

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26610059

研究課題名(和文)Hidden photon dark matterの探索

研究課題名(英文)Search for hidden photon dark matter

研究代表者

蓑輪 眞 (Minowa, Makoto)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・名誉教授

研究者番号：90126178

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：質量が $3.1 \pm 1.2 \text{ eV}$ および $0.5 \times 10^{-4} \text{ eV}$ 付近の領域でhidden photon dark matter (HPDM)の探索実験を行った。ともにHPの証拠は見つからなかったが、混合パラメータについて、それぞれ $< 6 \times 10^{-12}$  および  $< 2 \times 10^{-12}$  というこれまでより厳しい制限を得た。

HPが球面鏡の表面で通常のphotonに変換されて中心に集光されることを利用している。後者の質量領域では球面鏡ではなくパラボラアンテナと平面鏡を組み合わせた新しい手法を発明した。HPが平面鏡の表面で通常のphotonを垂直に放出し、正面のパラボラでその焦点に集光される。

研究成果の概要(英文)： We searched for hidden photon(HP) dark matter in two wavelength bands. It would be converted into an ordinary photon at a surface of conductive material with the kinetic mixing. HPs of order eV mass have been searched for using an optical concave mirror of 50cm diameter and a photon counting PMT. On the other hand, a dish antenna of 2.2m diameter for microwave reception has been used to search for HPs of lower mass in the region of  $0.5 \times 10^{-4} \text{ eV}$ . No signal was found in either of the searches and upper limits to the mixing parameter  $\chi$  were set at  $< 6 \times 10^{-12}$  and  $< 2 \times 10^{-12}$  for HP mass  $3.1 \pm 1.2 \text{ eV}$  and  $\sim 0.5 \times 10^{-4} \text{ eV}$ , respectively. We invented a new method for the latter mass range to use a commercially available parabolic dish antenna with a plane reflector in front of the dish. Plane radio wave of HP origin would be emitted from the reflector perpendicularly to it. Because parabolic dishes concentrate plane wave to their focal point, it works properly.

研究分野：宇宙素粒子物理学実験

キーワード：hidden sector photon dish antenna dark

## 1. 研究開始当初の背景

素粒子の弦理論に基づく超対称性理論の拡張モデルでは、通常の世界とほとんど切り離された hidden sector の存在が予言されている。この hidden sector については、LHCなどの TeV スケールの高エネルギー衝突実験によって検証されようとしているが、hidden sector の  $U(1)_h$  ゲージボソンがゲージ対称性の破れの程度如何によってはとても軽い可能性がある (=hidden sector photon あるいは単に hidden photon)。その場合、通常の photon と hidden photon の混合によって異常現象がおきる。

たとえば、Coulomb の法則の逆二乗則からのずれや、「Light shining through a wall」と呼ばれている LASER 実験による検出、CMB (宇宙背景マイクロ波放射) のゆがみの衛星による観測、そして hidden-photon helioscope による太陽観測などでの検証について、理論家による最近の多くの論文で提案されている。さらに近年この hidden photon が dark matter である可能性と、その具体的探索方法についての理論家の提案がいくつかなされていた [1], [2]。

これまで申請者のグループは、所有する東京アクションヘリオスコープ (Sumico) の改造により、世界で初めて solar hidden photon 探索実験をおこない 2013 年に論文を発表した [3]。

## 2. 研究の目的

今回の探索実験では、hidden photon dark matter が kinetic mixing により通常の photon に変換したものを球面鏡により一点に集中して検出する方法により、hidden photon の質量領域  $0.5 \times 10^{-4}$  eV 近辺の混合パラメータ  $\chi$  に対して、未探索の

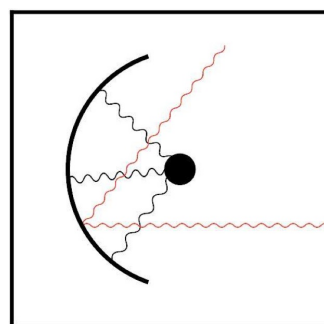
領域を検証する。

もしこの領域に hidden photon が存在すれば発見できることになる。検出限界に達せずに発見できない場合には混合パラメータ  $\chi$  に対する上限値が得られる。

Hidden photon dark matter の直接探索実験は世界で初めての試みである。

## 3. 研究の方法

探索装置はおおむね文献 [2] の提案に基づいており、下図に示すような、球面鏡式



検出装置、およびその発展形システムを利用する。非相対論的速度で飛び交う hidden

photon dark matter は、金属などの境界表面で混合パラメータに従った確率で通常の photon に変換される。変換によって生じた通常の photon は、境界条件により表面に対して垂直に放射されるので、暗箱中に置いた金属製の球面鏡の中心に photon 検出器を置くことにより検出することができる。

通常の photon のエネルギーは hidden photon の質量にほぼ等しくなるので、目的とする質量領域は、約 10 GHz のマイクロ波を検出することで探索可能である。

## 4. 研究成果

Hidden photon の質量が  $\sim$  eV の光学領域では、光を反射する球面鏡と光検出器を用いて探索を行うことができる。この質量領域は当初の目的の範囲ではないが、

まず最初にできる探索実験として、直径 50cm の凹面鏡と光子カウンティングが可能な低ノイズの光電子増倍管を用いて、質量が光学領域にある hidden photon dark matter の探索実験を行った。その結果到達可能な感度では hidden photon の証拠は見つからなかった。これを用いて、質量領域  $3.1 \pm 1.2 \text{ eV}$  における混合パラメータについて、 $\chi < 6 \times 10^{-12}$  というこれまでより厳しい新しい制限を得た。

Hidden photon の質量  $0.5 \times 10^{-4} \text{ eV}$  付近の電波領域では、直径 2.2 m の市販されている安価なパラボラアンテナを用いて、BS 放送で使われている Ku バンド  $\sim 12 \text{ GHz}$  について実験を行った。ただし、これは球面鏡ではなく放物面鏡であるためそのままでは探索実験に使えないので新たな工夫が必要となる。

そのために我々は次図に示すように、パラボラアンテナの前面にアルミ板の平面鏡を光軸に垂直に設置する新しい手法を考案した。この配置で通面のパラ探索実験の信号は見て  $0.5 \times 10^{-4} \text{ eV}$  近傍に  $\chi < 6 \times 10^{-12}$  までより厳しい制限を得た。

現在のセットアップでは極めて限られた質量領域しか探索できていないが、球面鏡を使う hidden photon 探索実験の有効性を世界に先駆けて実証することができた。とりわけ放物面鏡と平面鏡を組み合わせることで市販の安価なパラボラアンテナを利用できることを示し、新たに球面鏡を製作する必要がなくなった。

より広範囲の質量領域に探索を拡張することは容易で、上記いずれの探索実験でも、目的の波長領域に感度を持つ光子検出器を取り付けることで可能である。

< 引用文献 >

[1] “WISPy cold dark matter”, Paola Arias, Davide Cadamuro, Mark Goodsell, Joerg Jaeckel, Javier Redondo, Andreas Ringwald, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, JCAP06 (2012) 013.

[2] “Searching for WISPy cold dark matter with a dish antenna”, Dieter Horns, Joerg Jaeckel, Axel Lindner, Andrei Lobanov, Javier Redondo, Andreas Ringwald, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, JCAP04 (2013) 016.

[3] “Experimental search for solar hidden photons in the eV energy range using kinetic mixing with photons”, T. Mizumoto, R. Ohta, T. Horie, J. Suzuki, Y. Inoue, M. Minowa, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, JCAP07 (2013) 013.

## 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 2 件)

① Jun'ya Suzuki, Yoshizumi Inoue, Tomoki Horie, Makoto Minowa: Hidden photon CDM search at Tokyo, e-print

arXiv, arXiv:1509.00785 [hep-ex] (2015),  
査読無 .

② J. Suzuki, T. Horie, Y. Inoue, M. Minowa: Experimental Search for Hidden Photon CDM in the eV mass range with a Dish Antenna, JCAP 09 (2015) 042, arXiv:1504.00118 [hep-ex], 査読有 .

[学会発表] (計 7 件)

① 田島治、小栗秀悟、鈴木惇也、長崎岳人、富田望、蓑輪眞:  $10^4$  eV 領域における暗黒光子の探索 電波望遠鏡技術を応用したスペクトロメーターの開発、日本物理学会 2016 年秋季大会、2016 年 9 月 21 日 -9 月 24 日、宮崎大学 (宮崎県宮崎市)

② 富田望、長崎岳人、小栗秀悟、鈴木惇也、蓑輪眞、田島治:  $10^4$  eV 領域における暗黒光子の探索 ミリ波スペクトロメーターによる探索実験、日本物理学会 2016 年秋季大会、2016 年 9 月 21 日 -9 月 24 日、宮崎大学 (宮崎県宮崎市)

③ J. Suzuki, T. Horie, Y. Inoue, M. Minowa: Hidden photon CDM search at Tokyo, 11th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISPs (Axion-WIMP 2015), University of Zaragoza, Zaragoza, Spain, 22 - 26 June 2015.

④ 鈴木惇也、堀江友樹、井上慶純、蓑輪眞: Hidden photon ダークマター探索 (1)、日本物理学会第 70 回年次大会、早稲田大学 (東京都新宿区) 2015 年 3 月 21 日 .

⑤ 堀江友樹、鈴木惇也、井上慶純、蓑輪眞: Hidden photon ダークマター探索 (2)、日本物理学会第 70 回年次大会、早稲田大学 (東京都新宿区) 2015 年 3 月

21 日 .

⑥ 堀江友樹、鈴木惇也、井上慶純、蓑輪眞: Hidden photon ダークマター探索 (1)、日本物理学会 2014 年秋季大会、佐賀大学 (佐賀県佐賀市) 2014 年 9 月 18 日 .

⑦ 鈴木惇也、堀江友樹、井上慶純、蓑輪眞: Hidden photon ダークマター探索 (2)、日本物理学会 2014 年秋季大会、佐賀大学 (佐賀県佐賀市) 2014 年 9 月 18 日 .

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

蓑輪 眞 (MINOWA, Makoto)  
東京大学・大学院理学系研究科・  
名誉教授  
研究者番号: 9 0 1 2 6 1 7 8