

高自旋核结构数据的发展现状及展望

周春梅 黄小龙

(中国原子能科学研究院 北京 102413)

摘 要 简要介绍高自旋核结构物理数据的特点、发展现状、展望及中国高自旋核数据的发展。

关键词 高自旋核结构数据 超形变带

1 引言

高自旋核结构物理研究是当前核结构研究的前沿课题领域。自 80 年代中期首次观测到 ^{152}Dy 的高自旋超形变 (Superdeformed, SD) 带以来,陆续建成了由许多反康普顿锗锂探测器组成的大型 γ 射线探测装置 (如 Gammasphere, Eurogam, GASP, Nordball, Euroball, ... 等),先后在 $A \sim 130$ 区、 $A \sim 150$ 区、 $A \sim 190$ 区观测到几十条超形变 (SD) 转动带,这些转动带具有很好的规律性。

为满足和适应高自旋核结构研究的需要,推动高自旋核结构研究的深入发展,目前许多高自旋核结构研究组都进行了这方面数据的收集、整理,并建了各自的计算机化核数据库,但各家数据格式各不相同。为此,1994 年 5 月在美国加利福尼亚州劳伦斯伯克利实验室 (LBL) 召开的第 11 届核结构和衰变数据 (NSDD) 评价国际协作网顾问组会议上,与会代表积极建议,以国际合作研究方式进行高自旋核结构物理数据的收集、整理和评价,并建立了相应的实验高自旋数据库 (High-spin Data File, HSDF) 和评价高自旋数据库 (Evaluated High-spin Data File, EHSDF); 还特别建议美国增加 2 位专家专门从事该数据库建设和提供服务方面的有关工作。中国核数据中心是核结构和衰变数据国际协作网的数据评价中心之一。

2 高自旋核结构数据的特点

高自旋超形变带具有很高的角动量、激

发能和转动惯量,涉及到特殊的布局机制、转动弛豫和退激方式。实验上探测 SD 带是通过重离子核反应 ($\text{HI}, xn\gamma$) 来进行,采用 E_γ - E_γ 能量关联法和分立 γ 的符合探测方法。由于核反应中多出射道的竞争, γ 探测中的康普顿散射和连续 γ 形成的本底以及各余核具有的多个 γ 退激能带,使在束 γ 谱相当复杂。超形变带,特别是最高自旋区的超形变带 γ 跃迁强度很低,而 SD 带角动量的确切上限、SD 带的布局机制、退出 SD 带的机制及与已经测定角动量的 yrast 态之间的确切联系尚未搞清,因此,目前从实验上还不能直接给出 SD 带能级能量的绝对值,只能给出其相对值;也无法从实验上直接测定 SD 带能级的角动量,只能以唯象方法大致对其自旋进行指定。估算的方法有:一是假定在超形变带成为 yrast 态的自旋值下,超形变带应具有比 S 带 (边带) 更高的强度。若从实验上找出和某一 yrast 态跃迁强度相近的超形变跃迁,该跃迁所属能级就应有与 yrast 态跃迁所属能级相等的自旋值,从而得出超形变带自旋指定。该方法的条件是已观测到足够高的 yrast 态能级,找到超形变带与 yrast 带的交汇处。然而,实验测量是相当困难的。二是采取转动模型最小二乘拟合其带内 γ 谱的办法大致估计其能级自旋,但不确定性较大。对激发能较低的高自旋带能级结构而言,其带头位置 (激发能量) 及其自旋和宇称,多数情况下是能从实验上测定的。

近期评价的 A 链核结构数据中,已经包括了重离子核反应在束 γ 谱学 ($\text{HI}, xn\gamma$) 的

有关数据信息. 显然, 也包括了高自旋核结构数据. 在 $(HI, xn\gamma)$ 反应实验测量中, 可以获得如下主要数据信息: 带内跃迁 γ 线的能量、相对强度、多极性及其在核能级结构图中的相对位置 (通过 γ - γ 符合测量确定)、能级寿命、原子核的内禀电四极矩 Q_0 和四极形变 ϵ_2 等.

3 高自旋核结构数据的现况

3.1 ENSDF 的带结构数据

据美国核数据中心的评价核结构数据库 (ENSDF) 截至 1994 年 4 月的统计表明, 该库约有 2 700 多条带能级结构, 其中高自旋带结构约占一半 (包括 SD 带结构). 这些带结构数据信息给核结构研究工作者提供了很有价值的研究信息. 但是, 其数据评价及更新的周期较长 (约 5~7 年), 变形核区的许多新实验数据还不能及时收入该库.

3.2 同位素核数据表的带结构数据

由美国 LBL 同位素机构 (Isotopes Project) 编辑的同位素核数据表第八版, 即将以印刷和 CD-ROM 等形式出版发行, 主要以评价核结构数据库为基础, 包括国际协作网各成员国核结构数据评价者根据上次评价后, 对新的实验测量数据进行更新和补充之后的评价数据. 它也特别注意带结构特性 (包括高自旋带结构). 该书的部分清样已见到, 估计有 3 000 页, 分上下两册. 这是国际协作网各成员国 (包括中国评价的 $A = 51 \sim 56$ 、61、170、172、195~198 等链数据) 共同完成的成果. 该库数据计划将与实验测量保持同步 (主要是高自旋数据) 进行更新和修改, 定期以 CD 盘发行. 一旦出版发行, 我们能及时收到该书和 CD 盘.

3.3 各实验室的实验高自旋数据库

据有关方面提供的信息, 各主要高自旋核结构研究组或实验室均有自己的计算机化高自旋数据库 (包括收集他人和自己测量的数据). 其中, Oak Ridge 实验室的高自旋数据

库是最完善的数据库之一. 但是, 各家使用的数据格式各不相同. 显然, 这不利于相互交流和使用的. 这种情况说明, 建立一个统一格式的完整的实验高自旋数据库十分必要.

3.4 评价超形变带结构数据库

美国 LBL 同位素机构已经建成了评价超形变带和裂变同质异能态数据库. 该库存有 73 个核素的 86 条 SD 带 (见表) 和 46 个裂变同质异能态的核数据, 并已汇编成册 (Table of Superdeformed Nuclear Bands and Fission Isomers) 供各国使用. 此外, 还可以通过计算机国际联网在线检索该库数据, 且能以多媒体方式提供给用户. 它还计划随时修改、更新、补充新的研究成果, 使之与实验测量保持同步发展. 这充分体现了计算机化数据库的优势.

对上述评价数据进行及时更新有很多困难. 为此, 第 11 届核结构和衰变数据评价国际协作网顾问组会议建议, 继续采取国际合作方式进行高自旋核结构数据的评价及建库工作.

4 高自旋核结构数据的展望

4.1 高自旋核数据爆炸

据对现有信息的分析表明, 不久会出现高自旋核结构物理数据 (高自旋 γ 射线数据) 爆炸. 主要原因有: (1) 美国和西欧等国的一批实验室分别建立了由几十对反康普顿锗锂探测器组成的大型 γ 射线探测装置, 它可以进行 $\gamma\gamma$ 符合、 $\gamma(\theta)$ 角分布、能级寿命和核矩等多参数测量, 一次实验就能获取大量 γ 数据. (2) 这些实验室 (组) 均由大型计算机进行实验数据的分析处理. (3) 各高自旋核结构研究组在理论上不断预言并提出许多新的实验研究课题, 推动和促进实验室测量向更深和更广的方向发展, 数据总量将会不断膨胀.

4.2 高自旋核数据评价

众所周知, 由于实验测量条件、数据分析

方法技术及实验测量者经验等的不同, 影响着测量数据的准确度和精确度, 因此开展数据评价十分必要. 根据 NSDD 顾问组会议的建议, 目前核结构数据评价中应把高自旋数

据评价的优先度放在第一位. 力争近期内在高自旋协调员的统一协调下, 尽快完成 HSDF 和 EHSDF 工作, 并及时把它们编入评价核结构数据库 (ENSDF).

已观测到的 SD 带 (至 1994 年 4 月) 数据简况表

核素	¹⁹¹ Au	¹⁸⁹ Hg	¹⁹⁰ Hg	¹⁹¹ Hg	¹⁹² Hg	¹⁹³ Hg	¹⁹⁴ Hg	¹⁹¹ Tl
SD 带	SD-1	SD-1	SD-1	SD-1 SD-2 SD-3	SD-1	SD-1 ~ SD-6	SD-1 SD-2 SD-3	SD-1 SD-2
核素	¹⁹² Tl	¹⁹³ Tl	¹⁹⁴ Tl	¹⁹⁵ Tl	¹⁹² Pb	¹⁹⁴ Pb	¹⁹⁶ Pb	¹⁹⁸ Pb
SD 带	SD-1 ~ SD-6	SD-1 SD-2	SD-1 ~ SD-6	SD-1 SD-2	SD-1	SD-1	SD-1	SD-1
核素	¹⁵³ Dy	¹⁵² Dy	¹⁵¹ Dy	¹⁵¹ Tb	¹⁵⁰ Tb	¹⁵⁰ Gd	¹⁴⁹ Gd	¹⁴⁸ Gd
SD 带	SD-1 SD-2 SD-3	SD-1 SD-2	SD-1	SD-1 SD-2	SD-1	SD-1 ~ SD-4	SD-1 SD-2 SD-3	SD-1 SD-2
核素	¹⁴⁷ Gd	¹⁴⁶ Gd	¹⁴⁴ Gd	¹⁴³ Eu	¹⁴² Sm	¹³⁷ Nd	¹³⁶ Nd	¹³⁵ Nd
SD 带	SD-1 SD-2	SD-1 SD-2	SD-1	SD-1	SD-1	SD-1	SD-1	SD-1
核素	¹³⁴ Nd	¹³³ Nd	¹³³ Pr	¹³² Ce	¹³¹ Ce	¹³⁰ La		
SD 带	SD-1	SD-1	SD-1 SD-2 SD-3	SD-1	SD-1			

4.3 高自旋数据库建设

4.3.1 实验高自旋核数据库

图 1 是实验高自旋数据库 (HSDF) 建设示意图. 从图 1 可以看出, 编辑者将收集来自各方面的实验资料和数据, 并以一定格式存入 HSDF. 库内容包括有关的实验室、作者、数据来源 (杂志、私人通讯…)、测量情况、数据分析和处理方法技术以及测量数据等 (类似于核反应数据 EXFOR). 其中, 特别注意不同实验室测量结果的差异. 建议 HSDF 应以核结构参考文献库、评价核结构数据库和各实验室已有数据库为基础, 补充新的实验测量数据, 以节省人力和时间. 此外, 应编写和优化库的管理程序系统 (具有补充、修改、更

新和检索等多种功能), 以便进行科学管理和提供服务.

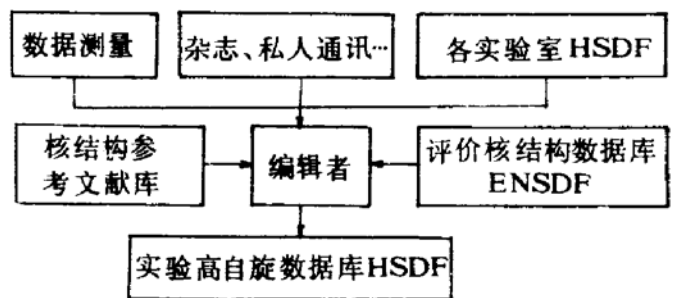


图 1 实验高自旋数据库的建设示意图

4.3.2 评价高自旋核数据库

评价高自旋核结构数据库应以库中已有

的 1 000 多条评价高自旋带结构数据(有一部分 SD 带结构数据)为基础,补充上次评价后的新实验测量数据.图 2 是根据这种原则给出建设评价高自旋数据库(EHSDF)的示意图和与其它方面的关系.它与数据测量者和核结构理论研究者之间将建立非常紧密的联系.与 HSDF 一样,需编写数据库管理程序系统,便于管理好该库数据和为用户提供服务.

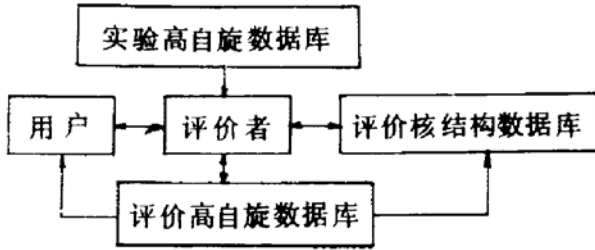


图 2 评价高自旋数据库的建设及其关系示意图

4.4 高自旋核数据的协调和管理

NSDD 顾问组会议已建议美国增加一位专家(协调员)从事高自旋核结构数据的评价、建库和与研究者之间建立密切联系等方面的协调工作,还建议近期增加二位专家从事高自旋核数据库建设(包括实验和评价库的数据入库及有关库管理等方面的程序研制)和日常性管理与服务工作.会议还建议将 HSDF 和 EHSDF 及协调员放在 Oak Ridge 或 Lawrence Berkeley(它们均有大型 γ 射线探测装置).倾向性意见是放在 Oak Ridge,因为那里有一个非常优秀的核结构数据评价组,有一个国际领先的高自旋核结构物理研究计划,有一个核结构理论研究组(由 ORNL 和田纳西大学共同组建),有一个很好的高自旋核结构数据库,以及一个正在建的放射性束实验装置.

4.5 高自旋核数据国际合作

不久,高自旋 γ 射线数据的爆炸不仅将会在美国出现,同时也会在欧洲(如在欧洲的新 γ 探测装置-Eurogam、GASP、Nordball 及

即将建的 Euroball 等)出现.现在美国已建立了协调执行委员会,协调美国各实验室的有关工作.NSDD 顾问组会议也建议成立与之平行的欧洲协调执行委员会,协调欧洲各国的有关研究工作,这两个委员会共同协商把所有高自旋数据输入 HSDF 和 EHSDF,并最终把它们并入 ENSDF.显然,只有国际合作才有可能顺利完成这项计划.

5 中国高自旋核数据的发展

在中国原子能科学研究院串列加速器上,已经测量了一批核素的高自旋核结构物理数据(是由中国原子能院核物理研究所、中科院近物所及吉林大学物理系等单位从事核结构研究的科学家们完成的).今后,仍将继续进行实验测量,对高自旋核结构物理进行有针对性的研究.这些测量数据是中国对世界高自旋核结构物理的重要贡献.这些数据也将收入实验高自旋数据库和评价高自旋数据库.

中国核数据中心是核结构和衰变数据评价国际协作网的数据评价中心之一,也是我国这方面数据评价的牵头和归口单位.过去该中心与吉林大学物理系和中科院上海核子所等有关科学家评价和更新评价了质量数 $A = 51 \sim 56, 61, 170, 172$ 和 $195 \sim 198$ 等链的核结构数据.今后,将积极参与高自旋数据方面的评价和建库等有关工作,为世界高自旋核结构物理工作作出自己的贡献.

参 考 文 献

- 1 第 11 届核结构和衰变数据评价国际协作网顾问组会议总结报告. INDC (NDS) -307 (1994)
- 2 Firestone R B, et al. Private Communication. Table of Superdeformed Nuclear Bands and Fission Isomers (1994)
- 3 Firestone R B, et al. Private Communication. Table of Isotopes (8th edition) (1995)

Development Status and Prospect of High-spin Nuclear Structure Data

Zhou Chumei Huang Xiaolong

(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

Abstract The characteristic, development status and prospect of high-spin nuclear structure data, and activities of Chinese high-spin nuclear data are briefly presented in the paper.

Key Words high-spin nuclear structure data superdeformed bands

(上接第 52 页)

will certainly become an important mainstay of the electrical industry in China and the world. The tendency of developing nuclear power in the world and the current situation and prospect of developing nuclear power in China are comprehensively analysed. And basing on these analyses, some proposals about the strategic decision to speed up developing nuclear power in China are put forward, that is, how to make full use of the favourable situation of domestic and foreign markets of nuclear power at present, further elaborate the comprehensive superiority in design and manufacture of nuclear power, enhance the international cooperation and increase the ability to design on China's own and to manufacture components and equipment domestically.

Key Words type of reactor unit capacity load factor prospect design on one's own home-making of equipment