

1. Introduction to ν HDM

ニュートリノの謎:
なぜニュートリノだけ他の物質粒子と比べてすごく軽い?
e.g) $m_{\nu_e}/m_e \lesssim 10^{-5}, \dots$

この謎を解決しようとする試みはたくさんある:

ニュートリノのタイプ

☆ ν = Dirac粒子: $m_\nu \sim y_\nu \langle \phi \rangle \rightarrow y_\nu$ が小さければ解決

☆ ν = Majorana粒子: $m_\nu \sim y_\nu^2 \frac{\langle \phi \rangle \langle \phi \rangle}{M} \rightarrow M$ が大きければ解決

もう一つ、違う可能性もある: $m_\nu \sim y_\nu \langle \phi \rangle \rightarrow \langle \phi \rangle$ が小さければ解決

ニュートリノとだけ相互作用するスカラー粒子

$\rightarrow m_\nu \sim y_\nu \langle \phi_\nu \rangle$ with $\langle \phi_\nu \rangle \sim 0.1$ eV "neutrinophilic Higgs doublet model" (ν HDM)

どうすれば ϕ_ν が小さな真空期待値を持てるか?

☆ Higgs potential

soft Z_2 symmetry breaking mass parameter

$$V = -m_\Phi^2 |\Phi|^2 + m_{\Phi_\nu}^2 |\Phi_\nu|^2 + m_3^2 \Phi^\dagger \Phi_\nu + \Phi_\nu^\dagger \Phi + \frac{\lambda_1}{2} |\Phi|^4 + \frac{\lambda_2}{2} |\Phi_\nu|^4 + \lambda_3 |\Phi|^2 |\Phi_\nu|^2 + \lambda_4 (\Phi^\dagger \Phi_\nu)(\Phi_\nu^\dagger \Phi) + \frac{\lambda_5}{2} [(\Phi^\dagger \Phi_\nu)^2 + (\Phi_\nu^\dagger \Phi)^2]$$

N.Haba, M.Hirotsu, Eur.Phys.J. C69, 481 (2010)

with Z_2 symmetry

| fields | Z_2 -charge |
|---------------------------------|---------------|
| SM fields (SM Higgs: Φ) | + |
| ν_R, N | - |
| ν Higgs doublet: Φ_ν | - |

$|m_3| \ll m_\Phi^2, m_{\Phi_\nu}^2$

$\frac{dV}{d\Phi} = 0 \rightarrow \langle \Phi \rangle = \sqrt{\frac{2m_\Phi^2}{\lambda_1}}$

$\frac{dV}{d\Phi_\nu} = 0 \rightarrow \langle \Phi_\nu \rangle = \frac{m_3 \langle \Phi \rangle}{m_{\Phi_\nu}^2}$

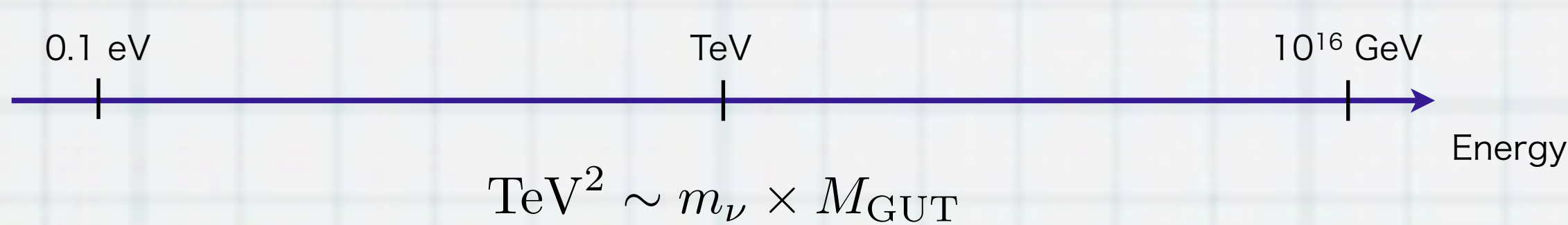
large $m_{\Phi_\nu}^2$ & tiny m_3^2
"see-saw"
 $\rightarrow \langle \phi_\nu \rangle \ll \langle \phi \rangle$

2. SUSY SU(5) GUT with H_ν

☆ SUSY SU(5) GUT embedded ν HDM

N.Haba, Europhys.Lett., 96 (2011) 21001

3つの特徴的なエネルギースケールが手ごかり



偶然? or 新しい物理の手ごかり? $\rightarrow m_\nu \sim \text{TeV}^2 / M_{\text{GUT}}$
ポジティブな立場で

☆ Higgs sector

ダイナミカルに実現 \rightarrow

SUSY $W_h = \mu H_u H_d + M H_\nu H_{\nu'} + \rho H_u H_{\nu'} + \rho' H_\nu H_d \rightarrow \langle H_{\nu'} \rangle \sim \rho^{(l)} \langle H_{u(d)} \rangle / M$

☆ SU(5) GUT

$W_h^{\text{GUT}} = 5\Sigma\bar{5} - M_1\bar{5}\bar{5} + 5_\nu\Sigma\bar{5}_{\nu'} - M_2\bar{5}_\nu\bar{5}_{\nu'} + M_0\text{tr}\Sigma^2 + \lambda\text{tr}\Sigma^3$

non-renormalizable term contributions (e.g. Giudice-Masiero mech.)
 ρ and ρ' can be SUSY scale

(similar model: R.Kitano, PLB539, 102 (2002))

☆ matter sector

$W = \frac{1}{4} f_{u_{ij}} 10_i 10_j H + \sqrt{2} f_{d_{ij}} 10_i \bar{5}_j \bar{H} + f_{\nu_{ij}} 1_i \bar{5}_j \Phi_\nu$

in MSSM fields

| matter | Higgs |
|--|-------------------------------|
| $10 = \{Q_i, U_i, (V_{KM})_{ij} \bar{E}_j\}$ | $H = \{T, H_u\}$ |
| $\bar{5} = \{(V_D)_{ij} \bar{D}_j, (V_D)_{ij} L_j\}$ | $\bar{H} = \{\bar{T}, H_d\}$ |
| $1 = \{\bar{N}_i\}$ | $\Phi_\nu = \{T_\nu, H_\nu\}$ |

(V_D : m_ν を対角化)

$W = f_{u_i} Q_i \bar{U}_i H_u + (V_{KM}^*)_{ij} f_{d_j} Q_i \bar{D}_j H_d + f_{d_i} \bar{E}_i L_i H_d - f_{\nu_i} V_{Dij} \bar{N}_i L_j H_\nu + f_{u_j} (V_{KM})_{ji} \bar{E}_i \bar{U}_j T - \frac{1}{2} f_{u_i} Q_i Q_i T + (V_{KM}^*)_{ij} f_{d_j} \bar{U}_i \bar{D}_j \bar{T} - (V_{KM}^*)_{ij} f_{d_j} Q_i L_j \bar{T} + f_{\nu_i} V_{Dij} \bar{N}_i \bar{D}_j T_\nu$

3. Gauge Coupling Unification (GCU)

☆ minimal SU(5) GUT

・正確なGCUを実現するために
(T threshold correction, T : color triplet Higgs)

$\rightarrow m_T \sim 5 \times 10^{14}$ GeV

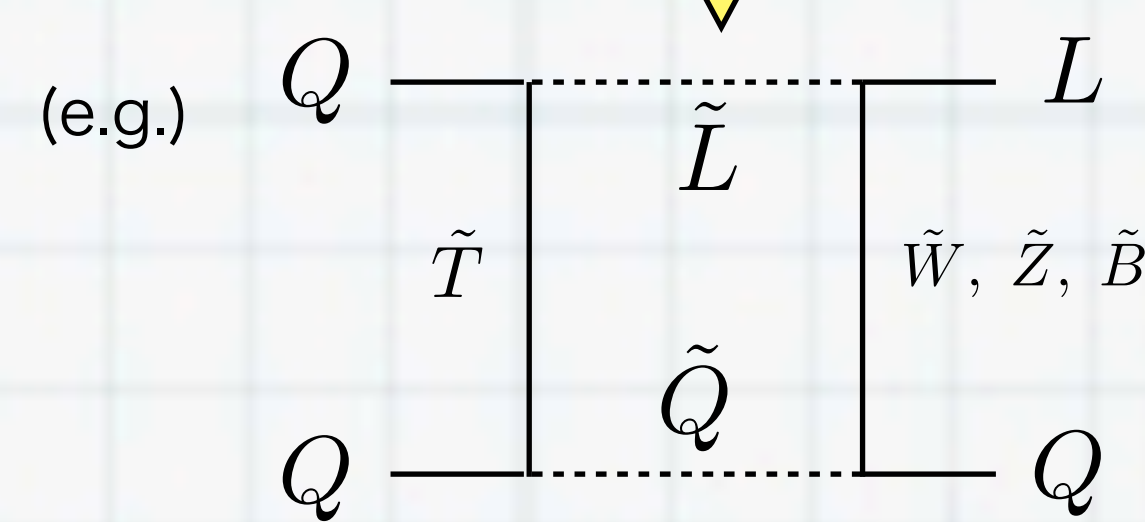
・陽子崩壊の回避

$\rightarrow m_T > 2 \times 10^{16}$ GeV

\rightarrow これらを両立するのは難しい...

☆ SUSY neutrinophilic Higgs GUT

$W = f_{u_i} Q_i \bar{U}_i H_u + (V_{KM}^*)_{ij} f_{d_j} Q_i \bar{D}_j H_d + f_{d_i} \bar{E}_i L_i H_d - f_{\nu_i} V_{Dij} \bar{N}_i L_j H_\nu + f_{u_j} (V_{KM})_{ji} \bar{E}_i \bar{U}_j T - \frac{1}{2} f_{u_i} Q_i Q_i T + (V_{KM}^*)_{ij} f_{d_j} \bar{U}_i \bar{D}_j \bar{T} - (V_{KM}^*)_{ij} f_{d_j} Q_i L_j \bar{T} + f_{\nu_i} V_{Dij} \bar{N}_i \bar{D}_j T_\nu$



陽子崩壊と無関係な triplet Higgs

しかし、 T_ν は α_s の running には寄与

$\tau(p \rightarrow K^+ \bar{\nu}_e) \gtrsim 10^{33}$ (years)

$m_T > 2 \times 10^{16}$ GeV
陽子崩壊を回避

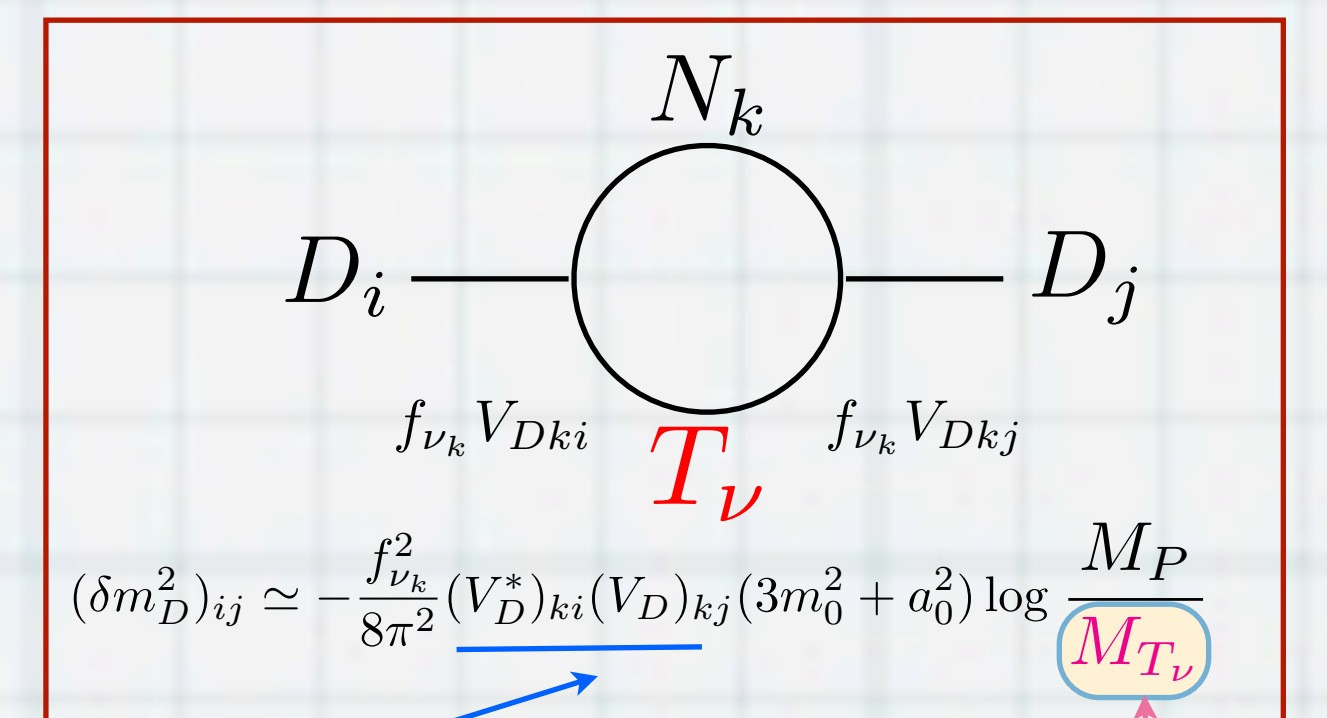
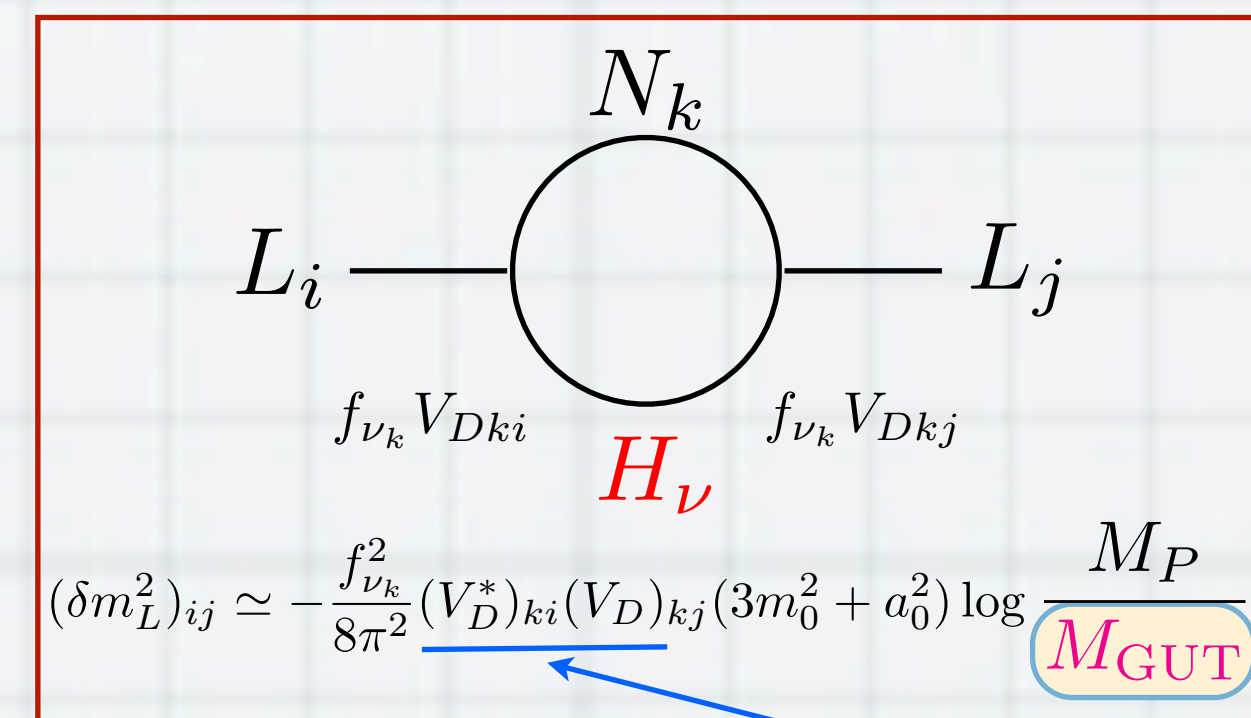
$m_{T_\nu} \sim 5 \times 10^{14}$ GeV
正確なGCUの実現

これらの両立が可能!

4. Flavor Violating Processes

$W = f_{u_i} Q_i \bar{U}_i H_u + (V_{KM}^*)_{ij} f_{d_j} Q_i \bar{D}_j H_d + f_{d_i} \bar{E}_i L_i H_d - f_{\nu_i} V_{Dij} \bar{N}_i L_j H_\nu + f_{u_j} (V_{KM})_{ji} \bar{E}_i \bar{U}_j T - \frac{1}{2} f_{u_i} Q_i Q_i T + (V_{KM}^*)_{ij} f_{d_j} \bar{U}_i \bar{D}_j \bar{T} - (V_{KM}^*)_{ij} f_{d_j} Q_i L_j \bar{T} + f_{\nu_i} V_{Dij} \bar{N}_i \bar{D}_j T_\nu$

sleptonとdown type squarkの、フレーバー非対角な成分

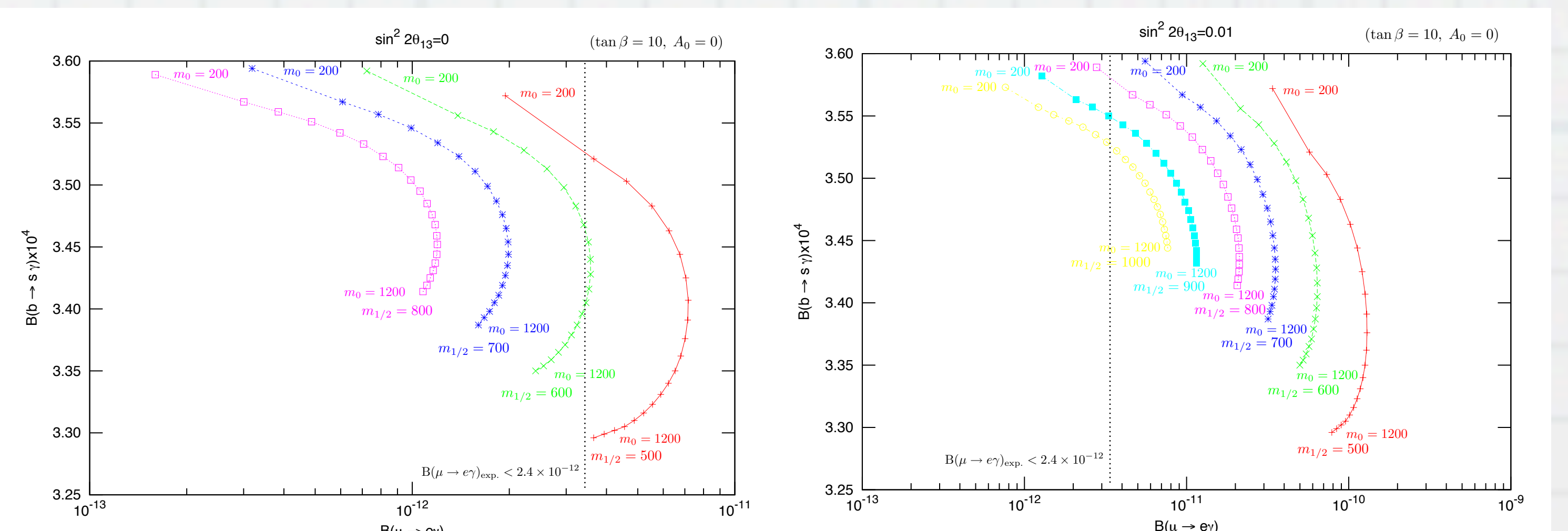


ニュートリノ混合と直接関係する

GUT スケール以下

\rightarrow 予言能力が高い!

☆ $\text{Br}(b \rightarrow s\gamma) - \text{Br}(\mu \rightarrow e\gamma)$



θ_{13} が大きいと、 $\mu \rightarrow e\gamma$ からの制限が強くなる

5. Summary

ν HDM

・小さなニュートリノ質量の起源は、ニュートリノとだけ相互作用する ϕ_ν の小さな VEV

SUSY SU(5) GUT with neutrinophilic Higgs

・ $m_\nu / y_\nu = \langle \phi_\nu \rangle \sim 0.1$ eV の起源は、 $M_{\phi_\nu} \sim \text{GUT}$ と $m_3 \sim \text{SUSY}$ スケール

・ GCU と陽子崩壊の抑制の両立は、 T_ν が GUT スケール以下にあることで実現

・ フレーバーの破れが、直接ニュートリノ混合と関係 \rightarrow 予言能力が高い