

# ニュートリノ質量、ダークマター、バリオン数非対称性を同時に説明する輻射シーソーモデルとCPの破れ

大阪大学素粒子論(兼村)研究室 谷口宙 [arXiv:2403.13613] M. Aoki, K. Enomoto, S. Kanemura, S. Taniguchi

## 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？

拡張ヒッグスモデルと大きく関連する  
検証可能なエネルギースケール

↓  
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

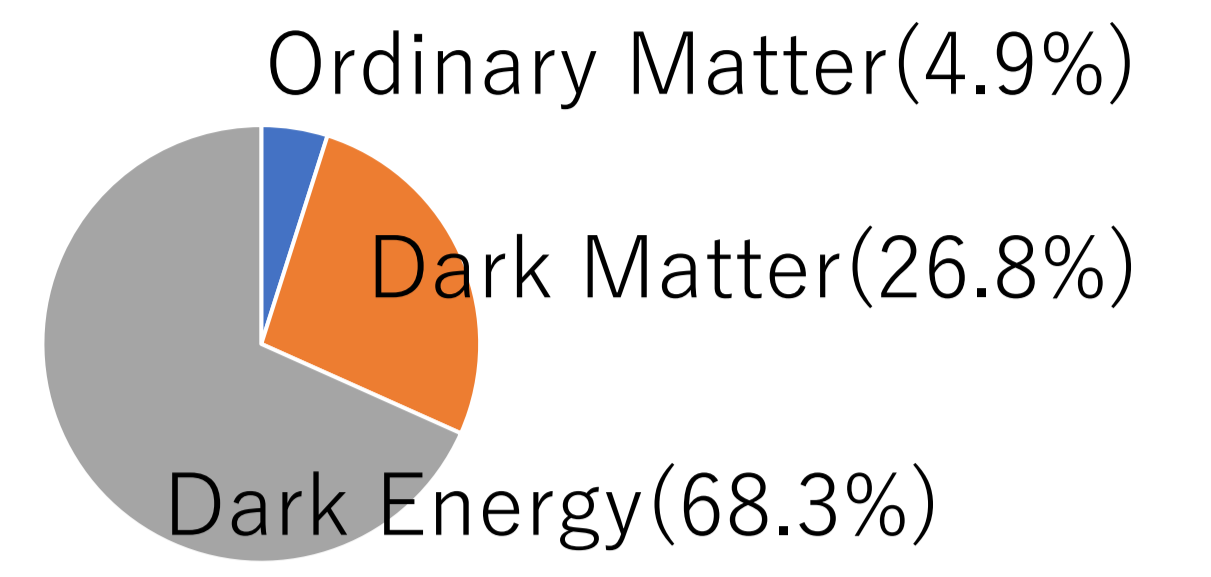
全宇宙のエネルギーの26.8%を占める

### 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。

$$\eta_B = (5.8 - 6.5) \times 10^{-10} \quad \eta_B \equiv \frac{n_B}{n_\gamma} \quad n_B: \text{バリオン数密度}$$

From BBN Fields, et al(2024)  $n_\gamma: \text{光子数密度}$



## 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

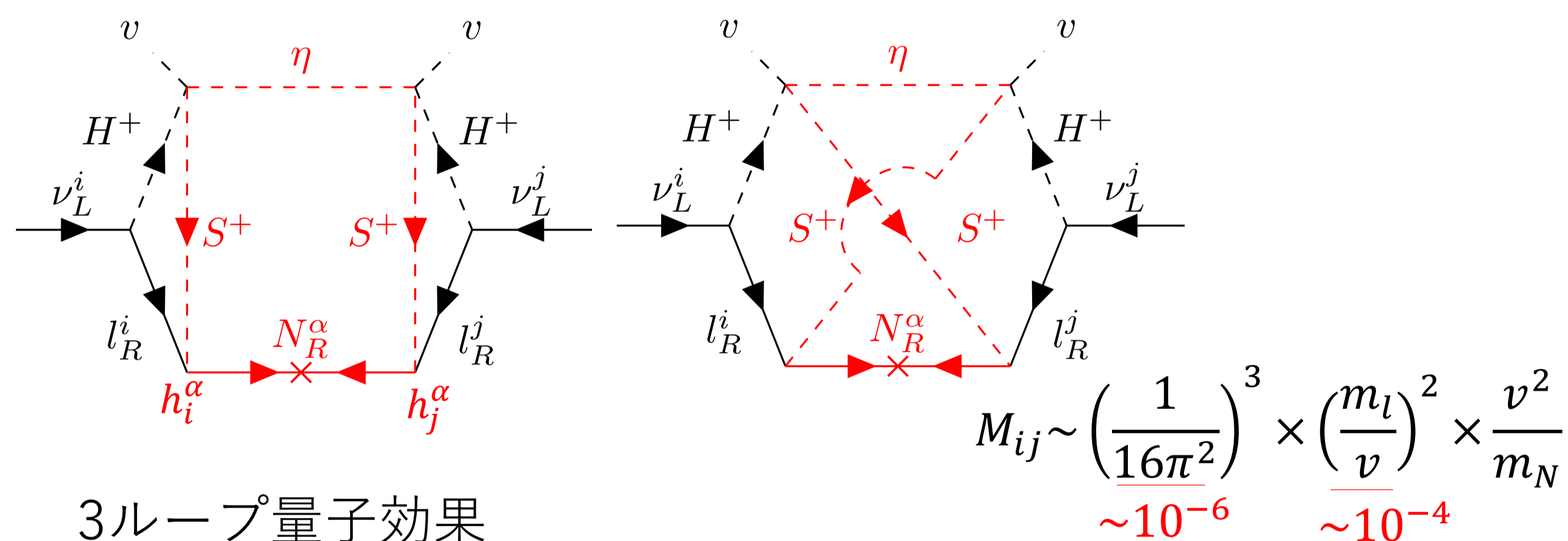
・ CPの破れ  $\mathcal{L} \supset -\frac{\lambda_5}{2} (\phi_1^\dagger \phi_2)^2 - h_i^\alpha (N_R^\alpha)^c l_R^i S^+ + \text{h.c.}$   
CP位相  $\theta_5$  ( $\lambda_5 = |\lambda_5| e^{i\theta_5}$ )  $\alpha = 1, 2, 3, i = 1, 2, 3$

ダークマター  $\eta$

	$SU(3)_c$	$SU(2)_L$	$U(1)_Y$	$Z_2$	$\tilde{Z}_2$ (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

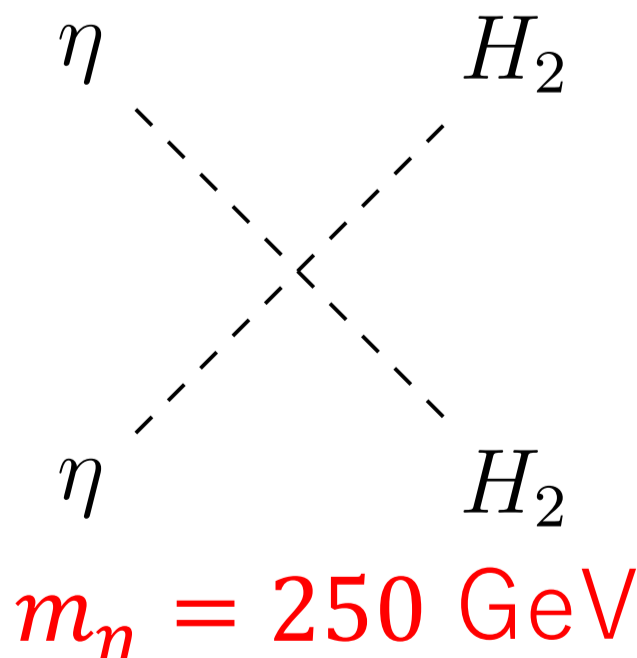
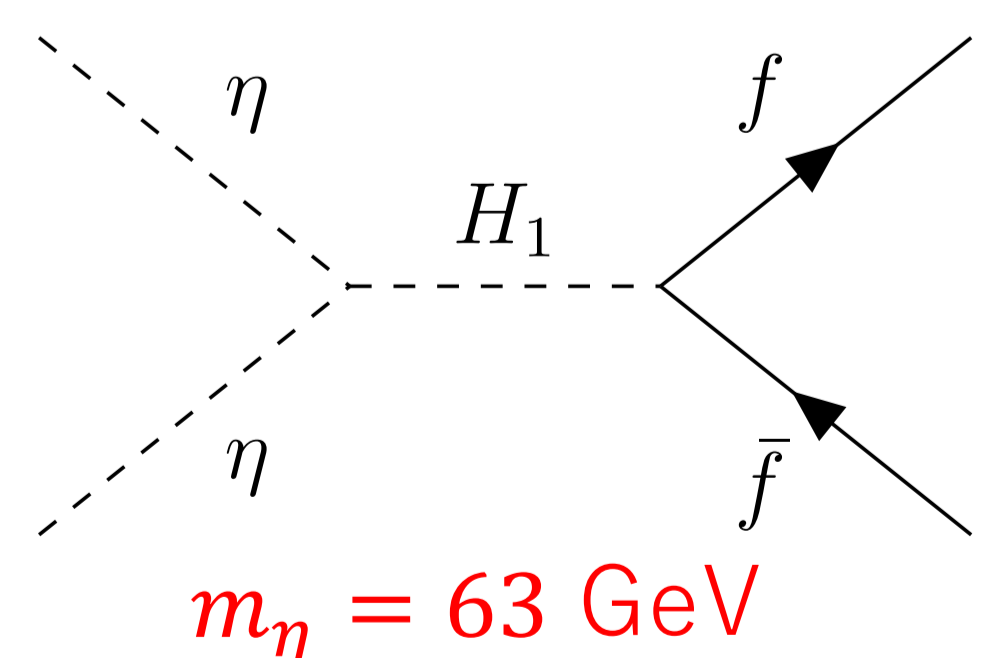
→ 自然なオーダーの湯川結合  $h_e^\alpha \sim \mathcal{O}(1)$  と  $m_N \sim \mathcal{O}(1)$  TeV

## ダークマター

・ ダークマター残存量 ( $\Omega h^2 \sim 0.12$ )  $m_{H_1} \approx 125$  GeV,  $m_{H_2} \approx 224$  GeV

・ 共鳴シナリオ

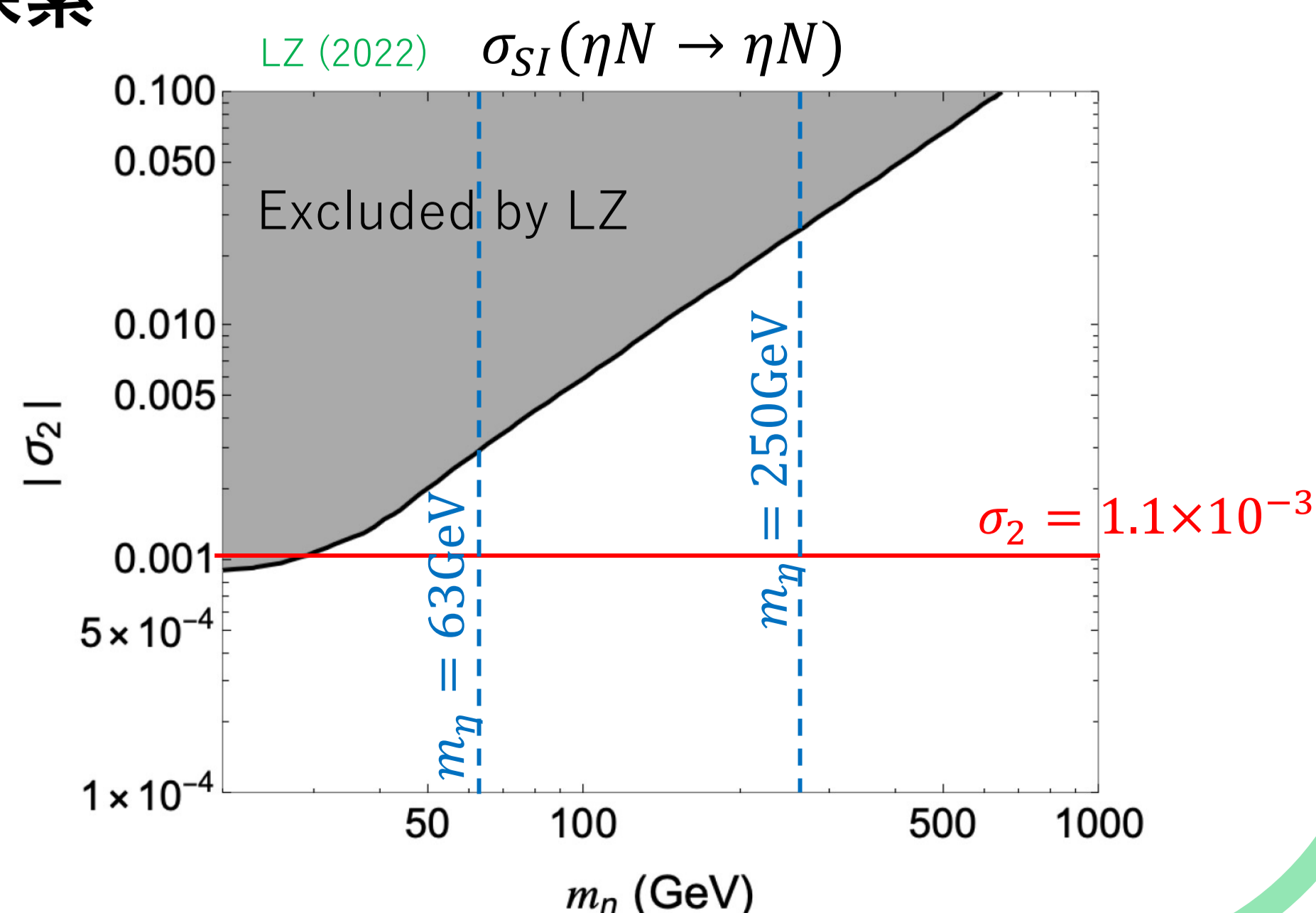
・ 重いDMシナリオ



・ 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)

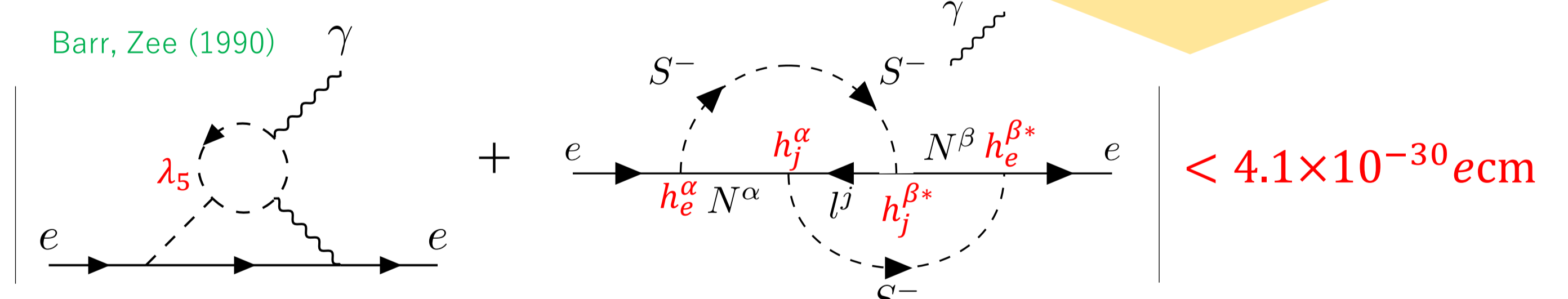
電弱バリオン数生成 (Electroweak baryogenesis: EWBG)

- バリオン数の破れ → スファロン遷移
- 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
- 熱平衡からの離脱 → スファロン遷移がdecoupleする  
→ 強い電弱一次相転移

Sakharov (1967)

EWBGに必要なCP位相 →  $\theta_5 \sim \mathcal{O}(1)$

eEDM実験



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