

在 $^{133}\text{Cs}(n, \gamma)^{134}\text{Cs}$ 反应中产生的同质 异能素截面比的测定

马惠芳 杨振国 葛凌霄
(中国科学院近代物理研究所)

摘 要

本工作是在 14.8 MeV 中子能量下, 测定了 $^{133}\text{Cs}(n, \gamma)^{134}\text{Cs}$ 反应中产生的 ^{134}Cs 同质异能素绝对截面:

$$\sigma_{(n,\gamma)}^{134m}\text{Cs} = 1.76 \pm 0.14\text{mb};$$

$$\sigma_{(n,\gamma)}^{134g}\text{Cs} = 5.17 \pm 0.41\text{mb};$$

$$\sigma_{(n,\gamma)}^{134m+g}\text{Cs} = 6.93 \pm 0.55\text{mb};$$

同质异能素截面之比:

$$\sigma_{^{134m}\text{Cs}}/\sigma_{^{134g}\text{Cs}} = 0.34 \pm 0.03.$$

这个结果与已发表的结果符合得很好。将此结果与用统计模型理论计算的结果比较, 预言了自旋切割因子以及 γ 级联数。

一、序 言

自 1921 年 Hahn (哈恩) 发现了核的同质异能素之后, 人们对元素周期表中的各核进行了分析, 可以看出对于奇 A 核, 同质异能素有三个区域或“岛”, 第一个区域出现在中子或质子是奇数的地方, 即 39 至 49 之间; 第二个区域出现在奇数核在 65 至 81 之间; 第三个区域出现在奇数核是中子数在 101 至 126 之间。

在同质异能素比的理论计算方面, Huizenga 和 Vandenbosch 提出了一个详细而定量计算的方法, 指出自旋依赖于核的能级密度和 γ 射线级联的多重性和多极性^[1]。从这些计算中, 我们能够看到同质异能素比把复合核形成和退激的机理过程联系起来, 同时也看出了角动量效应^[2,3]。

本工作不经化学分离, 采用 $\text{Ge}(\text{Li})$ 直接 γ 能谱的方法, 确定了 14.8 MeV 中子引起铯-133 在此反应中产生的 ^{134}Cs 同质异能素绝对截面之比, 根据 Huizenga 和 Vandenbosch 统计模型理论的计算来确定自旋切割因子和 γ 退激的数目, 并与实验值做了比较。

二、实验程序

1. 靶子和辐照

用于测量 ^{134m}Cs 的靶是将 $\sim 200\text{mg}$ 光谱纯的氯化铯压成 $\phi 11\text{mm}$ 的圆片, 并将它夹在大小与它相同, 厚度为 $48\mu\text{m}$ 的高纯铝箔中做成. 为消除热中子的影响, 靶子四周用 1mm 厚的镉箔包着, 在能量为 14.8MeV , 通量为 $\sim 1.6 \times 10^{10}$ 中子/ cm^2 , sec 的中子束流中照射 10—25 分钟. 为了测定长寿命同位素 ^{134g}Cs , 我们采用 1g 左右的氯化铯, 在较上述低的通量密度下照射 1—2 小时.

2. 截面的测定

(1) 监测反应: 我们采用 $^{27}\text{Al}(n, \alpha)^{24}\text{Na}$ 反应作为监测束流的反应, 在此中子能量时, 它的反应截面为 $114 \pm 7\text{mb}^{[4]}$.

(2) ^{134m}Cs , ^{134g}Cs 计数的测定和计数器的校准: 靶子在辐照之后没有进行化学分离而直接作为测量源进行 γ 射线能谱的测定. 采用它们特征的 γ 射线和半衰期的方法来鉴定每个核素. 我们使用的 $\text{Ge}(\text{Li})$ 探测器其灵敏体积为 140.7cm^3 , 能量分辨率为 2.1keV . 辐照过的靶子封在 $\phi 30\text{mm}$ 的铝环中, 后置于距离探测器表面 2.5cm 或 4cm 处进行 γ 谱的测定. γ 探测器的探测效率由已知源强的 γ 参考源确定, 效率的误差为 $\pm 5\%$.

对 ^{134m}Cs 测量 127.4KeV 的 γ 峰, 而对 ^{134g}Cs 在辐照结束后大约 3 至 4 个月之后, 测量 795.8KeV 的 γ 峰.

(3) 截面的计算: 我们采用通常修正的方法得到在照射结束时每种同位素的蜕变率. 用薄靶近似的方法, 得到反应截面的计算方程式如下:

$$\sigma_P = \frac{A_P^0 N_M \sigma_M (1 - e^{-\lambda_M T})}{A_M^0 N_P (1 - e^{-\lambda_P T})}$$

其中 A_P^0 和 A_M^0 为照射结束时待测样品和监测箔的产物核数; N_M 和 N_P 是监测箔 ^{27}Al 和靶子中 ^{134}Cs 的原子数目; σ_P 和 σ_M 是产物和监测反应的截面; λ_P 和 λ_M 是产物和 ^{24}Na 的衰变常数; T 是照射持续时间.

3. 结果

表 1 给出了测定的截面和误差范围以及文献值.

从表 2 可看出 ^{134m}Cs 与 ^{134g}Cs 截面之比与已报道的值符合得很好.

表 1 ^{134m}Cs , ^{134g}Cs 的截面

核素	半衰期	核反应	实验次数	截面 (mb)	文献值 (mb)
^{134m}Cs	2.9 小时	n, γ	9	1.76 ± 0.14	1.82(5)
^{134g}Cs	[2.062 年]	n, γ	9	5.17 ± 0.41	5.3(5)
$^{134m+g}\text{Cs}$		n, γ	9	6.93 ± 0.55	7.1(5)

注: 方括号中的为文献值.

表 2 ^{134m}Cs 和 ^{134g}Cs 的截面比

同质异能素对	核 反 应	本 工 作	文 献 值
$\frac{^{134m}\text{Cs}(8^-)}{^{134g}\text{Cs}(4^+)}$	n, γ	0.34 ± 0.03	$0.34 \pm 0.08(5)$

三、理论计算和讨论

为了从理论上计算同质异能素截面, 首先假定靶核吸收入射粒子同时形成复合核.

采用 Huizenga 和 Vandenbosch 统计模型方法计算这个比时, 应考虑如下因素: 1) 复合核的自旋; 2) 复合核在退激中每个状态的数目和型式; 3) 每步带走的角动量; 4) 在级联的每个状态时不同自旋所形成每个态的几率; 5) 最后占有亚稳态和基态的自旋.

1. 部分复合核截面和归一化初始复合核自旋分布的计算:

轰击粒子的能量为 E , 具有自旋为 J_c 的复合核的形成截面用下式计算:

$$\sigma_{(J_c, E)} = \pi \bar{\lambda}^2 \sum_{s=|I-s|}^{I+s} \sum_{l=|J_c-s|}^{J_c+s} \frac{2J_c + 1}{(2s + 1)(2l + 1)} T_l(E)$$

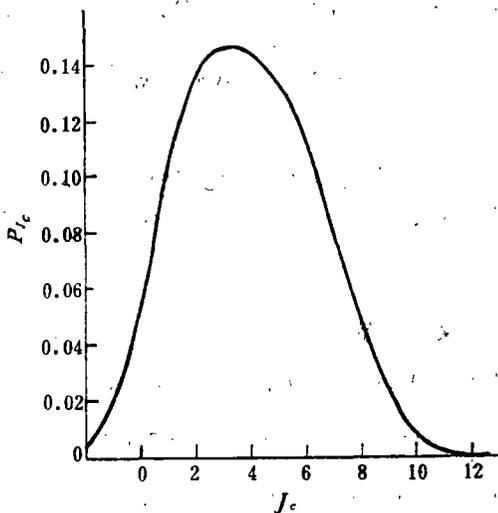


图 1 复合核归一化自旋分布.

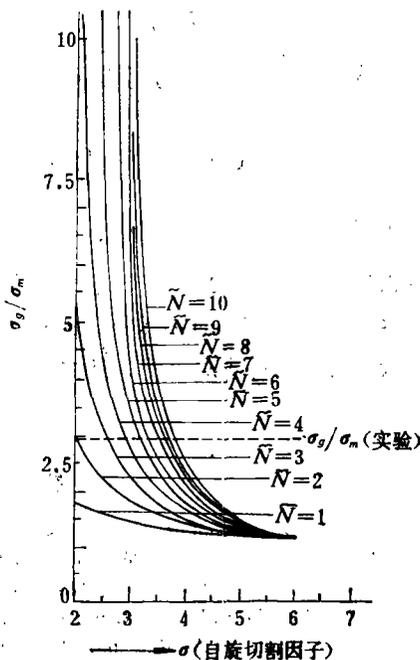


图 2 测定的同质异能素截面比与理论曲线比较.

其中 $\bar{\lambda}$ 为入射粒子的德布罗意波长; I 为靶核的自旋; s 为入射粒子的自旋; $T_l(E)$ 为具有轨道角动量为 l 和能量为 E 时, 入射粒子的位垒穿透系数. 这个穿透系数可以从光学模型^[8]和方位阱模型^[9]计算得到, 在我们的计算中采用光学模型得来的透射系数. 而具有自旋为 J_c 时的复合核的几率用下式确定:

$$P_{J_c} = \sigma_{(J_c, E)} / \sum_{J_c=0}^{\infty} \sigma_{(J_c, E)}$$

对于 $^{133}\text{Cs}(n, \gamma)^{134}\text{Cs}$ 反应形成的归一化初始复合核自旋分布如图 1.

2. γ 发射后归一化自旋分布的计算:

复合核当以一个或级联的 γ 射线退激时, 从状态 J_i 蜕变到状态 J_f 时的几率假设简单地正比于具有自旋为 J_f 的最终态的能级密度:

$$\rho_{(J_f)} = (2J_f + 1) \exp - \frac{\left(J_f + \frac{1}{2}\right)^2}{2\sigma^2}$$

则状态为 J_f 时的总的归一化产额用如下方程式计算:

$$F_{J_f} = \sum_{J_i=|J_f-l|}^{J_f+l} \frac{F_{J_i} \rho_{(J_f)} \delta_{J_i, J_f}}{\sum_{J_f=|J_i-l|}^{J_i+l} \rho_{(J_f)}}$$

如果 $|J_i - J_f| \leq l \leq |J_i + J_f|$, 则 $\delta_{J_i, J_f} = 1$, 在其它情况下 $\delta_{J_i, J_f} = 0$. l 为 γ 辐射的多极性; σ 为自旋切割因子; F_{J_i} 为归一化的初始自旋分布.

为了计算同质异能素截面比, 把最终核的自旋分布分成两个部分, 这个分开的自旋值假定 $I_d = \frac{1}{2}(I_m + I_g)$, I_m 和 I_g 分别是亚稳态与基态的自旋. 这样, 在曲线下, 在 I_d 两边的两部分自旋之比为同质异能素截面之比, 或者把这个自旋分布函数分成两部分, 并积分, 这两个积分的比则为同质异能素截面比.

在 γ 射线退激中, 级联的 γ 射线数目为: $\tilde{N} = [1/(l+1)](aE)^{1/2[10]}$, 其中 E 是激发能; a 取 $\frac{A}{10}$ MeV, A 为质量数. 仅考虑偶极辐射时则 $\tilde{N} = \frac{\sqrt{aE}}{2}$, 我们计算 $\tilde{N} = 9$, 得到 $\sigma = 3.7 \pm 0.5$, 看图 2.

由此可见, Huizenga 和 Vandenbosch 的统计模型理论能够很好地应用在 $^{133}\text{Cs}(n, \gamma)^{134}\text{Cs}$ 反应中, 也就是说此反应是按复合核机制进行, 而最终核的退激则以级联的偶极子 γ 辐射完成.

参 考 文 献

- [1] J. R. Huizenga and R. Vandenbosch, *Phys. Rev.*, **120**(1960), 1305; R. Vandenbosch and J. R. Huizenga, *Phys. Rev.*, **120**(1960), 1313.
- [2] J. Robb Grover, *Phys. Rev.*, **123**(1961), 267; J. Robb Grover, *Phys. Rev.*, **127**(1962), 2142.
- [3] G. R. Choppin and T. J. Klingens, *Phys. Rev.*, **130**(1963), 1990.
- [4] T. Mavaddat, S. A. Rao and P. K. Kuroda, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **36**(1974), 957.
- [5] S. M. Qaim, *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **32**(1970), 1799.
- [6] M. Bormann, S. Cierjacks et al., *Z. Phys.*, **166**(1962), 477.
- [7] W. Nagel and A. H. W. Aten, *Jr. Physica.*, **31**(1965), 1091.
- [8] G. S. Mani, M. A. Melkanoff and I. Iari, Report CEA2380(1963).
- [9] B. T. Feld et al., NYO-636 (1951).
- [10] J. L. Need, *Phys. Rev.*, **129**(1963), 1302.

MEASUREMENT OF ISOMERIC CROSS-SECTION RATIO IN $^{133}\text{Cs}(n,\gamma)^{134}\text{Cs}$ REACTION

MA HUI-FANG YANG ZHEN-GUO GE LIN-XIAO
(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica*)

ABSTRACT

The isomeric absolute cross-section have been measured for the reaction $^{133}\text{Cs}(n,\gamma)^{134}\text{Cs}$ at 14.8 MeV neutron energy.

The results are:

$$\sigma_{(n,\gamma)}^{134m}\text{Cs} = 1.76 \pm 0.14\text{mb};$$

$$\sigma_{(n,\gamma)}^{134g}\text{Cs} = 5.17 \pm 0.41\text{mb};$$

$$\sigma_{(n,\gamma)}^{134m+g}\text{Cs} = 6.93 \pm 0.55\text{mb}.$$

The isomeric cross-section ratio is

$$\sigma^{134m}\text{Cs}/\sigma^{134g}\text{Cs} = 0.34 \pm 0.03$$

The experimental results are in agreement with the values given by S.M. Qaim and compared with the theoretical results calculated by Huizenga-Vandenbosch theory. From this, the spin cut-off parameter σ and the number of γ -Cascades have been determined.