

Title	Study of Negative Muon to Positron conversion in the COMET Phase-I experiment
Author(s)	Wong, Ting Sam
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/76361">https://hdl.handle.net/11094/76361</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## Abstract of Thesis

Name ( TingSam Wong )	
Title	Study of Negative Muon to Positron conversion in the COMET Phase-I experiment ( COMET Phase-I実験における負電荷ミュオン陽電子転換過程探索の研究)
<p>Abstract of Thesis</p> <p>The existence of violation of the fundamental conservation laws, such as charged lepton flavor violation (CLFV) and lepton number Violation (LNV) would be two fundamental issues that would lead to discovery of new physics phenomena beyond the Standard Model (SM) of particle physics. Discovery of CLFV and LNV will also enhance our understanding of the lepton origin in the SM. The muon-to-positron conversion (<math>\mu^-e^+</math> conversion) in a muonic atom is considered as one of the best candidates to study CLFV and LNV. Currently, the COherent Muon to Electron Transition (COMET) Phase-I experiment at J-PARC is essentially one of the frontier experiments that can provide an opportunity to measure not only <math>\mu^-e^-</math> conversion in <math>^{27}\text{Al}</math> but also <math>\mu^-e^+</math> conversion. From the simulation studies with the setup of the COMET Phase-I experiment, the <math>^{27}\text{Al}(\mu^-, e^+)^{27}\text{Na}</math> is shown to have a large background contamination. Hence, a list of the other candidates of muon stopping target materials such as <math>^{32}\text{S}</math>, <math>^{40}\text{Ca}</math>, <math>^{48}\text{Ti}</math>, <math>^{50}\text{Cr}</math>, <math>^{54}\text{Fe}</math>, <math>^{58}\text{Ni}</math>, <math>^{64}\text{Zn}</math> and <math>^{70}\text{Ge}</math> are proposed.</p> <p>Considering only the ground state transition of the conversion process, we conclude that conversion process involving <math>^{32}\text{S}</math> and <math>^{40}\text{Ca}</math> are the best candidates because of their high sensitivity and low background properties. We report the upper limit and background events to be</p> $\text{Br}(\mu^- + ^{40}\text{Ca} \rightarrow e^+ + ^{40}\text{Ar}) < 4.1 \times 10^{-14} \text{ (90\% C.L.) with 0.09 background and}$ $\text{Br}(\mu^- + ^{32}\text{S} \rightarrow e^+ + ^{32}\text{Si}) < 3.0 \times 10^{-14} \text{ (90\% C.L.) with 0.3 background in 150 days of physics}$ <p>measurement. This result would improve on the previous limit of SINDRUM-II experiment<sup>1</sup> by two orders of magnitude.</p> <p><sup>1</sup> J. Kaulard et al. “Improved limit on the branching ratio of mu- → e+ conversion on titanium”. In: Phys. Lett. B422 (1998), pp. 334–338. DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/S0370-2693(97)01423-8">10.1016/S0370-2693(97)01423-8</a>.</p>	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( Ting Sam WONG )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	久野良孝
	副 査	教授	川畑貴裕
	副 査	教授	能町正治
	副 査	准教授	青木正治
	副 査	准教授	南條創
<b>論文審査の結果の要旨</b>			
<p>本研究は、ミューオン原子の中で、ニュートリノ放出を伴わずに負電荷ミューオンが陽電子に変換する過程 (<math>\mu^- N(A, Z) \rightarrow e^+ N(A, Z - 2)</math> 以下、<math>\mu^- \rightarrow e^+</math> 転換過程と参照) を探索する実験について、その実験感度や背景事象の評価を、シミュレーション計算を用いて研究したものである。</p> <p>一般に、素粒子には幾つかの基本対称性に基づく量子数保存量がある。たとえば、ミューオンや電子などのレプトンにはレプトン数がある。反応の前後でレプトン数の和は保存すると思われており、その保存を破るような物理現象は発見されていない。本研究での <math>\mu^- \rightarrow e^+</math> 転換過程はそのレプトン数保存を破る過程である。もしこの過程が発見されると、標準理論では説明できず、より一層完成された理論を構築するヒントを得る可能性がある。したがって、素粒子物理学において強い関心を持たれている。</p> <p>また、他のレプトン数非保存過程として、ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊探索がある。これらと比較すると、二重ベータ崩壊では電子が 2 個関与し、本研究の <math>\mu^- \rightarrow e^+</math> 転換過程過程では電子とミューオンが関与するというように、後者ではレプトンのフレーバー量子数も保存していない。このように本研究で探索しようとしている過程は非常にユニークで、新物理探索に向いていると思われている。(K 中間子崩壊でもミューオンと電子を含むレプトン数非保存過程があるが、本研究の負電荷ミューオン陽電子転換過程の実験精度はより良いことが分かっている。) 現在の実験上限値は、終状態の原子核が基底状態の場合について、<math>\text{Br}(\mu^- + \text{Ti} \rightarrow e^+ + \text{Ca}) &lt; 1.7 \times 10^{-12}</math> である。</p> <p>現在東海村の J-PARC で COMET Phase-I 実験が準備中である。COMET Phase-I 実験は <math>\mu^- \rightarrow e^-</math> 転換過程を探索する実験である。本研究の <math>\mu^- \rightarrow e^+</math> 転換過程についても、COMET Phase-I 実験の検出器を用いて同時に探索することが可能性であり、これを用いて、<math>\mu^- \rightarrow e^+</math> 転換過程を探索しようというのが本研究の課題である。</p> <p>本研究の特色は、<math>\mu^- \rightarrow e^+</math> 転換過程探索で背景事象となる輻射ミューオン捕獲過程からの陽電子を削減するために、最良のミューオン標的物質を検討したことである。このために必要な原子核質量に対する条件を求めた。それは、標的原子核の質量を <math>M(A, Z)</math> とすると、<math>M(A, Z - 2) &lt; M(A, Z - 1)</math> である。この条件を満たす原子核は限られていて条件を満たす原子核を選別した。特に、メインモードである <math>\mu^- \rightarrow e^-</math> 転換過程実験で用いられるアルミニウム標的は <math>\mu^- \rightarrow e^+</math> 転換過程探索においては背景事象が多すぎて実験感度が向上できないことを示した。</p> <p>背景事象としては、輻射ミューオン捕獲過程の他に、輻射パイオン捕獲過程と宇宙線ミューオン起源のバックグラウンドを詳細に検討し、宇宙線ミューオン起源のバックグラウンドも重要であることを示した。さらに、実験面では、運動量分解能が実験感度にどのように影響するかを評価した。また、将来、検出器を修正して、より実験感度を向上する可能性も議論した。研究の結果として、いくつかの候補となる原子核のうち、特に <math>^{40}\text{Ca}</math> と <math>^{32}\text{S}</math> が最善の標的物質であることを示した。それらの実験精度としては、150 日の COMET Phase-I 実験で、<math>\text{Br}(\mu^- + ^{40}\text{Ca} \rightarrow e^+ + ^{40}\text{Ar}) &lt; 4.1 \times 10^{-14}</math> で予想背景事象は 0.09 イベント、また、<math>\text{Br}(\mu^- + ^{32}\text{S} \rightarrow e^+ + ^{32}\text{Si}) &lt; 3.0 \times 10^{-14}</math> で予想背景事象は 0.3 イベントを得た。このように、従来の実験上限値を数十倍向上できることを示した。</p> <p>よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。</p>			