

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K13932

研究課題名（和文）低圧ガスを用いた余剰次元を伝搬する太陽アクシオンの探索

研究課題名（英文）Search for solar KK axion using low-pressure gas detectors

研究代表者

細川 佳志（Hosokawa, Keishi）

東京大学・宇宙線研究所・特任助教

研究者番号：80785105

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：Ar:C₂H₆（9:1）混合ガスを封入したマイクロピクセルチェンバー検出器（10x10x1cm³）を用い、ガス検出器によるKKアクシオン探索の原理検証実験を行った。Fe-55の放射する5.9keVによって、3keVのAr特性X線が発生する。また、残りの3keVも同時に検出が可能である。これら（3keV+3keV）を同時検出することで、本研究がKKアクシオン崩壊信号（5keV+5keV）を十分観測可能であることを確認した。また、観測用の検出器（10x10x10cm³）を製作した。線源による信号を検出できることを確認後、安定観測を目指した調整を行っている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

余剰次元を伝播するアクシオン"Kaluzza-Klein（KK）アクシオン"は素粒子物理学の謎を複数解決可能な、未発見の素粒子である。太陽内部で生成され重力的に太陽系内に捉えられた"太陽KKアクシオン"は10keV程度の質量と有限な寿命（10～10⁶日）を持ち、その崩壊によって放出される二光子（5keV+5keV）を捉えることで地球でも観測の可能性がある。本研究で用いるガス検出器では二光子を分離して捉えられるため強力な背景事象除去能力が得られる。また、検出器内崩壊頻度は有効体積のみに依存する。ガス検出器はの大型化は比較的容易で、有効体積拡張性の高さも本研究の強みである。

研究成果の概要（英文）：A proof-of-principle experiment of KK axion search by gas detector was performed using a micro-pixel chamber detector (10x10x1 cm³) filled with Ar:C₂H₆ (9:1) gas mixture. 5.9 keV emitted by Fe-55 produces 3 keV of Ar characteristic X-rays. The remaining 3 keV can be detected simultaneously. By detecting these (3keV+3keV) simultaneously, we confirmed that this study can sufficiently observe the KK axion decay signal (5keV+5keV). In addition, a detector (10x10x10 cm³) was fabricated for observation and installed in the underground laboratory. After confirming that the signal from the source can be detected, the detector is under commissioning for stable observation.

研究分野：宇宙素粒子

キーワード：ガス検出器 アクシオン 余剰次元

1. 研究開始当初の背景

余剰次元を伝搬するアクシオン「Kaluzza-Klein(KK) アクシオン」は素粒子物理学と天文学における複数の大きな謎を解決可能な、素粒子標準模型を超えた未発見の素粒子である。量子色力学における「強いCP問題」を解決するためにアクシオンの存在が期待され、「ゲージ階層性問題」解決のため余剰次元模型が提唱された。KK粒子と呼ばれる余剰次元での粒子の運動は4次元時空では質量として観測されると考えられている。アクシオンを预言するPecci and Quinn(PQ)モデルと余剰次元模型は独立して動機付けられたものだが、PQ対称性破れのスケール f_{PQ} が電弱スケールよりもはるかに大きいことを余剰次元模型で説明可能であることから、「KKアクシオン」の研究が注目を集めている。加えて、太陽近辺での太陽KKアクシオン崩壊がX線源になり得る事から、太陽表面が6000K程度であるのに対して高度数万kmのコロナが100万Kを超える(X線の観測による)という「太陽コロナ問題」等の天体の未解決問題を説明可能である[1]。その発見は素粒子物理学のみならず天文分野にも大きなインパクトを与える。

2. 研究の目的

KKアクシオンは、Photon coalescence 反応(a)等によって、太陽内部でも熱的に生成可能である。その質量は決まった値を取らず、太陽温度に応じて平均10keV程度の連続的な分布を持つ。KKアクシオンは有限な寿命を持ち、10keV質量の場合、寿命は 10^{11} - 10^{17} [days]である。生成されたKKアクシオンの大半は太陽系外に抜け出すが、太陽の重力によって太陽系内に捉えられた太陽KKアクシオンはその崩壊を捉える事で地球でも観測の可能性もある。本研究の目的は、太陽KKアクシオン崩壊(a)によって同時に放出される二光子(5keV+5keV)を分離して観測可能な検出器を開発し、継続的な観測を開始する事である。

3. 研究の方法

本研究の概念図を図1に示す。太陽KKアクシオン崩壊の際、質量の半分のエネルギーを持った光子が2つ放出される。本研究で扱うガス検出器内で、5keVの光子は約6cmの減衰長を持つ。つまり本研究では、約5keVの光子が10cm程度離れて2つ観測される、非常に特徴的な太陽KKアクシオン崩壊信号を探索する。

本研究では、ガス検出器を利用して太陽KKアクシオンの探索を目指す。ガス検出器の使用によって、特徴的な信号の飛跡を捉える事による強力な背景事象除去能力が期待でき、高い有効体積拡張性も得られる。

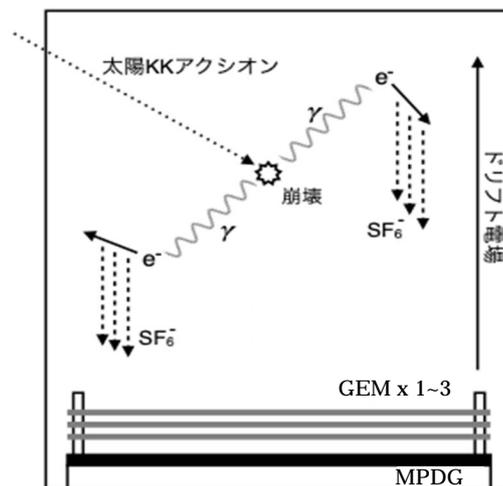


図1：本研究の概念図

4. 研究成果

ガス検出器による KK アクション探索の原理検証実験を行った。図 2 は原理検証実験で用いた検出器システムである。Ar:C2H6(9:1)混合ガスを封入したマイクロピクセルチェンバー検出器を用い、データ取得には DRS4 evaluation board を利用した。検出器の大きさは 10x10x1cm³ である。ベータ線源である Sr-90 と X 線源である Fe-55 を用いて動作確認と原理検証のためのデータを取得した。

Fe-55 の放射する 5.9keV によって、3keV の Ar 特性 X 線が発生する。また、残りの 3keV も同時に検出が可能である。これら (3keV+3keV) を同時検出することで、本研究が KK アクション崩壊信号(5keV+5keV)を十分観測可能であることを確認した(図 3)。

大型化した検出器 (10x10x10cm³) も製作した。線源による信号を検出できることを確認後、安定観測を目指した調整を行っている。

また、2023 年度には共同利用ガス容器が神岡地下実験室に設置される予定である。設置を主導し、研究協力者である身内賢太郎氏(神戸大, 准教授)と東野聡氏(神戸大, 学術研究員)らと定期的な打合せを行い、より大型化した検出器の設置を目指している。

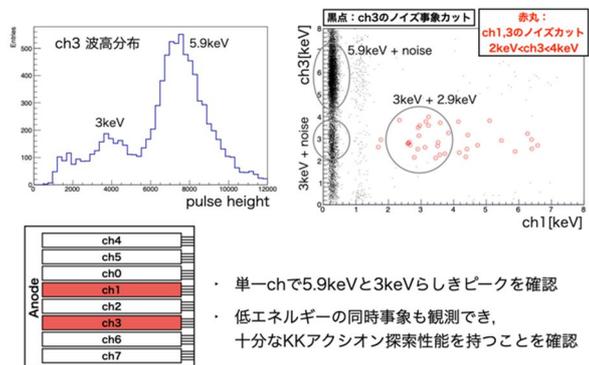
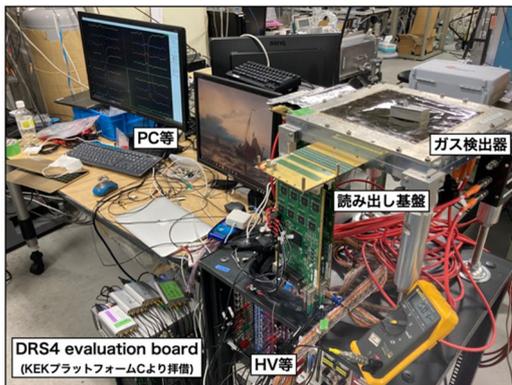


図 2：原理検証実験に用いたセットアップ。

図 2：原理検証実験結果。3keV+3keV の模擬信号を期待通り検出できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 細川佳志, 水越慧太, 東野聡, 身内賢太郎
2. 発表標題 ガス検出器を用いたKKアクション探索実験
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会（2022年）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細川佳志
2. 発表標題 ガス検出器を用いたKKアクション探索
3. 学会等名 第2回新学術「地下宇宙」若手研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	身内 賢太郎 (Miuchi Kentarou)		
研究協力者	東野 聡 (Higashino Satoshi)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------