

# 論文審査の結果の要旨

氏名 稲田 聡明

本論文は 6 章からなる。第 1 章は本研究においてアクシオンやアクシオン類似粒子 (axion-like particles, ALPs) を探索する動機と研究手法の独自性及び概要を述べた部分であり、第 2 章では実験で用いるパルス磁石と励起に用いるコンデンサバンクの特性及び駆動回路について延べ、第 3 章は X 線ビームラインへの組み込みやビームモニターを含む実験全体の状況を説明する部分であり、第 4 章ではデータの取得方法についての詳細と取得したデータのサマリー、及び得られたデータに関する詳細を述べるとともに、関連する系統誤差の評価を通じて ALP と光子の結合定数への制限が与えられ、第 5 章では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意義、将来の見通しについての議論が行われ、第 6 章に結論が述べられている。

光子と結合する未知の擬スカラー粒子の探索は近年の素粒子物理学にとって興味深いテーマである。最も良く知られた擬スカラー粒子の例としては、強い力の CP 問題を解決する可能性のあるアクシオンがある。強い力の CP 問題とは、強い力の理論に含まれる CP を破る位相と、弱い相互作用に関わるクォークの質量行列に含まれる位相の和が実験的に 0 に極めて小さいことをさす。アクシオンはその他の粒子との相互作用の強さと、アクシオンの質量の間に一定の関係があるのだが、その関係性を求めない粒子も広く興味をもたれ、ALP と呼ばれ探索が行われている。このような粒子が存在すれば、身近な太陽を始めとした天体観測で見られる理解の難しい現象を説明することができる場合があるためだ。

これまでの ALP の探索には様々な手法が用いられてきた。本研究では X 線に磁場を印可し変換された ALP が X 線を通さない壁をすり抜けたあと、磁場で ALP から変換された X 線を探索する手法を採用した。特に注目すべき点は、独自に開発したポータブルな常電導磁石を用い数ミリ秒の間だけ約 0.2Hz で繰り返し得られる 8.3T に至る磁場と、Spring-8

で得られる世界一強力な X 線源を組み合わせることで、0.1eV 付近の ALP に対して世界最高の感度で探索を行った点だ。この世界初の手法により ALP の探索にとって新たな実験的手法を切り拓いた。本論文の主眼は、第 2 章に既述されたパルス磁石及びコンデンサバンク部分の開発と評価、そして第 4 章に既述されたデータ解析及び信号の探索である。

第 2 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、パルス磁石の磁場強度プロファイルと時間プロファイルの評価にあてられている。冒頭にはパルス磁石に求められる条件が述べられ、それを実現するための機械的強度、昇温を抑えるための工夫が説明されている。製作されたパルス磁石の測定には自作のピックアップコイルを用い磁場のマッピングを行い、ヒートロスの評価を通じて熱的条件を測定し、漏れ磁場も評価した。電源と回路を詳説し、時間プロファイルを評価した。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 6 章は、得られたデータの解析が述べられている。正味 2 日間に相当するデータは、磁石を冷却するための液体窒素の供給を行うため、区切って行われた。解析ではパルスごとの磁石の電流プロファイルを積分し、区切られたデータ前後に測定されたビーム強度が考慮された。ALP から変換された X 線は、ゲルマニウム検出器で検出される。信号は磁場が発生している時間窓に入り、かつもともとの X 線のエネルギーに相当するエネルギー窓に入ることが求められた。探索の結果信号は 1 事象も見られず、その結果 0.1eV 付近以下の ALP と光子との間の結合定数に世界最良の上限値  $2.51 \times 10^{-4} \text{GeV}^{-1}$  を与えることができた。

なお、本論文については他 13 名との共同研究によるものであるが、実験の考案からマグネットの最適化、励磁回路の構築、実際のデータ収集、そしてデータ解析の全てに渡り、論文提出者が主体となって遂行したものと判断する。より強力な X 線源、強化したパルス磁石を用いる見通しもあり、それによってさらに高感度に ALP 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。