
会場 F

素粒子実験領域, 実験核物理領域

F-6

複合核共鳴を用いた ^{113}Cd の (n, γ) 反応における P 波由来の γ 線測定

九大理^A, 名大理^B, 東工大理^C, 阪大 RCNP^D, JAEA^E 牧瀬 壮^A, 高田秀佐^A, 古賀淳^A, 吉岡瑞樹^A, 山本知樹^B, 石崎貢平^B, 遠藤駿典^B, 佐藤匠^B, 新實裕大^B, 藤家拓大^B, 清水裕彦^B, 広田克也^B, 北口雅暁^B, 谷結以花^C, 藤岡宏之^C, 吉川大幹^D, 嶋達志^D, 木村敦^E, 酒井健二^E, 奥平琢也^E

我々が観測しているこの宇宙は物質優勢で、自然界の反物質の数は物質の数に比べ非常に少ない。これを説明するには物質と反物質の生成、消滅間の確率差、即ち CP 対称性の破れ (CPT 不変性より時間反転対称性の破れと同等) の存在が必要である。CP 対称性の破れは中性 K 中間子や中性 B 中間子の崩壊により既に観測されているが、物質優勢宇宙を説明するには未だ不十分であり、未知の CP 非保存過程を探す必要がある。そこで、我々は複合核反応にて時間反転対称性の破れが増幅されることが理論的に示唆されていることに着目した。時間反転対称性の破れ探索を行うために、我々はその実験感度の指標となるパラメータの測定を様々な核種に対して行なっている。今回、新たに J-PARC MLF BL04 にて ^{113}Cd の (n, γ) 反応を測定した。本講演ではその測定結果について報告を行う。

F-8

ILC シリコン電磁カロリメータに用いる ASIC チップの選別

九大理^A, 九大 RCAPP^B 出口遊斗^A, 川越清以^A, 吉岡瑞樹^B, 末原大幹^A

国際リニアコライダー計画 (ILC) に導入予定の ILD 測定器では、タングステンを用いた吸収層とシリコンセンサーを用いた検出層を重ねた電磁カロリメータを採用することが検討されている。このうち、シリコンセンサーは、Particle Flow Algorithm と呼ばれるハドロンジェットの再構成法に対応するために、細かいピクセルに分割されており、各ピクセルからの信号を読み出すために SKIROC2 と呼ばれる ASIC を用いる。現在使用している ASIC は、フランスの IN3P3/Omega グループが開発した SKIROC2 をアップデートした SKIROC2A と呼ばれるバージョンのものであり、これを用いて検出層部分のプロトタイプの開発を行っている。本講演では、検出層のプロトタイプを作成するにあたって行った、SKIROC2A チップの性能評価と、実装を行うチップの選別についての報告を行う。

F-9

PANDORA 検出器を用いた ^{11}Li におけるガモフ・テラー遷移の研究

Center for Nuclear Study (CNS)^A, RIKEN Nishina Center^B, Peking University^C, Kyushu University^D, Horia Hulubei National Institute of Phys^E, LPC CAEN, ENSICAEN^F, Rikkyo University^G, Ewha Womans Unive^H, ATOMKI, Institute for Nuclear Research, ^I, Toho University^J, KVI - Center for Advanced Radiation Tech^K, Tohoku University^L, Tokyo Institute of Technology^M, University of Tokyo^N, CEA, Universit é Paris-Saclay^O Stuhl Laszlo^A, Sasano Masaki^B, Gao Jian^{B,C}, Hirai Yuma^D, Yako Kentaro^A, Wakasa Tomotsugu^D, Ahn Deuk Soon^B, Baba Hidetada^B, Chilug Alexandra^{E,B}, Franchoo Serge^F, Fujino Yusuke^G, Fukuda Naoki^B, Gibelin Julien^F, Hahn Insik^H, Halasz Zoltan^I, Harada Tomoya^{J,B}, Harakeh Muhsin^K, Inomoto Daiki^D, Isobe Tadaaki^B, Kasahara Hina^D, Kim Dahee^H, Kiss Gabor^I, Kobayashi Toshio^{L,B}, Kondo Yosuke^M, Korkulu Zeren^B, Koyama Shunpei^N, Kubota Yuki^B, Kurihara Atsushi^M, Liu Hongna^O, Matsumoto Mayuko^M, Michimasa Shinichiro^A, Miki Hareru^M, Miwa Midori^B, Motobayashi Tohru^B, Nakamura Takashi^M, Nishimura Mizuki^B, Otsu Hideaki^B, Panin Valerii^B, Su-yeon Park^H, Saito Atusmi^M

近年 RI ビームの発達により、不安定核の研究を行えるようになってきた。不安定核では、安定核で見られなかった性質を示すことがある。その一つに中性子ハロー核というものがある。ハローとは、芯となる核の周りに中性子が雲のように広がっている状態である。それゆえハロー核での反応は、中性子物質に近い応答が期待される。

一方中間エネルギー (200MeV 程度) の (p, n) 反応は、原子核の励起状態を調べるのに非常に有効な手段である。特にガモフ・テラー (GT) 遷移は角運動量を変えず、スピン・アイソスピンを変化させる最も単純な過程であるため、核のスピン・アイソスピン励起の研究にしばしば用いられている。

この二つを合わせた中性子ハロー核における (p, n) 反応は、中性子物質に近い物質のスピン・アイソスピン励起を調べることができる。今回の実験では、中性子ハロー核として知られる ^{11}Li の RI ビームを用いて、逆運動学条件で実験を行なった。

F-10

波形弁別による粒子識別と重陽子分解反応による中性子生成の研究

九大理^A 若狭智嗣^A, 大城久典^A, 後藤秀兵^A, 密本晋治^A, 猪野元大樹^A, 笠原妃奈^A, 平位勇磨^A,
坂木重仁^A, 濱野友哉^A, 東聖人^A

近年、医療・工業等の様々な分野において、加速器を用いた (d,n) 反応による中性子ビームが盛んに利用されている。陽子ストリッピング反応が主となるため、必要な中性子エネルギーの約倍の重陽子ビームが必要となるが、基礎となる断面積のデータは 50 MeV 以上で不足している。我々のグループでは、56 MeV の重陽子ビームを用いて (d,n) 反応を研究している。これまで、有限角度での 2 階微分散断面積が標的の幾何学的断面積に比例する事を明らかにしている。今回、断面積が最大となる 0 度の断面積を測定することにより、共鳴状態等のエネルギー分布への寄与について明らかにする。また、ビームが止まる程度に厚い標的のデータも併せて取得する。この場合、単純には中性子の生成量は標的種に依存しない事が期待される。しかしながら、既存のデータは系統誤差が大きく、標的依存性も相互に矛盾している。そこで我々は、薄い標的と厚い標的を同一測定系で測定することで系統誤差を抑え、中性子生成量の標的種依存性も明らかにする。実験は、阪大 RCNP のサイクロトロン施設において行った。(d,n) 反応により生じる中性子は、100 m の中性子飛行トンネル内に設置した一次元位置感応型中性子検出器 (PANDORA) により検出し、その飛行時間からエネルギーを求めている。さらに検出器からの信号波形の違いを用いて、中性子とガンマ線の識別も行っている。本発表では、(d,n) 反応による中性子エネルギー分布の標的種 (質量数)・標的厚・角度依存性のデータを示すと共に、反応のモデルと比較する。

F-11

J-PARC/BL05 における中性子寿命測定実験：現状とアップグレード

九大理^A, 九大 RCAPP^B, 東大素セ^C, 東大理^D, 名大理^E, 名大 KMI^F, 京大化研^G, JAEA^H, INFN-Geneva^I, 高工研^J, 京大理^K, 筑波大^L, 阪大 RCNP^M, 東大総合文化^N 上原英晃^A, 広田克也^E, 猪野隆^J, 岩下芳久^G, 北口雅暁^F, 三島賢二^J, 長倉直樹^D, 中野祐輔^E, 生出秀行^I, 岡部宏紀^E, 音野瑛俊^B, 關義親^H, 清水裕彦^E, 角直幸^A, 竹谷薫^J, 富田龍彦^A, 山下了^C, 吉岡瑞樹^B, 家城齊^D, 北原龍之介^K, 古賀淳^A, 森下彩^A, 関場大一郎^L, 嶋達志^M, 角野浩史^N, 山田崇人^D, 横橋麻美^K

中性子は原子核中では安定しているが、自由な中性子は 900 秒弱の寿命で陽子へと β 崩壊を起こすことが知られている。この寿命の値はこれまで 2 つの方法で測定されてきた。一つが中性子を貯蔵し崩壊せずに残った中性子を数える貯蔵法、もう一つが中性子ビームを容器に入射し崩壊して生成された陽子を数えるビーム法である。しかし、これらの方法による結果の間には 8.4 秒 (4.0σ) の差異が生じている。そこで、我々は陽子ではなく電子を測定するビーム法による測定を J-PARC MLF BL05 にて行っている。今回の講演では、2014 から 2017 年に取得したデータについての結果を紹介する。また、この J-PARC での中性子寿命測定では現在もデータ取得を行っているが、目標とする 1 秒精度の結果に向けてアップグレードを行う必要がある。その一例として、中性子ビーム大強度化と低ガス圧運転が挙げられる。これらのアップグレードについても講演を行う。

F-12

ガス検出器とソレノイド磁石を用いた中性子寿命の精密測定実験：宇宙線検出器のシミュレーションと製作

九大理^A, 九大 RCAPP^B, 高エ研^C 永野智也^A, 角直幸^A, 上原英晃^A, 牧瀬壮^A, 音野瑛俊^B, 吉岡瑞樹^B, 三島賢二^C, 槇田康博^C

我々は中性子寿命の精密測定実験を行なっている。中性子は原子核中ではほとんど崩壊しないが、単独では 900 秒弱で崩壊することが知られている。これまで大きく分けて 2 つの方法で中性子の寿命が測定されてきた。1 つは、中性子を容器に貯蔵し、一定時間後に崩壊せず残った数を数える貯蔵法、もう 1 つ中性子ビーム中の崩壊した陽子数を数えるビーム法である。しかし、2 つの実験結果には、8.4 秒 (4.0 σ) の乖離が生じている。そこで我々は、これら 2 つとは違う電子を測定するビーム法の実験を J-PARC MLF BL05 で行なっている。この手法では、中性子由来の γ 線が出した電子を背景事象として取り除く事が、精度向上のために最も重要な factor となっている。この事象は、ビーム軸上で起こる β 崩壊で生成される電子と異なり、主に検出器壁面で起こる。効率的にこの事象を排除するため、ビーム軸に沿ったソレノイド磁場をかけて、新たな実験を行うことを検討している。実験の準備として、現在は宇宙線 Veto Counter のシミュレーションと製作を行なっており、本講演では、この 2 つについて報告する。

F-13

九州大学タンデム加速器における ToF-ERDA 法の開発

九州大学実験核物理研究室^A 坂東慶伍^A, 藤田訓裕^A, 坂口聡志^A, 郷慎太郎^A, 庭瀬暁隆^A, 齋藤堯夫^A, 真部健太^A, 末川慶英^A, 白坂和也^A, 森田浩介^A

超重元素探索実験では合成された超重元素とその他の粒子とを識別するために飛行時間測定検出器 (Time-of-Flight: ToF 検出器) が用いられている。ToF 検出器は、測定したい方向に対して二台設置し、粒子が膜を通過した際に放出される二次電子をタイミングとして使用する。その二台の時間差から速度の情報が得られる。我々は九州大学で使用するための ToF 検出器の開発を行っている。また、ToF 検出器を用いた実験の応用例として、物質の表面分析を行う ToF-ERDA (弾性反跳検出分析) がある。この手法では物質の深さ方向に対する元素組成を導出することが可能であり、表面に付着した不純物などを分析することができる。我々のグループでは九州大学タンデム加速器を用い、ToF-ERDA 法の開発を行っている。本講演では我々が製作した ToF 検出器の原理やシミュレーションの結果を紹介し、超伝導体 YBCO を標的にした ToF-ERDA 実験の結果について報告する。

F-14

7Li+51V 反応系における光学ポテンシャルの実験的決定

九大理^A 真部健太^A, 坂口聡志^A, 藤田訓裕^A, 郷慎太郎^A, 足立智^A, 田中聖臣^A, 鷲山 広平^A, 齋藤亮夫^A, 坂東慶伍^A, 白坂和也^A, 末川慶英^A, 内藤夏樹^A, 平川貴啓^A, 村上郁斗^A, 森田浩介^A

我々、九大実験核重元素グループは原子番号 119 番以降の新元素合成を目指し、原子核融合をメインテーマとした核反応機構の研究をしている。原子核融合反応には複数の反応過程が存在する。融合過程における最初の段階が捕獲過程である。捕獲過程には競合過程として準弾性散乱が存在している。捕獲反応の断面積は準弾性散乱の断面積に比べて桁違いに小さく、エネルギーに非常に強い依存性を示す。そのため、最適なエネルギーの決定が重元素合成において非常に重要である。入射エネルギーを決定する重要な情報が融合障壁分布である。これは準弾性散乱の測定結果から得られ、チャンネル結合計算と比較する。チャンネル結合計算には様々なパラメータを入力し、この中で重要なのが原子核間の相互作用を表す光学ポテンシャルであるが、重元素分野における光学ポテンシャルのパラメータは軽粒子領域からの経験則や外挿によってのみ決定されていた。九州大学での先行研究(7Li+51V 反応系における融合障壁測定)においても、光学ポテンシャルのパラメータも経験則に基づいたものであった。そこで九州大学のタンデム加速器にて同じ系の準弾性散乱測定より実験的に光学ポテンシャルを決定するのが今回の目的である。光学ポテンシャルの実験的決定には準弾性散乱の角度分布が必要となる。角度分布を得るにあたり、ビーム強度やプロファイルの不安定性による系統誤差を軽減し、また測定時間を短縮するため、複数角度を同時測定可能なシリコン検出器系を開発した。この検出器系はシリコン検出器を扇型に 10° 毎に 9 個配置し、前方散乱・後方散乱どちらの測定も可能になるように設計している。今回の発表では、7Li+51V の光学ポテンシャル決定をするための検出器系・実験の概要について紹介する。

F-15

ヘリウム 3 分解反応 (3He,n) の原子核依存性の研究

九大理^A 笠原妃奈^A, 若狭智嗣^A, 坂口聡志^A, 猪野元大樹^A, 平位勇磨^A

本実験では、 ${}^{\text{nat}}\text{C} \sim {}^{197}\text{Au}$ の 6 種の原子核標的に対し 87 MeV のヘリウム 3 ビームを照射し、 $({}^3\text{He}, n)$ 反応の二階微分断面積を測定した。ヘリウム 3 分解反応における、6 標的の幾何学的断面積に対する反応断面積の依存性、得られる中性子のピークエネルギーの標的依存性および ${}^3\text{He}$ 内での中性子のエネルギー分布の影響を理解することを目的とした。また、中性子の空気中での減衰効果、中性子検出効率の閾値依存性についても、シミュレーションと比較する。実験は大阪大学核物理研究センター(RCNP)の中性子実験室にて、ビーム・スインガーおよび 100 m の中性子飛行トンネルを用いて行った。 $({}^3\text{He}, n)$ 反応により放出された中性子は一次元位置感応型中性子検出器(プラスチック・シンチレータ)により検出し、飛行距離 60 m の飛行時間測定法で中性子の運動エネルギーを求め二階微分断面積を測定した。ピーク断面積については、標的の質量数 $A^{1.56/3}$ に比例する結果が得られた。これは、本来観測されるはずの中性子が標的に吸収された可能性が考えられる。ピークエネルギーについては、入射ヘリウム 3 エネルギーのおよそ 1/3 となること、さらに、質量数 A 増加に伴い、中性子のピークエネルギーが減少する結果が得られた。これはクーロン場によるヘリウム 3 の減速効果で定性的に理解された。

F-16

ガス検出器とソレノイド磁石を用いた中性子寿命の精密測定実験：検出器製作と性能評価

九大理^A, 九大 RCAPP^B, 高工研^C 角直幸^A, 上原英晃^A, 永野智也^A, 牧瀬壮^A, 音野瑛俊^B, 吉岡瑞樹^B, 三島賢二^C, 槇田康博^C

中性子寿命 $\tau = 880.2 \pm 1.0$ 秒 (PDG2016) は、素粒子・原子核分野や宇宙論の幅広い分野において重要なパラメータである。これまで大別して2種類の方法で測定されてきたが、それらの間には 8.4 秒 (4.0σ) の乖離が見られている。一方は、中性子を容器に溜め一定時間後に生き残った中性子を数える貯蔵法で、他方は中性子ビーム中の崩壊頻度を陽子から数えるビーム法である。そこで、ビーム法の中でも新たに J-PARC の物質・生命科学実験施設の BL05 で行っている。この手法では、中性子由来の γ 線が電子を発生する背景事象の排除が精度向上にとって最も重要な要素となっている。これらは、ビーム軸から発生する β 崩壊電子とは異なり主に壁面から発生するため、ビーム軸に沿ったソレノイド磁場を用いることで効率的に排除が可能である。ソレノイドとして、磁場強度や利用可能な内部空間の大きさの観点から、宇宙線反粒子観測の BESS 実験の予備機として作製された超伝導磁石の利用を検討している。この磁石をベースとして、内側に設置する Time Projection Chamber 検出器 (TPC) を製作した。高電圧印加試験と信号読み出し試験を行い製作した検出器の動作を確認した。本公演では検出器製作と評価試験について報告する。

F-17

COMET 実験の電磁カロリメータに用いる LYSO 結晶の性能評価

九大理^A, KEK^B, 阪大理^C, 九大 RCAPP^D 川島僚介^A, 上野一樹^B, 大石航^A, 川越清以^A, 久野良孝^C, 東城順治^A, 西口創^B, 橋下奨平^A, 藤井裕樹^B, 三原智^B, 宮崎祐太^A, 吉岡瑞樹^D

標準理論を超えた新物理の枠組みの中では荷電レプトンフレーバー保存則を破る過程が出現することが予想されており、その過程の一つとしてミューオン-電子転換過程がある。COMET 実験は J-PARC のハドロン実験施設で行う予定であり、その過程を第一段階では 10^{-15} 、第二段階では 10^{-17} の一事象発見感度で探索する実験である。本実験の電磁カロリメータは LYSO 結晶シンチレータと APD から構成されており、ミューオン-電子転換過程によって現れる 105MeV の単色電子を 5% 以下のエネルギー精度で検出し、トリガーを生成する。本検出器のプロトタイプ評価試験では 105MeV の電子に対して 4.2% のエネルギー精度であることが確認されている。

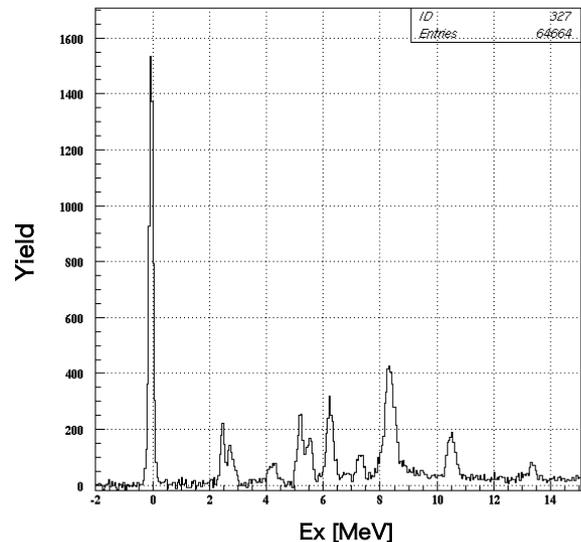
検出器に用いられる LYSO 結晶のさらなる選定が現在進行中である。新しい製品の分解能、減衰時間及び光量に関して旧製品との比較を行なっている。また、反射材の巻き方による減衰長の変化の研究も行なっている。本講演では、これらの LYSO 結晶の性能評価と性能比較の研究結果について報告する。

F-18

陽子ノックアウト (p,2p) 反応を用いた原子核の分光学的研究

九州大学大学院理学府物理学専攻^A, 九州大学大学院理学研究院^B, 東北大学大学院理学研究科^C, 宮崎大学工学教育研究部工学基礎教育センター^D 密本晋治^A, 若狭智嗣^B, 坂口聡志^B, 関口仁子^C, 前田幸重^D, 大城久典^A, 後藤秀兵^A

原子核内に存在する核子は、それぞれ固有の軌道・スピン角運動量を占めている。占有状態は独立粒子殻模型 (IPSM) によって説明されるが、現実には IPSM に取り込めていない核内に働く力、残留相互作用によって原子核内部は複雑な相関を持つことが知られている。我々は、原子核の内部構造を調査するための直接的方法の一つである核子ノックアウト反応によって核構造を調べる実験を行った。40Ca と 16O を標的に、196 MeV の偏極陽子による陽子ノックアウト反応から核内陽子の占有状態を調べることができた。本講演では、実験の手法について説明し、現段階の解析によって得られた残留核スペクトル (添付図) の離散ピークの微分断面積と偏極分解能を示し、それらの運動量依存から示唆されるスピン・パリティの報告を行う。



F-19

低エネルギー電子弾性散乱による陽子電荷半径測定実験のためのポリエチレン標的の作成

宮崎大学工学部^A, 東北大学電子光物理学研究センター^B 野中光太郎^A, 前田幸重^A, 清武修平^A, 須田利美^B, 本多佑記^B, 塚田暁^B

陽子の大きさ (電荷半径) は、電子散乱や水素分光、 μ 水素原子分光などの方法で測定されてきたが、それらの方法で決定された電荷半径は互いに一致せず、その原因は未だ明らかになっていない。我々の研究グループは東北大学電子光物理学研究センターの低エネルギー電子直線加速器を用いて、その特徴を最大限に利用した電子・陽子弾性散乱実験により、電子散乱としては最も信頼度の高い陽子電荷半径の決定を目指している。今回その低エネルギー電子散乱実験において要求されている標的は、厚さ約 100 μ m のシート状の高純度ポリエチレン (CH_2) 標的であり、また、その CH_2 標的中の C と H の比が 0.1 % の精度で測定されている必要がある。そこで我々はまず、一般的に入手できる CH_2 粉末中に不純物が含まれているかどうかを調べるため、フーリエ変換赤外線分光光度計 (FTIR) と CHN 元素分析装置を用いて CH_2 粉末の組成を測定した。FTIR 測定と CHN 測定では 0.1 % には届かなかったが 0.3 % の精度で C と H の重量比を測定することが出来た。シート作成に関しては、加圧式治具を用いてその CH_2 粉末を 150 $^{\circ}\text{C}$ 程度の温度で溶解して加圧することで厚さ 100 μ m の CH_2 シートの作成を試みた。当初、作製した CH_2 シートには気泡の発生や厚さが均一でないなどの問題が生じた為、加熱温度、スペーサーの厚さ等を変えながら、気泡のない厚さが一様な CH_2 標的シートの作成を目指した。加熱温度が 130 $^{\circ}\text{C}$ のときは気泡が多く発生していたが、より高熱量のリボンヒーターや断熱材等を用いて 150 $^{\circ}\text{C}$ 以上に加熱し、さらにスペーサー厚を作成する標的の厚さの 1/2 以下に変えたことで、気泡のない CH_2 シートを作成することが出来た。現段階では気泡のない厚さ約 1mm の CH_2 標的シートの作成に成功している。今後は 0.1 % の精度で C と H の比を測定する方法を模索すると共に、今回得られた情報を元にさらに薄い厚さの CH_2 標的を作成し、最終的には 100 μ m 厚の CH_2 標的を目指す。

F-20

ブラッグカーブ検出器の低エネルギー中重核に対する性能評価

九州大学^A 齋藤亮夫^A, 藤田訓裕^A, 坂口聡志^A, 郷慎太郎^A, 坂東慶伍^A, 真部健太^A, 白坂和也^A, 末川慶英^A, 森田浩介^A

現在、理化学研究所において 119 番新元素の合成実験が精力的に行われている。新元素合成の証明には合成した原子核 (合成核) の原子番号の同定が必要である。これまでは半導体検出器に埋め込んだ合成核の α 崩壊チェーンを順々に観測し、崩壊特性が既によく知られている原子核 (既知核) への到達を確認することで原子番号の同定が行われてきた。しかし 119 番を超える元素の合成ではこのチェーンが既知核に到達しない可能性があり、その場合はこの方法が適用できない。そこで当グループはこれに代わる方法として合成核のガス中における単位長さあたりのエネルギー損失 (ブラッグカーブ) を測定する方法を考えている。ブラッグカーブは元素の種類によって形が異なるので、これを測定することで原子番号の同定が可能であると考えている。そこで我々のグループはブラッグカーブ検出器を開発し、その性能評価を進めている。これまでに原子番号 $Z=6,8$ などの比較的軽い原子核を用いたテストを行っており、十分な原子番号識別能力を確認している。そこで、より重い原子核に対する性能を評価するために九州大学タンデム加速器施設にて原子番号 $Z=50-55,79$ の原子核を用いたテスト実験を行った。今回はその結果について報告する。