

講演題目

ヒッグス粒子とゲージボソンの結合定数から探る 拡張ヒッグスセクターの可能性

長井 遼

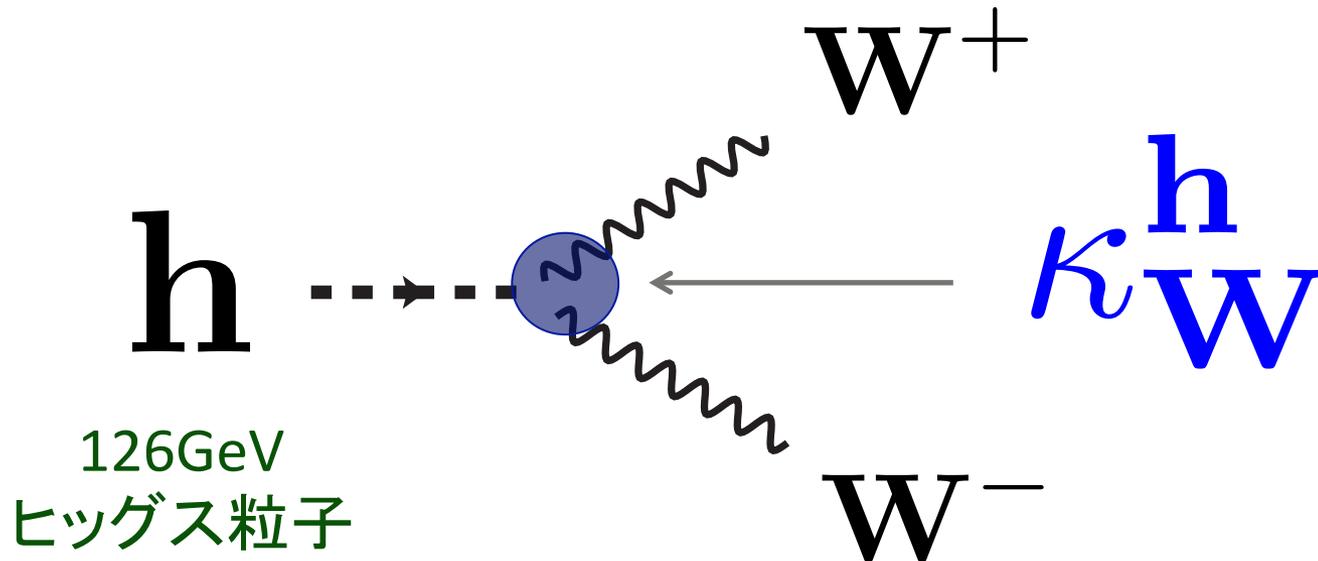


共同研究者: 棚橋 誠治 (名古屋大学) 津村 浩二 (京都大学)

加速器・物理合同ILC夏の合宿2014
2014/7/22

本研究の目的

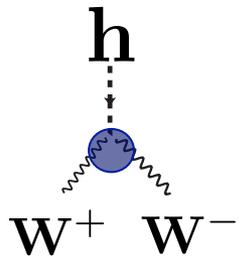
ヒッグス粒子の結合定数の精密測定から
どのような新物理への展望が拓けるかを理論的に見極めたい



本研究の目的

ヒッグス粒子の結合定数の精密測定から
どのような新物理への展望が拓けるかを理論的に見極めたい

ヒッグス粒子とゲージボソンの間の結合定数が標準模型からずれた場合



縦波散乱振幅の摂動論的
ユニタリー性の破れ

電弱相互作用に関する
精密測定と矛盾

これらの問題を解消するような、新物理効果が必要とされる。

本研究のアプローチ

今回発見された
中性ヒッグス粒子

h

これらの問題を解消するような、新物理効果が必要とされる。

本研究のアプローチ

素粒子標準模型には含まれない**新しいヒッグス粒子**の存在

中性ヒッグス粒子
× N_0 種類

$$h \quad \phi_2^0 \quad \cdots \quad \phi_{N_0}^0$$

(電荷+)
荷電ヒッグス粒子
× N_+ 種類

$$\phi_1^+ \quad \phi_2^+ \quad \cdots \quad \phi_{N_+}^+$$

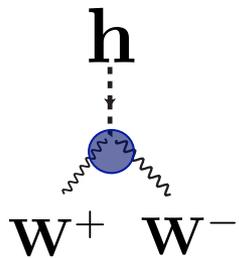
(電荷++)
荷電ヒッグス粒子
× N_{++} 種類

$$\phi_1^{++} \quad \phi_2^{++} \quad \cdots \quad \phi_{N_{++}}^{++}$$

本研究の目的

ヒッグス粒子の結合定数の精密測定から
どのような新物理への展望が拓けるかを理論的に見極めたい

ヒッグス粒子とゲージボソンの間の結合定数が標準模型からずれた場合



縦波散乱振幅の摂動論的
ユニタリー性の破れ

電弱相互作用に関する
精密測定と矛盾

標準模型には含まれない新しいヒッグス粒子の存在を示唆

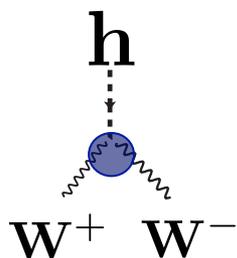
$h, H \dots ?$

ヒッグス粒子の結合定数をプローブとして、
未だ見ぬヒッグス粒子の存在可能性を探求したい

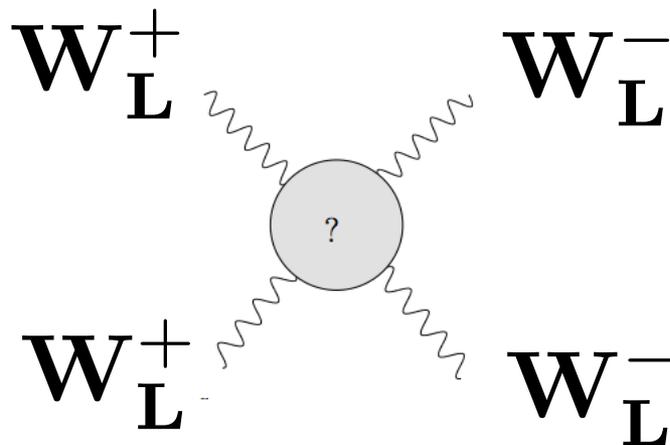
縦波ゲージボソン散乱 ($W_L^+ W_L^- \rightarrow W_L^+ W_L^-$)

ヒッグス粒子の結合定数の精密測定から
どのような新物理への展望が拓けるかを理論的に見極めたい

ヒッグス粒子とゲージボソンの間の結合定数が標準模型からずれた場合



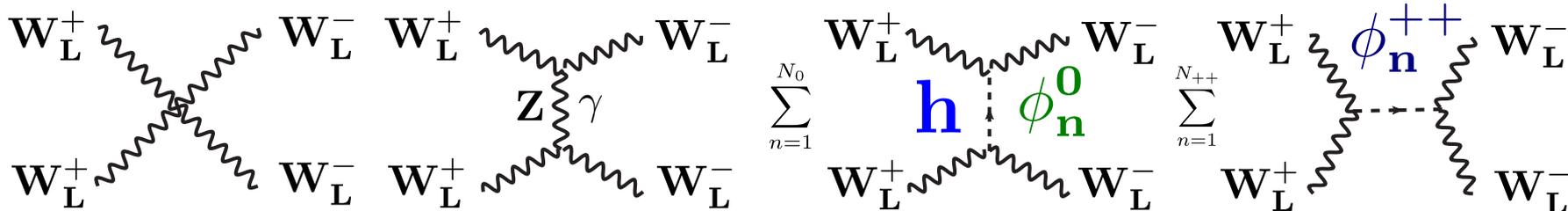
縦波散乱振幅の摂動論的
ユニタリー性の破れ



$$W_L^+ W_L^- \rightarrow W_L^+ W_L^-$$

縦波ゲージボソン散乱 ($W_L^+ W_L^- \rightarrow W_L^+ W_L^-$)

縦波ゲージボソン散乱振幅



高エネルギー極限

$$\mathcal{M} \sim \frac{\mathbf{E}^2}{v^2} \left(1 - \left(\kappa \frac{\mathbf{h}}{\mathbf{W}} \right)^2 - \sum_{n=2}^{N_0} \left(\kappa \frac{\phi_n^0}{\mathbf{W}} \right)^2 + \sum_{n=1}^{N_{++}} \left| \kappa \frac{\phi_n^{++}}{\mathbf{W}} \right|^2 \right)$$

ゲージボソン
の自己相互作用

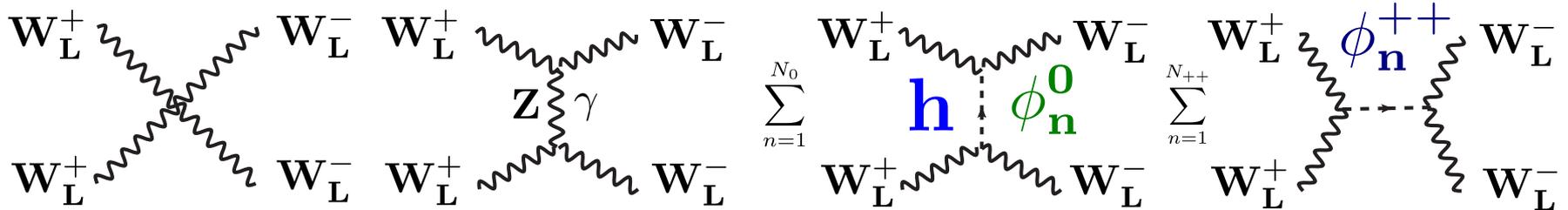
今回発見された
ヒッグス粒子
との相互作用

未発見中性
ヒッグス粒子
との相互作用

未発見荷電
ヒッグス粒子
との相互作用

\mathbf{E} : 重心エネルギー

- ▶ 散乱確率がエネルギーの増大とともに大きくなる(∵ 縦波偏極ベクトル)
- ▶ **摂動論的ユニタリティー(確率の保存則)の破綻を導く**



高エネルギー極限

$$\mathcal{M} \sim \frac{\mathbf{E}^2}{v^2} \left(1 - (\kappa_{\mathbf{W}}^h)^2 - \sum_{n=2}^{N_0} (\kappa_{\mathbf{W}}^{\phi_n^0})^2 + \sum_{n=1}^{N_{++}} |\kappa_{\mathbf{W}}^{\phi_n^{++}}|^2 \right)$$

ゲージボソンの自己相互作用

今回発見された
ヒッグス粒子
との相互作用

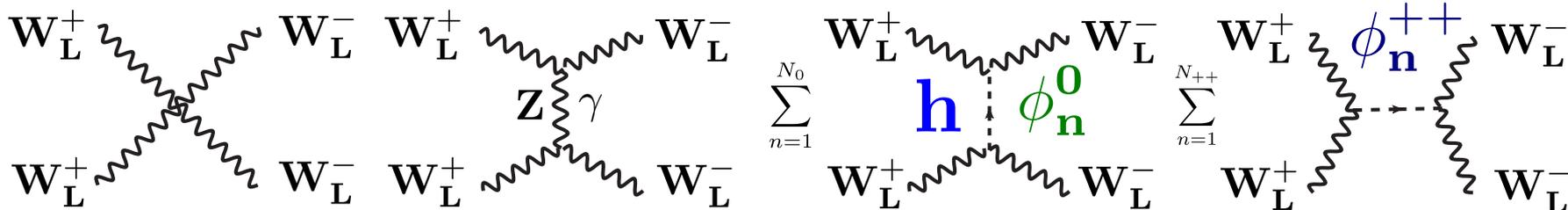
未発見中性
ヒッグス粒子
との相互作用

未発見荷電
ヒッグス粒子
との相互作用

\mathbf{E} : 重心エネルギー

ユニタリティー和則

縦波ゲージボソン散乱振幅



高エネルギー極限

今回発見された
ヒッグス粒子

未発見中性
ヒッグス粒子

未発見荷電
ヒッグス粒子

$$\mathcal{M} \sim \frac{\mathbf{E}^2}{v^2} \left(1 - (\kappa_{\mathbf{W}}^h)^2 - \sum_{n=2}^{N_0} (\kappa_{\mathbf{W}}^{\phi_n^0})^2 + \sum_{n=1}^{N_{++}} |\kappa_{\mathbf{W}}^{\phi_n^{++}}|^2 \right)$$

$$1 - (\kappa_{\mathbf{W}}^h)^2 = \sum_{n=2}^{N_0} (\kappa_{\mathbf{W}}^{\phi_n^0})^2 - \sum_{n=1}^{N_{++}} |\kappa_{\mathbf{W}}^{\phi_n^{++}}|^2$$

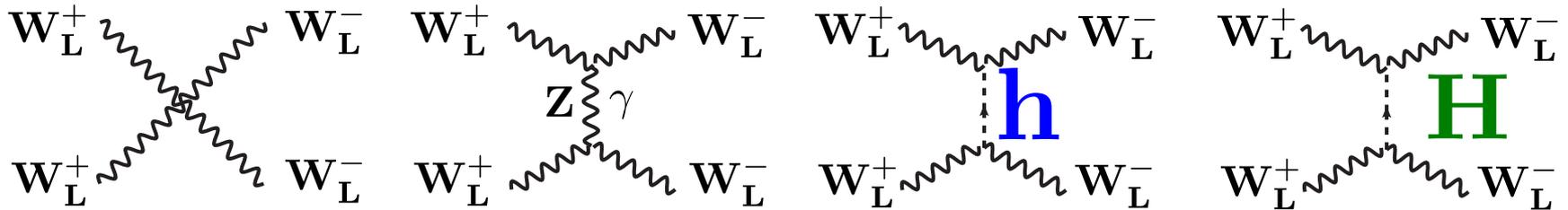
ユニタリティー和則

Gunion-Haber-Wudka 91
Falkowski-Rychkov-Urbano 12

摂動論的ユニタリティー ($W_L^+ W_L^- \rightarrow W_L^+ W_L^-$)

例.) 中性ヒッグス粒子が2種類存在する場合

h **H**



高エネルギー極限

$$\mathcal{M} \sim (\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{h}})^2 \frac{m_{\mathbf{h}}^2}{v^2} + \left[1 - (\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{h}})^2 \right] \frac{m_{\mathbf{H}}^2}{v^2}$$

$$1 - (\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{h}})^2 = (\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{H}})^2$$

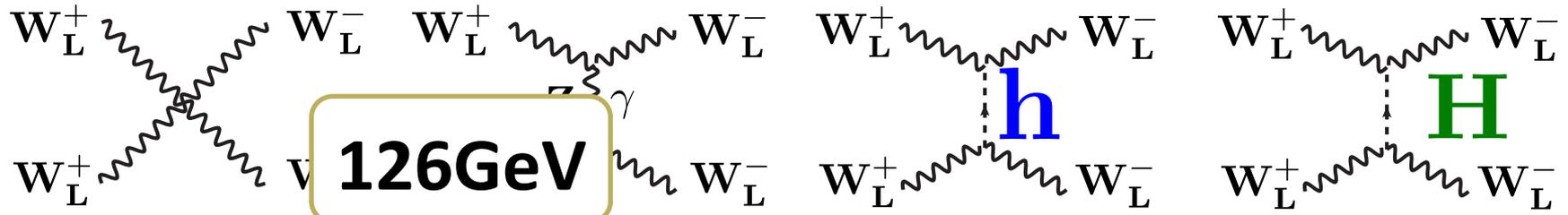
ユニタリティー和則

Gunion-Haber-Wudka 91
Falkowski-Rychkov-Urbano 12

摂動論的ユニタリティー ($W_L^+ W_L^- \rightarrow W_L^+ W_L^-$)

例.) 中性ヒッグス粒子が2種類存在する場合

h **H**



高エネルギー極限

$$\mathcal{M} \sim (\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{h}})^2 \frac{m_{\mathbf{h}}^2}{v^2} + \left[1 - (\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{h}})^2 \right] \frac{m_{\mathbf{H}}^2}{v^2}$$

$$1 - (\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{h}})^2 = (\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{H}})^2$$

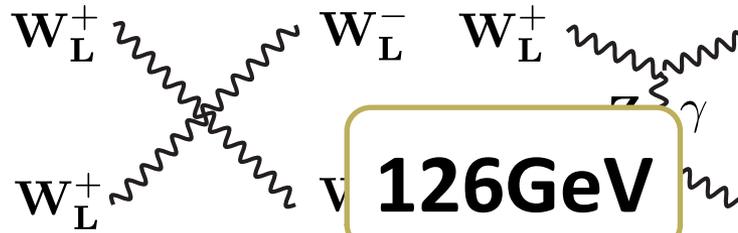
ユニタリティー和則

Gunion-Haber-Wudka 91
Falkowski-Rychkov-Urbano 12

摂動論的ユニタリティー ($W_L^+ W_L^- \rightarrow W_L^+ W_L^-$)

例.) 中性ヒッグス粒子が2種類存在する場合

h **H**



**未発見
中性ヒッグス粒子の質量**

高エネルギー極限

$$\mathcal{M} \sim \left(\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{h}}\right)^2 \frac{m_{\mathbf{h}}^2}{v^2} + \left[1 - \left(\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{h}}\right)^2\right] \frac{m_{\mathbf{H}}^2}{v^2}$$

$$1 - \left(\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{h}}\right)^2 = \left(\kappa_{\mathbf{W}}^{\mathbf{H}}\right)^2$$

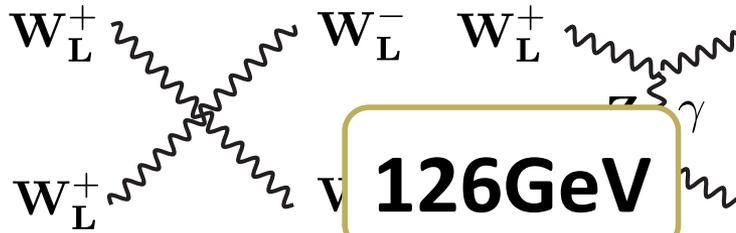
ユニタリティー和則

Gunion-Haber-Wudka 91
Falkowski-Rychkov-Urbano 12

摂動論的ユニタリティー ($W_L^+ W_L^- \rightarrow W_L^+ W_L^-$)

例.) 中性ヒッグス粒子が2種類存在する場合

h **H**



未発見
中性ヒッグス粒子の質量

高エネルギー極限

$$\mathcal{M} \sim \left(\kappa \frac{h}{W}\right)^2 \frac{m_h^2}{v^2} + \left[1 - \left(\kappa \frac{h}{W}\right)^2\right] \frac{m_H^2}{v^2}$$

重心エネルギーに関する定数項が大きすぎると
再び摂動論的ユニタリティーの破綻を導く

➡ 結合定数と未発見ヒッグス粒子の質量との関係に制限

摂動論的ユニタリティーからの制限

例.) 中性ヒッグス粒子が2種類存在する場合

h H

$$\Delta\kappa_{\text{W}}^h < 0$$

$$(\Delta\kappa_{\text{W}}^h \equiv \kappa_{\text{W}}^h - 1)$$

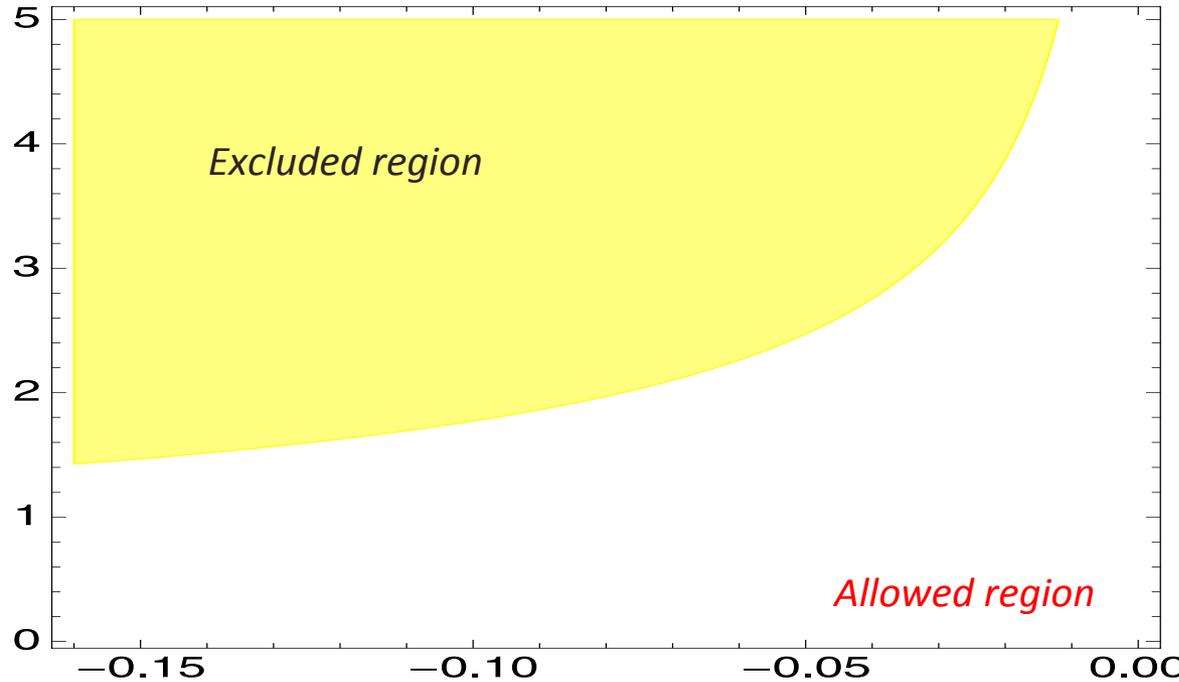
Kang-Park 13
Grinstein-Murphy 14

RN, M. Tanabashi
and K. Tsumura

m_H

[TeV]

未発見
中性ヒッグス粒子
の質量



ヒッグス粒子と
ベクトル粒子との間の
結合定数の
標準模型からのずれ

$$\Delta\kappa_{\text{W}}^h$$

摂動論的ユニタリティーからの制限

$$a_0 = \frac{1}{32} \int_{-1}^1 d\cos\theta \mathcal{M} \quad |\text{Re}(\mathbf{a}_0)| \leq 1/2$$

$$\left| (\kappa_{\text{W}}^h)^2 \frac{m_h^2}{v^2} + \left[1 - (\kappa_{\text{W}}^h)^2 \right] \frac{m_H^2}{v^2} \right| \leq 4\pi$$

摂動論的ユニタリティーからの制限

例.) 中性ヒッグス粒子が2種類存在する場合

h H

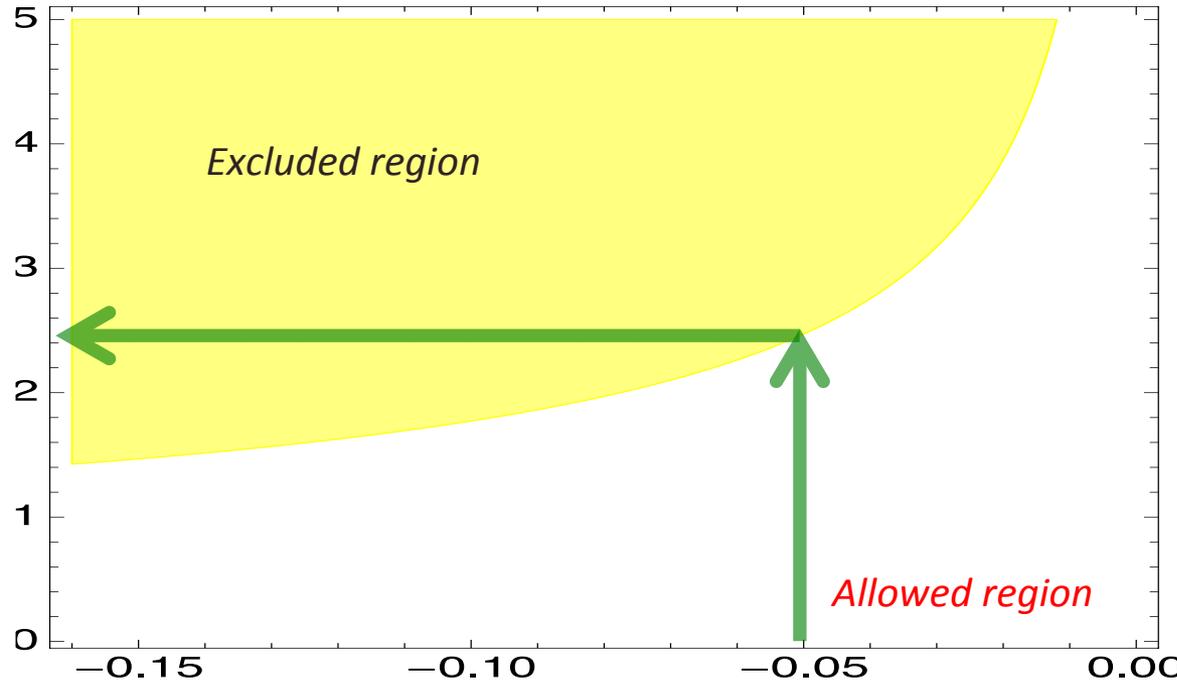
$$\Delta\kappa_W^h < 0$$

$$(\Delta\kappa_W^h \equiv \kappa_W^h - 1)$$

m_H

[TeV]

未発見中性ヒッグス粒子の質量



Kang-Park 13
Grinstein-Murphy 14

RN, M. Tanabashi
and K. Tsumura

ヒッグス粒子と
ベクトル粒子との間の
結合定数の
標準模型からのずれ

$$\Delta\kappa_W^h$$

$$\Delta\kappa_W^h = -0.05 \cdots \cdots m_H < 2.5 \text{ TeV}$$

摂動論的ユニタリティーからの制限

例.) 中性ヒッグス粒子が2種類存在する場合

h H

$$\Delta\kappa_W^h < 0$$

$$(\Delta\kappa_W^h \equiv \kappa_W^h - 1)$$

Kang-Park 13

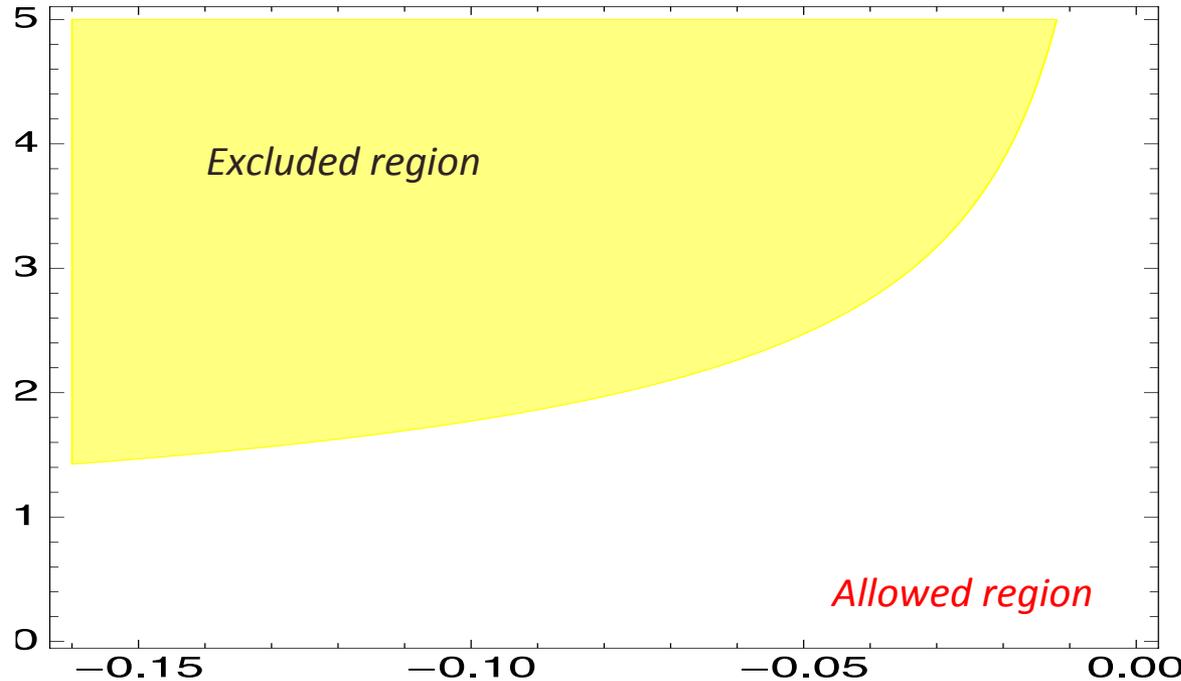
Grinstein-Murphy 14

RN, M. Tanabashi
and K. Tsumura

m_H

[TeV]

未発見
中性ヒッグス粒子
の質量



ヒッグス粒子と
ベクトル粒子との間の
結合定数の
標準模型からのずれ

$$\Delta\kappa_W^h$$

“未発見ヒッグス粒子”に対する情報をさらに引き出せないか？

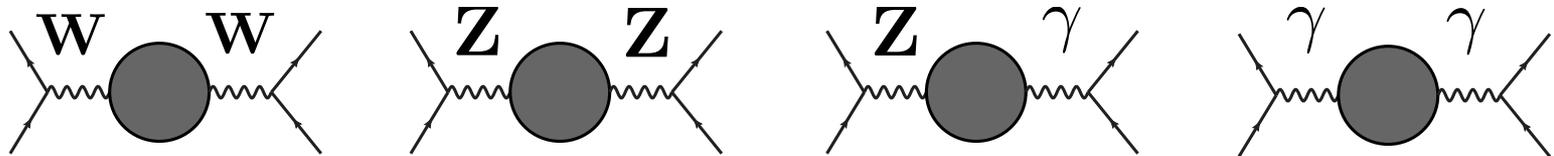
→ 電弱精密測定との整合性を要求

電弱精密測定との整合性

Peskin-竹内のS,T,Uパラメータ

M.E.Peskin and T.Takeuchi (1990)

・・・電弱スケールの物理に対する新物理のNon-decoupling効果を表すパラメータ



$$\alpha S \equiv 4s^2 c^2 \left[\Pi'_{ZZ}(0) - \Pi'_{\gamma\gamma}(0) - \frac{c^2 - s^2}{cs} \Pi'_{Z\gamma}(0) \right]$$

$$\alpha T \equiv \frac{\Pi_{WW}(0)}{m_W^2} - \frac{\Pi_{ZZ}(0)}{m_Z^2} \quad (\rho \text{パラメータに対する量子補正: } \Delta\rho)$$

$$\alpha U \equiv 4s^2 \left[\Pi'_{WW}(0) - c^2 \Pi'_{ZZ}(0) - 2sc \Pi'_{Z\gamma}(0) - s^2 \Pi'_{\gamma}(0) \right]$$

未発見中性ヒッグス粒子に対する予言

例.) 中性ヒッグス粒子が2種類存在する場合

h H

$$\Delta\kappa_W^h < 0$$

$$(\Delta\kappa_W^h \equiv \kappa_W^h - 1)$$

Kang-Park 13

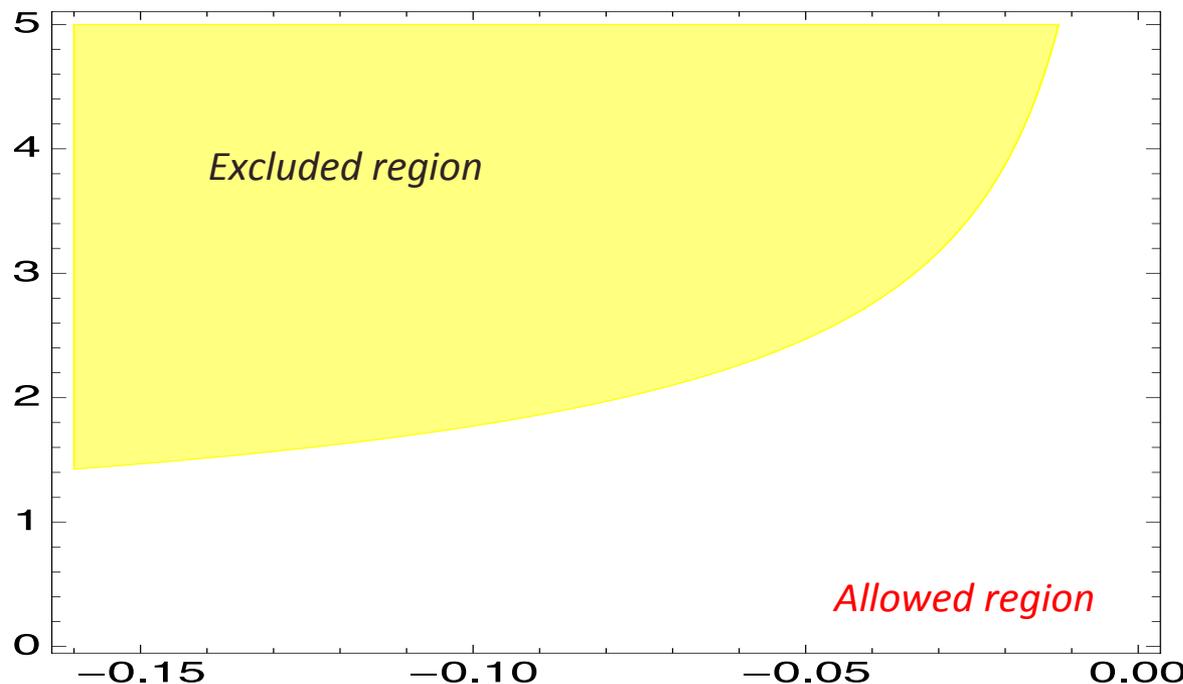
Grinstein-Murphy 14

RN, M. Tanabashi
and K. Tsumura

m_H

[TeV]

未発見中性ヒッグス粒子
の質量



ヒッグス粒子と
ベクトル粒子との間の
結合定数の
標準模型からのずれ

$$\Delta\kappa_W^h$$

$$\left| (\kappa_W^h)^2 \frac{m_h^2}{v^2} + \left[1 - (\kappa_W^h)^2 \right] \frac{m_H^2}{v^2} \right| \leq 4\pi$$

摂動論的ユニタリティーからの制限

未発見中性ヒッグス粒子に対する予言

例.) 中性ヒッグス粒子が2種類存在する場合

h H

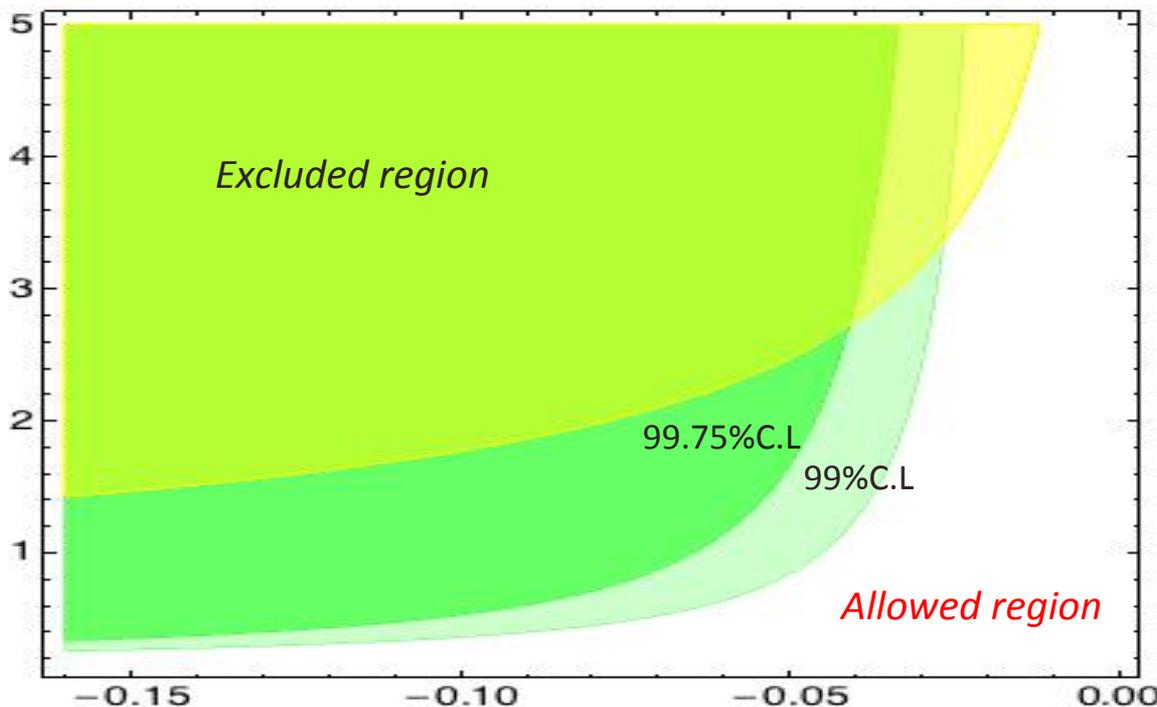
$$\Delta\kappa_W^h < 0$$

$$(\Delta\kappa_W^h \equiv \kappa_W^h - 1)$$

m_H

[TeV]

未発見中性ヒッグス粒子の質量



RN, M. Tanabashi and K. Tsumura

ヒッグス粒子とベクトル粒子との間の結合定数の標準模型からのずれ

$$\Delta\kappa_W^h$$

$$\left| (\kappa_W^h)^2 \frac{m_h^2}{v^2} + \left[1 - (\kappa_W^h)^2 \right] \frac{m_H^2}{v^2} \right| \leq 4\pi$$

摂動論的ユニタリティーからの制限

$$S = 0.06 \pm 0.09 \quad T = 0.10 \pm 0.07$$

$$\rho_{ST} = 0.91$$

電弱精密測定との整合性

まとめ

ヒッグス粒子の結合定数の精密測定から どのような新物理への展望が拓けるかを理論的に見極めたい

- ✓ ヒッグス粒子とゲージボソンとの結合定数は、高エネルギースケールにおける標準模型の摂動論的ユニタリー性と電弱精密測定との整合性に深く関わる。
- ✓ ヒッグス粒子とゲージボソンとの結合定数を精密測定することによって、標準模型がどのエネルギースケールまで摂動論的かつ現象論的に矛盾がない理論なのかを見極める事が出来る。
- ✓ 例えば標準模型を超える新物理として、2種類の中性ヒッグス粒子が存在するような状況を考えて場合、ヒッグス粒子の結合定数の精密測定は、未発見中性ヒッグス粒子の存在可能性を探る重要なプローブとなる。

BACK UP SLIDES

未発見中性ヒッグス粒子に対する予言

例.) 中性ヒッグス粒子が2種類存在する場合

h H

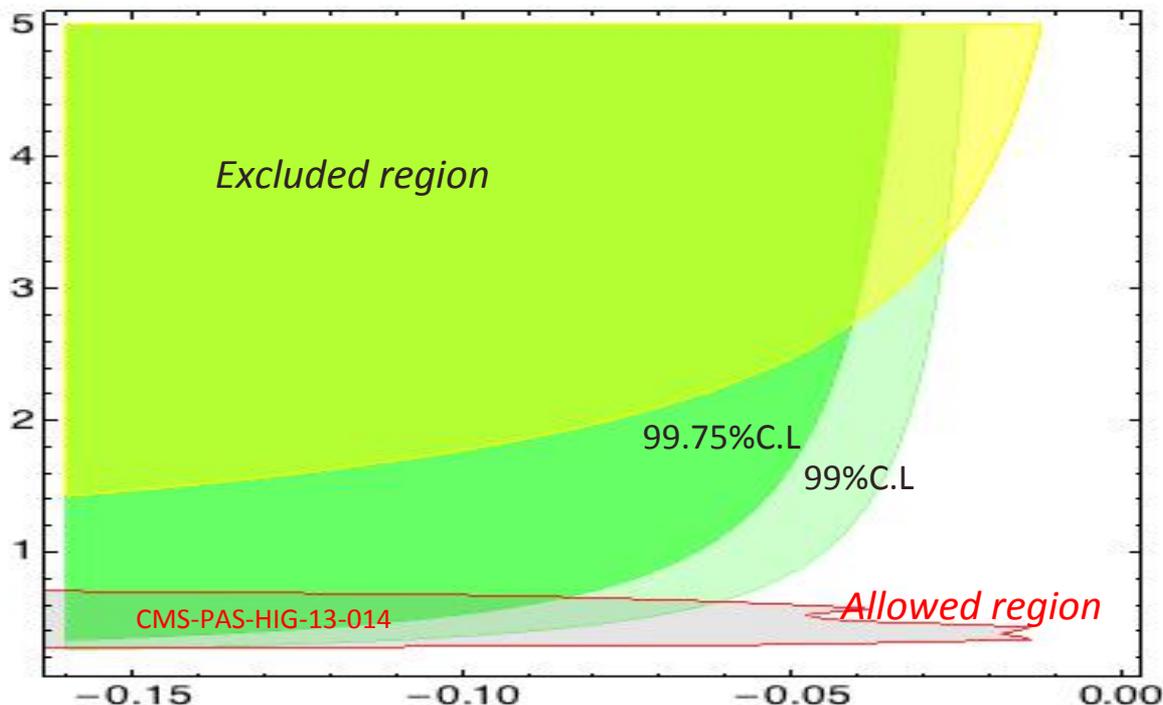
$$\Delta\kappa_W^h < 0$$

$$(\Delta\kappa_W^h \equiv \kappa_W^h - 1)$$

m_H

[TeV]

未発見中性ヒッグス粒子の質量



RN, M. Tanabashi and K. Tsumura

ヒッグス粒子とベクトル粒子との間の結合定数の標準模型からのずれ

$$\Delta\kappa_W^h$$

$$\left| (\kappa_W^h)^2 \frac{m_h^2}{v^2} + \left[1 - (\kappa_W^h)^2 \right] \frac{m_H^2}{v^2} \right| \leq 4\pi$$

摂動論的ユニタリティーからの制限

$$S = 0.06 \pm 0.09 \quad T = 0.10 \pm 0.07$$

$$\rho_{ST} = 0.91$$

S, T, Uパラメータからの制限

未発見中性ヒッグス粒子に対する予言

例.) 中性ヒッグス粒子が2種類存在する場合

h H

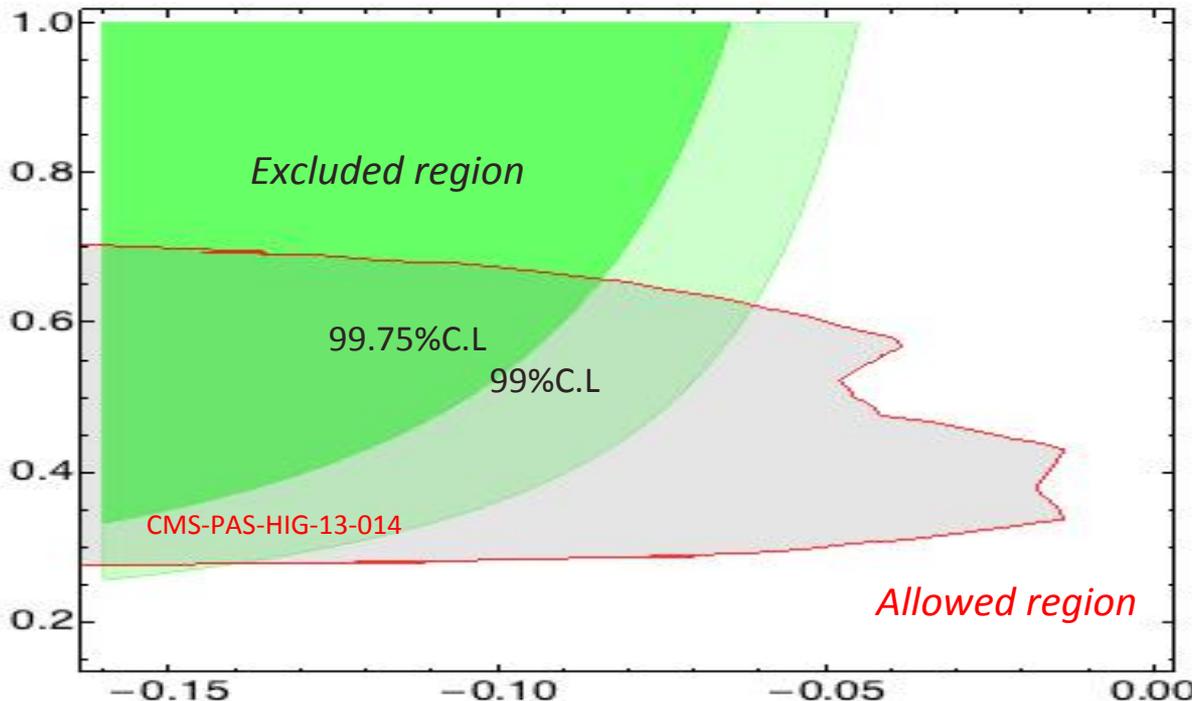
$$\Delta\kappa_W^h < 0$$

$$(\Delta\kappa_W^h \equiv \kappa_W^h - 1)$$

m_H

[TeV]

未発見中性ヒッグス粒子の質量



RN, M. Tanabashi and K. Tsumura

ヒッグス粒子とベクトル粒子との間の結合定数の標準模型からのずれ

$$\Delta\kappa_W^h$$

$$\left| (\kappa_W^h)^2 \frac{m_h^2}{v^2} + \left[1 - (\kappa_W^h)^2 \right] \frac{m_H^2}{v^2} \right| \leq 4\pi$$

摂動論的ユニタリティーからの制限

$$S = 0.06 \pm 0.09 \quad T = 0.10 \pm 0.07$$

$$\rho_{ST} = 0.91$$

S, T, Uパラメータからの制限