

有効ラグランジアンによる非標準トップクォーク相互作用の解析

大熊一正(福井工大), 日置善郎(徳島大)

Based on arXiv:1206.2413 [hep-ph]

1. はじめに

Large Hadron Collider (LHC)によって, ヒッグス粒子の存在が確認!?

- 標準模型の枠組みは確認完了へ
- 標準模型の枠組みを超えた物理探索へ
どうやって?

✓ 直接探索 (Direct Search)

標準模型の枠組みにない粒子(新粒子)の直接観測

- 😊 新しい模型への多くの情報(質量, スピン, 相互作用)を取得
- 😞 $\sqrt{s} > m_{\text{NEW}}$ で観測可能 ← まだっばい.

✓ 間接探索 (Indirect Search)

標準模型の枠組みにない粒子の量子効果を観測

- 😊 $\sqrt{s} < m_{\text{NEW}}$ でも観測可能 ← 既に観測されてるかも
- 😞 沢山のイベント数(ルミノシティ)が必要 ← 時間がかかる

- 現状($\sqrt{s}=8\text{TeV}$)では, 間接探索が有効(ばい)
- 新粒子の量子効果を形状因子としてパラメータ化
→ 有効ラグランジアンを用いたアプローチ

目的

有効ラグランジアンを用いて, トップクォーク相互作用に寄与する新粒子からの量子効果をパラメータ化し, そのパラメータの観測精度を最適観測量解析を用いて見積もってみる.

2. 解析の道具

◆ 有効ラグランジアン (Effective Lagrangian)

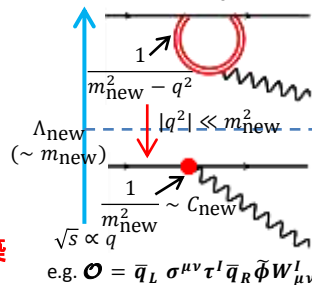
標準模型の枠組みにない粒子(新粒子)は, 標準模型の枠組みによる相互作用に対して, 量子補正としてのみ寄与し, その効果は, Λ_{new} によって抑制

$$\mathcal{L}_{\text{Eff}} \equiv \mathcal{L}_{\text{SM}} + \frac{1}{\Lambda_{\text{new}}^2} \sum_i (\alpha_{\text{new}}^i \mathcal{O}_{\text{new}}^i + h.c.)$$

ここで,

$\mathcal{O}_{\text{new}}^i$: 有効演算子 ← 標準粒子だけで構築

c_{new}^i : 結合定数 ← $\mathcal{O}_{\text{new}}^i$ の寄与の大きさに関する係数(観測量)



◆ 最適観測量解析 (Optimal-Observable Analysis)

実験から未定係数(ここでは, c_{new}^i)が観測された際, どの程度の統計誤差が伴うかを推定

以下, 超簡略手順

例えば: 微分断面積 $\frac{d\sigma}{d\phi} (\equiv \Sigma(\phi)) = \sum C_i f_i(\phi)$ の C_i を測定できた際

の統計誤差 δC_i を見積もる.

Sep1: $f_i(X)$ の組み合わせによる行列要素 M_{ij} を

$$M_{ij} \equiv \int \frac{f_i(\phi) f_j(\phi)}{\Sigma(\phi)} d\phi$$

から求める.

Sep2: 求めた行列要素 M_{ij} より行列 M の逆行列 X を算出する.

Step3: 統計誤差 δC_i を

$$\delta C_i = \sqrt{X_{ij} \sigma_T / N}, \quad \sigma_T \equiv \int \frac{d\sigma}{d\phi} d\phi, \quad N \equiv \sigma_T L_{\text{eff}}$$

から見積もる.

3. 解析対象と解析結果

$pp \rightarrow t\bar{t}X \rightarrow \ell^+ X'$ からトップクォークの非標準結合定数を探求

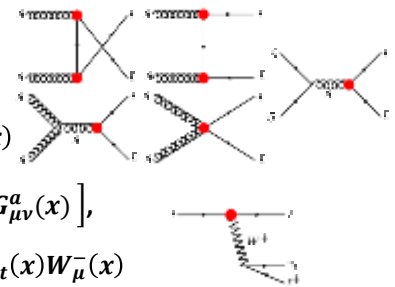
◆ 有効ラグランジアン

Parton-Levelの非標準相互作用

$$\mathcal{L}_{\text{Eff}} = \mathcal{L}_{t\bar{t}g,gg} + \mathcal{L}_{tbW}$$

$$\mathcal{L}_{t\bar{t}g,gg} = -\frac{1}{2} g_s \sum_a [\bar{\psi}_t(x) \lambda^a \gamma^\mu \psi_t(x) G_\mu^a(x) - \bar{\psi}_t(x) \lambda^a \frac{\sigma^{\mu\nu}}{m_t} (d_V + i d_A \gamma_5) \psi_t(x) G_{\mu\nu}^a(x)],$$

$$\mathcal{L}_{t\bar{t}g,gg} = -\frac{1}{2} g [\bar{\psi}_b(x) \gamma^\mu (f_1^L P_L + f_1^R P_R) \psi_t(x) W_\mu^-(x) + \bar{\psi}_b(x) \frac{\sigma^{\mu\nu}}{m_W} (f_2^L P_L + f_2^R P_R) \psi_t(x) \partial_\mu W_\nu^-(x)],$$



ここで,

$$d_V \equiv \frac{\sqrt{2} v m_t}{g_s \Lambda^2} \text{Re}(C_{uG\phi}^{33}), \quad d_A \equiv \frac{\sqrt{2} v m_t}{g_s \Lambda^2} \text{Im}(C_{uG\phi}^{33}),$$

$$f_1^L \equiv V_{tb} + C_{\phi q}^{(3,33)*} \frac{v^2}{\Lambda^2}, \quad f_1^R \equiv C_{\phi\phi}^{33*} \frac{v^2}{2\Lambda^2},$$

$$f_2^L \equiv -\sqrt{2} C_{dW}^{33*} \frac{v^2}{\Lambda^2}, \quad f_2^R \equiv -\sqrt{2} C_{uW}^{33*} \frac{v^2}{\Lambda^2},$$

◆ 最適観測量解析(線形近似の範囲)

トップクォークの崩壊レプトンの角分布とエネルギー分布

$$\frac{d\sigma_\ell}{d\cos\theta_\ell} = g_1(\cos\theta_\ell) + d_V g_2(\cos\theta_\ell)$$

$$\frac{d\sigma_\ell}{dE_\ell} = h_1(E_\ell) + d_V h_2(E_\ell) + d_R h_3(E_\ell)$$

ここで, $d_R \equiv \text{Re}(f_2^R) M_W / m_t$

注) 線形近似だと, d_A の寄与はなくなる.

角分布だと d_R の寄与はさらになくなる.

Step1からStep3までを行えば, 表1と表2の結果を得る

| \sqrt{s} [TeV] | $ \delta d_V \times L_{\text{eff}}$ | \sqrt{s} [TeV] | $ \delta d_V \times L_{\text{eff}}$ | $ \delta d_R \times L_{\text{eff}}$ |
|------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 7 | 2.15 ± 0.42 | 7 | 1.86 ± 0.28 | 0.35 ± 0.02 |
| 8 | 2.25 ± 0.96 | 8 | 1.70 ± 0.51 | 0.32 ± 0.05 |
| 10 | 1.12 ± 0.12 | 10 | 0.98 ± 0.08 | 0.22 ± 0.01 |
| 14 | 0.73 ± 0.02 | 14 | 0.65 ± 0.02 | 0.15 |

表1: 角分布の結果

表2: エネルギー分布の結果

注) 表中の誤差は, 逆行列の不安定性に起因

4. まとめと考察

やったこと

LHCにおいて観測されている $pp \rightarrow t\bar{t}X \rightarrow \ell^+ X'$ で観測される可能性のある非標準結合 (d_V と d_R) が観測された場合の統計誤差 (δd_V と δd_R) を最適観測量解析を用いて見積もった.

分かったこと

- ◆ 崩壊レプトンのエネルギー分布は, d_V と d_R を比較的少ない統計誤差で決定できる可能性がある.
- ◆ \sqrt{s} が大きくなればなるほど, 同じルミノシティでも統計誤差は, 小さくなる.

考察 (例えば,)

- ✓ $\sqrt{s} = 8\text{TeV}$ で, 角分布から d_V を $|\delta d_V| \approx O(10^{-2})$ の精度で決めるには, $L_{\text{eff}} \approx 1.5\text{fb}^{-1}$ が必要である.
- ✓ $\sqrt{s} = 14\text{TeV}$ で, $L_{\text{eff}} \approx 500\text{fb}^{-1}$ が達成できたにも関わらず, エネルギー分布から d_V を観測できない場合, $C_{uG\phi}^{33} \sim 1$ であれば, $O_{uG\phi}^{33}$ の有効相互作用は, $\Lambda_{\text{new}} \geq 7\text{TeV}$ で抑制されている.