

博士論文概要 (2017年度)

大阪大学大学院 理学研究科 物理学専攻 原子核理論研究室

博士論文公聴会の公示(物理学専攻)

学位申請者：上坂 優一

論文題目: Charged Lepton Flavor Violation Process $\mu^-e^- \rightarrow e^-e^-$ in Muonic Atoms
(ミュオン原子中での荷電レプトンフレーバーを破る過程 $\mu^-e^- \rightarrow e^-e^-$)

日時：2018年 2月 7日 (水) 18:00-19:30

場所：理学研究科H棟 7階セミナー室 (H701 号室)

主査：浅川正之

副査：兼村晋哉、久野良孝、窪田高弘、佐藤透

論文要旨:

レプトンフレーバーは現在の素粒子標準模型におけるよい保存量である一方、標準模型を超える多くの模型ではレプトンフレーバー非保存 (LFV) 過程が自然と予言される。ニュートリノにおける LFV 過程としてニュートリノ振動の存在がすでに知られているが、荷電レプトンにおける LFV (CLFV) は未だ見つかっていない。CLFV の探索は標準模型を超える物理に対する重要な探針のひとつとして注目されており、様々な CLFV 過程について探索実験が行われている。

CLFV 探索の新たな有力候補として、ミュオン原子における $\mu^-e^- \rightarrow e^-e^-$ 過程が小池らによって 2010 年に提案された。終状態電子対のエネルギー和はおよそミュオン質量となることから非常に明解なシグナルが期待されること、接触型と光子型の 2 つの相互作用に感度があること、原子核クーロンポテンシャルによる遷移確率の増大があることなど、この過程の探索にはいくつか利点がある。本論文では、ミュオン原子における $\mu^-e^- \rightarrow e^-e^-$ 過程について、定量的な解析を行った。CLFV 相互作用とレプトン波動関数の多重極展開を用いて、遷移確率を定式化した。さらに、有限の原子核電荷分布を考慮したクーロンポテンシャルを含むディラック方程式の解を用いることにより、先行研究でのミュオンや電子の波動関数の定量性を向上させた。結果として、特に重い原子における遷移確率の計算において、波動関数の定量的な取り扱いが非常に重要な役割を果たすことが判明した。その定性的な影響は CLFV 相互作用の型に依存しており、接触型過程では遷移確率を増大させる一方、光子型過程では抑制することも示された。先行研究の結果と比べて、 ^{208}Pb において接触型過程では一桁近く増大し、光子型過程では 4 分の 1 程度に抑制される結果が得られた。

これらの解析の結果から、 $\mu^-e^- \rightarrow e^-e^-$ 過程探索における観測量を用いた CLFV 相互作用の決定についての議論も行った。その際、CLFV 崩壊率の原子核依存性、および放出電子のエネルギー・角度分布が接触型と光子型相互作用を区別する際に有用となることを示した。加えて、偏極ミュオンを用いて放出電子の角度分布の非対称度を測定することにより、CLFV 相互作用のカイラル構造を調べる可能性についても解析を行った。