热力学第二定律的克劳修斯表述和开尔文表述是**等价的**.
- **能量耗散**, 即不同形式的能量最终都转化为**内能**并分散在环境中的过程.