

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月18日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540303

研究課題名（和文）中間エネルギーNi 不安定核ビームと固体水素との散乱による核密度分布の測定

研究課題名（英文）Measurement of nuclear density distributions by the scattering of unstable Ni nuclear beam at intermediate energy with solid hydrogen

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

研究成果の概要（和文）：これまで大阪大学核物理研究センターや放射線医学総合研究所での実験で我々が培ってきた陽子弾性散乱から原子核の密度分布を抽出する方法を応用して、ドイツ重イオン公社(GSI)で本格的な不安定核である Ni-66,70 の中間エネルギー陽子弾性散乱実験を挙行し、測定に成功した。日本より1トンに及ぶ検出器群や固体水素生成装置を GSI に輸送して、重イオンシンクロトロンで生成された不安定核ビームとデータ収集回路群を使用して実験を行った。実験終了後装置、データは日本に持ち帰り、データ整理、解析を行い、一部2012年3月の学会発表にこぎつけた。

研究成果の概要（英文）：We have been developing a new method to deduce nuclear densities by using the intermediate proton scattering at RCNP, Osaka University and HIMAC in Chiba, Japan. By applying our method to medium weight nuclei like Ni-66,70, we have successfully performed measurements of elastic proton scattering at GSI, Germany, using the unstable nuclear beam of 300 MeV/A from the heavy ion synchrotron. For the experiment we used the detector system and solid hydrogen generator, total weight of 1 ton, from RIKEN and DAQ system of GSI. After the measurement the equipments have been returned to RIKEN and the data reduction and the analysis are in progress. Last March this year preliminary results are reported at the meeting of Japanese Physical Society in Kobe.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子、原子核、宇宙線、宇宙物理

キーワード：不安定核ビーム、中間エネルギー陽子弾性散乱、固体水素標的、原子核の密度分布、ニッケル不安定核

1. 研究開始当初の背景

(1) 大阪大学核物理研究センターでの陽子エネルギー300 MeVでの弾性散乱の研究で原子核の密度分布が抽出できるようになった。

(2) 安定核では電子散乱より陽子分布がわかるので、陽子散乱では原子核の密度分布、

特に中性子密度分布が抽出される。

(3) この方法を不安定核に適用することで、これまで実験から求めることの出来なかった不安定核の核子密度分布を求めようと我々は理研で陽子弾性、非弾性散乱測定装置である反跳陽子スペクトロメーターの開発を行って

きた。

(4) 反跳陽子スペクトロメーターのテスト実験を兼ねて、放射線医学総合研究所の重イオンシンクロトロンからのビームを用いて ^{18}O , $^{9,10,11}\text{C}$ 核子当たり 300MeV ビームによる陽子弾性散乱の測定に成功した。

(5) これは中間エネルギー不安定核ビームでの初めての陽子弾性散乱測定になる。

2. 研究の目的

(1) 大阪大学核物理研究センターでの偏極陽子ビームを用いた中間エネルギー陽子弾性散乱で原子核の中性子分布が精密に抽出できることが分かってきた。

(2) この方法を不安定核に適用してこれまで測定されることのなかった不安定核の領域で基底状態の密度分布を測定して、基底状態の波動関数の情報を得ることが目的である。

(3) 不安定核の場合は、原子核の密度分布が極端に変化しているものがかかり見られると推定されているので、この実験方法と解析方法が確立すればその意義は大きい。

(4) 放射線医学総合研究所での不安定核実験は質量数 20 以下の軽い原子核が中心であった。GSI での実験は質量数が 60 以上の典型的な原子核であり、我々が開発してきた解析モデルがうまく適用できる領域である。従って、正確な密度分布が得られることが期待されている。

(5) 不安定核の場合は電子散乱実験が行えないので、陽子散乱で陽子の密度分布と中性子密度分布を何とか区別して情報をえることができないかを模索することも目的である。

3. 研究の方法

(1) 安定核の場合には陽子ビームを用いて固定標的からの散乱を磁気スペクトロメーターで散乱の角度分布を測定する。しかし不安定核の場合には固定標的が用意できないので、ビームと標的を逆にして、不安定核ビームと固体水素との弾性散乱を測定することになる。

(2) この様な逆運動学の測定の場合は、弾性散乱を測定するには標的となっている水素の反跳を検出する方が易しい。その為に反跳陽子測定専用のスペクトロメーターを開発してきた。

(3) 反跳陽子スペクトロメーターのテストと開発は放射線医学総合研究所の重イオンシンクロトロンからのビームで成功したのでこの総重量 1 トンほどの装置をドイツ GSI に輸送して実験を行った。

(4) GSI の重イオンシンクロトロンからのクリプトンビームをベリリウム標的で破碎反応を起こさせ、 ^{70}Ni , ^{66}Ni ビームを生成して実験に使用した。

(5) ポリエチレン標的に比べて、バックグラウンドを下げた測定効率を 10 倍ほど上

げるため大面積 (直径 30mm) で 1mm の厚さの固体水素標的を開発し、実験に使用した。

(6) 反跳陽子の測定には運動学効果大きいので、エネルギー分解能を上げるために、散乱角度を高精度で測定する必要がある。不安定核の陽子弾性散乱の測定にはドリフトチェンバー、プラスチックシンチレーター、カロリメーターとして NaI(Tl) シンチレーターを使用した。

(7) 不安定核ビームの強度は非常に少ないので大立体角の検出器を準備して、必要な角度領域を同時に測定することになる。

(8) 弾性散乱と非弾性散乱を区別するためにエネルギー高分解能の測定が要求され、入射不安定核ビームのエネルギーもタギングして測定する必要がある。

(9) このような複雑な測定器系を使用するのでデータ整理には注意深さと時間を要する。

(10) 得られた散乱の角度分布を相対論的インパルス近似による核子密度分布を比較することにより密度分布に関する情報をえることができる。今回の測定の場合は原子核の質量数が 66, 70 と大きいので相対論的インパルス近似で散乱をうまく近似していると期待されているので、角度分布が正確に出れば密度分が抽出される。

4. 研究成果

(1) 測定は 2010 年 3 月-4 月に行われ、無事に成功した。

(2) 測定の本を握ったのが、大面積で薄い固体水素標的である。この実験のために直径 30mm, 厚さ 1mm の固体水素標的の開発に成功した。通常の水素では固体にした際に熱伝導が悪く、輻射による加熱に負けてしまい液体に戻ってしまうという問題に突き当たった。この困難をパラ水素の固体水素を作製することで熱伝導を 2 桁上げることに成功し、目的とする大面積で 1mm 厚の標的で測定することに成功した。

(3) 不安定核ビームのエネルギーはばは広いので、エネルギー分解能を上げるために、ファイバーシンチレーターでビーム粒子毎に運動量を高速に測定することに成功した。

(4) データ整理がようやく終了し、2012 年 3 月に開催された日本物理学会で実験結果を発表する段階にこぎつけた。現在断面積の絶対値の吟味等を行っており。間もなく理論解析に移れる段階である。

(5) 理論解析用のコードは安定核用のものを不安定核の実験と並行して開発してきた。不安定核でもそのまま利用できる所以解析にはそれほど時間は要しないと考えている。

(6) この実験と並行して安定核での解析も行ってきたが、そのなかで複数の中間エネルギーで陽子散乱を測定することで陽子分布と

中性子分布を独立に抽出できることに気付いた。現在それ実証する実験を提案中である。

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 10 件)

- ① Matsubara, H.Sakaguchi, A.Tamii 他(2 番目 4 名)、
Self-supporting sulfur target for charged particle irradiation, Nuclear Instruments and Method in Physics Research, 査読有, 267 巻, 2009, 3682-3687
- ② B. K. Nayak, U. Garg, H.Sakaguchi 他(15 番目 23 名)、
Direct proton decay of the isoscalar dipole resonance in 208Pb, Physics Letters B, 査読有, 674 巻, 2009, 281-285
- ③ M. Hunyadi, U. Garg, H.Sakaguchi 他(16 番目 20 名)、
Proton decay from isoscalar giant dipole resonances in 58Ni, Physical Review C, 査読有, 80 巻, 2009, (044317-1)-(044317-7)
- ④ A. Tamii, Y. Fujita, H.Sakaguchi 他(20 番目 28 名)、
Measurement of high energy resolution inelastic proton scattering at and close to zero degrees, Nuclear Instruments and Method in Physics Research A, 査読有, 605 巻, 2009, 326-338
- ⑤ T. Li, U. Garg, H.Sakaguchi 他(21 番目 27 名)、
Isoscalar giant resonances in the Sn nuclei and implications for the Asymmetry term in the nuclear matter incompressibility, 査読有, Physical Review C, 81 巻, 2010, (044315-1)-(044315-11)
- ⑥ Y. Yasuda, H.Sagaguchi 他(2 番目 22 名)、
Spectroscopic factors and strength distributions for the deeply bound orbital's in 40Ca obtained from the (p, 2p) reaction at 392 MeV, Physical Review C, 査読有, 81 巻, 2010, (044315-1)-(044315-11)
- ⑦ J. Zenihiro, H.Sakaguchi 他(2 番目 11 名)、
Neutron density distributions of 204,

206, 208Pb deduced via proton elastic scattering at $E_p=295$ MeV, Physical Review C, 査読有, 82 巻, 2010, (044611-1)-(044611-10)

- ⑧ Y. Matsuda, H.Sakaguchi 他(2 番目 15 名)、
Large, thin solid hydrogen target using para-H₂, Nuclear Instruments and Method in Physics research, 査読有, A643 巻, 2011, 6-10
- ⑨ Y. Matsuda, H.Sakaguchi 他(5 番目 10 名)、
Scintillating fiber detector for momentum tagging light unstable nuclei at intermediate energies, Nuclear Instruments and Method in Physics research, 査読有, A670 巻, 2012, 25-31
- ⑩ A. Tamii, H.Sakaguchi 他(20 番目 37 名)、
Complete Electric Dipole Response and the Neutron Skin in 208Pb, Physical Review Letters, 査読有, 107 巻, 2011, (062502-1)-(062502-5)

[学会発表] (計 7 件)

- ① Y. Yasuda, H.Sakaguchi 他、
Measurement of deep hole states in 39K by 40Ca(p, 2p) reaction at 392 MeV, Third Joint Meeting the American Physical Society and the Physical Society of Japan, 2009. 10. 16, Hawaii USA
- ② Y. Maeda、
Measurement of pd breakup cross sections at $E/A=13$ MeV in the off-plane star configuration, 19th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics, 2009, Bonn Germany
- ③ Y. Maeda、
Study of the 1H(d, pp) and 2H(p, pp) breakup reaction in the off-plane star configuration at 13 MeV, Hawaii USA
- ④ 松田洋平、小林俊雄、坂口治隆他、
パラ固体水素標的の開発、日本物理学会秋季大会、2010. 9. 11, 九州工業大学
- ⑤ 内藤卓真、谷畑勇夫、坂口治隆他、
荷電変化断面積の測定による Be 同位体の陽子分布半径の研究、日本物理学会秋季大会、2010. 9. 13, 九州工業大学
- ⑥ 寺嶋知、銭廣十三、松田洋平、谷畑勇夫、前田幸重、坂口治隆他、
The measurement of proton elastic scattering from Ni isotopes in inverse

kinematics、日本物理学会年会、2012. 3. 25, 関西学院大学

- ⑦ 錢廣十三、坂口治隆他、
陽子弾性散乱でみる核子密度分布、日本物理学会年会、2012. 3. 25, 関西学院大学

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

前田 幸重 (MAEDA YUKIE)
宮崎大学・工学部・助教
研究者番号：50452743
(H21 まで分担者として参画)

(3) 連携研究者

谷畑 勇夫 (TANIHATA ISAO)
大阪大学・核物理研究センター・教授
研究者番号：10089873