

課題名(タイトル): Experimental study of asymmetric nuclear matter equation of state by using heavy RI collision at RIBF

利用者氏名: ○磯部忠昭(1)、Jung Woo Lee(1)、池野なつ美(1)、西村美月(1)、小野章(1)、Jeonghyeok Park(1)、Curtis Hunt(1)、Taras Lokotko(1)、Yijie Wang(1)、Jesus V. Diaz(1)、Chi Kin Tam(1)

理研における所属研究室名: (1) 仁科加速器科学研究センター RI 物理研究部

1. 本課題の研究の背景、目的、関係する課題との関係
理研仁科加速器科学研究センターでは RIBF-SAMURAI ビームラインに多重粒子飛跡検出器 Time Projection Chamber (TPC) を設置し、RIBF で実現する様な大強度 RI ビームを使った重イオン衝突実験計画(SpiRIT 計画)が進行している。この実験計画は原子核状態方程式 Equation of State(EoS)の対称エネルギー項における高密度成分を研究する国際プロジェクトである。本プロジェクトを進める上で HOKUSAI を用いた重イオン衝突の理論計算と取得データの解析を行う。

EoS の対称エネルギー項は中性子星の物性解明等、宇宙物理学の理解に大きく関与している。

2. 具体的な利用内容、計算方法

重イオン衝突実験における各観測量がどの程度 EoS に感度があるのか調べる為、数ある衝突輸送モデルのうち Anti-symmetrized molecular dynamics (AMD) モデルを使った重イオン衝突計算を行う。重イオン衝突では数々の粒子が生成されるが、特に荷電パイ中間子の測定は EoS の研究の観点から感度が高いと言われている。より現実の衝突に近づけたモデルにおいてパイ中間子の生成がどうなるのか理論計算を通して検証する。

本研究課題を主眼とした実験を 2024 年の春と秋のビームタイムに理研 RIBF にて遂行した。すべての実験データは HOKUSAI のディスクスペースに格納されており、検出器の校正、評価を行う。重イオン衝突における荷電パイ中間子の測定をはじめ、衝突反応面の解析から陽子同位体、軽イオンの測定と各粒子における方位角異方性(フロー)の測定を行う。

3. 結果

粒子の生成方位角異方性データを平均場の運動量依存性を考慮した AMD 計算と比較し、おおむね

上手く再現できていることが確かめられた。

また RIBF で取得した Xe+Sn の重イオン衝突データを解析し、検出器が正しく動いていることが確認できた。

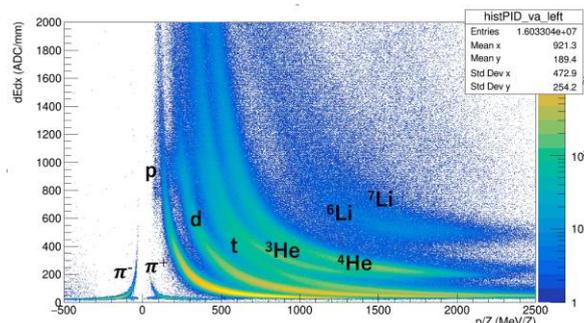


図1: Xe+Sn 衝突により生成された荷電粒子同定図。横軸は運動量を電荷で割ったもの、縦軸は単位長さあたりのエネルギー損失を示す。

4. まとめ

RIBF にて取得した重 RI 衝突実験データから、荷電パイオン、陽子同位体、軽イオンを測定した。この測定結果をもとに重イオン衝突モデルの理解が進み、状態方程式の理解が進みつつある。

5. 今後の計画・展望

今回の研究結果は理論モデルの更なる理解が必要であることを示している。今後はより信頼性の高い理論モデルを構築し、状態方程式に制限をつけることを目指す。

加えて 2016 年に取得した中性子データの解析と、2024 年に取得した重イオン衝突データの解析を進める。システムの異なる衝突系での実験データを使うことで系統的に重イオン衝突反応メカニズムを理解し、核物質の対称エネルギーを決定する。

6. 利用がなかった場合の理由

2024 年度 利用研究成果リスト

【雑誌に受理された論文】

C.Y. Tsang et. al,

Constraining nucleon effective masses with flow and stopping observables from the SPiRIT experiment
Phys. Lett. B 853 (2024) 138661

【口頭発表】

T. Isobe, Experimental study of asymmetric nuclear matter EOS from heavy-ion reactions, Equation of State of Dense Nuclear Matter, 2023 年 11 月 27 日、Waikoloa Hawaii USA

T. Isobe, Perspectives of heavy ion collision program at RIBF for the study of nuclear EoS, ADRIB2024, Advancing physics at next RI Beam Factory, 2024 年 1 月 23、理化学研究所 和光

T. Isobe, Experimental study of asymmetric nuclear matter EOS from heavy-ion reactions with RIBF-SPiRIT, TCHoU, Workshop at the Tomonaga Center for the History of the Universe, 2024 年 3 月 29 日、筑波大学 つくば市

T. Isobe, Experimental study of asymmetric nuclear matter EOS from heavy-ion reactions with RIBF-SPiRIT, Evolution of Matter in the Universe, 2024 年 6 月 5 日、理化学研究所 和光

T. Isobe, Measurement of charged pion ratio in RI collisions for the constraint of density dependent nuclear symmetry energy at RIKEN-RIBF, THU-RIKEN miniworkshop on experimental nuclear physics, 2024 年 8 月 29 日、清華大学 北京 中国

T. Isobe, Systematic measurement of charged pion production in HIC with RI beams at RIKEN-RIBF, NuSym24, XII International symposium on Nuclear Symmetry Energy, 2024 年 9 月 10 日、GANIL Caen France

M. Kurata-Nishimura, Current and future experiments at SAMURAI in RIBF RIKEN, NuSym24, XII International symposium on Nuclear Symmetry Energy, 2024 年 9 月 11 日、GANIL Caen France

N. Ikeno, Pion potentials and its effect on pion production in heavy-ion collisions, NuSym24, XII International symposium on Nuclear Symmetry Energy, 2024 年 9 月 11 日、GANIL Caen France

A. Ono, Understanding of expanding and clustering matter: Cluster correlation and momentum fluctuation in AMD, NuSym24, XII International symposium on Nuclear Symmetry Energy, 2024 年 9 月 13 日、GANIL Caen France

T. Isobe, Heavy ion collision experiments by using RI beam at RIBF for the study of high dense neutron rich nuclear matter, 3rd RIKEN RNC - CAS IMP Joint Symposium, 2024 年 11 月 8 日、理化学研究所 和光

2024 年度 利用報告書

T. Isobe, From nucleus to neutron star: experimental study of nuclear matter by using heavy ion collisions, Korea-Japan Symposium on TOPTIER Platform in Extreme Rare Isotope Science, 2024 年 12 月 17 日、ソウル大学 ソウル 韓国

T. Isobe, Heavy ion collision experiment by using RI beam at RIBF for the study of density dependent symmetry energy, NuSRAP2024, RCNP-CENuM-OMEG Symposium on Nuclear Structure, Reaction, and Astrophysics, 2024 年 12 月 18 日、大阪大学核物理研究センター

T. Isobe, RI ビーム衝突を用いた原子核 EOS の実験的研究、第 2 回 J-PARC と重イオン衝突実験の交差点、2025 年 3 月 7 日、原子力研究機構 東海村

T. Isobe, High density, Neutron Star EoS, WHBM2025, The 2nd Workshop on Highly Baryonic Matter at RHIC-BES and Future Facilities --- beyond the Critical Point towards Neutron Stars ---, 2025 年 3 月 9 日、筑波大学 つくば市