

レプトンフレーバーの破れを伴う True Muoniumの崩壊

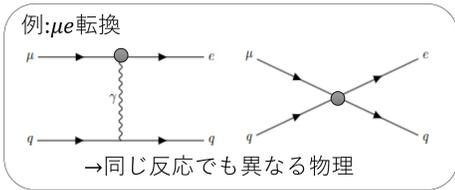
横浜国立大学 大学院理工学府 港遼太郎
 共同研究者：佐藤朗(大阪大学), 須田亮介(埼玉大学), 山中真人(法政大学)
 Work in Progress

1. Lepton Flavor Violation(LFV)

- LFV反応：反応前後でレプトンフレーバーが非保存
 →見つければ標準模型を超えた新しい物理

(例) 標準模型 $\mu^- \rightarrow e^- \nu_\mu \bar{\nu}_e$ LFV $\mu^- \rightarrow e^- \gamma$ $\mu^- \rightarrow e^- e^- e^+$ $\mu^- N \rightarrow e^- N$

加速器：新粒子の直接探査
 ↓
 LFV：中間粒子を間接探査

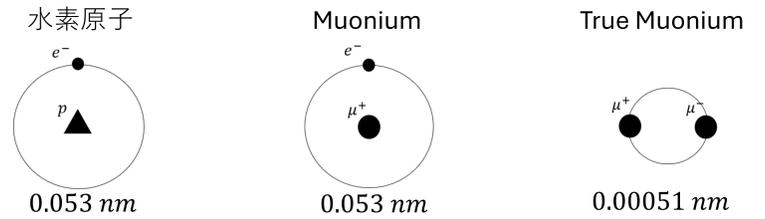


→影響の大きい物理を知るため多くの反応を検証したい

新しいLFV反応($\mu^+ \mu^- \rightarrow \mu^+ e^-$)を考案

2. True Muonium($(\mu^+ \mu^-)$)について

- True Muonium($(\mu^+ \mu^-)$)： μ^+ と μ^- の束縛状態



- ミューオンの冷却が難しいことから実験的に未発見
 →現在、複数の方法で生成が考案されている

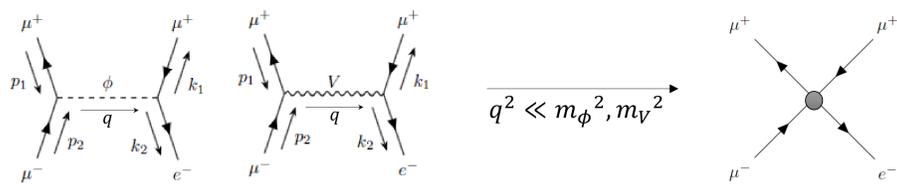
(例) $e^+ e^-$ の加速器衝突、固定原子と電子の衝突、低エネルギー $\mu^+ \mu^-$ 衝突

($\mu^+ \mu^-$)を始状態として崩壊を測定

3. スカラー、ベクトル、双極子型演算子を用いたLFV過程の分類

($\mu^+ \mu^- \rightarrow \mu^+ e^-$)の模型として以下のスカラー型、ベクトル型、双極子型の演算子を仮定

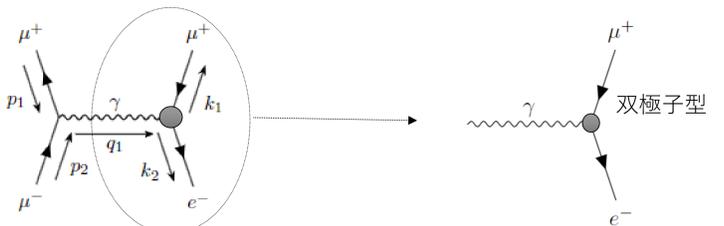
- スカラー、ベクトル型のフェルミ相互作用
 中間状態が始状態と比較して十分に重いと接触相互作用とみなせる



$$\mathcal{L}_{\text{int}}^{(S)} \supset -\frac{1}{\Lambda^2} [g_{SLL}(\bar{\psi}_\mu P_L \psi_\mu)(\bar{\psi}_e P_L \psi_e) + g_{SRR}(\bar{\psi}_\mu P_R \psi_\mu)(\bar{\psi}_e P_R \psi_e)]$$

$$\mathcal{L}_{\text{int}}^{(V)} \supset -\frac{1}{\Lambda^2} [g_{VLL}(\bar{\psi}_e \gamma^\mu P_L \psi_\mu)(\bar{\psi}_\mu \gamma_\mu P_L \psi_\mu) + g_{VRR}(\bar{\psi}_e \gamma^\mu P_R \psi_\mu)(\bar{\psi}_\mu \gamma_\mu P_R \psi_\mu) + g_{VRL}(\bar{\psi}_e \gamma^\mu P_R \psi_\mu)(\bar{\psi}_\mu \gamma_\mu P_L \psi_\mu) + g_{VLR}(\bar{\psi}_e \gamma^\mu P_L \psi_\mu)(\bar{\psi}_\mu \gamma_\mu P_R \psi_\mu)]$$

- 双極子型演算子+ゲージ相互作用
 $\mu \rightarrow e \gamma$ を引き起こす双極子型のループダイアグラムを検証



$$\mathcal{L}_{\text{int}}^{(D)} \supset -e \bar{\psi}_\mu A \psi_\mu - \frac{v_{Higgs}}{\Lambda^2} (A_L \bar{\psi}_e \sigma^{\mu\nu} P_L \psi_\mu F_{\mu\nu} + A_R \bar{\psi}_e \sigma^{\mu\nu} P_R \psi_\mu F_{\mu\nu})$$

独立な8つの結合定数 $g_{SLL}, g_{SRR}, g_{VLL}, g_{VRR}, g_{VRL}, g_{VLR}, A_L, A_R$ について分岐比への依存性を評価

4. 計算結果

$$BR(\mu^+ \mu^- \rightarrow \mu^+ e^-) = \frac{\Gamma(\mu^+ \mu^- \rightarrow \mu^+ e^-)}{\Gamma(\mu^+ \mu^-)}$$

$$= \frac{1}{\Lambda^4} [6.59 \times 10^{-4} (|g_{SLL}|^2 + |g_{SRR}|^2) + 3.89 \times 10^{-2} (|g_{VLL}|^2 + |g_{VRR}|^2) + 3.59 \times 10^{-2} (|g_{VLR}|^2 + |g_{VRL}|^2) + 8.44 \times 10^4 (|A_L|^2 + |A_R|^2) + (\text{干渉項})]$$

$\mu \rightarrow e \gamma$ から結合定数に制限が加わる($\Lambda \sim 1[\text{TeV}]$)

$$BR(\mu \rightarrow e \gamma) < 3.1 \times 10^{-13}$$

$$g_S, g_V < 1.83 \times 10^{-5}, \quad A_L < 10^{-10}$$

結論

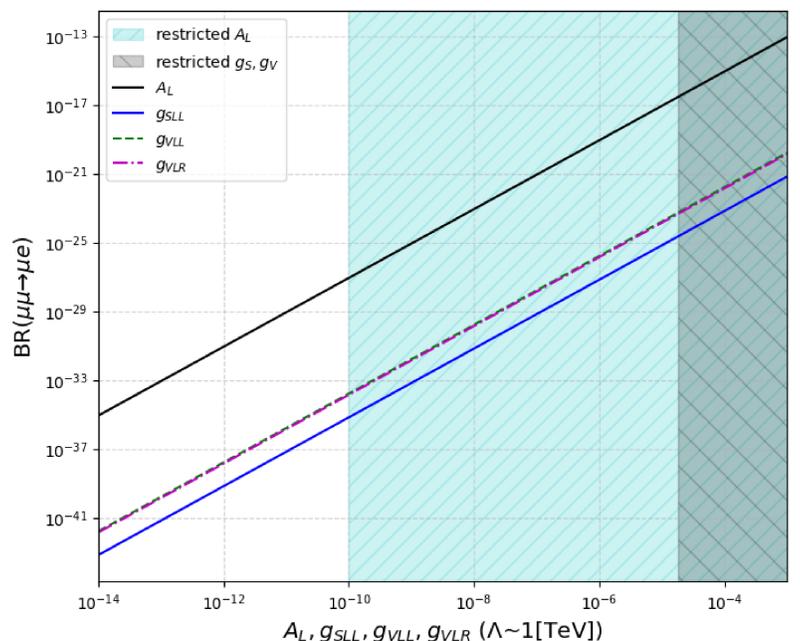
$$A_L \rightarrow BR(\mu\mu \rightarrow \mu e) < 10^{-27}$$

$$g_S \rightarrow BR(\mu\mu \rightarrow \mu e) < 10^{-25}$$

$$g_V \rightarrow BR(\mu\mu \rightarrow \mu e) < 10^{-23}$$

→新粒子がtreeで寄与と仮定すると 10^{23} 以上のTrue Muoniumが必要

グラフ：各結合定数に対する分岐比



5. まとめと展望

まとめ

- True Muoniumの崩壊過程によって新しいLFV反応($\mu^+ \mu^- \rightarrow \mu^+ e^-$)を考案した
- スカラー型、ベクトル型、双極子型の3種の演算子で評価を行った

展望

- スカラー、ベクトル： $\mu \rightarrow e \gamma$ で制限されない模型を探す
- 双極子： $\mu \rightarrow 3e$ から制限されるoff shell光子の場合を加えて計算する
 →制限が弱くなり、より少ないTrue Muoniumで検証できる可能性