

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	ぜにひろ じゅうぞう 錢 廣 十 三
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 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) Neutron density distributions of $^{204,206,208}\text{Pb}$ deduced via proton elastic scattering at $E_p = 295 \text{ MeV}$ (陽子弾性散乱による $^{204,206,208}\text{Pb}$ の中性子密度分布の抽出)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 永江 知文 教授 中家 剛 教授 川畑 貴裕 准教授

京都大学	博士 (理学)	氏名	銭廣 十三
論文題目	Neutron density distributions of $^{204,206,208}\text{Pb}$ deduced via proton elastic scattering at $E_p = 295 \text{ MeV}$		
(論文内容の要旨)			
原子核において、核子密度分布は最も基本的な物理量のひとつである。今日まで、主に電子散乱などの電磁相互作用を用いた様々な測定から、多くの原子核の電荷分布や陽子分布が知られるに至っているが、中性子密度分布に関しては未だほとんど知られていない。これは、中性子は電荷を持たないため、中性子密度分布を知るためにはハドロン等の強い相互作用をプローブとした測定を用いるためである。一方、近年では、原子核物質、中でも中性子星のようなアイソスピン非対称な核物質の構造や、状態方程式 (EOS) が注目されており、中性子密度分布やその分布半径が非常に重要な役割を担うことが多くの理論的研究から示唆されている。特に、^{208}Pb の中性子スキンの大きさ (中性子と陽子分布の平均二乗半径の差で定義される。) はEOSを決めている対称エネルギーの係数と非常に強く相関していることが知られており、原子核物理だけでなく宇宙物理の分野においても重要視されている。 本論文では、陽子弾性散乱測定から中性子密度分布を抽出する方法論と精密な抽出法について述べ、得られた中性子スキン厚から、対称エネルギーの密度依存項を決定した。実験は大阪大学核物理研究センターにあるリングサイクロトロン施設にて行った。^{58}Ni, $^{204, 206, 208}\text{Pb}$ を標的とした、中間エネルギー295MeVの偏極陽子弾性散乱による微分断面積と偏極分解能を、運動量移行にして$0.5\text{fm}^{-1}\sim 3.5\text{fm}^{-1}$の角度分布を測定した。弾性散乱とその他の散乱とを分けるため、実験には高分解能磁気スペクトロメータ ($p/\Delta p = 37000$) を用いることで高い精度の実験データを取得することに成功した。 測定データを説明するべく、自由空間での核子間散乱振幅を良く説明する相対論的 Love-Franey相互作用に、媒質中の密度に依存した形で変化する現象論的な媒質効果を導入した。媒質効果の較正は、既に原子核の構造がよく分かっている^{58}Niのデータを用いた。媒質効果は原子核の種類に依存せず密度に依存した形式になっているので、他の原子核にも適用することができる。これにより、得られた鉛のデータから鉛アイソトープの中性子密度分布の抽出を行った。陽子分布としては、電子散乱などから既に知られている電荷分布から求めた実際的な分布を用いている。得られた鉛の中性子密度分布の誤差として、実験的誤差だけでなく用いられている理論的な枠組の不完全性からくる不定性をも考慮した誤差を、新たにχ二乗判定法から評価した。今回得られた広い運動量移行の散乱データはモデルの不定性を議論する上でも適していることが判明した。 以上から、鉛アイソトープの中性子スキン厚をそれぞれ、$\Delta r_{np} = 0.178_{-0.059}^{+0.047} \text{ fm}$ (^{204}Pb), $0.180_{-0.064}^{+0.048} \text{ fm}$ (^{206}Pb), $0.211_{-0.063}^{+0.054} \text{ fm}$ (^{208}Pb) と求めることに成功した。これはモデルの不定性を含めても半径の約1%程度の誤差であり、従来に比べて誤差を低減することに成功した。今回の研究が精密な中性子密度分布の抽出に適していることを示している。さらに、得られた中性子スキンの厚さから、平衡状態における対称エネルギー$S(\square_{\text{sat}})$と対称エネルギーの1次の密度依存項Lを、$S(\square_{\text{sat}}) = 33.0 \pm 1.1 \text{ MeV}$, $L = 67.0 \pm 12.1 \text{ MeV}$というように決定した。これらの値は中性子スキンの実験的誤差だけを反映しているが、これまでの研究と矛盾が無く、実験誤差としては最も厳密に決定することができた。これにより様々な存在する理論計算を強く制限することが可能となった。			

(論文審査の結果の要旨)

原子核の中性子密度分布を測定する試みは、これまでに陽子弾性散乱、巨大二重極共鳴励起、ピグミー二重極共鳴励起、反陽子原子X線測定などの様々な手法によって行われてきている。しかし、中性子をプローブするためにはハドロンを用いるため、強い相互作用の理解が必要となり、手法の違いによる系統誤差も考慮した測定がないのが現状であった。この研究では、陽子エネルギー295 MeV という、これまでよりもエネルギーを下げた中間エネルギーの陽子弾性散乱を用いることとした。中間エネルギーの陽子散乱はポテンシャルの虚数部が小さく、原子核の内部情報を引き出すのに適しているからである。しかも、反応機構に相対論的インパルス近似(RIA)を用いることが可能なエネルギーにあり、比較的シンプルに反応を記述することができるという利点がある。

実験データは、大阪大学核物理研究センターにあるリングサイクロトロン実験施設において測定された。 ^{58}Ni , $^{204, 206, 208}\text{Pb}$ を実験標的とし、295 MeVの偏極陽子ビームを使って、弾性散乱の微分断面積と偏極分解能を広い角度範囲にわたって測定した。高分解能磁気スペクトロメーターを駆使することにより、バックグラウンドがほとんどない高精度の測定に成功した。

このエネルギーにおける陽子と原子核との弾性散乱を記述するうえで必要となる、陽子と原子核内の核子との有効相互作用については、その構造がよくわかっている ^{58}Ni 標的のデータを使って較正を行った。この原子核内有効相互作用は核子間の相互作用を担うメソンの質量と結合定数が密度に依存して変化するというものである。これによって較正された相互作用をPbアイソトープ標的の実験データ解析に適用することにより、 $^{204, 206, 208}\text{Pb}$ 標的について中性子密度分布の抽出を行った。陽子の密度分布については、電子散乱などによって測定されている電荷密度分布を使用した。本研究では、中性子密度分布を導くに当たり、実験データの持つ統計誤差のみならず、理論的な枠組みの不定性によってもたらされる系統的な誤差についても、新たに解析手法を考案して評価を行ったところに特徴がある。理論的なモデルの不定性は、特にハドロン反応を用いる際にはこれまでも常に問題になってきたにもかかわらず、評価が困難であることもあって従来考慮されることはなかったものである。今回得られた高精度で広い運動量移行範囲をカバーした散乱データによって初めて可能となった。

結果として、鉛アイソトープの中性子スキン厚をそれぞれ、 $\Delta r_{np} = 0.178_{-0.059}^{+0.047} \text{ fm}$ (^{204}Pb), $0.180_{-0.064}^{+0.048} \text{ fm}$ (^{206}Pb), $0.211_{-0.063}^{+0.054} \text{ fm}$ (^{208}Pb) と求めることに成功した。誤差は、理論モデルの不定性まで考慮した誤差であり、従来より誤差を低減することができた。これらの値は、核物質の対称エネルギーとその密度依存項と深く結びついており、中性子星などの高密度核物質の状態方程式を決定するための重要な情報を与える測定結果となっている。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成23年1月17日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降