

細谷機構を伴う超対称大統一模型の コライダーでの検証

谷口裕幸（富山大理）

共同研究者：柿崎充（富山大理）、兼村晋哉（富山大理）、山下敏史（愛知医科大）

2013年7月20日 加速器・物理IILC夏の合宿2013@富山 呉羽ハイツ

1、イントロダクション

◆ 通常GUT

GUT scale : $M_{GUT} \sim 10^{16}$ GeV
EW scale : $M_{EW} \sim 10^2$ GeV

GUT はデカップリング定理によって低エネルギーでの検証が困難

[T. Appelquist and J. Carazzone, Phys.Rev. D11 (1975) 2856]

➡ TeVスケールでの結合定数間の関係、新粒子の質量比によって検証

◆ 細谷機構を伴う超対称大統一模型

Supersymmetric Grand Gauge-Higgs Unification (SGGHU)

Doublet-Triplet splitting が自然に実現

[K. Kojima, K. Takenaga and T. Yamashita, PhysRevD.84.051701]

[T. Yamashita, Phys. Rev. D84 (2011) 115016]

TeV スケールにカイラル多重項の存在を予言

$O(8,1,0)$ カラー八重項

$\Delta(1,3,0)$ SU(2)三重項

$S(1,1,0)$ 一重項

} ヒッグスセクターが拡張

ヒッグスセクターの物理を調べることでこの模型の検証が可能

2、細谷機構を伴う超対称大統一模型 (SGGHU)

ヒッグスセクター

	$SU(3)$	$SU(2)$	$U(1)$	
\hat{H}_d	1	2	-1	MSSM doublet
\hat{H}_u	1	2	+1	MSSM doublet
\hat{S}	1	1	0	Singlet
$\hat{\Delta}$	1	3	0	Triplet



4 CP-even h, H, S_R^0, Δ_R^0
 3+1 CP-odd $A, S_I^0, \Delta_I^0, G^0$
 3+1 Charged $H^\pm, \Delta^\pm, \bar{\Delta}^\pm, G^\pm$

Superpotential, soft SUSY term

$$W = \mu \hat{H}_u \cdot \hat{H}_d + \frac{\mu_s}{2} \hat{S}^2 + \mu_\Delta \text{Tr}(\hat{\Delta}^2) + \lambda_s \hat{S} \hat{H}_u \cdot \hat{H}_d + \lambda_\Delta \hat{H}_u \cdot \hat{\Delta} \hat{H}_d$$

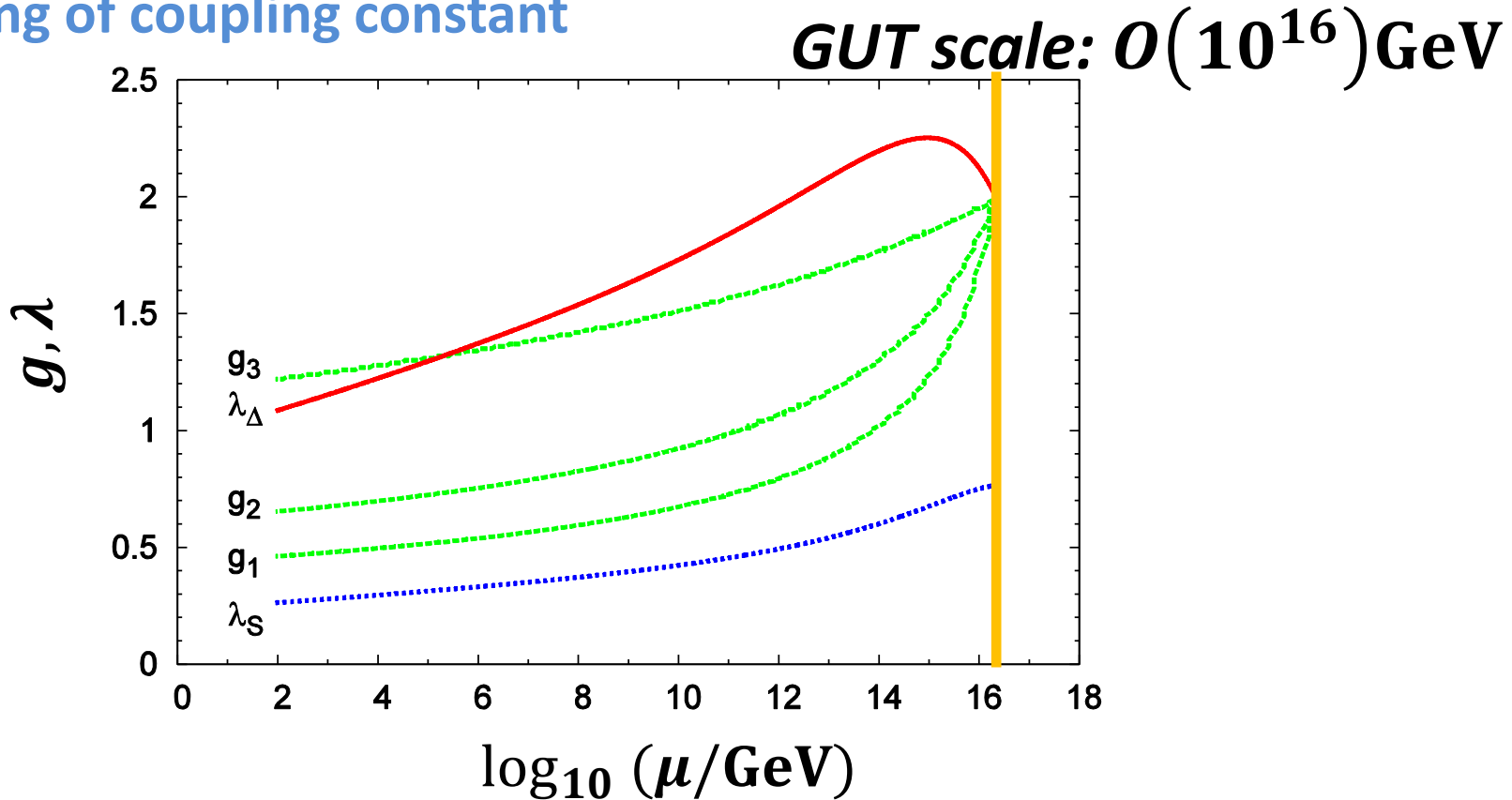
$$V_{SOFT} = \tilde{m}_d^2 |H_d|^2 + \tilde{m}_u^2 |H_u|^2 + 2\tilde{m}_\Delta^2 \text{Tr}(\Delta^\dagger \Delta) + \tilde{m}_S^2 |S|^2 \\
+ \left[B\mu H_u \cdot H_d + B_\Delta \mu_\Delta \text{Tr}(\Delta^2) + B_s \frac{\mu_s}{2} S^2 \right. \\
\left. + A_\Delta \lambda_\Delta H_u \cdot \Delta H_d + A_s \lambda_s S H_u \cdot H_d + \eta S + H.C. \right]$$

特徴

1. S^3 、 $S\Delta\Delta$ 項が含まれない
2. λ_s と λ_Δ はGUT スケールで統一されている
3. フリーパラメータが少ない

2、細谷機構を伴う超対称大統一模型 (SGGHU)

- Running of coupling constant



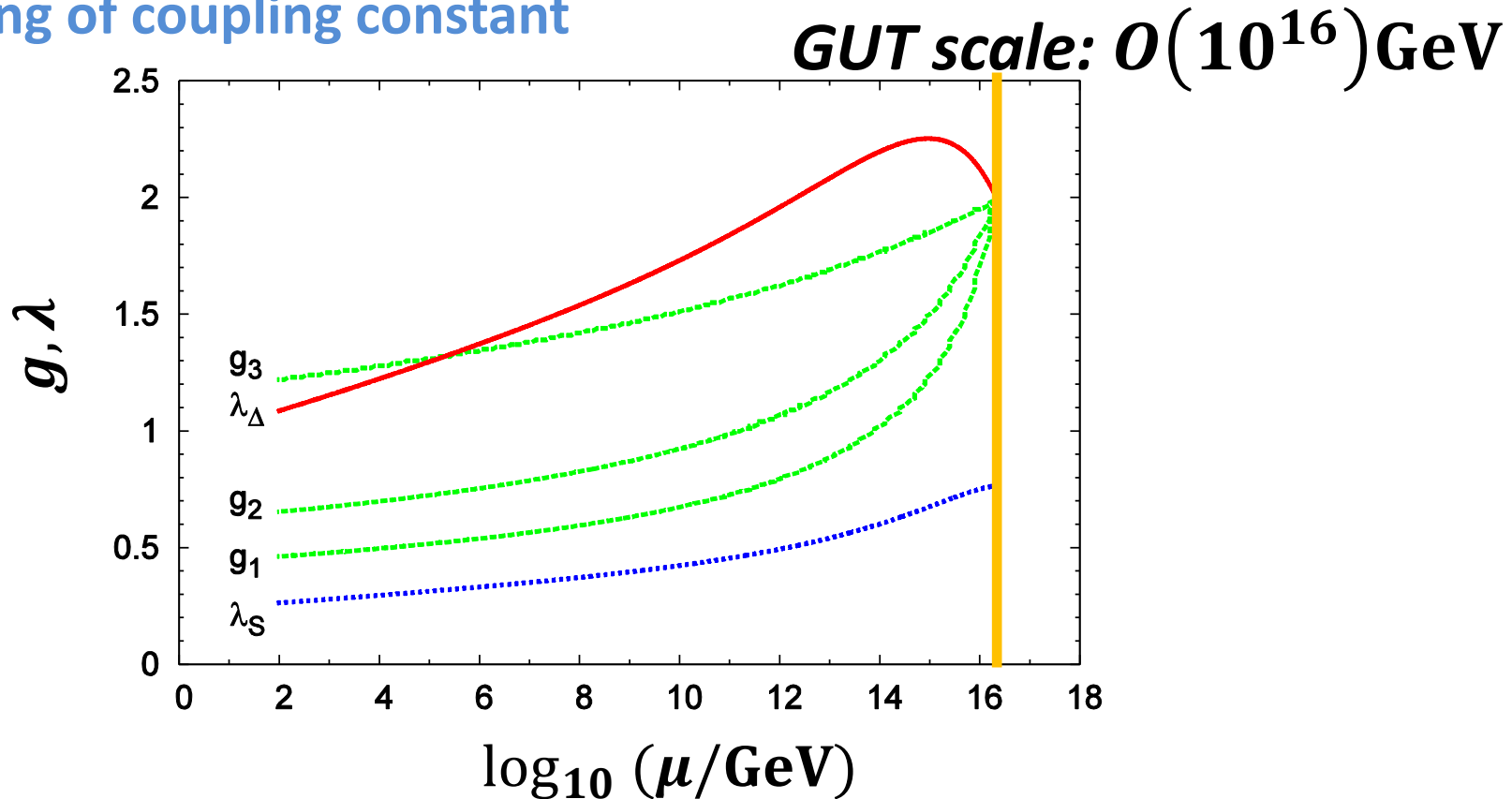
$$\lambda_{\Delta} = 2\sqrt{5/3} \lambda_S = g_{GUT} \text{ @GUT scale}$$



$$\lambda_{\Delta} = 1.1, \lambda_S = 0.26 \text{ @EW scale}$$

2、細谷機構を伴う超対称大統一模型 (SGGHU)

- Running of coupling constant



$$\lambda_\Delta = 2\sqrt{5/3} \lambda_S = g_{GUT} \text{ @GUT scale}$$



$$\lambda_\Delta = 1.1, \lambda_S = 0.26 \text{ @EW scale}$$

3、ヒッグスセクターの予言

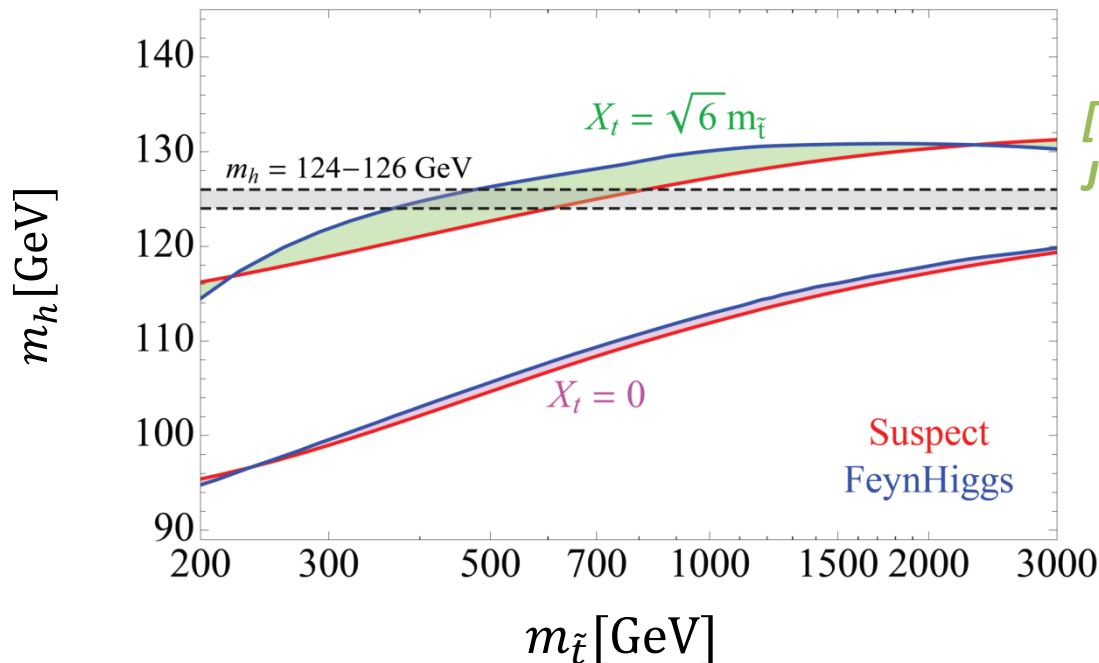
● 軽いCP-evenヒッグスボソン質量

$$X_t = A_t - \mu \cot \beta$$

$$m_h^2 \sim m_Z^2 c_{2\beta}^2 + \frac{3m_t^4}{2\pi^2 v^2} \left(\log \frac{m_{\tilde{t}}^2}{m_t^2} + \frac{X_t^2}{m_{\tilde{t}}^2} \left(1 - \frac{X_t^2}{12m_{\tilde{t}}^2} \right) \right)$$

MSSM

MSSM Higgs Mass



[Hall, Pinner, Ruderman, JHEP1204, 131(2012)]

MSSMでは $m_h=126\text{GeV}$ を達成するのが簡単ではない

3、ヒッグスセクターの予言

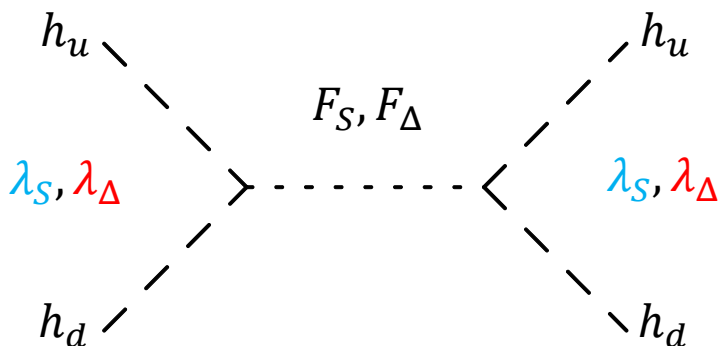
● 軽いCP-evenヒッグスボソン質量

$$X_t = A_t - \mu \cot \beta$$

$$m_h^2 \sim m_Z^2 c_{2\beta}^2 + \frac{3m_t^4}{2\pi^2 v^2} \left(\log \frac{m_{\tilde{t}}^2}{m_t^2} + \frac{X_t^2}{m_{\tilde{t}}^2} \left(1 - \frac{X_t^2}{12m_{\tilde{t}}^2} \right) \right) + \frac{1}{2} \lambda_S^2 v^2 s_{2\beta}^2 + \frac{1}{8} \lambda_\Delta^2 v^2 s_{2\beta}^2$$

MSSM

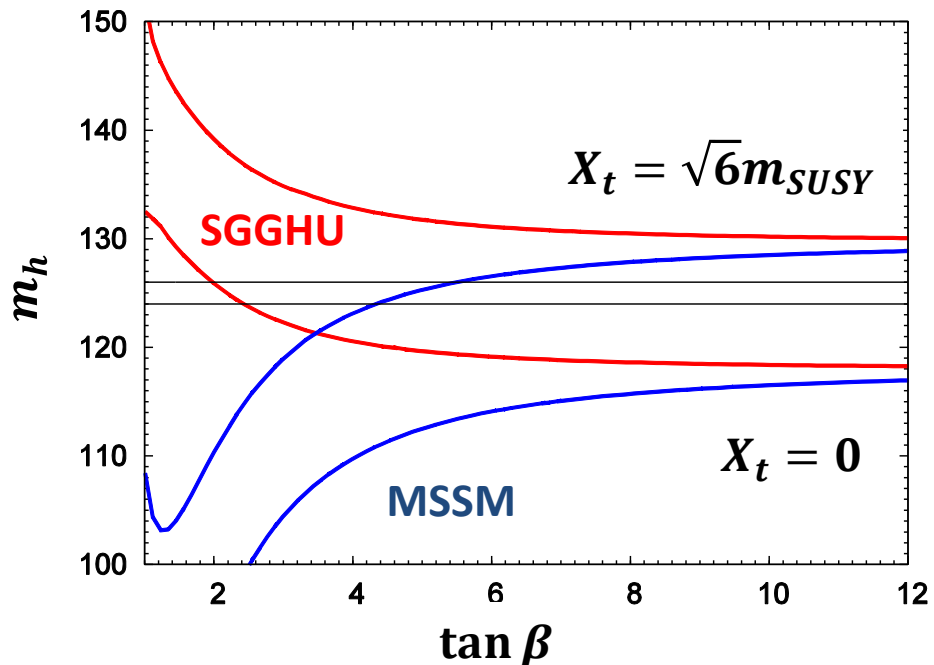
一重項, 三重項からの寄与



126GeV に届く

soft mass $\tilde{m}_S, \tilde{m}_\Delta$ が重いシナリオ

(GeV) $\lambda_\Delta = 1.1, \lambda_S = 0.26, m_{SUSY} = 2\text{TeV}$



3、ヒッグスセクターの予言

<MSSMからのずれ>

● 荷電ヒッグスボソン質量

$$m_{H^\pm}^2 = m_{H^\pm}^2 \Big|_{MSSM} (1 + \delta_{H^\pm})^2$$

$$\sim \frac{m_A^2 + m_W^2}{MSSM} - \frac{1}{2} \lambda_S^2 v^2 + \frac{1}{8} \lambda_\Delta^2 v^2$$

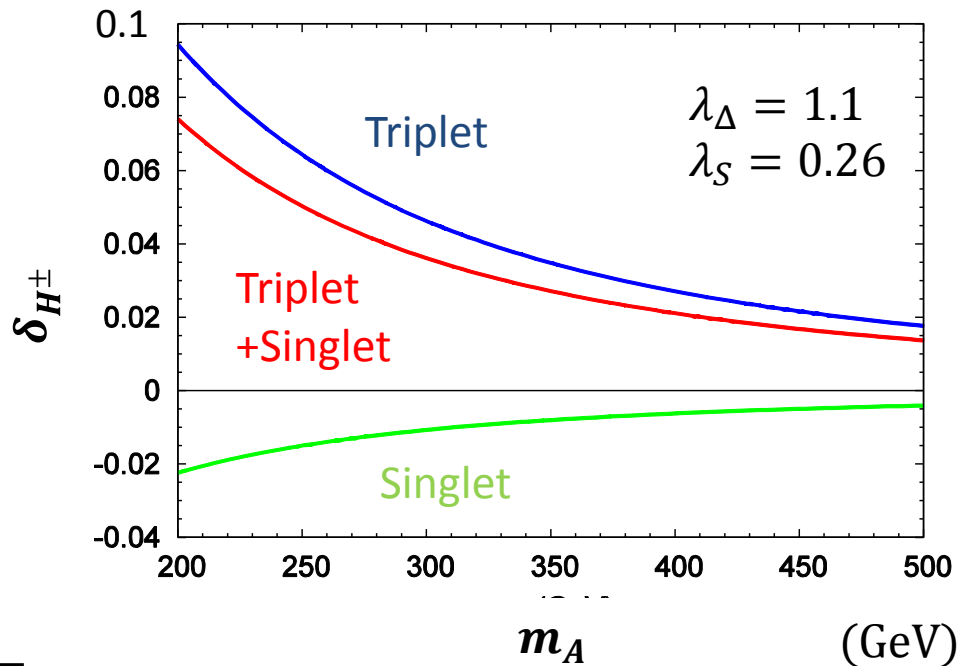
質量のずれ: $O(1)\% - O(10)\%$

● 重いCP-evenヒッグスボソン質量

$$m_H \cong m_H \Big|_{MSSM} \cong m_H \Big|_{NMSSM}$$

質量のずれは小さい $< O(1)\%$

soft mass $\tilde{m}_S, \tilde{m}_\Delta$ が重いシナリオ



LHCによって検証が可能

3、ヒッグスセクターの予言

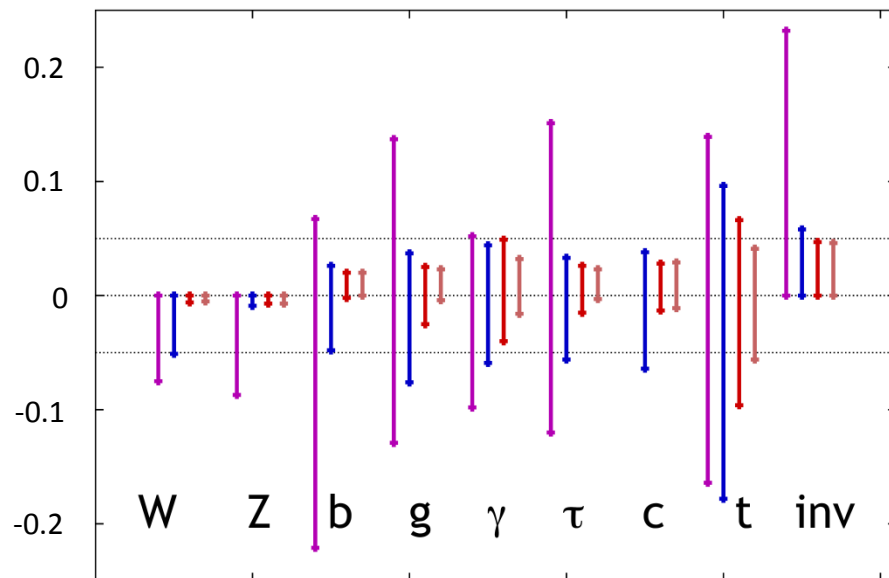
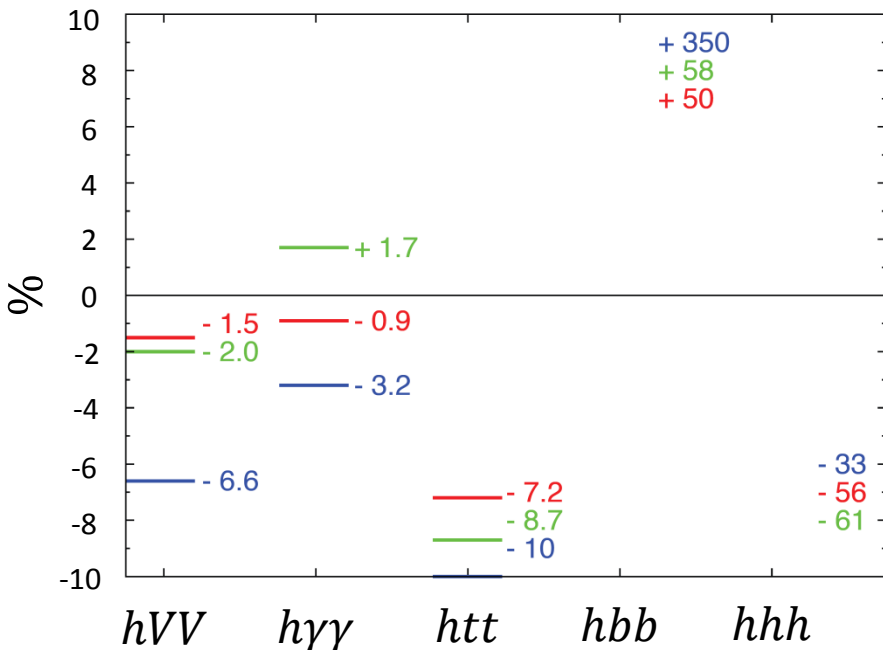
<SMからのずれ>

● ヒッグスボソン結合定数

soft mass $\tilde{m}_S, \tilde{m}_\Delta$ が重いシナリオ

$$g(hXX)/g(hXX)_{SM} - 1$$

LHC/HLC/ILC/ILCTeV



[M. E. Peskin, arXiv:1207.2516]

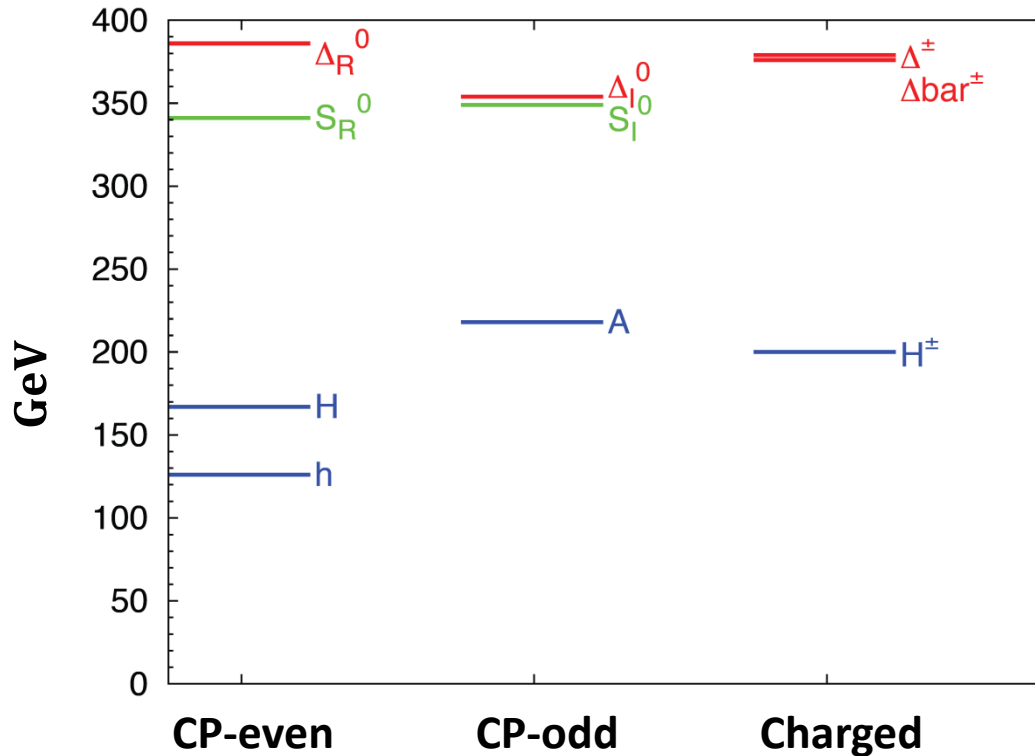
- MSSM
- NMSSM
- SGGHU

$\lambda_\Delta = 1.1, \lambda_S = 0.26, \lambda_{NMSSM} = 0.6,$
 $\tan \beta_{MSSM} = 10, \tan \beta_{SGGHU, NMSSM} = 3,$
 $m_h = 126\text{GeV}, m_A = \mu_{\text{eff}} = 150\text{GeV}, m_{SUSY} = 2\text{TeV}$

ILCによって模型の違いを区別することが可能

3、ヒッグスセクターの予言

◆ Soft mass \tilde{m}_S , \tilde{m}_Δ が軽いシナリオ



$$\tilde{m}_\Delta = 100\text{GeV}, \tilde{m}_S = 300\text{GeV},$$

$$\lambda_\Delta = 1.1, \lambda_S = 0.26, \tan\beta = 3,$$

$$\mu_{\text{eff}} = 180\text{GeV}, \mu_\Delta = 330\text{GeV},$$

$$\mu_S = 150\text{GeV},$$

$$m_{SUSY} = 2\text{TeV}$$

付加的なヒッグスボソンを直接生成・検証することができる

- 例) $e^+e^- \rightarrow \Delta^+\Delta^- \rightarrow tbtb$
 $e^+e^- \rightarrow \Delta^+\Delta^- \rightarrow tb\tau\nu$
 $H^\pm - \Delta^\pm$ の大きな混合を通して生成される

4、まとめ

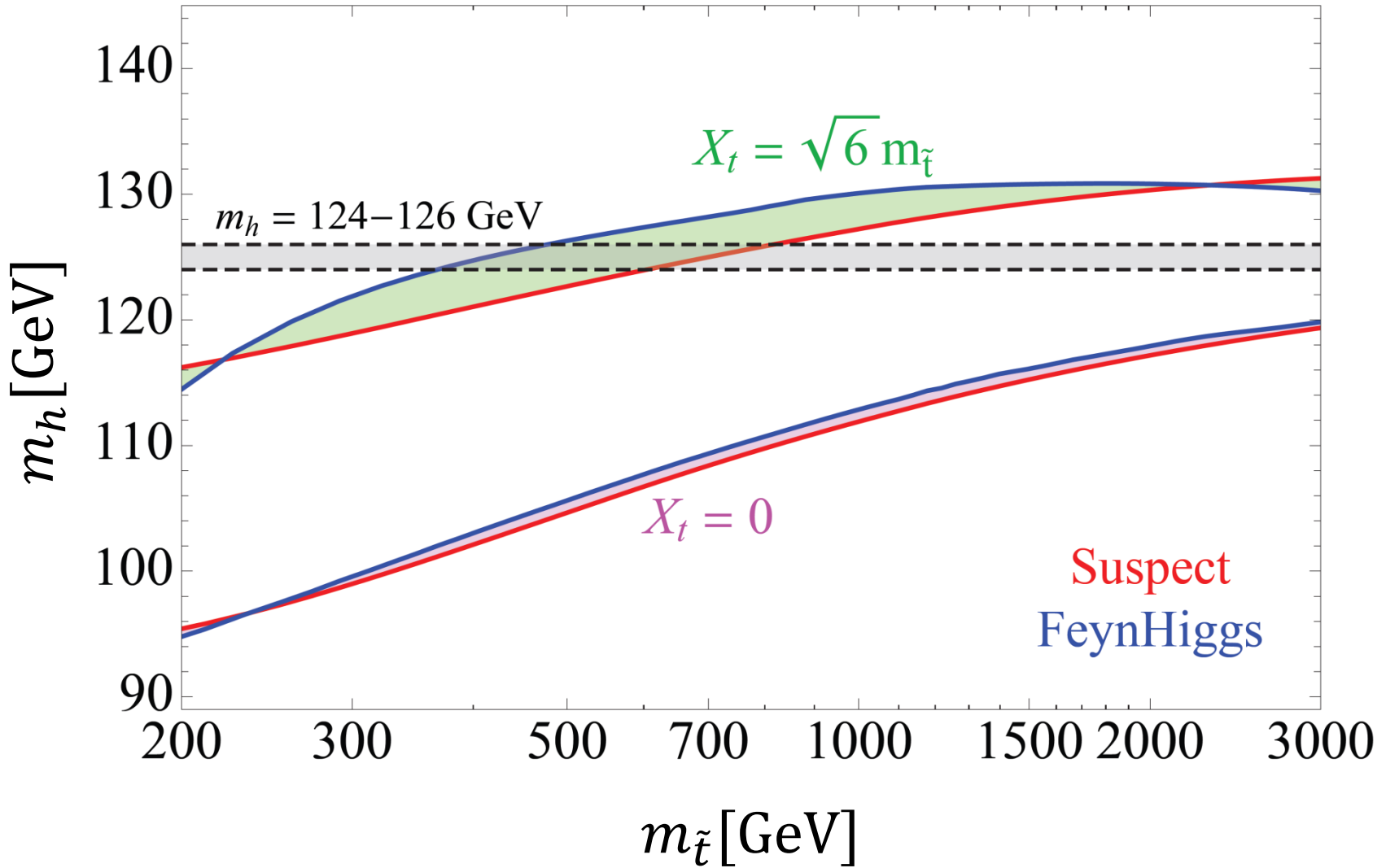
細谷機構を伴う超対称大統一模型 (SGGHU) の
ヒッグス物理によるコライダーでの検証可能性を調べた

- 荷電ヒッグスボソン質量のMSSMからのずれは $O(1)\%$ – $O(10)\%$
LHC実験による検証が可能
- ヒッグス結合定数のSMからのずれをILC実験によって
測定することで模型の区別が可能
- Soft mass $\tilde{m}_S, \tilde{m}_\Delta$ が小さい場合には付加的なヒッグスボソンを
直接生成、検証することができる

**SGGHU はGUT scale の物理を
加速器実験で検証できる好例である。**

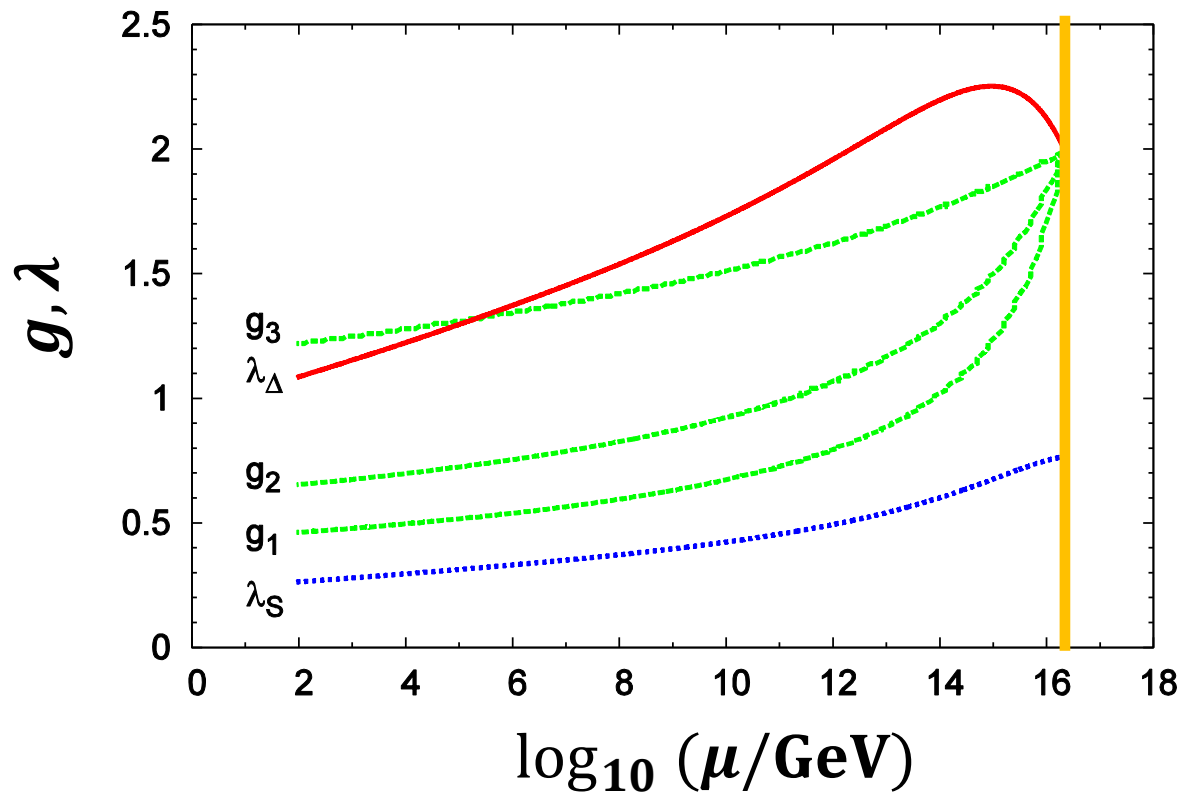
Back up

MSSM Higgs Mass

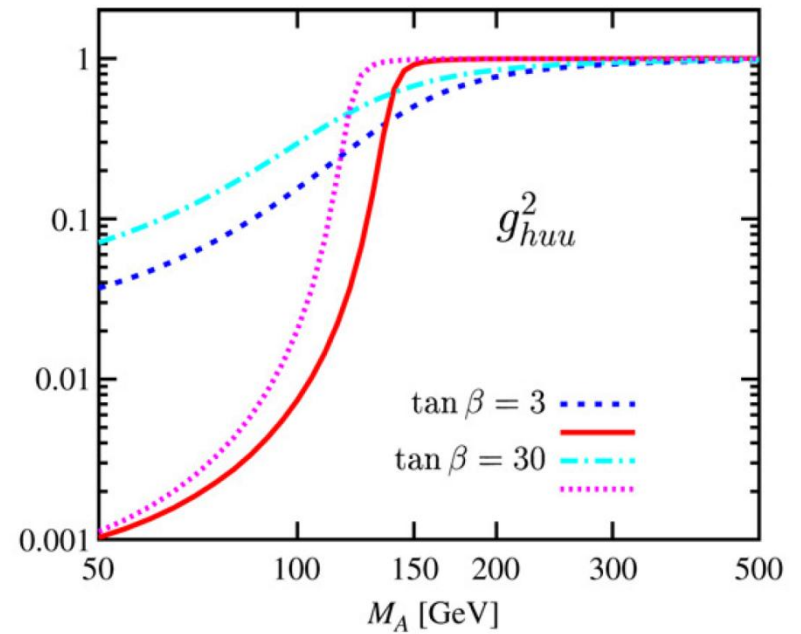


[Hall, Pinner, Ruderman, JHEP1204, 131(2012)]

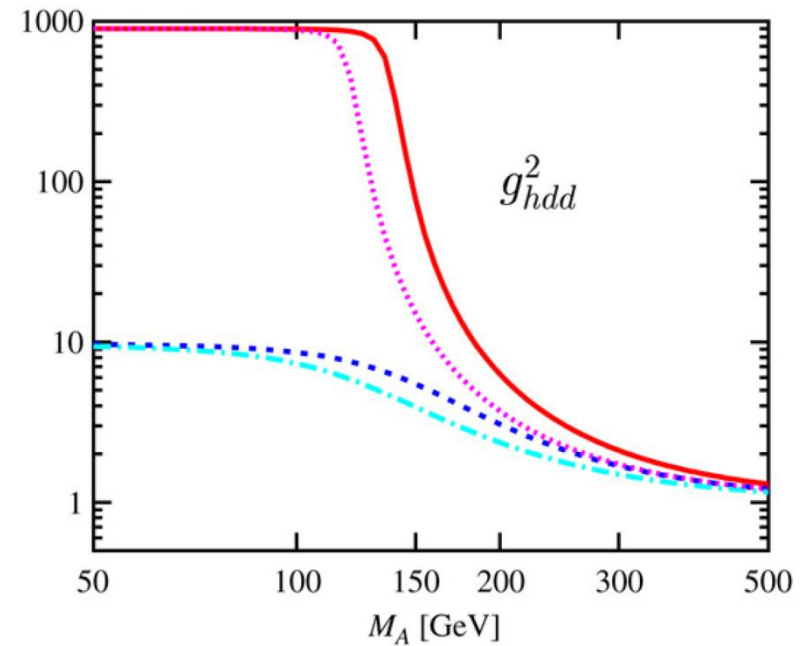
$2 \times L(1,2, -1/2) + U^C(\bar{3}, 1, -2/3) + E^C(1, 1, 1)$ @SUSY scale

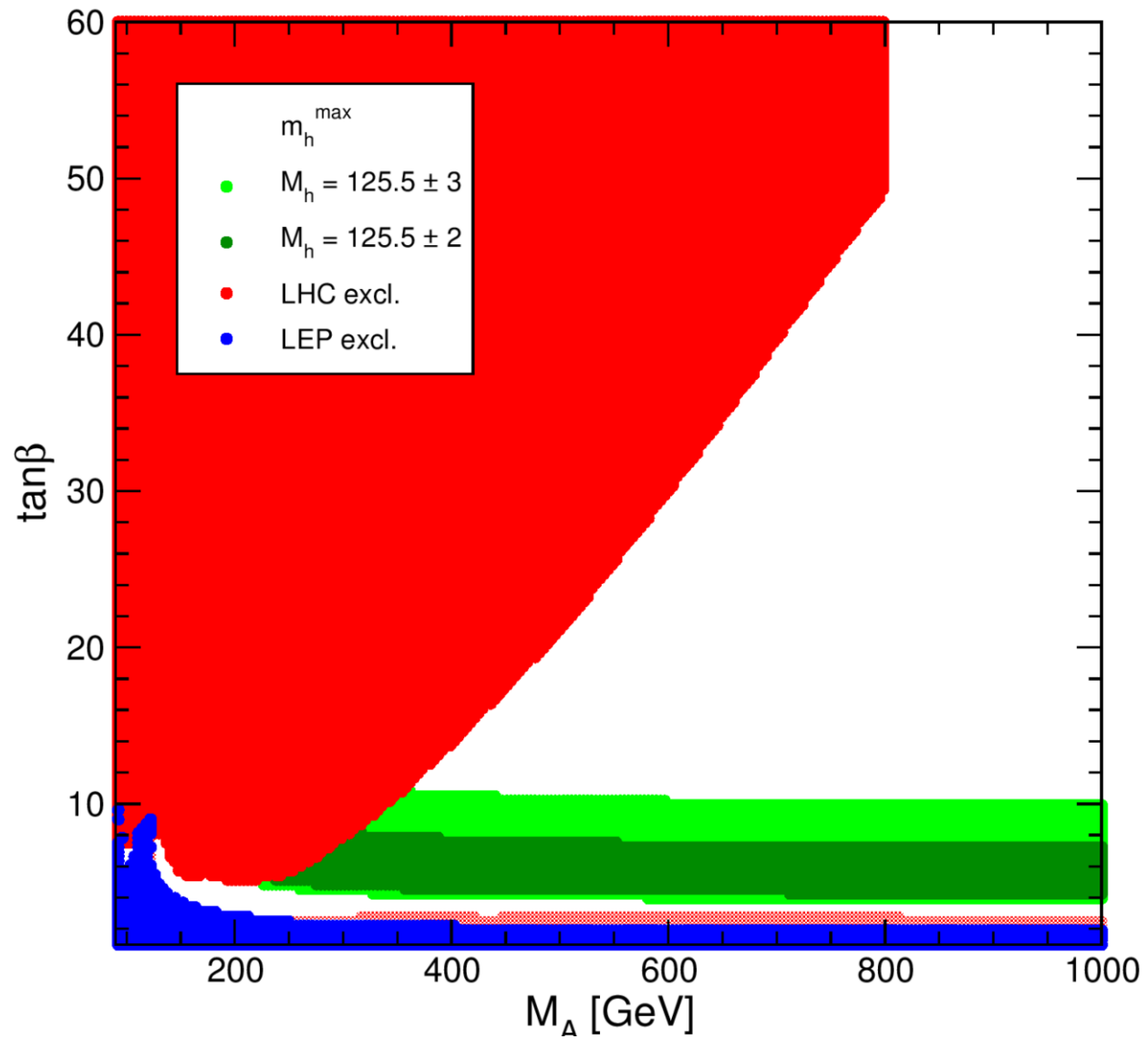


$$g_{htt} = \sin(\beta - \alpha) + \cot \beta \cos(\beta - \alpha)$$



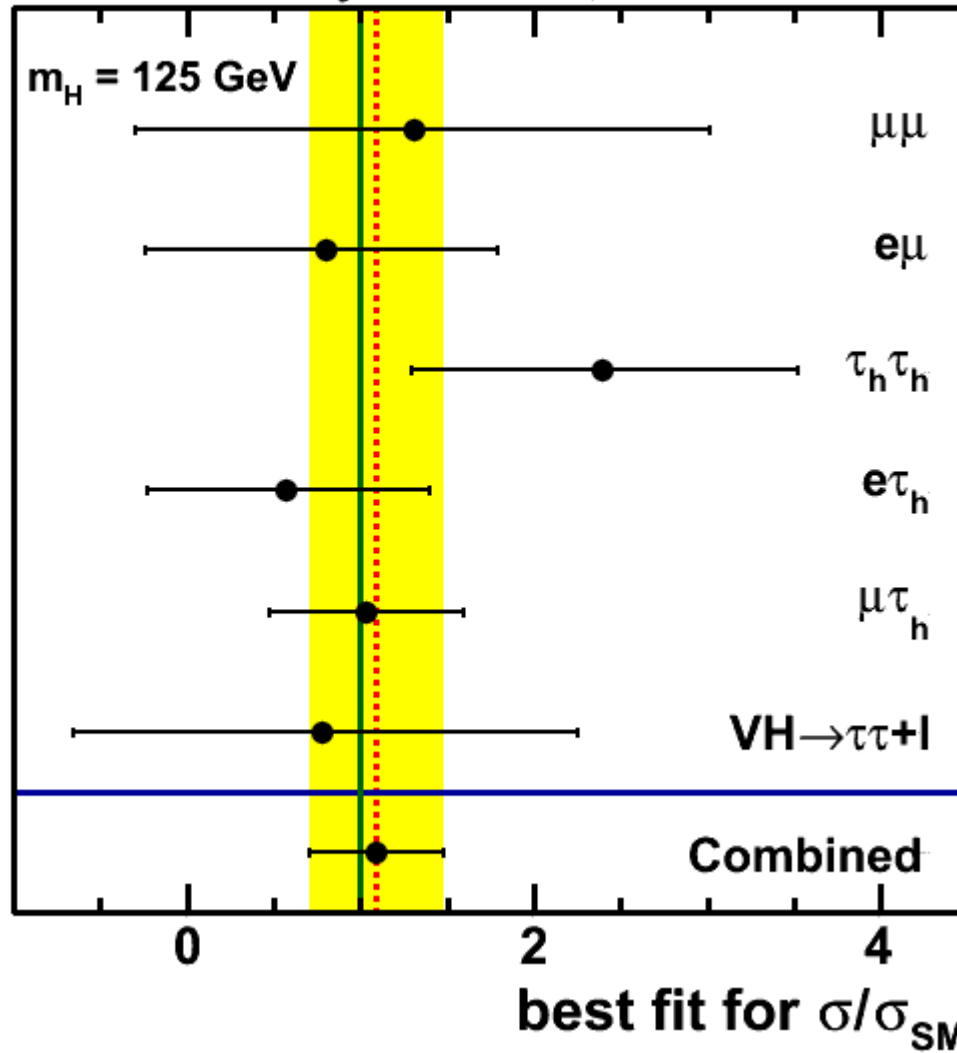
$$g_{hbb} = \sin(\beta - \alpha) - \tan \beta \cos(\beta - \alpha)$$





[M. Carena, S. Heinemeyer, O. Stal, C. E. M. Wagner and G. Weiglein, arXiv:1302.7033]

CMS Preliminary, $\sqrt{s}=7-8$ TeV, $L=24.3$ fb $^{-1}$, $H \rightarrow \tau\tau$



[<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/Hig13004TWiki>]