

グルーオンの寄与を含めたCLFV レプトン-核子散乱の解析

山中 真人 (益川塾)

M. Takeuchi, Y. Uesaka, MY, Phys. Lett. B772 (2017)

取り込むべき素過程・終状態と共にCLFVレプトン-核子散乱を定式化

(1) 新たな素過程 $\ell g \rightarrow \tau g$ ($\ell \ni e, \mu$)

(2) バリオン数保存を課した素過程 $\ell g \rightarrow \tau q \bar{q}$

レプトン-核子散乱によるタウCLFV探索

- ☑ 具体的に話すため、ヒッグスによるタウCLFVに限定

重いクォークと主に相互作用する粒子全般に成り立つ話

例 : G2HDM	(井黒さんのトーク)
Flavored Z' model	(重神さんのトーク)
semi-aligned 2HDM	(梅枝さんのトーク)
レプトクォーク模型	(大村さんのトーク)

他にも、エキストラなヒッグス、余剰次元模型、Rパリティが破れたSUSY、フレーバー対称性模型、などなど

レプトン-核子散乱によるタウCLFV探索

☑ 具体的に話すため、ヒッグスによるタウCLFVに限定

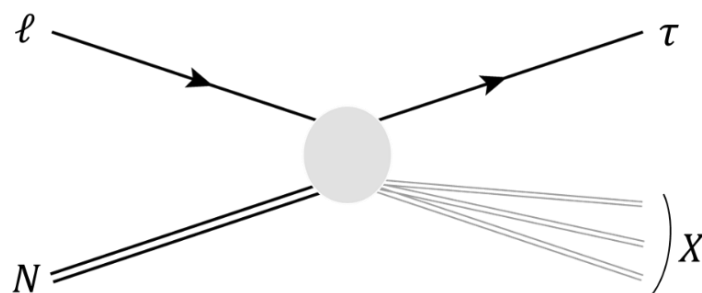
☑ タウCLFV探索方法の1つ

$$\ell + N \rightarrow \tau + X \quad (N: \text{核子})$$

☑ いくつかの実験で探索・クロスチェック可能
例： ν -factory、ILC、LHeC、などなど

☑ タウCLFV探索として(多分)最高感度

☑ Belle-IIにおけるタウCLFV探索と相補的

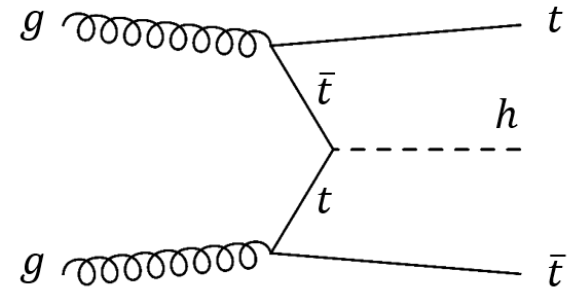
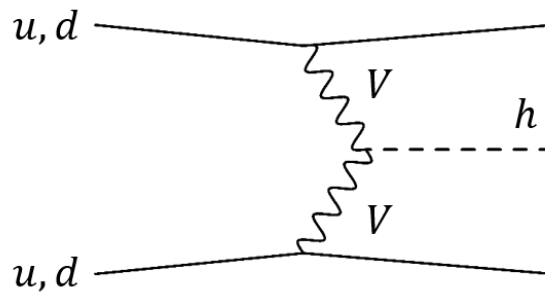
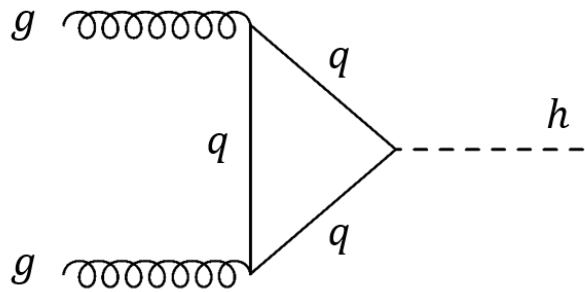


CLFVパラメーターと $\ell N \rightarrow \tau X$ のイベント数・シグナルの様相を精度良く関係づけておくべし

$\ell N \rightarrow \tau X$ の断面積定式化の前に、クイズに挑戦！

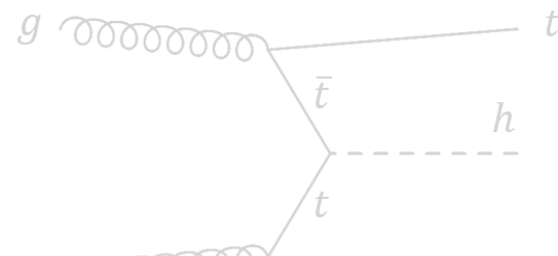
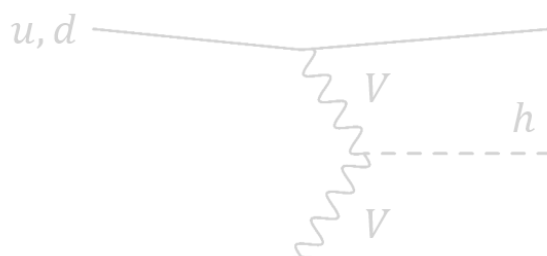
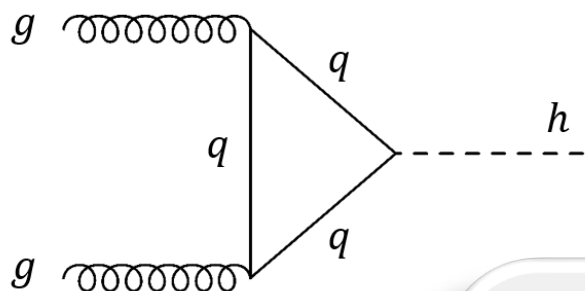
LHCにおけるヒッグス生成

一番優勢な生成過程は？



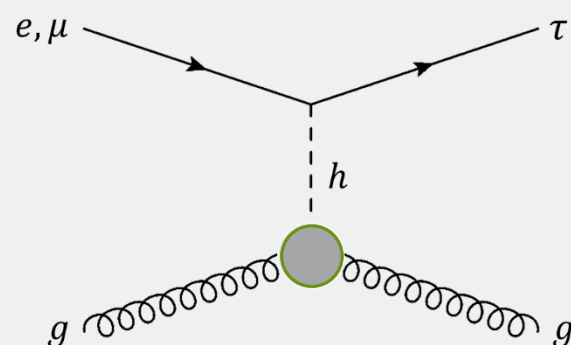
レプトン-核子散乱に対する新過程

一番優勢な生成過程は？



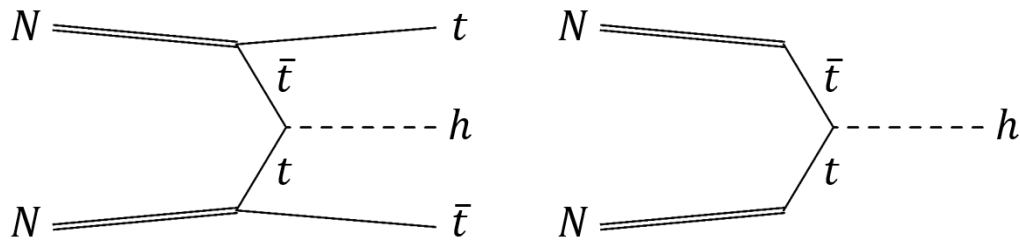
レプトン-核子散乱でもヒッグスとグルーオンは強く相互作用

固定標的で $lN \rightarrow \tau X$ を探索する
うえで最も優勢となる寄与



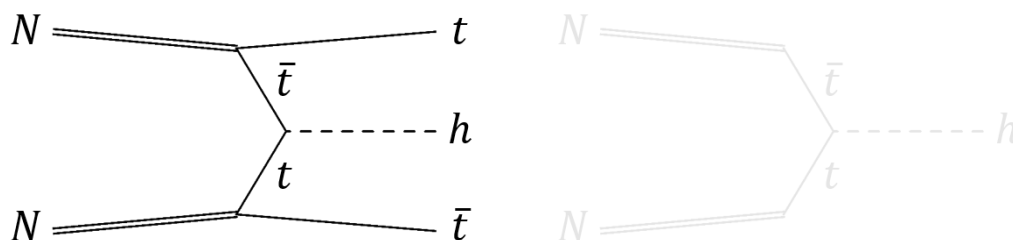
LHCにおけるヒッグス生成

どちらが正しい反応過程？



レプトン-核子散乱における素過程

どちらが正しい反応過程？



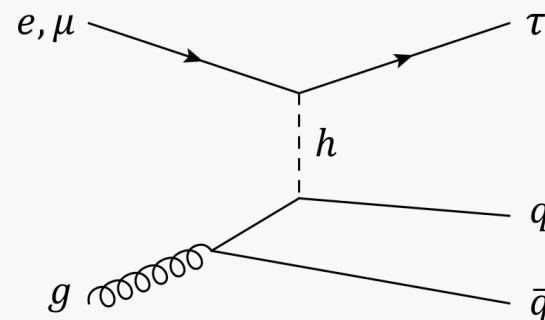
バリオン数を保存した終状態が正しい反応過程

$\ell q \rightarrow \tau q$ は間違い！

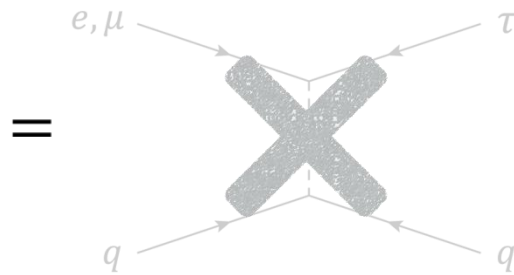
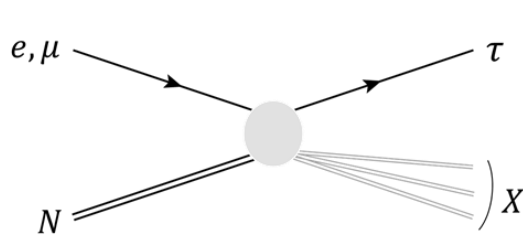
終状態が開くか否か、そして、断面積が大きく修正

例 $E_{e(\mu)}^{\text{beam}} > 19 \text{ GeV}$ for $\ell b \rightarrow \tau b$

$E_{e(\mu)}^{\text{beam}} > 55 \text{ GeV}$ for $\ell g \rightarrow \tau b\bar{b}$



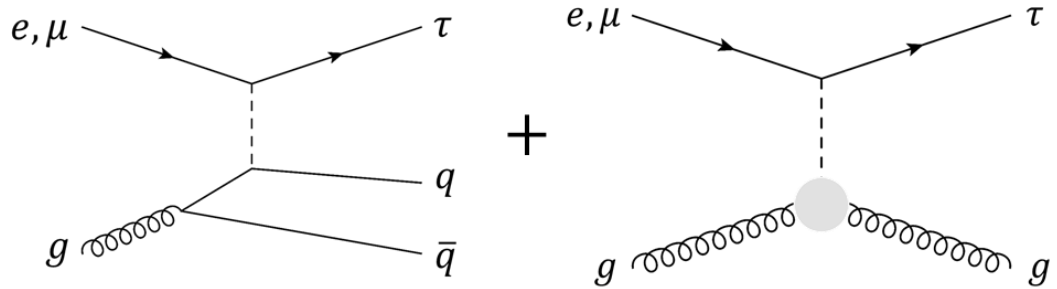
研究の狙いと講演の流れ



先行研究で用いられていた間違った素過程

グルーオンの寄与やバリオン数の保存を含めて正しく定式化

様々なシナリオごとに制限・予言を徹底的に洗い直さなくてはならない！



話の流れ

- ヒッグス-グルーオン-グルーオン相互作用
- 断面積の定式化
- 数値解析
- まとめ

ヒッグス-グルーオン-グルーオン有効相互作用と レプトン-核子散乱断面積の定式化

- ラグランジアン
- hgg effective coupling
- 断面積

Lagrangian for $\ell g \rightarrow \tau g$ and $\ell g \rightarrow \tau q \bar{q}$

重要：ヒッグス-グルーオン-グルーオン相互作用
の移行運動量依存性を正しく取り込むべし

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \mathcal{L}_{\text{CLFV}},$$

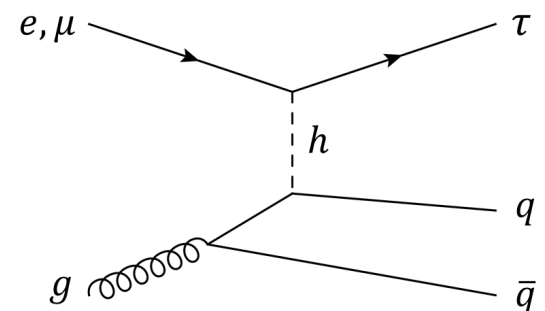
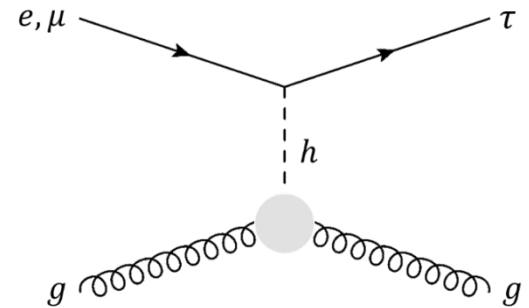
$$\mathcal{L}_{\text{SM}} = - \sum_q y_q h \bar{q} q + g_{hgg} h G_{\mu\nu}^a G^{a\mu\nu},$$

$$\mathcal{L}_{\text{CLFV}} = -\rho_{ij} \bar{\ell}_j P_L \ell_i h - \rho_{ji} \bar{\ell}_j P_R \ell_i h$$

ρ_{ij}, ρ_{ji} : LFVパラメーター (i, j : フレーバーを示す添字)

現在の制限値 $\sqrt{|\rho_{\ell\tau}|^2 + |\rho_{\tau\ell}|^2} = 2.4 \times 10^{-3}$

これはBelle-IIにおけるタウCLFV探索で到達可能な値より厳しいもの

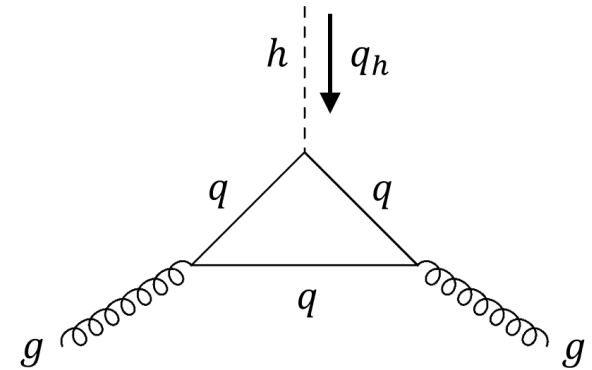


Higgs-gluon-gluon coupling

hgg 有効結合定数

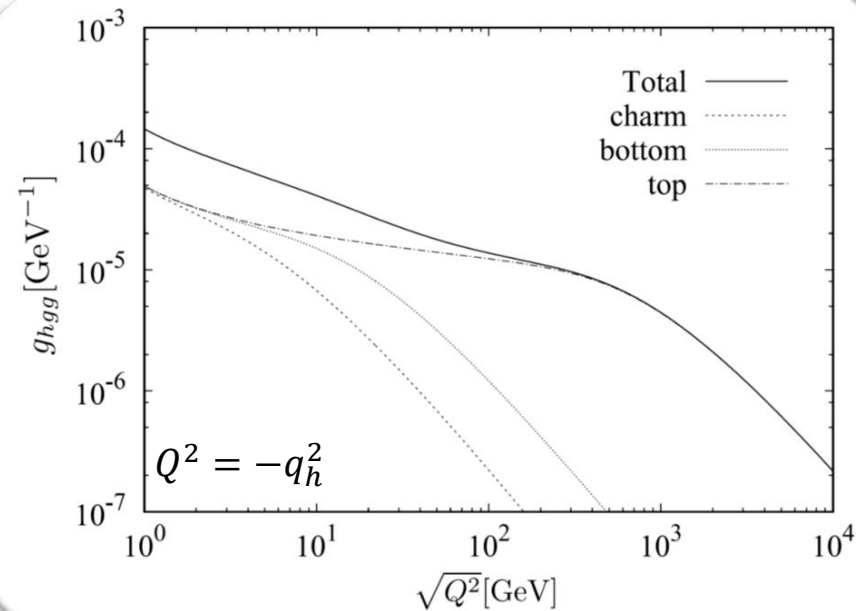
$$g_{hgg} = \sum_{q=c,b,t} \frac{\alpha_s}{8\pi v} \frac{4m_q^2}{q_h^2} \left[1 + \left(1 - \frac{4m_q^2}{q_h^2} \right) f\left(\frac{4m_q^2}{q_h^2}\right) \right]$$

$$f(r) = -\frac{1}{4} \log^2 \left[-\frac{1 + \sqrt{1-r}}{1 - \sqrt{1-r}} \right] \quad (r < 0)$$



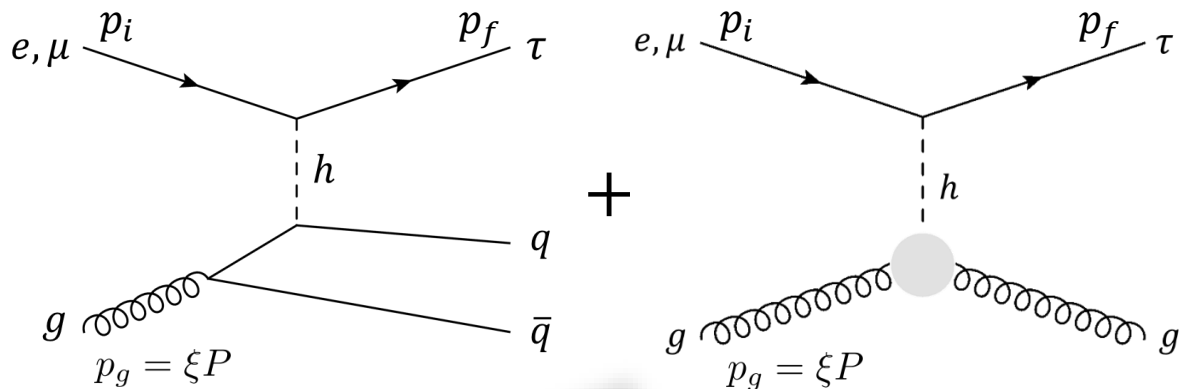
**トップクォークに加え、チャームとボトムも
 hgg 相互作用に同程度の寄与**

ヒッグス生成ではトップのみが寄与



断面積

H. Georgi, H. Politzer, PRL36 (1976)



$$\sigma_{\ell_i N \rightarrow \tau X} = \sum_{\hat{X}=g, q\bar{q}} \int dx dy \int_0^1 d\xi \frac{d^2 \hat{\sigma}_{\ell_i g \rightarrow \tau \hat{X}}}{dx dy} f_g(\xi, Q^2)$$

グルーオンのPDF

x : Bjorken変数
 y : 散乱の弾性度合

■ Momentum fraction : $\xi = \frac{Q^2 + w^2}{Q^2} x$

■ $q\bar{q}$ 不変質量: $w^2 = (p_q + p_{q'})^2$

■ 移行運動量 : $Q^2 = -(p_i - p_f)^2$

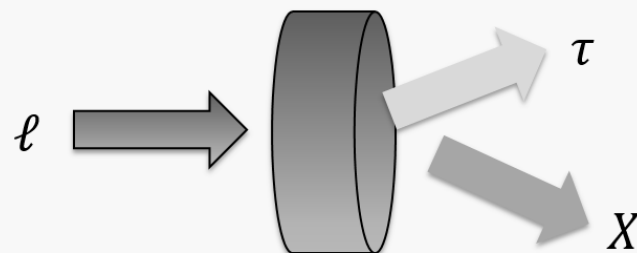
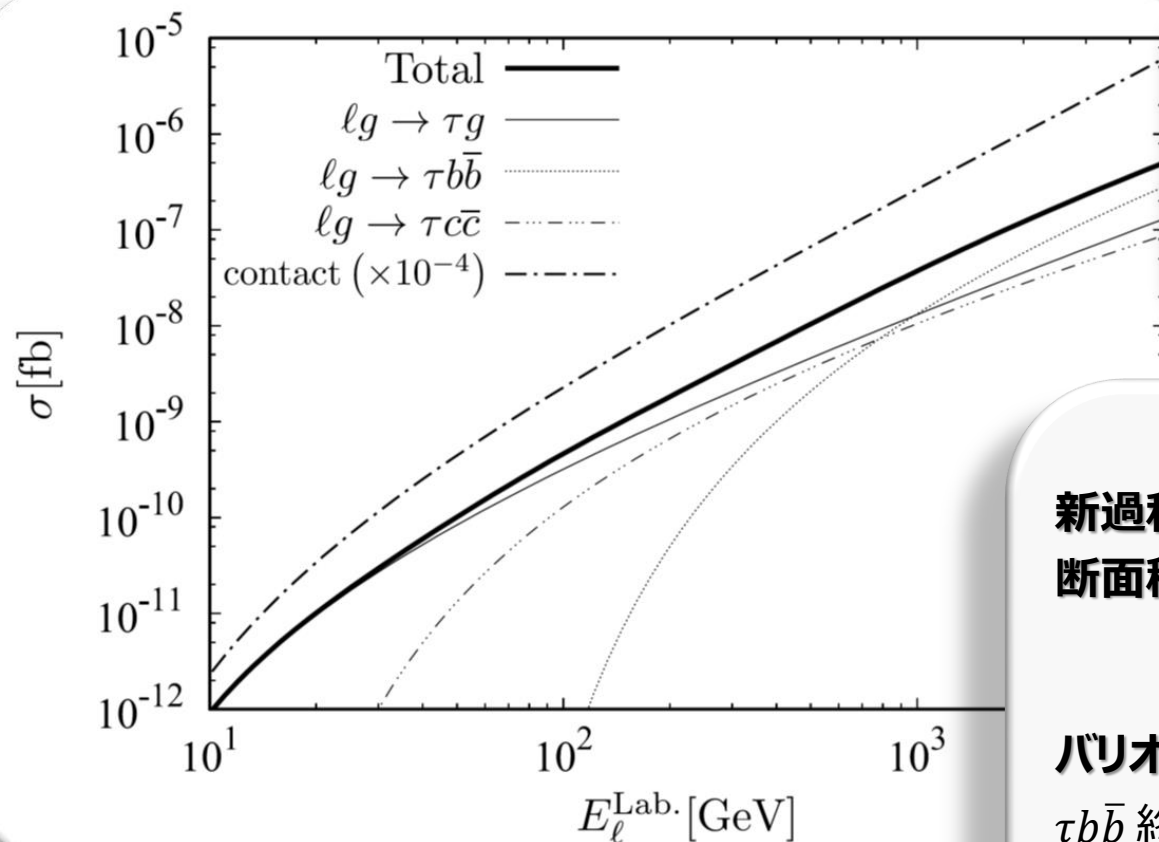
数値解析

- 固定標的実験におけるヒッグスCLFV探索
- 固定標的実験における一般的な重い粒子によるCLFV探索
- 衝突型加速器実験におけるヒッグスCLFV探索

計算中、CLFV結合定数は現在の制限値に固定

$$\sqrt{|\rho_{\ell\tau}|^2 + |\rho_{\tau\ell}|^2} = 2.4 \times 10^{-3}$$

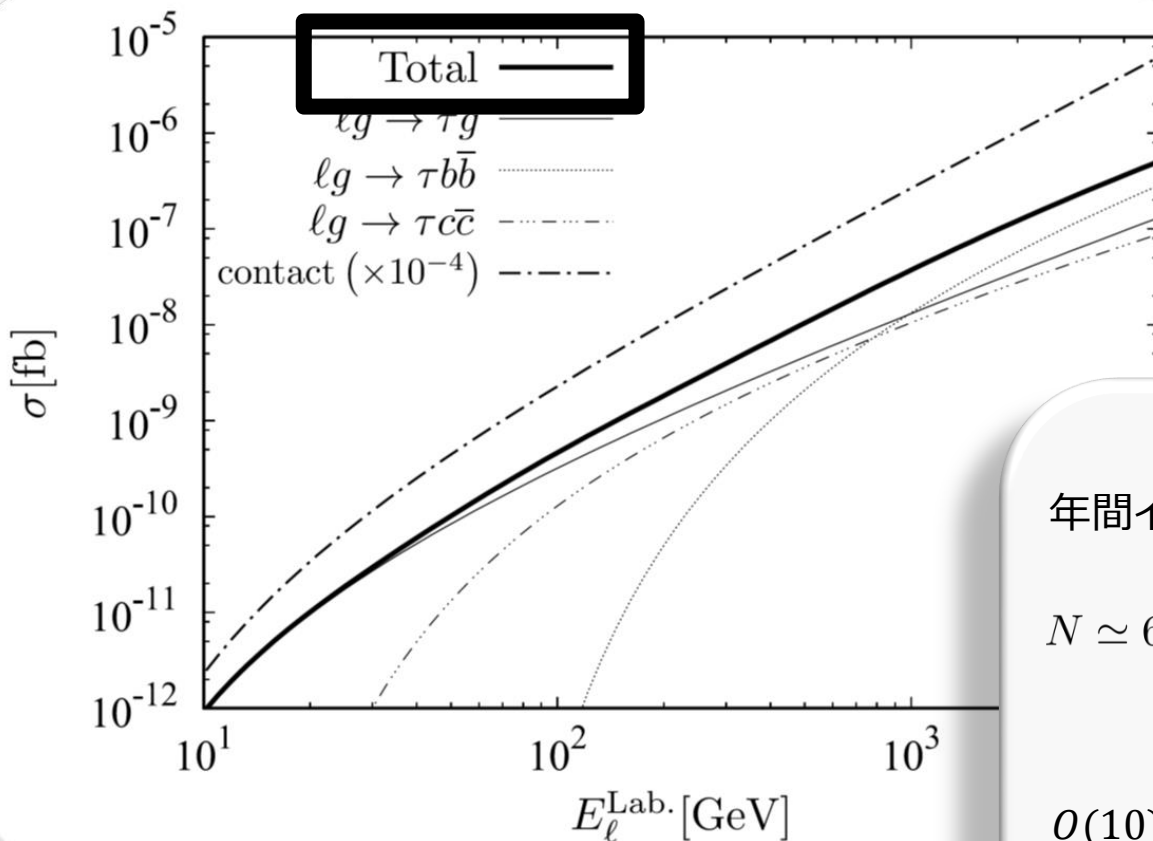
断面積 vs ビームエネルギー (固定ターゲット実験)



新過程 $\ell g \rightarrow \tau g$ によりレプトン-核子散乱断面積は大きく増大

バリオン数保存が入り断面積に大きな修正
 $\tau b \bar{b}$ 終状態は $E_\ell^{\text{Lab.}} \simeq 500$ GeV から有意な寄与 (先行研究での評価は $E_\ell^{\text{Lab.}} \simeq 50$ GeV)

断面積 vs ビームエネルギー (固定ターゲット実験)



LFVがヒッグス由来の場合

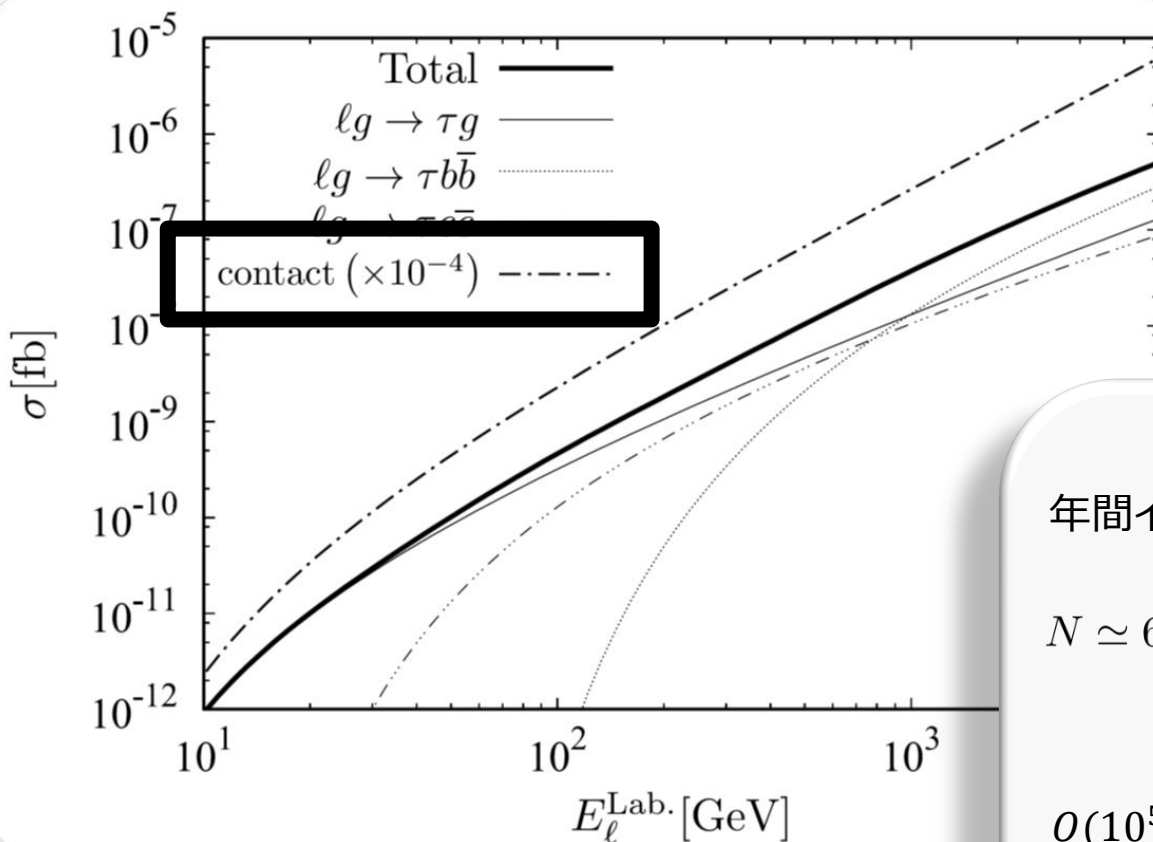
年間イベント数 (T_m : ターゲット質量)

$$N \simeq 6 \times 10^{-16} N_{\ell_i} \left(\frac{\sigma_{\ell_i N \rightarrow \tau X}}{1 \text{ fb}} \right) \left(\frac{T_m}{1 \text{ g cm}^{-2}} \right)$$

$O(10)$ イベント@ILC ($N_e \simeq 10^{22}$ /年)

$O(1)$ イベント@ ν factory ($N_\mu \simeq 10^{20}$ /年)

断面積 vs ビームエネルギー (固定ターゲット実験)



LFVが一般的な重い粒子由来の場合

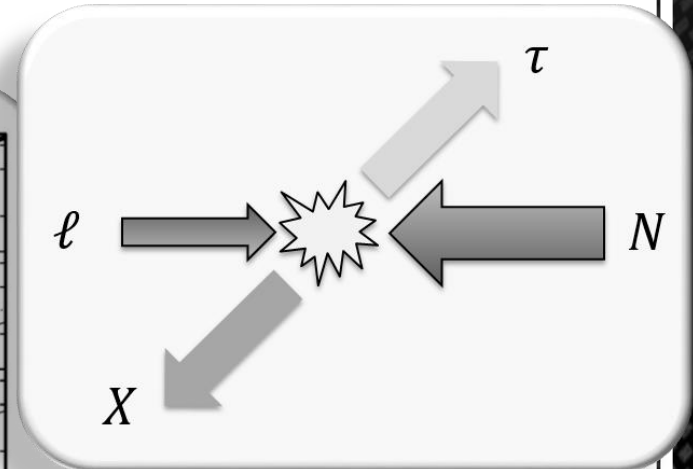
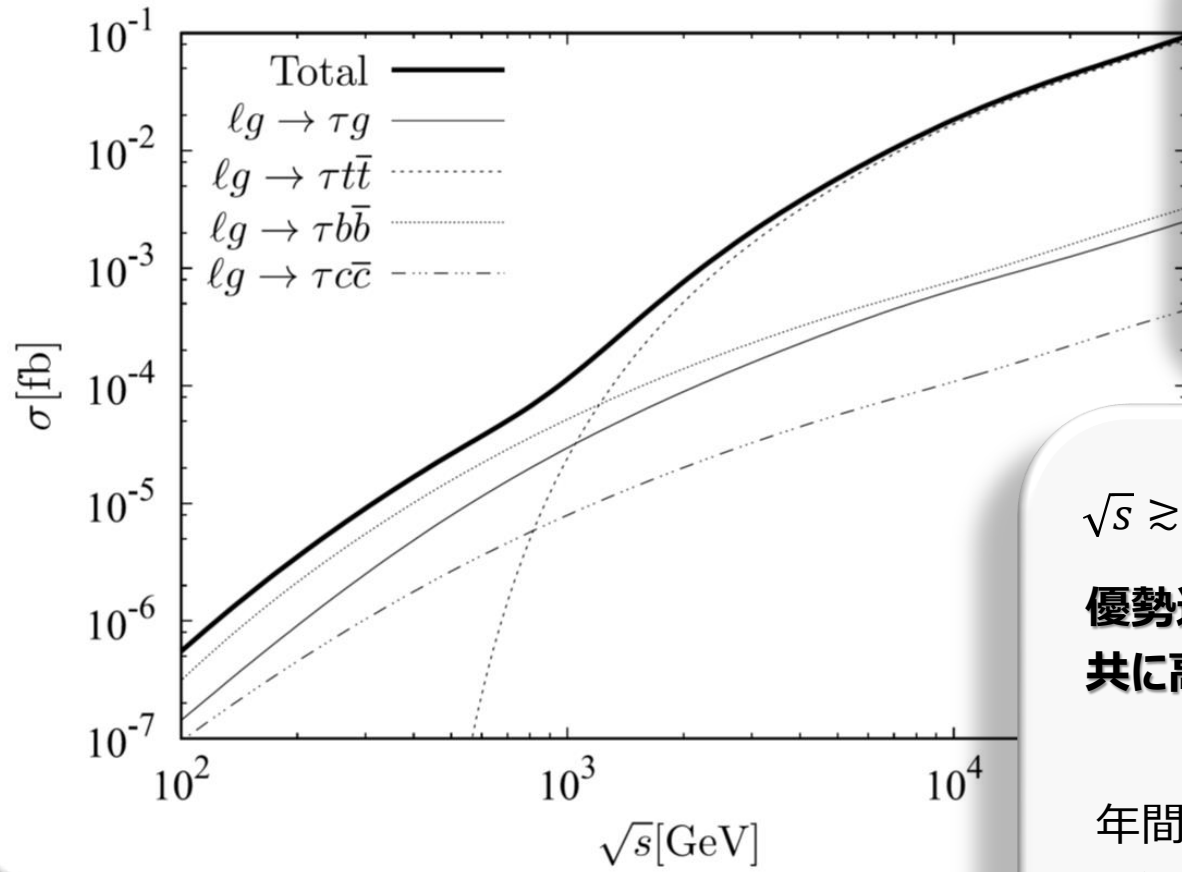
年間イベント数 (T_m : ターゲット質量)

$$N \simeq 6 \times 10^{-16} N_{\ell_i} \left(\frac{\sigma_{\ell_i N \rightarrow \tau X}}{1 \text{ fb}} \right) \left(\frac{T_m}{1 \text{ g cm}^{-2}} \right)$$

$O(10^5)$ イベント@ILC ($N_e \simeq 10^{22}$ /年)

$O(10^4)$ イベント@ ν factory ($N_\mu \simeq 10^{20}$ /年)

断面積 vs 衝突エネルギー (衝突型加速器実験、ヒッグスLFV)



$\sqrt{s} \gtrsim 1 \text{ TeV}$ では $\tau t \bar{t}$ 終状態過程が優勢
**優勢過程の断面積をバリオン数保存と
 共に高精度評価しておくことが肝心**

年間 $O(1000) \text{ fb}^{-1}$ を仮定すると、年に
 $O(10)$ イベント @ VLHeC

FCC-eh であれば、より多くのイベント数

まとめ

☑ 重いクォークと主に相互作用する粒子 (例 : ヒッグス) によるタウCLFVについて研究

☑ CLFVレプトン-核子散乱はタウCLFV検証に有効であるが、先行研究ではその扱い方に落ち度

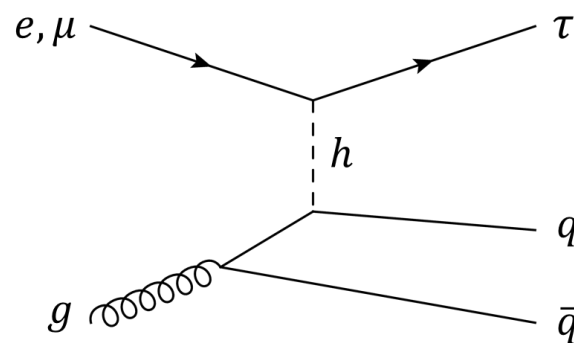
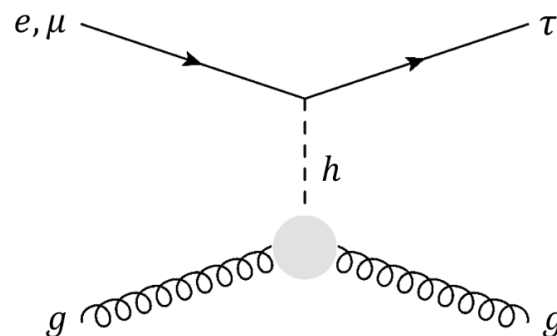
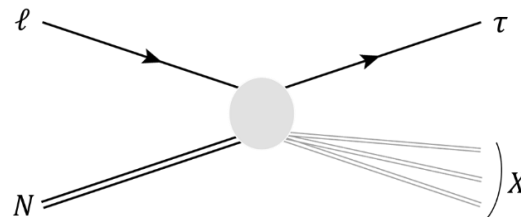
☑ CLFVレプトン-核子散乱を取り込むべき素過程、正しい終状態と共に定式化

(1) 有効相互作用による新過程 $\ell g \rightarrow \tau g$

(2) バリオン数保存素過程 $\ell g \rightarrow \tau q \bar{q}$

~~$\ell q \rightarrow \tau q$~~

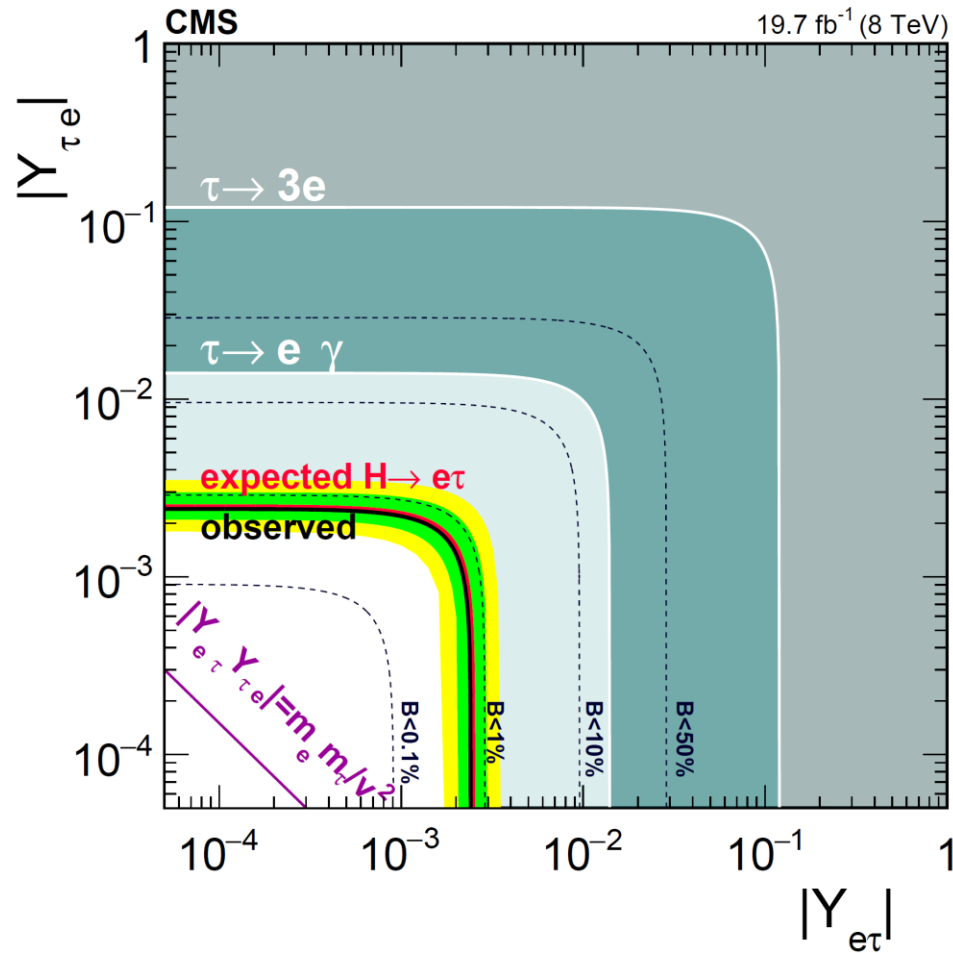
☑ 将来実験 (COMPASS、ILC、(V)LHeC、 ν factory、などなど) でタウCLFVを検証可能



Thank you very much!

Backup slides

Bound on CLFV Yukawa coupling



CMS collaboration, PLB (2016)

Cross sections for each PDF

