



Title	Separation of Proton and Neutron Density Distributions at the Nuclear Surface by Utilizing Proton-Nucleus Reaction Cross Sections
Author(s)	西村, 太樹
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59458
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	にしむらだいき 西村太樹
博士の専攻分野の名称	博 士 (理学)
学 位 記 番 号	第 2 4 8 3 4 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 23 年 6 月 14 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学 位 論 文 名	Separation of Proton and Neutron Density Distributions at the Nuclear Surface by Utilizing Proton-Nucleus Reaction Cross Sections (陽子-原子核反応断面積を利用した原子核表面における陽子・中性子密度分布の分離)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 岸本 忠史 (副査) 准教授 佐藤 透 教 授 下田 正 准教授 福田 光順 准教授 松多 建策 教 授 山中 卓

論 文 内 容 の 要 旨

原子核表面における陽子・中性子密度分布を分離する新しい方法を提案した。それは、核子-核子全断面積のアイソスピン非対称性を利用するというものである。ここで、アイソスピン非対称性とは核子-核子全断面積において、30-100 MeV の中間エネルギー領域で、異種核子間の断面積が同種核子間の断面積に比べ約 3 倍も大きいという特徴のことである。このことから、同じ核半径を持つ原子核でも外側に中性子が広がった分布を持っている方が、陽子が広がった分布を持っている場合よりも陽子標的との反応断面積が大きくなるはずである。したがってこれを利用すると、陽子-原子核の反応断面積のエネルギー依存性から原子核の陽子・中性子密度分布を分離できると期待される(図 1)。この方法の有効性を検証するために、我々は ${}^{7,9,10,11}\text{Be}$, ${}^8\text{B}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$ と Be, C, Al, CH_2 標的との反応断面積を 30A-400A MeV のエネルギー領域でトランスミッション法によって精密測定した。陽子との反応断面積は CH_2 標的の反応断面積から C 標的の反応断面積を差し引くことによって得られる。Be, C, Al 標的との反応断面積は陽子と中性子を区別しない核子密度分布を得るために測定された。得られた陽子と ${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$ の反応断面積のエネルギー依存性はフェルミ運動とパウリブロッッキングの効果を取り入れたグラウバー計算によって良く再現されることがわかった。次に、実験によって得られた ${}^{7,9,10,11}\text{Be}$ の反応断面積のデータから χ^2 フィットングによって ${}^{7,9,10,11}\text{Be}$ の陽子・中性子密度分布を分離して導出することに成功した。導出された ${}^{7,9,10,11}\text{Be}$ の陽子密度分布はレーザー分光によって得られた電荷半径とよく一致した結果を得た。また、先行研究でわかっていた ${}^{11}\text{Be}$ の大きなテールはほぼ中性子で構成されていることがわかった。本研究で得られた ${}^{11}\text{Be}$ の密度分布はいくつかの理論計算とよく一致していた。同様に、 ${}^8\text{B}$ の陽子・中性子密度分布も実験によって得られた ${}^8\text{B}$ の反応断面積のデータから導出した。先行研究でわかっていた ${}^8\text{B}$ のテールはほぼ陽子で構成されていることがわかった。また、 ${}^8\text{B}$ の中性子密度分布は ${}^{11}\text{Be}$ の中性子密度分布と同様であることがわかった。この ${}^8\text{B}$ の密度分布の結果は陽子ハロー構造を示唆するいくつかの理論計算とよく一致していた。結果として、本研究の方法は陽子・中性子密度分布を高精度で分離して決定する信頼性の高い方法であることがわかった。この方法はエキゾチックな核構造の研究のみならず、中性子スキン測定を可能にすることから「核物質の状態方程式」の研究に

も応用できると期待される。

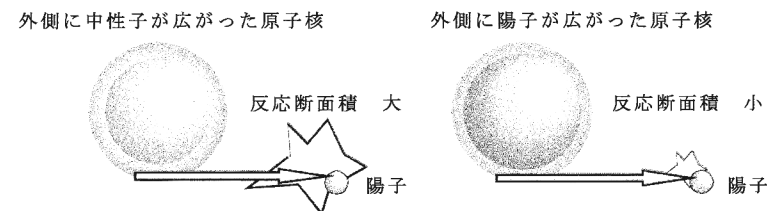


図 1 陽子標的の反応断面積によって陽子・中性子密度分布を分離することができる原理。外側に中性子が広がった原子核と陽子との反応断面積の方が、陽子が広がった原子核の断面積よりも大きい。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

原子核の半径あるいは内部の密度分布は、原子核を特徴づける基本的な物理量の 1 つである。この測定には、電磁気力を用いる方法と核力を用いる方法があるが、電磁気力を用いる方法は、原子核内の陽子分布にしか感度がなく、一方、核力を用いる方法は陽子・中性子の両方に感度があるものの、それらを分離して調べることは今までできていなかった。

そこで、核子散乱の全断面積が中間エネルギー領域で、異種核子間の方が同種核子間よりも 3 倍も大きくなっていることを利用し、原子核-陽子間の反応断面積をその領域で測定することにより、原子核表面付近の陽子・中性子密度分布を導出することが本論文の目的である。

そのために本研究では、 ${}^9\text{Be}$, ${}^{12}\text{C}$, ${}^{16}\text{O}$ の安定核ビームを皮切りに、 ${}^{7,9,10,11}\text{Be}$ のベリリウム同位体、および ${}^8\text{B}$ といった不安定核と陽子との反応断面積を中間エネルギー領域で系統的に測定した。陽子標的としては、液体や固体水素などの純粋水素標的が統計および系統誤差の観点から有利であるが、厚さの変更・取り扱いの容易さの観点からは圧倒的にポリエチレン標的と炭素標的の差をとる方法が有利である。そこで、本研究ではうまく系統誤差を制御することにより、ポリエチレン標的+炭素標的の使用を可能にした。実験は放射線医学総合研究所 HIMAC の重イオンシンクロトロンと入射角破砕片分離器を用いて行った。

得られた陽子-原子核反応断面積のデータは、グラウバー理論の光学極限近似と核内核子のフェルミ運動、およびパウリブロッッキング効果を仮定した計算により解析された。その結果、まずはベリリウム同位体の陽子・中性子分布を分離して導出することができた。核子分布半径は、既存の実験値とよく一致する結果が得られた。さらに、 ${}^{11}\text{Be}$ に対してはテールをもつ中性子分布が得られ、 ${}^7\text{Be}$ では有意に陽子分布半径が中性子分布半径より大きいという結果が得られた。また、ベリリウム同位体全体に対して本研究で得られた陽子分布半径の結果は、レーザー分光により測定された精度の良い値とよく一致していた。 ${}^8\text{B}$ でも同様の解析を行った結果、テールをもつ陽子分布と芯部で中性子分布より広い陽子分布が得られた。この芯部の密度分布はほぼ ${}^{11}\text{Be}$ と同様であった。これらの興味深い結果をもとに本研究の方法は、さらなる確認と近似の妥当性の検証を重ねた後、原子核物理学・宇宙物理学への応用が期待される。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。