

物理讲义

LeeStars

2025.07.10

目录

1 前言	1
2 Chapter13 内能	2
2.1 分子热运动（扩展）	2
2.2 内能	2
2.3 热容、比热容	3

1 前言

物理学科的定义是一门“自然哲学”，也就是说物理需要自己的世界观和方法论。我很喜欢一个概念，叫“物理直觉”，也就是说看到一种现象或者一道题目，我可以想象出其后续会怎么发展、每一时刻的运动、受力等。这是一种不经过思考的、本能的反应。与其说这是一种能力，更不如说是一种天赋。与之对应的，我们也需要对概念的深刻剖析，和对过程的耐心分析。

物理学科分大类就是：声光热力学。他们彼此之间相互联系、相互统一，不可能脱离其中一个来讨论另一个。

之所以有一个学科叫“数理逻辑”，就是因为物理学科与数学学科是高度紧密关联的。初中可能并没有解释清楚，但是后续的物理学习将会有很多的、纯粹的数学推导。（当然实验也要有，根据现代科学研究范式：假说演绎法，实验是验证理论、假说的必要途径；政治老师告诉你，理论不能脱离实践，这也是物理哲学性的体现）

举一个最简单的例子：杠杆原理。为什么“距离”要求的是支点到力的方向的垂直距离？数学上这属于向量在另一个方向上的“有效投影”，物理上称这两个向量的叉乘结果为这个力在支点的力矩。而“角动量守恒”这一观点最终确定了杠杆原理的形式。从更高的视角来看，我们称之为“时空对称性”，如下：

- 空间平移对称性 \Leftrightarrow 动量守恒
- 旋转平移对称性 \Leftrightarrow 角动量守恒
- 时间平移对称性 \Leftrightarrow 能量守恒

与之对应的三大守恒，也称“三大基本守恒定律”，是物理学研究的基础。

多言无益，Let's Start!!!

2 Chapter13 内能

课本第 13、14 章聚焦于热学的微观部分，也是比较需要微观建模能力的一部分。这一部分定义繁多，而且难以理解（高中更甚）。其主要涉及的部分其实是分子热力学。

2.1 分子热运动（扩展）

课本中有提到“人们通常以 10^{-10}m 为单位来量度分子。”实际上，我们有一个更加标准的单位“埃”（angstrom），符号是 \AA 。换算关系是： $1\text{m} = 10^3\text{mm} = 10^6\mu\text{m} = 10^9\text{nm} = 10^{10}\text{\AA}$

在热力学中，我们提到的“分子”不同于化学中的“分子”概念，是泛指一切构成物质的例子，包括化学意义上的分子、原子、离子等。（下文中提到“分子”，若无特别说明，默认为前者。）

分子是无时无刻不在无规则运动的，因此分子同样具有动能；而分子间势能则是由于分子间距离变化产生的。两者之和即为分子的内能。

由于分子间作用力同时存在引力和斥力，而距离不同会导致力的大小随之变化。我们记引力与斥力大小相同的位置为 r_0 ，实际分子间的距离为 r ，则有如下关系：

- $0 < r < r_0$ 时，斥力主导，引力和斥力均随距离的增大而减小，分子势能减小；
- $r = r_0$ 时，引力和斥力大小相同，合力为 0，势能最小；
- $r > r_0$ 时，引力主导，引力和斥力均随距离的增大而减小，分子势能增大；
- $r > 10 * r_0$ 时，几乎不存在分子间作用力，势能为 0。

气体之所以易于压缩，就是因为其分子间的距离超过了 $10r_0$ ，分子间作用力极其微弱（几乎是分子直径的 10 倍到 100 倍），分子间存在很大空隙作为压缩空间，故易于压缩。

书中“将分子视为球体”这一理想化假设是热力学的一个重要假设，让我们不用在意分子的具体形状和相互之间的距离，这一点在高中亦有体现（指实验“油膜法估测分子直径大小”）。

2.2 内能

首先，我们需要对热力学上的“温度”给出定义。经验上来看，温度是描述物体冷热程度的物理量；实验上来看，温度就是温度计上的示数；而从热力学来看，温度是分子热运动剧烈程度的反映，是分子动能的体现；而在统计力学上，有定义 $\frac{1}{T} = \frac{\partial S}{\partial E}$ 。这几种定义相互等价。

物体内能变化的两种途径是热传递和做功。这两种过程实质上也是热力学第一定律的一个体现。

定理 1 (热力学第一定律) 物体内能的增加等于物体吸收的热量和对物体所做的功的总和。即热量可以从一个物体传递到另一个物体，也可以与机械能或其他能量互相转换，但是在转换过程中，能量的总值保持不变。

其中，热传递过程对应“热量从一个物体传递到另一个物体”，而做功对应“热量与机械能或其他能量互相转换”。实际上，热力学第一定律有多种表述，但是彼此等价。有公式：

$$\Delta U = Q + W$$

前面提到“分子间内能是动能与势能之和”，而温度只反映分子间动能。由于在物态不变时，我们认为该物体分子间势能不变，故可以用温度变化来判断内能变化。（实际上当然不可以，还要考虑外界与物体的做功关系）

2.3 热容、比热容

在提到比热容之前，我们先介绍一下热容：

定义 1 (热容) 物质温度升高 $1K/1^{\circ}C$ 所增加的热量，用 C 表示，单位是 J/K ，读作“焦每开尔文”。

$$C = \frac{\delta Q}{dT}$$

定义 2 (比热容、摩尔热容) $1kg$ 物质的热容叫做比热容，符号 c ，单位 $J/(K \cdot kg)$ ； $1mol$ 物质的热容叫摩尔热容，符号 C^{mol} ，单位 $J/(K \cdot mol)$ 。

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}, C^{mol} = \frac{Q}{n \cdot \Delta T}$$

比热容反应的是单位质量物质的吸热能力，常用公式为 $Q = cm\Delta t$ 。吸热与放热的计算并无不同。