

# 核结构数据库(NSDB)\*

苏宗涤<sup>1,1)</sup> 周建明<sup>1</sup> 王斌<sup>1</sup> 冯仁发<sup>1</sup> 王书暖<sup>1</sup> 史淑梅<sup>1</sup> 戴能雄<sup>2</sup>  
王豫生<sup>2</sup> 朱耀银<sup>3</sup> 李支文<sup>3</sup> 李明非<sup>4</sup> 刘建峰<sup>5</sup> 黄忠甫<sup>6</sup> 张本爱<sup>7</sup>

1 (中国原子能科学研究院 北京 102413)

2 (韶关学院 韶关 512003)

3 (吉林大学物理系 长春 130023)

4 (东北师范大学物理系 长春 130024)

5 (郑州大学物理系 郑州 450004)

6 (广西大学物理系 南宁 530004)

7 (北京应用物理与计算数学研究所 北京 100088)

**摘要** 基于最新的实验评价和模型计算的核结构数据, 组建了一个更新的核结构数据库(NSDB), 目前, 该数据库包括稳定同位素的丰度和原子质量, 原子核基态和分离激发态的性质, 及原子核的变形、半径及其它性质等三部分的数据.

**关键词** 原子质量 分离能级 变形 核结构数据库

## 1 引言

为满足核物理基础研究及核技术应用的需要, 基于最新的实验评价和模型计算的相关数据, 组建了更新的核结构数据库(NSDB). 目前该库由稳定同位素的丰度和原子质量, 核的基态和分离激发态的性质, 核的变形、半径等三部分数据组成. 它们是表征原子核基本属性的重要数据, 也是广泛应用的数据. 下面几节将分别叙述.

## 2 同位素丰度和原子质量数据

NSDB推荐2000年评价的<sup>1</sup>H—<sup>238</sup>U共计288个稳定同位素的天然丰度值<sup>[1]</sup>, 并依据NNDC/BNL (National Nuclear Data Center/Brookhaven National Laboratory)的修订数据做了更新和对1990年, 2000年及BNL更新的稳定同位素丰度值进行了比对.

NSDB包括来自实验评价和模型计算的质量过剩 $ME$ 、原子质量 $M$ 、比结合能 $B/A$ 、 $\beta$ 衰变的 $Q$ 值等质量数据. 其中有法国原子质量中(AMDC)在1993年, 1995年和2003年<sup>[2]</sup>推荐的实验评价质量数

据; 而模型计算的质量推荐Moller等人<sup>[3]</sup>的有限小液滴(finite-range droplet)宏观模型和折叠Yukawa单粒子微观模型(FRDM)计算的质量, 和Goriely等人<sup>[4,5]</sup>用Hartree-Fock-Bogoliubov (HFB)方法计算的质量. 这2组数据仅有 $ME$ , 但包括了变形参数, 微观能量<sup>[3]</sup>和半径参数<sup>[4,5]</sup>等.

(1)AMDC-2003, Moller和Goriely 3组数据包括的核素数及分布分别为: 3179( $n \sim Z = 118, A = 293$ ), 8979( $^{16}\text{O} \sim Z = 136, A = 339$ )和9203( $^{16}\text{O} \sim Z = 120, A = 410$ ). AMDC的质量数据大部分来自实验测量, 评价后推荐的, 部分核素推荐的系统学值, 核素分布在 $\beta$ 稳定线的附近. 后2组质量应用不同模型计算得到, 核素分布向中子和质子滴线和更高 $Z$ 值的元素延伸, 但缺 $Z, N < 8$ 的轻核素的质量. Moller和Goriely 2组质量重叠的核素有8080个. Moller的数据延伸至超重核. Goriely的数据, 随着 $Z$ 的增加向更少中子的缺中子和更多中子的丰中子同位素区延伸. 应用不同的模型导致计算结果的差异, 以致中子和质子滴线(即核素区域)的不同.

(2)Moller和Goriely的数据曾分别与1993年和

\* 国家自然科学基金(19445005), 中国工程物理研究院基金项目(97021)和CODATA中国委员会项目和国际原子能机构研究项目(7431/RB)资助

1) E-mail: zdsu@iris.ciae.ac.cn

1995年的AMDC数据做了比较<sup>[3-5]</sup>. 我们对这几组数据都做了比对, 结果收入“比较”文件. 这里以ME值为例, 列出AMDC-2003和AMDC-1995, Moller, Goriely, 以及Moller和Goriely的相应最大绝对偏差的相对偏差分别是12%(<sup>5</sup>H), 8%(<sup>86</sup>Tc), 6%(<sup>48</sup>Ca)和4%(<sup>325</sup>Cf), 括号中为相应的核素.

(3)按照统一的数据格式编纂AMDC-1995, AMDC-2003, Moller和Goriely的质量数据文件, 它们的说明文件及“比较”文件.

### 3 基态和分离激发态的性质

“原子核基态和分离激发态性质”主要来自国际协作编纂的评价核结构数据库ENSDF(Evaluated Nuclear Structure Data File). 为满足应用的需要, 从ENSDF中抽取部分数据, 按照本数据库的格式要求, 组建了《核分离能级及 $\gamma$ 衰变(DLS)》和《原子核基态和同核异能态性质库(G-ISP)》.

DLS库包括实验测量之分离能级的能量, 自旋 $J$ , 宇称 $\pi$ , 半衰期 $T_{1/2}$ 及其 $\gamma$ 衰变的能量, 相对强度分支比和多极性, 并指出了 $\gamma$ 衰变的末态能级序号.

G-ISP库包括原子核基态和同核异能态的质量过剩, 激发能,  $J, \pi, T_{1/2}$ , 衰变模式及其强度等. G-ISP的数据主要取自NUBASE(Database of Nuclear and Decay Properties)<sup>[6]</sup>. NUBASE-2003与原版(1997年)比较, 除数据更新和增加核素外, 还将同核异能态的判定条件由半衰期 $T_{1/2}^{(1)} > 1 \text{ ms}$ 变更为 $T_{1/2}^{(1)} > 100 \text{ ns}$ , 并收集了多于2个以上的同核异能态. 目前, 更新的G-ISP包括实验上已知3179个核素的基态和977个核素的一个或多个同核异能态的数据.

### 4 变形、半径及其它性质的数据

原子核的变形有“ $\varepsilon$ 参数”(Nilsson perturbed spheroid parameterization)和“ $\beta$ 参数”(a spherical harmonic expansion)两类核形状参数化的表述. 在 $\varepsilon$ 参数化的表述中, 应用拉伸坐标, 核半径 $R$ 可用一组 $\varepsilon$ 变形参数及Legendre多项式表示. 在 $\beta$ 参数化的表述中, 对于核形状为轴对称的情况, 核半径 $R$ 可用球谐函数的展开表示, 展开系数 $\beta_l (l = 2, 3, 4, \dots)$ 称为 $\beta$ 变形参数.

本数据库包括Raman<sup>[7]</sup>的实验变形参数和Moller<sup>[3]</sup>及Goriely<sup>[4,5]</sup>模型计算的变形参数. Raman利用实验电四极约化跃迁几率 $B(E2)$ 值及与变形参

数 $\beta_2$ 的关系式<sup>[7]</sup>:

$$\beta_2 = (4\pi/3ZR_0^2)[B(E2)/e^2]^2, R_0 = 1.2A^{1/3}, \quad (1)$$

给出了近 $\beta$ 稳定线328个核素的实验变形参数 $\beta_2$ . Moller<sup>[3]</sup>的模型计算同时给出了 $\varepsilon_-$ 和 $\beta_-$ 两类变形参数, 而Goriely的计算给出了 $\beta_2$ 和 $\beta_4$ . 它们的核素分布较Raman参数有了很大的扩展.

NSDB编纂了Goriely模型计算给出了中子和质子密度的分布, 半径和弥散宽度<sup>[4]</sup>. 此外还收集了Nadjakov等人<sup>[8]</sup>推荐的<sup>20</sup>Na—<sup>243</sup>Am共计523个核素的电荷半径实验系统学数据, 其中包括了一些同核异能态的电荷半径数据. 文献[8]依据电子散射和 $\mu$ 原子光谱测量了核半径, 及利用高分辨和高灵敏激光技术测量同位素移动引起的半径改变. 对上述两类实验数据进行综合分析得到核电荷半径系统学数据. 该数据不仅较单个测量有更高的精度, 而且能够预言偏离稳定线的同位素和同核异能态的电荷半径.

本数据库还包括Moller等人<sup>[3]</sup>用FRDM计算的原子核基态微观能量 $E_{\text{Mic}}$ :

$$E_{\text{Mic}} = ME - E_{\text{Mac}}(Z, N, \text{sphere}), \quad (2)$$

其中 $E_{\text{Mac}}(Z, N, \text{sphere})$ 是球形核的宏观能量,  $ME$ 是计算的原子质量过剩. 显然, 这里的 $E_{\text{Mic}}$ 给出的是壳、对修正及变形能. 还需指出, 文献[3]同时给出FRDM和有限液滴(finite-range liquid-drop)模型(FRLDM)的结果. 在计算与变形有关的 $E_{\text{Mac}}$ 时, FRDM较FRLDM包括了更多的物理效应, 结果更精确, 所以本数据库推荐FRDM的数据.

### 5 结论

以最新的AMDC及ENSDF的实验评价数据和最新模型计算的相应数据为基础, 组建了包括稳定同位素丰度和原子质量, 核的基态和分离激发态性质, 及核的变形、半径等三部分数据组成的更新的NSDB. 建立每部分的数据文件, 说明文件和实验评价数据与模型计算数据进行分析的“比较”文件. 包含最新实验评价和源自不同方法又可相互补充的模型计算数据, 覆盖更广核区以满足多方面研究的需要是NSDB的基本特点.

NSDB包括了原子核的重要基础数据, 它们与当今核物理, 相关学科的前沿领域的研究, 及核技术应用又都密切相关. 例如远离 $\beta$ 稳定线原子核, 超重核, 超变形核等的研究, 放射医学中的诊断和治疗, 许多应用中对同核异能态数据的关注等都涉及NSDB的数据.

鉴于其重要性, 我们计划建立为更多研究领域服务的专用核结构数据库, 扩展它们的可应用性.

NSDB是正在组建的为核物理基础研究和核技术应用服务的数据资源共享平台——原子核的基础数据库的一部分.

感谢Prof.G.Audi, IAEA和NNDC/BNL提供我们最新的相关数据.马丽珍,孙正军,张丽敏和龚惠莉同志分别参加过原子质量和DLS数据文件第一版(1995年)和第二版(1997年)的工作.

## 参考文献(References)

- 1 Holden N E. Table of Isotopes(2000), In: Tuli J.K, NU-CLEAR WALLET CARDS, January 2000, Brookhaven National Laboratory
- 2 Wapstra A H, Audi G, Thibault C. Nucl. Phys., 2003, **A729**:129—336
- 3 Möller P, Nix J R, Myers W D et al. Atomic Data Nucl. Data Tables, 1995, **59**:85
- 4 Goriely S, Samyn M, Heenen P H et al. Phys. Rev., 2002, **C66**:024326
- 5 Samyn M, Goriely S, Heenen P H et al. Nucl. Phys., 2002, **A700**:142
- 6 Audi G, Bersillon O, Blachot J et al. Nucl. Phys., 2003, **A729**:3—128
- 7 Raman S, Nestor C W, Tikkanen P et al. At. Data Nucl. Data Tables, 2001, **78**:1; Raman S, Malarkey C H, Milner W et al. At. Data Nucl. Data Tables, 1987, **36**:1
- 8 Nadjakov E G, Marinova K P. At. Data Nucl. Data Tables, 1994, **56**:133—157

## Nuclear Structure Database(NSDB) \*

SU Zong-Di<sup>1,2;1)</sup> ZHOU Jian-Ming<sup>1</sup> WANG Bin<sup>1</sup> FENG Ren-Fa<sup>1</sup> WANG Shu-Nuan<sup>1</sup>  
 SHI Shu-Mei<sup>1</sup> DAI Neng-Xiong<sup>2</sup> WANG Yu-Sheng<sup>2</sup> ZHU Yao-Yin<sup>3</sup> LI Zhi-Wen<sup>3</sup>  
 LI Ming-Fe<sup>4</sup> LIU Jian-Feng<sup>5</sup> HUANG Zhong-Fu<sup>6</sup> ZHANG Ben-Ai<sup>7</sup>

1 (China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China)

2 (Department of Physics, Shaoguan University, Shaoguan 512003, China)

3 (Department of Physics, Jilin University, Changchun 130023, China)

4 (Department of Physics, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

5 (Department of Physics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450004, China)

6 (Department of Physics, Guangxi University, Nanning 530004, China)

7 (Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, China)

**Abstract** An updated nuclear structure database was compiled and recommended by using recent evaluated experimental data and model calculated data. This database consists of the following three parts: the stable isotope abundances and atomic masses, the properties of the nuclear ground state and separated levels, the deformations, radii and other properties.

**Key words** atomic masses, separated levels, deformations, nuclear structure database

\* Supported by National Natural Science Foundation of China (19445005), Foundation of China Academy of Engineering Physics(97021), Chinese National Committee for CODATA and Research Item of the IAEA(7431/RB)

1) E-mail: zdsu@iris.ciae.ac.cn