

氏名(本籍)	もり ぐち てつ あき 森 口 哲 朗 (新潟県)
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	博 甲 第 5917 号
学位授与年月日	平成 23 年 9 月 30 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	Density Distributions for Two Neutron Halo Nuclei ^{11}Li and ^{14}Be deduced by the Reaction Cross Section Measurements

主査	筑波大学教授	博士(理学)	小 沢 顕
副査	筑波大学教授	理学博士	三 明 康 郎
副査	筑波大学教授	理学博士	矢 花 一 浩
副査	筑波大学准教授	理学博士	和 田 道 治

論 文 の 内 容 の 要 旨

不安定核におけるハローやスキン構造は安定核にはみられない特異な構造である。前者は、核子密度分布がコアの外に大きく広がる現象であり、後者は、核表面付近に中性子だけの層ができる現象である。不安定核は、宇宙元素合成にも重要な役割をしており、その核構造の研究は原子核物理だけでなく宇宙物理にも影響がある。ハローやスキンの特徴を調べるには不安定核の密度分布および核半径の測定が不可欠である。これまで、不安定核の核子密度分布と核子密度分布半径は、主に、反応断面積をグラウバー模型で解析することにより求められた。しかしながら、これまでの反応断面積測定では、陽子密度分布と中性子密度分布を分けて導出することは不可能であった。アイソトープシフトの測定により陽子密度分布半径が求められるので、これまでは、反応断面積から求めた核子密度分布半径と組み合わせることにより、スキンの導出が行われてきた。しかしながら、アイソトープシフトの測定は実験的な制約のために特定のアイソトープに限られていた。より多くの不安定核のスキンを測定するには、アイソトープシフト測定以外の方法で、陽子密度分布半径を導出することがのぞまれていた。本研究の第一の動機は、反応断面積の測定だけから陽子密度分布半径と中性子密度分布半径を決定する方法を確立することである。 ^{11}Li の陽子密度分布半径は既に知られているので、 ^{11}Li により手法のチェックができる。二番目の動機は、 ^{14}Be の密度分布を求めることである。 ^{14}Be はハロー核であることが知られているが、その密度分布はまだ測定されていなかった。本研究では、核子-核子弾性散乱の特徴に注目した。核子あたり、数 10 MeV 以下では、陽子-中性子散乱断面積が陽子-陽子散乱断面積より約 3 倍大きいことが知られている。これは、反応断面積のエネルギー依存性の測定により中性子密度分布を決定できることを示唆する。よって、我々は低エネルギーでの反応断面積測定を行った。実験は理研の不安定核ビーム施設 (RIPS) で行った。核子あたり 100 MeV に加速した ^{18}O ビームを Be 標的に照射し、 ^{11}Li と ^{14}Be を生成した。 ^{11}Li と ^{14}Be は RIPS で分離された。反応標的の上流の粒子識別はエネルギー損失と飛行時間の測定により行った。反応標的の下流の粒子識別は、エネルギー損失と全エネルギーの測定により行った。核子あたり 35 から 79 MeV の間で、固体水素標的と炭素標的を使って、 ^{11}Li と ^{14}Be の反応断面積の測定を行った。測定された反応断面積のエネルギー依存性を再現するように、オプティカル近似のグラ

ウパー模型を使って実験データを解析し、 ^{11}Li の陽子密度分布、中性子密度分布および核子密度分布を導出した。陽子密度分布から求めた陽子密度分布半径は、アイソトープシフトの測定結果と誤差の範囲で一致した。また、導出した陽子密度分布半径、中性子密度分布半径、核子密度分布半径は、テンソル力を最適化した殻模型の計算と一致した。この計算では、 ^{11}Li のコアの ^9Li は、真空中の ^9Li とは異なっているとされている。さらに、グラウパー模型を使って実験データを解析することにより ^{14}Be の核子密度分布を導出することが出来た。導出した核子密度分布を ^{11}Li と比較すると、 ^{14}Be のハロー成分は ^{11}Li ほど広がっていないことがわかった。今後は、今回の手法を他の不安定核の測定にも広げていく。

審査の結果の要旨

原子核の表面に中性子だけ、あるいは陽子だけが存在するスキン構造や、緩く束縛された核子が原子核の中心から離れたところに存在するハロー構造は、安定核にはみられず不安定核に特有の構造である。スキンの厚さや、ハロー構造を解明することは、不安定核の核構造に知見を与えるだけでなく、核物質状態の情報も与えるため、中性子星の解明につながるなど、宇宙核物理へのインパクトも大きい。不安定核のスキンの厚さの導出には、陽子密度分布半径、中性子密度分布半径、核子密度分布半径のうち少なくとも二つの測定量が必要である。不安定核の反応断面積の測定より核子密度分布半径がわかる。これまでは、残る二つの半径のうち不安定核原子のオプティカルアイソトープシフトの測定により導出された陽子密度分布半径を用いて、スキンの導出が行われてきた。しかしながら、不安定核原子のオプティカルアイソトープシフトの測定は、使用するイオン源の制限および、レーザーの波長の制限などのために、アルカリ金属など特定のアイソトープに限られている。また、アイソトープシフトの測定には、比較的大量の不安定核が必要なため、安定核から遠く離れたエキゾチックな不安定核の測定が難しい。不安定核原子のオプティカルアイソトープシフトの測定には、以上の不利があるため、それ以外の方法による陽子密度分布半径の決定法の開発がのぞまれていた。以上のような状況で、森口氏は、不安定核の反応断面積測定だけから、スキンの厚さが決定できる方法の開発を行った。森口氏が注目したのは、陽子標的による反応断面積測定である。陽子-中性子散乱断面積は、低エネルギーにおいて、陽子-陽子散乱断面積より3倍程度大きいので、陽子標的の反応断面積は、(陽子と中性子数が等しい)炭素標的の反応断面積に比べて、より核表面の中性子密度分布に敏感なはずである。これを利用して、反応断面積の測定だけから、核子密度分布半径と陽子密度分布半径を導出する方法を確立しよう、というのが本研究の主な動機であった。まず、この研究を行うためには、陽子標的を準備する必要があった。反応断面積測定では、厚い(～30 mm)標的が必要なので、固体水素標的の開発から始めた。森口氏は、厚い固体水素標的の開発に成功し、その開発経過は投稿論文 [Mo10] にまとめられた。次に理研 RIPS において不安定核 ^{11}Li と ^{14}Be の反応断面積の測定を行った。 ^{11}Li はオプティカルアイソトープシフトの測定からその陽子密度分布半径が知られており、本研究で提案している手法のチェックができる。 ^{11}Li と ^{14}Be の反応断面積測定、およびデータの解析と、その理論的考察がこの論文の核心部分である。この研究で初めて、 ^{11}Li と ^{14}Be の低エネルギーの反応断面積のデータが取得できた。森口氏のデータ解析は、緻密でエラーも適切に評価されている。グラウパー模型を使って、反応断面積の実験データから密度分布の導出を行った。今回得られた陽子標的の実験データも加味することにより、 ^{11}Li において、中性子密度分布と陽子密度分布を独立に導出することが出来た。陽子密度分布から求めた陽子密度分布半径は、オプティカルアイソトープシフトの測定結果と一致しており、この研究により、反応断面積の測定だけから陽子密度分布半径を導出する方法を確立できた。新しい実験データが得られたことにより、 ^{11}Li の核子密度分布がより精密に求められたとともに、初めて ^{14}Be の核子密度分布を導出することもできた。さらに、 ^{11}Li では理論計算との比較によりコアの ^9Li が真空中の ^9Li とは異なることが示唆された。ハロー核中のコアの変形は他の測

定からも示唆されている。以上より、本研究では、スキンの厚さの新しい導出法を確立したとともに、 ${}^7\text{Li}$ と ${}^9\text{Be}$ の核構造に関して新たな知見も得ることが出来た。森口氏の研究は高く評価できる。

平成 23 年 9 月 5 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。