

## HI-13 串列加速器上的核结构研究

杨春祥 翁培焜 黄正德 温书贤 袁现俊

(中国原子能科学研究院核物理所 北京 102413)

**摘要** 本文综述了中国原子能科学研究院 HI-13 串列加速器上的核结构研究. 在原子核高自旋态方面, 简要地介绍了稀土区奇质子核带交叉反常现象研究, 质量数为  $A=90$  和  $A=130$  核区的高自旋态研究、原子核高自旋能级寿命研究和三轴形变研究. 在原子核巨共振方面介绍了矮共振区的 GDR 研究, 形变核的 GDR 以及高温转动核的 GDR 研究.

**关键词** 核结构, 原子核高自旋态, 巨共振.

### 1 前言

HI-13 串列加速器的投入运行为我国低能核物理基础研究提供了前所未有的条件. 端电压为 13MV 的静电型串列式加速器能提供多种粒子束, 束流品质好, 能量易于调节, 非常适合于开展在束  $\gamma$  谱学的研究. 这台加速器利用在束  $\gamma$  谱学技术开展的核结构研究主要涉及到两个领域: (1) 原子核高自旋态的研究; (2) 原子核巨共振的研究.

为开展原子核高自旋态研究, 我们建了一套 HPGe-BGO 康普顿抑制谱仪<sup>[1]</sup>; 一套由六个液闪中子探测器组成的中子多重符合装置和一台用于  $\gamma$  角分布测量的转角台. 为开展原子核巨共振研究, 建立了两套 NaI(Tl) 塑料闪烁体反符合屏蔽谱仪. 该谱仪对宇宙射线的抑制系数为 400, 对 15MeV 的高能  $\gamma$  射线的能量分辨率为 5% 左右.

原子核高自旋态和巨共振研究得到国家自然科学基金会、核工业基金会和第三世界科学院基金会的资助. 原子核高自旋态研究的五个课题先后得到国家自然科学基金会的资助, 三个课题得到核工业基金会的资助, 一个课题得到第三世界科学院基金会的资助. 原子核巨共振研究的两个课题得到国家自然科学基金会的资助.

### 2 原子核高自旋态研究

自 70 年代回弯现象发现以来, 原子核高自旋态研究在国际上一直是一个十分活跃的研究

领域. 1986 年 10 月 HI-13 串列加速器验收后, 我们立即开展了第一项实验工作. 高自旋态研究的一期课题是稀土区奇质子核带交叉反常现象研究, 随后开展了中重核区的高自旋态研究, 为寻找超形变还开展了  $A=130$  核区的高自旋态研究. 近年来除了继续对中重核研究外, 还开展了高自旋核能级寿命及原子核三轴不对称形变研究.

#### 2.1 稀土区奇质子核带交叉反常现象研究

此项研究已取得多项成果<sup>[2~5]</sup>. 稀土区原子核中的中子和质子数目相差较多, 它们分别填充着不同的大壳, 因而一般认为质子和中子之间的相互作用是可以忽略的. 另一方面, 这一核区奇质子核的第一带交叉也是由一对  $i_{13/2}$  中子拆对顺排所致, 即所谓中子 AB 交叉. 所以, 该核区奇质子核中子 AB 交叉频率应与相邻偶-偶核的转晕带的第一交叉频率相近, 然而在实验上系统地观测到某些奇质子核中子 AB 交叉较相邻偶-偶核中子 AB 交叉反常推迟, 而这一反常现象均发生于基于质子  $h_{9/2}1/2[541]$  转动带. 为澄清这一反常现象的机制, 我们在 HI-13 串列加速器上利用  $^{155}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 5n)$ 、 $^{160}\text{Gd}(^{19}\text{F}, 4n)$  和  $^{148}\text{Sm}(^{19}\text{F}, 4n)$  反应研究了  $^{169}\text{Ta}$ 、 $^{175}\text{Ta}$  和  $^{163}\text{Lu}$  等核的能级结构, 并与英国曼彻斯特大学合作在英国 Daresburg 实验室利用  $^{122}\text{Sn}(^{51}\text{V}, 4n)$  反应将  $^{169}\text{Ta}$  的能级结构推向更高自旋态. 实验结果表明, 在此核区奇质子核的第一带交叉是与组态相关的, 即一对  $i_{13/2}$  中子拆对顺排的临界角频率与该质子所处的组态有关. 以  $^{169}\text{Ta}$  为例, 表 1 给出实验观测到的质子  $5/2[402]$ 、 $9/2[514]$  和

1/2[541]转动带的带交叉频率  $\bar{n}\omega_c$ , 两相邻偶偶核  $^{168}\text{Hf}$  和  $^{170}\text{W}$  的转晕带交叉频率及它们之差  $\Delta\bar{n}\omega_c$  的平均值,  $\Delta\bar{n}\omega_c = \bar{n}\omega_c(\text{偶偶核}) - \bar{n}\omega_c(\text{奇质子核})$ . 这一现象被解释为四极形变驱动效应. 其经典图像是这个处于非常长椭轨道而又以粒子性为主的 1/2[541]旁观者准质子使  $^{169}\text{Ta}$  的核芯更加长椭, 因而带交叉临界角频率较其相邻偶偶核显著推迟. 对 5/2[402] 和 9/2[541] 转动带而言, 由于它们的旁观者质子处于扁椭轨道, 而这两条单粒子能级虽然也是在费米面之上, 但距费米面很近, 它们仅仅有很弱的粒子性, 所以其带交叉频率比相邻偶偶核只是略微提前. 这一解释虽然物理图像清晰, 但理论与实验存在较大分歧. 无论是基于 Nazarewicz 的组态相关形变参量还是基于自洽的 TRS 计算的形变参量的 CSM 计算, 都无法再现实验观测到 1/2[541] 带的这么大的推迟. 系统计算表明, 理论与实验的分歧在此核区是普遍存在的.

表 1  $^{169}\text{Ta}$  各转晕带的中子 AB 交叉频率  $\bar{n}\omega_c$  及其与相邻偶偶核之差  $\Delta\bar{n}\omega_c$

核	组态	$\bar{n}\omega_c(\text{MeV})$	$\Delta\bar{n}\omega_c(\text{MeV})$
$^{169}\text{Ta}$	5/2 [402] +1/2	0.233	0.023
	5/2 [402] -1/2	0.243	0.013
	9/2 [514] +1/2	0.239	0.017
	9/2 [514] -1/2	0.242	0.014
	1/2 [541] +1/2	0.302	-0.046
$^{169}\text{Hf}$	转晕带	0.262	
$^{170}\text{W}$	转晕带	0.249	

最近 R. Wyss 指出, 理论与实验的这一分歧来源于在平均场理论中 n-p 相互作用仅被部分地间接地受到考虑, 因而从实验结果中提取奇质子核带交叉附近的 n-p 剩余相互作用并研究它与带交叉反常推迟的关系, 是一个十分重要而且很有兴趣的问题. 为此我们建立了从奇质子核高自旋能级纲图提取带交叉附近 n-p 相互作用的方法<sup>[6]</sup>. 初步结果表明: (1) 所提取的 n-p 相互作用是组态相关的, 其作用可能是四极四极相互作用; (2) 奇质子带交叉反常推迟与 n-p

剩余相互作用直接相关, 所提取的 n-p 相互作用的绝对值正好等于带交叉推迟值  $\Delta\bar{n}\omega_c$  与带交叉附近的顺排角动量  $i_0$  的乘积. 而其符号为正, 反之(带交叉提前)为负. 看来从奇质子核和相邻偶偶核转动能级纲图直接提取的 n-p 相互作用可能是导致稀土奇质子核 1/2[541] 转动带带交叉反常推迟更直接和更本质的原因.

## 2.2 中重核区的高自旋态研究

中重核区是一个核结构比较复杂的、近年来日益引起更多关注的核区. 这一核区的中子数和质子数处于 28 和 50 两满壳之间, 40 是个次满壳, 理论预言 34、38 和 42 是长椭形变稳定区, 34 和 36 又是扁椭形变稳定区. 这个核区多一两个质子或中子, 或多一两对顺排质子或中子, 往往会引起核结构的明显变化. 因而, 它是检验核结构模型的很好阵地. 这一核区实验工作的一个特点是利用重离子熔合蒸发反应布居高自旋态可能打开较多的反应道, 产生多种蒸发残核, 因而区分和鉴别  $\gamma$  能谱来源于哪个蒸发残核是十分重要的. 为此, 我们建立了 6 个液闪中子探测器组成的中子多重性过滤装置. 另一特点是在端电压为 13MV 的静电式串列加速器上开展此核区的工作不会感到端电压不足. 因而这台加速器非常适合于开展中重核区的高自旋态的研究.

在 HI-13 串列加速器上, 利用  $^{58}\text{Ni}(^{32}\text{S}, 3p)$  和  $^{58}\text{Ni}(^{35}\text{Cl}, 2p\alpha)$  反应研究了  $^{87}\text{Nb}$ , 利用  $^{58}\text{Ni}(^{32}\text{S}, 2p)$  反应研究了  $^{88}\text{Mo}$ , 利用  $^{58}\text{Ni}(^{35}\text{Cl}, 3pn)$  反应研究了  $^{89}\text{Mo}$ , 利用  $^{58}\text{Ni}(^{35}\text{Cl}, 2pn)$  反应研究了  $^{90}\text{Tc}$ . 质子数为 41, 中子数为 46 的  $^{87}\text{Nb}$  的正宇称带显示了明显的集体转动特征, 它被确认为建立在质子  $(3/2)^+[431]$  尼尔逊组态的转动带. 在自旋为  $(17/2)^+$  附近出现回弯, 它被解释为一对  $g_{9/2}$  中子拆对顺排. 陈永寿等的 TRS 计算表明,  $^{87}\text{Nb}$  的低激发态存在着形状共存,  $J^\pi = (1/2)^-$  的基态被解释为奇质子处于 1/2[301] 尼尔逊轨道, 其形变为  $\epsilon_2 = 0.15$  和  $\gamma = -116^\circ$ , 它表现为单粒子运动特征. 因而在实验上没有观测到基于基态的转动带. 而在能量为 333.8keV 的  $(5/2)^-$  态具有与基态完全不同的形变 ( $\epsilon = 0.15$ ,  $\gamma =$

0°), 建立在这个态上的负宇称带展示了明显的集体转动特征, 关于<sup>90</sup>Tc的能级结构, 前人的研究仅提供了寿命为 7. 9s 和 50. 0s 的两个同质异能态. 我们确认了 26 条属于<sup>90</sup>Tc退激的  $\gamma$  跃迁, 建立了<sup>90</sup>Tc的能级纲图<sup>[7]</sup>. <sup>90</sup>Tc的正宇称带显示了振动结构, 而负宇称带显示了转动特征.

### 2. 3 $A \approx 130$ 轻稀土区核的高自旋态研究

$A \approx 130$  轻稀土区核的高自旋态研究的兴趣在于: (1) 这些核处于大形变长椭的过渡区, 理论预言对  $\gamma$  形变是软的; (2) 质子和中子费米面处于同一的高  $j$   $h_{11/2}$  壳, 质子费米面处在  $h_{11/2}$  壳底部, 而中子费米面处在  $h_{11/2}$  的上部. 一对  $h_{11/2}$  质子的排列将产生集体转动的长椭形状, 而一对  $h_{11/2}$  中子的排列将产生集体转动的扁椭形状; (3) 奇质子核显示转动带建立于低  $k$   $h_{11/2}$  侵入能级. 实验显示转晕带第一带交叉通常是由于第二和第三准质子的排列. 对于奇奇核, 转晕带通常建立在  $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$  结构之上; (4) 能级符号劈裂和核的  $\gamma$  形变很敏感. 为了研究该核区准粒子排列特征, 我们进行了<sup>129, 131</sup>Pr, <sup>128</sup>Ce和<sup>132</sup>Nd核的研究. 对于<sup>131</sup>Pr的高自旋态研究, Godfrey 等人建立了转晕态从 (11/2)<sup>-</sup>到 (47/2)<sup>-</sup>和由六条  $\gamma$  射线跃迁边带与布居至转晕态的两条  $\gamma$  射线. 对于<sup>129</sup>Pr核过去未报道过能级纲图.

我们用 <sup>107</sup>Ag (<sup>28</sup>Si, 2p2n) <sup>131</sup>Pr 和 <sup>107</sup>Ag (<sup>28</sup>Si, 2p4n) <sup>129</sup>Pr 反应研究了<sup>129</sup>Pr和<sup>131</sup>Pr的高自旋态<sup>[8]</sup>, 束流能量为 128MeV, 进行了  $\gamma$  单谱,  $\gamma$ - $\gamma$  符合谱和  $\gamma$  射线角分布的测量. 建立了基于  $h_{11/2}$  1/2 [541] 质子组态的<sup>129</sup>Pr转晕带, 自旋和宇称为 (11/2)<sup>-</sup>到 (43/2)<sup>-</sup>的新带. 对于<sup>131</sup>Pr核, 观察到基于同样组态带和基于  $g_{7/2}$  (5/2)<sup>+</sup> [413] 质子组态的两个正宇称边带.<sup>129</sup>Pr的延迟的转晕带交叉  $\hbar\omega_c = 0. 37\text{MeV}$  是由于第二和第三  $h_{(11/2)}$ -质子的排列. 这是观察到的最远离  $\beta$  稳定线奇质子 Pr 同位素核的能带结构. 在<sup>131</sup>Pr边带观察到的  $\hbar\omega_c = 0. 26\text{MeV}$  的带交叉, 它具有自旋排列  $8\hbar$ , 是基于<sup>131</sup>Pr的  $g_{7/2}$  (5/2)<sup>+</sup> [413] 组态, 它是由两个  $h_{11/2}$  质子排列的贡献. 我们还讨论了一系列奇质子核 Pr 和 Pm 同位素质子排列的系统学, 得出: (1) 从实验数据看到转晕带交叉频率  $\hbar\omega_{bc}$  值

随着 Pr 同位素质量数的减少而减少; (2)  $\hbar\omega_{bc}$  的 CSM 理论值大于实验值, 特别是在较轻的 Pr 同位素. 对这些结果作了定性解释<sup>[9]</sup>. 此外, 对于能级的符号劈裂和  $\gamma$  形变的关系也作了探讨. 对于<sup>128</sup>Ce和<sup>132</sup>Nd核, 也观察到一些新的结果.

### 2. 4 原子核高自旋态的寿命研究

由能级寿命所提取的电磁跃迁几率对核模型是一个有力的检验, 因为它们对于波函数中的组态混合是非常灵敏的. 所以, 核能级寿命的测量对于核结构研究有着重要意义. 在 HI-13 串列加速器上通过重离子反应开展了高自旋态寿命测量工作.

对于轻稀土区核<sup>128</sup>Ce和<sup>130</sup>Ce来说, 转晕跃迁的  $B(E2)$  值直到 14<sup>+</sup> 态都有相似的转动特性. 然而<sup>130</sup>Ce的 16<sup>+</sup> 态的寿命显示出集体性降低, 为了探查<sup>128</sup>Ce是否也有这种行为, 我们用多普勒移动衰减法 (DSAM) 测量了 16<sup>+</sup> 态的寿命. 用了六台反康普顿 Ge 探测器和一台 14 单元的 BGO 晶体球进行  $\gamma$ - $\gamma$  符合测量. 经分类后建立了 28<sup>+</sup> 谱用作 DSA 分析. 用 691keV 16<sup>+</sup>  $\rightarrow$  14<sup>+</sup> 跃迁以下的的所有转晕跃迁开门所得的谱相加以改善统计精度. 用计算机程序对 691keV 跃迁的多普勒加宽峰进行拟合, 在考虑了一些修正因素后, 得到 16<sup>+</sup> 态的寿命为  $0. 82 \pm 0. 07\text{ps}$ . 此外, 我们还编制了一个用于理论计算多普勒移动衰减因子  $F(\tau)$  的计算程序, 它考虑了入射束和反冲核在靶和衬底中的能耗等影响, 用实例对程序进行了考验, 得到满意结果.

### 2. 5 高自旋态原子核的非轴对称形变研究

高自旋态的非轴对称形变是当前的热门课题之一. 近年来相继发表了介绍一些稀土区奇 A 核工作的文章, 通过电磁跃迁特征研究了核偏离轴对称形变的问题. Hamamoto 指出由于一种类型的实验数据往往可以用不同方式进行解释, 所以要证明高自旋核具有三轴形变, 需要多种独立的实验数据: (1)  $B(E2, \Delta I = 1)$  值的显著的符号依赖性; (2) 奇 A 核的能谱和  $B(M1)$  值的反常的符号劈裂依赖性; (3) 当  $J^{(2)} > J^{(1)}$  时, 其高自旋态核具有非轴对称形变特征. 理论预期, 在质量数 120 ~ 140 附近的核, 对  $\gamma$  形变是软

的,其形状变化受高  $j$  轨道的准粒子的影响.来自中间壳偏低的准粒子  $h_{11/2}$ (质子)驱使核朝向轴对称长椭形状;而处于中间壳偏高的准粒子(中子)力争使核成为扁椭形状,  $\gamma \approx 60^\circ$ . 因此,该区高自旋态原子核的形状结构是准质子和准中子的驱动力竞争的结果,通过在束  $\gamma$  谱学方法分析这些核的电磁跃迁特性,其中包括能谱的反常符号劈裂,可以抽取  $\gamma$  形变的信息.我们选择  $^{169}\text{Re}$ 、 $^{134}\text{Pr}$  和  $^{136}\text{Pr}$  核作为第一批研究对象.它们的数据分析在进行之中.我们建立了  $^{136}\text{Pr}$  的初步衰变纲图.一个  $\pi h_{11/2} \otimes \nu h_{11/2}$  组态结构已确立,同时也找到一个  $\pi[413](5/2)^+ \otimes \nu h_{11/2}$  的边带.这些带的显著特点同该核区的奇奇核的结果是

一致的.有强的 M1 跃迁和弱的 E2 跃迁;正宇称带有小的符号劈裂;而负宇称态的符号劈裂几乎消失.

### 3 HI-13 串列加速器上的巨偶极共振(GDR)研究

测量核反应产生的瞬发高能  $\gamma$  射线是研究原子核巨共振的主要方法之一.巨共振的参数反映了核结构的一些基本问题,而处于高温转动状态下核内的运动状态可由巨共振的研究中得到信息,这是当前核结构研究的重要课题,我们在三个方面进行了测量和研究,如表 2 所示.

表 2 HI-13 串列加速器上进行的巨偶极共振研究

相空间	巨偶极共振	反 应	激发曲线	角分布
低自旋 高激发态	矮共振	$^{12}\text{C}(n, \gamma)^{13}\text{C}$	$E_n = 7 \sim 14 \text{MeV}$	$55^\circ \sim 125^\circ$ (9, 11, 14 MeV)
		$^{16}\text{O}(n, \gamma)^{17}\text{O}$ $^{12}\text{C}(p, \gamma)^{13}\text{C}$	$E_n = 7 \sim 14 \text{MeV}$ $E_n = 6 \sim 17.5 \text{MeV}$	
	变形核	$^{56}\text{Fe}(n, \gamma)^{57}\text{Fe}$ $^{238}\text{U}(n, \gamma)^{239}\text{U}$	$E_n = 9.3 \sim 16 \text{MeV}$ $E_n = 9.3 \sim 16 \text{MeV}$	$55^\circ, 125^\circ$
高自旋 高激发态	高 温 转动核	$^{40}\text{Ca}(n, \gamma)^{41}\text{Ca}$ $\text{D}(d, \gamma)^4\text{He}$	$E_n = 9.3, 10.8,$ $12, 14 \text{MeV}$ $E_d = 5.78 \text{MeV}$	$30^\circ, 40^\circ$ $60^\circ$ 和 $75^\circ$
		$^{116}\text{Sn}(^{16}\text{O}, \gamma)$ $^{124}\text{Sn}(^{16}\text{O}, \gamma)$	$E(^{16}\text{O}) = 68, 80,$ $85 \text{MeV}$ $E(^{16}\text{O}) = 80 \text{MeV}$	$55^\circ$ 和 $125^\circ$ (85 MeV)

#### 3.1 在矮共振区的 GDR 研究

矮共振(Pygmy Resonance)在轻的  $4n+1$  或  $4n+2$  核的光核反应中已观察到,它的位置比 GDR 的能量位置低几个 MeV,这种现象在  $4n$  满壳层核上没有观察到.通过  $^{12}\text{C}(n, \gamma)^{13}\text{C}$ 、 $^{12}\text{C}(p, \gamma)^{13}\text{N}$ 、 $^{16}\text{O}(n, \gamma)^{17}\text{O}$  等逆反应进行了测量,其结果能够很好地和光核反应结果符合<sup>[10]</sup>.目前,能够应用  $2p1n$  壳模型对 GDR 给以很好的描述,对矮共振区的描述有待考虑更复杂的组态和反应机制.

#### 3.2 变形核的 GDR 研究

利用快中子  $(n, \gamma)$  反应研究 GDR 的一个重要发展方面是研究变形核的 GDR.我们测量了中子能量  $E_n = 9 \sim 18 \text{MeV}$  的  $^{56}\text{Fe}(n, \gamma)^{57}\text{Fe}$  和

$^{238}\text{U}(n, \gamma)^{239}\text{U}$  反应.测量结果指出,截面散开在  $1 \text{mb}$  左右, GDR 的行为很难辨认.正如人们所预言的那样,由于单粒子强度分布在一个很宽的激发能范围,使得 GDR 的形状远宽于球形核的 GDR 形状.在变形核区, GDR 的截面仍能用直接或半直接反应机制给出描述.

#### 3.3 高温转动核的 GDR 研究

1984 年以来基于高温转动核 GDR 衰变高能  $\gamma$  射线的测量,把核处于高自旋高激发区的核结构研究推向了一个新的阶段,成为重离子核反应中高能  $\gamma$  射线谱学中的一个“时新”课题.随着探测技术的不断完善和发展,由单举测量发展到遍举测量成为可能,使得 GDR 性质的研究能够和反应类型(如熔合或准熔合、周边碰撞、

裂变等)及  $\gamma$  射线发射核的角动量相联系. 我们在 HI-13 串列加速器上正在对  $^{16}\text{O} + ^{116}\text{Sn} \rightarrow ^{132}\text{Ce}$  反应系统进行研究. 在  $E(^{16}\text{O}) = 68, 80$  和  $85\text{MeV}$  时, 观察到了 GDR 的宽度随角动量和激发能的增加而变宽. 在  $E(^{16}\text{O}) = 85\text{MeV}$  时, 用 14 个 BGO 作为多重性选择, 观察到当角动量增加时,  $^{132}\text{Ce}$  核由基态长椭球形变向球形形变演化. 图 1 给出了  $E(^{16}\text{O}) = 85\text{MeV}$  时实验测量和

CASCADE, GDRFIT 的结果. 表 3 给出了利用 CASCADE, GDRFIT 得到的 GDR 强度函数. 对于本反应系统将在更高角动量和更高激发能时进行测量, 以期研究  $^{132}\text{Ce}$  核在高角动量高激发能时的超形变, 理论家们已经预言了超形变时 GDR 的形状和角分布系数  $a_2$  的改变. 我们也将用差谱技术, 提高核结构研究的精度.

参加这些课题的还有李生岗、李广生、余洋

表 3 各种多重数(2, 3, 4, >4 重, 对应于 14 个 BGO 单元探测到 2, 3, 4 和大于 4 个  $\gamma$  射线)开口的结果, 双洛伦兹分量间的关系是  $S_1 = 1 - S_2$

多重数	$E_1(\text{MeV})$	$W_1(\text{MeV})$	$S_2$	$E_2(\text{MeV})$	$W_2(\text{MeV})$	$\beta$
2	13.94	5.31	0.66	18.38	8.88	0.33
3	13.75	5.06	0.60	17.38	7.56	0.28
4	13.56	5.00	0.55	17.00	7.49	0.27
>4	13.63	5.50	0.50	16.81	6.06	0.25
>1	14.00	5.44	0.61	18.36	8.49	0.32

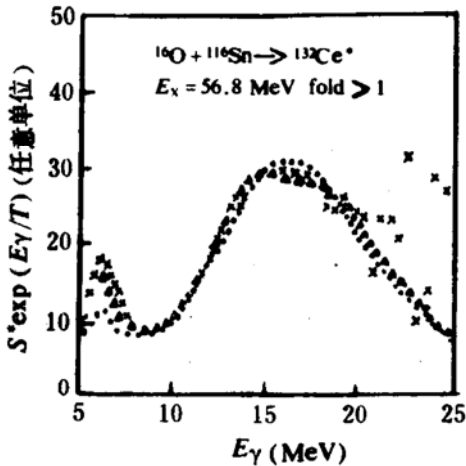


图 1 高温转动核的 GDR 测量谱(x), 以一个(o)及两个(delta)洛伦兹函数拟合谱

水、竺礼华、郑华、张兰宽、花鹏飞、侯龙、戴征宇、刘祥安、丁大钊.

### 参 考 文 献

- 1 袁观俊等. 核技术, 1990, 13: 415
- 2 扬春祥等. 重离子物理及其应用国际会议论文集, 1990: 434
- 3 Li S G, et al. Nucl. Phys., 1993, A555: 435
- 4 Wen S, et al. Z. Phys., 1991, A339: 417
- 5 Li G S, et al. Chin. J. Nucl. Phys., 1992, 14: 1
- 6 扬春祥等. 核结构最新课题国际讨论会邀请报告, 1993
- 7 Zhang L K, et al. Z. Phys., 1993, A346: 183
- 8 Weng P K, et al. Phys. Rev., 1993, C47: 1428
- 9 翁培焜. 核结构最新课题国际研讨会邀请报告, 1993
- 10 Huang Zhangde, et al. Chin. J. Nucl. Phys., 1991, 13: 97

## Nuclear Structure Study at HI-13 Tandem

Yang Chunxiang Weng Peikun Huang Zhengde Wen Shuxian Yuan Guanjuan  
(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

**Abstract** The nuclear structure studies carried out at the HI-13 tandem

(下转 2 页)

外经贸部赋予首批科研院所科技产品进出口权的 100 家单位之一。

在“九五”期间,我院将顺应 21 世纪科研和高新技术发展趋势,争取及早开展实验快堆建设,建好中国快堆研究中心;积极争取高通量研究堆研制,配套建成面向国内外的开放的中子散射国家实验室;争取实现串列加速器改造方案,延长其科学寿命,拓宽研究领域,建成有特色的放射性束加速装置,办好串列加速器国家实验室;积极创造条件,开展核电、核燃料循环研究,继续开展激光研究和惯性约束核聚变研究等。同时建设好若干个“中心”和实验室,如国家同位素工程技术中心,核保障重点实验室,中国核数据中心,放射性计量标准一级站,核工业理论物理中心等,大力发展高新技术,加速推进

同位素技术,射线辐照技术,消防保安技术,核电子仪器仪表,硅材料及其器件,锆氧节能器件,新型电光源材料,防伪技术等产业化。

在改革大潮中,原子能院将抓住机遇、迎接挑战、面向 21 世纪、选中目标、突出重点、少而精地建设好基础性核科学及工程技术研究重点实验室和工程中心,大力推进核能科技研究。以优秀的科研成果和高科技产品,继续为我国核科技发展和国民经济应用发挥重要作用,努力把原子能院建成一个向国内外开放、更加现代化,多学科综合性的核科技研究、开发、生产经营及人才培养的基地。热诚欢迎国内外同行专家和学者来我院进行合作研究,共同开发,为发展核物理科技及核工程技术,携手前进;为国民经济建设和人类的科学事业做出贡献。

(上接 16 页)

in China Institute of Atomic Energy are reviewed. Brief introductions in the field of high spin state physics are given, such as the anomalous band crossing for odd-proton rare earth nuclei, high spin state studies in the mass 90 and 130 regions, nuclear high spin state life time study and the investigation of the triaxial deformation. Brief introductions in the field of GDR studies of pygmy resonance and GDR studies in deformed nuclei and hot rotational nuclei are also given.

**Key Words** nuclear structure, nuclear high spin state, giant resonance.