

平成 26 年 6 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24654059

研究課題名(和文) 太陽からのhidden sector photonの探索実験

研究課題名(英文) Experimental search for solar hidden sector photons

研究代表者

蓑輪 眞 (MINOWA, Makoto)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90126178

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)： 太陽が放射していると考えられている未発見の素粒子hidden sector photonをその質量がeV程度の範囲で専用の検出器により探索する実験を行った。真空槽内に取り付けられた直径500mmの放物面鏡とその焦点においた光電子増倍管より構成された検出器は、東京アクシオンヘリオスコープSumicoの上に載せられて太陽を追尾する仕組みである。

観測の結果有意な証拠は発見できなかったが、通常的光子とhidden sector photonの混合パラメータについて強い制限を与えた。

研究成果の概要(英文)： We have searched for solar hidden sector photons in the eV energy range using a dedicated detector. The detector consisted of a parabolic mirror installed in a vacuum chamber and a photomultiplier tube at its focal point. The detector was attached to the Tokyo axion helioscope, Sumico which has a mechanism to track the sun.

From the result of the measurement, we found no evidence for the existence of hidden sector photons and set a stringent limit on the photon-hidden photon mixing parameter depending on the hidden photon mass.

研究分野：素粒子実験

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：hidden sector 太陽

1. 研究開始当初の背景

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。これに対して、図 2 に示すように実験的には Coulomb の法則の逆二乗則からのずれ、

「Light shining through a wall (LSW)」と呼ばれる 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 (CAST) などでの制限が付けられていた。さらなる検証の可能性について、素粒子現象論家を中心とする人達及びその他の理論家による多くの論文で提案されていた。

当時、以下に示す我々の方法と同様の方法でドイツの DESY の SHIPS グループも太陽 hidden sector photon 探索を目指していたが、我々はそれに先駆け、世界で初めて太陽 hidden sector photon 観測を行うことができた。

2. 研究の目的

超対称性理論の予言する hidden sector における hidden sector photon が太陽から放射されている可能性が理論的に予言されている。

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り、これを hidden sector photon と呼ぶ。

この場合、hidden sector photon と通常の光との間でニュートリノ振動と同様の振動が生じる。この振動現象を用いた hidden sector photon 探索を行う。

3. 研究の方法

本計画では、強力な hidden sector photon 源である太陽から飛来する hidden sector photon を実験室内の真空容器で光子へと変換し光検出器で捕らえる。

Hidden sector photon が振動により実験室内の円筒状真空容器内で可視領域の通常光子となったものを放物面鏡で集光して低暗電流光電子増倍管で検出する。東京アクシオンヘリオスコープのコンピュータ制御経緯台にこの真空容器を載せ、太陽を追尾する。装置の概要を図 1 に示す。

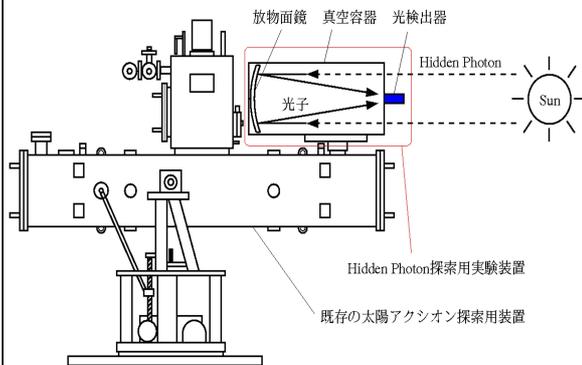


図 1

放物面鏡の焦点に置いた光検出器 (低暗電流のフォトンカウンティング光電子増倍管) により、真空容器内で hidden sector photon の振動により発生した光子を探索する。容器内に空気が存在すれば、その媒質効果により光子への転換確率が抑制されるため、ある程度の真空度が必要である (高真空である必要はない)。

観測は、太陽追尾装置により常に太陽から放射される hidden photon により発生した光が焦点に集まるようにして行われる。定期的に太陽を外した観測も行い、バックグラウンドとして追尾したデータより差し引かれる。

4. 研究成果

探索実験の結果、hidden sector photon の存

在する有意な証拠は見つからなかったが、通常の光子との間の混合パラメータ（混合角）に対して、強い制限を与えることができた。図 2 にその質量の関数として、排除された混合角の領域を示す。図中で present result (a) として示すものが今回の探索実験で排除された領域である。質量が 0.001-1.0 eV の範囲について、直接的観測によるものとしては最も強い制限である。

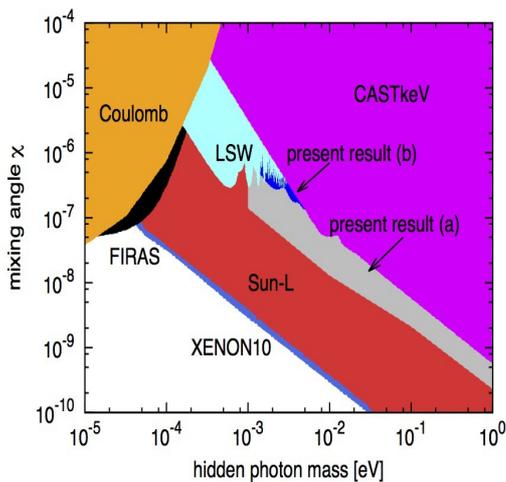


図 2

我々の結果発表後に、縦波モードの hidden sector photon に関する新たな理論的考察が行われ、太陽の放出するエネルギーに関する考察から、図 2 に Sun-L として示す新たな制限が加えられた。また、同様な考察から既存の XENON10 グループによる暗黒物質実験のデータを再解析して同様な制限が得られている。

この 2 つの新たな制限はともに縦波モードの hidden sector photon についての制限であるのに対し、我々の制限は横波モードのみについて解析しているので、これらにより変更を受けるものではない。また、hidden sector photon を専用の装置で直接的観測したものとしては最も強い制限であることも変わらない。

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) T. Mizumoto, R. Ohta, T. Horie, J. Suzuki, Y. Inoue, M. Minowa:

Experimental search for solar hidden photons in the eV energy range using kinetic mixing with photons,

JCAP 07 (2013) 013, 査読あり .

doi:10.1088/1475-7516/2013/07/013

(2) Y. Inoue, T. Mizumoto, R. Ohta, T. Horie, J. Suzuki, M. Minowa:

Search for Hidden photons with Sumico,

Proceedings of the 9th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISPs 2013, eds. U.~Oberlack and P.~Sissol, DESY-PROC-2013-04,

pp.109-114, 査読なし .

〔学会発表〕(計 9 件)

(1) 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 69 回年次大会 ,2014 年 3 月 28 日 , 東海大学 (神奈川県) .

(2) 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 69 回年次大会 ,2014 年 3 月 28 日 , 東海大学 (神奈川県) .

(3) 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 ，
日本物理学会 2013 年秋季大会 ，2013 年 9
月 23 日 ，高知大学（高知県） 。

(4) 堀江友樹 ，鈴木惇也 ，井上慶純 ，蓑輪
眞：

太陽 hidden photon の探索手法について ，
日本物理学会 2013 年秋季大会 ，2013 年 9
月 23 日 ，高知大学（高知県） 。

(5) Y. Inoue, T. Mizumoto, R. Ohta, T.
Horie, J. Suzuki, M. Minowa:

Search for Hidden photons with Sumico,
9th Patras Workshop on Axions, WIMPs and
WISPs 2013, Schloss Waldthausen, Mainz,
Germany, 24-28 June 2013.

(6) 堀江友樹 ，鈴木惇也 ，井上慶純 ，蓑輪
眞：

太陽 hidden photon 探索 (1) シャッターを用
いたバックグラウンド測定について ，
日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学
2013 年 3 月 28 日 。

(7) 鈴木惇也 ，堀江友樹 ，井上慶純 ，蓑輪
眞：

太陽 hidden photon 探索 (2) 新しいバックグ
ラウンド測定手法を用いた探索 ，
日本物理学会第 68 回年次大会、広島大学
2013 年 3 月 28 日 。

(8) 鈴木惇也 ，堀江友樹 ，井上慶純 ，蓑輪
眞：

太陽 hidden photon 探索 (1) hidden photon
探索の現状 ，
日本物理学会 2012 年秋季大会 ，京都産業
大学 2012 年 9 月 11 日 。

(9) 鈴木惇也 ，堀江友樹 ，井上慶純 ，蓑
輪眞：

太陽 hidden photon 探索 (2) 新たな探索
装置の開発 ，
日本物理学会 2012 年秋季大会 ，京都産
業大学 2012 年 9 月 11 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・教授

研究者番号： 90126178