

原子核的基本常数及模型参数库

苏宗涤 周春梅 马丽珍 葛智刚

(中国原子能科学研究院, 中国核数据中心 北京 102413)

摘要 参数库收集和评价了核的基本常数及模型参数. 它对核理论模型计算是很重要的. 中国评价核参数库包括了库数据文件及库程序系统两部分. 本文介绍它的内容及其建库进展.

关键词 参数库, 核模型参数, 库程序系统.

1 引言

继建立了与核能应用有关的核数据库及程序库之后, 国内外又开始了核的基本常数及模型参数库(简称参数库)的研制. 它将编纂和评价几十年来核物理研究中获得的基本参数, 并提供计算机服务. 核数据工作发展至今, 迫切需要建立参数库, 目的是为理论计算提供高精度和可靠的参数. 无疑, 它对核物理基础研究和核能及核技术应用研究也是很重要的. 因此, 1990年秋, 我们就制定了建立中国评价参数库(CENPL)的计划. 同时, 国际原子能机构(IAEA)核数据科也决定近几年将建立一个为核数据计算用的推荐性核参数库(RNPL). 为此, 1991年11月13~15日在维也纳就其计划、库规模和内容等问题举行了专家咨询会; 1992年2~3月在意大利Trieste举行的核数据计算和分析专题研讨会期间, IAEA核数据科又邀请与会部分专家, 就参数库的国际合作及建立光学势参数库等问题作了进一步商讨. 我们应邀参加了这两个会, 并介绍了CENPL计划. 这与IAEA核数据科的RNPL计划几乎相同, 因此, 我们积极地参与这一项目的国际合作. 近几年也有其它国家核数据中心建参数库计划的报导.

本文将介绍建CENPL的设想、规模、内容和进展等.

2 CENPL的结构及库程序系统

为了使用方便, CENPL实际上包含两部

分: 1. 主体——库数据文件; 2. 库的计算机管理及检索程序系统(简称库程序系统). 在库数据文件中, 将收集和评价核的基本常数及各种通用的核模型参数, 并按照拟定的计算机格式编纂, 具体内容见下节. 库程序系统可以提供各种参数的有关信息, 如有必要, 还可对不同作者的参数进行比较, 包括不同参数的计算结果和有关实验值的比较, 帮助选择和检索所需要的参数.

库程序系统有两类检索功能: 一是单核检索, 即提供单个核(Z, A)的有关参数; 二是考虑到将CENPL应用于实际的核反应理论计算. 例如, 为中子核反应数据计算的理论模型程序(简称为计算程序)提供所需的输入数据. 库程序系统将按照使用者提供的靶核信息(Z, A)和计算程序要求的输入信息, 同时检索中子核反应中所有可能开道相应的剩余核的有关参数. 我们称这种检索为中子反应检索. 由于目前计算程序的输入数据文件均是非标准化的, 因此库程序系统将把所有检索出来的数据, 按照一定格式存贮于库输出文件中, 然后通过格式转换程序, 转换为计算程序的输入数据文件格式.

3 CENPL的数据文件

目前, CENPL包括六个子库, 共七个文件. 它们分别是:

3.1 原子质量和核的基态特征

原子质量和核的基态特征是核物理中最基本的数据. 在基础研究、理论计算和许多应

用中, 这些数据是必须的. 近年来, 远离稳定线的奇特核质量, 在天体物理中也是非常重要的. 建这一子库时, 考虑到了上述需要.

这个子库包括如下内容:

- a. 原子质量亏损及原子质量;
- b. 核的基态自旋及宇称;
- c. 核的总结合能;
- d. 核的丰度及半衰期.

当使用该文件时, 对单核检索而言, 库程序系统不仅能检索出上述项目的数据, 还可提供被检索核的中子、质子、D、t、 ^3He 及 α 等的分离能; 而对中子反应检索来说, 除提供靶核的基本信息及各个反应道相应剩余核的原子质量外, 还可得到有关各个反应道的 Q 值及阈能值.

3.2 原子核的分立能级

在使用计算程序时, 输入量最大的是相应于各个反应道的剩余核的评价分立能级数据. 它包括各条能级的能量、自旋、宇称、 γ 衰变分支比及形变参数等. 这个子库的评价数据来自评价核结构数据库 (ENSDF). 该库数据由 IAEA 组织的国际核结构数据评价协作网进行评价. 而 CNDC 是其成员之一. 值得注意的是, 在各个分立能级截面的实际计算中, 需要它的全部信息, 而 ENSDF 仅包括已有的实验数据, 很多能级特性信息是未知的, 而 γ 衰变分支比数据的缺乏情况更为严重. 即使已确定的能级大概也仅有 1/3 的能级含有 γ 分支比的全部信息数据. 分立能级数据对截面和 γ 产生数据的计算是很重要的, 因此, 实际应用中往往要增补这些数据.

3.3 能级密度参数

五十多年来, 人们一直关心和研究核激发能级的统计性质, 而最重要的统计性质就是能级密度. 通常, 采用费米气体模型, 并通过拟合某些实验数据得到核能级密度参数. 对任何一个核反应统计理论的实际计算, 能级密度参数都是很重要的. 虽然能级密度的研究可以追溯到 1936 年费米气体模型刚被提出的时候, 但直到今天, 仍不能满足需要.

这个子库包括如下两个文件:

文件 A, 与能级密度有关的实验数据.

与模型无关的最重要的实验数据是中子结合能处 S 波平均能级间距 D_0 和低激发能级累积数 N_0 , 这个文件的 D_0 及 N_0 值采用了广西大学和 CNDC 用程序 AVRPE^[1] 及直方图方法分别评价过的值. 这些数据为能级密度的进一步研究提供了基础, 并有助于使用者选择精度较高的能级密度参数.

文件 B, 能级密度参数.

该文件包括三类能级密度公式: 长期广泛应用的、由 Gilbert 和 Cameron 提出的组合型能级密度公式^[2] (G-C 公式); 后移费米气体公式^[3] (B-S 公式); 近年来许多作者推荐的 Ignatyuk 公式^[4]. 众所周知, 目前只有 Ignatyuk 公式的能级密度参数 α 是依赖于激发能的, 并考虑了集体效应.

对 G-C 公式, 本文件有 G-C 参数^[2], Cook 等人的参数^[5] 及我们的参数^[6] 等; 而 B-S 公式可供选择的参数也有三种, 即 Dilg 等人的刚体及半刚体的参数^[3] 和我们的参数^[7]. 其中 CNDC 的两组参数^[6-7], 被广泛应用于中国评价中子数据的计算, 并参加了 IAEA 最近组织的模型程序的“瞎子”比对 (即完全没有实验数据情况下程序计算结果的比对), 其结果是满意的.

库程序系统, 除了检索单核及中子反应情况下所有开道相应剩余核的能级密度参数外, 还可用库中的不同参数计算 D_0 及 N_0 值, 并和文件 A 中的实验值进行比较, 为使用者提供选取能级密度参数的依据.

3.4 γ 射线强度函数的巨共振参数

在计算出射 γ 道的分宽度时, 须知道 E1、E2 和 M1 强度函数的参数, 而目前存有的较多实验数据, 仅来自 Dietrich 和 Berman^[8] 编纂的 102 个核素的巨偶极共振参数. 因此, 建该子库应主要进行有关参数的系统学研究, 并推荐出系统学的结果.

在建库时, 我们已注意到这一领域的最新进展, 即 γ 射线的吸收是和激发能有关, 在

Lorentzian 曲线中,可用与引入能量有关的半宽度表示.

3.5 光学势参数

光学势参数(OPP)是核反应理论中最基本和最重要的模型参数.它能直接给出光学模型截面;在 DWBA 计算中,要用 OPP 计算扭曲波波函数;而在核反应统计理论的计算中,它提供粒子发射的穿透系数.

1976 年,由 Perey^[9] 编纂的数据量很大的 OPP 参数表是很有意义和有用的.近年来,很多人都建议由 IAEA 负责组织编纂新的 OPP 数据,1992 年 2 月 IAEA 已着手组织该项目的国际合作.但应指出,建 OPP 库是比较困难的:一方面,人们已积累了大量的 OPP 数据,并淹没在各种文献海洋中;另一方面,有多种多样的 OPP 参数表示形式,例如,不同的入射粒子、定域的或非定域的、球形的或变形的、普适的或区域的或单核的、不同的几何形状以及采用不同的能量依赖…….这样,使建库变得非常复杂.为此人们正在探索一条较好的途径.

我们计划,首先建中子、质子和 α 粒子的 OPP 库.重点是普适的、区域的,以及目前国际上 ENDF/B-6(美国)、JENDL-3(日本)、JEF-2(西欧)、BROND-2(原苏联)和中国的 CENDL-2 等五个评价中子数据库中,计算全套中子数据时采用的单核的 OPP 数据.前两类参数具有一定的普适性,而最后一类参数具有实用性.它比较新,可称得上“精雕细琢”得到的最优 OPP.

我们也将进行 OPP 的系统学研究,以及将这一领域的最新成果(例如色散光学模型)结合到 OPP 的研究中去,期望做些有特色的 OPP.

3.6 裂变位垒参数

裂变位垒和相应的鞍点态密度,是裂变核的重要参数.在裂变核的统计理论计算中,对上述参数的精度要求是很高的.而目前从实验数据定出或理论计算得到的位垒参数,都不能满足实际计算的要求.即使这样,建这

个子库还是有意义的.该子库收集了 Lynn^[10] 及 Back 等人^[11]的裂变位垒参数.

4 建库计划和今后工作

CENPL 的计划在 CNDC 和它的协作网中已开始实施.这个计划大致分为三个阶段:1. 建数据文件.尽可能利用目前国际上现有的数据磁带(例如 ENSDF 等),将其进行数据格式变换,并适当地增、删或合并等处理,以便得到我们的数据文件.2. 建各个子库的库程序系统,完成的每个子库能及时投入使用,并在使用中不断完善其功能.3. 将各个子库装配成 CENPL.完成 CENPL,大约需要 4 年.

我们认为,参数库的基础在于有高精度的和外推可靠的参数.但目前的参数状况不能令人满意.例如,在核数据计算中,由于选取参数的不同,计算结果有 30%、50% 甚至几倍的差异是不乏其例的.参数外推的可靠性,在很多情况下是有问题的,而目前对没有实验数据的理论计算结果的可信程度,在很大程度上依赖于参数的可靠性.因此,我们在建 CENPL 的同时,也将增进核模型参数的系统学和基础研究.目前,我们已有了核能级密度(广西大学及 CNDC)、 γ 射线巨共振参数(郑州大学及 CNDC)和光学势参数(南开大学、四川大学、陕西师大、吉林大学、武汉大学及 CNDC)等三个课题组.预期,在今后不太长的时间内,可以推荐出更好的模型参数,以适应建库的需要.开展模型参数的研究,将从更深层次加深对这些问题的理解.

CENPL 是核物理学的一项基础建设,并将在许多学科及研究领域广中使用.因此,我们希望得到国内各方面的关心和支持,并对建库计划提出建议.

参 考 文 献

- 1 Huang Zhongfu. At. Energy Sci. Tech., 1988, 22: 321
- 2 Gilbert A, et al. Can. J. Phys., 1965, 43: 1446

- | | |
|--|---|
| 3 Dilg W, et al. Nucl. Phys., 1972, A217: 229 | 8 Dietrich S S, et al. At. Nucl. Data Tables 1988, 38: 199 |
| 4 /Proceedings of the Conference on Nuclear Data for Science and Technology, Jaery, Mito 1988, 187 | 9 Perey C M, et al. At. Nucl. Data Tables, 1976, 17: 2 |
| 5 Cook J L, et al. Aust. J. Phys., 1967, 20: 427 | 10 Lynn J E. AERE-7468, 1974 |
| 6 Su Zongdi, et al. INDC(CPR)-2, 1985 | 11 Back B B, et al. Phys. Rev., 1974, 9: 1924, 1974, 10: 1948 |
| 7 Huang Zhongfu, et al. Chin. J. Nucl. Phys., 1991, 13: 147 | |

Library of Nuclear Characteristic Constants and Parameters for Nuclear Model

Su Zongdi Zhou Chunmei Ma Lizhen Ge Zhigang

(Institute of Atomic Energy of China, Chinese Nuclear Data Center, Beijing 102413)

Abstract The library collected and evaluated the characteristic nuclear constants and the parameters for nuclear model, which is very important for nuclear theoretical calculation. China evaluation nuclear parameter library (CENPL) consists of two parts, the data files and the library program system. The paper introduces the contents of the library and the process of its setting up.

Key Words parameter library, nuclear model parameter, library program system.

(上接 69 页)

边和多边合作与成果共享,是核数据评价的必然发展趋势.这也是提高、扩大中国核数据工作的国际地位和影响的良机.我们应该在建设为国内用户服务的各种评价数据库这一

明确的目标下,组织协调好中国核数据协作网的力量,精益求精地提高我国核数据工作的水平.另一方面,要注意扩大核数据的应用领域,加强与国外同行及 IAEA 核数据科的各种形式的合作.

Current Status and Trends of Nuclear Data Evaluation

Zhao Zhixiang Zhuang Youxiang

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

Abstract The International Symposium on Nuclear Data Evaluation Methodology is introduced, which was held in Brookhaven laboratory, USA in October, 1992.

Key Words nuclear data, evaluation methodology.