

平成 21年 5月 19日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19540292

研究課題名(和文) 短寿命二次粒子のエネルギー幅圧縮法の開発

研究課題名(英文) Development of energy compression for short-lived secondary particles

研究代表者

板橋 隆久 (ITAHASHI TAKAHISA)

大阪大学・大学院理学研究科・招へい研究員

研究者番号：20112071

研究成果の概要：本研究では6-セクターのFFAGリングを用いて、短寿命二次粒子のエネルギー幅圧縮法の開発研究を行った。ミュオン生成は高いエネルギーの加速器で生成された陽子ビームによって行われるが、本研究では実験で用いられるミュオンの運動量の等価な粒子剛性を有するアルファ粒子を用いて行った。キッカー電極を製作しアルファ粒子を縦方向から入射することに成功した。アルファ粒子を高周波加速空洞で加速そのエネルギー分布から位相空間回転の実験の緒を開いた。パルス化装置の製作を完了した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：ミュオン・位相空間回転・アルファ粒子

1. 研究開始当初の背景

(1) 強度フロンティアの素粒子物理学、原子核物理学において、ミュオン及び原子核などの短寿命二次粒子ビームの生成が求められている。これらのビームの生成は大型の粒子加速器が必要であるとともに、高い品質、すなわち高輝度の粒子ビームの生成は不可欠の条件となっている。

(2) 特に、稀有の現象であるミュオン

によるレプトンフレーバー非保存の実証実験では、位相空間回転法によるエネルギー幅圧縮法の確立が研究課題のひとつである。一般的に位相空間回転法はたとえば反陽子の位相空間回転によるエネルギー幅圧縮が知られているが、ミュオンのような短寿命の粒子に対する位相空間回転はきわめて難しいといわれている。

(3) 天体核物理の研究においても、不安定原

原子核を径由する核反応が重要であり実験データが蓄積されている。このような短寿命の原子核に位相空間回転法が適用することが可能となれば、原子核の精密な実験法の実現が可能となる

2. 研究の目的

原子核や素粒子実験においては、新しい粒子の発見や微小断面積を有する稀有の現象を発見することにより、より精度の高い理論の構築や、さらに発展した物理を理解する。そのため本研究では素粒子物理学のレプトンフレーバー非保存の探求のための高品質、高強度のミュオン生成のためのエネルギー幅圧縮技術の開発を目的として、位相空間回転法の実証を行う。素粒子原子核実験室ではすでに高い電界強度の加速空洞の開発に成功しておりこの加速空洞を用いた位相空間回転法の実証は極めて現実的な要請でありその実現が期待されている。ミュオンの平均寿命2.2マイクロ秒は極めて短く、本研究計画で使用するFFAGリングにおいては周回数が5~6回転以内に位相空間回転を実現することが必要でありその実験的な検証求められている。

3. 研究の方法

(1) 可変エネルギー粒子発生装置の製作

① 実験で用いられるミュオンの全運動量領域、54.4~86.1 MeV/c に対応しかつエミッタンスの調節可能なアルファ粒子発生装置の設計、製作を行う。粒子シミュレーションによって、減速エネルギーのためのアルミニウム薄膜を用いた可変エネルギー、可変エミッタンス粒子発生装置を試作した。小型真空槽を用いて、減速薄膜によるエネルギーの広がりおよびエネルギーの絶対値を測定して必要なミュオンエネルギーと等価なアルファ粒子をうるための減速膜の厚さを決定した。

② 粒子シミュレーションによって、位相空間回転法の実測のために必要な統計精度を検討した。アルファ粒子の発生源としては241Amを想定して、さらにその強度を商業的に得られる最大強度、即ち100マイクロキュリーとしたときのコリメータ通過後の粒子線強度、検出器の効率などを考慮して測定時間の具体的な評価を行った。5%以下の統計精度の測定のためには、コリメータとして楕円形状（正確には縦は平行、水平は円形のコリメータとして）によって効率よくFFAG内の粒子軌道と整合させて実験できることが判明した。

当初減速材としてはポリミド薄膜によって一様性が確保されていたが時間変化に対する安定性などを考慮して、アルミニウム

薄膜により実験に変更した。

③ 高電界、高周波発生装置近傍での半導体検出器のエネルギー測定には常に高周波雑音に擾乱が考えられる。この影響を最小限に抑える必要がある。これは最終的に検出されるアルファ粒子の高周波電界による効果をもとめる際に重要な要素となる。このために検出器の周囲に十分な電気的なシールドをすること、アースをなるべく近くで一点で取ること、プリアンプまでの距離を短くすること、信号ケーブルはアルミニウムの膜で包んで外からのノイズの入りにくい構造とした。

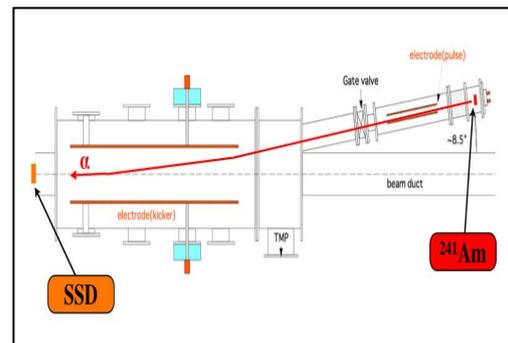
(2) アルファ粒子のパルス化装置及び入射装置の製作

加速高周波の位相にたいする入射粒子の位相、エネルギー幅との相関を測定するために、パルス粒子発生装置の設計、製作を行う。パルス化装置としては、平行平板電極とし極板の長さ300mm、電極幅50mm電極間隔50mmとしコリメータの高さ方向2mm、幅5mmとして印荷電圧10kVで運転する。電極には正、負の高周波電圧を印可して、もしくは一方を直流電圧としてアルファ粒子は電圧ゼロのときだけ通過する方式とした。

(3) 6セクターの加速装置に縦方向から入射するため、平行平板型静電キッカーを製作し入射テストを行う。FFAGリングに適応するように、電極の長さ、1000mm、ギャップ高さを20cm、水平幅を20cmとして、大きなアパーチャーを確保した。円筒型真空槽をFFAGリング内の直線部に設置して電磁石の真空槽との結合を行った。DFDFFFAG電磁石の中央部に接合点を選ぶことによって、電極のおよそ半分は電磁石の内部に入る構造になっている。そのため電極の取り出し部や、電極の位置調整などに特別な工夫を行った。

電圧の印可テスト行い上下電極ともに20kVの電圧の印可が可能であることがわかった。

キッカー電極の配置図



(4) 高電界加速空洞をFFAG-RINGに装荷するため簡易型の加速ギャップ(MCナイロン製)を製作した。加速デューティが1/10と小さいため放電による影響などは問題がないとかんげられる。しかし効率の点では若干の問題が残った。

(5) FFAG-RINGの全系の真空槽と結合して真空度の確認を行った。電極下部に真空の引き口を設けることにより電極周辺の真空の劣化による放電を防いだ。

(6) 半導体検出器のエネルギー較正については薄膜による減速効果をBethe-Blochの式にもとづいて計算により求めている。

4. 研究成果

(1) 高周波加速キャビティによるアルファ粒子エネルギーの加速、減速による効果を調べるため、加速空洞の内部に半導体検出器を設置して、そのエネルギーの変化調べた。加速高周波による空洞内の電磁波からくるバックグラウンドを除くことによってその影響を観測することが出来た。

(2) 6セクターFFAGリング内の直線部に並行平板型キッカーを設置し、アルファ粒子の縦方向入射試験を行った。大きな運動量広がり入射ビームの入射は縦方向入射の可能性のテストが必要であり、その可能性が実証された。

(3) 水平からの入射角度8.5度に設置されたアルファ線入射器をFFAGリング内の直線部に設置して水平軌道上に設置された検出器によってそのアルファ線の縦方向の分布を測定した。あらかじめ計算されたキッカー電圧を印可することによって、縦方向分布はその計算値とほぼ一致した。

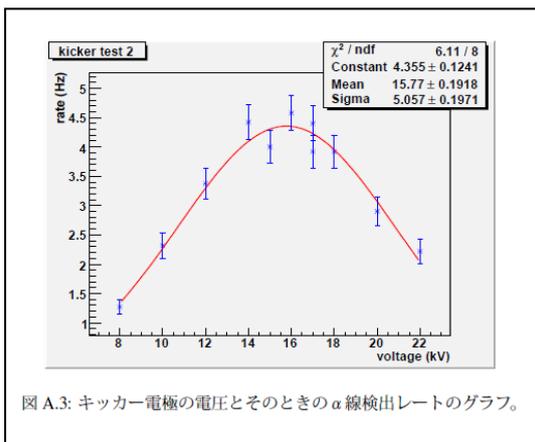


図 A.3: キッカー電極の電圧とそのときの α 線検出レートのグラフ。

キッカー電圧と半導体検出器の係数

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 1件)

1. Injection study for 6-sector PRISM FFAG by using pulsed alpha particles from Am-source,

Takahisa Itahashi, Yousuke Takubo, Chihiro Ohmori, Akira Sato, Yasushi Arimoto, Makoto Yoshida, Akihito Nakanishi, Masaharu Aoki, Toshiyuki Oki, Yasutoshi Kuriyama, Yousuke Eguchi, and Yoshitaka Kuno; Jour. of the Korean Physical Soc. 54 (2009), 323~327, 査読あり

[学会発表] (計 5件)

(1) “J-PARC Accelerator Scheme for Muon to Electron Conversion Search”; M. Tomizawa, M. Aoki, T. Itahashi. EPAC08-MOPC128, Jun 23, 2008. 3pp. In the Proceedings of 11th European Particle Accelerator Conference (EPAC 08), Magazzini del Cotone, Genoa, Italy, 23-27 Jun 2008, pp MOPC128

(2) “Six-sector FFAG Ring to Demonstrate Bunch Rotation for PRISM.”; A. Sato, T. Itahashi, Y. Kuno et al. EPAC08-THPP 007, Jun 26, 2008. 3pp. In the Proceedings of 11th European Particle Accelerator Conference (EPAC 08), Magazzini del Cotone, Genoa, Italy, 23-27 Jun 2008, pp THPP007.

(3) “Construction of Six-sector FFAG Ring for Muon Phase Rotation”; Y. Arimoto, T. Itahashi, A. Sato, Y. Kuno, EPAC08-THPP071, Jun 26, 2008. 3pp. In the Proceedings of 11th European Particle Accelerator Conference (EPAC 08), Magazzini del Cotone, Genoa, Italy, 23-27 Jun 2008, pp THPP071.

(4) “Extinction Monitor by Using a Dissociation of Hydrogen Molecule to Atoms with High Energy Proton Beam”; T. Itahashi, M. Aoki, Y. Arimoto, Y. Kuno, A. Sato, M.Y. Yoshida. EPAC08-THPP072, Jun 26, 2008. 3pp. In the Proceedings of 11th European Particle Accelerator Conference (EPAC 08), Magazzini del Cotone, Genoa, Italy, 23-27 Jun 2008, pp THPP072.

(5) “High Field Gradient RF System for Bunch Rotation in PRISM-FFAG.”; C. Ohmori, M. Aoki, Y. Arimoto, T.

Itahashi, Y. Kuno, Y. Kuriyama, A. Sato,
M.Y. Yoshida, Y. Iwashita, Y. Mori.
EPAC08-MOPPI03, Jun 23, 2008. 3pp.
In the Proceedings of 11th European
Particle Accelerator Conference (EPAC 08),
Magazzini del Cotone, Genoa, Italy, 23-27
Jun 2008, pp MOPPI03.

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計0件)
〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

板橋 隆久 (ITAHASHI TAKAHISA)
大阪大学・大学院理学研究科・招へい研究員
研究者番号：20112071

(2) 研究分担者

久野 良孝 (KUNO YOSHITAKA)
大阪大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：30170020

佐藤 朗 (SATO AKIRA)
大阪大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：40362610

(3) 連携研究者