

Z-Z'混合を介したU(1)_{L_μ-L_τ}ゲージ模型への新しい制限

K. Asai^(ICRR) * C. Miyao^(Kyushu U.) S. Okawa^(KEK) K. Tsumura^(Kyushu U.)

based on [arXiv : 2401.17613]



2401.17613のページのQRコード

①研究の概要

■ 研究背景

- U(1)_{L_μ-L_τ}模型はミューオンg-2を説明可能.
- ニュートリノに関する実験の精密化.
(→ 単純な標準模型の拡張では実験の説明が難しそう.)

■ 我々の目的

- 実験と整合するU(1)_{L_μ-L_τ} gauge対称性に基づく模型を明らかにすること.

■ 結果

- SU(2)二重項スカラーを含む最小U(1)_{L_μ-L_τ}模型は質量行列構造解析の結果生存.
- しかし, この模型はFlavor Changing Meson Decay と Atomic Parity Violation, Higgsセクターからの制限により完全に排除.
- 最小模型にSU(2)一重項スカラーを加えた拡張模型は生存.

②導入

■ 最小U(1)_{L_μ-L_τ} gauge模型

SM + 右巻きニュートリノ N_i + SU(2)二重項スカラー場 Φ

U(1)_{L_μ-L_τ} 電荷

場	($\ell_e \ell_\mu \ell_\tau$)	($e_R \mu_R \tau_R$)	($N_e N_\mu N_\tau$)	Φ (SU(2) 二重項)
U(1) _{L_μ-L_τ} 電荷	(0 +1 -1)	(0 +1 -1)	(0 +1 -1)	+1

スカラーポテンシャル

$$\mathcal{V} = m_1^2(H^\dagger H) + m_2^2(\Phi^\dagger \Phi) + \frac{\lambda_1}{2}(H^\dagger H)^2 + \frac{\lambda_2}{2}(\Phi^\dagger \Phi)^2 + \lambda_3(H^\dagger H)(\Phi^\dagger \Phi) + \lambda_4(H^\dagger \Phi)(\Phi^\dagger H)$$

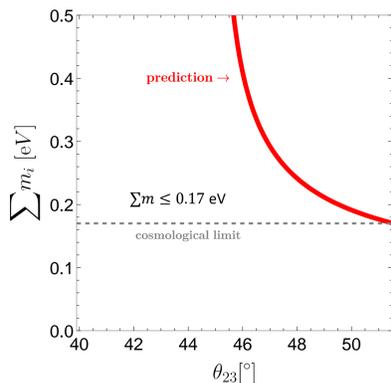
$$H = \begin{pmatrix} i\omega_1^+ \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(v_1 + h_1 - iz_1) \end{pmatrix}, \quad \Phi = \begin{pmatrix} i\omega_2^+ \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(v_2 + h_2 - iz_2) \end{pmatrix}, \quad v^2 \equiv v_1^2 + v_2^2$$

■ ニュートリノ質量行列解析の結果(NuFIT v5.2)

- ニュートリノ質量→逆階層.
- 質量行列→ B_3 texture.
- 3σ の範囲($\theta_{23} = 51.5^\circ$)で生存.

m_1 [eV]	m_2 [eV]	m_3 [eV]	α_2/π	α_3/π	δ_{CP}/π
0.064	0.065	0.041	-0.05	0.96	1.49

($\theta_{12}, \theta_{13}, \Delta m_{21}^2, \Delta m_{3\mu}^2$ はNuFITのBestFitの値に固定. $\theta_{23} = 51.5^\circ$ での予言値.)



③模型に依存する新しい制限

■ Z-Z'混合

- U(1)_{L_μ-L_τ} gauge対称性はZ-Z'混合を誘発.
- Z-Z'混合によるZ'の相互作用;

$$\mathcal{L} \supset Z'_\mu (g_{Z'} J_{L_\mu-L_\tau}^\mu + \varepsilon \varepsilon J_{em}^\mu + \varepsilon_Z g_Z J_{NC}^\mu)$$

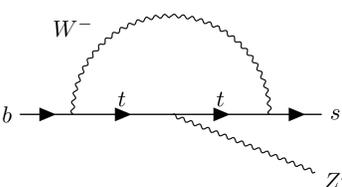
- 混合により G_F と $\sin^2 \theta_W$ が変化.

ε : Kinetic Mixing
 $\varepsilon_Z \equiv (m_{Z'}/m_Z)\delta$: Mass Mixing

■ Flavor Changing Meson Decay ($K^+ \rightarrow \pi^+ Z'$)

$$\text{Br}(K^+ \rightarrow \pi^+ Z') \lesssim (1 \sim 6) \times 10^{-11}$$

@90% C.L. ($m_{Z'} = [0, 260]$ MeV)



■ Atomic Parity Violation(APV)

- Z'のSMとの相互作用はParityを破り, APVに寄与.

$$\mathcal{L}_{APV} = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \{ g_{AV}^{eu} (\bar{e} \gamma_\mu \gamma_5 e) (\bar{u} \gamma^\mu u) + g_{AV}^{ed} (\bar{e} \gamma_\mu \gamma_5 e) (\bar{d} \gamma^\mu d) \}$$

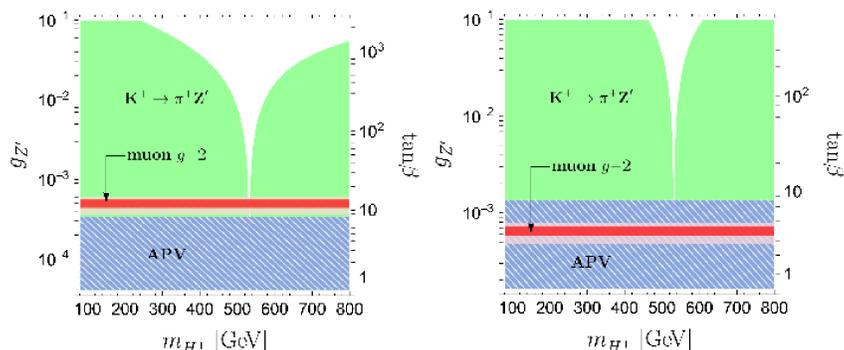
- APVの測定によって決まるCsの弱電荷からの制限;

$$\delta^2 \lesssim 5.7 \times 10^{-3}$$

④最小U(1)_{L_μ-L_τ} gauge模型への制限

■ FCMDとAPVからの制限

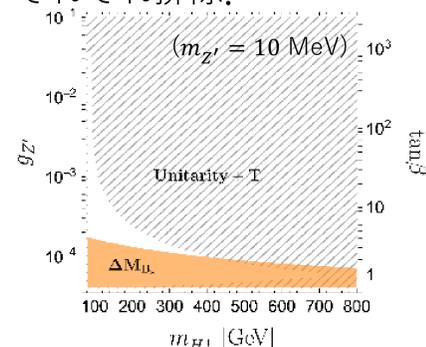
- 最小模型では $\delta = \cos \beta \equiv v_2/v$, $m_{Z'} = g_{Z'} v \cos \beta$.
- 制限の表す図は下図(左: $m_{Z'} = 10$ MeV, 右: $m_{Z'} = 40$ MeV). 緑と青の領域がFCMDとAPVによって排除. 赤の帯状はミューオンg-2を説明可能.



- $m_{Z'} = 10$ MeVのとき, 排除されないミューオンg-2を説明できる領域が荷電Higgs質量 $m_{H+} \sim 530$ GeVで存在.

■ Higgsセクターからの制限

- HiggsセクターはユニタリティとTパラメータにより制限.
- B中間子振動 ΔM_{B_s} の観測からの制限も存在.
- 制限を図示すると下図. 斜線部はユニタリティとT, オレンジの領域は ΔM_{B_s} の制限によりそれぞれ排除.



これらの制限によって最小模型は完全に排除.

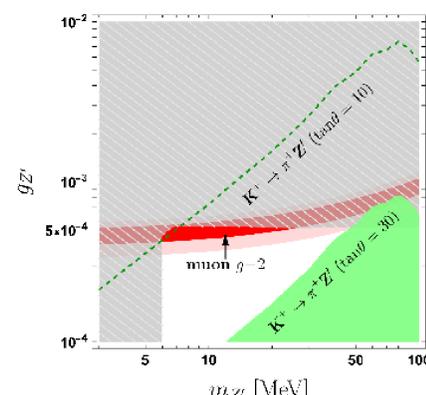
⑤拡張模型への制限

■ 拡張模型

最小模型 + SU(2)一重項スカラー σ [U(1)_{L_μ-L_τ} 電荷: +1]

- 拡張により, $\delta = \text{sign}(Q_\Phi) \cos \beta \cos \theta$, $m_{Z'}^2 = g_{Z'}^2 (v_\sigma^2 + v_2^2)$ へと変更. ここで, $\cos \theta \equiv v_2 / \sqrt{v_\sigma^2 + v_2^2}$ と定義.
- $m_{H+} \sim 300$ GeVの図は以下;

灰色斜線: NA64 μ , 白色矮星, N_{eff} により排除される領域
緑点線: $\tan \theta = 10$ のときのFCMD
緑領域: $\tan \theta = 30$ のときのFCMD
赤バンド: ミューオンg-2を適切に補正する領域



拡張模型は $\tan \theta \gtrsim 10$ のとき生存.