

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	金子 雅紀
論文題目	Hydrogen Isotope Productions in Sn + Sn Collisions with Radioactive Beams at 270 MeV/nucleon 核子あたり 270 MeV の放射性同位体ビームを用いた Sn+Sn 衝突における水素同位体生成		
(論文内容の要旨)			
<p>核子あたり入射エネルギー数百MeVの重イオン衝突は、標準核密度を超える高密度核物質の性質を調べる良いプローブを与える。特に、対称エネルギーの高密度における振舞いは中性子星の質量・半径曲線などの諸性質と密接に関連するため、興味深い研究対象となっている。重イオン衝突において、高密度対称エネルギーの効果は反応初期の中性子・陽子ダイナミクスに現れるため、それを反映する観測量として荷電パイオン収量比などが測定されてきた。しかしながら、それらのデータは金+金衝突などの安定核を用いたものに限られ、実験結果の解釈が理論モデルに強く依存するという大きな問題を抱えている。こうした状況から、アイソスピン自由度に焦点を当てた系統的な測定が望まれていた。そこで本研究では、対称エネルギーをより効率的に引き出すために、核子あたり270 MeVのスズ同位体ビームと安定なスズ標的を組み合わせた四種類の衝突系：$^{132}\text{Sn} + ^{124}\text{Sn}$、$^{124}\text{Sn} + ^{112}\text{Sn}$、$^{112}\text{Sn} + ^{124}\text{Sn}$、$^{108}\text{Sn} + ^{112}\text{Sn}$を系統的に測定した。中性子数のみが異なる系を比較することで、衝突ダイナミクスに現れるクーロン力やアイソスカラー効果をキャンセルし、対称エネルギーに由来する効果のみが強調できると期待される。実験は理化学研究所RIBFにおいて実施し、SAMURAI双極電磁石と3次元飛跡検出器 (Time Projection Chamber : TPC) を組み合わせることにより、反応によって生じた荷電粒子の測定を広い範囲で行った。</p> <p>本申請論文では、取得したデータのうち、$^{132}\text{Sn} + ^{124}\text{Sn}$、$^{108}\text{Sn} + ^{112}\text{Sn}$の二種類の衝突系について解析を行い、それぞれの系の中心衝突から放出された陽子、重陽子、三重陽子 (p, d, t) 生成の結果についてまとめている。RIBFのビームライン検出器を用いたビーム粒子識別、TPCにより再構成した反応点の情報を用いた背景事象の除去、TPCで検出された荷電粒子多重度を用いた中心衝突事象の選択の後、荷電粒子の質量対磁気剛性の情報からp, d, tを同定し、横運動量対ラピディティの二次元位相空間分布を導出した。この位相空間分布を横運動量軸に沿って積分することにより得たラピディティ分布を反対称化分子動力学 (AMD) に基づく理論輸送モデル計算と比較した。その結果、AMD計算は実験データに比べてラピディティ分布の幅が広く、tの収量が中心ラピディティ領域において不足していることが判明した。この食い違いは、理論モデルにおいて試験的にパラメータを調節することでデータを再現できることがわかった。系の中性子ダイナミクスを反映すると考えられるd/p, t/pの収量比をさらに二つの系の比を取ることで二重断面積比 ($DR_{d/p}$, $DR_{t/p}$) を構築したところ、中心ラピディティ領域において$(DR_{d/p})^2 = DR_{t/p}$というスケーリング関係が成り立ち、さらに、$DR_{d/p}$と$DR_{t/p}$は二つの衝突系が持つ中性子数の比とその自乗にそれぞれ一致するという傾向が見られた。これはd/pやt/pが反映すると考えられる中性子密度は対称エネルギーの影響により決定されるが、非対称度の異なる二つの系でその影響に大きな差がないことを示唆し、その高密度での効果が弱いと解釈できる。実際に対称エネルギーの傾きパラメーターLの値を46 MeVと108 MeVの二つの場合を仮定したAMD計算によると、$DR_{t/p}$は強い対称エネルギー依存性を示し、実験データと比較したところL=108 MeVよりもL=46 MeVの計算結果を支持していることが示された。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、核子当たりの入射エネルギー270 MeVのスズ同位体同士の衝突反応によって生成される陽子同位体 (p, d, t) の生成断面積を測定した。理化学研究所仁科加速器科学研究センターのRIBF加速器施設を利用することにより、様々なスズ同位体の組み合わせについて ($^{132}\text{Sn} + ^{124}\text{Sn}$, $^{124}\text{Sn} + ^{112}\text{Sn}$, $^{112}\text{Sn} + ^{124}\text{Sn}$, $^{108}\text{Sn} + ^{112}\text{Sn}$) 測定が可能となる。特に、同施設では中性子過剰なスズ原子核ビームが大量に生成されるところに特徴がある。加えて、本研究では、SAMURAI双曲型電磁石測定装置と3次元飛跡検出装置(Time Projection Chamber ; TPC)を組み合わせ、広い立体角での荷電粒子測定を行った。

数百MeVの重イオン衝突は、標準核密度を超える高密度核物質の性質を調べる良いプローブを与える事が期待されている。特に、高密度における対称エネルギーの振舞いは中性子星の質量・半径曲線などの諸性質と密接に関連するため、興味深い研究対象となっている。しかしながら、これまで、それらの実験プローブは金+金衝突などの安定核を用いたものに限られ、実験結果の解釈が理論モデルに強く依存するという大きな問題を抱えてきた。

そこで本研究では、対称エネルギーの効果をより効率的に引き出すために、スズ同位体ビームと安定なスズ標的を組み合わせ、 $^{132}\text{Sn} + ^{124}\text{Sn}$, $^{108}\text{Sn} + ^{112}\text{Sn}$ の二種類の衝突系について測定した。中性子数のみが異なる系を比較することで、衝突ダイナミクスに現れるクーロン力やアイソスカラー効果を打ち消し、対称エネルギーに起因する違いのみを際立たせることが可能となると期待される。

本研究では、重イオン反応の中心衝突から放出された陽子、重陽子、三重陽子 (p, d, t) 生成について、放出粒子の横運動量とラピディティの二次元位相空間分布を導くことに成功した。そして、この位相空間分布を横運動量軸に沿って積分することにより得られたラピディティ分布を、理論計算の一つとして重イオン反応でよく用いられる、反対称化分子動力学 (AMD) 模型に基づく輸送モデル計算と比較を行った。その結果、AMD計算は実験データに比べてラピディティ分布の幅が広く、3重陽子(t)の収量が中心ラピディティ領域において不足していることが明らかとなった。この理論計算と実験データとの違いは、理論モデルにおいて核子散乱断面積パラメータを調節することでデータを再現できることがわかった。系の中性子ダイナミクスを反映すると考えられるd/p, t/pの収量比をさらに二つの系の比を取ることで二重断面積比 ($DR_{d/p}$, $DR_{t/p}$) を構築したところ、中心ラピディティ領域において $(DR_{d/p})^2 = DR_{t/p}$ のスケーリング関係が成り立っており、さらに、 $DR_{d/p}$ と $DR_{t/p}$ は二つの衝突系が持つ中性子数の比とその自乗にそれぞれ一致するという傾向が見られた。これはd/pやt/pが反映すると考えられる中性子密度は対称エネルギーの影響により決定されるものの、非対称度の異なる二つの系でその影響に大きな差がないことを示唆している。すなわち、その高密度での効果が弱いと解釈できる。実際、対称エネルギーの傾きパラメーターLの値を46 MeV, 108 MeVの二種類を仮定して行ったAMD計算と比較すると、 $DR_{t/p}$ は強い対称エネルギー依存性を持っており、L=108 MeVよりもL=46 MeVの計算結果が実験結果をよく再現していることが示された。これは、対称エネルギーの高密度での効果に関する重要な実験結果である。よって、論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年1月14日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降