

什么是自然单位制？在微观物理，特别是高能物理中为什么要用自然单位制？

因为在现代物理的表述中，普朗克常数 \hbar 和光速 c 都常出现。 \hbar 和 c 都广泛地与其它物理量相联系，似乎它们本身也都是基本物理量。实际上，粒子的自旋也就是以 \hbar 为基本单位的。1983 年国际计量大会通过的长度基准“米”，定义为“米是在 $\frac{1}{299792458}$ 秒内光在真空中所通过的路程的长度”，也和光速相联系。如果取作用量和速度为基本量，并以 \hbar 和 c 为基本单位，则有 $\hbar = c = 1$ 。再加上取质量 m 为独立的基本量，并适当地选取一种粒子的固有质量为基本单位，那么，由这三个相互独立的基本量 \hbar 、 c 、 m ，按一般的量纲关系，就可以导出其他物理量。

这样建立的单位制就是自然单位制。显然，用这种自然单位制，可避免 \hbar 和 c 在理论表述中的重复出现，使运算和书写都比较简便。

不过，在实用上，由自然单位制运算的结果，须按量纲分析的要求（相加、相减、相等的量的量纲必须相同），乘上由 \hbar 、 c 适当组成的因子，变换为一般单位制（例如 CGS 制）的公式。

在 CGS 制中，基本量是长度 L 、质量 M 、时间 T 。 \hbar 、 c 、 m 在 CGS 制中的量纲为

$$[\hbar] = ML^2J^{-1}, [c] = LT^{-1}, [m] = M.$$

于是，由 \hbar 、 c 、 m 适当组成的因子，可以导出其他物理量。而在自然单位制（ $[\hbar] = 1, [c] = 1, [m] = M$ ）

中，这些物理量的量纲就简化为

$$[I] = \left[\frac{\hbar}{mc} \right] = M^{-1}, \quad [t] = \left[\frac{\hbar}{mc^2} \right] = M^{-1}, \\ [E] = [mc^2] = M, \quad [P] = [mc] = M.$$

由此可知，在自然单位制中，长度、时间、能量、动量都可以用质量单位表示。不仅如此，在自然单位制中，不必再同时用 L 、 M 、 T 三个独立的量纲，而可以只用其中的任一个，这就比较方便。例如，

$[I] = [t] = L, [m] = [E] = [P] = [I^{-1}] = L^{-1}$ 这表明，在自然单位制中，时间、质量、能量、动量也都可以只用长度单位表示，精细结构常数 α 无量纲。时间具有长度的量纲。特别是，在自然单位制中，质量和能量的量纲相同。因此，也常取能量为基本量并以京电子伏（ 10^9 电子伏）为基本单位，用来表示质量。实际上是选取质子的静质量 $m_p = 1.67261 \times 10^{-24}$ 克为基本单位，使得 \hbar 、 c 、 m_p 为自然单位制的三个基本单位，1 京电子伏 = 1.6×10^{-3} 尔格，相应的质量为

$$m = \frac{1 \text{ 京电子伏}}{c^2} = 1.76 \times 10^{-24} \text{ 克}$$

约等于质子的静质量。1 京电子伏也约等于质子的静能量：

$$E_p = m_p c^2 = 1.67 \times 10^{-24} \text{ 克} \times (3 \times 10^{10} \text{ 厘米} \cdot \text{秒}^{-1})^2 \\ = 1.503 \times 10^{-3} \text{ 尔格} = 0.9382 \text{ 京电子伏}$$

在自然单位制中，质量、能量、动量的量纲都相同，都常以京电子伏为基本单位。

有趣的是，如果选取质子的静质量为基本单位，能量用京电子伏表示，长度的单位取为

$$\lambda_p = \frac{\hbar c}{\text{京电子伏}} = 0.197 \times 10^{-13} \text{ 厘米},$$

时间的单位取为

$$t_p = \frac{\hbar}{\text{京电子伏}} = 0.656 \times 10^{-24} \text{ 秒}.$$

则有

$$\hbar = \frac{1.06 \times 10^{-27} \text{ 尔格} \cdot \text{秒}}{1 \text{ 京电子伏} \cdot t_p} = 1.0496 \approx 1,$$

$$c = \frac{3 \times 10^{10} \text{ 厘米} \cdot \text{秒}^{-1}}{\lambda_p \cdot t_p} = 0.999 \approx 1.$$

λ_p 就是质子的康普顿波长，约等于 1 费米（ 10^{-13} 厘米）， t_p 正好是质子以光速运动通过原子核直径距离时所需时间的量级。