

論文内容の要旨

論文題目 Experimental search for solar hidden sector photons
in the eV energy range using kinetic mixing with photons

(光子との kinetic mixing を利用したエネルギー eV 領域の
太陽 hidden sector photon の実験的探索)

氏名 水本 哲矢

標準模型は素粒子の物理をよく記述しているが、強い CP 問題、階層問題、フレーバーの問題等があり、これらを解決する必要がある。これらの問題を解決する方法として、更なるゲージ対称性を導入する方法がしばしば提案されてきた。一方、弦理論は一般相対性理論と量子力学を統一する有力な理論と考えられている。この弦理論においても更なるゲージ場の存在が考えられている。この新たなゲージ場の導入において最も単純なケースは U(1)対称性に関するものであり、この対称性に対応するゲージボソンは「hidden photon」と呼ばれ、Okun は質量を持った hidden photon が光子と混合するモデルを提唱している。

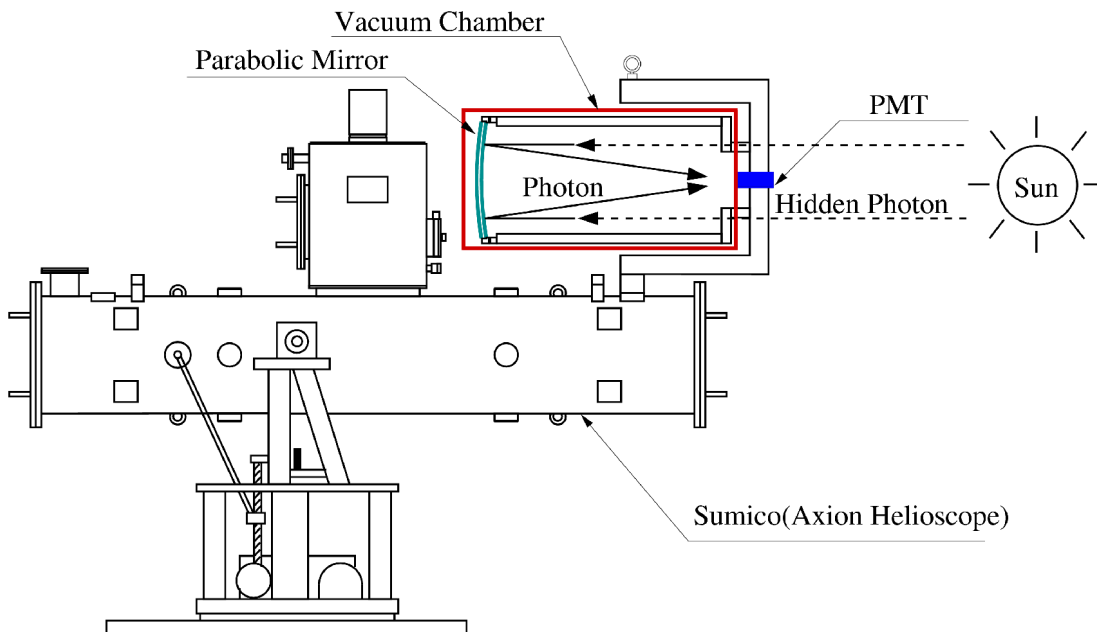
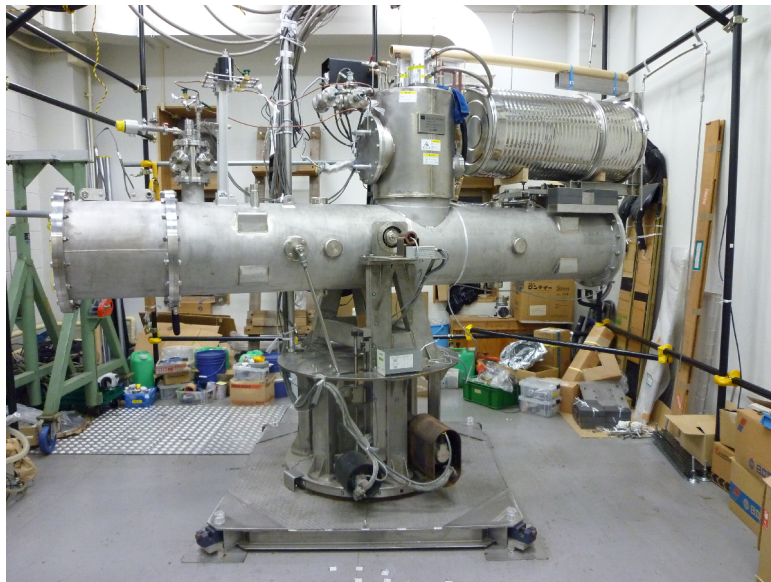
hidden photon は通常の物質とは直接相互作用をしないため、検出するのが困難である。そのため、今まで hidden photon に関する様々な実験的、理論的探索が行われてきたが、現時点では hidden photon の存在が確認されていない。hidden photon の性質として光子との混合による hidden photon から光子への、光子から hidden photon への転換があげられるが、この性質を利用していろいろな実験が行われてきた。例えば、光子から hidden photon への転換を利用して、レーザー光を用いて hidden photon を実験室で発生させ、その痕跡を探す「light shining through walls」と呼ばれる実験があげられる。また、hidden photon が存在すれば太陽は強力な hidden photon 発生源になりうるので、太陽内部で生成された keV 領域のエネルギーをもつ hidden photon を地上に設置した検出器で検出する実験も CERN の CAST グループにより行われた。また、hidden photon の存在がクーロン力の逆二乗則に修正を加えることになることを利用して、クーロン力の逆二乗則の精密測定結果を利用して、hidden photon の存在を確認する取り組みが行われた。しかし、現時点では hidden photon の存在を示す証拠は見つかっていない。

hidden photon が光子と混合する性質から keV 領域だけでなく、eV 領域のエネルギーをもつ hidden photon も太陽で大量に発生していると考えられる。このエネルギー領域では太陽内部だけでなく、太陽表面から放出される光が宇宙空間中で hidden photon に変わったものも地球に降り注いでいると考えられる。そこで、この eV 領域のエネ

ルギーをもつ太陽由来の hidden photon を探索できないかと考えた。

eV 領域のエネルギーをもつ hidden photon を検出するには hidden photon から光子に転換し、転換光子を光検出器で検出する必要がある。ここで、hidden photon の光子への転換確率は転換領域の長さ、真空度、hidden photon のエネルギー、質量、hidden photon と光子の混合のしやすさを示す混合角 χ など複数のパラメータに依存する。ここで、hidden photon の光子への転換確率は物質中では大きく抑制されるので転換確率を高い状態で保つには転換領域を真空にする必要がある。また、今までの実験結果から混合角 χ は非常に小さいことが予想され、きわめて少ない転換光子を検出する必要がある。そのため、感度の良い測定を行うためにはシングルフォトンを検出でき、ダークカウントレートの小さい光検出器を用いる必要がある。また、転換光子が可視光領域であることから S/N 比を高めるため転換光子を放物面鏡等で集光する方法が有効である。

以上より、太陽由来の eV 領域のエネルギーをもつ hidden photon を探索するためには hidden photon の転換領域を形成する真空容器、転換光子を集光する放物面鏡、転換光子を検出する光検出器を組み合わせた実験装置を用いる方法が有効であると考えられる。ただし、放物面鏡のサイズ、転換領域の長さ、光検出器の感度など実験装置の最終的な感度は複数のパラメータに依存しており、実験装置の設計には、実現可能なサイズの検出器で既存の実験を上回る感度の測定が行えるかを見積もる必要がある。そこで見積りを行い、見積り結果をもとに実験装置の設計、製作を行った。



太陽 hidden photon を探索するためには実験装置を太陽に向け、追尾する必要がある。今回の測定では hidden photon 実験装置を既存の実験装置で太陽を追尾することのできる太陽アクション探索実験装置(Sumicoと呼ばれている)にのせて測定を行う手法を取った。

本実験では、太陽 hidden photon 探索実験を 22 日間ほど行った。太陽追尾は日の出、日の入り前後のそれぞれ 5 時間ほどの間行い、それ以外の時間帯には太陽を追尾しないバックグラウンド測定を行った。もし太陽を追尾して測定したデータからバックグラウンドデータを引いたときに光検出イベントが残れば、それは太陽 hidden photon の転換光子が検出されたことを意味する。しかし、本実験で用いた光検出器にはダークカウントレートに温度依存性があり、この影響を取り除く必要がある。そこで、光検出器の温度を測定、記録し、データの解析の際に温度変化の影響を取り除く作業を行った。

実験結果からは、hidden photon の存在を示す証拠は見つからなかったが、実験結果を用いて、混合角 χ の上限値をもとめた。その結果、hidden photon の質量が meV あたりにおいて他の実験結果に比べて最も厳しい上限値をつけることができた。

