フラックスコンパクト化された理論における擬南部ゴールドストーン暗黒物質

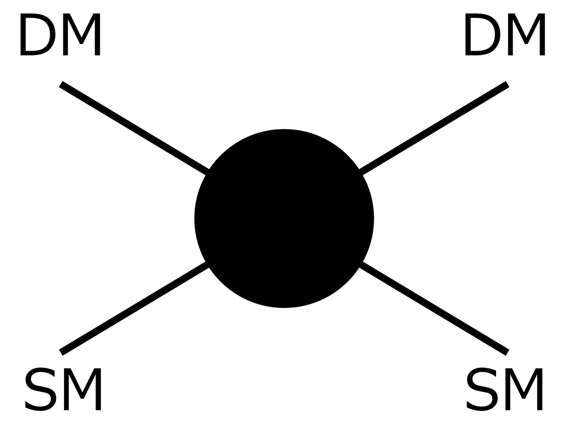
赤松拳斗 (阪公大), 名子明朗 (阪公大), 廣瀬拓哉 (九産大), 丸信人 (阪公大, NITEP)

Introduction

直接探索実験

→ 暗黒物質 (DM) と核子の間の

散乱断面積に強い制限を課す



擬南部ゴールドストーン (pNG) DM 模型

DM と核子の間の散乱振幅が抑制される

($i\mathcal{M} \propto t \to 0$, t は移行運動量の２乗)

＋

pNG ボソンは何に由来するのか？

フラックスコンパクト化された理論

ゲージ場の余剰次元成分 (WL スカラー) が

余剰空間の並進対称性に対する NG ボソンとなる

WL スカラーを pNG DM とみなせるか？

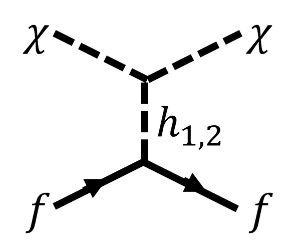
pNG Dark Matter [Gross-Lebedev-Toma (2017),⋯]

ヒッグス場 H, 複素スカラー場 S (global U(1) 対称性)

$$\mathcal{L} \supset \frac{\mu_H^2}{2}|H|^2 - \frac{\lambda_H}{2}|H|^4 - \lambda_{HS}|H|^2|S|^2 + \frac{\mu_S^2}{2}|S|^2 - \frac{\lambda_S}{2}|S|^4$$

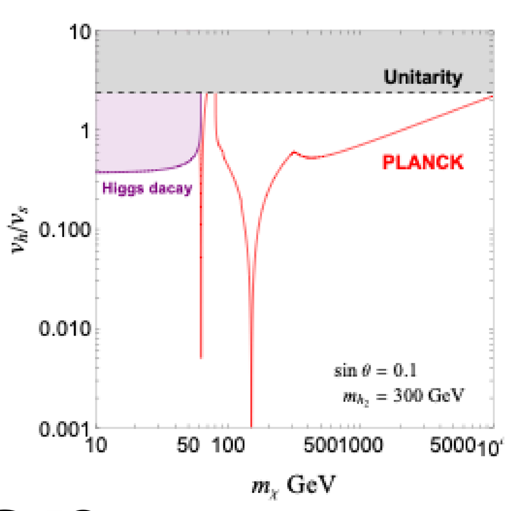
$$+\frac{\mu_S'^2}{4}(S^2 + S^{*2})$$ ← 対称性を陽に破る質量項

$$\supset \frac{1}{2v_s}(m_{h_1}^2 \sin\theta\, h_1 - m_{h_2}^2 \cos\theta\, h_2)\chi^2$$



$$i\mathcal{M} \propto \frac{\sin\theta\cos\theta}{v_s}\left(\frac{m_{h_1}^2}{t - m_{h_1}^2} - \frac{m_{h_2}^2}{t - m_{h_2}^2}\right)$$

$\propto t \to 0$ t-channel cancelation



Flux Compactification

$M^4 \times T^2$ 上の U(1) ゲージ理論 [Buchmuller-Dierigl-Dudas (2018),⋯]

$$\mathcal{L} = \int_{T^2} d^2x \left(-\frac{1}{4}F_{MN}F^{MN}\right)$$

$x_{5,6} \in [0, L)$

$M, N = 0, 1, 2, 3, 5, 6$

トーラス並進変換 δ_T の下で不変

背景磁場 (フラックス)

$$\langle A_5 \rangle = -f x_6,\ \ \langle A_6 \rangle = 0$$

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{2}}(A_6 + iA_5) = \langle\phi\rangle + \varphi$$

⇨ $\delta_T \varphi_0 \propto f$

φ_0：ゲージ場の余剰次元成分のゼロモード (WL スカラー)

→ トーラス並進対称性に対する NG ボソン

Explicit Symmetry Breaking

$$\mathcal{L}_A = \int_{T^2} d^2x \left[-\frac{1}{4}F_{MN}F^{MN} + \frac{m_\phi^2}{2}|\phi|^2 - \frac{L^2\lambda_\phi}{2}|\phi|^4\right]$$

トーラス並進対称性を陽に破る

フラックス

$$\langle A_5 \rangle = -f\left(x_6 - \frac{L}{2}\right),\ \ \langle A_6 \rangle = \frac{v_s}{L}$$

$$\varphi_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(s + i\chi)$$

⇨ $$\text{Mass terms} = \frac{\lambda_\phi}{2}v_s^2 s^2 + \boxed{\frac{\lambda_\phi}{24}f^2L^4\chi^2}$$

WL スカラー φ_0 の虚部 χ が pNG ボソン

Model 1

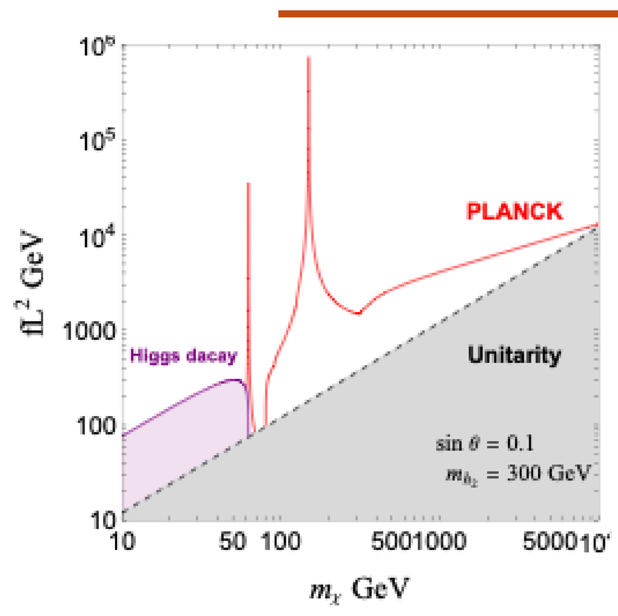
$$\mathcal{L} = \int_{T^2} d^2x \left[-\frac{1}{4}F_{MN}F^{MN} + \frac{m_\phi^2}{2}|\phi|^2 - \frac{L^2\lambda_\phi}{2}|\phi|^4 - |\partial_M H|^2 + \frac{m_H^2}{2}|H|^2 - \frac{L^2\lambda_H}{2}|H|^4 - L^2\lambda_{H\phi}|H|^2|\phi|^2\right]$$

$(H_0, s) \to (h_1, h_2)$ となり、

pNG DM 模型と同様の相殺

t-channel cancelation

$i\mathcal{M} \propto t \to 0$

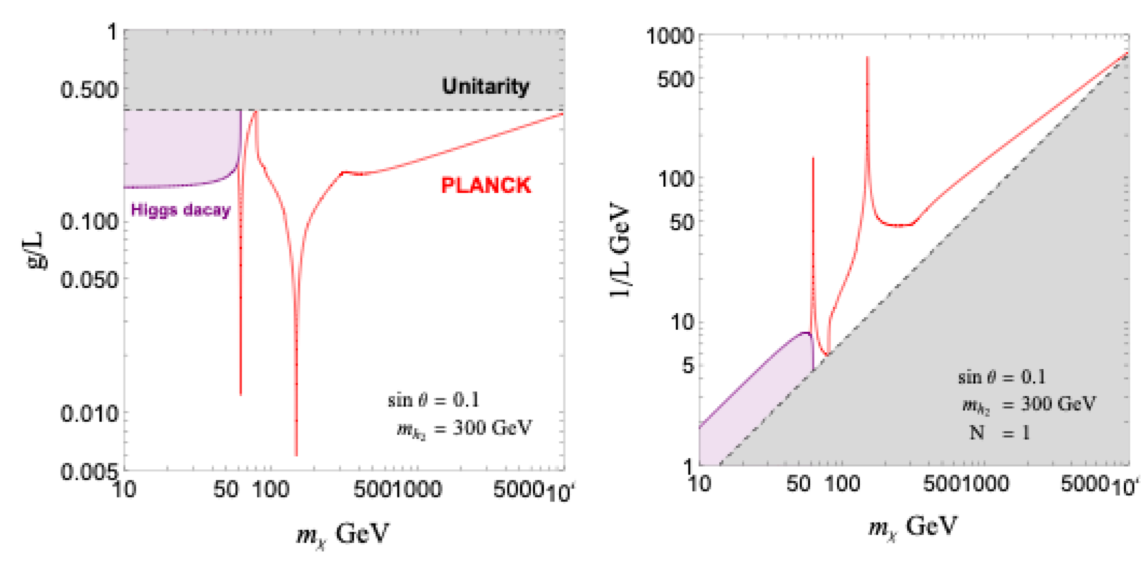


Model 2

$$\mathcal{L} = \int_{T^2} d^2x \left[-\frac{1}{4}F_{MN}F^{MN} + \frac{m_\phi^2}{2}|\phi|^2 - \frac{L^2\lambda_\phi}{2}|\phi|^4 - |D_M H|^2 + \frac{m_H^2}{2}|H|^2 - \frac{L^2\lambda_H}{2}|H|^4\right]$$

共変微分 $D_M = \partial_M - igA_M$ ⇨ $\lambda_{H\phi} \to 2\left(\frac{g}{L}\right)^2$

t-channel cancelation $i\mathcal{M} \propto t \to 0$



トーラスの縮退度

$$\frac{gfL^2}{2\pi} = N \in \mathbb{Z}$$

Summary

- トーラスの並進対称性に由来する pNG DM による散乱振幅の抑制を確認した
- 暗黒物質観測からコンパクト化スケールの制限を得た