
会場 F

素粒子実験, 実験核物理領域

F-1 ソレノイド磁場を用いた中性子寿命測定実験

九大理^A, 高工研^B, 九大 RCAPP^C, 名大 KMI^D 谷田征輝^A, 市川豪^B, 音野瑛俊^C, 北口雅暁^D, 角直幸^B, 槇田康博^B, 松崎俊^A, 三島賢二^B, 吉岡瑞樹^C

中性子の寿命 (879.4 ± 0.6 秒) は素粒子物理学や宇宙論において重要なパラメーターの1つで、これまで大きく分けて2つの方法で測定されてきた。1つは中性子ビーム中で中性子が β 崩壊して出てきた陽子数を数えるビーム法、もう1つは中性子を容器に貯蔵し、一定時間後に中性子の残存数を数える貯蔵法である。しかしながら、これらの2つの実験結果には9.6 秒 (4.6σ) の乖離が生じている。そこでこれらの2つの手法とは別に、中性子が β 崩壊をして出てきた電子をガス検出器によって測定するビーム法の実験を J-PARC の MLF/BL05 で行っている。この実験では、ビーム軸上で発生する信号事象と、ガス検出器の動作ガスで散乱された中性子起因の背景事象と区別することが出来ない。そこで我々は、ソレノイド磁石を用いて中性子ビーム軸方向に磁場を印加することで、信号事象と背景事象そのものを分離できる新しい実験を行うことを計画している。本講演では、磁場を用いた実験の現状を報告する。

F-2

稀少 RI リングを用いた、中性子過剰核 ^{74}Ni の質量測定

九州大学 ^A, 筑波大学 ^B, 埼玉大学 ^C, 理化学研究所 ^D, IMP^E, JAEA^F, 東京大学 CNS^G, 京都大学 ^H
永田優斗^A, 長江 大輔^A, 山口 由高^D, Naimi Sarah^D, 阿部 康志^D, 神田 真矩^C, 大津 美沙紀^C, 関 響
咲^C, 篠崎 稔^C, 山口貴之^C, 鈴木 健^C, 要 直登^B, 矢野 朝陽^B, 森口 哲朗^B, 小沢 顕^B, 花井 周太郎^G,
堂園 昌伯^G, 大田 晋輔^G, 道正 新一郎^G, 洲崎 ふみ^F, 鈴木 伸司^E, 若杉 昌徳^H

宇宙における元素合成には、経路の異なる様々な合成過程が存在すると考えられている。その過程の1つである高速中性子捕獲過程 (r-process) は、連続的に中性子捕獲を繰り返した後、 β^- 崩壊を起こすことによって、鉄より重い元素の約半分を合成すると考えられている過程である。この過程では、中性子捕獲反応と光分解反応の反応速度が等しくなる滞留核が存在すると考えられている。この滞留核を決定することが、r-process 経路の解明や天体環境の特定に繋がる。滞留核を決定するには原子核の質量データが重要となる。理化学研究所の重イオン加速器施設 RI ビームファクトリーにある稀少 RI リングは、興味のある粒子を的確に入射できる個別入射方式と等時性磁場により、寿命が短い中性子過剰核の質量を高精度で測定できる装置であり、滞留核とその近傍にある原子核の質量測定に適している。質量はリング内の周期とその速度もしくは磁気剛性より導出する。本研究では、稀少 RI リングを用いて、滞留核近傍に存在すると考えられる ^{74}Ni の質量測定を行った。 ^{74}Ni は、 ^{238}U ビームと Be 標的を用いて生成し、フラグメントセパレータ BigRIPS にて他の核種から分離・精製した。 ^{74}Ni 粒子の速度や磁気剛性を BigRIPS で、周期を稀少 RI リングで測定した。現在は、速度情報を用いた解析手法と磁気剛性情報を用いた解析の2つの手法で、 ^{74}Ni の質量導出を行っている。本講演では、実験の概要と解析状況について報告する。

F-3

炭素 12 の逆運動学 α 非弾性散乱を用いたホイル状態の対崩壊分岐比測定方法の開発

九大理 ^A 中島優人^A, 寺西高 ^A, 後藤滉一 ^A, 松尾仁 ^A, 井元悠介 ^A, 小谷基樹 ^A, 松本悠椰 ^A, 田中久登 ^A

トリプルアルファ反応の反応率は、 ^{12}C の第二励起状態からの基底状態への崩壊幅 (放射崩壊幅) である Γ_{rad} の値に依存する。 Γ_{rad} は全崩壊幅 Γ , 対崩壊幅 Γ_{π} を用いると以下のように計算される。

$$\Gamma_{\text{rad}} = \Gamma - \Gamma_{\pi} \quad \Gamma_{\pi} = \Gamma_{\pi} \cdot \Gamma_{\pi}$$

(1) 本研究の目的はここで誤差の大きい Γ_{π} / Γ の精度を高めることである。そのため新たな実験手法として、陽子共鳴非弾性散乱 $^{12}\text{C}(p,p2)^{12}\text{C}^*$ を逆運動学で測定することを考えた。使用する加速器のエネルギーの制限から陽子標的ではなく α 標的を用いて、 ^{12}C ビームを He ガス標的に照射し、 ^{12}C が第二励起状態になった際の反跳 α 粒子を前方 0 度において半導体検出器で検出する。また、対崩壊により放出された電子・陽電子対を、標的を囲むプラスチック・シンチレーション検出器で検出する。本手法の利点には、0 度方向で α 粒子を検出することにより、標的周辺のシンチレーション検出器の形状が単純になり、検出効率の不定性が低減される点と、運動学的な集束効果により、逆運動学条件でない場合に比べて反跳粒子の統計量の増大が見込める点の2点が挙げられる。本研究では、新たな実験手法の検証として、対崩壊測定の実験セットアップを構築し、テストとして分岐比が 100

F-4

APD を用いた原子核反応実験用放射線検出器の開発

九大理^A 後藤滉一^A, 寺西高^A, 中島優人^A, 松尾仁^A, 井元悠介^A, 小谷基樹^A, 田中久登^A, 松本悠椰^A

増倍作用を持つアバランシェ・フォトダイオード (APD) は、放射線検出器としては、これまでおもにシンチレータ用の光検出器として用いられてきた。本研究では、低エネルギー核反応における反跳粒子検出器としての使用を念頭に、低エネルギー荷電粒子に対する APD の応答を ^{241}Am α 線および加速器ビームを用いて調査しつつある。講演ではその現状を報告する。

F-5

原子核反応実験のための水素化チタン標的の開発

九大理^A 松尾仁^A, 寺西高^A, 後藤滉一^A, 中島優人^A, 井元悠介^A, 小谷基樹^A, 田中久登^A, 松本悠椰^A

低エネルギー陽子誘起核反応を逆運動学条件で測定する際に薄い固体水素標的が必要となる。本研究ではそのための水素化チタン標的の開発を行っている。ポリエチレン標的と比較すると、水素化チタン標的は、強いビームに対して安定、薄膜化や重水素化が容易、などの利点がある。本研究では、最初にチタン薄膜を水素化するための水素炉を開発した。次に、厚さ $1\ \mu\text{m}$ のチタン薄膜を、水素 1 気圧中で反応させて、チタン化水素標的をいくつか作成した。反応による水素付加量は ^{241}Am α 線のエネルギー損失を用いて評価した。現在、反応温度および時間条件の最適化および $^{12}\text{C} + p$ 共鳴散乱を用いた深さ方向の一様性の試験等を進めつつある。

F-6

陽子-炭素弾性散乱ビームを用いた 陽子偏極度計 2nd-FPP の性能評価

九大理^A, 東北大理^B, CYRIC^C 米村千恵子^A, 坂木重仁^A, 若狭智嗣^A, 西畑洸希^A, 足立智輝^A, 河本彩帆^A, 関口仁子^B, 渡邊跡武^B, 中居真太郎^B, 齋藤由子^B, 伊藤正俊^C

核子や中間子といったハドロンの質量や対応する相互作用の結合定数は、自由空間とハドロンの密度の高い原子核内とは異なることが期待されており、これらの変化を媒質効果と呼ぶ。この媒質効果の理解は、超新星爆発によってできる中性子星の構造解明等でも重要である。原子核内での核子間相互作用を実験的に調べる手段として、偏極陽子を用いた核子ノックアウト (p,pN) 反応がある。これは、入射陽子 p と核内核子 N の原子核内での核子-核子散乱に対応する。我々のグループでは、媒質効果に感度があると考えられている ($p,2p$) 反応の偏極移行量に特に着目している。 (p,pN) 反応では、標的原子核を変えることによりハドロンの密度を実験的に制御することが可能であり、偏極移行量のデータは媒質効果の密度依存性を調べる手がかりとなる。さらに、断面積などの測定量と合わせた完全測定を行うことで散乱振幅を決定することで、核内の核子間相互作用を実験的に決定することができる。本研究では、中間エネルギーにおける核内での核子・核子散乱 ($p,2p$) 反応の後方散乱陽子の偏極度を測定するための焦点面偏極度計 2nd-FPP の開発を行っている。2nd-FPP は複数のプラスチックシンチレータ群で構成されており、今回は新たに MWDC を導入し、位置分解能の向上を試みた。東北大学 CYRIC において、80MeV の陽子ビームと炭素標的の弾性散乱から生成される偏極陽子ビームを用いて 2nd-FPP の有効偏極分析能の性能評価実験を行った。得られた実験結果から、プラスチックシンチレータのみの有効偏極分解能を導出した。また、MWDC を導入し、それによる位置分解能の向上についても検討した。その結果について講演する。

F-7

ワイヤーチェンバの位置分解能向上のための VME データ収集システムのオンライン化開発

九大理^A, 東北大理^B, CYRIC^C 足立智輝^A, 若狭智嗣^A, 西畑洸希^A, 米村千恵子^A, 河本彩帆^A, 山下渉^A, 横田望海^A, 岸本侃己^A, 関口仁子^B, 三木謙二郎^B, 渡邊跡武^B, 立石健一郎^B, 齋藤由子^B, 北山翔^B, 丸田祥輝^B, 亀谷晃毅^B, 伊藤正俊^C

我々のグループでは原子核内での核子・核子散乱に対応する ($p,2p$) 反応により偏極観測量を測定し、真空中の場合と比較することで原子核内での媒質効果を研究している。そのために、後方散乱陽子の偏極度を測定する 2nd-FPP の開発を進めている。2nd-FPP は陽子散乱体 (偏極分析) と飛跡測定を兼ねる位置感应型シンチレータ多層からなる。現在、位置分解能向上により偏極分析能を高めるために、MWDC の導入を行っている。MWDC は多線式検出器であるため、読み出しチャンネルが多い。これまで用いていた CAMAC ベースのデータ収集システムではそのチャンネルの多さに対応できないため、理化学研究所 RIBF で開発された VME ベースの「babirl」への移行を進めている。「babirl」は自由度の高いシステムではあるが、データ収集に特化しているため、データ解析は別途オフラインにて適宜行う必要がある。我々の実験においては、シンチレータや MWDC の動作状況や分解能をリアルタイムで出力することが求められている。そこで、「ANAROOT」と呼ばれる解析環境を「babirl」と統合することによりオンラインでのデータ解析・モニタを実現した。本システムは、東北大学 CYRIC で 80MeV の陽子ビームを用いて行われた 2nd-FPP の性能評価および偏極標的の評価実験で使用された。本発表ではオンラインによるデータ表示を行えるようにした開発や、CYRIC での実験結果について発表する。

F-8

ILD・シリコンタングステン電磁カロリメータプロトタイプの実験による性能評価

九大理^A, 九大 RCAPP^B, LLR/IN2P3/CNRS^C, IJCLab/IN2P3/CNRS^D, IFIC/CSIC/UV^E
津村周作^A, 末原大幹^A, 川越清以^A, 吉岡瑞樹^B, Vincent Boundry^C, Roman Poeschl^D, Adrian Irles^E

現在、国際リニアコライダー（International Linear Collider, ILC）計画として、ヒッグス粒子やトップクォークに関する精密測定や既存の標準理論を超える新物理の探索に向けて研究が行なわれている。これらの精密測定においてはより高精度な実験が必要とされ、現在達成されている分解能を上回る性能を持った検出システムの開発が求められている。ILC は電子陽電子コライダーとして計画され、その衝突により生じた現象を検出するために建設が予定されている検出器の一つが ILD である。現在、その検出器の一部として電磁カロリメータ (ECAL) の開発が進められている。ECAL は粒子衝突時の事象再構成をより高精度で行うための手法である Particle Flow Algorithm(PFA) を利用するために必要な検出器の一つである。今回ドイツにある電子シンクロトロン実験施設、DESY において ECAL のプロトタイプとして設計されているシリコンタングステン電磁カロリメータの電子ビーム照射実験を行い、その性能を評価した。このカロリメータは 15 層のシリコン検出層及びタングステン吸収層からなる検出器である。吸収層において入射粒子は電磁シャワーを引き起こし、それによって生じた多くの放射線は検出層によって検出され、電気信号へと変換される。今回の検出システムはこれまでの実験と比べて新たな読み出し回路とより多くの層を用いており、その最初のビームテストの結果を報告する。

F-9

深層学習を用いた国際リニアコライダーにおけるフレーバー識別アルゴリズムの開発

九州大学^A 尾上友紀^A, 津村周作^A, 久原真美^A, 末原大幹^A, 吉岡瑞樹^A, 川越清以^A

国際リニアコライダー（ILC）とは、国際協力によって設計開発が推進されている次世代の直線型電子陽電子衝突加速器である。本研究では、深層学習を用いて ILC で使用するためのクォークフレーバーの識別アルゴリズムの開発を行なっている。フレーバー識別はジェット再構成において、ジェットを軌跡や崩壊点に関する情報からフレーバーに分類する過程である。現在使用されている LCFIPlus では、フレーバータグ付けに機械学習である Boosted Decision Trees が採用されており、これに対して深層学習を適用することで評価性能の向上を目指す。

F-10

Si 検出器の波形解析による軽粒子識別

九州大学^A, 理化学研究所^B, 日本原子力開発機構^C, The University of Tennessee^D, Oak Ridge National Laboratory^E, 高エネルギー加速器研究機構^F 武藤大河^A, Pierre Brionnet^B, 浅井雅人^C, 郷慎太郎^B, Robert Grzywacz^D, 羽場宏光^B, 加治大哉^B, 木村創太^B, Thomas King^B, 森本幸司^B, Krzysztof Rykaczewski^E, 坂口聡志^A, 酒井英行^B, 森田浩介^{A,B}, 庭瀬 暁隆^F, 田中聖臣^B

現在、我々は理研のガス充填型反跳生成核分離装置 GARIS-III を用いて原子番号 119 番の新元素探索実験を行っている。119 番元素合成実験に使用するアクチノイド標的を用いた hot fusion 反応では、113 番元素合成実験に使用した Pb, Bi 標的を用いた cold fusion 反応に比べて、散乱粒子などのバックグラウンド計数が多く、融合反応生成物 (ER) 及び崩壊 α 線の識別の障害になる。特に TOF 検出器や veto 検出器で検出漏れした、陽子、重陽子、 α 粒子、その他軽粒子などが両面シリコンストリップ検出器 (DSSD) に 10 MeV 程度のエネルギーを付加すると 119 番元素の崩壊 α 線と誤認されかねない。TOF や veto とは独立に波形解析だけで粒子識別できれば、新元素同定の信頼性が格段に向上する。理研の GARIS-III では最近 Flash ADC を導入し、DSSD のプリアンプ波形の記録を開始した [1]。本研究では、GARIS-III の DSSD で検出される崩壊 α 線、バックグラウンドとなる陽子、重陽子、 α 粒子、散乱ビーム、核子移行反応生成物、超重元素 (ER) などの粒子の波形データを解析し [2]、粒子識別の可能性について検証を行ったので、その結果について報告する。

[1] N. T. Brewer et al., PHYSICAL REVIEW C 98, 024317 (2018) [2] P. Brionnet, private communication.

F-11

核分裂片測定のためのシリコン検出器の波高欠損の研究

九大院理^A, 原子力機構^B, 理研仁科センター^C 石橋優一^A, 武藤大河^A, 浅井雅人^{A,B}, 森田浩介^A, 坂口聡志^A, 郷慎太郎^{A,C}, 塚田和明^B, 佐藤哲也^B, 伊藤由太^B

シリコン検出器を用いた核分裂片などの重イオン測定においては、イオンの付加したエネルギーと測定電荷量の間の比例関係が崩れ、エネルギーが実際の値より低く観測される現象が見られる。この現象を波高欠損と呼ぶが、その原因は必ずしも明らかではない。

現在、我々では中性子過剰 Fm 領域での核分裂のメカニズムを解明するための研究を行っている。この研究では、核分裂片の運動エネルギーをシリコン検出器により精度良く測定する必要があるが、そのためには核分裂片に対する波高欠損の量を正確に見積もることが不可欠である。波高欠損の大きさを表す式として 1970 年代に Kaufman 等 [1] により考案された経験式が知られているが、この式のパラメータはエネルギー 80 MeV 以下のイオンに対する測定データを用いて決定されており、特にこれより高いエネルギー領域では実験データの再現性が不十分である。そこで 50 ~ 200 MeV のイオンに対するデータを取得し、高エネルギー領域に適用できる波高欠損量の経験式の導出を目的とした実験を行った。

実験は、原子力機構タンデム加速器からの単色重イオンビームを用いて行った。エネルギー 52.5 ~ 230 MeV の ^{82}Kr 、 ^{136}Xe 、 ^{127}I ビームを金薄膜で散乱させ、前方 30 度に設置したシリコン検出器で散乱ビーム及び散乱された金粒子のエネルギースペクトルを測定した。得られた実験データから波高欠損を導出し、経験式と比較した。本講演では、これらの結果と新しい経験式の作成に向けた検討結果について報告する。

[1] S. B. Kaufman et al., Nucl. Instrum. Methods 115 (1974) 47.