

## 論文審査の結果の要旨

氏名 野谷 将広

近年不安定原子核ビームを用いた実験により、中性子ハロー、中性子スキンといった原子核の新しい構造が発見され、又、系統的研究から中性子過剰核での  $N=20$  魔法数の消滅が見い出され、話題になっている。これらの研究には近年の不安定原子核ビーム生成方法の進歩が大きな役割を果たしている。

不安定原子核ビームは、数十 A MeV～数 A GeV の重イオンビームを標的に当て、入射核破碎反応により生成されるが、安定線から遠く離れた中性子過剰核は、収量が極めて限られているため、生成断面積の予測精度が極めて重要である。高エネルギー領域 (~ 数 A GeV) の核破碎反応は Participant Spectator モデルでよく説明されることは、一連の研究で明らかになっているが、他方、100 A MeV 以下の中間エネルギー領域では、入射核様破碎片 (PLF) の運動量分布が非対称となり、その収量には大きな標的核依存性があり、Participant Spectator モデルでは説明がつかない。このエネルギー領域に特徴的な現象を系統的に調べ、その特徴を明らかにし、反応メカニズムについての新たな知見を得ることが本論文の主眼である。

この論文のもととなった実験は、理化学研究所の不安定核ビームライン (RIPS) も用いて行われた。90-94 A MeV の  $^{40}_{18}\text{Ar}$  ビームを  $^9\text{Be}$  (95 mg/cm<sup>2</sup>) と  $^{181}\text{Ta}$  (17 mg/cm<sup>2</sup>) の二種類の標的にそれぞれ照射し、粒子識別を  $\Delta E$ -TOF 法で行ないながら広範囲 ( $3 \leq Z \leq 18$ ,  $2 \leq A/Z \leq 3$ ) な破碎片の  $0^\circ$  方向の収量、運動量分布を測定した。それらのデータをもとに、中間エネルギーに特有な反応メカニズムをあきらかにし、又、既存の断面積予想コードの修正を行なって、生成断面積予測の精度を上げることに大きく寄与した。

以下、実験で得られた結果を列挙する。

- Be 標的の場合にのみ、軽い破碎片の運動量分布に二つのピークが存在することが見い出された。二つのピークのうち、高い運動量をもつピーク (HE ピーク) は入射核の速度に近い速度をもち、通常の入射核破碎反応に由来すると考えられるが、低い運動量をもつピーク (LE ピーク) は入射核と標的核の重心系 (CM) の速度に近い速度をもつ。Be 標的の場合でも重い破碎片では、又、Ta 標的では HE ピークだけが観測される。
- HE ピークの運動量分布は、Gauss 関数と比べて明らかに左右非対称になっており、非対称な Gaussian-like 関数を用いると比較的良好なフィットが得られた。
- 一般に、破碎片の運動量の中心値  $P_0$  は入射核の速度と比較して減速することは知られているが、Be 標的の場合には軽い破碎片でむしろ加速傾向にあることが見い出された。

- 運動量分布の幅は、高運動量側  $\sigma_H$  は、入射核内の各核子の運動量分布の反映になっているという描像と良く一致しているが、低運動量側ははるかに広く、破碎片質量  $A_f$  に対する変化の振舞いも全く異なっていることが見いだされた。
- Ta 標的と Be 標的で同じ破碎片核種の生成断面積の比を取ると、ベータ安定線から離れるにつれて、最大 8 倍も Ta 標的の方が大きくなることから、破碎片の生成断面積が大きな標的核依存性を持つこと、即ち、生成断面積は標的核の幾何学的な大きさのみの関数であるとする factorization 仮説が、中性子過剰領域で大きく破れていることを初めて明らかにした。

これらの新しい実験データを総合すると、100A MeV 以下の中間エネルギー領域での反応機構は、 $E < 20A$  MeV での低エネルギー領域でのものよりは、むしろ  $E \sim$  数 A GeV の高エネルギー領域での反応により似ており、そこに補正を加えたものとなっているという描像が成立していることを明らかにした。このような補正の例としては、以下のようなものがある。

- 運動量分布の低運動量側の幅の振る舞いを説明するためには、低いエネルギー領域で重要な「核子移行反応」を加えることが自然であることを示した。
- 破碎片の運動量中心は破碎片質量の関数として放物線型の減速を示すが、この現象は、入射核 (P) が反応の最初の段階で Spectator 部と Participant 部の“二個”の原子核に切り離され、その全結合エネルギーの変化が縦方向の並進運動エネルギーの変化に表れると仮定する入射核の分割 (Split) モデルでうまく説明されることが判った。

不安定原子核実験に対して不安定核ビーム強度向上のための最適化設計が不可欠であるが、その際重要な生成断面積予想に用いられている半経験的断面積計算コード EPAX がある。本研究で得られた安定線から遠く離れた原子核生成断面積データをもとに、EPAX コードを改造し、断面積予想の精度向上を試みた。EPAX においては、破碎片の生成断面積は  $\sigma(A, Z) = Y(A) \cdot W(Z, A)$  のように Mass Yield  $Y(A)$  と荷電分布  $W(Z, A)$  の積で求まる。さらに荷電分布は次式、

$$W(Z, A) = n \cdot \exp(-R|Z_{prob} - Z|^U) \quad (1)$$

で与えられる。ここで  $Z_{prob}$  は、破碎片の質量数  $A$  を固定した時に最も生成されやすい核の荷電数 (Most Probable Charge) で、そこから  $Z$  が増減するに従って減少する断面積の減り方の傾きが  $U$  である。データとの比較から次のようなことが判った。

- $Z_{prob}(A)$  に標的核依存性は見られず、EPAX の値とも十分合うことを確認した。
- EPAX では、 $U$  パラメータは定数であり、標的核依存性が考慮されてない。本実験で明らかとなった中性子過剰核生成断面積の標的核依存性 (factorization 仮説の破れ) は、 $U$  パラメータの標的核依存性として自然に表現されることが判った。

なお、本論文は、複数名との共同研究に基づくが、論文提出者である野谷さんは、論文に用いられているデータの解析、まとめ、考察をほぼ単独で行なっており、その寄与は十分であると判断した。

したがって、審査員全員一致で、博士(理学)の学位を授与できるものと判断した。