

論文審査の結果の要旨

氏名 太田 良介

本論文は8章からなり英語で記述される。第1章のイントロダクションから始まり、第2章では素粒子アクシオンの理論的要請とこれまでの実験的探索結果がまとめられている。量子色力学(QCD)は強い核力を記述し素粒子の標準理論の一角をなすが、強い核力でCP対称性が破れていない事を説明するためにアクシオンという素粒子の存在を予言する。アクシオン粒子は実験的に未発見、その詳しい性質は今だ不明であり、広い質量値とアクシオン・光子の結合定数値領域が可能性として残されており、その解明は実験的な課題となっている。特に本論文で対象とされる質量範囲 $0.79\text{eV}/c^2$ から $0.84\text{eV}/c^2$ での、DFSGモデルから予言される結合定数範囲の直接検出方法による検証は過去になく、本論文でまとめられた実験的検証を行う意義は大きい。第3章では太陽中心部で生成されると期待されるアクシオンのエネルギー分布や検出時に必要となる共鳴条件が説明される。太陽中心付近の光から生成されるアクシオンのエネルギー分布は、太陽中心付近の温度により決定され約 3keV にピークを持つ。本実験では、地上に設置された検出器内で太陽から飛来するアクシオンから変換される 3keV 程度のX線が検出対象となる。第4章では、本論文で用いられる太陽アクシオン検出装置の詳細が述べられ、第5章ではその性能がまとめられている。筒状の真空容器内に 2.3m 長の超伝導磁石を設置し、アクシオン・X線変換に必要な 4T の強磁場を実現した。アクシオンからX線への変換の共鳴条件を達成するために、密度を調整したヘリウム4を検出器内に封入し、また低バックグラウンドのX線検出器である半導体検出器を磁石の下流に設置した。さらに検出器全体を太陽方向に合わせる自動追尾装置を備える。第6章では観測データとその解析結果が報告されている。データ収集は2008年7月17日から8月15日の間に行われ、検出器を太陽方向に向けた観測データと別方向に向けたバックグラウンドデータが得られた。ヘリウム密度等測定条件を十分に一定に保った観測に成功した。X線観測データのノイズを除去し、 4keV 以上の観測データをアクシオン測定データとして詳細な解析を行った。検討の結果アクシオン信号の有意な検出は見られず、結合定数に対する上限値を統計的手法により計算した。第7章では結論として、本実験で得られたアクシオンの結合定数の制限値が述べられている。第8章は謝辞である。

本論文は、太陽中心部で生成されると期待されるアクシオン粒子を強磁場をかけた検出装置内でX線に変換し、半導体検出器での検出を試みたものである。また封入したヘリウムガスの密度を調整し、X線の有効質量をアクシオンの質量とあわせることにより変換反応確率を高める工夫がなされ、測定条件を保った観測に成功した。アクシオン粒子の質量範囲 0.79eV から 0.84eV で光子とアクシオンの結合定数が $(6.2-17.4) \times 10^{-10} \text{GeV}^{-1}$ 以下という制限を与えた。この結果は直接検出の方法による世界最高の制限である。この結果は理論から期待される結合定数の値の一部を実験的に検証・棄却し、アクシオンの性質に対する新しい知見が得られている。

なお、本論文で述べられている実験は、秋本祐希・井上慶純・水本哲矢・蓑輪眞・山本明との共同研究であるが、論文提出者が主体となって装置の運転、データ解析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。また本人が主体となって準備した技術論分(本実験装置をまとめたもの)が受理され、出版予定であることも申し添える。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。