論文の内容の要旨

論文題目　Search for solar axions with the Tokyo axion helioscope
(東京アクシオンヘリオスコープ装置による太陽アクシオンの探索)

氏　名　井上 慶純

アクシオンは強い相互作用における CP 対称性をめぐる理論と実験の齟齬を埋める存在として期待される理論上の素粒子である。もしアクシオンが存在すれば、それは太陽中心でも生成されると考えられる。我々はアクシオンヘリオスコープと呼ばれる装置によりその検出を試みた。その装置は長さ 2.3 m 中心磁場強度 4 T の超電導電磁石、光子=アクシオン間の分散を整合させるための気体を収める容器、PIN 型光ダイオードからなる X 線検出器、太陽を追尾するための望遠鏡架台から構成されている。第二期測定においては気体ヘリウム-4 をアクシオン=光子変換領域に導入し、アクシオン質量にして $m_a < 0.27\,\mathrm{eV}$ までの領域が新たに探索された。第三期測定においてはさらに質量の大きなアクシオンも探索できるよう改良が加えられ、1 eV 近辺の質量領域での探索が行われた。

これまで探索を行った質量領域ではアクシオンの存在を示す信号の増加は観測されていない。この事実からアクシオン=光子間結合定数に対して信頼度 95%でそれぞれ、質量 $0.06\,\mathrm{eV} < m_a < 0.27\,\mathrm{eV}$ のアクシオンについて $g_{a\gamma} < 6.5\text{–}10.4 \times 10^{-10}\,\mathrm{GeV}^{-1}$、質量 $0.84\,\mathrm{eV} < m_a < 1.00\,\mathrm{eV}$ のアクシオンについて $g_{a\gamma} < 5.6\text{–}13.4 \times 10^{-10}\,\mathrm{GeV}^{-1}$ という新たな上限値をつけた。この上限値は太陽寿命から見積もられる上限値を凌駕し、さらに仮定をふやし陽震学的に求めた上限値をも越えてアクシオンの存在しうるパラメーター領域に制限を加えた。この結果をもって第二期測定は上記質量領域における世界で初めての自己無矛盾的太陽アクシオン観測、つまり、その依拠している太陽モデル自体を崩壊させてしまわないパラメーター領域での観測が可能な初めての実験となった。アクシオン理論は $g_{a\gamma}$ と m_a の関係についてもある程度の予測を与えるが、第三期測定は理論が存在しうると予想する $g_{a\gamma}$ と m_a のパラメーター領域について検証可能な感度をアクシオンヘリオスコープ型装置を用いて世界で初めて実現した実験となった。これらの結果はその公開時において、太陽アクシオン検出についての世界最高感度を実現した。

本論文ではその実験の詳細と結果、そして新たなパラメータ領域を切り拓いた実験技術について述べる。