

## 低能核反应理论的研究与应用

陈振鹏

(清华大学物理系 北京 100084)

**摘要** 介绍有关低能核反应理论的研究与应用工作。

**关键词** 核反应 R矩阵 光学模型 相移分析

**分类号** O571

### 1 引言

R矩阵、光学模型和相移分析是低能核反应理论领域的三个基本理论,多年来,我们在有关基础实验、理论分析和实际应用诸方面开展了一些研究工作。虽然低能核反应的基础研究高潮已过,但是随着核能和核技术的实际应用更广泛地开展,比如,中子与带电粒子治癌、新型裂变反应堆和聚变反应堆的设计等,主要涉及低能核反应区域,因此研究与应用这些基本理论仍具有重要意义。

### 2 R矩阵理论的研究与应用

R矩阵(R-M)理论主要适用于轻核、低能和有明显共振结构的核反应(当然广义的R矩阵理论不受这些限制),它可以用来分析能级参数和同时计算归一化的各类反应截面。通过国内合作,我们研制了综合R矩阵分析程序RAC92,它具有高度调参自动化和拟合巨量实验数据的功能。用该程序分析了 $n+Li^6$ <sup>[1]</sup>、 $n+B^{10}$ 和 $n+B^{11}$ 等轻核系统,为中国核数据库提供了评价( $n, \alpha$ )反应截面和中子全截面;有关 $n+O^{16}$ 系统<sup>[2]</sup>的分析为美国核数据库ENDF/B-6和中国核数据库CIND-2提供了中子能量0.001~6.2 MeV的系统的评价值。文献[3]又用约化R矩阵理论将 $n+O^{16}$ 系统的分析能区向上扩展到10 MeV,改进了原来用光学模型评价的结果,首次确定了新分析能区几个能级的参数。用R矩阵理论精确分析(d, t)反应将有很大的应用价值。

### 3 相移分析的研究与应用

相移分析(PSA)主要用于分析弹性散射数据,获取能级参数和计算弹性散射截面及反应截面,不受能区和反应系统质量数的限制。通过国际合作我们研制了功能齐全和高度调参自动化的相移分析程序PHA88;先用该程序分析了中子能量7~26 MeV区域有关 $n+^{12}C$ 的全部实验数据<sup>[4]</sup>,后又扩展到3~34 MeV,获得了相应能区37个能级的参数和十分精确的有关 $n+^{12}C$ 的反应截面评价值;分析了中子能量3~45 MeV区域有关 $n+^{208}Pb$ 和 $n+^{209}Bi$ 的全部实验数据,首次发现在双幻核 $^{208}Pb$ 中存在着类共振结构<sup>[5]</sup>,找到了它的平均场近似不如临近非双幻核的平均场近似那样好的原因。

### 4 球形核光学模型的研究与应用

球形核光学模型(SOM)具有计算简便的显著优点。我们改进有关程序得到了新的程序GANE88,它具有高度调参自动化和拟合巨量实验数据的功能。该程序除用于分析球形核以外,还用于提供相移分析参数的初值、其它类型光学模型计算所用参数的初值和直接相互作用计算所用参数的初值。

### 5 耦合道光学模型的研究与应用

耦合道光学模型(CCOM)主要应用于分析变形核中能级关联强度很强的核反应,像集体转动或振动。我们先后引进和开发了国际上通用的相关程序ECIS79和ECIS88,计算了Hg、Tl<sup>[6]</sup>和Ni的全部同位素共11个核素的中子直接非弹散射截面。特别是同时采用转动模型和转振模型计算了 $^{238}U$ 前9个能

级的中子直接非弹散射截面<sup>[7]</sup>, 这在国际上尚属首次. 用上述程序分析了我们测量得到的 Fe、Ni、和 Cr 在小角区的中子弹性能散射的实验数据<sup>[8]</sup>. 此外, 对 Cu、W、和 Pb 的分析工作正在进行.

## 6 色散光学模型的研究与应用

色散光学模型分析(DOMA)是研究核平均场的有力工具. 它的显著特点是将负能区的光学模型位与正能区的光学模型位通过色散关系联系在一起, 从而更准确地确定核平均场的特性. 它可以用于研究束缚态的特性, 也可以用来计算核反应截面, 特别是在低能部分, 可对采用普通光学模型参数的计算结果起到显著的改进作用. 例如, 用普通光学模型分析  $n + {}^{40}\text{Ca}$  和  $p + {}^{40}\text{Ca}$ <sup>[9]</sup> 所得到的

(n,n)和(p,p)积分截面计算值和实验值在 3 MeV 左右的峰值误差可达 20%, 而用色散光学模型分析<sup>[9]</sup>所得到的误差在 5% 以内. 我们通过引进和开发拥有了全套分析程序.

## 7 扭曲波波恩近似的研究与应用

扭曲波波恩近似(DWBA)主要应用于分析能级关联强度很弱的核反应, 比如, 分析单粒子激发态的直接非弹散射截面. 为了给出可信性高的计算值, 首先要确定可信的能级参数和形变参数, 适当的宏观和微观光学势以及可供参考拟合的实验数据等. 我们用国际上通用的相关程序 DWUCK 计算了 Cu、W、和 Pb 的同位素中非集体运动能级的中子直接非弹散射截面.

## 参 考 文 献

- 1 陈振鹏, 齐萍荃. 用约化 R 矩阵理论计算  ${}^6\text{Li}(n,t)\alpha$  反应截面. 原子能科学技术, 1984, 18(2), 139~144
- 2 陈振鹏.  ${}^{17}\text{O}$  系统的 R 矩阵分析. 原子能科学技术, 1992, 26(4), 8~14
- 3 陈振鹏.  ${}^{17}\text{O}$  系统的约化 R 矩阵分析. 原子能科学技术, 1995, 29(4), 366~371
- 4 Chen Z P, Tornow W. Phase-shift Analysis of  ${}^{12}\text{C}(n,n)$   ${}^{12}\text{C}$  between 7 and 26 MeV Duke University, TUNL, 1988~1989, 74~75
- 5 Chen Z P, Tornow W, Walter R L. Phase-shift Analysis of Neutron- ${}^{208}\text{Pb}$  Scattering and Mean Field Studies. Phys Rev, 1992, C46(3), 1 019~1 024
- 6 陈振鹏. 中子直接非弹散射截面的耦合道计算. 原子能科学技术, 1995, 29(4), 372~375
- 7 Chen Z P, Ren J, Zhu Q Y. Calculation of the Neutron Direct Inelastic Scattering Cross Section of  ${}^{238}\text{U}$ . Tsinghua Science and Technology, 1997, 12(4), 765~769
- 8 Qi H Q, Chen H G, Chen Z P *et al.* Small Angle Scattering Cross Sections of 14.8 MeV Neutron for Iron, Nickel and Chromium. Nuclear Science and Engineering, 1992, 111(3), 309~313
- 9 Tornow W, Chen Z P, Delaroche J P. Proton Mean Field in  ${}^{40}\text{Ca}$  between -60 MeV and +200 MeV Deduced from a Dispersive Optical-model Analysis. Phys Rev, 1990, C42, 693

# Research and Application of Low Energy Nuclear Reaction Theories

Chen Zhenpeng

(Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** The work for research and application of low energy nuclear reaction theories is introduced.

**Key words** nuclear reaction R matrix optical model phase-shift analyses

**Classifying number** O571