

自己評価報告書

平成 23 年 3 月 31 日現在

機関番号：34304

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008~2011

課題番号：20340059

研究課題名 (和文) π K 原子の寿命測定による QCD 検証 - 発展 DIRAC 実験 -研究課題名 (英文) Test of QCD by measuring lifetime of π K atoms. -Extended DIRAC-

研究代表者

岡田 憲志 (OKADA KENJI)

京都産業大学・コンピュータ理工学部・教授

研究者番号：90093385

研究分野：原子核実験

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：QCD、カイラル摂動計算、 $\pi^+\pi^-$ 原子、 π K 原子、 $\pi\pi$ 散乱長、 π K 散乱長、二中間子原子寿命

1. 研究計画の概要

CERN で行っている DIRAC 実験 (PS212) は、 $\pi^+\pi^-$ や π K などの二中間子原子の寿命の測定から二中間子間の散乱長を求め、それをカイラル摂動計算の散乱長と比較する事で低エネルギー状態での QCD を検証する目的で始められた。この科研費の計画は DIRAC 実験の第 2 フェーズで主に π K 原子の寿命測定を主題としているが、 $\pi^+\pi^-$ の統計精度を上げる事も含まれている。

(1) 高速・高い位置分解能・高い時間分解能を持つ SciFi トポロジカルトリガーホドスコープの完成と DIRAC 実験への実装

(2) $\pi^+\pi^-$ 原子の寿命測定の統計精度を上げ 5% 以上の精度で $\pi\pi$ 散乱長を求める

(3) π K 原子の存在の確認と寿命測定。s クォークの入った散乱長を得る事で SU2 から SU3 への拡張になる。

(4) $\pi^+\pi^-$ 原子の Lamb-shift 測定の可能性を見極め、薄い Be 標的で準備的な S 波原子数測定を行う。寿命測定だけでは、散乱長はアイソスピンの 0 と 2 の結合した a_0 - a_2 で得られる。Lamb-shift から得られる $2a_0+a_2$ を測定する事で、個々の散乱長を分離でき理論との比較をより精度よく行える。

2. 研究の進捗状況

上記の計画の各項目 (1) SciFi トポロジカルトリガーホドスコープ、(2) $\pi^+\pi^-$ 原子の寿命測定、(3) π K 原子の存在の確認と寿命測定、(4) $\pi^+\pi^-$ 原子の Lamb-shift 測定に対しての進捗度は、

(1) 250 μ m 極細ファイバー使用の世界最初の実用型 SciFi ホドスコープを完成させた。X-面 Y-面各約 100mm 幅を 480 チャン

ネルのファイバーでカバーしている。読み出しには、16 チャンネルの PSPM を使用した。位置分解能は $\sigma=75 \mu$ m を達成しドリフトチェンバーの位置決定精度に迫った。

(2) S 状態 $\pi^+\pi^-$ 原子の解離 $\pi^+\pi^-$ 対の検出数が 21,000 個になり寿命を当初目標の精度より良い 9% で $\tau=3.15 \times 10^{-15}$ sec と決定した。この寿命は 4% の精度で $\pi\pi$ 散乱長差 $|a_0 - a_2| = 0.2533 M_\pi^{-1}$ を与えた。 M_π は π 粒子の質量である。(この結果は PRL に投稿中)

(3) 2008 年度までのデータ解析で π K 原子は 173 個を数え、 π K 原子が存在する事を初めて観測した。またこの原子の解離事象から寿命を 90% の信頼度で 0.8fs であることを初めて観測測定できた。この結果は論文④で発表した。また 2010 年度までのデータは現在解析中である。

(4) Lamb-shift 測定は、Be-強磁場-Pt 標的で p 状態から s 状態への遷移による p 状態解離数の変化を観測するが、まず遷移前の p-状態の生成数を知らねばならない。2011 年度にこの p-状態の Be 標的中の生成数を測定するが、そのままでは s-状態からの解離対がバックグラウンドとなって入ってくる。そこで今年度は BG となる Be 標的中の s-状態原子数の測定を終えた。

3. 現在までの達成度

① 当初の計画以上に進展している。

理由

(1) $\pi\pi$ 原子の寿命測定に関しては CERN のビーム強度がトラブル無く増強できた事により、当初目標値である 10% の精度のデータ収集を完了した。現在論文を PRL に投稿中である。

(2) πK 原子の寿命に関しても、(1) と同時に測定しているので統計精度を上げることができた。現在解析中であるが当初の目標値である 20% の精度のデータが既に得られている。

(3) (1)(2) の測定が順調であったので、 $\pi\pi$ 原子の λ -shift の測定準備である Be 第一標の中での s 状態解離原子数の計測を 3 年次目で終わることができた。次の段階である p 状態生成原子数の計測のための弱永久磁石を用いた荷電粒子のスーパを制作している。

(4) 日本グループが担当している検出器では、高分解能 SciFi ホドスコープの x-面、y-面を完成させ実験に支障無く供している。次段階の λ -shift 測定では陽子ビーム強度を増やすので dE/dx ホドスコープの計数率強化が必要で設計のテスト実験は終えているので 2011 年度に制作・設置を予定している。

4. 今後の研究の推進方策

$\pi^+\pi^-$ 原子の崩壊寿命測定からは、 $\pi\pi$ 散乱長のアイソスピンコンビネーション $|a_0-a_4|$ が得られる、一方 $\pi^+\pi^-$ 原子の s-状態と準安定 p-状態間の λ -shift は別の散乱長コンビネーションである $2a_0+a_2$ の値をあたえる。両者を測定すれば、s 波散乱長をアイソスピンごとに a_0 と a_2 を分離して得ることができる。カイラル摂動計算との比較はこの方がより精度よく行えるので、2011 年度以降 λ -shift の測定を行ってゆく。CERN の PS-SPS の実験プログラム採択委員会は、 λ -shift 測定をめざした DIRAC グループの Addendum を基に、2011 年度の DIRAC 実験の延長を認めた。2012 年以降に予定されている LHC のためのシャットダウン前に、 λ -shift 測定のための準備測定を済ませておき、シャットダウン中に強磁場を発生する永久磁石の製作など s-p 間の遷移を測定するための装置を設置する。

5. 代表的な研究成果

(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 5 件)

① Performance of a 511keV gamma-ray imager using a LYSO(Ce) crystal array with wave length shifter., S. Aogaki and F. Takeutchi, IEEE Trans. Nucl. Sci. 57 (2010) 1502-1511 (査読有)

② Measurement of 0.511MeV gamma-rays with a thin long strip of $Gd_2SiO_5:Ce^{3+}$ scintillator., S. Aogaki, A. Isogai, M. Kobayashi, S. Sugimoto, F. Takeutchi and Y. Tamagawa, Nucl. Instr. Meth. A614 (2010) 250-259 (査読有)

③ Practical applications of permanent magnet multipoles, Y. Iwashita (1番目), M. Ichikawa, (他11名), IEEE Trans. Appl. Supercond. 20 (2010) 842-845 (査読有)

④ Evidence for πK -atoms with DIRAC. B. Adeva, M. Chiba(10番目), M. Kobayashi (34番目), K. Okada(52番目), F. Takeutchi (69番目), (他75名), Phys. Letters B674, (2009) 11-16 (査読有)

⑤ Study on the light insulator between scintillator crystals, H. Kotaka, S. Aogaki, I. Moritani, F. Takeutchi and F.M. Toyama 京都産業大学先端科学技術研究所所報、第7号, (2008)93-114 (査読無)

[学会発表] (計 2 件)

① V. Yazkov (DIRAC Collaboration), Investigation of pp and pK atoms at DIRAC, Proc. 6th Int. Workshop on Chiral Dynamics 2009: 06-10 July 2009, Bern [Switzerland]

② M. Zhabitsky (DIRAC Collaboration), Measurement of the pionium lifetime, 34th Int. Conf. on High Energy Physics, 30 July-05 Aug. 2008, Philadelphia[USA]