

课前作业 1 小结

一、主观题

(一) 由物质波特性和不确定性关系是普遍存在的。参考课件，请问本课程用到的三种不确定性关系分别是什么？

参考答案：

位置不确定度和动量不确定度、能量不确定度和时间不确定度、角动量分量不确定度和方位角不确定度。注意是角动量分量和方位角存在不确定性关系。

(二) 由课上讨论，为什么电子为什么不能作为构成粒子存在于原子核之中？

参考答案：

以直径 $d \sim 5\text{fm}$ 的 ${}^4\text{He}$ 原子核为例，若电子在核中，则其物质波波包的波长中，一定有波长满足： $\frac{\lambda}{2} \leq 5\text{fm}$, $\lambda \leq 10\text{fm}$ 。

于是，电子的动量满足： $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda c} \geq \frac{1240\text{MeV} \cdot \text{fm}}{10\text{fm} \cdot c} = 124\text{MeV}/c$

电子的静止质量为： $m_0 = 0.511\text{MeV}/c^2$ ，由相对论方程可得电子的动能：

$$E_k = \sqrt{(m_0 c^2)^2 + (pc)^2} - m_0 c^2 \geq \sqrt{0.511^2 + 124^2} - 0.511 \approx 124\text{MeV}$$

这个能量远远大于 β 衰变时几个 MeV 的电子能量，因此电子不大可能存在于原子核中。

(三) 如果把 2 中对电子的推理过程加之于质子或中子的身上, 是否也可以认为质子或中子不应存在于原子核中?

参考答案:

以中子为例, 中子的静止质量约为: $m_0 = 939.565 \text{ MeV}/c^2$, 由相对论方程可得中子的动能:

$$E_k = \sqrt{(m_0 c^2)^2 + (pc)^2} - m_0 c^2 \geq \sqrt{939.565^2 + 124^2} - 939.565 \approx 8.147 \text{ MeV}$$

这个能量低于中子在核中的势阱, 因此不能认为中子不应存在于原子核中, 质子同理。

若出现计算问题, 可能有两方面原因: (1) 与电子不同, 质子和中子的相对论静能相对于 $124 \text{ MeV}/c$ 的动量不可忽略; (2) 动量为 $124 \text{ MeV}/c$ 的质子和中子仍属于相对论性粒子, 不能用 $E_k = p^2/2m$ 计算动能。

(四) 由本节课讨论, 试着解释一下为什么 γ 射线的能量一般高于特征 X 射线的能量?

参考答案:

γ 射线是原子核内部衰变发出的电磁波, X 射线是原子外层电子发生能级跃迁时发出的电磁波。原子核的尺度小于原子, 因此, 由不确定性关系, γ 射线能量一般高于 X 射线。