贵州省(2021年度)自然科学奖公示

**项目名称：** 原子核对称性及重离子核反应中对称能观测量的重要影响因素

**推荐专家/单位及推荐等级：**贵州师范大学 推荐申报贵州省自然科学奖一、二等奖

**项目简介**该项目在原子核对称性及基于重离子核反应探测对称能方面开展研究，研究目标与兰州重离子加速器冷却存储环等国内外大科学装置上开展的相关实验研究具有高度的一致性，属国际前沿理论研究。

项目的第一个方面研究当核子的径向量子数相差1、总的角动量相差1、轨道角动量相差2的两个单粒子态能级简并的物理起源和机制。关于这一问题，最早可追溯到1969年国际著名物理学家有马郎人和Hecht的单粒子能谱实验；但是，直到1997年，人们才初步认识到这一对称性是一种相对论对称性。然而，关于这一对称性的起源、破缺及其物理机制仍不完全清楚，详见文献[Phys. Rep. 570, 1 (2015)]。正是在这一背景下，项目系统研究了原子核单粒子态的赝自旋和自旋对称性。首先，项目从平均场理论得到的Dirac方程出发，利用施图姆-刘维尔理论将Dirac方程转化为一阶非线性Riccati方程，进而利用量子力学的形不变性思想和超对称量子力学方法将Dirac方程转化为代数问题，从而求得了原子核的单粒子能级。其次，项目利用函数分析法研究了核子波函数，并利用量子化条件研究了单粒子态能级，研究结果与上述代数方法一致，间接证明了代数方法的正确性。最后，项目系统分析了核子的赝自旋和自旋对称性并研究了负能态与赝自旋对称性的关系，指出了赝自旋对称性发生破缺的条件。

项目的第二个方面研究了每核子结合能与核物质密度及中子-质子数目差异度的关系，即核物质状态方程的确定问题。核物质是核子组成物质的理想化模型，重核及中子星内部可看成核物质，核物质内中子-质子数目差异对每核子结合能的贡献项即核物质对称能项。关于这一问题，目前的研究热点主要是确定高密核物质对称能；而陆地上能够直接形成高密度核物质的唯一方法便是基于大科学装置开展的重离子碰撞实验，即重离子核反应。然而，重离子碰撞实验并不能直接给出高密核物质对称能。因此，人们发展了各种理论和方法、尤其是直接对重离子碰撞实验的理论模拟；通过与相应实验的不断对比，理论中假设的关于核物质对称能的信息便可以得到鉴别和提取。目前，通过各种理论研究与实验数据的对比，人们关于对称核物质（即核物质内中子-质子数目相同的情况）状态方程的确定达成了基本一致的结论；而对于非对称核物质状态方程尤其是其对称能项的确定，各种理论研究与实验数据的对比仅能使人们获得饱和密度（即核基态密度）处对称能的确切信息。更为严峻的是关于非对称核物质高密度处对称能的预测，不同的理论模型基于现存的实验数据甚至给出截然相反的结果，详见文献[Phys. Rev. Lett. 102, 062502 (2009)]和[Phys. Lett. B 718, 1510 (2013)]。基于这一研究现状，实验方面，日本理化所在过去的几年内开展了专门针对核物质对称能高密行为确定的Sn+Sn碰撞实验；而理论方面，人们探索了影响核物质对称能探测、尤其是基于重离子碰撞探测核物质对称能的各种可能因素。项目的第二个方面正是在这一背景下，基于重离子碰撞的理论模拟，研究重离子反应中对称能实验观测量的几个影响因素。具体的研究内容包括：(1) 研究初始碰撞核的中子皮厚度对核物质对称能观测量，即对π介子产额及π-/π+比率等敏感于高密对称能的实验观测量的影响；(2) 研究如何在重离子反应中既能保持这些观测量关于对称能的敏感性又能消除中子皮厚度对它们的影响，从而使得这些观测量或观测量的组合成为探测对称能的干净观测量；(3) 研究重离子碰撞中电磁场处理的不确定性对核物质对称能敏感观测量的影响。

**代表性论文专著目录：**

1. Pseudospin symmetry in the relativistic Manning–Rosen potential including a Pekeris-type approximation to the pseudo-centrifugal term
2. Algebraic approach to pseudospin symmetry for the Dirac equation with scalar and vector modified Poschl-Teller potentials
3. Approximately analytical solutions of the Manning–Rosen potential with the spin–orbit coupling term and spin symmetry
4. Effects of an induced electric field on the π/π+ ratio in heavy-ion collisions
5. Beam-energy dependence of the relativistic retardation effects of electrical fields on the π/π+ ratio in heavy-ion collisions

**主要完成人：** 卫高峰, 支启军, 隆正文, 曹欣伟, 张运良

**主要完成单位：** 贵州师范大学, 西安文理学院, 贵州大学