

# 論文審査の結果の要旨

氏名 富田 望

本論文は 8 章からなる。第 1 章は暗黒物質、特に hidden photon (HP)に関するイントロダクションであり、第 2 章は本研究において HP を探索する動機と関連する基礎原理や既存の制限を述べ、第 3 章では探索対象となる質量範囲と実験で用いる検出器の詳細、第 4 章はデータの取得とその状況、第 5 章では検出器の感度の決定や安定度を評価するための較正データの取得を記述し、第 6 章では取得したデータとその選択、信号を取り出す方法の詳説、解析方法の正当性の確認、系統誤差の評価が行われ、第 7 章では実際に得られたデータの解析結果とそれによって得られた HP と光子の混合のパラメーターに対する制限が示されるとともに、既存の研究で得られた制限との関係性と本研究の結果の比較、将来の見通しについての議論が行われ、第 8 章に結論が述べられている。

隠れた U(1)対称性は、素粒子物理学の様々な理論に現れることが知られている。HP は、その対称性に伴って存在が期待されている粒子である。HP は一般に質量を持ち、光子と混合すると期待されている。一方、宇宙には暗黒物質が存在することが知られており、その正体は未知である。Weakly interacting massive particles と呼ばれる粒子の可能性が議論されているが、その存在はまだ確認されていない。本研究では、質量を持つ HP が暗黒物質である場合に、ユニークな探索手法を開発し、これまで探索されたことがない質量・混合の強さの領域を探索することに成功した。

これまでの HP の探索には様々な手法が用いられてきた。HP が通常の光子と混合する場合には、金属板からほぼ垂直に電波が放出されることが期待出来る。本研究では、この原理に基づき、ストリング理論で期待される質量の下限に近い  $10^{-4}\text{eV}$  程度以上の探索を目標とした。少し質量の小さい場合は、大型の金属板から放出される電波を常温のアンプで受信する方法が採用されてきたが、質量が大きくなると金属板のサイズに比べてダークマタ

一のコヒーレント長が小さくなり、検出効率が悪くなる。そこで本研究では、電波天文学で採用されている低温のアンプを使用しノイズを落とし、金属板を大きくすることなく必要な感度を達成するアプローチをとった。本論文の主眼は、第 5 章に記述された低ノイズの検出器の開発と性能評価、そして第 7 章に記述されたデータ解析及び信号の探索である。

第 5 章は、探索を行った結果得られる信号を解釈するのに必要な、検出器の応答と受信機のノイズ評価、アンテナのプロファイルなどの評価にあてられている。冒頭には液体窒素と常温の黒体を用いた検出器ゲインと受信機ノイズレベルの決定が述べられ、その時間変化と理由が説明されている。アンテナの有効面積とそのビームプロファイルの測定、その誤差評価、周波数応答への誤差や温度依存性などを慎重に評価した。これらは探索結果の解釈の礎となるものであり、物理学上の成果を得るために本質的なデータとなる。

第 7 章は、得られたデータの解析が述べられている。正味 9.3 時間に相当するデータは、ノイズレベルを左右する天候の条件などを含むデータクオリティを保つ条件で選ばれている。解析では 28GHz 付近の 10MHz 幅のスペクトルを取得し、多数のデータを組み合わせて評価した。期待される信号は、HP の質量とその運動エネルギーの和のスペクトルになる。質量をスキャンしながら得られたスペクトル中に有意な信号が見られるかどうか探索した。その結果、統計的に有意な信号は見られなかった。そのため周波数ごとに上限値を設定した結果、115.79-115.84 $\mu\text{eV}$  の HP と光子の混合度 $\chi$ に対して最も厳しい制限  $\chi < 1.5-3.9 \times 10^{-10}$  (95%信頼度) を与えることができた。

なお、本論文については他 6 名との共同研究によるものであるが、実験の考案から測定セットアップの構築、各種キャリブレーション方法のデザインやその実行、実際のデータ収集、そしてデータ解析の全てに渡り、世界最高感度の研究を、論文提出者が主体となって遂行したものと判断する。10<sup>-4</sup>eV 程度以上でのより高感度を探索できる道を拓いた点も高く評価できる。

従って、博士(理学)の学位を授与できると認める。