

Leptoflavorgenesis:

LFV interactionを用いた宇宙のバリオン数生成機構



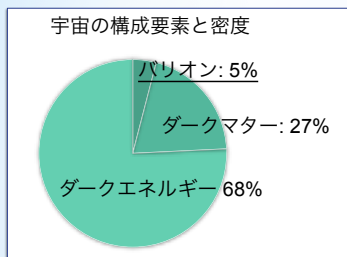
山田 将樹 (東北大学)

Kyohei Mukaida, Kai Schmitz, MY, Phys.Rev.Lett. 129 (2022) 1, 011803



バリオン数の非対称性と、対称性の破れの反応

宇宙のバリオン数を生成するには、素粒子標準理論を超えた物理が必要



B生成に必要なサハロフの三条件: Sakharov '67

- Bの破れ
- C, CPの破れ
- 非熱平衡状態

$\exists \mu_i \neq 0$ でOK
Cohen, Kaplan '87, '88

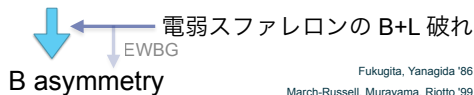
バリオン数生成のメカニズムは、対称性を破る相互作用の"発見"とともに発展している。

電弱スファレロンのB+Lの破れの効果:

$$Y_B \approx \frac{28}{79} Y_{B-L} + \frac{3A}{13\pi^2} \sum_{f=e,\mu,\tau} y_f^2 Y_{B/3-L_f} \quad (A \sim 1)$$



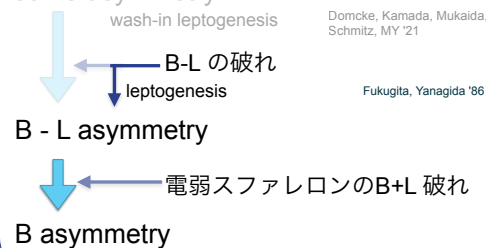
B - L, B/3 - L_f asymmetry



Majorana neutrino の B-L の破れの効果:

$$\mathcal{L} \ni y N_R L H + \frac{1}{2} M_R^2 N_R^2, \text{ or } \frac{1}{\Lambda} (LH)^2$$

some asymmetry



Lepton flavor violation (LFV)

$\mu \rightarrow e\gamma$ などの LFV interaction が将来的に発見されると、その相互作用が宇宙のどの時期まで効いていたかがわかる。

LFV interaction の例 ($\mu \rightarrow e\gamma$):

$$\frac{2C_{\ell W}^{ff'}}{\Lambda^2} L_{L_f}^\dagger \sigma^{\mu\nu} e_{R_f'} W_{\mu\nu} \Phi + \frac{C_{\ell B}^{ff'}}{\Lambda^2} L_{L_f}^\dagger \sigma^{\mu\nu} e_{R_f'} B_{\mu\nu} \Phi + \text{H.c.}$$

現在の制限: $\Lambda/C_{\ell\gamma}^{1/2} \gtrsim 6.7 \times 10^7 \text{ GeV}$ MEG '16, Calibbi, Signorelli '17

将来の感度: $\Lambda/C_{\ell\gamma}^{1/2} \gtrsim 1.0 \times 10^8 \text{ GeV}$ MEG II '18, '21

$$\text{脱結合温度: } T_{\ell\gamma}^{\text{dec}} \simeq 3.1 \times 10^4 \text{ GeV} \left(\frac{\Lambda/\sqrt{C_{\ell\gamma}}}{10^8 \text{ GeV}} \right)^{4/3}$$

Mukaida, Schmitz, MY '21

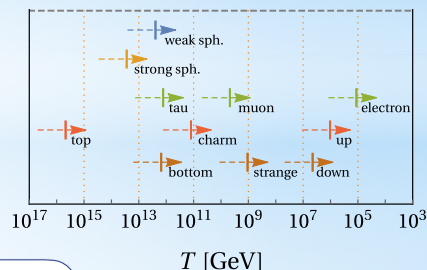
これより高温の時代にはLFVの反応が頻繁に起こっている。ただし、これを直接用いて十分な B/3-L_f を作ることは難しい。

高温での保存量とLFV

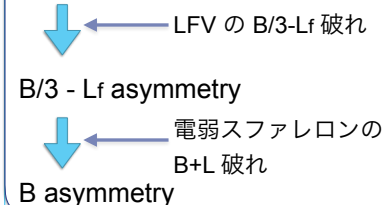
初期宇宙の高温状態ではいくつかの湯川相互作用がdecoupleしており、近似的な対称性が存在する。

ex) $T \gtrsim 10^5 \text{ GeV}$ では右巻き電子数 n_{eR} が保存する。

高温でその非対称性が作られていたとすると、



n_{eR} asymmetry



LFV interactionの発見は、サハロフの三条件を変更して新しいバリオン数生成のメカニズムを与える。

Mukaida, Schmitz, MY '21

Spontaneous/wash-in leptoflavorgenesis

・将来的にLFV interactionが発見されたとする。そのとき、右巻き電子数の非対称性がある(wash-in BG)か、effectiveな非対称性を導入しておく(spontaneous BG)と、確かにバリオン数が生成される(右図)。

・LFVが弱いほど高温でdecoupleするので、バリオン数を生成するという観点では好ましい。LFVが直接観測されなくても、BSMで予言されていればよい。

ただし、大きな $\mu_{Y,5} = \sum \epsilon_i g_i Y_i^2 \mu_i$ があると chiral plasma instability を引き起こし、後々バリオン数を大量に作り過ぎてしまう問題に注意する必要がある。(Domcke, Kamada, Mukaida, Schmitz, MY '22)

too large $\mu_e \sim \mu_{Y,5} \rightarrow h = \langle \mathbf{A} \cdot \nabla \times \mathbf{A} \rangle \rightarrow Y_B$ is overproduced

