

氏名	久保木 隆正
博士の専攻分野の名称	博士 (理学)
学位記号番号	博理工甲第 827 号
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 23 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	変形領域中性子過剰核 Ne・Na 同位体の核半径
論文審査委員	委員長 教授 鈴木 健 委員 教授 吉永 尚孝 委員 連携教授 櫻井 博儀 委員 連携教授 本林 透 委員 准教授 山口 貴之

## 論文の内容の要旨

核半径は原子核の大きさを表す基本的な物理量であるとともに、スキン構造やハロー構造といった特異な構造を発見するためのよいプローブであると認識されている。Ne・Na 同位体の核半径はこれまでドイツ重イオン研究所 (GSI) にて相互作用断面積  $\sigma_1$  の測定によって  $^{17-29}\text{Ne}$ ,  $^{20-32}\text{Na}$  まで決定されているが、より中性子過剰な領域にある  $^{30-32}\text{Ne}$ ,  $^{33-35}\text{Na}$  については不安定核ビーム生成が非常に困難であったためこれまで測定がなされていなかった。現在では、理化学研究所 RI ビームファクトリー (RIBF) の新加速器施設 (SRC, BigRIPS) によってこれら中性子過剰核の大強度生成が可能となっている。また最近の原子核研究に於ける興味深いトピックスの一つとして、変形領域”island of inversion” (陽子数  $Z=10 \sim 12$ , 中性子数  $N=19 \sim 21$ ) が挙げられる。この領域では例えば  $^{32}\text{Mg}$ ,  $^{34}\text{Mg}$  といった核種において、球対称な殻模型に於ける魔法数  $N=20$  近傍の中性子数を持つにも拘らず、その基底状態の核構造が大きく変形していることが報告されている。またこの領域では例えば  $^{29}\text{Ne}$ ,  $^{31}\text{Ne}$  などのように、バレンス中性子が非常に弱く束縛された (1 中性子分離エネルギー  $S_n < 1\text{MeV}$  である) 核種が存在し、これらはハロー核である可能性が示唆される。このような領域において体系的に  $\sigma_1$  を測定することは、変形による核子軌道の逆転現象の確認検証や、新たなハロー核の発見が期待でき、今後の核構造研究において重要な意義を持つものである。

本研究ではこれまで核半径が未測定であった核種や、”island of inversion” 領域周辺の核種を含む  $^{20-32}\text{Ne}$  及び  $^{23-35}\text{Na}$  と C 反応標的との  $\sigma_1$  を測定した。測定には理化学研究所 RIBF のビーム破砕片分離装置 BigRIPS を用いた。二次ビーム生成には  $345\text{A MeV}$ ,  $100\text{pnA}$  の  $^{48}\text{Ca}$  一次ビームと厚さ  $1.85 \sim 7.39\text{g/cm}^2$  の Be 生成標的を用いた。測定手法にはトランスミッション法を用い、反応標的には厚さ  $1.8$  及び  $3.6\text{g/cm}^2$  の C 標的を用いた。また反応標的前後での粒子識別にはどちらも  $B\rho - \Delta E - \text{TOF}$  法を用いた。

測定した  $\sigma_1$  についてその体系的振る舞いについて議論するとともに、グラウバー計算を通じて核物質半径  $\langle r_m^2 \rangle^{1/2}$  を決定した。測定した Ne, Na 同位体それぞれの  $\sigma_1$  はどちらも質量数  $A$  に対して単調増加の傾向を示した。また安定核における  $\sigma_1$  と  $A$  の系統性との比較から、Ne, Na 同位体のどちらにおいても  $A$  の増加

に伴い中性子スキン厚が増加していることが確認された。但し、Ne 同位体では  $^{29}\text{Ne}$ ,  $^{31}\text{Ne}$  において、Na 同位体では  $^{28}\text{Na}$  において、観測されたそれぞれの同位体の系統性や Relativistic Mean Field (RMF) モデルの予言する計算値に対し大きな  $\sigma_1$  を持つことが確認され、ハロー核である可能性が示唆された。また Na についてはアイソトープシフトの実験から得られた荷電半径のデータを用いて陽子半径  $\langle r_p^2 \rangle^{1/2}$  を求め、これと決定した物質半径  $\langle r_m^2 \rangle^{1/2}$  から中性子半径  $\langle r_n^2 \rangle^{1/2}$  及び中性子スキン厚  $\langle r_n^2 \rangle^{1/2} - \langle r_p^2 \rangle^{1/2}$  を決定した。

## 論文の審査結果の要旨

■本研究は、“island of inversion”領域（陽子数  $Z=10 \sim 12$ , 中性子数  $N=19 \sim 21$ ）を含む中性子過剰核の半径に関する実験的研究である。この領域では例えば  $^{32,34}\text{Mg}$  といった核種において、球対称な殻模型に於ける魔法数  $N=20$  近傍の中性子数を持つにも拘らず、その基底状態の核構造が大きく変形していることが報告されている。また、この領域では例えば  $^{31}\text{Ne}$  などのように、バレンス中性子が非常に弱く束縛された（1 中性子分離エネルギー  $S_n < 1\text{MeV}$  である）核種が存在し、これはハロー核である可能性が示唆される。このような領域において体系的に  $\sigma_1$ （相互作用断面積）を測定することは、変形による核子軌道の逆転現象の確認検証や、新たなハロー核の発見が期待でき、今後の核構造研究において重要な意義を持つものである。

■申請者はこれまで核半径が未測定であった核種や、“island of inversion”領域周辺の核種を含む  $^{20-32}\text{Ne}$  及び  $^{23-35}\text{Na}$  と C 反応標的との  $\sigma_1$  を測定した。測定には理化学研究所・新加速器施設・RIBF のビーム破砕片分離装置・BigRIPS を用いた。二次ビーム生成には  $345\text{AMeV}$ ,  $100\text{pA}$  の  $^{48}\text{Ca}$  大強度一次ビームと厚さ  $1.85 \sim 7.39 \text{ g/cm}^2$  の Be 生成標的を用いた。測定手法にはトランスミッション法を用い、反応標的には厚さ  $1.8$  及び  $3.6 \text{ g/cm}^2$  の C 標的を用いた。また反応標的前後での粒子識別にはどちらも  $B\rho - \Delta E - \text{TOF}$  法を用いた。

■測定した  $\sigma_1$  からグラウバー計算を通じて核物質半径  $R_m = \langle r_m^2 \rangle^{1/2}$  を決定した。また Na についてはアイソトープシフトの実験から得られた荷電半径のデータを用いて陽子半径  $R_p$  を求め、これと決定した物質半径  $R_m$  から中性子半径  $R_n$  及び中性子スキン厚  $R_n - R_p$  を決定した。また測定した  $\sigma_1$  は Ne, Na 同位体のどちらも質量数  $A$  に対して単調増加の傾向を示し、安定核における  $\sigma_1$  と  $A$  の系統性との比較から、Ne, Na 同位体の  $A$  の増加に伴い中性子スキン厚の増加していることが確認された。

■他方、申請者はそれぞれの同位体における  $\sigma_1$  の質量数  $A$  に対する推移について、核変形による効果を考慮しながら議論を行った。その結果 Ne 同位体では  $^{29}\text{Ne}$ ,  $^{31}\text{Ne}$  において、Relativistic Mean Field(RMF)モデルの予言する計算値に対し、非常に大きな  $\sigma_1$  を持つことを確認し、 $^{29}\text{Ne}$ ,  $^{31}\text{Ne}$  がハロー核である可能性を示唆した。 Na 同位体では  $^{33-35}\text{Na}$  の核半径を新たに決定し、 $^{35}\text{Na}$  において、変形による効果を考慮に入れた  $\sigma_1$  の系統性に比べ大きな  $\sigma_1$  を持つことを確認した。 単一粒子模型 (SPM) に基づく計算の結果、 $^{35}\text{Na}$  をハロー核と考えるのは困難であるが、そのバレンス中性子は球形の殻模型における  $0f7/2$  軌道でなく、 $1p1/2$  軌道を取るものと示唆された。

以上、アンダーラインを付した部分が学問的にも新しい。本論文は、査読制度のある国際的学術誌 Nuclear Physics に受理されている。その他、本研究とも関連する  $^{32}\text{Ne}$  の  $\gamma$  線分光に関する共著論文が 1 編、やはり権威ある国際的学術誌である Physical Review Letter に掲載され、ポーランドに於いて開催された国際会議でも口頭発表している。以上の実績をふまえ、本論文は十分学位論文に値すると判断され、学位論文審査委員会は全員一致で合格と判定した。