

核衰变 (nuclear decay)

百度名片

核衰变 (nuclear decay)，是原子核自发射出某种粒子而变为另一种核的过程。认识原子核的重要途径之一。1896年法国科学家A.H.贝可勒尔研究含铀矿物质的荧光现象时，偶然发现铀盐能放射出穿透力很强可使照相底片感光的不可见射线，这就是衰变产生的射线。除了天然存在的放射性核素以外，还存在大量人工制造的其他放射性核素。放射性的类型除了放射 α 、 β 、 γ 粒子以外，还有放射正电子、质子、中子、中微子等粒子以及自发裂变、 β 缓发粒子等等。

发现

1896年法国科学家A.H.贝可勒尔研究含铀矿物质的荧光现象时，偶然发现铀盐能放射出穿透力很强可使照相底片感光的不可见射线。不久人们发现其他原子序数很高的重元素如钍、镭等的盐类也具有放射性。经过多年细致研究，弄清楚这种放射性是铀、钍、镭等原子核的性质，与环境温度以及所处的化学状态无关；放射性放出的射线有3种：

α 射线，具有最强的电离作用，穿透本领很小，在云室中留下粗而短的径迹。 β 射线，电离作用较弱，穿透本领较强，云室中的径迹细而长。 γ 射线，电离作用最弱，穿透本领最强，云室中不留痕迹。进一步研究表明， α 射线中放射的粒子是电荷数为2质量数为4的氦核He， β 射线中放射的粒子是带负电的电子， γ 射线是波长很短的电磁波。不稳定的放射性核放射出射线后衰变为另一种核或衰变为能量较低的核，放射过程中遵从电荷守恒、质量数守恒和能量守恒。

α 衰变 (α -decay)

自发放射 α 粒子的核衰变过程。 α 粒子是电荷数为2、质量数为4的氦核 ${}^4_2\text{He}$ 。 α 衰变可一般地表示为 $AZX \rightarrow Y + {}^4_2\text{He}$ ，式中AZX为母核；Y为放射 α 粒子后剩余的子核。根据母核、子核及氦核的静质量，衰变过程发生质量亏损， $\Delta m = m_X - m_Y - m_{\alpha} > 0$ ，与此质量亏损相应的能量 $\Delta m \cdot c^2$ 称为衰变能，大约为 Ω 兆电子伏特(MeV)量级，其中98%以上是 α 粒子动能，只有不足2%表现为子核的反冲动能。实际上根据放射 α 粒子的动能测量，发现大部分核素放出的 α 粒子可分为能量具有不同确定值的几群，例如Bi衰变成Tl共放出能量不同的六群 α 粒子，这说明子核具有离散的能级结构，能量最大的对应于Bi的基态跃迁到Tl的基态，其他的对应于跃迁到Tl的激发态，其中前者的相对强度较大；也有的核素可以从母核的不同能态跃迁到子核的基态，其特点是 α 粒子能量较低的跃迁较强。

不同核素 α 衰变的半衰期分布较广，从1微秒(μs)到1017秒(s)，一般的规律是衰变能较大，则半衰期较短；反之，衰变能较小，则半衰期较长。衰变能的微小改变，引起半衰期的巨大变化。 α 衰变是量子力学隧道效应的结果，半衰期随衰变能变化的规律可以根据隧道效应予以说明。计算表明， α 粒子和子核的库仑势垒高达20MeV， α 粒子的能量虽小于此值，但由于隧道效应， α 粒子有一定的几率穿透势垒，跑出原子核。 α 粒子的能量越大，穿透势垒的几率越大，即衰变几率越大，从而半衰期越短。由于能量因子出现在指数上，因而它的微小变化，引起半衰期的巨大变化。这是量子力学研究原子核的最早成就之一。

α 衰变主要限于一些重核素。 α 衰变能谱的研究提供了核结构的信息。

β 衰变 (β -decay)

β 原子核自发耗散其过剩能量使核电荷改变一个单位而质量数不改变的核衰变过程。分为放出一个电子的 β^- 衰变、放出一个正电子的 β^+ 衰变和俘获一个轨道电子的轨道电子俘获(EC)3种类型，

$A_2X \rightarrow A_2+1Y + e^- + \bar{\nu}_e$ (β^- 衰变)[注意： $A_2+1, 2-1$ 都在Y的左上和左下]

$A_2X \rightarrow A_2-1Y + e^+ + \nu_e$ (β^+ 衰变)[-+在e的右上方。e在 ν 的右下方]

$A_2X + e^- \rightarrow A_2-1Y + \nu_e$ (EC)[A_2 分别在X左上方和左下方]

式中X和Y分别代表母核和子核；A和Z是母核质量数和电荷数； e^- 、 e^+ 为电子和正电子， $\bar{\nu}_e$ 、 ν_e 为电子中微子和反电子中微子。三种类型释放的衰变能分别为：

$Q_{\beta^-} = (m_X - m_Y)c^2$ [注意: x, y, e 都在 m 的右下]

$Q_{\beta^+} = (m_X - m_Y - 2m_e)c^2$ [2 在 c 右上, i 在 w 右下]

$Q_{EC} = (m_X - m_Y)c^2 - w_i$ [- 在 q 右上, 贝塔 ec 在 q 右下]

式中 m_X 、 m_Y 分别为母核原子和子核原子的静质量; m_e 为电子静质量; w_i 为轨道电子结合能; c 为真空光速。

轨道电子俘获可俘获 K 层电子, 称为 K 俘获; 也可以俘获 L 层电子, 称为 L 俘获。轨道电子俘获所形成的子核原子由于缺少一个内层电子而处于激发态, 可通过外层电子跃迁发射 X 射线标识谱或发射俄歇电子而退激。

最初以为 β^- 衰变仅放出电子, 实际测量发现, 放出的电子能量从零到 Q_{β^-} 连续分布, 曾困惑物理学家多年。1930 年 W.E. 泡利提出 β^- 衰变放出 e^- 的同时还放出一个静质量为零、自旋为 $1/2$ 的中性粒子, 衰变能为电子和该粒子分享, 该粒子后来被称为中微子, 1952 年以后被实验确凿证实。

放射性核衰变的常见类型

科学研究表明, 稳定性核素对核子总数有一定限度 (一般为 $A \leq 209$), 而且中子数和质子数应保持一定的比例 (一般为 $N/Z = 1 \sim 1.5$, 也有个别例外)。任何含有过多核子或 N/Z 不适当的核素, 都是不稳定的。 $A \geq 209$ 的核素, 即元素周期表中钋 (Po) 之后的所有元素的核素都具有放射性 (钋之前的元素, 有的核素也具有放射性), 它们或是自发地放射出 α 射线 (即 He 核), 而转变成 A 较小的新核; 或是因核素的 N/Z 不适当, 其核内的中子与质子会自发地相互转变, 从而改变 N/Z 的值, 并同时放出一个 β^- (或 β^+) 粒子。核素衰变后产生的新核几乎都是处在激发态, 这样的核或是自发地放射出 γ 光子而转变到基态或较低能态, 或是继续进行 α 衰变 (或 β 衰变), 直到变成一个稳定的核素为止。

放射性核衰变的类型有 α 衰变、 β 衰变和 γ 衰变三种, 分别放出 α 射线、 β 射线和 γ 射线。

还应明确, 不论是发生了上述的哪一种核衰变, 其衰变过程都遵从电荷数守恒、质量数守恒和能量守恒。

可对放射性核衰变的常见类型归纳如下:

1. α 衰变

放射性核素放射出 α 粒子后变成另一种核素。子核的电荷数比母核减少 2, 质量数比母核减少 4。 α 粒子的特点是电离能力强, 射程短, 穿透能力较弱。

2. β 衰变

β 衰变又分 β^- 衰变、 β^+ 衰变和轨道电子俘获三种方式。

(1) β^- 衰变

放射出 β^- 粒子 (高速电子) 的衰变。一般地, 中子相对丰富的放射性核素常发生 β^- 衰变。这可看作是母核中的一个中子转变成一个质子的过程。

(2) β^+ 衰变

放射出 β^+ 粒子 (正电子) 的衰变。一般地, 中子相对缺乏的放射性核素常发生 β^+ 衰变。这可看作是母核中的一个质子转变成一个中子的过程。

(3) 轨道电子俘获

原子核俘获一个 K 层或 L 层电子而衰变成核电荷数减少 1, 质量数不变的另一种原子核。由于 K 层最靠近核, 所以 K 俘获最易发生。在 K 俘获发生时, 必有外层电子去填补内层上的空位, 并放射出具有子体特征的标识 X 射线。这一能量也可能传递给更外层电子, 使它成为自由电子发射出去, 这个电子称作“俄歇电子”。

γ 衰变和内变换

(1) γ 衰变

处于激发态的核，通过放射出 γ 射线而跃迁到基态或较低能态的现象。 γ 射线的穿透力很强。 γ 射线在医学核物理技术等应用领域占有重要地位。

(2) 内变换

有时处于激发态的核可以不辐射 γ 射线回到基态或较低能态，而是将能量直接传给一个核外电子（主要是K层电子），使该电子电离出去。这种现象称为内变换，所放出的电子称作内变换电子。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/baike/2367.html>