

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05105

研究課題名(和文) 固体水素と不安定原子核ビームの散乱による錫132の陽子・中性子分布の測定

研究課題名(英文) Measurement of proton- and neutron-density distributions for Tin 132 with the scattering between solid hydrogen and unstable nuclear beam

研究代表者

坂口 治隆 (Sakaguchi, Harutaka)

大阪大学・核物理研究センター・協同研究員

研究者番号：30025465

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：不安定核ビーム用に開発した大面積(直径32mm)の1mm厚の固体水素シートに200A(Aは質量数)MeVのSn132不安定核ビームを照射して、陽子弾性散乱を逆運動学法で測定した。測定は成功し、現在解析中である。この結果と次回に測定予定の300A MeVの実験結果と合わせて解析することで陽子・中性子分布が独立に求める予定である。その解析方法の準備として、安定核であるZr90の陽子弾性散乱をEp=200、300MeVで測定し陽子分布と中性子分布を独立に抽出してみたところ、得られた陽子分布は電子散乱から抽出したものと実験誤差の範囲内で一致することを確認できた。Sn132での結果が期待される。

研究成果の概要(英文)：Elastic scattering of Sn132 beam from a large and thin (32 and 1mm in thickness) solid hydrogen target was measured successfully at 200A (A: mass number of the beam) MeV at RIBF. Data reduction and the analysis are now in progress. We plan to deduce proton and neutron density distributions simultaneously by analyzing both of the 200A and the next 300A measurements. In order to confirm the correctness of our method, we measured proton elastic scattering at RCNP from Zr90 at Ep=200 MeV and 300 MeV and tried to deduce both proton and neutron density distributions. The deduced proton density distribution of Zr90 was found to be consistent with the one obtained from the charge distribution by the electron scattering experiment. We have developed a new Xe-gas scintillator for the next 300A MeV Sn132 beam measurement and are waiting for the beam time at RIKEN.

研究分野：原子核物理学実験

キーワード：solid hydrogen target proton scattering unstable nuclei intermediate energies proton densities neutron densities elastic scattering

1. 研究開始当初の背景

核子あたりのエネルギーが 200MeV—800MeV の中間エネルギー陽子弾性散乱はインパルス近似でかなりよく記述できることが知られている。このインパルス近似に現象論的な核内媒質効果を導入することで Hintz et al. は非相対論的取り扱い方で Los Alamos の 650MeV の実験(引用文献①)を、Sakaguchi et al. は相対論的取り扱い方で RCNP での 200, 300, 400 MeV の実験(引用文献②)で陽子弾性散乱を偏極現象まで詳細に説明できることを示した。その応用として安定核では陽子分布が電子散乱の測定で予め分かっているので、陽子散乱からは核内の中性子分布が求められることを示した(引用文献①、引用文献③)。しかし不安定核領域では当面電子散乱実験が不可能でこれまでの陽子弾性散乱の方法では陽子分布と中性子分布を分離できず解決すべき大きな課題となっていた。不安定核では陽子と中性子分布が大きく異なることが期待されているのでさらに問題は深刻である。

2. 研究の目的

この現状を打破するために、本研究ではインパルス近似が適用できる 200MeV と 300MeV の両方で陽子弾性散乱を測定し同時に解析することで、陽子、中性子分布を分離して抽出する方法を提案した。そのためには安定核で抽出方法を確立し、不安定核で実際に密度分布を分離して抽出してみせることを目的としている。中間エネルギー、特に陽子エネルギーが 100MeV から 300MeV では核内で陽子が感じるポテンシャルは引力から斥力へと形まで含めて大幅に変化するので核の内部まで陽子、中性子分布の違いを調べるのに適していると思われる。

3. 研究の方法

(1) 第一段階

まず、電子散乱で陽子分布がよくわかっている安定核のジルコニウム (Zr) 90, 92, 94 で陽子弾性散乱を 200MeV, 300MeV で測定し、陽子弾性散乱のデータだけから陽子分布、中性子分布を自由に変化させて実験を説明する最適解をそれぞれ求める。得られた陽子分布を電子散乱から得られたものと比較して、実験誤差の範囲内で一致することをまず確認しなければならない。

(2) 第二段階

次に、不安定核の錫 132 ビームを用いて核子あたり 200MeV と 300MeV で測定を行い、2つのエネルギーでの測定結果を合わせて解析する。錫 132 のような本格的な中間エネルギー重イオンの測定は未だ我々が経験したことのない初めての領域なので、新たな課題を克服するための準備も必要なので、200MeV, 300MeV の測定は時期を離して実施し、不測の事態に対応する。

4. 研究成果

(1) 中間エネルギー陽子弾性散乱をエネルギー的に大きく離れた2点で測定することで、陽子分布と中性子分布を抽出できることはすでにシミュレーションでは示されていたが、実際の測定実験では未だ示されていない。そこで電子散乱による電荷分布が精度よく求められている代表的な原子核である Zr90 で $E_p=200\text{MeV}$, 300MeV の偏極陽子弾性散乱を測定し、陽子分布と中性子分布を独立に自由に変化させて散乱を説明する最適な陽子、中性子密度分布を求めてみた。図1に測定した Zr90 からの陽子弾性散乱の角度分布と偏極分析能 (Analyzing Power) を 200MeV と 300MeV で測定した結果を示す。図1にはさらに Ni58 の 200MeV での測定結果と核内媒質効果を現象論的にサーチした結果を黒の実線で示している。また、図1の赤線は Murdock Horowitz モデル(引用文献④)の計算結果である。Zr90 の赤線は同じく Murdock Horowitz モデルの結果で陽子分布、中性子分布は相対論的ハートレー近似の計算値を用いている。Zr の黒の実線は陽子分布と中性子分布を同時に最適化して得られた最終結果である。

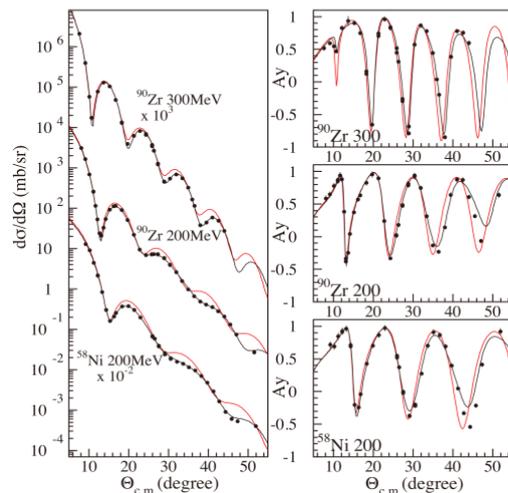


Fig. 1 Zr90 の陽子弾性散乱および Ni58 の 200 MeV 陽子弾性散乱の測定値および解析結果 (引用文献⑤)

実験結果の解析から得られた陽子・中性子の密度分布を図2に示す。赤の一点鎖線が最適な陽子の密度分布でそれを囲む赤の実線が誤差の範囲を示している。赤の一点鎖線のそばに赤の破線があるがこれは電子散乱実験から抽出した陽子分布である。実験誤差の範囲内で陽子散乱から得られた陽子分布と電子散乱から得られたものが一致していることがわかる。図2で青の一点鎖線は中性子分布の最適な密度分布で青の実線は実験誤差の範囲を示している。すなわち安定核では精度よく陽子弾性散乱を 200MeV と 300MeV で測定すれば陽子分布と中性子分布を独立に求めることができることが判明した(引用文献⑤)。 次の課題は統計誤差の比較的大きい

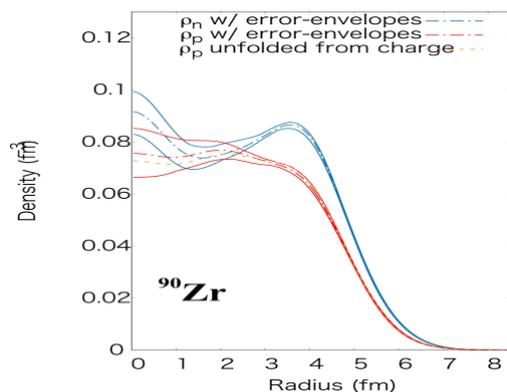


Fig.2 200, 300 MeV 陽子弾性散乱の解析より得られた陽子(赤一点鎖線)、中性子(青一点鎖線)密度分布。赤の破線は電子散乱から得られた電荷分布より求められた陽子密度分布。青、赤の実線はそれぞれ密度分布の誤差の範囲を示す。(引用文献⑤)

不安定核の実験結果を用いて、陽子、中性子分布がどこまで精度よく求まるかである。

(2) 不安定核の陽子弾性散乱を系統的に測定するには、これまで測定のための準備期間が3ヶ月近く必要であったのを1週間程度まで大幅に短縮して実施し、より高頻度に各種不安定核の測定を繰り返す必要がある。そこで予め移動できる架台の上に測定装置を設置して、測定装置を稼働状態にしたままビームコース上に移動できるレール装置(図3参照)を理研 RIBF 棟内の F12 コースに新設した。



Fig.3 レール装置に設置された不安定核弾性散乱測定装置(ESPRI)——F12 コース

(3) この装置を用いて核子あたり 200 MeV の錫 132 ビームによる陽子弾性散乱測定を2016年4月から5月にかけて実施し、成功した。測定結果は現在解析中である。この実験結果と、次に予定されている核子あたり 300MeV の錫 132 ビームの測定結果を合わせて理論解析することで、錫 132 の陽子分布と中性子分布が求まる予定である。残念ながら

加速器の運転スケジュールの都合で核子あたり 300MeV の測定は未だ実現していない。その間に核子あたり 200MeV の実験の際に問題になっていたビーム測定用の検出器の改良に成功した。これまでプラスチックシンチレーターをビーム検出用に使用していたが、核子あたり 200MeV, 300MeV というエネルギーの重イオンで錫のように電荷数が大きくなるとシンチレーター内のエネルギー損失が多くなり、放射線損傷のために検出器が焦げてしまい 30 分ほどで使用不能になる。これを回避するために高圧 Xe-ガスシンチレーターの新たな開発に成功した(学会発表⑤)。300MeV の測定ではこのガス検出器を使用する予定である。

<引用文献>

- ① V.E. Starodubsky and N.Hintz et al., Phys. Rev. C49 (1994) 2118
- ② H.Sakaguchi et al. , Phys. Rev. C57(1998)1749
- ③ J. Zenihiro, H. Sakaguchi et al., Phys. Rev. C77 (2008) 024317
- ④ C. Horowitz, Phys. Rev. C31(1985) 1340
- ⑤ H. Sakaguchi and J. Zenihiro, Progress in Particle and Nuclear Physics 97 (2017) 1

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① H.Matsubara, A. Tamii, H. Sakaguchi et al., Non quenched isoscalar Spin-M1 Excitations in sd-Shell Nuclei, Physical Review Letters 115 (2015) 102501
DOI: 10.1103/PhysRevLett.115.102501
- ② W.W. Qu, G.L. Zhang, I. Tanihata, H. Sakaguchi et al., Effects of repulsive three body force in 12C-12C scattering at 100A MeV, Physics Letters B 751(2015)1-6,
DOI:10.1016/j.physletb.2015.10.0108
- ③ D.T. Tran, H.J. Ong, I. Tanihata, H. Sakaguchi et al., Charge-changing cross section measurements of 12C-12C at around 45A MeV and development of a Glauber model for incident energies 10A-2100A MeV, Physical Review C 94 (2016) 064604
DOI: 10.1103/PhysRevC.94.064601

- ④ W.W. Qu, G.L. Zhang, S. Terashima, I. Tanihata, H. Sakaguchi et al., Repulsive three-body force and channel coupling effects via ^{12}C - ^{12}C scattering at 100A MeV, Physical Review C 95(2017)44616, DOI:10.1103/PhysRevC.95.044616
- ⑤ L. Yu, S. Terashima, H.J. Ong, I. Tanihata, H. Sakaguchi et al., Multi-layer plastic scintillation detector for intermediate- and high-energy neutrons with n- γ discrimination capability, Nuclear Instruments and Methods A 886(2017) 118-128, DOI:10.1016/j.nima.2017.05.044
- ⑥ H. Sakaguchi and J. Zenihiro, Proton elastic scattering from stable and unstable nuclei—Extraction of nuclear densities, Progress in Particle and Nuclear Physics, 97(2017)1-52, DOI:10.1016/j.ppnp.2017.06.001

[学会発表] (計 5 件)

- ① D.T. Tran, I.Tanihata, H.J. Ong, H. Sakaguchi et al., Feasibility of using Glauber model to determine proton distribution radii of neutron rich carbon isotopes via charge changing cross section at 50A MeV, 日本物理学会 2016 年 3 月発表
- ② P.Y. Chan, L.Yu, S. Terashima, H.J. Ong, H. Sakaguchi et al., Neutron detectors for (p,dN) experiment, 日本物理学会 2016 年 3 月発表
- ③ 松田洋平、坂口治隆、銭広十三、寺嶋知他 3 名、偏極陽子弾性散乱のための炭素 14 標的の開発、日本物理学会 2017 年 9 月発表
- ④ 松田洋平、坂口治隆、銭広十三、寺嶋知他 3 名、炭素 14 偏極陽子弾性散乱実験の現状、日本物理学会 2018 年 3 月発表
- ⑤ 原田智也、銭広十三、坂口治隆、松田洋平 他 7 名、大強度重イオンビーム用の Xe-ガスシンチレーション検出器の開発 日本物理学会 2018 年 3 月発表

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者
坂口 治隆 (SAKAGUCHI, Harutaka)
大阪大学核物理研究センター・協同研究員
研究者番号：30025465

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
松田 洋平 (MATSUDA, Youhei)
東北大学サイクロトロン RI センター・助教
研究者番号：50569043

銭広 十三 (ZENIHIRO, Juzo)
理化学研究所仁科加速器センター・研究員
研究者番号：70529057

(4) 研究協力者
川畑 貴裕 (KAWABATA, Takahiro)
古野 達也 (FURUNO, Tatsuya)
津村 美保 (TSUMURA, Miho)
村田 求基 (MURATA, Motoki)
平郡 克吉 (HEGURI, Katsuyoshi)
原田 知也 (HARADA, Tomoya)