

$N \approx 82$ 区极丰质子核的核谱

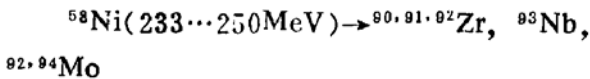
归 寿 造

(中国科学院上海原子核研究所)

一、引言

本文是作者在慕尼黑技术大学串列加速器实验室从事远离 β 稳定线核谱研究^{[1][2][3]}的简单介绍。

H. Morinaga 教授领导的实验组, 利用该组建造的线性后加速器^[4]得到性能优良的 Ni 束, 通过以下核反应



进行了一系列新的极丰质子核(质子结合能低于中子结合能)的核谱研究。所用实验方法是最基本的在束和离束 γ 射线谱学方法。结果在 $N \approx 82$ 区建立了4个新核素(${}^{146}\text{Dy}$, ${}^{147}\text{Ho}$, ${}^{148}\text{Er}$ 和 ${}^{160}\text{Er}$)的转晕线退激发能级图和14个新核素(${}^{144, 144m, 145, 146}\text{Tb}$, ${}^{145, 146}\text{Dy}$, ${}^{146, 147, 148, 150}\text{Ho}$, ${}^{148, 150}\text{Er}$ 和 ${}^{148, 150}\text{Tm}$)的衰变纲图。

其中发现了一个迄今在核谱中较为罕见的150ms高自旋同质异能素是来自 ${}^{146}\text{Dy}$ 的 10^+ 态^[1]。根据 ${}^{160}\text{Er}$ 的能级图, 得出 $N = 82$ 区是第一个高位数图象预言没有强干扰的核区的结论^[2]。

二、实验装置和测量技术

实验的加速器系统是 MP 串列和交叉指 H 型线性后加速器。典型束流性能: ${}^{58}\text{Ni}$ 束, 离子源电流100nA, 串列端压12MV, 电荷态 11^+ , 能量142MeV。第二次剥离后电荷态 22^+ , 后加速端压4.9MV, 最终能量250MeV。

靶电流 ~ 1 粒子nA。

用削束器、聚束器的脉冲控制实现10ns—1000 μ s时间范围内的束流脉冲化。用后加速器的射频功率幅度调制或磁偏转器实现1ms—100s的束流脉冲化。

一个直径2cm、壁厚2mm的圆柱形玻璃泡作 γ 射线测量靶室。一个与螺旋线磁谱仪连用的靶室测量 $e\gamma$ 符合。

测量技术包括 γ 的在束和离束谱。即单谱, $\gamma\gamma$ 符合谱, γ -HF符合谱(1000 μ s以内), γ 的多谱分析(100s以内)等。由于过强的 δ 电子干扰, 只进行了离束的电子谱测量。

实验突出了用与加速器束流脉冲化相配合的 γ -HF谱和 γ 多谱测量退激发同质异能素或衰变核的半衰期。这对鉴别、发现新的同质异能素和新核素是卓有成效的。我们没有用困难或耗时的角分布或角关联测量定能级的自旋宇称, 而是根据 $B(M\lambda)$ 值和能级系统性配置自旋宇称的推测值。

三、核谱的物理分析方法

实验的核反应手段是用比库仑位垒略高能量的丰质子 Ni 束轰击丰质子的中重核, 经熔合反应产生极丰质子的较重复合核。它们主要通过蒸发2—3个质子达到远离 β 稳定线的新核区。

面临新核区的 γ 谱学研究, 首要问题是标认 γ 射线的归属。其方法是: (1) 核反应开放道的初步估算; (2) 对交叉轰击形成新核区的产额图象的分析; (3) γ 激发函数

测量；(4) γ 符合信息；(5) 能级的系统性；(6) 能级图和衰变纲图的统一。其间包括了对各种模式的 γ 谱进行技术处理：确定 γ 射线能量、强度、级联关系和半衰期。把 γ 射线划分成归属于各种核素的组别。

在此基础上着手建纲图。先按 γ 射线能量、强度、级联关系、半衰期和能级系统性等建纲图框架。再按 γ 射线强度（相应于B(M λ ））和能级系统性配置能级的自旋宇称推测值。在衰变纲图中根据壳模型理论和布居方式推测母核的自旋宇称。根据衰变分支和半衰期计算log ft值，由它和能级系统性配置子核能级自旋宇称。

四、实验结果

N \approx 82区极丰质子核的核谱内容很丰富这里仅略说概况。所有结果可由250MeV的 ^{68}Ni 束轰击三个靶核给出。

1、 $^{68}\text{Ni} \rightarrow ^{94}\text{Mo}$

主要反应道：蒸发3p(^{149}Ho), n2p(^{149}Er)和2p(^{150}Er)。

能级图： ^{149}Ho 已有人做过。 ^{149}Er 未完全完成，已标认出一组 γ 射线来自 $2.5 \pm 0.9\mu\text{s}$ 的同质异能态。 ^{150}Er 这里给出，见图1。其

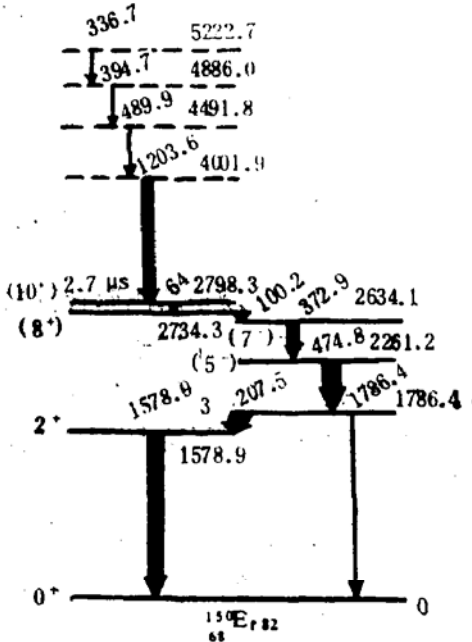


图1 ^{150}Er 的能级图

中以 $2.7 \pm 0.2\mu\text{s}$ 的(10^+)同质异能态为界分上下两部分。

衰变纲图： $^{150}\text{Tm} \rightarrow ^{150}\text{Er} 3.6\text{s}$ ； $^{150}\text{Er} \rightarrow ^{150}\text{Ho} 18.5\text{s}$ ； $^{150}\text{Ho} \rightarrow ^{150}\text{Dy} 72\text{s}$ 。

2、 $^{68}\text{Ni} \rightarrow ^{92}\text{Mo}$

主要反应道：3p(^{147}Ho), 2p(^{148}Er)和4p(^{146}Dy)。

能级图： ^{148}Er 有10条 γ 射线来自 $13\mu\text{s}$ 的(10^+)态。 ^{147}Ho 有4条 γ 射线来自 315ns 的同质异能态。 ^{146}Dy 由下面给出。

衰变纲图： $^{147}\text{Ho} \rightarrow ^{147}\text{Dy} 5.8\text{s}$ ， $^{148}\text{Tm} \rightarrow ^{148}\text{Er} 0.7\text{s}$ ， $^{148}\text{Er} \rightarrow ^{148}\text{Ho} 4.5\text{s}$ ， $^{148}\text{Ho} \rightarrow ^{148}\text{Dy} 2.2\text{s}$ 。

3、 $^{68}\text{Ni} \rightarrow ^{90}\text{Zr}$

主要反应道：n2p(^{145}Dy), 2p(^{146}Dy)和3p(^{145}Tb)。

能级图： ^{145}Dy 和 ^{145}Tb 尚未完成。这里给出 ^{146}Dy ，见图2。有9条 γ 射线来自 $150 \pm$

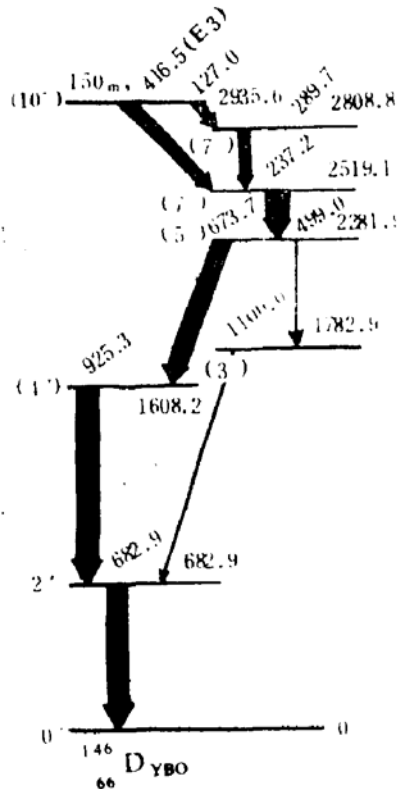


图2 ^{146}Dy 的能级图

20ms的(10^+)同质异能态。其(10^+)态由内转换电子测量确定。

衰变纲图： $^{146}\text{Ho} \rightarrow ^{146}\text{Dy} 3.9\text{s}$ ， $^{146}\text{Dy} \rightarrow$

$^{146}\text{Tb}29s$, $^{146}\text{Tb} \rightarrow ^{146}\text{Gd}8s$, $^{145}\text{Dy} \rightarrow ^{145}\text{Tb}13.6s$, $^{145}\text{Tb} \rightarrow ^{145}\text{Gd}29s$, $^{144m}\text{Tb} \rightarrow ^{144}\text{Gd}4.5s$, $^{144}\text{Tb} \rightarrow ^{144}\text{Gd}1.5s$.

五、讨论

本核区范围是 $N \leq 82$, $Z \geq 64$ 。所有核谱可在壳模型基础上讨论。质子和中子的主要轨道是 $1h_{11/2}$, $2d_{3/2}$, $3s_{1/2}$ 。

先讨论衰变核谱。共14个新核素。分三种情况：(1) 奇奇核 \rightarrow 偶偶核 (8个)。4个母核可由核反应布居，处在高的自旋态： ^{144m}Tb (6^- , 7^-), ^{146}Ho ($J \geq 6$), ^{148}Tm ($J \geq 6$), ^{150}Tm (4^- , 5^-)。由 $h_{11/2}$ 和 $s_{1/2}$ 或 $d_{3/2}$ 耦合而成。另4个核由偶偶核布居，处在低的自旋态： ^{144}Tb (1^+), ^{146}Tb (1^+), ^{148}Ho (1^+), ^{150}Ho (2^-)。由 $d_{3/2}$ 和 $s_{1/2}$ 耦合而成。 ^{150}Ho 的组态 ($\pi d_{3/2}$) ($\nu f_{7/2}$)。(2) 偶偶核 \rightarrow 奇奇核 (3个)，基态自旋为 0^+ 。(3) 奇A核衰变 (3个)。全可由核反应布居，处在高的自旋态： ^{145}Tb ($11/2^-$), ^{147}Ho ($11/2^-$), ^{146}Dy ($11/2^-$)。组态是 ($h_{11/2}$)。子核能级自旋宇称由母核自旋宇称, $\log ft$ 值和能级系统性配置。组态说明从略。

现在讨论转晕线退激发核谱。共4个新核素： ^{146}Dy , ^{147}Ho , ^{148}Er 和 ^{150}Er 。除 ^{147}Ho 外，均为偶偶核。它们的正宇称高自旋态可由 ($\pi h_{11/2}$) $_v^+$ 组成 (2^+ , 4^+ , 6^+ , 8^+ , 10^+)。对 ^{148}Er ，观察到了所有 ($h_{11/2}$) $_{v=2}$ 的激发态。

^{150}Er 是个单闭壳核 ($N=82$)。如果假设高位数 v 是一个好的量子数，则对 $10^+ \rightarrow 8^+$ 跃迁，按壳模型计算^[6]有

$$B(E2, n) = \frac{(6-n)^2}{(6-2)^2} B(E2, n=0)$$

实验测到 ^{150}Er 的 $B(E2, 10^+ \rightarrow 8^+) = 0.23w.u.$ 。已知相邻 $N=82$ 核 ^{148}Dy 的 $B(E2, 10^+ \rightarrow 8^+) = 0.94w.u.$ 。而 ^{150}Er 的支壳质子数 $n=4$, ^{148}Dy 的 $n=2$ 。按理论公式这两个核的 $B(E2)$ 之比应为 $1/4$ 。恰好和实验值 $\frac{1}{4} \cdot 0.94w.u. = 0.23w.u.$ 符合。表明 $N=82$ 是第一个高位数图象没有强干扰的核区。

^{146}Dy 是 $N=80$ 的核。实验观察到它具有一个半衰期长达 150ms 的 10^+ 同质异能态，这是迄今核谱中一个较为罕见的长寿命高自旋同质异能素。造成这么长寿命的同质异能态的核谱原因是能级出现了自旋缺口。即 10^+ 态下面没有 8^+ 态或 8^- , 9^- 态，只有 7^- 态。跃迁多极矩大，寿命长。从组态分析看， ^{146}Dy 是准双幻数核 $^{146}\text{Gd}_{82}$ 内芯上加一对质子和一对中子空穴。根据 Nilsson 模型，正好这里的一对中子空穴能对处在最高自旋值 10^+ 的 ($h_{11/2}$) 轨道上的质子对产生的微小形变起加强作用，从而使 10^+ 态能量下降到 8^+ 态^[6] 以下，造成自旋缺口 (倒转)。

参考文献

- [1] Gui, S. Z., et al, Z. Phys. A305 297 (1982)
- [2] Nolte et al, Z. Phys. A306 211 (1982)
- [3] Nolte et al, Z. Phys. A306 223 (1982)
- [4] Nolte et al, N. I. M. 158 311 (1979)
- [5] Lawson, R. D., Z. Phys. A 303 51 (1981)
- [6] Colombo, G., et al, Jahresbericht p.59 (1981) T U München