

# ニュートリノ質量、ダークマター、バリオン数非対称性をTeVスケールで同時に説明できるモデル

大阪大学素粒子論(兼村)研究室 谷口宙 [arXiv:2403.13613]

2024/7/5

「地下稀事象」領域研究会

## Introduction

2012年にヒッグス粒子は発見されたが、**ヒッグスセクターの構造は未知**

ヒッグス場の個数、表現、対称性…  
電弱対称性の破れの物理、相転移の詳細

未解決現象との関係  
現行、将来の各種実験で多角的に検証できる

ヒッグス物理から新物理へアプローチ

Q. ニュートリノ振動、ダークマター、バリオン数非対称性の3つの未解決現象をTeVスケールで同時に説明できないだろうか？

Aoki-Kanemura-Setoモデルに着目

### 3つの未解決現象

#### ニュートリノ振動

ニュートリノが微小質量を持つ

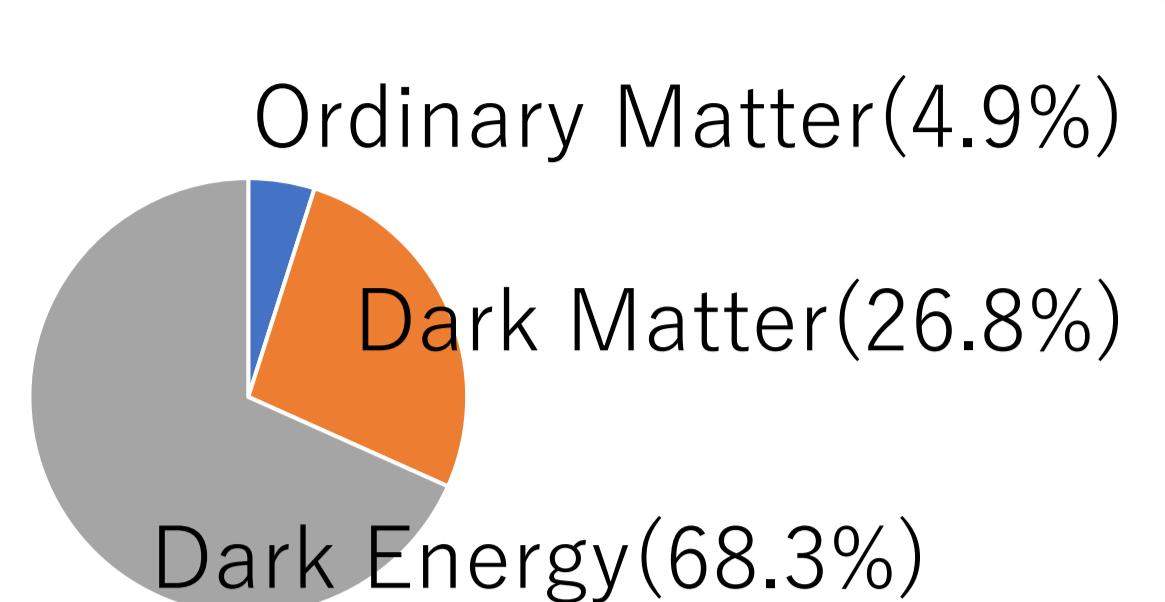
#### ダークマター

全宇宙のエネルギーの26.8%を占める

#### バリオン数非対称性

現在の宇宙はバリオンしか見られず、反バリオンが見られない。

$\eta_B = (5.8 - 6.5) \times 10^{-10}$   $\eta_B \equiv \frac{n_B}{n_\gamma} n_B$ : バリオン数密度  
From BBN Fields, et al (2024)  $n_\gamma$ : 光子数密度



## Model

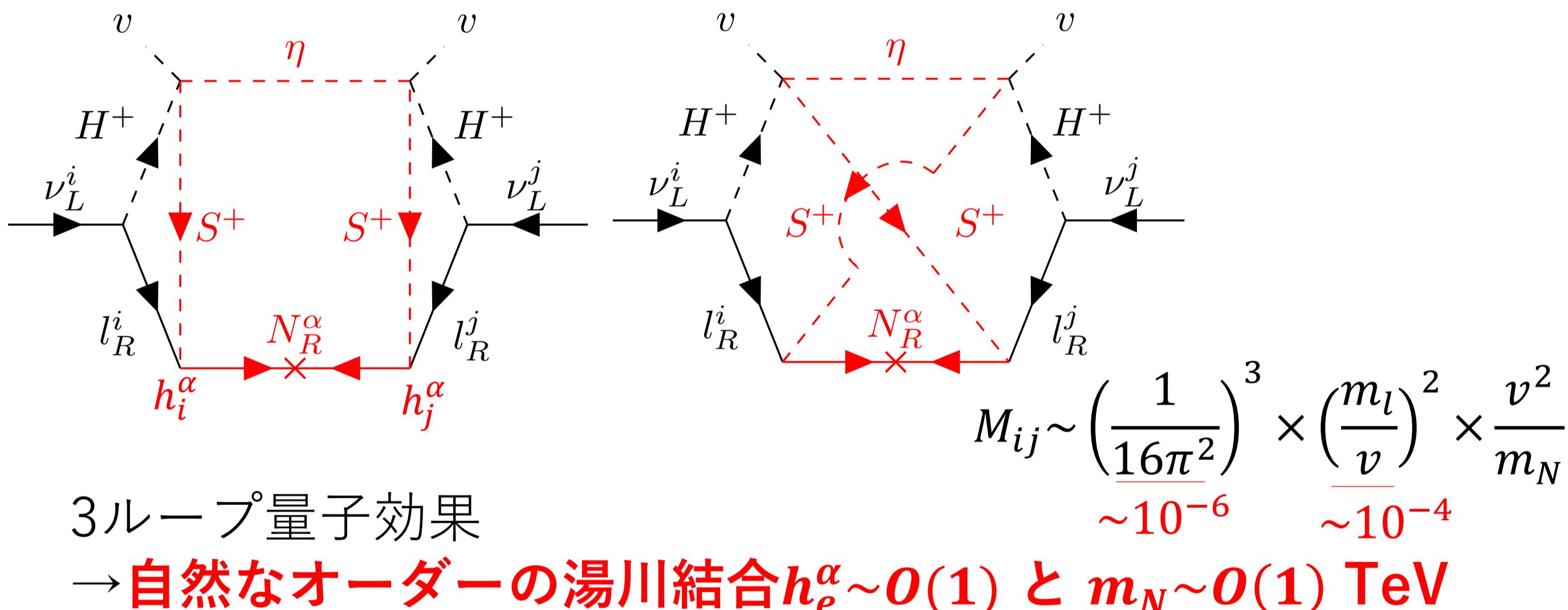
標準模型 + 拡張ヒッグス + 右巻きニュートリノ

- ・**拡張ヒッグス** → 追加のHiggs doublet  $\phi_2$  + singlet粒子  $\eta, S^+$
- ・**Exactな  $Z_2$  対称性**  $\left[ \begin{array}{l} \text{量子効果でニュートリノ質量生成} \\ \text{ダークマターの安定性を保証} \end{array} \right]$
- ・**Softly brokenな  $\tilde{Z}_2$  対称性** → FCNCを抑制
- ・**CPの破れ**  $\mathcal{L} \supset -\frac{\lambda_5}{2}(\phi_1^\dagger \phi_2)^2 - h_i^\alpha (N_R^\alpha)^c l_R^i S^+ + \text{h.c.}$   
CP位相  $\theta_5$  ( $\lambda_5 = |\lambda_5| e^{i\theta_5}$ )  $\alpha = 1, 2, 3, i = 1, 2, 3$

	$SU(3)_c$	$SU(2)_L$	$U(1)_Y$	$Z_2$	$\tilde{Z}_2$ (Softly broken)
$Q^i$	3	2	1/6	+	+
$u_R^i$	3	1	2/3	+	-
$d_R^i$	3	1	-1/3	+	-
$L^i$	1	2	-1/2	+	+
$l_R^i$	1	1	-1	+	+
$\phi_1$	1	2	1/2	+	+
$\phi_2$	1	2	1/2	+	-
$N_R^\alpha$	1	1	0	-	+
$S^+$	1	1	1	-	+
ダークマター	$\eta$	1	1	0	-

## ニュートリノ微小質量

ニュートリノ微小質量は3ループのダイアグラムによって生成



3ループ量子効果  
→ 自然なオーダーの湯川結合  $h_e^\alpha \sim O(1)$  と  $m_N \sim O(1)$  TeV

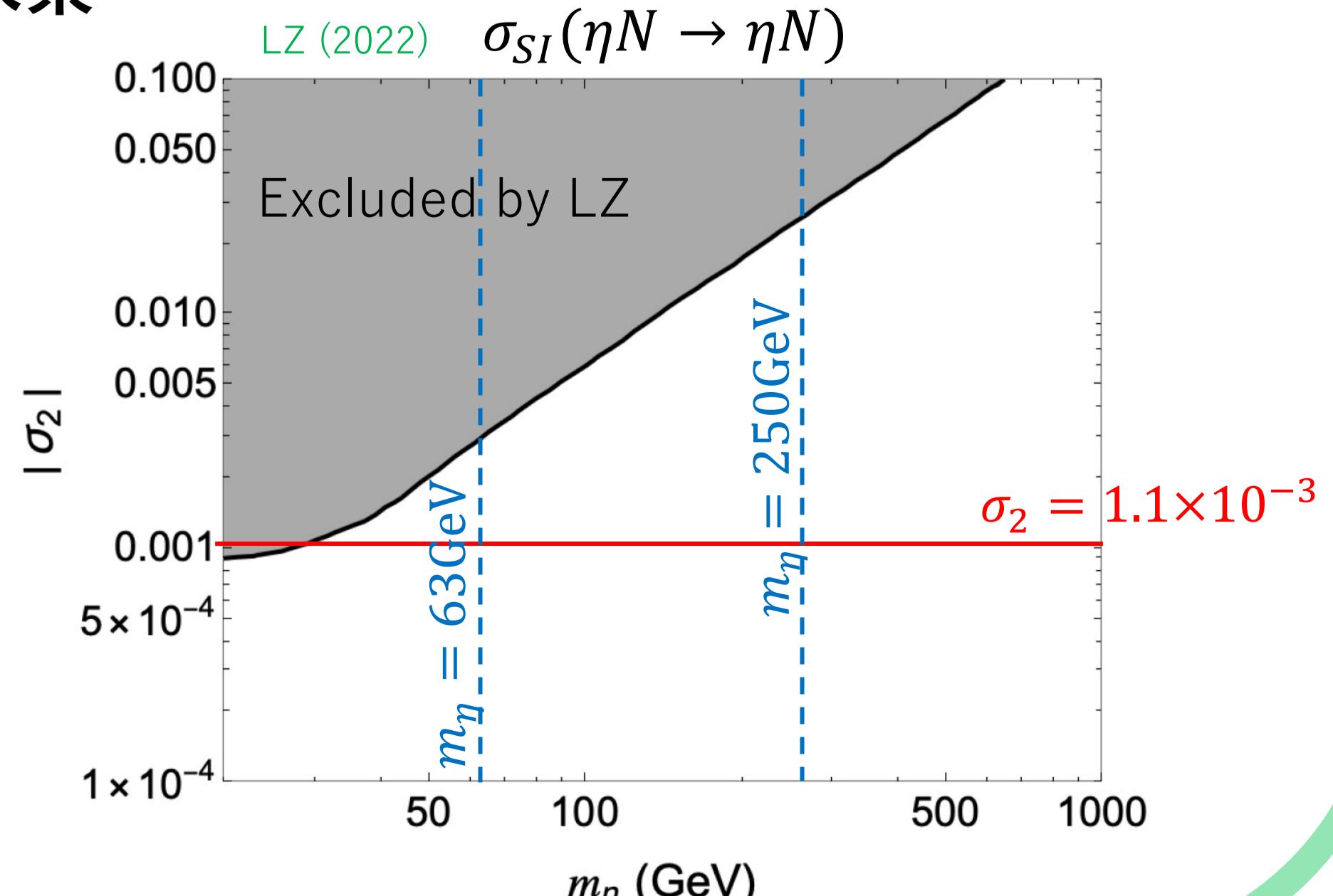
## ダークマター

- ・**ダークマター残存量** ( $\Omega h^2 \sim 0.12$ )
- ・**共鳴シナリオ**  $m_{H^1} \approx 125$  GeV,  $m_{H^2} \approx 224$  GeV
- ・**重いDMシナリオ**  $m_\eta = 63$  GeV,  $m_\eta = 250$  GeV

- ・**ダークマター直接探索**

$$V \supset \sum_{a=1}^2 \left( \frac{1}{2} \sigma_a |\phi_a|^2 \eta^2 \right)$$

DM-Higgs interaction



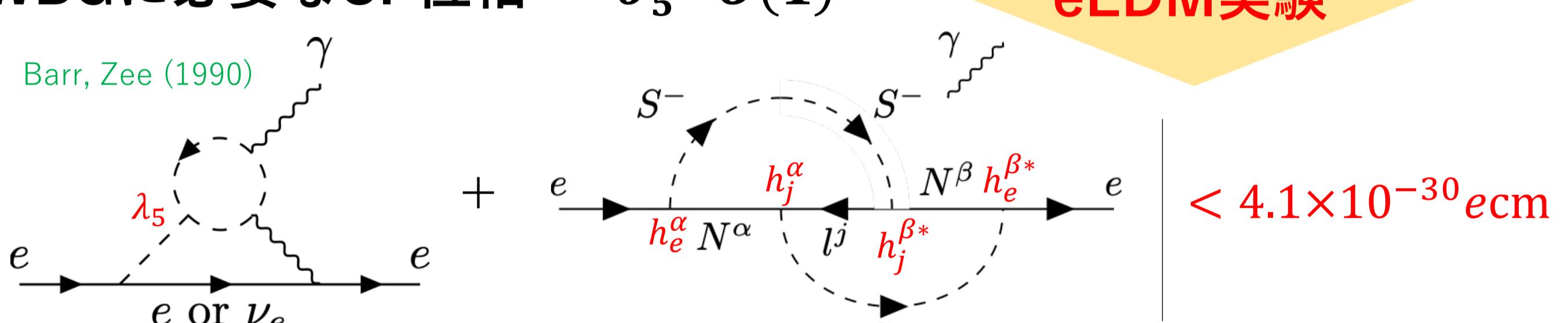
## バリオン数非対称性

Kuzmin, Rubakov and Shaposhnikov (1985)

### 電弱バリオン数生成 (Electroweak baryogenesis:EWBG)

- (1) バリオン数の破れ → スファレロン遷移
- (2) CとCPの破れ → 弱い相互作用でのCの破れ  
拡張ヒッグスセクターでのCPの破れ
- (3) 热平衡からの離脱 → スファレロン遷移がdecoupleする  
→ 強い電弱一次相転移

EWBGに必要なCP位相  $\rightarrow \theta_5 \sim O(1)$



追加のヒッグスからの寄与 CPを破るAKSモデルによる追加の寄与

共鳴シナリオ  $|d_e| \approx 3 \times 10^{-31}$  ecm  $\theta_5 \approx -0.990$

重いDMシナリオ  $|d_e| \approx 1 \times 10^{-30}$  ecm  $\theta_5 \approx -0.999$

## まとめ、今後の展望

- ・ $\nu$ 振動、DM、BAUの3つの現象は標準模型では説明できない。
- ・AKSモデルは3現象を同時に説明するTeVスケールのモデルである。
- ・本研究ではオリジナルのAKSモデルに新たにCPの破れを導入した。
- ・Electron EDM制限を回避しながらEWBGに十分な大きさのCP位相を得る新たなメカニズムを考えた。
- ・LFV、DM、 $\nu$ データなどの制限を満たしながら実際にElectron EDM制限を回避しつつ十分なCP位相が得られることを確認した。
- ・今後の展望
  - ・強い一次相転移、バリオン数の評価を含めた解析
  - ・3つの現象を同時に説明できるベンチマークシナリオの探索
  - ・各種実験(加速器、フレーバー、DM、 $\nu$ 、EDM、重力波など)での検証