

量子跃迁

所谓的量子跃迁就是微观状态发生跳跃式变化的过程。由于微观粒子的状态常常是分立的，所以从一个状态到另一个状态的变化常常是跳跃式的。量子跃迁发生之前的状态称为初态，跃迁发生之后的状态称为末态。例如，原子在光的照射下从高能态放出一个光子而跃迁到低能态就是一种量子跃迁过程，称为原子的“受激辐射”。

在外界作用下，任何一种量子力学体系状态发生跳跃式变化的过程。原子在光的照射下从高（低）能级跳到低（高）能级，就是一种典型的量子跃迁过程，通常称为能级跃迁。在原子状态发生跃迁的同时，将放出（吸收）一个光子，其能量 $h\nu$ 等于跃迁前后两状态的能量差。这是能量守恒定律在基元过程中的具体表现。即使不受光的照射，处于激发状态的原子在电磁场真空（电磁场中一个光子也没有的状态）的作用下仍能跃迁到较低能级，同时放出一个光子，这称为自发跃迁或自发辐射。

量子跃迁发生之前的状态称为初态，跃迁发生之后的状态称为末态。例如，原子在光的照射下从高能态放出一个光子而跃迁到低能态就是一种量子跃迁过程，称为原子的“受激辐射”。反之，在光照下原子从低能态吸收一个光子而跃迁到高能态，则称为“吸收”过程。在这些过程中放出或吸收的光子的能量等于原子的初态和末态两个能级之差，这是能量守恒定律在微观现象中的体现。不受到光的照射，处于激发态的原子也可能自动跃迁到低能态，同时放出一个光子，此过程称为“自发辐射”。此外在原子核和基本粒子现象中也存在许多量子跃迁现象，如原子核和基本粒子的衰变过程、聚变过程和裂变过程等。

量子跃迁过程的重要特征是它的概率性。例如在自发跃迁过程中，若初态时有许多原子处于某一激发态，则跃迁过程的概率性表明人们无法预言其中某个原子自发跃迁到基态的确切时刻。或许有些原子跃迁发生得早些，而有些发生得迟些。所以每个原子停留在激发态的时间（称为激发态寿命）并不相同。但是对于大量某种原子来说，每一激发态寿命的平均值 τ 是一定的，可以通过实验测定，也可通过量子理论算出。 τ 称为“平均寿命”，简称“寿命”。寿命的倒数 $1/\tau$ 称为“跃迁速率”，其特征是跃迁过程的快慢程度。原子的自发跃迁速率约为 $10^8 \text{ 秒}^{-1} \sim 10^9 \text{ 秒}^{-1}$ ，激发态寿命约为 $10^{-8} \text{ 秒} \sim 10^{-9} \text{ 秒}$ 。高温下原子发光主要是原子内外层电子（价电子）自发跃迁的结果。放射性元素放出 γ 射线则是原子核自发跃迁的结果。量子跃迁是微观状态由于相互作用而产生的变化过程，这种过程应当满足各种守恒定律。因此跃迁前后描述初态和末态的物理量或量子数应满足一定的关系，这种关系称为“选择定则”。

量子跃迁的规律有着明显的几率性，这是量子力学规律的根本特征。以原子从激发态（能级 E_2 ，波函数 ψ_2 ）向基态（ E_1 ， ψ_1 ， $E_1 < E_2$ ）的自发跃迁为例，设有大量原子均处于激发态 ψ_2 。无法预言某一个原子什么时刻发生 $\psi_2 \rightarrow \psi_1$ 的跃迁，有的原子发生得早，有的原子发生得迟，

即各个原子停留在激发 ψ_2 态的时间(激发态寿命)不是整齐划一的。但对大量原子来说, 激发态 (ψ_2) 寿命的平均值 τ 却是一定的, 可以由实验加以测定, 或由量子力学理论计算出来。平均寿命的倒数 $1/\tau$ 称为跃迁速率, 它表征跃迁过程的快慢速度。原子自发跃迁的跃迁速率约为 $10^8 \sim 10^9 \text{ 秒}^{-1}$, 激发态平均寿命约为 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ 秒, 几千度高温下原子发光主要是外层电子(价电子)自发跃迁的结果, 天然放射性中的 γ 射线则是原子核自发跃迁的产物。

量子力学计算表明, 跃迁速率与外界作用势 V 以及跃迁前后状态 (ψ_1, ψ_2) 的性质有关, 和所谓跃迁矩阵元 $\langle \psi_1 | V | \psi_2 \rangle$ 的绝对值平方成正比。当作用势给定后, 一般仅当标志状态 ψ_1 、 ψ_2 的量子数之间满足一定关系时, 跃迁矩阵元 $\langle \psi_1 | V | \psi_2 \rangle$ 才不等于 0, 跃迁得以发生。量子数之间的这种关系称为选择定则。不满足选择定则要求的两个状态之间不能发生跃迁(跃迁速率为 0), 或者说相应的跃迁是禁戒的。