

King of Dumbs

笨蛋之王

级别: ♠ 技术

一堵墙是由什么构成的？ 轻松搞懂原子和元素

质子、中子和电子，元素和同位素，金刚石与石墨，还有摩尔，用积木讲清楚，
分三个层次。

中文 发布于 2026年10月15日



扫码打开可互动的课程

<https://kingofdumbs.com/zh/lessons/atoms-and-elements>

你将学到

- 原子里面有什么
- 元素、同位素和离子
- 分子和化学键：金刚石与石墨
- 摩尔

本课会出现的符号

Δ 变化量：变了多少 (♠) · E_a 下标：右下角的标签 (♦♠) · H° 表示标准状态，不是度 (♠) · Σ 求和：全部加起来 (♠) · x_i 下标 i ：第 i 个元素 (♠) · $\approx$ 约等于 (♦♠) · $\sim$ 数量级约为 / 服从...分布 (♠) · $\rightarrow$ 箭头：变成 / 趋近于 (♠) · 10^{-3} 负指数：表示除 (♦♠) · $J/(\text{mol}\cdot\text{K})$ 复合单位 (♦♠) · α alpha：学习率或粒子 (♦♠)

看看一堵墙。它是用砖砌的，每块砖是烧过的黏土。现在想象你一直往下拆：把砖敲成碎块，碎块磨成颗粒，颗粒再分成越来越小的小粒。一直分下去，最后总会到同一个地方：**原子**。

这一课的傻问题是：****一堵墙是由什么构成的？****答案有点出人意料：只有三种零件。构成你的手、构成你呼吸的空氣的，也是这三种。不同的只是用了多少个、怎么拼在一起，就像一盒积木。

这一课讲四件事：原子里面有什么，是什么决定一个原子属于哪种元素，同样的零件怎么拼出完全不同的东西，以及怎样成堆地数原子。

选一张牌吧：♣ 适合零基础，♦ 适合不怕简单公式，♠ 适合想看符号推导。随时可以换。

原子里面

♦→♠ 从进阶到技术

♦里的说法	♠里的写法
在 10^{-15} 米这个数量级	$R = r_0 A^{(1/3)}$, $r_0 \approx 1.2 \text{ fm}$ ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$)
原子核里的质子和中子	A: 核子数
原子质量单位 (u)	$u = m(^{12}\text{C})/12 = 1.660\,539\,068\,92(52) \times 10^{-27} \text{ kg}$
一个质子相当于 1836 个电子	$m_p/m_e = 1836.152\,673\,426(32)$
带正电	$q = +e$, $e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$ (精确值)
几乎全是空的	$V_{\text{核}} / V_{\text{原子}} \sim (10^{-15} / 10^{-10})^3 = 10^{-15}$
几乎所有质量都在一个极小的点上	核密度 $\rho \approx 2.3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$

$$R = r_0 \cdot A^{(1/3)}, r_0 \approx 1.2 \text{ fm}$$

$$\rho \approx u / (4/3 \pi r_0^3) \approx 2.3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

$$m_p / m_e = 1836.152\,673\,426(32)$$

$$(10^{-15} \text{ m} / 10^{-10} \text{ m})^3 \approx 10^{-15} \quad (\text{体积})$$

散射测量给出原子核半径 $R = r_0 A^{(1/3)}$, 其中 $r_0 \approx 1.2 \text{ fm}$, A 是核子数 (OpenStax《大学物理》第 3 卷, 10.1) 。R 随 $A^{(1/3)}$ 增长, 意味着体积随 A 增长: 核子以**恒定密度**堆积, 就像不可压缩的液滴。

这个密度来自把质量 u 放进半径为 r_0 的球里: $\rho \approx u / (4/3 \pi r_0^3) \approx 2.3 \times 10^{17} \text{ kg/m}^3$, 和 OpenStax 为铁-56 算出的值一样 (HyperPhysics 给出 2×10^{17}) 。一立方厘米的核物质约重 2.3×10^{11} 千克。

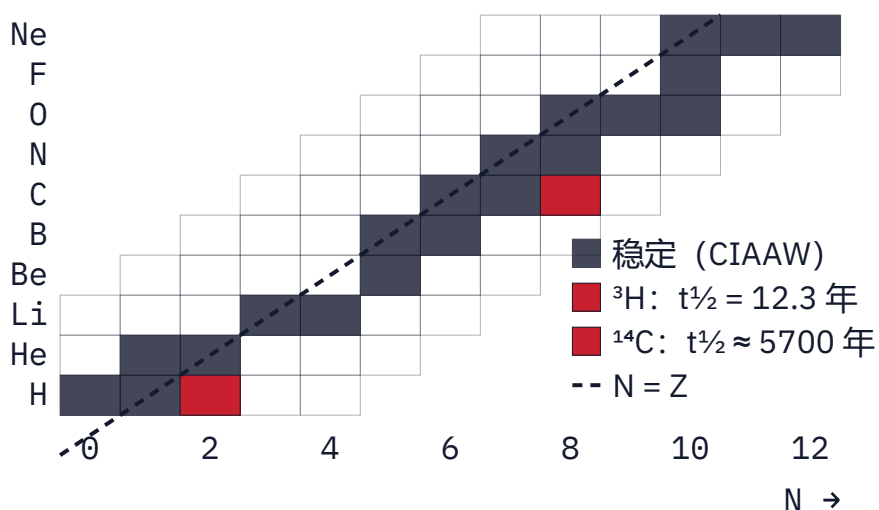
由 $m_p/m_e = 1836.15$ (CODATA 2022) , 在中子数等于质子数的原子里, 电子只占质量的 0.03%。体积则正好相反: $R_{\text{原子}}/R_{\text{核}} \sim 10^5$, 原子核只占体积的 $\sim 10^{-15}$ 。

卢瑟福根据大角度散射的 α 粒子推断出原子核 (*Phil. Mag.* 21, 669, 1911) ; 如果电荷是均匀分布的, 这种散射不可能发生。查德威克证认了中子 (*Nature* 129, 312, 1932) 。自 2019 年起, e 按定义是精确值; u 按定义是一个 ^{12}C 原子质量的十二分之一。

元素和同位素

♦→♠ 从进阶到技术

♦里的说法	♠里的写法
原子序数 (Z)	Z
中子数是 $A - Z$	$N = A - Z$
质量数 (A)	$A = Z + N$; 核素 ${}^A_Z X$
原子核稳不稳	核素图: 按 (Z, N) 区分稳定核素和放射性核素
丰度	原子分数 x_i , $\sum x_i = 1$
半衰期	$t_{1/2}$: $N(t) = N_0 \cdot 2^{(-t / t_{1/2})}$
电荷	$q = (Z - n_e) \cdot e$



一个核素由 (Z, N) 确定。核素图把它们排开，横轴是 N，纵轴是 Z。在 Z = 1 到 10 之间，CIAAW 列出 **20 个稳定核素**，N 都在 Z - 1 到 Z + 2 之间：轻核的稳定区紧贴对角线 $N = Z$ 。铍和氟各只有一个 (${}^9\text{Be}$ 和 ${}^{19}\text{F}$)。

光在这条带里还不够：不在这份名单上的核素，不管在带内还是带外，都会衰变。每个原子核在单位时间内衰变的概率恒定，所以核的数目满足 $N(t) = N_0 \cdot 2^{(-t/t_{1/2})}$ 。两个例子，都在带内：

- ${}^3\text{H}$ (氚) : $t_{1/2} = 12.32$ 年 (OpenStax, 表 10.1) ; TUNL 推荐 12.323 ± 0.020 年。它会变成 ${}^3\text{He}$ 。
- ${}^{14}\text{C}$: OpenStax 给出 5730 年, TUNL 推荐 5686 ± 40 年 (近期测量的平均值为 5699 ± 20) 。按约 5700 年算, 11400 年后剩下四分之一。

丰度 x_i 不是普适常数：它取决于样品来自哪里。对正常地球物质中的 ^{13}C ，CIAAW 给出 0.0096 到 0.0116 的区间。

离子的电荷是 $q = (Z - n_e) \cdot e$ 。改变 n_e 是化学（电离）；改变 Z 是核物理。

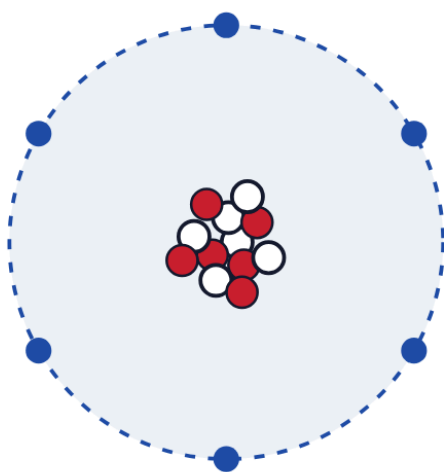
笨蛋之王说：

给碳加几个中子，它还是碳。想换元素就得动质子，那就不是化学了。



动手试试：搭一个原子

拖动质子、中子和电子。看看得到哪种元素、原子核稳不稳、原子有没有带电。试试 6 个质子加 8 个中子。



^{12}C

碳-12

- 质子
- 中子
- 电子

质子 (决定是哪种元素) 6

中子 6

电子 6

元素 碳 (C)

同位素 碳-12

写法 ^{12}C

原子核 稳定：不会自己分解。

电荷 电中性：电子和质子一样多。

碳-12：稳定：不会自己分解。电中性：电子和质子一样多。



互动小工具。 在网站上试一试： <https://kingofdumbs.com/zh/lessons/atoms-and-elements>

同样的零件，不同的拼法

♦ → ♠ 从进阶到技术

♦ 里的说法	♠ 里的写法
化学键	C-C 单键 (1.54 Å) 和 C=C 双键 (1.34 Å)
4 个，在正四面体的顶点上	sp^3 杂化，键角 $\arccos(-1/3) \approx 109.5^\circ$
3 个，在平面薄片里	sp^2 杂化，键角 120°
1.4×10^{-10} 米	$d = 1.4 \text{ Å}$ ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$)
弱作用力	层间的非共价相互作用
最稳定的形态	$\Delta G^\circ < 0$: $\Delta_r G^\circ$ (金刚石 → 石墨) = -2.9 kJ/mol
打断它的化学键	C-C 键能 $\approx 345 \text{ kJ/mol}$
并不会变成	亚稳态 (动力学稳定)



C-C 单键: 1.54 Å, 345 kJ/mol

金刚石 → 石墨: $\Delta G^\circ = -2.9 \text{ kJ/mol}$

在金刚石中，每个碳原子是 sp^3 杂化，与位于正四面体顶点的 4 个碳原子成键；在石墨中是 sp^2 杂化，在平面内与 3 个碳原子成键 (UW-Madison, Chem 109)。四面体角来自指向相对顶点的两个向量 (1, 1, 1) 和 (1, -1, -1): $\cos \theta = -1/3$, $\theta \approx 109.47^\circ$ 。六边形平面里的三个键互成 120° 。

OpenStax 表 7.3 给出 C-C 单键的平均键长 1.54 Å、键能 345 kJ/mol，C=C 双键键长 1.34 Å。石墨片中相邻原子的距离约 1.4 Å，正好落在两者之间。片层之间只靠非共价相互作用维系，所以石墨能在纸上留下痕迹。

25 °C 下的热力学：金刚石的吉布斯自由能比石墨高 2.90 kJ/mol (OpenStax, 附录 G)，所以 $\Delta_r G^\circ$ (金刚石 → 石墨) = -2.9 kJ/mol ，与 UW-Madison 给出的数值相同。符号说明石墨更稳定。动力学却是另一回事：重排晶格要打断约 345 kJ/mol 的 C-C 键，大约是每摩尔所能得到的能量的 120 倍。金刚石是**亚稳态**的。

数原子：摩尔

♦→♠ 从进阶到技术

♦里的说法	♠里的写法
恰好是 $6.022\ 140\ 76\times10^{23}$	$N_A = 6.022\ 140\ 76\times10^{23}\ \text{mol}^{-1}$
数量	物质的量 $n = N / N_A$
克每摩尔	摩尔质量 $M = m / n$
数字相同	$M = A_r \cdot M_u$, $M_u = 1.000\ 000\ 001\ 05(31)\ \text{g/mol}$
同位素的混合物	$A_r(\text{C}) = \sum_i x_i \cdot A_r(^i\text{C})$

$$\begin{aligned}
 A_r(\text{C}) &= \sum_i x_i \cdot A_r(^i\text{C}) \\
 &= 0.9893 \cdot 12 + 0.0107 \cdot 13.0034 \\
 &\approx 12.0107 \in [12.0096, 12.0116] \\
 M &= A_r \cdot M_u, M_u \approx 1\ \text{g/mol}; n = N / N_A
 \end{aligned}$$

物质的量 $n = N / N_A$ ，自 2019 年国际单位制重新定义起， N_A 被固定为精确值。摩尔质量 $M = A_r \cdot M_u$ 。2019 年以前， M_u 按定义等于 $1\ \text{g/mol}$ ；现在它是测量值： $M_u = 1.000\ 000\ 001\ 05(31)\ \text{g/mol}$ (CODATA 2022)。十亿分之一的差别，在计量学之外察觉不到。用这个值， $M(^{12}\text{C}) = 12\ M_u \approx 12.000\ 000\ 013\ \text{g/mol}$ 。

元素的原子量是其各同位素质量按丰度加权的平均值。对碳，用 NIST 的代表性丰度 0.9893 和 0.0107： $A_r(\text{C}) = 0.9893 \cdot 12 + 0.0107 \cdot 13.003\ 355 \approx 12.0107$ 。由于 ^{13}C 的丰度随样品而变，CIAAW 给的不是一个数，而是一个区间 $[12.0096, 12.0116]$ 。日常计算用约定值 12.011。



最后的挑战

1. 一个原子有 6 个质子、8 个中子。它是什么？

- a. 氮，因为原子核里有 14 个零件
- b. 碳-14：6 个质子就是碳
- c. 氧，因为它有 8 个中子

2. 钻石和铅笔芯有什么不同？

- a. 钻石里有一种石墨没有的元素
- b. 两者都只有碳，只是原子扣在一起的方式不同
- c. 石墨是不纯的碳

3. 1 摩尔水和 1 摩尔铁，相同的是.....

- a. 质量
- b. 粒子数
- c. 体积



三句话总结

1. 你摸到的一切都由原子构成，每个原子只有三种零件：质子和中子在一个极小的原子核里，几乎占了全部质量；电子在外面。
2. 质子决定元素，中子决定同位素，电子决定电荷：改变中子或电子，碳不会变成别的东西。
3. 同样的零件换一种拼法，就是不同的东西（金刚石和石墨都只有碳）；数它们要用摩尔，一个 6×10^{23} 的超大“一打”。

参考资料

- 原子、原子核、基本粒子和尺度：OpenStax《化学》第2版 [2.2](#) 和 [2.3](#)（表 2.2，蓝莓和体育场），并与 [OpenStax《大学物理》第1卷 1.1](#) 核对。分子：[OpenStax 2.4](#)。
- 原子核半径、核密度和半衰期：[OpenStax《大学物理》第3卷 10.1](#)，并与 [HyperPhysics](#) 以及 TUNL 的 [\$^3\text{H}\$](#) 和 [\$^{14}\text{C}\$](#) 核对。大气中的碳-14：[OpenStax《化学》21.3](#)。
- 历史：Rutherford, *Phil. Mag.* 21, 669 (1911), [doi:10.1080/14786440508637080](#); Chadwick, *Nature* 129, 312 (1932), [doi:10.1038/129312a0](#)。
- 常数 (CODATA 2022)： [\$m_p/m_e\$](#) 、 [\$u\$](#) 、 [\$M_u\$](#) 和 [\$N_A\$](#) 。摩尔和元电荷的定义：[国际计量局，《国际单位制手册》](#)。
- 稳定同位素和丰度：[CIAAW](#)。标准原子量 (2024)：[CIAAW](#)。碳的代表性质量和丰度：[NIST](#)。
- 金刚石和石墨：[OpenStax《化学》10.5](#) 和 [UW-Madison, Chem 109, D26.1](#)。化学键：[OpenStax 7.5, 表 7.3](#)。生成能：[OpenStax 附录 G](#)。
- 把摩尔比作“一打”，以及摩尔质量：[OpenStax《化学》3.1](#)。

本课是怎样做的：在 Claude 的帮助下，根据以上资料调研和撰写，并于 2026 年 10 月 13 日至 15 日用第二个来源核对。没有单独链接的数字是根据这些资料计算的。插图均为原创。

答案

1. **b)** 碳-14: 6 个质子就是碳. 对。质子决定元素, 中子决定同位素。
2. **b)** 两者都只有碳, 只是原子扣在一起的方式不同. 没错。零件一样, 拼法不同: 金刚石里 4 个邻居, 石墨里 3 个。
3. **b)** 粒子数. 完全正确。摩尔是一个数, 就像一打: 6×10^{23} 。它们的质量不同: 18 克和差不多 56 克。

King of Dumbs 的课程, kingofdumbs.com。这是离线版; 可以动手玩的原版在:

<https://kingofdumbs.com/zh/lessons/atoms-and-elements>

更新于 2026年10月15日.