

三、项目简介（可公开宣传）

1. 立项背景及目的：

丰中子核反应是研究超重元素及未知核素合成、同位旋相关的核相互作用、核物质状态方程及对称能等科学问题的重要途径。相关研究中，对于核反应动力学特征、核结构效应、初始条件对反应过程的影响以及复杂反应机制的解读，均高度依赖于输运理论模型的可靠性。随着新的、高精度重离子碰撞实验进展，更精确诠释已有和新观测的实验观测量对于输运模型提出更高的要求。项目以此为背景，发展微观输运理论模型深入研究上述两个基本科学问题。

2. 关键技术、创新点及主要技术指标：

（1）中低能区输运模型的优化和发展。

关键技术与创新点：在量子分子动力学模型中采用完整的、动量相关的 Skyrme 能量密度泛函，统一了核结构与核反应研究采用的有效相互作用。

主要技术指标：实现了 Skyrme 型动量依赖相互作用参数以及核物质参数的独立输入，改善了模型对于初态原子核性质的描写。

（2）核子有效质量以及状态方程的约束。

关键技术与创新点：实现重离子碰撞探索质子-中子有效质量劈裂，首次量化分析了观测量对五种核物质参数的敏感度。

主要技术指标：显著提升模型在 Δ 产生阈值附近的 π 介子产额描写能力，定量描述并解释了 π 介子及核子能谱等观测量。通过与重离子碰撞实验数据、原子核中子皮数据以及中子星数据比较，确定了 0.3-2 倍饱和密度范围内状态方程以及质子-中子有效质量劈裂的范围。

（3）超重元素与未知核素合成机制。

关键技术与创新点：从量子分子动力学角度发现了熔合反应中动力学位垒低于静态位垒，并在理论上第一次指出多核子转移反应中存在大碎块转移的新机制。

主要技术指标：成功再现了实验熔合截面，预测并解释了锕系核参与的核反应丰中子产物角分布与动能分布的双峰特征。

3. 应用推广情况：

项目发展的程序被国内外多个主要实验研究团队使用，如美国 MSU/FRIB 实验组、意大利南方国家核物理实验室、法国 GANIL 实验室以及韩国合作团队、清华大学核反应实验组、复旦大学马余刚院士团队、中国科学院近代物理研究所多核子转移反应实验团队以及德国 GSI 的 ASY-EOS 实验组等。

项目研究期间，项目成员发表 SCI 学术论文 160 余篇。其中绝大多数文章发表在了 Progress in Particle and Nuclear Physics、Physics Letter B、Physical Review C、Science China Physics, Mechanics & Astronomy、Nuclear Science and Techniques 等国际国内顶级学术期刊上。论文被引用总次数 4400 余次，他引总次数 3500 余次。

六、代表作发表情况（限5篇）

检索机构：宁波大学图书馆					检索数据库：Web of Science 核心合集			
序号	代表作名称	刊名/出版社	发表时间 (年月日)	通讯 作者	第一 作者	全部作者	年卷期页码	他引次数
1	Constraints on nucleon effective mass splitting with heavy ion collisions	Physics Letters B	2014-05-01	张英逊	张英逊	张英逊, M. B. Tsang, 李祝霞, Hang Liu	2014, 732: 186-190	40
2	Determination of the nuclear incompressibility from the rapidity-dependent elliptic flow in heavy-ion collisions at beam energies 0.4 A - 1.0 A GeV	Physics Letters B	2018-03-10	王永佳, 李庆峰	王永佳	王永佳, 郭琛琛, 李庆峰, Arnaud Le Fevre, Yvonne Leifels, Wolfgang Trautmann	2018, 778: 207-212	19
3	Constraints on the symmetry energy and its associated parameters from nuclei to neutron stars	Physical Review C	2020-03-06	张英逊	张英逊	张英逊, 刘敏, 夏铨君, 李祝霞, S. K. Biswal	2020, 101: 034303	36

4	Production mechanism of neutron-rich transuranium nuclei in U 238+ U 238 collisions at near-barrier energies	Physical Review C	2015-08-18	赵凯, 李祝霞	赵凯	赵凯, 李祝霞, 王宁, 张英逊, 李庆峰, 王永佳, 吴锡真	2015, 92: 024613	52
5	Insights into the pion production mechanism and the symmetry energy at high density	Physical Review C	2021-01-29	李庆峰, 张英逊	刘洋阳	刘洋阳, 王永佳, 崔莹, 夏铖君, 李祝霞, 陈永静, 李庆峰, 张英逊	2021, 103: 014616	12
合 计								159

七、代表作被他人引用、应用情况（限 5 篇）

序号	引文名称/引文作者	引文刊名	引文发表时间 (年 月 日)
1	Nucleon effective masses in neutron-rich matter/Bao-An Li , Bao-Jun Cai, Lie-Wen Chen, Jun Xu	Progress in Particle and Nuclear Physics	2018-01-12
2	QCD Equation of State of Dense Nuclear Matter from a Bayesian Analysis of Heavy-Ion Collision Data/Manjunath Omana Kuttan , Jan Steinheimer, Kai Zhou, and Horst Stoecker	Physical Review Letters	2023-11-16
3	Progress in Constraining Nuclear Symmetry Energy Using Neutron Star Observables Since GW170817/Bao-An Li, Bao-Jun Cai, Wen-Jie Xie, Nai-Bo Zhang	Universe	2021-06-04
4	TDHF Theory and Its Extensions for the Multinucleon Transfer Reaction: A Mini Review/Kazuyuki Sekizawa	Frontiers in Physics	2019-03-12
5	Decoding the density dependence of the nuclear symmetry energy/W. G. Lynch, M. B. Tsang	Physics Letters B	2022-04-27