

# Flavino dark matter in a non-Abelian discrete flavor model

高橋杜羽<sup>A</sup> 清水勇介<sup>B</sup> 野村敬明<sup>C</sup>  
A:新潟大院自然 B:開志専門職大 C:四川大

arXiv:2405.14163

## イントロ

A<sub>4</sub>フレーバーモデルにおける暗黒物質について発表する  
最も軽いflavonの超対称パートナーであるflavinoを暗黒物質と仮定する  
レプトンフレーバーの破れを考慮した残存量の計算から、ダークマターの残存量の計算を行った  
これにより、flavonの真空期待値と質量の2つのパラメーターに制限が付き、許容領域がわかった

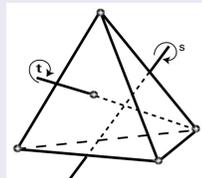
## A<sub>4</sub>対称性

A<sub>4</sub>群とは、正四面体の対称群もしくは、4つの要素の偶置換の群である

A<sub>4</sub>の既約表現:1,1',1'',3<sub>s</sub>,3<sub>a</sub>

掛け算則:

$$\begin{aligned} 1 \otimes 1 &= 1' \otimes 1'' = 1'' \otimes 1' = 1 \\ 1 \otimes 1' &= 1' \otimes 1 = 1'' \otimes 1'' = 1' \\ 1 \otimes 1'' &= 1' \otimes 1' = 1'' \otimes 1 = 1'' \\ 3 \otimes 3 &= 1 \oplus 1' \oplus 1'' \oplus 3_s \oplus 3_a \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}_3 \otimes \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}_3 &= (a_1 b_1 + a_2 b_3 + a_3 b_2)_{1'} \oplus (a_3 b_3 + a_1 b_2 + a_2 b_1)_{1''} \\ &\oplus (a_2 b_2 + a_1 b_3 + a_3 b_1)_{1''} \\ &\oplus \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 2a_1 b_1 - a_2 b_3 - a_3 b_2 \\ 2a_3 b_3 - a_1 b_2 - a_2 b_1 \\ 2a_2 b_2 - a_3 b_1 - a_1 b_3 \end{pmatrix}_{3_s} \oplus \frac{1}{2} \begin{pmatrix} a_2 b_3 - a_3 b_2 \\ a_1 b_2 - a_2 b_1 \\ a_3 b_1 - a_1 b_3 \end{pmatrix}_{3_a} \end{aligned}$$

## Flavon・Flavino

Flavonとは、フレーバー対称性を破るために手に入れたスカラー場

Flavinoとは、flavonの超対称パートナー、フェルミオンで、スピン $\frac{1}{2}$ を持つ

## モデル

flavon superfield  $\Phi_T = (\Phi_{T1}, \Phi_{T2}, \Phi_{T3})$ , ref:T. Morozumi et al. Phys.C  
driving superfields  $\Phi_0^T = (\Phi_{01}^T, \Phi_{02}^T, \Phi_{03}^T)$ を導入 42 (2018) no.2, 023102.

	$\Phi_\ell = (\Phi_{\ell 1}, \Phi_{\ell 2}, \Phi_{\ell 3})$	$\Phi_{e_R^c}$	$\Phi_{\mu_R^c}$	$\Phi_{\tau_R^c}$	$\Phi_d$	$\Phi_T$	$\Phi_0^T$
$SU(2)_L$	2	1	1	1	2	1	1
$A_4$	3	1	1''	1'	1	3	3
$Z_3$	$\omega$	$\omega^2$	$\omega^2$	$\omega^2$	1	1	1
$U(1)_R$	1	1	1	1	0	0	2

表:  $SU(2)_L \times A_4 \times Z_3 \times U(1)_R$  対称性での電荷の割り当て

superfieldでのラグランジアン:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{\Phi_T} &= \int d^2\theta w_{\Phi_T} + \int d^2\bar{\theta} \bar{w}_{\Phi_T} - V_{\Phi_T}, \\ V_{\Phi_T} &= V_\ell + V_T \\ w_{\Phi_T} &= w_\ell + w_d^T, \\ w_\ell &= y_e \Phi_T \Phi_\ell \Phi_{e_R^c} \Phi_d / \Lambda + y_\mu \Phi_T \Phi_\ell \Phi_{\mu_R^c} \Phi_d / \Lambda + y_\tau \Phi_T \Phi_\ell \Phi_{\tau_R^c} \Phi_d / \Lambda, \\ w_d^T &= -M \Phi_0^T \Phi_T + g \Phi_0^T \Phi_T \Phi_T \\ V_T &= \sum_X \left| \frac{\partial w_d^T}{\partial X} \right|^2, V_\ell = \sum_Y \left| \frac{\partial w_\ell}{\partial Y} \right|^2 \\ X &= \Phi_{T1}, \Phi_{T2}, \Phi_{T3}, \Phi_{01}^T, \Phi_{02}^T, \Phi_{03}^T, \\ Y &= \Phi_{T1}, \Phi_{T2}, \Phi_{T3}, \tilde{\phi}_{\ell 1}, \tilde{\phi}_{\ell 2}, \tilde{\phi}_{\ell 3}, \tilde{\phi}_{e_R^c}, \tilde{\phi}_{\mu_R^c}, \tilde{\phi}_{\tau_R^c}, h_d \end{aligned}$$

Flavonの真空期待値:

$$\langle \phi_T \rangle = v_T (1, 0, 0), \quad v_T = \frac{3M}{2g}, \quad \langle \phi_0^T \rangle = (0, 0, 0)$$

Flavinoを

$$X_R \equiv \tilde{\psi}_{\phi_{01}^T}, \quad X_L \equiv \tilde{\psi}_{\phi_{01}^T}$$

と書き直すと、flavonとの相互作用項:

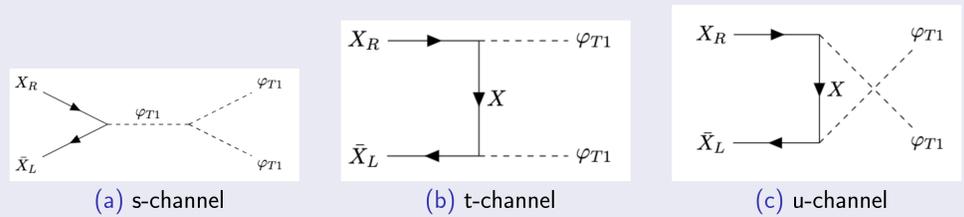
$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{\Phi_T} \supset & \frac{M}{v_T} [2\varphi_{T1} \bar{X}_R X_L + \phi_{01}^T \bar{X}_L^c X_L + h.c.] \\ & \frac{M^2}{v_T} [\varphi_{T1} \varphi_{T1}^* \varphi_{T1}^* + c.c.] - \frac{2M^2}{v_T} [\phi_{01}^T \phi_{01}^{T*} \varphi_{T1}^* + c.c.]. \end{aligned}$$

## summary and outlook

- 一番軽いflavino(flavon)質量は、6[GeV]  $\sim$   $6 \times 10^4$  [GeV]の範囲
- flavonの真空期待値  $v_T$ は、30 [GeV]  $\sim$   $2 \times 10^4$  [GeV]
- このモデルでのバリオンジェネシスを研究中

## DM消滅過程の断面積

(i)  $X\bar{X} \rightarrow \varphi_{T1}\varphi_{T1}, X\bar{X} \rightarrow \bar{\varphi}_{T1}\bar{\varphi}_{T1}$



Diagrams for the process  $\bar{X}X \rightarrow \varphi_{T1}\varphi_{T1}$ .

$$\mathcal{M}_s = - \left( \frac{2M}{v_T} \right) \left( \frac{2M^2}{v_T} \right) \frac{1}{s - M^2} \bar{v}_{(p_2)} P_R u_{(p_1)}$$

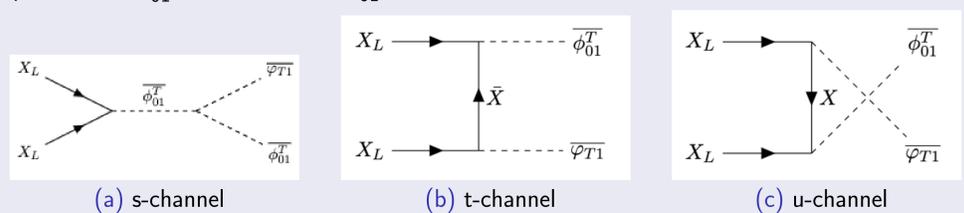
$$\mathcal{M}_t \sim \mathcal{M}_u \sim \left( \frac{2M}{v_T} \right)^2 \frac{1}{M} \bar{v}_{(p_2)} P_R u_{(p_1)}$$

(仮定:  $t, u \ll M^2$ )

$$\mathcal{M} \sim \frac{20M}{3v_T^2} \bar{v}_{(p_2)} P_R u_{(p_1)}, (s \sim 4M^2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{X\bar{X} \rightarrow \bar{\varphi}_{T1}\bar{\varphi}_{T1}} &= \sigma_{X\bar{X} \rightarrow \varphi_{T1}\varphi_{T1}} \\ &= \frac{25}{144\pi} \frac{M^2}{v_T^4} \end{aligned}$$

(ii)  $XX \rightarrow \bar{\phi}_{01}^T \bar{\phi}_{01}^T, \bar{X}\bar{X} \rightarrow \phi_{01}^T \phi_{01}^T$



Diagrams for the process  $XX \rightarrow \bar{\varphi}_{T1}\bar{\phi}_{01}^T$ .

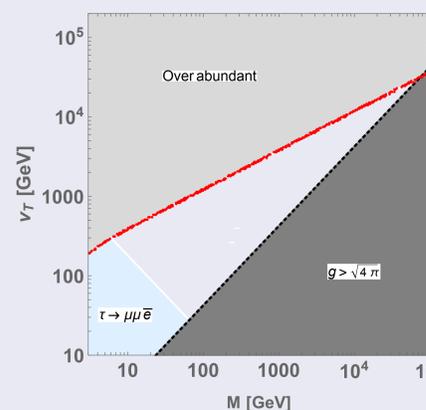
$$\mathcal{M}_s = \left( \frac{M}{v_T} \right) \left( \frac{2M^2}{v_T} \right) \frac{1}{s - M^2} \bar{v}_{(p_2)} P_L u_{(p_1)}$$

$$\mathcal{M}_t \sim \mathcal{M}_u \sim \left( \frac{2M}{v_T^2} \right) \bar{v}_{(p_2)} P_L u_{(p_1)}$$

$$\mathcal{M} \sim \left( \frac{14M}{3v_T^2} \right) \bar{v}_{(p_2)} P_L u_{(p_1)}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\bar{X}\bar{X} \rightarrow \phi_{01}^T \phi_{01}^T} &= \sigma_{XX \rightarrow \bar{\varphi}_{01}^T \bar{\varphi}_{01}^T} \\ &= \frac{49}{288\pi} \frac{M^2}{v_T^4} \end{aligned}$$

## 数値計算結果



赤い点:  
観測された残存量  $\Omega_X h^2 \simeq 0.12$  を与えるパラメータ  
黒色領域:  
カップリング  $g$  が摂動限界を超える  
灰色領域:  
観測される残存量を超える  
水色の領域:  
フレーバーを破る  $\tau$  崩壊からの制約によって排除される

横軸: 一番軽いフラビノの質量

縦軸: フラボンの真空期待値

- 直接検出  
Flavino-Flavino-Higgs相互作用がないため不可能
- 間接検出  
カップリング  $m_\ell/v_\varphi$  が小さいため、速度平均断面積が  $\sim 10^{-26} \text{cm}^3/\text{s}$  程度