

课前作业 10 小结

一、 主观题

1) L10P7, 为什么 Cu64 既可以发生 β^- , 也可以发生 β^+ 和 EC 衰变? 什么样的核素具有这样的特点, 可否再举一个核素的例子 (需要核素数据的话, 可以看课后附表, 或者访问 <https://www.nndc.bnl.gov/>) ?

参考答案:

Cu64 为奇奇核, 且位于质量过剩曲线的底部。由于其对能项取负值, 而相邻的两偶偶核对能项取正值, 因此 Cu64 的质量过剩大于相邻两偶偶核。且质量过剩之差满足 β^- , β^+ 和 EC 衰变的条件, 即

$$\Delta(^{64}\text{Cu}) > \Delta(^{64}\text{Zn}), \Delta(^{64}\text{Cu}) - \Delta(^{64}\text{Ni}) = 1.675\text{MeV} > 1.022\text{MeV}$$

所以可以发生这三种衰变。

位于质量过剩曲线底部 (靠近 β 稳定曲线) 的部分奇奇核具有这样的特点。

其他例子包括: ^{40}K 、 ^{74}As 、 ^{108}Ag 等。这里需注意的是, 同学们最好进入网站实际查询下相应核素的衰变模式, 有时即便母子核质量过剩之差条件得到满足, 但由于母子核的 ΔI 较大, 一些衰变模式并没有体现。如 ^{50}V 的 β^+ 衰变过程由于 ΔI 较大在衰变纲图中并没有体现。

2) 库仑改正因子是对电子、还是中微子平面波假设的修正?

参考答案: 中微子不带电, 库仑改正因子是对电子平面波假设做的修正。

3) 在允许跃迁的时候, 轻子组带走的角动量是确定的吗? 带走的轨道角动量呢?

参考答案: 在允许跃迁的时候, 轻子组带走的轨道角动量是确定的, $l=0$; 但轻子组带走的角动量并不确定, 当轻子组自旋平行时 (Gamow-Teller decay), $s=1$,

轻子组带走的角动量为 $1\hbar$ ；当轻子组自旋反平行时 (Fermi decay), $s = 0$, 轻子组带走的角动量为 0. 此外, 注意某些特殊情况: 如

$$^{14}\text{O} \rightarrow ^{14}\text{N}^*(0^+ \rightarrow 0^+); ^6\text{He} \rightarrow ^6\text{Li}(0^+ \rightarrow 1^+)$$

4) 根据 L10P35, 解释轻子组带走的轨道角动量 l 是如何被母子核的宇称关系限定的?

参考答案:

$$M_{if} = \int u_f^* u_i \varphi_e^* \varphi_{\nu_e}^* d\tau$$

为保证积分值不为 0, 其中积分项需为偶函数, 即母核、子核和轻子组波函数之积的宇称为 +。而轻子组波函数的宇称为 $(-1)^l$, 故有

$$\pi_f \pi_i (-1)^l = 1 \Rightarrow \frac{\pi_f}{\pi_i} = (-1)^l。即当母子核的宇称相同时, 轻子组带走的轨道角动量$$

l 为偶数; 否则, 为奇数。很多同学并没有结合波函数的情况讨论。

5) 根据费米黄金规则, 影响 β 衰变快慢的因素有几项, 是什么? 其中的哪一项, 主要地影响了 β 粒子动量谱 (动能谱) 的形状?

参考答案: 根据费米黄金规则影响 β 衰变快慢的共有两项, 分别是跃迁矩阵元和末态密度。其中末态密度主要影响了 β 粒子动量谱的形状。注意是末态密度决定了 β 粒子的动量谱是“两个抛物线”的“折中”。