タイプIIシーソー機構と伴うヒッグス三重項模型のくりこみ理論と量子補正

菊地　真吏子(富山大)

共同研究者:　青木　真由美さん(金沢大)、兼村　晋哉さん(富山大)、柳生　慶さん(國立中央大)

Aoki, Kanemura, Kikuchi, Yagyu　arXiv:1204.1951 [hep-ph], Physics Letters B to appear

1、イントロダクション

・SMの枠内では説明できない現象(ニュートリノ微小質量、DM候補、宇宙のバリオン数非対称問題等)
　それらを説明できる**新物理模型**が必ず必要！

ヒッグスセクターと新物理学の関係に注目!!

将来の精密測定　×　輻射補正を含む理論計算　＝　模型の検証

・今回はニュートリノ質量の生成を説明するタイプＩＩシーソー機構を考える

・ヒッグス三重項模型(ρ≠1)(HTM)のくりこみ理論を構築 ⇒ 三重項場質量公式、結合定数(hhh, hγγ)に対する量子補正を評価

2、ニュートリノ質量とヒッグス三重項模型

$$\mathcal{L}_\nu = h_{ij}\overline{L_L^i}^c i\tau_2 \Delta L_L^j + hc$$

	SU(2)L	U(1)Y	U(1)L
Φ	2	1/2	0
Δ	3	1	-2

Mohapatra, Senjanovic (PRD,1981)

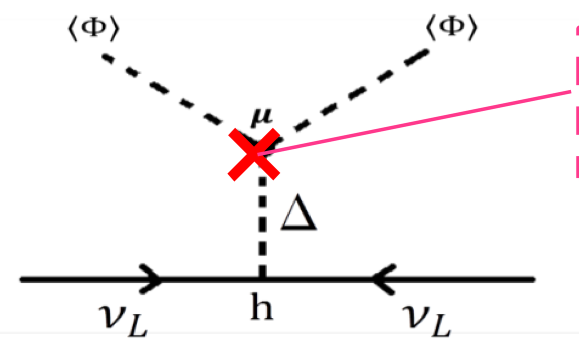
$$V_{Higgs} = m^2\Phi^\dagger\Phi + M^2 Tr(\Delta^\dagger\Delta) + [\mu\Phi^T i\tau_2\Delta^\dagger\Phi + h.c.] + \lambda_1(\Phi^\dagger\Phi)^2 + \lambda_2[Tr(\Delta^\dagger\Delta)]^2 + \lambda_3 Tr(\Delta^\dagger\Delta)^2 + \lambda_4(\Phi^\dagger\Phi)Tr(\Delta^\dagger\Delta) + \lambda_5\Phi^\dagger\Delta\Delta^\dagger\Phi$$

$$\Delta^0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\omega + v_\Delta + i\eta)$$

質量固有状態
$h,\ H^{\pm\pm},\ H^\pm,\ H,\ A$

$$\Phi = \begin{pmatrix} \varphi^+ \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(\varphi^0 + v_\phi + i\chi) \end{pmatrix} \quad \Delta = \begin{pmatrix} \frac{\Delta^+}{\sqrt{2}} & \Delta^{++} \\ \Delta^0 & -\frac{\Delta^+}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

タイプIIシーソー機構(複素三重項スカラー場を導入して、m_ν を生成する)



レプトン数が2破れているため、マヨラナタイプの
ニュートリノ質量が生成される。

ニュートリノ微小質量を説明するには、ナイーヴには
M_Δは大きく($10^{14\text{-}15}$GeV)あらねばならない。しかし･･･

$$M_\nu^{ij} = \frac{h^{ij}\mu v_\Phi^2}{M_\Delta^2}$$

μが小さいとM_Δが電弱スケール。
その場合は、LHCや線形加速器で**検証可能！**

Kanemura, Sukiyama (arXiv:1202.5231)(2012)

非常に小さいμが摂動で生成される新機構も考えられた

3、質量スペクトル

ρパラメーター

$$\rho \equiv \frac{m_W^2}{m_Z^2\cos^2\theta} = \frac{1+\frac{2v_\Delta^2}{v_\phi^2}}{1+\frac{4v_\Delta^2}{v_\phi^2}} \simeq 1 \quad \text{実験}$$

ローパラメータの制限 $v_\Delta^2 << v_\phi^2$
→φとΔの混合が小さい

v_ϕ　:　ダブレット場の真空期待値
v_Δ　:　トリプレット場の真空期待値

この公式を加速器実験で検証できれば、HTMであるということの重要な特徴となる。

質量スペクトル

$$m_{H^{++}}^2 \simeq M^2 + \frac{1}{2}\lambda_4 v_\phi^2$$
$$m_{H^+}^2 \simeq M^2 + \frac{1}{2}\lambda_4 v_\phi^2 + \frac{1}{4}\lambda_5 v_\phi^2$$
$$m_A^2 \simeq M^2 + \frac{1}{2}\lambda_4 v_\phi^2 + \frac{1}{2}\lambda_5 v_\phi^2$$
$$m_H^2 \simeq m_A^2$$
$$m_h^2 \simeq \frac{1}{2}\lambda_1 v_\phi^2$$

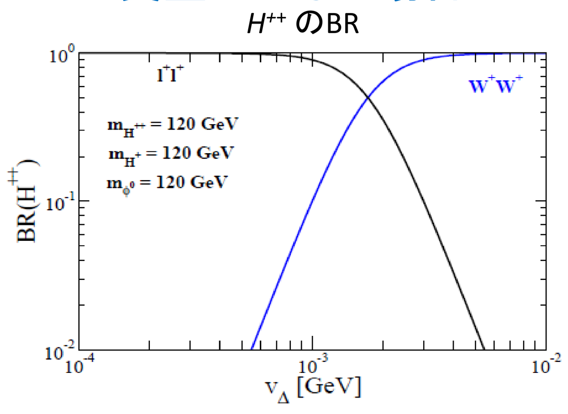
質量公式

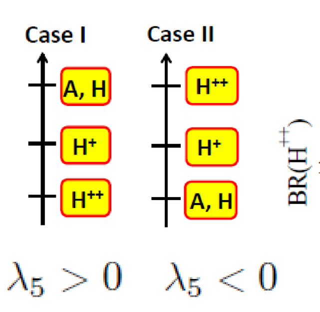
$$m_{H^{++}}^2 - m_{H^+}^2 \simeq m_{H^+}^2 - m_A^2 \simeq -\frac{\lambda_5}{4} v_\Phi^2$$

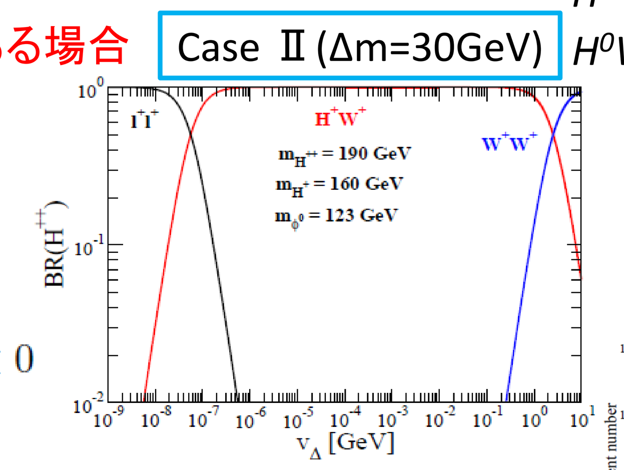
• 質量差を表すパラメーターはλ_5

Aoki, Kanemura, Yagyu,(PRD,2011)

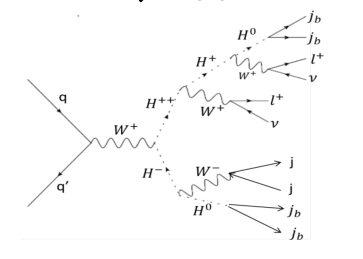
質量差がない場合　　質量差がある場合　　Case II (Δm=30GeV)

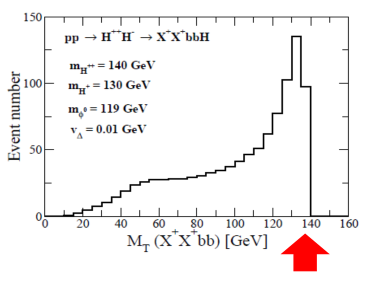






$H^{++} \to H^+W^+ \to$
$H^0W^+W^+ \to bb\ W^+W^+$





$m_{H^{++}}$

横質量分布などから質量を求めることにより、全ての三重項ヒッグス場の質量がLHCで測れる可能性がある

4、くりこみ理論の構築

●ゲージセクター(g,g',v,v_Δ)のくりこみ

Kanemura, Yagyu (PRD,2012)

• HTM(Y=1)はtreeでρ パラメータが1からずれた理論

$$\rho = \frac{1+\frac{2v_\Delta^2}{v_\phi^2}}{1+\frac{4v_\Delta^2}{v_\phi^2}} \neq 1$$

• この場合はSMとは異なるくりこみ理論が必要となる。

$$\rho \equiv \frac{m_w^2}{m_z^2\cos^2\theta_w} \neq 1$$

$\sin\theta_W$に対するくりこみ条件が加わる。
⇒　全く異なる現象論

● ヒッグスポテンシャルのくりこみ

<ポテンシャルのパラメータ(8個)>
$\mu, m, M, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$

<物理パラメーター(8個)>
$v, v_\Delta, m_{H^{++}}, m_{H^+}, m_A, m_h, m_H, \alpha$

<くりこみ条件>

• 電弱パラメータ $G_F, \sin^2\vartheta_W, \alpha_{EM}, m_Z$ のくりこみ ⇒ $\delta v, \delta v_\Delta$

• 他はヒッグスセクターのくりこみ条件で決める

1点関数　$\boxed{\text{真空条件}}$　= 0 ⇒ $\delta T_\varphi, \delta T_\Delta$

2点関数　$\boxed{\text{On shell 条件}}$　$|_{p^2=\phi^2}$ = 0 ⇒ $\delta m_{H^{++}}^2, \delta m_{H^+}^2, \delta m_A^2, \delta m_h^2, \delta m_H^2$

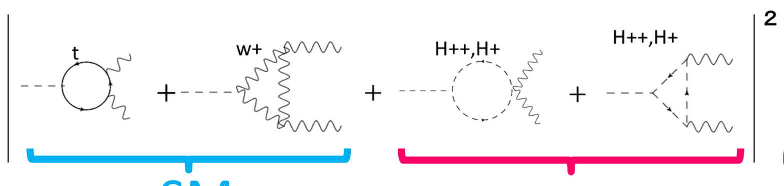
相殺項

$\delta v, \delta v_\Delta, \delta m_{H^{++}}^2, \delta m_{H^+}^2$
$\delta m_A^2, \delta m_h^2, \delta m_H^2, \delta\alpha$
Tadpole:$\delta T_\varphi, \delta T_\Delta$

波動関数のくりこみ:
$\delta Z_h, \delta Z_H, \delta Z_A, \delta Z_{G0},$
$\delta Z_{H^+}, \delta Z_{G^+}, \delta Z_{H^{++}},$
$\delta C_{hH}, \delta C_{AG0}, \delta C_{H^+G^+}$

5、h→γγに対する結果

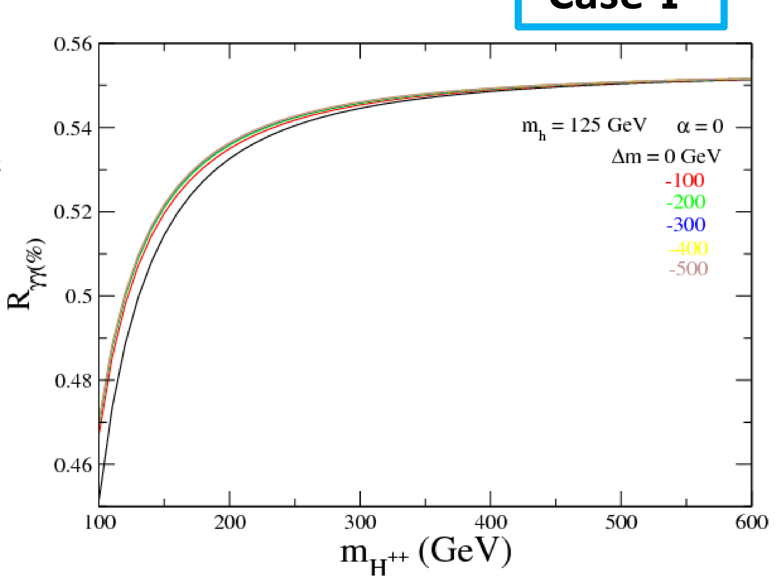
三重項場の効果によって、Γ(h→γγ)がどう変化するか



$$\Gamma(h\to\gamma\gamma)_{HTM} = \Big|\underbrace{\cdots}_{SM} + \underbrace{\cdots}_{\Delta HTM}\Big|^2$$

$$R_{\gamma\gamma} = \frac{\Gamma(h\to\gamma\gamma)_{HTM}}{\Gamma(h\to\gamma\gamma)_{SM}}$$

Case I



Kanemura, Yagyu (PRD,2012)

• ノンデカップリング効果となる
• 質量、質量差にはあまり依存しない
• 電弱精密測定の結果から示唆される質量領域($m_{H^{++}}$～100GeV、Δm～100GeV)
　⟶ Rγγ ～ 50%

・三重項場がループする効果がSMのループの効果と逆符号で効くため、Γ(h→γγ)は小さくなる　→　実験で測定しにくい

6、質量公式に対するループ補正

トリプレット場の質量二乗差の比 R

$$R = \frac{m_{H^{++}}^2 - m_{H^+}^2}{m_{H^+}^2 - m_A^2} = 1 + \mathcal{O}\left(\frac{v_\Delta^2}{v_\Phi^2}\right) \longrightarrow 1 \quad \text{tree}$$

$v_\Delta^2 \ll v_\Phi^2$

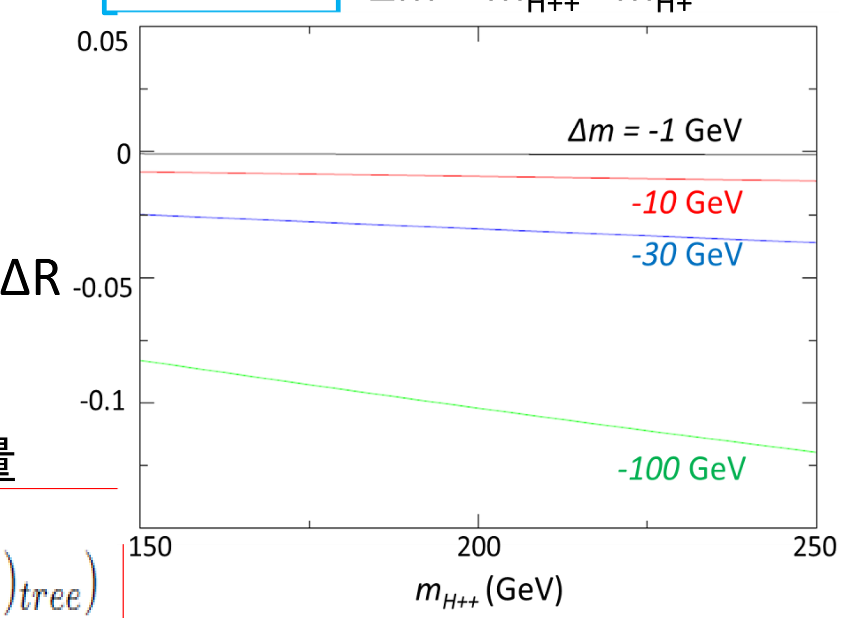
$(m_A^2)_{tree}$は$m_{H^{++}}^2$と$m_{H^+}^2$から決まる

$$(m_A^2)_{tree} = 2m_{H^+}^2 - m_{H^{++}}^2$$

A のループレベルでのポール質量は予言量

$$(m_A^2)_{pole} = (m_A^2)_{tree} - \frac{\delta T_\Delta}{v_\Delta} + \delta m_A^2 - \Pi_A^{1PI}((m_A^2)_{tree})$$

Case I　　m_h=125GeV , α=0
Δm = $m_{H^{++}}$ - m_{H^+}



One-loop 補正によるR = 1 からのずれΔR

$$\Delta R = \frac{m_{H^{++}}^2 - m_{H^+}^2}{m_{H^+}^2 - (m_A^2)_{pole}} - 1$$

電弱精密測定から示唆される質量領域
($m_{H^{++}}$～O(100)GeV,　|Δm|～100GeV)
では、R値は十分大きな補正を予言する。
LHCでの模型の検証が可

$$\Delta R = \frac{1}{m_{H^{++}}^2 - m_{H^+}^2}[\Pi_{H^{++}H^{--}}^{1PI}(m_{H^{++}}^2) - 2\Pi_{H^+H^+}^{1PI}(m_{H^+}^2) + \Pi_{AA}^{1PI}((m_A^2)_{tree})]$$

7、hhhに対する結果

*hhh*結合のon shell くりこみ

α=0,　$v_\Delta^2 << v_\varphi^2$ の場合

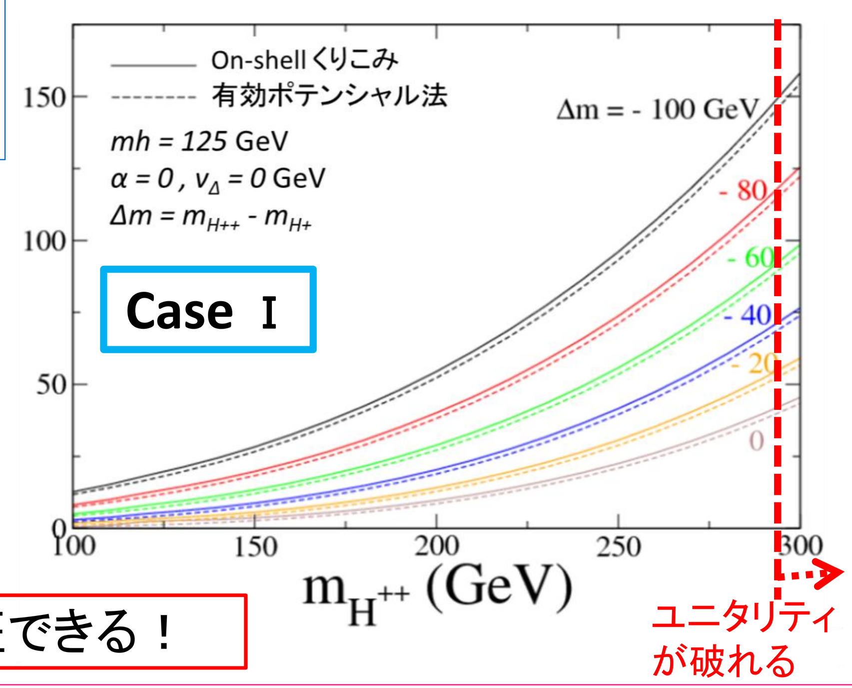
$$\frac{\lambda_{hhh}^{HTM}}{\lambda_{hhh}^{SM}} \simeq 1 + \frac{1}{12\pi^2 m_h^2 v^2}(2m_{H^{++}}^4 + 2m_{H^+}^4 + m_A^4 + m_H^4)$$

トリプレット場の量子効果がノンデカップリング効果として大きく出る！

電弱精密測定から示唆される質量領域
($m_{H^{++}}$～O(100)GeV、|Δm|～100GeV)
では、**～25% 程度と予言！**

ILCでは、*hhh*結合はO(10)%で測れる見込みなので、

*hhh*結合の測定により、トリプレット模型を検証できる！



8、まとめ

• トリプレット模型(HTM)では、ρ ≃ 1という制限のもと、トリプレット場(H^{++}, H^+, A, H)の質量の間にtreeレベルで $m_{H^{++}}^2 - m_{H^+}^2 \simeq m_{H^+}^2 - m_A^2$ という特徴的な関係式が成り立つ → 模型の検証に使える

• 将来の精密測定と比べるためには、量子補正込みの物理量の理論計算が必要！
→ HTMのくりこみ理論を構築し様々な物理量を1ループレベルで計算した

• h→γγは常に小さくなる

• 質量公式 $m_{H^{++}}^2 - m_{H^+}^2 \simeq m_{H^+}^2 - m_A^2$ への補正はトリプレット場のヒッグスの質量や質量差に依存し大きくでる → 加速器実験の結果からわかる⊿Rと理論値を比べることで、模型の検証ができると期待される

• *hhh*結合への量子補正はノンデカップリング効果によりトリプレットの効果が大きくでることがわかった。→ ILCの*hhh*結合の測定で模型を検証できる