

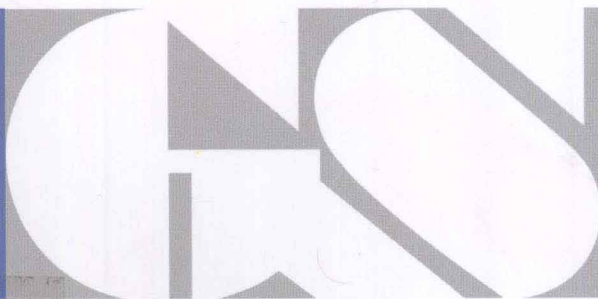


北京工商大学博士学术文库

丰中子核 $^{108,112}\text{Ru}$ 和缺中子核 $^{134,135}\text{Ba}$ 高自旋态研究

FENGZHONGZIHE $^{108,112}\text{Ru}$ HE QUEZHONGZIHE $^{134,135}\text{Ba}$
GAOZIXUANTAI YANJIU

车兴来 著



经济科学出版社
Economic Science Press

北京工商大学博士学术文库

丰中子核^{108, 112} Ru 和缺中子核
^{134, 135} Ba 高自旋态研究

车兴来 著

经济科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

丰中子核^{108, 112}Ru 和缺中子核^{134, 135}Ba 高自旋态研究 /
车兴来著. —北京: 经济科学出版社, 2010. 12
(北京工商大学博士学术文库)
ISBN 978 - 7 - 5141 - 0070 - 9

I. ①丰… II. ①车… III. ①高自旋态 - 原子核 - 研究 IV. ①O571.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 214356 号

责任编辑: 王长廷 刘 莎
责任校对: 杨晓莹
版式设计: 代小卫
技术编辑: 邱 天

丰中子核^{108, 112}Ru 和缺中子核^{134, 135}Ba 高自旋态研究
车兴来 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销
社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142
总编辑部电话: 88191217 发行部电话: 88191540
网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)
北京九州迅驰传媒文化有限公司印装
880 × 1230 32 开 5.625 印张 200000 字
2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷
ISBN 978 - 7 - 5141 - 0070 - 9 定价: 22.00 元
(图书出现印装问题, 本社负责调换)
(版权所有 翻印必究)

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 原子核物理研究概述	1
1.2 原子核高自旋态研究概述	7
1.3 $^{108}, ^{112}\text{Ru}$ 研究的意义和现状	11
1.4 $^{134}, ^{135}\text{Ba}$ 研究的意义和现状	13
第 2 章 原子核结构的理论方法	16
2.1 原子核形状的数学描述	16
2.2 振转模型	18
2.3 壳模型和 Nilsson 能级	20
2.4 推转壳模型	22
2.5 粒子—转子模型	26
2.6 两类转动惯量	27
第 3 章 布居原子核高自旋态的实验方法	29
3.1 裂变瞬发 γ 谱实验	29
3.1.1 实验原理	29
3.1.2 实验简介	31
3.1.3 实验装置	32
3.1.4 实验过程和数据预处理	35

3.2 重离子熔合—蒸发反应	38
3.2.1 实验原理	38
3.2.2 实验简介	40
3.2.3 实验装置	40
3.2.4 实验过程和数据预处理	41
第4章 数据分析方法和结果	48
4.1 数据分析的基本方法	48
4.1.1 由符合矩阵建立投影谱和本底谱	48
4.1.2 确定级联关系	51
4.1.3 确定跃迁强度	53
4.1.4 DCO 比值与跃迁多极性的判断	53
4.1.5 建立能级纲图	54
4.2 ¹⁰⁸ Ru 数据分析结果	54
4.3 ¹¹² Ru 数据分析结果	62
4.4 ¹³⁴ Ba 数据分析结果	72
4.5 ¹³⁵ Ba 数据分析结果	78
第5章 对^{108, 112}Ru 核高自旋态的结果分析与讨论	83
5.1 晕带	83
5.2 单声子 γ 振动带	92
5.3 二声子 γ 振动带	96
5.4 二准中子带	97
第6章 对^{134, 135}Ba 核的结果分析与讨论	101
6.1 ¹³⁴ Ba 核	101
6.1.1 ¹³⁴ Ba 基态带	101
6.1.2 ¹³⁴ Ba 的 10 ⁺ 同质异能态以上能级结构	104
6.1.3 ¹³⁴ Ba 的其他能级结构	105

6.2	^{135}Ba 核	105
6.2.1	^{135}Ba 核低激发态的系统学比较	105
6.2.2	^{135}Ba 核低激发态的 PRM 计算及 Ba 同位素链的形状 转变	107
6.2.3	部分能级组态的指定	108
第 7 章 总结		110
附录 A 发表论文文稿 1		113
附录 B 发表论文文稿 2		123
附录 C 发表论文文稿 3		134
附录 D 发表论文文稿 4		146
参考文献		158
后记		171

第1章 概述

1.1 原子核物理研究概述^{[1]~[4]}

人类对原子核的研究和认识可以追溯到 1896 年贝可勒尔发现天然放射性现象。放射性元素能发射出能量很大的射线, 这为探索原子和原子核提供了一种前所未有的武器。1911 年, 卢瑟福等人利用 α 射线轰击各种原子, 观测 α 射线所发生的偏折, 在 α 粒子与原子大角度散射实验的基础上提出了原子的核式模型。1919 年卢瑟福又在研究 α 粒子在氮气中射程时, 偶然发现 α 粒子打入氮核能使它发生反应, 放出新粒子。经研究, 这种新粒子带正电, 射程远比 α 粒子长, 被命名为质子。卢瑟福的这个发现, 为研究原子核物理提供了一种新的用高速粒子去轰击原子核使原子核起变化, 同时产生新粒子的方法。运用卢瑟福开创的方法, 1930 年科学家发现, 用放射性元素钋所放射的 α 粒子去轰击铍时, 产生了一种穿透本领极大的射线。1932 年约里奥·居里夫妇发现, 这种射线通过石蜡时会从石蜡板中轰击出高速的质子来。英国物理学查德威克研究这些现象后指出, 这是质量几乎跟质子完全相等的中性粒子, 取名中子。这些卓越的成就奠定了原子核物理学的基础。20 世纪 30 年代, 原子核物理学有了飞速发展。人们为了探测各种线射, 鉴别其种类并测定其能量, 初步创建了一系列探测方法和测量仪器。Van de Graff 的静电加速器、劳伦斯 (Lawrence) 与利文斯顿 (Livingston) 的回旋加速器先后建成, 云室和盖革—弥勒计数

器等重要探测工具相继被创建,人们开始了大规模、系统性地展开对原子核结构与核反应的研究工作,积累了大量实验数据。

为了研究实验事实,人们提出了各种理论模型。1932 年中子发现以后,海森堡(W. K. Heisenberg)和伊凡宁柯(D. Iwanenko)各自独立提出原子核是由质子和中子构成的假说,为早期核结构的研究奠定了基础。以下对一些重要的原子核模型作一简单的概述,与本书研究工作相关的理论模型将在第 2 章重点介绍。

(1) 费米气体模型。1932 年,费米(E. Fermi, 1901 ~ 1954 年)提出了费米气体模型。他把核子(中子和质子)看成是几乎没有相互作用的气体分子,把原子核简化成一个球体,核子在其中运动,遵守泡利不相容原理。费米气体模型揭示了原子核中核子在一定条件下近乎独立的行为,可以计算核能级并给出激发态的一些有用信息,能给出原子核的平均密度、平均动能等整体性质的定性估计。但费米气体模型过于简单,没有考虑核子之间的强相互作用,难以解释后来发现的许多事实。

(2) 液滴模型。在 20 世纪 30 年代中期以后,把原子核类比液滴,产生了液滴模型。人们应用液滴模型很好的解释了原子核的裂变现象,给出了核结合能的定量公式,为核的集体运动和裂变提供了形象化的几何模型。在现阶段超重核的研究中,液滴模型仍然经常被使用。

根据液滴模型,原子核的结合能主要包含体积能、表面能和库仑能三项。原子核的体积能是结合能的主要项,它与原子核的体积成正比。对于最简单的球形核,体积与核子数成正比,体积能与组成原子核的核子数成正比。原子核作为液滴有它的表面,在表面的核力只受到内部核子的作用,比原子核内部的核子所受的作用要小。在结合能中应该考虑表面核子与内部核子的差别,进行修正。

液滴模型能够准确地计算原子核基态的质量,计算值与实验结果的平均偏差小于 0.3%,在满壳层的铅 208,计算值与实验结果的差别很大,也还是小于 1%。这是现有的其他计算方法所难达到

的。另外，用液滴模型算得的结果只可能是平均结果，结合能随着核子数的变化是平滑的，完全不能反映实验所表现出来的壳层结构。虽然液滴模型计算的相对偏差不大，但能量的计算值与实验结果的绝对值差几个 MeV，与某些核素的裂变势垒高度比较起来，就是个不容忽略的数值。例如，铜系核的裂变势垒高度只有 6MeV。

(3) 壳模型。原子核壳层模型是在大量的关于核性质、核谱以及核反应实验数据综合分析的基础上提出的，它对原子核内部核子的运动给出了较清晰的物理图像。我们知道，在原子中当原子序数为 2、10、18、36、54 时对应的 He、Ne、Ar、Kr、Xe 原子是稳定的；而原子核中，质子或中子数 $Z, N=2, 8, 20, 28, 50, 82; N=126$ ，核稳定，相应的核素丰度高，同位素，同中素多；结合能也高。在原子中电子形成壳层结构的条件：①电子在库仑场（中心力场）中独立运动， l 为守恒量，构成一定的能级；②由于泡利原理限制（电子为费米子），每个能级上只能容纳一定的电子。核内的核子也是费米子，遵守泡利原理，上述条件②满足；但条件①，独立粒子运动，似乎有困难。在核内的核子间是强作用为短程力，没有作用中心，不存在原子中那样的中心力场；也由于核子间作用强烈，碰撞频繁，核子运动状态不断改变，很难设想单个核子能保持独立运动状态。幻数的存在使人们重新考虑壳层结构。正因为泡利原理限制，处于基态的原子核，其最低能态已被核子填满，两个核子发生碰撞时，使其能态发生变化，但由于低能态已填满，改变了能态的核子不能填到低能态上，只能去填充未满足的高能态，不过这已不是基态了，这在核与外界不交换能量条件下不可能。结论是，虽然在核内核子间作用强烈，频繁碰撞，由于泡利原理限制，核子仍能保持原有运动状态；即单个核子的独立运动可能。而单个核子处于一个平均场中，此平均场即为其他核对它作用的总和。壳模型的核心是平均场思想。它认为，就像电子在原子中的平均场中运动一样，在原子核内，每个核子也近似地在其他核子的平均场中做独立的运动，因此原子核也应具有壳层结构，通常把

这一模型称为独立粒子核壳层模型。初始的球壳模型是把核子视为独立的粒子，且每一个核子绕一个由其他核子所组成的中心力场运动，类似于原子中之电子绕核运动，其中不同点为原子中之众电子（全同粒子）绕原子核所供应的长程库仑力场运动，而原子核则是由若干质子和中子组成的一个体系，其所绕的中心力场为由此体系中的短程强相互作用力所组成，增加了壳模型的复杂性及计算的困难度。因此研究者们便选取了以唯象的方式来探讨何种单粒子位势较能解释实验观测到的现象，但各种单粒子位势都不能给出全部幻数。

1949 年，迈耶（Mayer）和詹森（Jensen）在平均场中引入强的自旋-轨道耦合力，利用该力引起的能级分裂成功地解释了全部幻数的存在，提出了基于强自旋轨道耦合的原子核壳模型理论^{[5]~[7]}。该模型在解释原子核的幻数、自旋、宇称、磁矩、 β 衰变和同质异能素岛等实验事实等方面取得了巨大的成就，被称为核结构理论发展的第一个里程碑。

1955 年，尼尔森（Nilsson）提出既考虑原子核形变又考虑核子单粒子运动的轴对称变形壳模型，也即 Nilsson 模型。在形变核中，单核子感受到的平均场不再是球对称的而是与形变核中核物质分布一致的形变平均场。用各向不同性的谐振子势来近似，再考虑强自旋轨道耦合，并按绝热近似处理，认为单核子运动不受集体运动的影响，它仅在变形的核场中运动，则可求出变形核中单核子能级，这就是 Nilsson 模型的基本思想。

1954 年，英格利斯（Inglis）提出推转壳模型（CSM），在 20 世纪 70 年代后被广泛用于处理有关高自旋态的问题。原子核是一个微观多体量子体系，原子核的转动是指原子核势场空间取向的变化。由量子力学可知，原子核不存在绕对称轴的集体转动。一种非常简单的转动即是轴对称原子核绕主轴 x 的转动，其中主轴 x 垂直于其对称轴 z 。科里奥利力是在转动势场中运动的粒子受到的一种特殊力，在处理高自旋态有关问题中具有根本的重要性。将

Nilsson 模型推广使它包含科里奥利力, 就得到了推转壳模型。推转壳模型最早由英格利斯在 1954 年引入, 并在 70 年代以后广泛用来处理原子核高自旋态相关问题。

(4) 集体模型。20 世纪 50 年代初, 在壳模型的基础上, 丹麦物理学家 N. 玻尔的儿子阿·玻尔 (Aage Niels) 与莫特森 (Mottelson) 及雷恩沃特 (Rainwater) 等人提出了关于原子核的集体模型, 认为核子在原子核内独立运动的同时, 整个原子核还存在振动、转动等集体运动。

人们知道, 最稳定的双幻数核都是球形的。但是, 在两个幻数之间的核, 却是变形的。这可以由它们具有大的电四极矩所表征。同时, 人们还发现, 与分子光谱相似, 在核谱中也有振动和转动特征的谱线。比如在离双幻数稍远, $60 \leq A \leq 150$ 和 $190 \leq A \leq 220$, 原子核有等间距能级, 如图 1.1 (a) ^{110}Cd 原子核有等间距能级类似谐振子能级, 核有振动运动的表现; 在远离满壳处, $150 \leq A \leq 190$, $220 \leq A$, 核的能级能量 E_J 与角动量 J 间有关系 $E_J \propto J(J+1)$, 如图 1.1 (b) ^{238}U , 有类似分子转动能级。这表明, 除了近似的

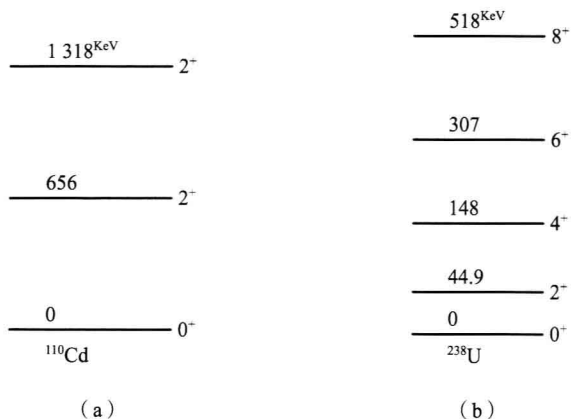


图 1.1 (a) ^{110}Cd 原子核能级图; 图 1.1 (b) ^{238}U 原子核能级图

独立粒子运动模式之外, 原子核还有很多核子相干参与的集体运动模式。虽然, 原则上壳模型也可以描写这种集体运动, 但是, 在实际计算中, 却会变得非常复杂, 甚至难以进行。因此, 对原子核的集体运动, 人们经常应用的是更唯象的集体模型。

在集体模型中, 与液滴模型的想法类似, 仍然把原子核看成无旋的流体, 对相应的哈密顿量量子化, 就可以成功地描述原子核的振动和低激发的转动能级。人们也可以在固定在原子核上的坐标系里描述核内的多粒子运动, 同时, 在实验室坐标系内描述原子核的集体运动, 然后, 把二者结合起来, 给出原子核运动的全貌。

集体模型认为, 除平均场外, 核子间还有剩余的相互作用, 剩余作用引起核子之间关联, 这种关联是对独立粒子运动的一种补充, 其中短程关联引起核子配对。描述这种关联的核子对模型已经得到大量的实验支持。核子间的长程关联将使核变形, 并产生集体运动, 原子核转动和振动能谱就是这种集体运动的结果, 而重核的裂变以及重离子的熔合反应又是原子核大变形引起的集体运动的结果。原子核的集体模型认为, 每个核子在核内除了相对其他核子运动外, 原子核的整体还发生振动与转动, 处于不同运动状态的核, 不仅有自己特定的形状, 还具有不同的能量和角动量, 这些能量与角动量都是分立的, 因而形成能级。正因如此, 与只适用于球形核的独立粒子壳层模型相比, 原子核的集体模型有了很大的发展。用它来计算核液滴的各种形状对应的能量和角动量。此外, 当核由高能级向低能级跃迁时, 能量通常还能以 γ 射线的形式释放出来, 这一特征与大量处于稳定线附近的核行为相符。此外, 根据这一模型, 当核形状固定时, 转动惯量不变, 随着角动量加大, 核形状变化, 转动惯量相应改变, 导致转动能级变化, 因此, 这一模型对变形核转动能级的跃迁规律的研究, 已成为研究奇异核的基础。原子核集体模型解决了独立粒子核壳层模型的困难, 成功地解决了球形核的振动、变形核的转动和大四极矩等实验事实, 为原子核理论的发展作出重要的贡献。

1980年,赫斯(Hess)等人建立了广义集体模型(GCM),该模型可统一描述转动核、振动核和过渡核的结构,对许多原子核高自旋态的性质的解释很成功。

(5) 相互作用玻色子模型(IBM)。1975年,有马朗人和雅克罗(Arima and Iachello)提出了相互作用玻色子模型(Interacting Boson Approximation Model, IBM)。该模型按照群论的方法,使用有相互作用的s和d玻色子体系描述原子核的四极集体激发态,可以很好地给出原子核的低激发态性质。1980年附近,IBM模型被推广到奇偶和奇奇核上,把偶偶核外多余的单一核子以费米子型态加入原来的玻色子体系,在哈密顿量中加入费米子和玻色子间的交互作用,改进后的模型可以很成功地用于奇偶核的高自旋激发能谱的解释。

各种模型理论的提出,使人们对原子核的认识更为深入全面,极大地推动了原子核物理学的发展。

1.2 原子核高自旋态研究概述

进入20世纪六七十年代,由于许多大型重离子加速器的相继建成,加上探测器、电子学、计算机等领域的技术发展,人们对核结构的研究有了突破性进展。原有的以原子核的衰变为主要研究手段的衰变谱学逐渐发展成以加速器和庞大探测系统为特征的现代谱学。人们可以使原子核获得很高的角动量,从而开创了极端条件下的核结构高自旋态研究的新领域。原子核高自旋态通常是指自旋大于 $10\hbar$ 的核态。实验中能够定出能级的角动量的上限在 $60\hbar$ 或更高一些,而能够进行统计研究的自旋态可高达 $80\hbar$ 。自旋态更高时,一般核由于裂变而不稳定。处在高自旋态下的原子核,由于其转动速度很高,使得原子核的形状、核子耦合的图像等结构特性有很大的变化,更深刻揭示了原子核集体运动和独立粒子运动之间的关联和转化,因而蕴涵了关于核结构、核力特性的大量有价值的

信息。

最早的高自旋态研究开始于 1963 年, 森永 (Morinaga) 等人利用 (α, xn) 反应得到了自旋达 $12\hbar$ 的高自旋态^[8]。1972 年, 约翰逊 (Johnson) 等人发现原子核转动惯量的集体回弯现象^[9], 斯蒂芬斯 (Stephens) 等人用带交叉观点对这一现象进行了成功的解释^[10]。这些成就推动了高自旋态研究的发展。

近年来高自旋领域发现了大量新的物理现象, 如磁转动带和手征二重带、摇摆转动带^[11]、形状共存、超形变、八极关联和奇异核形变、全顺排与带终结现象^[12]、对关联与对崩溃和全同带^{[13]、[14]}等。新的物理现象为核结构的研究提供重要的实验信息, 也为理论工作带来了机遇和挑战。目前原子核高自旋态的研究主要集中在以下几个方面:

(1) 集体回弯现象。一部分原子核的激发态能量 $E(I)$ 随自旋态 I 增加偏离了 $I(I+1)$ 的规律, 此时用振动—转动耦合没有办法解释。这样第一类转动惯量 $J^{(1)}$ 随转动角频率平方 ω^2 的变化曲线将先呈一条直线, 后急剧上升, 并呈现“S”形的曲线, 这就是集体回弯现象。对集体回弯现象一般用带交叉来解释, 认为基态带与以双准粒子态为带头的激发带之间的交叉是形成集体回弯现象的原因。基带的内部态所有核子都处于配对状态, 转动惯量较小, 而激发带的内部态主要是处在高 j 低 Ω 轨道上的一对粒子受到较大的科里奥利力作用被拆对, 转动惯量较大, 两带交叉从而引起集体回弯现象。

(2) 原子核形状共存。原子核的形状大体分为三类: 当质子或中子数为幻数时, 为球形核; 当质子或中子数远离幻数时, 为硬形变核, 此种核形状比较稳定, 形状参量随能量或组态变化较小; 介于这两种形状之间的为软形变核。不同形状的核形变共存于同一个原子核的高自旋态中, 这种现象称为形状共存。形状共存一般和单粒子高 j 轨道的闯入有关。

(3) 原子核八极形变。当一对 $\Delta N = 1$ 、 $\Delta l = 3$ 和 $\Delta j = 3$ 的单粒

子轨道靠得很近时,就会产生很强的八极相互作用。处于八极形变下的原子核具有空间反演不对称性,对其特性的研究丰富了人们对原子核结构形状的认识。理论上预言在 Z 或 N 为 56、88、132 时,会发生八极形变^{[15]~[17]}。目前在重钡区 ($Z=56, N=88$) 和轻钶区 ($Z=88, N=134$) 都已观测到原子核的八极形变^{[18]~[24]}。

(4) 寻找超形变带。超形变核指长短轴之比高达 2:1 的比较高的原子核,其形变参数达 $\epsilon_2 \sim 0.6$ 。在高速转动的状态下,超形变核的角动量可以高达 $60\hbar$,并以 10^{20}Hz 的角频率旋转,成为极端条件下核结构研究的重要内容。自从 1986 年特温 (P. J. Twin) 等人在 ^{152}Dy 中观察到超形变带以来^[25],原子核超形变带的研究一直是核结构研究领域的热点之一^{[26]~[29]}。

(5) 旋称劈裂和反转。奇 A 核或奇奇核的有些转动带,相邻的能级差随角动量的变化关系不再是直线,而成锯齿形,即发生了旋称劈裂。优先带 (Favored Band) 的能量差高于非优先带 (Unfavored Band) 的能量差,称为旋称反转。为了探索旋称劈裂和反转机制,人们开展了大量的实验和理论研究,取得了许多重要成果^{[30]~[46]}。

(6) 磁转动带和手征二重带。在磁转动带中,是磁偶极矩在转动,而非通常的电四极矩转动。磁转动带通常发生在近球形或弱形变原子核中。磁偶极矩来源于少数质子-粒子(或空穴)和中子-空穴(或粒子)之间的耦合,并且绕总角动量转动。在转动带带首,质子和中子角动量近乎垂直,两者耦合的结果使总角动量矢量倾斜于原子核的惯性主轴。由于系统的形变很小,要获得角动量,最可能的结果是质子和中子的角动量互相靠拢,而总角动量的方向变化不大,从而可以形成规则的转动谱。这种效应类似剪刀的开合,因此又称“剪刀带”。实验上,磁转动带首次在 ^{199}Pb 中得以证实^[47]。人们已先后在 $A \approx 80$ 区、 $A \approx 100$ 区、 $A \approx 130$ 区和 $A \approx 200$ 区发现了磁转动现象。研究磁转动带的理论工具主要有倾斜轴推转模^[48]和倾斜轴推转相对论平均场 (TCRMF)^[49]理论等。对于

原子核密度分布为三轴形状的情形, 倾斜轴推转模型又预言了手征二重带 (Chiral Doublets) 的存在。手征二重带是指两条转动带在一定的自旋范围内, 每个相应的能级具有相同的自旋值和相近的能量。手征二重带已成为近年来高自旋态研究的热点课题^{[48]~[53]}。

如今布居原子核高自旋态的方法主要有以下几种:

(1) 熔合一蒸发反应。利用加速到一定能量的重离子束流轰击靶核的重离子反应 (HI, (xn, xp)) 方法布居原子核高自旋态。通过熔合一蒸发反应可以得到非常高的自旋态, 但是也存在一些缺点, 比如: 由于蒸发粒子种类和数目相互竞争, 导致产生多个生成核, 不容易确定不同核素发射的 γ 射线的归属; 由于生成核普遍为缺中子核, 不能进行 β 稳定线及丰中子核素的高自旋态研究; 由于重核容易裂变, 用 (HI, (xn, xp)) 反应来研究铀系等重核的高自旋态非常困难。书中缺中子核^{134, 135}Ba 高自旋态的布居就是利用此方法。

(2) 库仑激发。入射粒子的能量在库仑位垒以下, 通过电磁相互作用, 产生非弹性散射, 使靶核处于高自旋态。此反应不仅截面较大, 而且可以实现重核高自旋态的布局, 正好弥补了重离子熔合一蒸发反应的不足。缺点是引入的角动量和激发能相对较低, 布居集中于晕带及基态带附近, 提供的带结构信息比较少, 只能布居 β 稳定线附近的核, 需要稳定的靶。

(3) 重核裂变。通过对重核如自发裂变或诱发裂变产生的瞬发 γ 谱的研究, 可以得到众多的丰中子核区核的高自旋态信息, 该方法可以弥补重离子熔合一蒸发反应及库仑激发布居原子核高自旋态的局限性。此方法也存在缺点, 如: 布居的高自旋态角动量相对较低, 对测量系统要求高, 实验后续数据处理工作量比较大。本书中¹⁰⁸Ru、¹¹²Ru 的实验数据就来自于重核²⁵²Cf 的自发裂变。

研究原子核高自旋态的实验方法是使用适当的方法布居原子核高自旋态, 然后使用多个高分辨的探测器 (常用高纯锗探测器) 来探测高自旋态核退激发射的 γ 射线。符合与反符合方法在这一过

程中起了非常重要的作用。实验中用需要尽量多的高分辨 γ 探测器进行符合测量,以确定 γ 射线间的级联关系;为了降低信号本底,提高探测器对 γ 射线测量的峰康比, γ 射线探测器要加反康探头做反符合。另外,还常常选择特定位置的探测器的符合,来获取 γ 射线角分布的信息。实验得到大量的 γ 射线能量信息和符合信息存储在计算机里,并据此建立 γ - γ 二维符合矩阵或 γ - γ - γ 三维符合矩阵。有关实验方法将在第3章详细介绍。

高自旋态数据的分析方法主要是基于一个或几个符合矩阵,生成不同的 γ 射线的开门谱,反复比较,结合跃迁的强度关系,来确定 γ 射线的级联关系,建立相关核的能级纲图。根据角关联或DCO比值来确定跃迁的多极性,从而确定能级的自旋和宇称。数据分析常用Radware软件包^{[54]、[55]}。具体数据分析过程将在第4章作具体介绍。

在对原子核高自旋态的理论分析中,虽然有一些非常成功的模型如推转壳模型(CSM)以及粒子转子模型(PRM),但由于高自旋态核性质的复杂性,系统学比较是经常采用的方法。通过与邻近核素能谱,跃迁几率以及其他特性的比较,可以得到很多有价值的信息。

1.3 $^{108,112}\text{Ru}$ 研究的意义和现状

丰中子偶偶核 $^{108,112}\text{Ru}$ 位于 $A \sim 100$ 区,这部分核包括 $Z = 38 - 48$ 的Sr-Cd等核链的众多的丰中子核。其中Sr和Zr核链位于丰中子核的 $Z = 40$ 、 $N = 56$ 的亚球壳区与 $Z = 38$ 、 $N = 60$ 的大形变区,而其他核则处于从 $Z = 38$ 、 40 的大形变经由三轴形变向 $Z = 50$ 的球形壳层的过渡区,核结构特性丰富而复杂。通过重核裂变^{[18]、[56]}和熔合裂变^{[57]~[60]}等方法,人们获得该区大量丰中子核的结构信息,比如Rb^[61]、Sr^{[62]~[70]}、Y^{[71]~[73]}、Zr^[74]、Nb^{[75]、[76]}、Mo^{[77]~[80]}、Tc^{[81]、[82]}、Ru、Rh^{[83]~[85]}和Pd^{[86]~[90]}等核。