

氏 名	たけ だ ひろ ゆき 竹 田 浩 之
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2437 号
学位授与の日付	平成 14 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	Modification of nucleon-nucleon interaction in nuclear medium and neutron densities extracted via proton elastic scattering at intermediate energies (核媒質での核力の修正と中間エネルギー陽子弾性散乱による中性子密度の抽出)
論文調査委員	(主 査) 助教授 坂 口 浩 隆 教授 今 井 憲 一 教授 西 川 公 一 郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、陽子弾性散乱の実験から  $^{120}\text{Sn}$  原子核の中性子密度分布を抽出し、 $3S_{1/2}$  中性子軌道の影響を初めて示したものである。

実験は大阪大学核物理研究センター (RCNP) に設置されている高分解能磁気スペクトロメータ Grand Raiden および論文申請者らが建設した焦点面偏極度計 (FPP) を用いて、 $^{58}\text{Ni}$ 、 $^{120}\text{Sn}$  の標的について行った。

$^{58}\text{Ni}$  では 200MeV、300MeV、400MeV で FPP を用いて陽子弾性散乱のスピン回転パラメータを測定して、すでに測定済の微分断面積、偏極非対称度のデータとあわせて完全実験にした。また  $^{120}\text{Sn}$  では 200MeV、300MeV、400MeV で微分断面積、偏極非対称度の測定を、スピン回転パラメータは 300MeV でのみ測定した。 $^{58}\text{Ni}$  および  $^{120}\text{Sn}$  の陽子弾性散乱のスピン回転パラメータは、 $3.6\text{fm}^{-1}$  という大きな運動量移行まで測定した。

得られた実験データは、以前に測定済みの微分断面積および偏極分解能のデータと合わせて、相対論的インパルス近似 (RIA) を用いて解析された。核子核子相互作用が最も小さくなる中間エネルギー領域であるために原子核深部の情報にも敏感で、また弾性散乱であるので、標的核の基底状態の密度分布さえ知っていればよく、比較的原子核の構造の不定性の少ない議論が可能になる。

すでに  $^{58}\text{Ni}$  の微分断面積と偏極分解能のデータのみを扱った申請者の属する研究グループの以前の解析で、 $\sigma$  および  $\omega$  中間子の結合定数と質量を原子核の密度に応じて変化させるという媒質効果を取り入れた相対論的インパルス近似がうまく実験データを説明することが見出されていた。この媒質効果モデルを用いて今回新たに測定された  $^{58}\text{Ni}$  のスピン回転パラメータを計算したところ、実験データをよく再現することが判明した。これは申請者らの媒質効果モデルの妥当性を示すものと考えられる。論文では改めて各エネルギー毎にスピン回転パラメータのデータも含めたサーチを行い、全てのデータを合わせる媒質効果のパラメータを得ている。

この  $^{58}\text{Ni}$  の解析では、陽子分布は電子散乱実験から得られた荷電分布のデータから抽出し、中性子分布は陽子分布と同じ形をしていると仮定している。この仮定の正しさは  $^{58}\text{Ni}$  のような陽子数と中性子数がほぼ等しい原子核については非相対論的ハートレーフォック計算や相対論的ハートレー計算からも確認でき、よい近似であると考えられるが、 $^{120}\text{Sn}$  のように陽子数と中性子数が大きく異なる原子核に対しては正しくない。一般に陽子弾性散乱は標的核の密度分布と相互作用の双方に敏感であるが、 $^{58}\text{Ni}$  の解析によって、原子核内の相互作用については実験データをきれいに再現するように校正できたので、このモデルを  $^{120}\text{Sn}$  にも適用すると、中性子密度分布を未知のパラメータとしてサーチすることにより、原子核内の中性子分布を抽出できると期待される。

そこで、 $^{120}\text{Sn}$  の 300MeV の微分断面積・偏極分解能およびスピン回転パラメータを再現するように中性子密度分布をサーチした。得られた分布は中心部で盛り上がる特徴を持っており、これは  $^{120}\text{Sn}$  で予想される  $3s_{1/2}$  軌道の特徴と一致する。

更に、中性子と陽子の平均二乗半径の差も精度よく求まり、その値はスピン双極子巨大共鳴の和則から得られたデータと誤差の範囲内で一致した。論文ではまた 300MeV の  $^{120}\text{Sn}$  の弾性散乱から得られた中性子分布を用いて他のエネルギーの弾性散乱も説明できるかを知るために、陽子エネルギー 200MeV, 400MeV の弾性散乱を計算してみたところ、きれいに実験を再現できたと報告している。これらのことから、得られた中性子分布は満足のいくものであると結論している。

しかしながら論文では今後の課題として、 $^{58}\text{Ni}$  の解析では効かなかったアイソベクトル  $\rho$  中間子が原子核内でどれだけ媒質効果を受けているかの不定性が残っていると論じている。 $\rho$  中間子の媒質効果は陽子数と中性子数がほぼ等しい  $^{58}\text{Ni}$  からの陽子弾性散乱にはほとんど影響がなく、決めることができない。しかし  $^{120}\text{Sn}$  にはある程度効いて来ると考えられるため、最終的な結論のためには、 $\rho$  中間子の媒質効果を、構造的不定性の少ないアイソベクトル状態への遷移などの測定によって実験面で確認する必要があると結んでいる。

### 論文審査の結果の要旨

原子核の中性子分布の測定は、実験上およびその解析の困難性のためまだ確実に原子核の中心部まで求めたものはこれまででなかったといってよい。本申請論文は、中間エネルギー陽子弾性散乱を用いて、原子核中心部まで中性子密度分布を求め、中心部分に局在するとされている  $3S_{1/2}$  1 粒子軌道の効果を抽出することに初めて成功した。そして実験とその解析について論じたものである。過去になされた同様の試みでは入射陽子のエネルギーが 800MeV と高すぎるために、陽子が核内で吸収される度合いが大きすぎて原子核の内部について詳細な情報を得るに至っていない。

一般に弾性散乱には核子間の相互作用と原子核の密度分布の両方が効いてくる。従ってこれらのうち一方がはっきり分かっている場合には他方を詳細に調べることができる。核子間の相互作用は一般に標的となる原子核の詳細にはよらない独立なものであるため、あらかじめ、核子間の相互作用を密度分布のわかっている原子核での弾性散乱で詳しく調べておき、その結果を未知の密度分布を持ったサンプルに応用することで、弾性散乱から未知の密度分布を抽出できる。

申請論文の実験では、解析に使用する反応のモデルと核内での核力を較正するために、陽子、中性子ともにその密度分布がよくわかっている原子核を用いて弾性散乱の完全実験を行っている。核子の密度分布がよくわかっている原子核で最も重いものは  $^{58}\text{Ni}$  であるため、実験では偏極陽子ビームを用いて  $^{58}\text{Ni}$  からの弾性散乱を入射エネルギー 200MeV, 300MeV, 400MeV で散乱の微分断面積、偏極非対称度、スピン回転パラメーターまで測定した。この3つの物理量を測定することで散乱振幅は完全に決まることになる。論文では測定した実験結果を相対論的インパルス近似で、わかっている陽子、中性子の密度分布を用い、そこで用いている核力の核内媒質効果を調整することで実験をきれいに再現することに成功した。

論文ではこのようにして較正した核内核力を用いてまだ密度分布がわかっていない重い原子核の一例として、 $^{120}\text{Sn}$  の中性子密度分布測定の実験を行った。実験は  $^{58}\text{Ni}$  の場合と同じ 200MeV, 300MeV, 400MeV で行っている。300MeV の場合だけ中性子密度分布をサーチするのでスピン回転パラメーターまで測定した完全実験になる測定を行い、200MeV と 400MeV は散乱の微分断面積、偏極非対称度までの測定になっている。中性子密度分布をいろいろ変化させて実験を最も良く再現する中性子密度分布とその誤差領域を得ることに成功した。

この中性子密度分布をよくみると、 $3S_{1/2}$  1 粒子軌道が局在するとされている原子核中央部での密度が増加している。 $3S_{1/2}$  1 粒子軌道の密度は陽子の場合には仏国サクレーの電子散乱の実験で同定されたが、中性子の場合には本論文が初めてで記念すべき発見である。この密度の増加の割合は申請論文で論じているように  $\rho$  中間子に対する核内媒質効果の度合いで多少変化する可能性がある。しかしここまで議論できるようになったというだけでも、大きな進歩である。これにより不安定核の密度分布測定の道が開けたことになり、この分野の物理の発展にとって、大きな研究業績であるといえよう。

この実験では、弾性散乱の完全実験実現のために、申請者らは大型磁気スペクトログラフの焦点面上に設置する焦点面ポラリメーターを新たに完成させた。そのなかで申請者はとくにデータ収集の鍵をにぎる回路を2種類発明し、世界でトップクラスの高速データ収集、転送を可能にした。この回路はデータ収集のバス上に介在して、ハード的に各データにイベント番号と付加情報を付け加えるものであるが、これによりデータ収集が並列化されまたバッファ化されるので非常に重宝なものである。この回路は現在でも実験の第一線で使用されており、実験技術上の極めて大きな業績であると評価できる。

近年、不安定核ビーム加速器が世界中で建設されており、不安定核の研究は原子核の新しい研究領域の一つとして大きな

発展が期待されている。既に中性子過剰核について中性子ハローや中性子スキンといった、安定核の研究では予想されていなかった異常な振舞が見出されている。不安定核の構造の研究において、陽子や中性子の分布を区別して抽出することの重要性が認識されてつつある。本研究で開発した核子密度分布、中性子分布の抽出の手法により、不安定核の核構造の重要な情報を引き出す方法が確立したと言ってよい。

以上この申請論文は新しい実験技術を開発し、原子核の密度分布測定の研究を飛躍的に進めたものとして高く評価できる。

なおこの申請論文は、理学部紀要に掲載が決定されている。よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文に値するものと認める。

また主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。