

氏名	よしむらまさ と 吉村政人
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	論理博第1391号
学位授与の日付	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	Elastic Proton Scattering from ${}^4\text{He}$ at 297 MeV (297 MeVにおける ${}^4\text{He}$ からの陽子弾性散乱)

論文調査委員 (主査) 教授 今井憲一 教授 西川公一郎 講師 中村正信

### 論文内容の要旨

本申請論文は偏極陽子ビームを用いて ${}^4\text{He}$ からの弾性散乱の測定を行い、その相対論的インパルス近似による解析から核密度と有効核力について調べてものである。

原子核の最も重要な性質の一つに核密度の飽和性がある。ほとんど全ての原子核の密度が基底状態でこの飽和密度より高い密度を持つことがなく、高密度における核力などの性質は実験的には分かっている。数百 MeV における陽子弾性散乱は核子核子散乱の実験データが豊富であり、位相差解析も詳細に行われているため現象論的によく分かっている反応である。300 MeV 附近では有効中心力ポテンシャルは最小値をとるため、インパルス近似を適応し易い領域であり、微視的解析モデルとして、Dirac 方程式を用いた相対論的インパルス近似 (RIA) が偏極量を含む観測量の再現に成功している。 ${}^4\text{He}$  は電子の弾性散乱データやいろいろな核力を用いた4体計算から、基底状態において中心部分に通常の原子核密度より二倍も高い密度を持つと予想されている。従って実験データと RIA による微視的解析により ${}^4\text{He}$ の密度分布を調べることが可能であると考えられる。

この研究では、 ${}^4\text{He}$ の高密度からの効果を調べるために、大阪大学核物理研究センター (RCNP) の297 MeV の偏極陽子ビームを用い、 ${}^4\text{He}$ からの弾性散乱の観測量である微分断面積、偏極分解能およびスピン回転パラメータ  $Q$ 、の実験室系12度から66度までの角度分布を測定した。偏極イオン源で生成した偏極陽子ビームは AVF サイクロトロンおよびリングサイクロトロンによって297 MeV まで加速され、標的及びスペクトロメータの設置されている西実験室へ入射される。西実験室へ入射したビームは二つのビームライン偏極計 (BLP) を用いてビーム偏極度が決定される。標的には厚さ2 cm の液体ヘリウム標的を製作し使用した。標的から散乱された陽子は、磁気スペクトロメータ GRANDRAIDEN によって運動量分析され、標準カウンターの Vertical Drift Chamber (VDC) によって位置及び入射角度が測定された。スピン回転パラメータ  $Q$  の測定のため、散乱陽子の偏極度の測定には焦点面偏極計 (FPP) を用いた。また散乱粒子の任意の偏極の向きを決定するために、スピン回転用双極磁石 (DSR) を用いた。得られた実験データについて、Horowitz 等の RIA を用いて解析を行った。RIA 計算に用いる NN 相互作用は、Horowitz 等の相対論的 Love-Franey モデルの300 MeV のパラメータを用いている。RIA 計算に必要なスカラー、ベクターの両密度分布からなる相対論的密度分布として、まず Dirac-Hartree 近似による密度分布 (DH 分布) を用いた。DH 近似では、スカラーメソンの質量がパラメータとして扱われていて、Horowitz 等は ${}^{40}\text{Ca}$ の平均二乗半径を再現する値 ( $520\text{MeV}/c^2$ ) を用いている。このパラメータを  $443\text{MeV}/c^2$  に減らすと ${}^4\text{He}$ の前方角度の三つの観測量を同時に全て再現することが分かった。またこのときの密度分布は平均二乗半径が1.40 fm となり中心部分の密度が通常の原子核密度よりかなり高い密度分布であった。密度分布の主要なパラメータとして体積積分と平均二乗半径があるが、ベクター密度分布の体積積分値は ${}^4\text{He}$ の場合4である。一方スカラー密度分布の体積積分値は未定量でこの値をベクターのそれで割った量を  $R_{SV}$  とすると、DH 分布を用いた場合、上記のスピン観測量を定量的に再現したとき  $R_{SV}$  は0.92であった。この  $R_{SV}$  の値を用いて、スカラー密度分布の形はベクター分布の形と同じと仮定して相対論的密度分布を作り観測量を計算すると、前方角度のスピン観測量 ( $A_y, Q$ ) はほとんど変化せず実験デ

ータを再現したままである。さらに  $R_{SV}$  の値をその値から変化させるとスピンの観測量は変化し、実験データを再現しなくなる。結局前方角度の両スピンの観測量は  $R_{SV}$  に非常に敏感であり、その値がおおよそ 0.92 で非常によく実験データを再現することがわかった。

他の原子核の場合はこの  $R_{SV}$  の値は 0.96-0.98 であり、 ${}^4\text{He}$  の場合は他の原子核に比べ有為な小さい値となっている。Serot, Walecka 等の相対論的な核物質の計算では、核物質の密度が高くなるとスカラー密度が減るという傾向がある。実際、核物質のスカラー密度比を  ${}^4\text{He}$  のベクター密度にそのまま適応してスカラー密度を求めて積分した場合はその比は 0.92 となる。 ${}^{40}\text{Ca}$  の場合この値は 0.95 であり、 ${}^4\text{He}$  の中心部分の高い密度の寄与がこれらの差に現れていると考えられる。従って、 ${}^4\text{He}$  の中心部分の高い密度がスカラー密度の体積積分の著しい減少としてあらわれることが明らかになった。

### 論文審査の結果の要旨

本申請論文は、偏極陽子と  ${}^4\text{He}$  の 300MeV での弾性散乱の研究を行ったものである。陽子と  ${}^4\text{He}$  の弾性散乱は軽い系として基本的な反応である 100MeV 以下では多くのデータがあるが、核子-核子散乱断面積の最も小さくなる 300MeV 付近はデータがなく、この実験データは貴重なデータとなっている。

この実験では、微分断面積だけでなく偏極分解能やスピン回転パラメーターも測定し、完全実験を行っている。とりわけスピン回転パラメーターは、散乱された陽子のスピン偏極度を測定しなくてはならず、実験的には複雑である。申請論文では、散乱陽子を分析する Grand-Raiden とよばれる大立体角かつ超高エネルギー分解能のスペクトロメーターで、まず  ${}^4\text{He}$  から弾性散乱された陽子を捕らえ、さらにその後ろに置かれた焦点面偏極度計によっ、陽子のスピン偏極を測定している。データの質から見てこれらの実験装置は同種のものでは世界的に見ても優れたものであり、実験およびデータの質は高く評価できる。また液体  ${}^4\text{He}$  標的の開発も実験の成功に重要な要素であり、申請論文の仕事として功績がおおきい。

実験データは Horowitz 等の相対論的インパルス近似を用いて解析している。その結果スカラーメソンの質量パラメーターを調節するとデータを再現することがわかった。これは  ${}^4\text{He}$  のような小さな系でも、重い核の陽子弾性散乱と同じような Horowitz 流の相対論的インパルス近似でうまく実験を再現できることをしめしており、極めて驚くべき結果である。しかし  ${}^4\text{He}$  では、より重い核に比べてかなりことなるパラメーターをとる必要があることも明らかとなった。核の密度分布という観点でいうと、このデータからは通常より軽いスカラーメソン質量が必要で、対応するスカラー密度とベクトル密度の比 ( $R_{SV}$ ) は重い核にくらべ、小さい値 (0.92) でうまくデータを再現することがわかった。これらは電子散乱のデータから示唆される  ${}^4\text{He}$  の中心部の高い核子密度の存在と consistent とされる。これらの解析結果は、核物質の平均場と核子密度との関係について新しい知見を与えるものであろう。

${}^4\text{He}$  のような小さな系との陽子弾性散乱で、このような RIA の解析で核子密度と中間子場についての興味ある結果を得たことは、学位論文として高く評価できる。

なおこの申請論文の主な内容は、Physical Review 誌に掲載されている。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。