

# 原子核粒子发射的角动量极限

张 锡 珍

(中国科学院原子能研究所)

## 摘 要

本文用 Woods-Saxon 单粒子位研究了粒子发射。对于质量数  $A$  在 70 到 160 的原子核在四种变形下给出了粒子发射的角动量极限。对于粒子发射和裂变之间的竞争进行了讨论。结果表明,某些高速转动的原子核有可能首先发射粒子。

随着重离子反应实验的迅速进展,对高速转动原子核性质的研究引起越来越大的兴趣。一个原子核可以保持的最高角动量是研究原子核高自旋态性质时首要问题之一。随着原子核角动量的增加,可能有两种机制引起原子核的不稳定,即裂变和粒子发射。高速转动引起原子核裂变在 [1] 中用转动液滴模型作了详细研究。高速转动同样可以导致原子核的粒子发射,即质子,中子或  $\alpha$  粒子的发射,转动引起的  $\alpha$  粒子的冷发射是一个比较复杂的问题,因  $\alpha$  粒子在原子核中的存在形态和转动导致  $\alpha$  粒子发射的机制在目前还不够清楚。在本文中我们所指的粒子发射是质子或中子的发射。高速转动导致原子核粒子发射的机制如下,若一个核子带角动量  $l$ , 处于以角速度  $\omega$  的转动场之中,则这个核子在原子核中的结合能为  $B_0 + \omega l^*$ ,  $B_0$  是核子在原子核不转动时的结合能,当  $\omega$  超过某一值  $\omega_c$  时,  $B_0 + \omega l$  成为正的,则原子核对发射该核子成为不稳定的。

为了计算简单,我们只讨论扁椭球形状的原子核,转动轴与对称轴相重合。在这种情况下,原子核的总角动量是单个核子角动量的总和。

当原子核的单粒子轨道沿着对称轴排列起来时,  $Y_{rast}$  态的能量由方程

$$E = \sum_{\varepsilon(\nu) - \lambda - \omega m(\nu) \leq 0} \varepsilon(\nu) \quad (1)$$

给出 [2]。这里  $\varepsilon(\nu)$  和  $m(\nu)$  分别是单粒子态  $\nu$  的能量和角动量在对称轴上的投影。 $\lambda$  和  $\omega$  是由方程组

$$M = \sum_{\varepsilon(\nu) - \lambda - \omega m(\nu) \leq 0} m(\nu) \quad (2)$$

$$A = \sum_{\varepsilon(\nu) - \lambda - \omega m(\nu) \leq 0} l \quad (3)$$

决定的常数,它们分别表示原子核的费米能量和转动频率,这里  $A$  和  $M$  分别是原子核的

本文 1977 年 7 月 19 日收到。

\* 这里取  $\hbar = 1$ 。

质量数和总角动量。

在  $\epsilon$  和  $m$  平面上 ( $\epsilon$  是单粒子能量用纵坐标表示,  $m$  是单粒子角动量在对称轴上的投影, 用横坐标表示), 核子的单粒子态  $\nu$  用一个点表示,  $\epsilon(\nu) - \lambda - \omega(\nu) = 0$  表示倾斜的费米表面。方程(1)到(3)的意义是求和只在倾斜的费米表面之下, 分别给出原子核的能量, 角动量和质量数。  $\lambda$  是倾斜的费米表面与纵坐标的交点(即原子核无转动时的费米能),  $\omega$  是倾斜的费米表面的斜率而表示转动的角速度。当  $\omega$  超过某一值  $\omega_c$  时 ( $\omega = \omega_c$  时,  $M = M_{\max}$ ), 单粒子的共振态(即  $\epsilon > 0$  的态)处于倾斜的费米表面之下, 原子核对于粒子发射是不稳定的。  $M_{\max}$  称该原子核粒子发射的角动量极限。

为了研究  $M_{\max}$  随  $A$  和变形的变化规律, 必需首先计算变形 Woods-Saxon 位阱中的单粒子能级(包括束缚态和共振态)。因变形的 Woods-Saxon 位阱中单粒子共振态的计算是一个比较复杂的数学问题, 所以在本文中我们用该位阱中的正能量态(取一组变形的谐振子基用对角化方法给出)来代替单粒子的共振态, 下面我们说明这种近似对我们的计算是有意义的。用对角化方法给出的正能量态依赖于选取的基的数目[3], 但如果我们所选取的基在一定的范围变化 ( $E_{\text{cut}}$  从 10.5 到 13.5,  $E_{\text{cut}}$  的意义见 [3]), 即通常在计算原子核的壳修正时所用的范围, 我们所感兴趣的正能量态只有很小的变化(小于 0.3 MeV)。另外, 对于原子核  $^{150}\text{Gd}$  在无变形时(球形), 用对角化方法给出的正能量态和相应的直接解薛定格方程给出的共振态几乎没有差别(用对角化方法计算时取  $E_{\text{cut}} = 12$ )。所以为了粗略地研究转动引起原子核粒子发射的不稳定性, 用单粒子的正能量态代替共振态是有意义的。

图 1 [从(a)到(d)] 给出  $M_{\max}$  随  $A$  及原子核变形  $\epsilon$  之间的关系(变形参数从  $\epsilon = 0.0$  到 0.4),

与 [1] 给出的裂变角动量极限相比较(为便于比较起见, 转动引起裂变的角动量极限也在图 1 [从(a)到(d)] 中给出, 我们可以看到, 高速转动的原子核首先经受裂变还是粒子发射, 不仅与原子核的质量数  $A$  有关, 而且与原子核的变形有关。如果原子核无变形(球形), 只有对比较轻的原子核 ( $A \leq 130$ ) 处于  $[1(11/2)]$  态的质子和  $[1(13/2)]$  态的中子 ( $[1(11/2)]$  表示第一个  $m = 11/2$  的单粒子态), 粒子发射的角动量极限低于裂变的角动量极限, 即转动首先导致原子核的粒子发射, 而对较重的原子核 ( $A > 130$ ), 高速转动首先导致原子核的裂变。当原子核有变形时, 除了  $[1(11/2)]$  的质子态和  $[1(13/2)]$  的中子态之外, 其它的态, 如  $[1(13/2)]$  的质子态和  $[1(15/2)]$  的中子态可能成为粒子发射的后选态, 即粒子发射的角动量极限可以下降到裂变的角动量极限之下。由于原子核的壳效应, 某些带有较小角动量的态(如  $[2(9/2)]$  的质子态等)在某些变形之下有可能成为粒子发射的后选态(即原子核的高速转动首先导致处于这些态的粒子发射而不裂变)。

从我们的计算可以得出结论, 如果原子核保持球形, 只有对较轻的原子核 ( $A \leq 130$ ), 转动首先导致粒子发射而不变, 如考虑原子核变形的自由度, 除较轻原子核 ( $A \leq 130$ ) 外, 较重的原子核 ( $A \approx 150$ ) 有可能因转动首先发射粒子。但对于  $A > 160$  的原子核因裂变角动量极限随  $A$  增加迅速下降, 所以原子核的高速转动首先引起裂变。这说明, 当研究原子核的转动导致粒子发射时, 不但原子核的质量数  $A$  是重要的自由度, 原子核的变形同

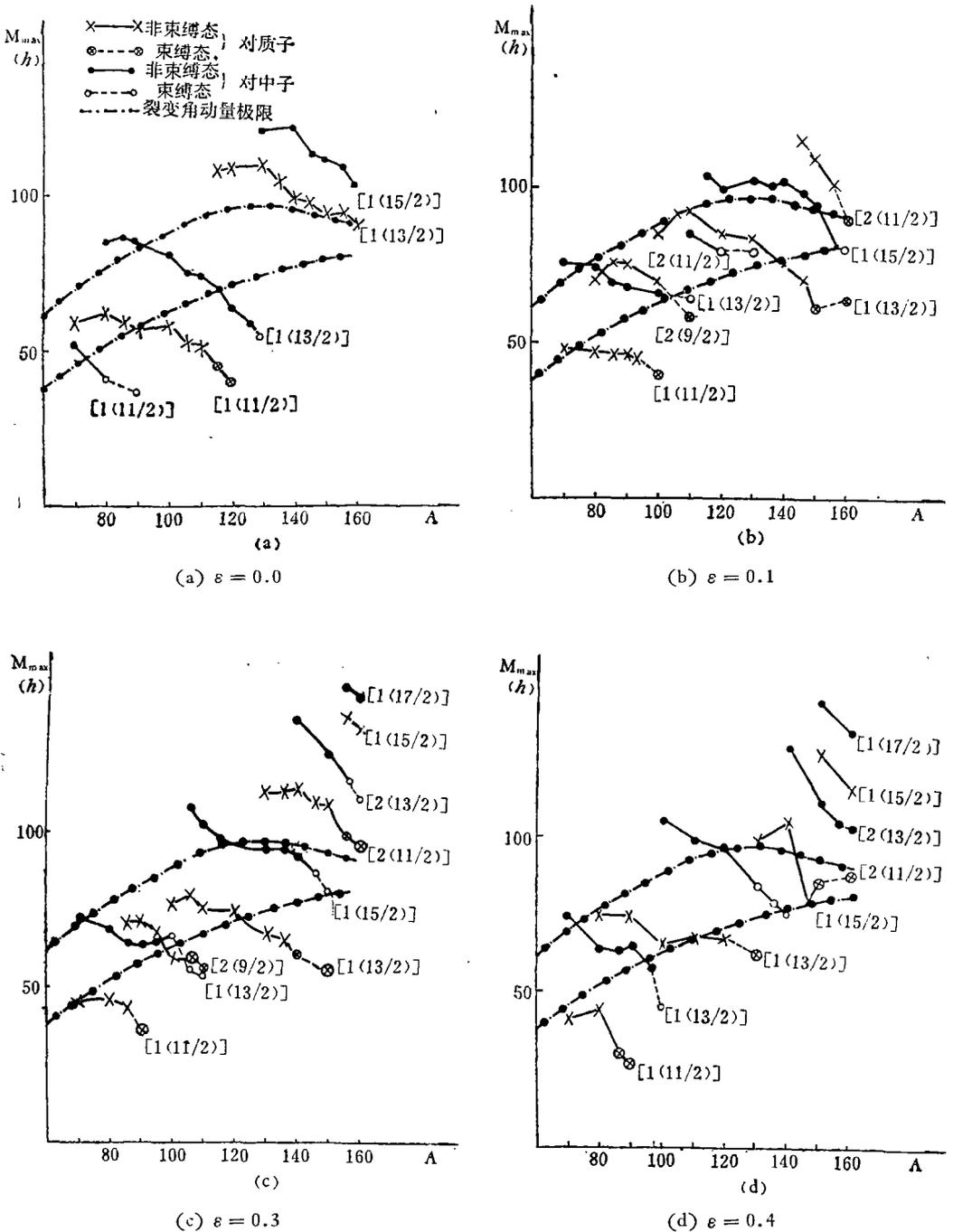


图 1 粒子发射的角动量极限随原子核的质量数  $A$  和变形的变化关系 (图中的裂变角动量极限随  $A$  的变化关系取自 [1], 上限考虑了  $r$  变形, 下限没考虑  $r$  变形)  $\epsilon$  是原子核的四极变形参数

样是重要自由度之一。

应当说明,原子核的角动量还可以通过  $r$  衰变而带走,所以给出原子核在给定角动量

之下  $\gamma$  衰变的寿命和粒子发射的寿命是有兴趣的, 但由于我们没有真正计算单粒子共振态, 所以这里无法作这种比较.

### 参 考 资 料

- [1] S. Cohen, F. Plazil and W. J. Swiatecki, *Ann. of Phys.*, **82**(1974), 557.
- [2] A. Bohr and B. R. Mottelson, *Nuclear Structure*, Vol. II (Benjamin, New York, 1975).
- [3] H. C. Pauli, *Phys. Rep.*, **7** (1973), 35.

## ANGULAR MOMENTA LIMITATION WITH RESPECT TO PARTICLE EMISSION OF NUCLEI

CHANG HSI-CHEN

(*Institute of Atomic Energy*)

### ABSTRACT

A Woods-Saxon potential is used to study particle emission. The angular momenta limitation with respect to particle emission is calculated for nuclei with  $A$  between 70 and 160 and for four types of deformation. The competition between fission and particle emission is discussed. It is shown that a highly spinning nucleus may first undergo particle emission.