

ヒッグスって何？

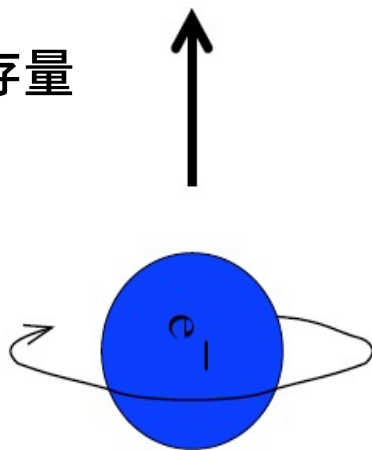
- 1 質量の意味
- 2 LHCでのヒッグス生成過程
- 3 Higgs崩壊過程
- 4 崩壊幅
- 5 結合定数の結果
- 6 質量測定
- 7 125GeVが意味すること
- 8 結合定数
- 9 ヒッグス発見の意味

素粒子のスピン？

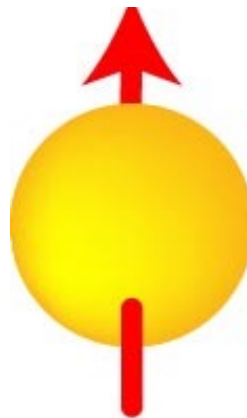
2種類：進行方向むいているか
その反対

スピンの意味
角運動量演算 $L+S$ が保存量
スピン $\frac{1}{2} \rightarrow 2$ 回転 対称

スピン：
角運動量と同じ性質



右巻き(R)
スピン



進行方向



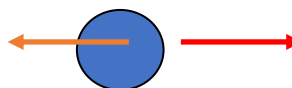
左巻き(L)
スピン



鏡で映した関係：パリティー スピン

スピン：角運動量 $= r * p$

スピン 運動



左巻き (L)



スピン 運動

運動

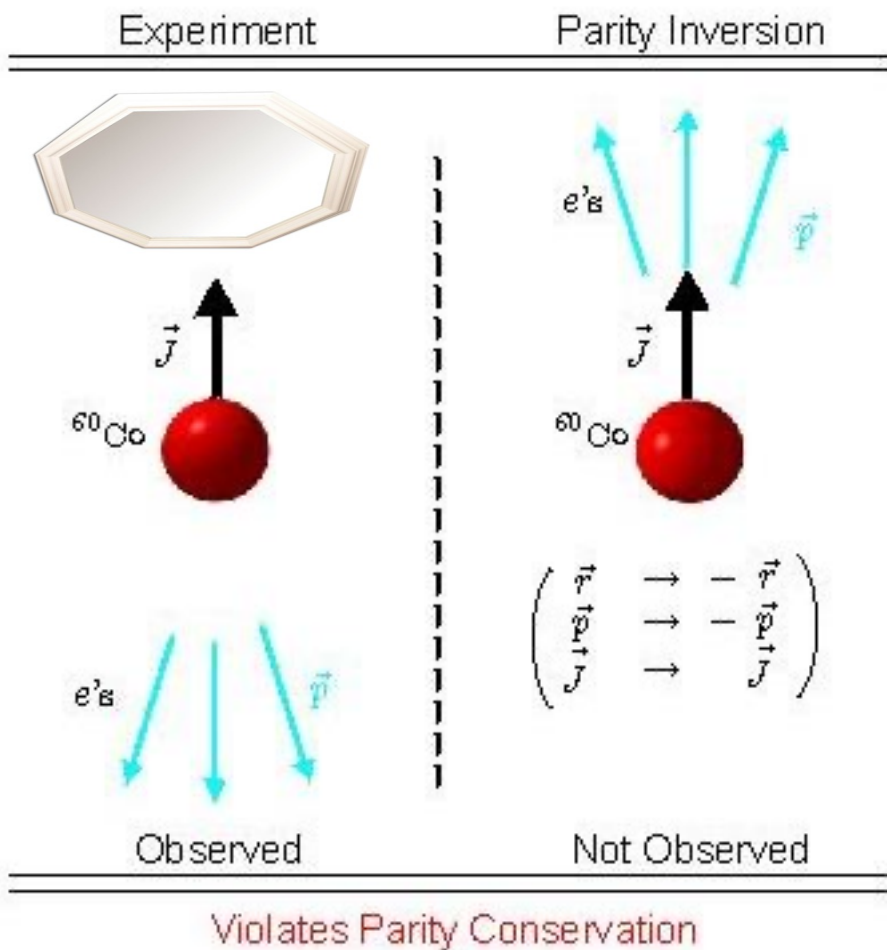
右巻き (R)

素粒子がもつ
固有の性質

スピンの2価性？

1.素粒子の質量って何？ カイラル対称性の破れ

パリティの破れの発見



左巻き ν いる
右巻き ν いない

左巻き (弱い力の電荷あり)

ニュートリノ ν_L

電子 e_{-L}

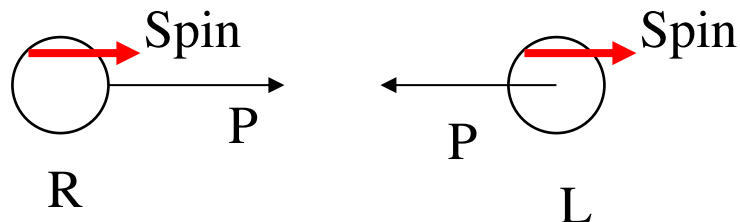
全く別の粒子

右巻き (感じない)

電子 e_{-R}

質量があると、
光速より遅い

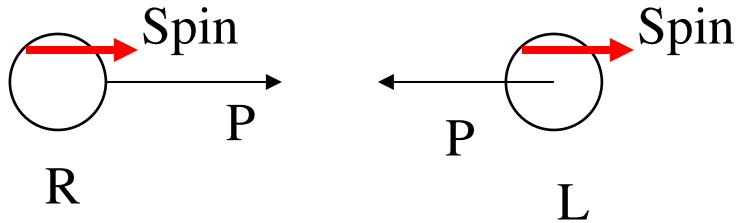
光速でローレンツ変換



右巻と左巻がまざってしまう！！

素粒子で「混ざる」
 ってのを見ると

光速でローレンツ変換(質量がある場合)



質量: 慣性の大きさパラメーター $dF=mdv$

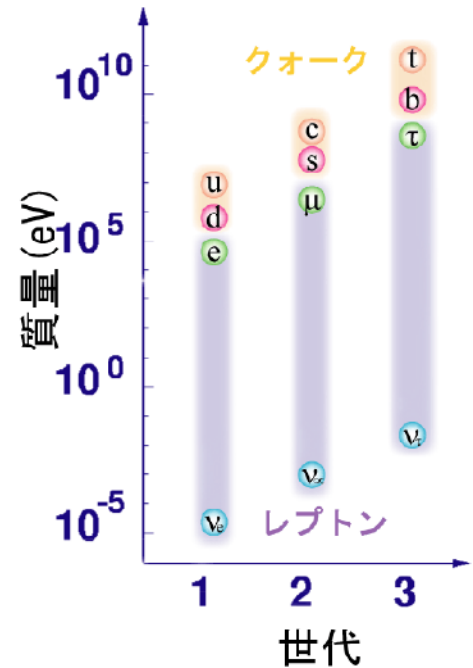
L-R のmixing parameter

違う素粒子LとR:、

$$m_q \bar{q}_L q_R$$



RとLはもともと全く違う粒子 (量子数が違う)
 R (ヘリシティ: +向き) を消して、L (反対向き)
 真空が、弱い相互作用の電荷をもった“状態”

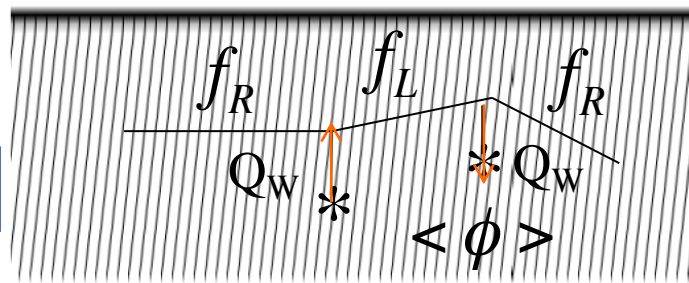


- $m(e) = 0,000511 \text{ GeV}/c^2$
- $m(\tau) = \sim 1,8 \text{ GeV}/c^2$
- $m(u) = 0,005 \text{ GeV}/c^2$
- $m(t) = \sim 174 \text{ GeV}/c^2$

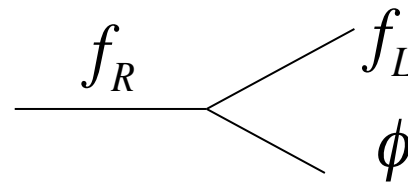
Yukawa結合f なんて
 こんなに小さいの?
 Top=1 電子 10^{-5}
 ニュートリノ?

Higgs 場の中で何が起きている？

フェルミオン



Higgs field(ϕ)

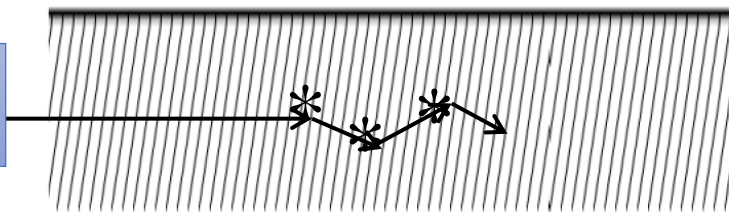


$$y\phi\bar{f}_L f_R \rightarrow m_f\bar{f}_L f_R$$

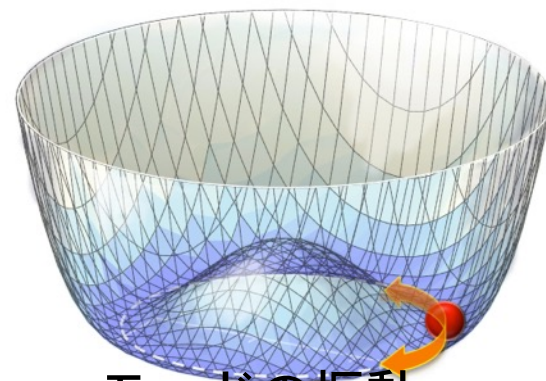
$y=\sqrt{2} mf/v$ なる結合定数 y で右巻と左巻の粒子が結合するとする。 y は何桁も素粒子でちがう。
 L は真空中に弱い電荷を与えて、 R なり逆を繰り返す

全く違う機構

$W^\pm Z^0$

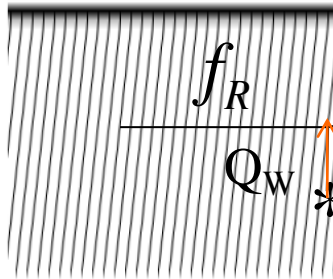


Higgs field(ϕ)



弱い力の電荷と結合する W/Z は、Nambu-Goldstone モードの振動
 この振動は、mass-less (NGB) W/Z の縦波成分 \rightarrow 質量

Higgs 場の中



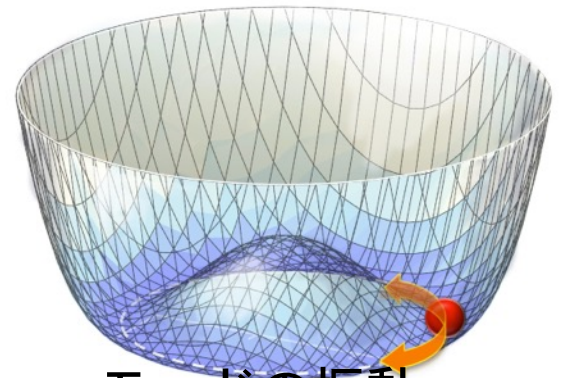
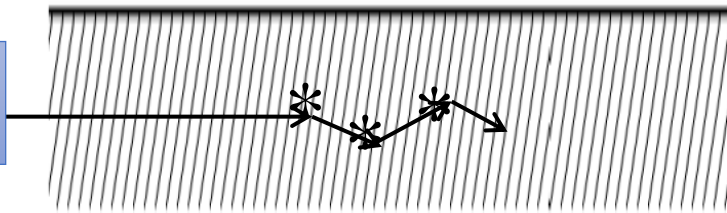
$y = \sqrt{2}$
結合
Lは

フェルミオン

全く違う機構

Higgs field(ϕ)

$W^\pm Z^0$

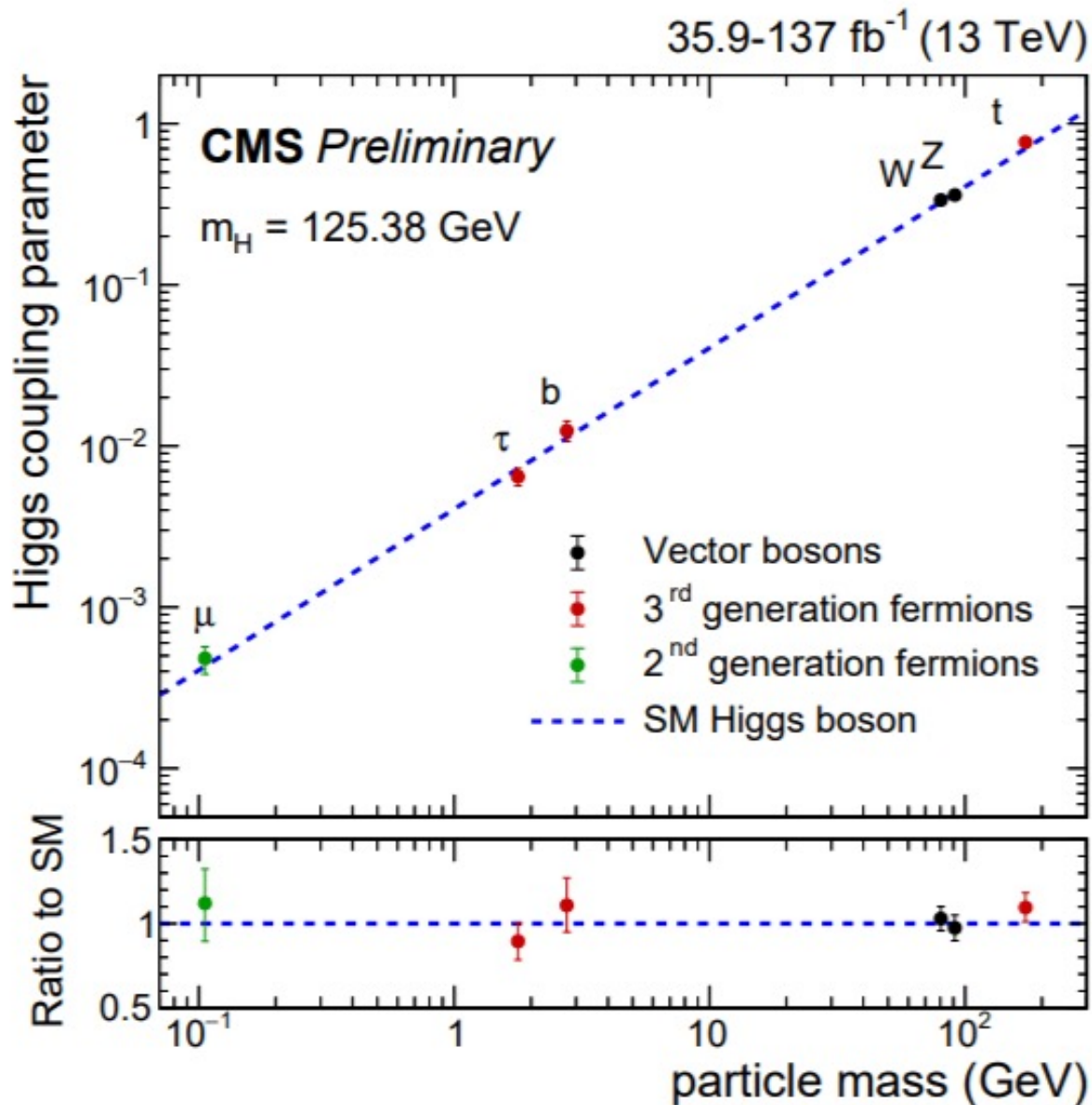


弱い力の電荷と結合するW/Zは、Nambu-Goldstone モードの振動
この振動は、mass-less (NGB) W/Zの縦波成分 → 質量

10-20%程度の誤差で 1本の直線

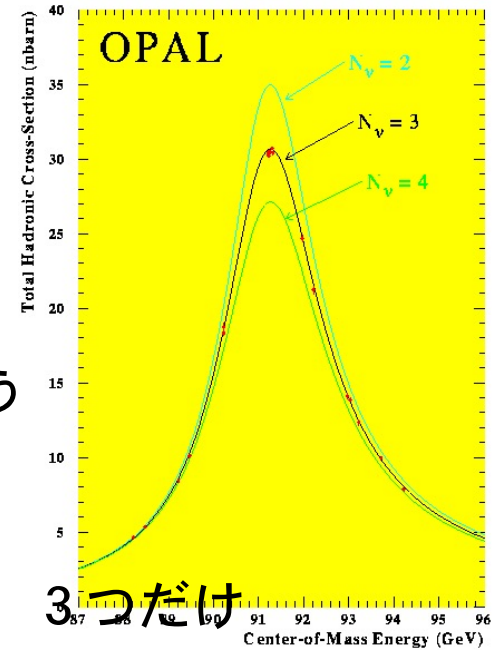
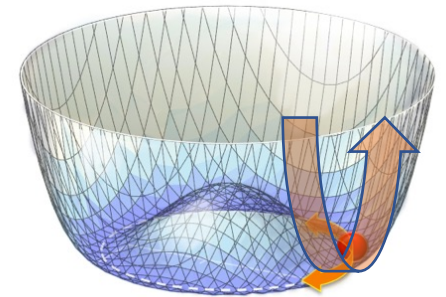
1. 湯川結合が正しい
トイレが正し
かった。。。

2. 世代は
ヒッグスが原因

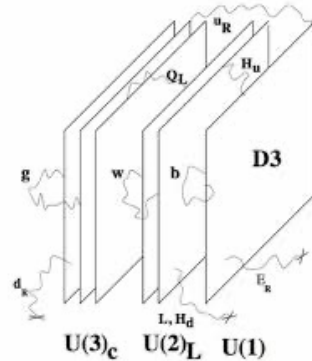


| | | | | | |
|----------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| mass → | ≈2.3 MeV/c ² | ≈1.275 GeV/c ² | ≈173.07 GeV/c ² | 0 | ≈126 GeV/c ² |
| charge → | 2/3 | 2/3 | 2/3 | 0 | 0 |
| spin → | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | 0 |
| | u up | c charm | t top | g gluon | H Higgs boson |
| QUARKS | ≈4.8 MeV/c ² | ≈95 MeV/c ² | ≈4.18 GeV/c ² | 0 | |
| | -1/3 | -1/3 | -1/3 | 0 | |
| | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | |
| | d down | s strange | b bottom | γ photon | |
| | 0.511 MeV/c ² | 105.7 MeV/c ² | 1.777 GeV/c ² | 91.2 GeV/c ² | |
| | -1 | -1 | -1 | 0 | |
| | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | |
| | e electron | μ muon | τ tau | Z Z boson | |
| LEPTONS | <2.2 eV/c ² | <0.17 MeV/c ² | <15.5 MeV/c ² | 80.4 GeV/c ² | |
| | 0 | 0 | 0 | ±1 | |
| | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | |
| | ν_e electron neutrino | ν_μ muon neutrino | ν_τ tau neutrino | W W boson | |
| | | | | | GAUGE BOSONS |

この質量も？



3世代
ある理由が不明
この世代の区別をし
ヒッグス場との
結合の強さ



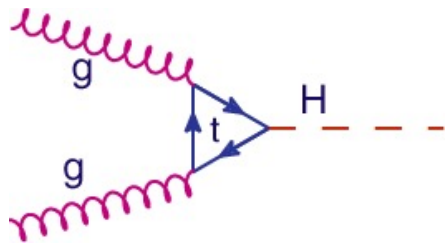
ゲージ場も全く違う
機構でだけど
このヒッグス場が

Z → νν
あとで

3つだけ

2.LHCでの生成過程と効く結合

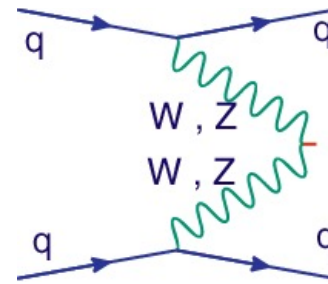
Gluon Fusion



gluonは、massless higgsと直接接合しない。
top のloopで(Yt)
gluon多いのでσ大

LHCって実は、グルオン
グルオンコライダー

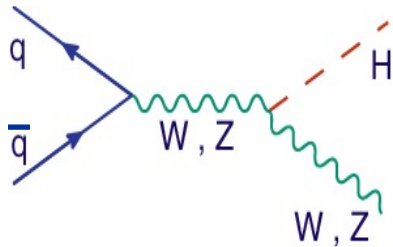
Vector Boson Fusion



Valenc quarkで
large Xのquarkが
多い
Higt Pt jetでBGを
押さえることが出
来る。

$\tau\tau$

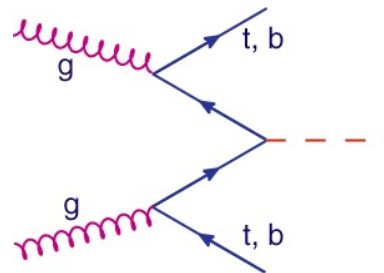
W・Zとの随伴生成



LEP,Tevatronの
主チャンネル。
W->lnuでtrigger
H->WWW

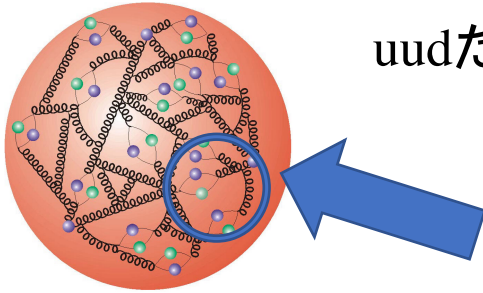
$bb, \tau\tau$

Top/bottomとの随伴生成



Topは特徴的な
ので発見しやすい。
Topの湯川結合測
定チャンネル

トップクォークとの結合に使える



uudだけでなく、陽子の中は、quark, gluonがいっぱい。
その存在割合がわからないと、反応の cross-sectionが決められない。

量子数を担っている： Valence quark
それ以外： Sea quark gluon

$R=\sqrt{Q^2}$ のサイズでみる

Q^2 見る大きさ

$$\sum_{a,b} \int dx_a dx_b f_a(x_a, Q^2) f_b(x_b, Q^2) \hat{\sigma}_{ab}(x_a, x_b)$$

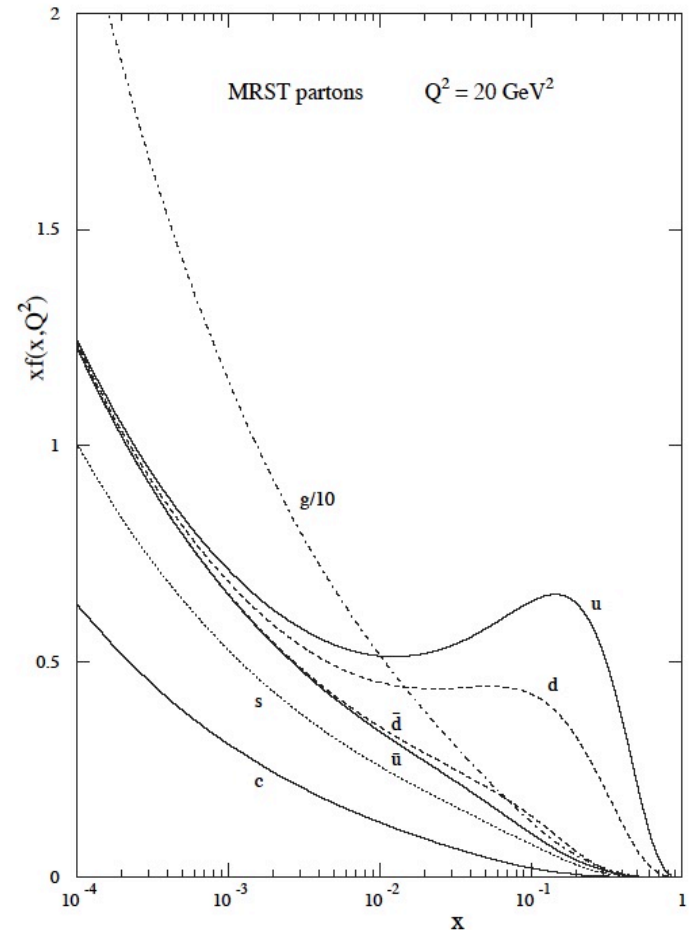
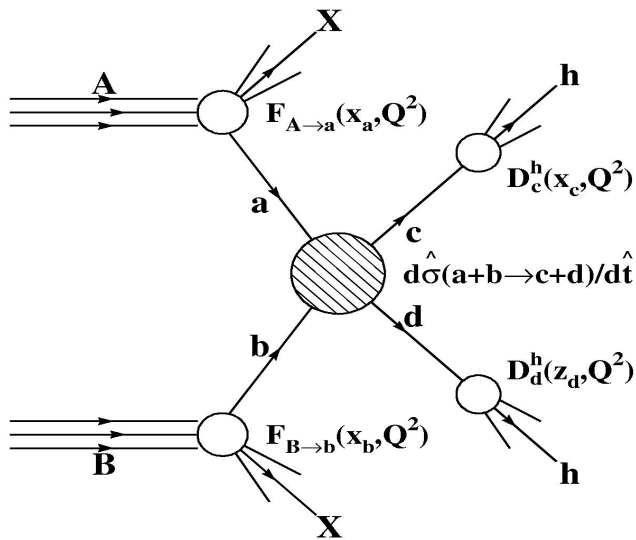


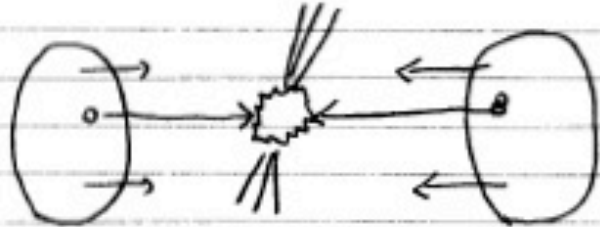
Fig. 3. MRST partons at $Q^2 = 20 \text{ GeV}^2$

ハドロンコライダーの運動学

x : Bjorkenのx

複合系の運動学

P (又は \bar{P}) の運動量 ΣP



通常 $P \gg 1 \text{ GeV}$

パートン

$$(0, 0, x_1 P, x_1 P)$$

$$(0, 0, -x_2 P, x_2 P)$$

$P\bar{P}$ の ECOM 系

$$(0, 0, (x_1 - x_2)P, (x_1 + x_2)P)$$

↑

静止している asymmetric

$$\hat{S}^2 = (x_1 + x_2)^2 P^2 - (x_1 - x_2)^2 P^2 = 4x_1 x_2 P^2$$

$$\sqrt{\hat{S}} = \sqrt{x_1 x_2} \sqrt{S} \quad (\sqrt{S} = 2P \text{ (} P\bar{P} \text{ 系の重心エネルギー)})$$

二の系の Rapidity (LHC 2-2)

$$y \equiv \frac{1}{2} \ln \left(\frac{E + P_z}{E - P_z} \right) = \frac{1}{2} \ln \frac{x_1}{x_2}$$

重粒子生成して研究 α が大きい所が交わる (PDF)

LHC では u, d, g $\alpha > 0.1$ では u, d が交わる

TeVatron では u, d, \bar{u}, \bar{d}
($P\bar{P}$)

重物理 $\langle \alpha \rangle = \sqrt{x_1 x_2}$ が大きい $\ln \frac{x_2}{x_1}$ は 大きくなる

\downarrow
 x_1, x_2 が 同程度の時 交率 $\propto \sqrt{x_1 x_2}$
が大きくなる

✓
中心にある

何故 Rapidity 変数 y を 非対称コординートで使うのか?

$$y \equiv \frac{1}{2} \ln \left(\frac{E + p_z}{E - p_z} \right) = \frac{1}{2} \ln \frac{(E + p_z)^2}{E^2 - p_z^2} = \ln \frac{E + p_z}{m_T}$$
$$= \tanh^{-1} \left(\frac{p_z}{E} \right) = \tanh^{-1} (\beta_z)$$

\therefore transverse mass $m_T^2 = m^2 + p_x^2 + p_y^2$

$\vec{P} = (p_T \cos \varphi, p_T \sin \varphi, m_T \sinh y)$, $E = m_T \cosh y$

ヒッグスの物理 $\sqrt{s} \sim 100 \text{ GeV}$

$$\sqrt{x_1 x_2} \sim 10^{-2} \quad x > 10^{-4} \quad |\eta| < 4.6$$

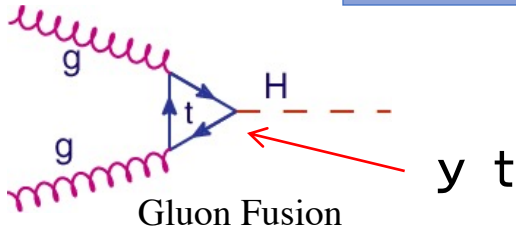
新現象の物理 $\sqrt{s} \sim 1000 \text{ GeV}$

$$\sqrt{x_1 x_2} \sim 10^{-1} \quad x > 10^{-2} \quad |\eta| < 2.3$$

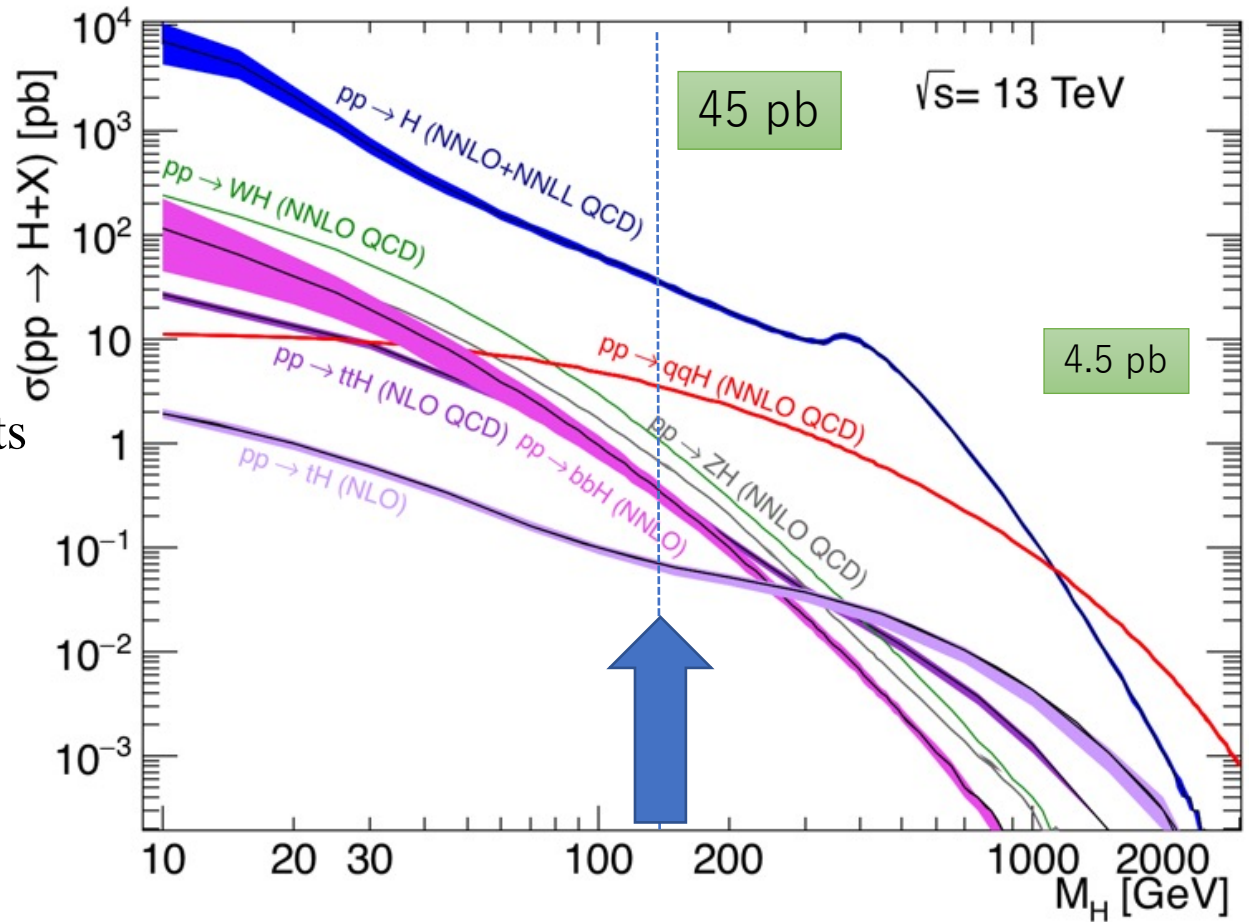
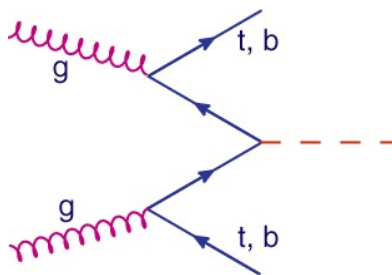
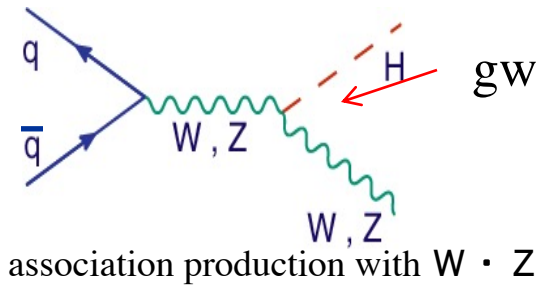
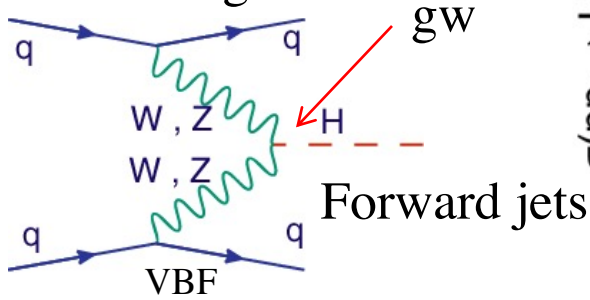
- | | |
|-------------|--------------------------------|
| (1) ヒッグスの物理 | quark-反quark, gluon-gluon, |
| (2) 新現象の物理 | quark-quark, gluon-quark コライダー |

LHCは、両方のタイプの結合をcheck

Leading

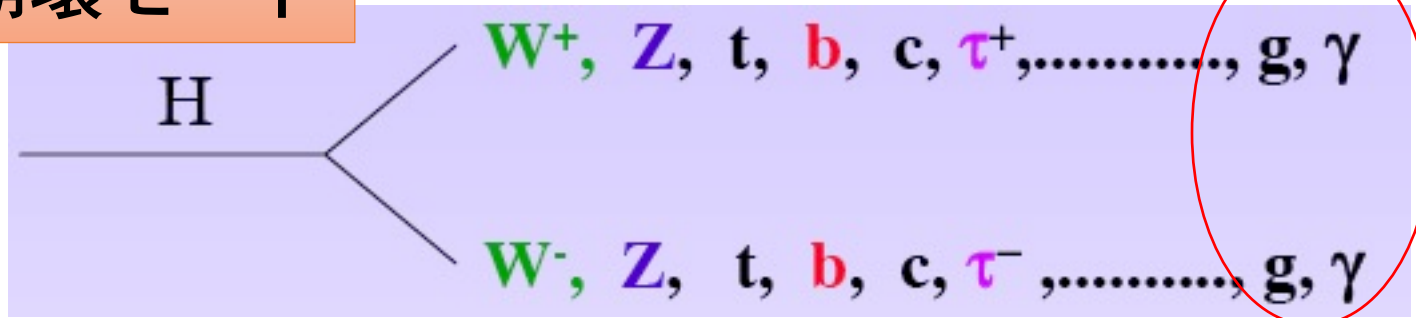


Next Leading



グルオン，反quark 急な分布
Valence quarkは緩やか

3. Higgsの崩壊モード



$$WWH = \frac{e}{\sin\theta} m_W$$

$$ZZH = \frac{e}{\sin\theta \cos\vartheta} m_Z$$

$$f\bar{f}H = \frac{\sqrt{2}m_f}{v}$$

Massless -> No coupling
Loop

$$\int \frac{1}{2m_H} \sum_{spin,color} |M|^2 dLIPS$$

$$dLIPS = (2\pi)^4 \delta^4(q - p_1 - p_2) \frac{d^3 p_1}{(2\pi)^3 2E_1} \frac{d^3 p_2}{(2\pi)^3 2E_2}$$

2body phase space

$$\Gamma(H \rightarrow f\bar{f}) = N_f \frac{G_F m_H m_f^2}{4\sqrt{2}\pi} \left(1 - \frac{4m_f^2}{m_H^2}\right)^{\frac{3}{2}}$$

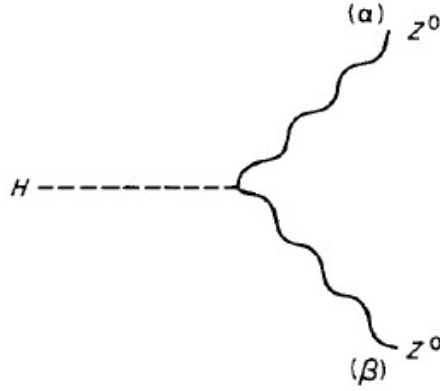
THS: β^3 スカラー 緩やかな立ち上がり

$$\Gamma(H \rightarrow W^+W^-) = \frac{G_F m_H^3 \beta_W}{8\sqrt{2}\pi} \left(1 - \frac{4m_W^2}{m_H^2} + \frac{12m_W^4}{m_H^4}\right),$$

なぜ M_W^2 で
ない?

$$\Gamma(H \rightarrow ZZ) = \frac{G_F m_H^3 \beta_Z}{16\sqrt{2}\pi} \left(1 - \frac{4m_Z^2}{m_H^2} + \frac{12m_Z^4}{m_H^4}\right),$$

同種粒子の1/2



$$\frac{ig^2}{2 \cos^2 \theta_W} g^{\alpha\beta}$$

$$|\mathcal{M}|^2 = \left(\frac{gm_Z}{\cos \Theta_W} \right)^2 \sum_{\lambda, \rho} g_{\mu\nu} \epsilon_{1\lambda}^{*\mu} \epsilon_{2\rho}^{*\nu} g_{\alpha\beta} \epsilon_{1\lambda}^{*\alpha} \epsilon_{2\rho}^{*\beta}$$

$$|\mathcal{M}|^2 = \left(\frac{gm_Z}{\cos \Theta_W} \right)^2 g_{\mu\nu} \left(-g^{\mu\alpha} + \frac{p^\mu p^\alpha}{m_Z^2} \right) g_{\alpha\beta} \left(-g^{\nu\beta} + \frac{q^\nu q^\beta}{m_Z^2} \right)$$

$$= \left(\frac{gm_Z}{\cos \Theta_W} \right)^2 \left(-g_\nu^\alpha + \frac{p_\nu p^\alpha}{m_Z^2} \right) \left(-g_\alpha^\nu + \frac{q^\nu q_\alpha}{m_Z^2} \right)$$

$$= \left(\frac{gm_Z}{\cos \Theta_W} \right)^2 \left(4 - \frac{p_\alpha p^\alpha}{m_Z^2} - \frac{q^\nu q_\nu}{m_Z^2} + \frac{p_\nu q^\nu p^\alpha q_\alpha}{m_Z^4} \right)$$

$$= \left(\frac{gm_Z}{\cos \Theta_W} \right)^2 \left(2 + \frac{(p \cdot q)^2}{m_Z^4} \right)$$

$$|\mathcal{M}|^2 = \left(\frac{gm_Z}{\cos \Theta_W} \right)^2 \left(2 + \frac{(m_H^2 - 2m_Z^2)^2}{4m_Z^4} \right)$$

$$= \left(\frac{gm_H^2}{2m_Z \cos \Theta_W} \right)^2 \left(1 - \frac{4m_Z^2}{m_H^2} + \frac{12m_Z^4}{m_H^4} \right)$$

$$= \left(\frac{gm_H^2}{2m_W} \right)^2 \left(1 - \frac{4m_Z^2}{m_H^2} + \frac{12m_Z^4}{m_H^4} \right)$$

$$\begin{aligned} m_H^2 &= (p + q)^2 \\ &= p^2 + q^2 + 2p \cdot q \\ &= 2m_Z^2 + 2p \cdot q \end{aligned}$$

so

$$p \cdot q = \frac{m_H^2 - 2m_Z^2}{2}$$

(1) β の3乗ではなく、 β の1乗： () 中の第2式までとると
 β の3乗の様にみえるけど、
kinematicで出てきたtermでなく、不変振幅からきたもの

(2) 不変振幅は、

$$\sum_{\lambda} \epsilon_{\mu}^{(\lambda)*} \epsilon_{\nu}^{(\lambda)} = -g_{\mu\nu} + \frac{p_{\mu} p_{\nu}}{M^2}$$

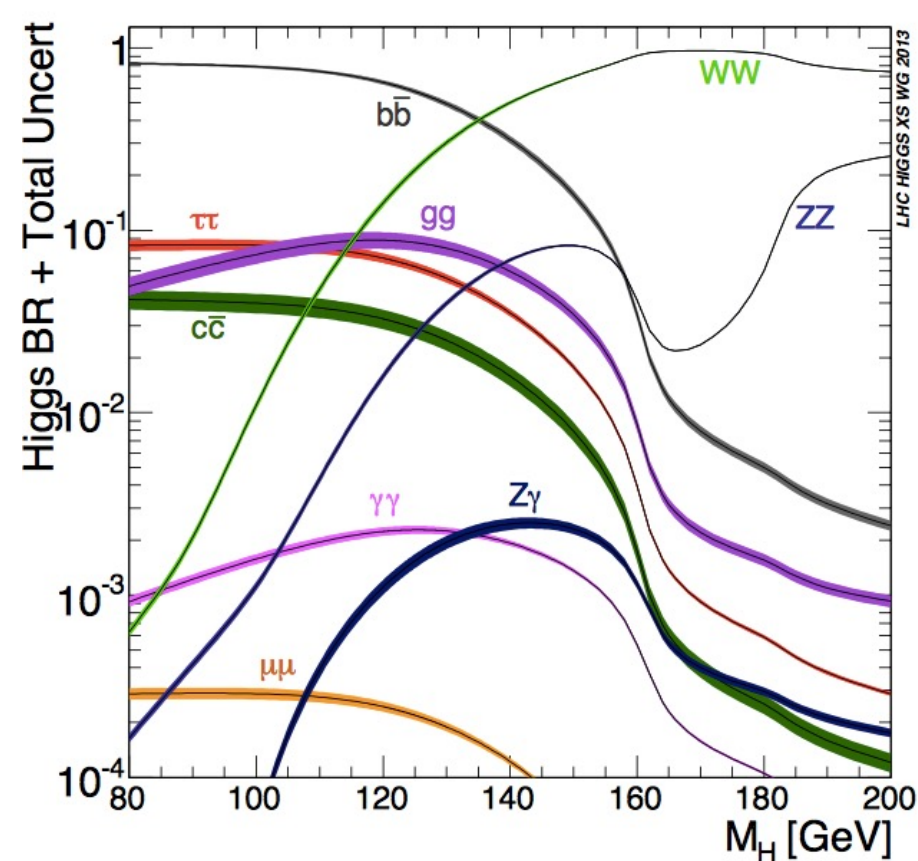
の2乗なので もっと複雑な形。

正しい答え

$$\Gamma(H \rightarrow W^+ W^-) = \frac{G_F m_H^3 \beta_W}{8\sqrt{2}\pi} \left(1 - \frac{4m_W^2}{m_H^2} + \frac{12m_W^4}{m_H^4} \right),$$

$$\Gamma(H \rightarrow ZZ) = \frac{G_F m_H^3 \beta_Z}{16\sqrt{2}\pi} \left(1 - \frac{4m_Z^2}{m_H^2} + \frac{12m_Z^4}{m_H^4} \right),$$

崩壊分岐比



| Decay channel | Branching ratio [%] |
|------------------------------|---------------------|
| $H \rightarrow b\bar{b}$ | 57.5 ± 1.9 |
| $H \rightarrow WW$ | 21.6 ± 0.9 |
| $H \rightarrow gg$ | 8.56 ± 0.86 |
| $H \rightarrow \tau\tau$ | 6.30 ± 0.36 |
| $H \rightarrow c\bar{c}$ | 2.90 ± 0.35 |
| $H \rightarrow ZZ$ | 2.67 ± 0.11 |
| $H \rightarrow \gamma\gamma$ | 0.228 ± 0.011 |
| $H \rightarrow Z\gamma$ | 0.155 ± 0.014 |
| $H \rightarrow \mu\mu$ | 0.022 ± 0.001 |

$$\text{Br}(H \rightarrow b\bar{b}) = \Gamma(H \rightarrow b\bar{b}) / \sum \Gamma(H \rightarrow \dots)$$

1) 自然は面白い値

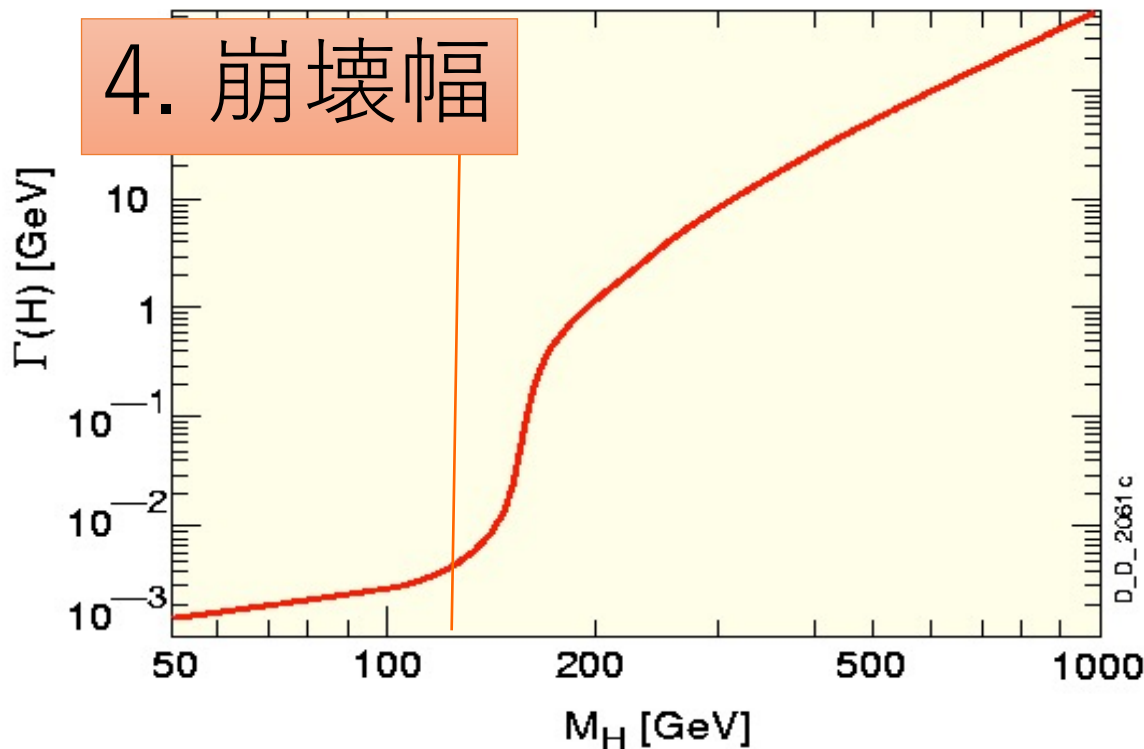
125GeVだと、全部みることが可能になる。

2) 戦力は集中しないといけない

120GeVと予想して $\gamma\gamma$, WW , $\tau\tau$ の順番と思って資源を集中

125GeVで、 $\gamma\gamma, ZZ, WW, (\tau\tau)$

4. 崩壊幅



傾きの違い
1乗 vs 3乗

寿命が測定出来る
不確定性原理
寿命 $\Delta t \propto \Delta E$
 $t \sim 1/\Gamma$
これが観測

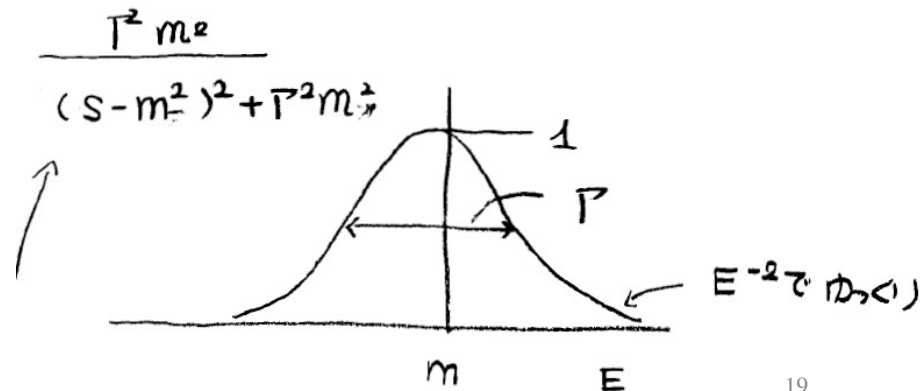
H->WWが開けると 3乗で大きくなる。

フェルミオンが主な時 $\Gamma = O(1-10)\text{MeV}$ 細いBW共鳴

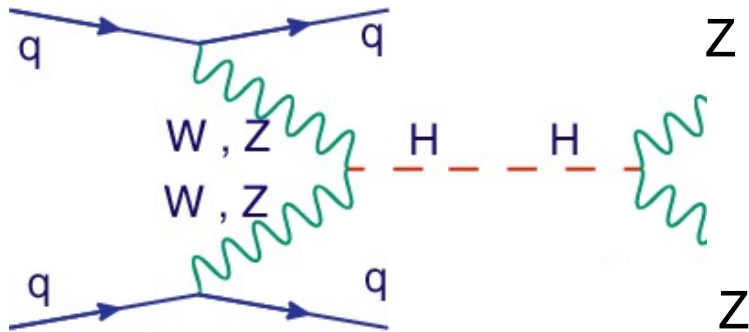
200GeV $\Gamma = O(1\text{GeV})$ 検出器の
分解程度になる。

直接幅を測定出来る。

125GeVだと数MeVの幅(細い)
直接幅を計ることはできない。
と思っていたが、



崩壊幅の測定



$$\sigma_{\text{on-shell}}^{\nu\nu \rightarrow H \rightarrow 4l} \propto \mu_{\nu\nu H}$$

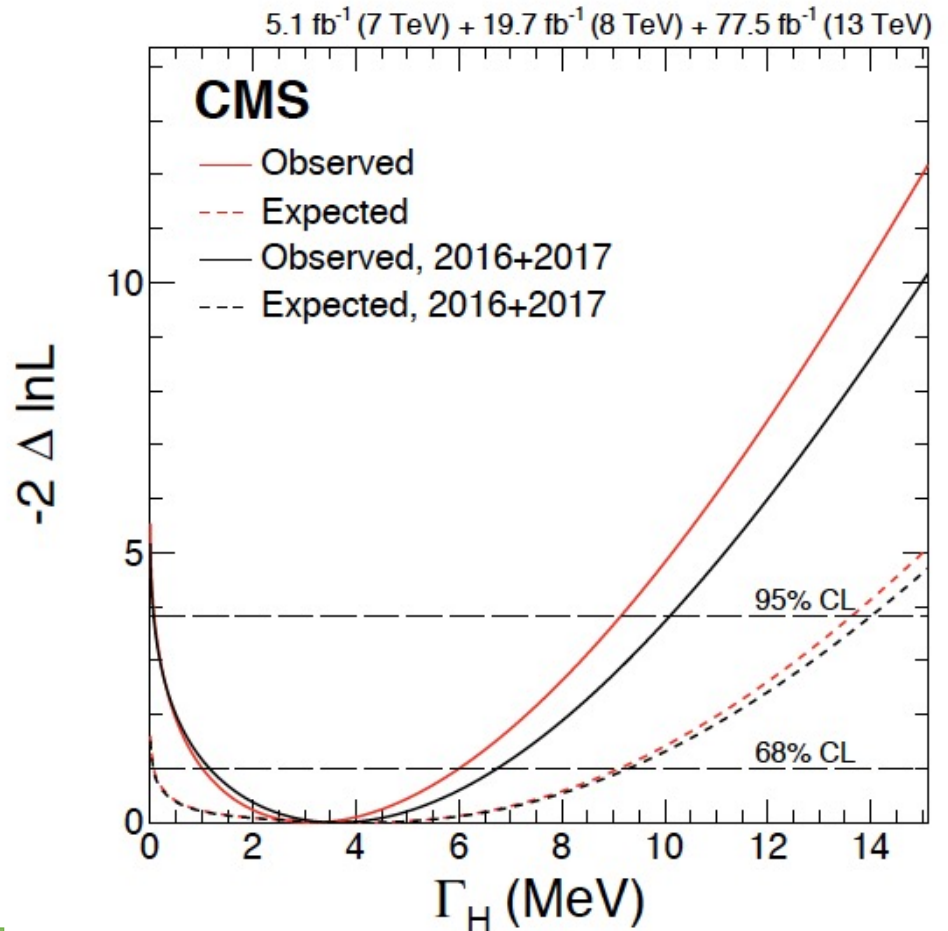
$$M(4l) = 105 - 140 \text{ GeV}$$

$$\sigma_{\text{off-shell}}^{\nu\nu \rightarrow H \rightarrow 4l} \propto \mu_{\nu\nu H} \Gamma_H,$$

$$M(4l) > 220 \text{ GeV}$$

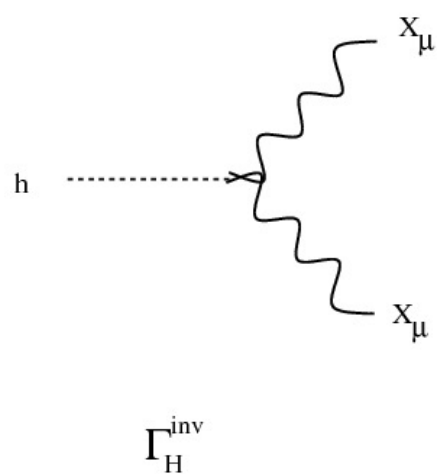
3.2+2.8-2.2 MeV

SMの予言 $\Gamma(H) = 4.1 \text{ MeV}$



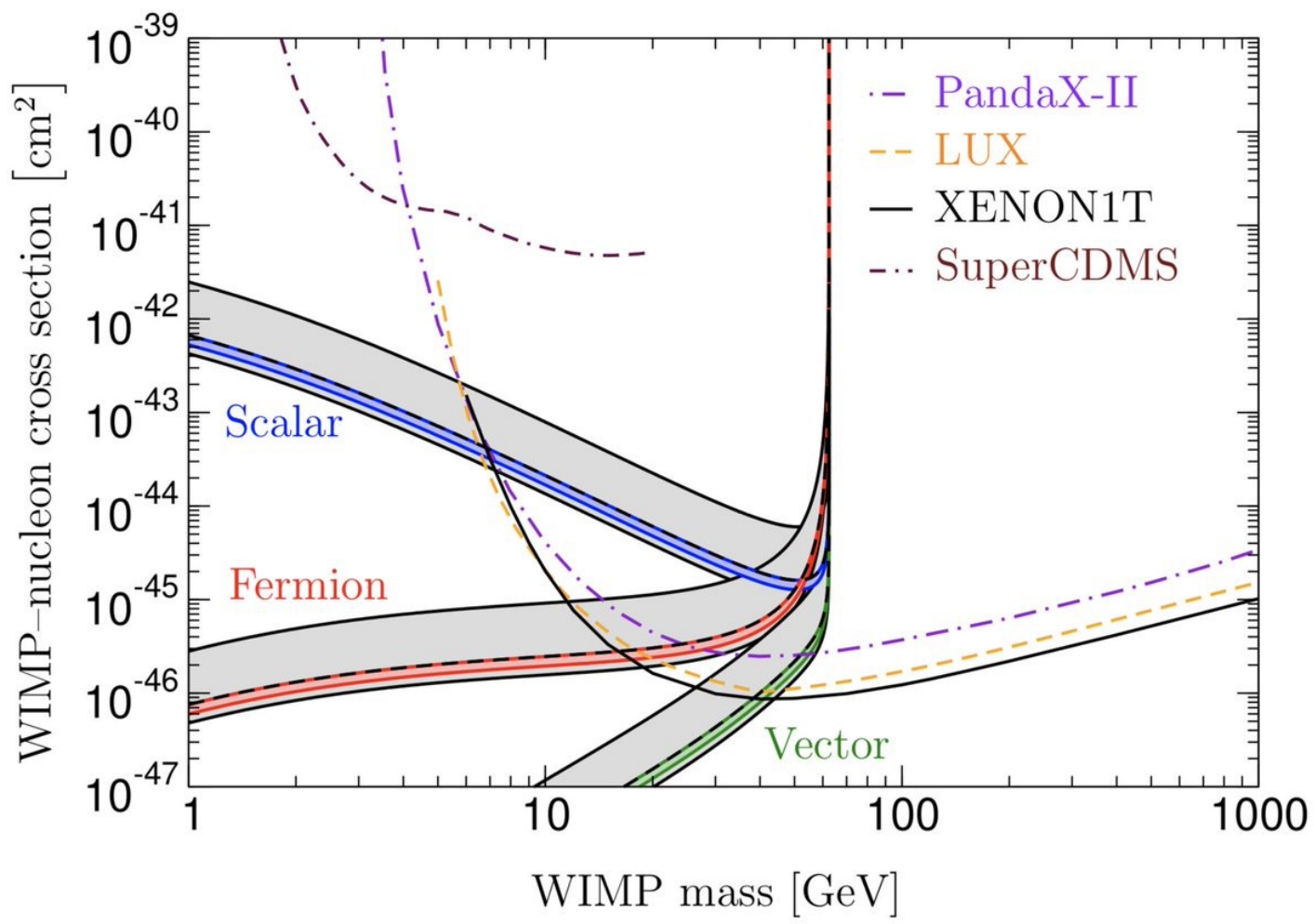
→ ヒッグスと良く結合する
軽い暗黒物質はない

62GeVより軽い暗黒物質には
かなり厳しいことが言える



弱い電荷をもった
軽めの暗黒物質は
つらい

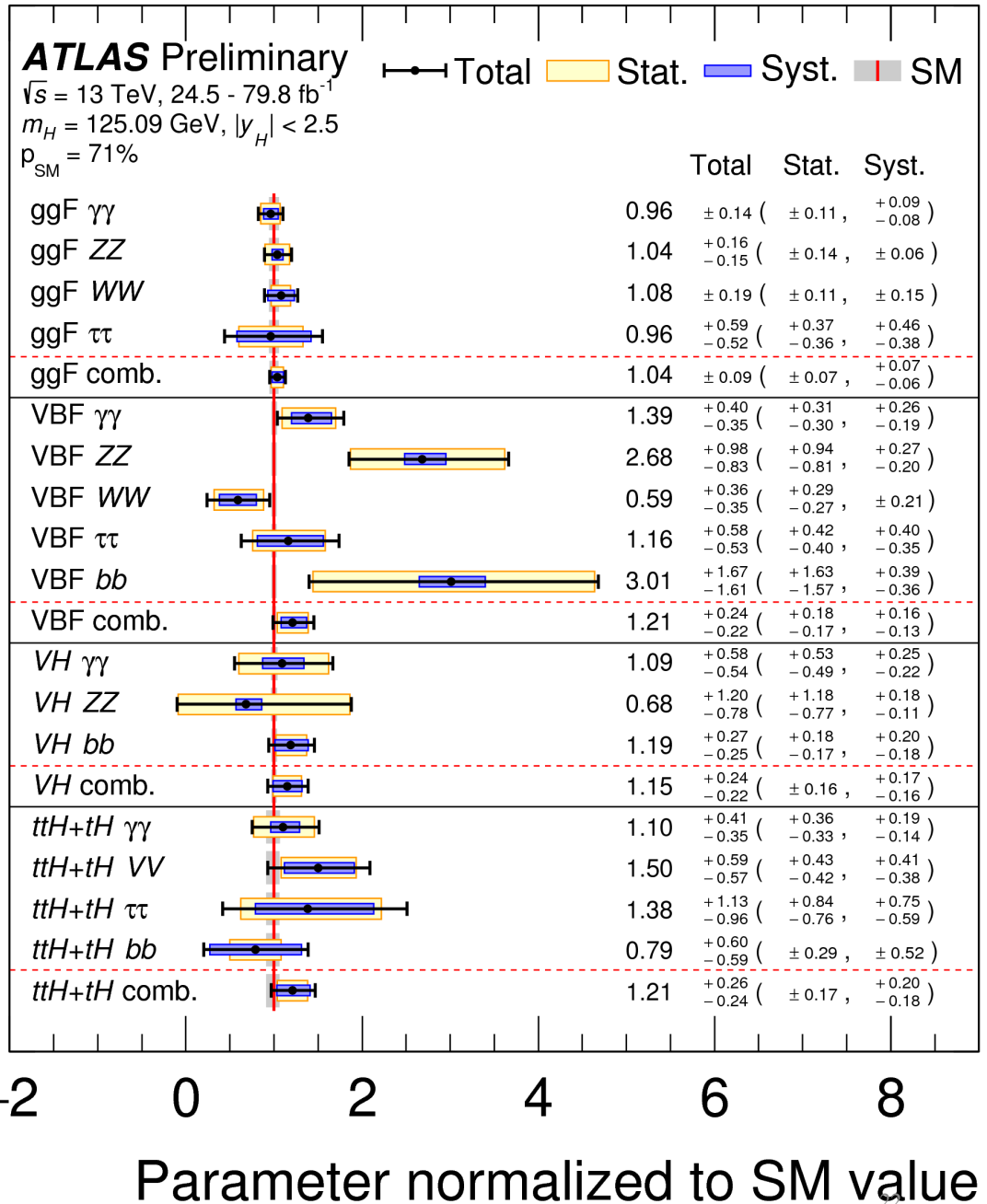
軽いと
リコイルでは
難しくなる



5. ヒッグスの結合強度の測定

生成過程 * 崩壊過程

GF 9%
 VBF 20%
 ttH 20%



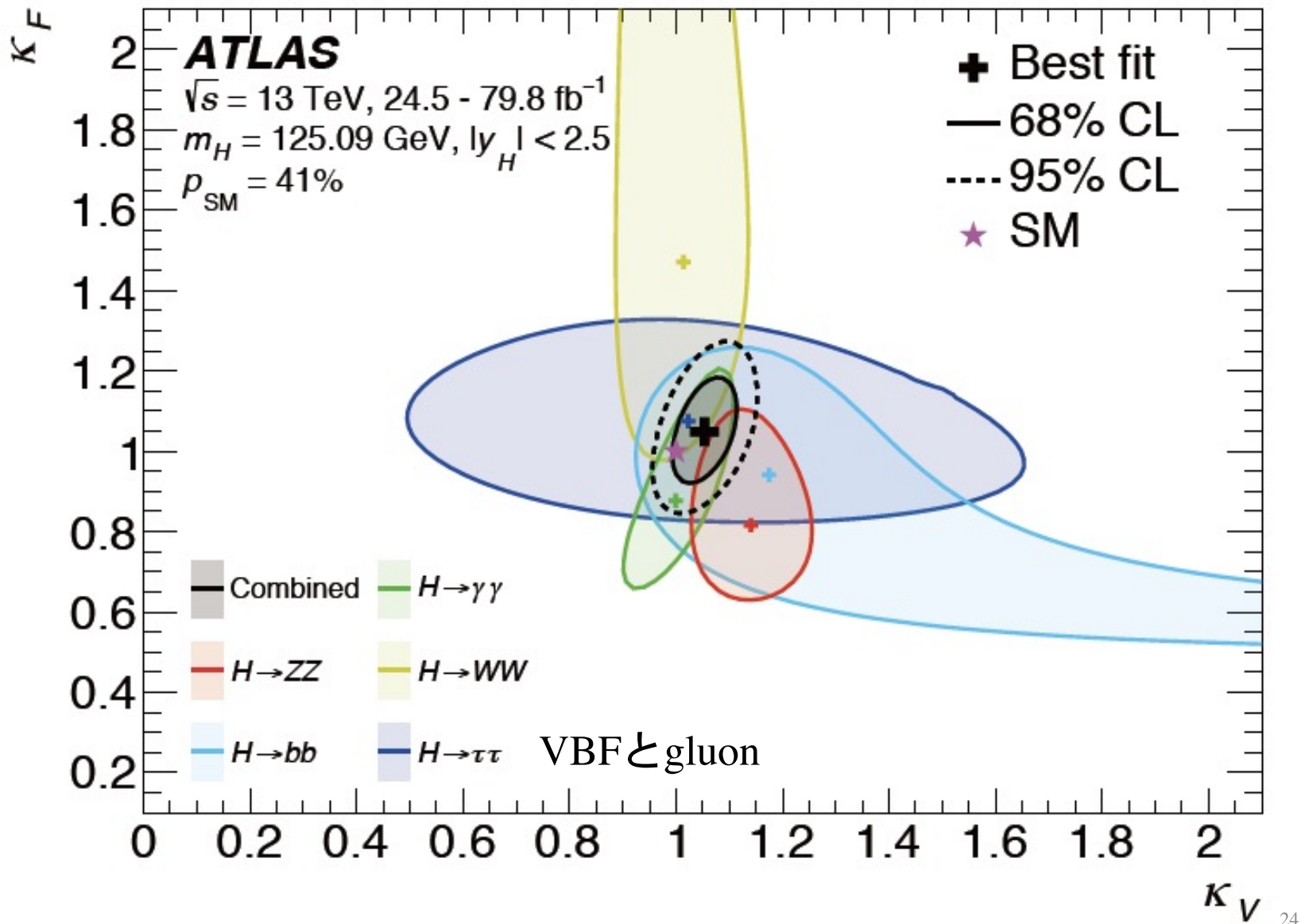
SM Tree Levelの結合定数で規格化

$$\mathcal{L} = \kappa_Z \frac{m_Z^2}{v} Z_\mu Z^\mu H + \kappa_W \frac{2m_W^2}{v} W_\mu^+ W^{-\mu} H + \kappa_{VV} \frac{\alpha}{2\pi v} \left(\cos^2 \theta_W Z_{\mu\nu} Z^{\mu\nu} + 2 W_{\mu\nu}^+ W^{-\mu\nu} \right) H \\ + \kappa_g \frac{\alpha_s}{12\pi v} G_{\mu\nu}^a G^{a\mu\nu} H + \kappa_\gamma \frac{\alpha}{2\pi v} A_{\mu\nu} A^{\mu\nu} H + \kappa_{Z\gamma} \frac{\alpha}{\pi v} A_{\mu\nu} Z^{\mu\nu} H$$

| | LHC Run 1 | ATLAS Run 2 | CMS Run 2 | HL-LHC (expected) |
|-----------------|------------------------|------------------------|--|-------------------|
| κ_γ | $0.87^{+0.14}_{-0.09}$ | 1.05 ± 0.09 | $1.07^{+0.10}_{-0.14} {}^{+0.09}_{-0.05}$ | 1.8% |
| κ_W | $0.87^{+0.13}_{-0.09}$ | 1.05 ± 0.09 | $-1.13^{+0.15}_{-0.10} {}^{+0.06}_{-0.08}$ | 1.7% |
| κ_Z | -0.98 ± 0.10 | 1.11 ± 0.08 | $1.00^{+0.09}_{-0.09} {}^{+0.06}_{-0.07}$ | 1.5% |
| κ_g | $0.78^{+0.13}_{-0.10}$ | $0.99^{+0.11}_{-0.10}$ | $1.18^{+0.10}_{-0.09} {}^{+0.12}_{-0.10}$ | 2.5% |
| κ_t | $1.40^{+0.24}_{-0.21}$ | $1.09^{+0.15}_{-0.14}$ | $0.98^{+0.08}_{-0.08} {}^{+0.12}_{-0.11}$ | 3.4% |
| κ_b | $0.49^{+0.27}_{-0.15}$ | $1.03^{+0.19}_{-0.18}$ | $1.17^{+0.18}_{-0.29} {}^{+0.20}_{-0.10}$ | 3.7% |
| κ_τ | $0.84^{+0.15}_{-0.11}$ | $1.05^{+0.16}_{-0.15}$ | $0.80^{+0.56}_{-0.81} {}^{+0.17}_{-0.00}$ | 1.9% |

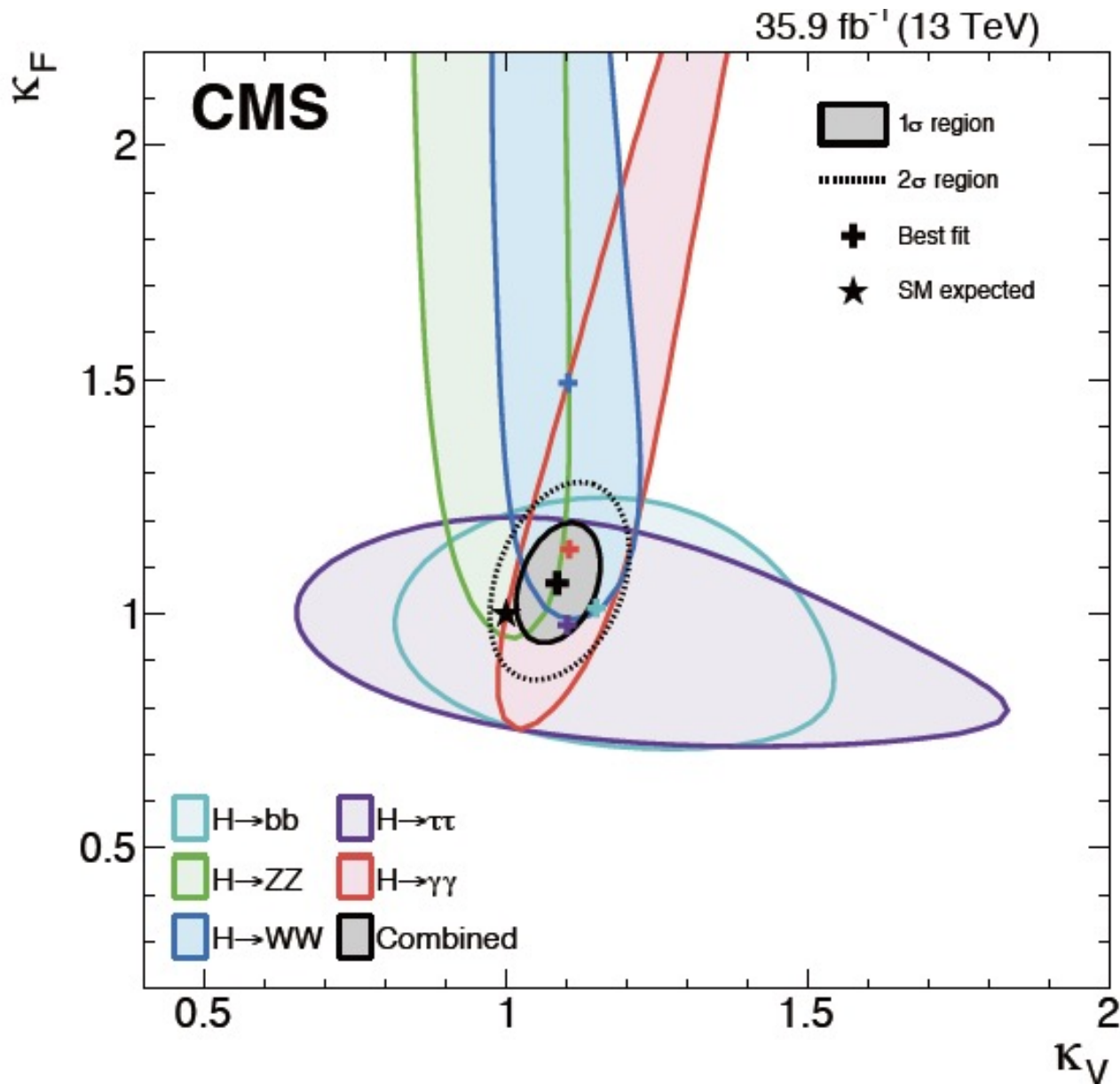
W/Zとの結合 誤差10%弱 → 1.5%程度
 Top との結合 15% → 3%
 Bottom との結合 20%弱 → 3.5%程度
 Tau との結合 15% → 2%

SSBと湯川共に 1σ くらい大きいのが68%CLでSMと一致



CMSも同じような傾向

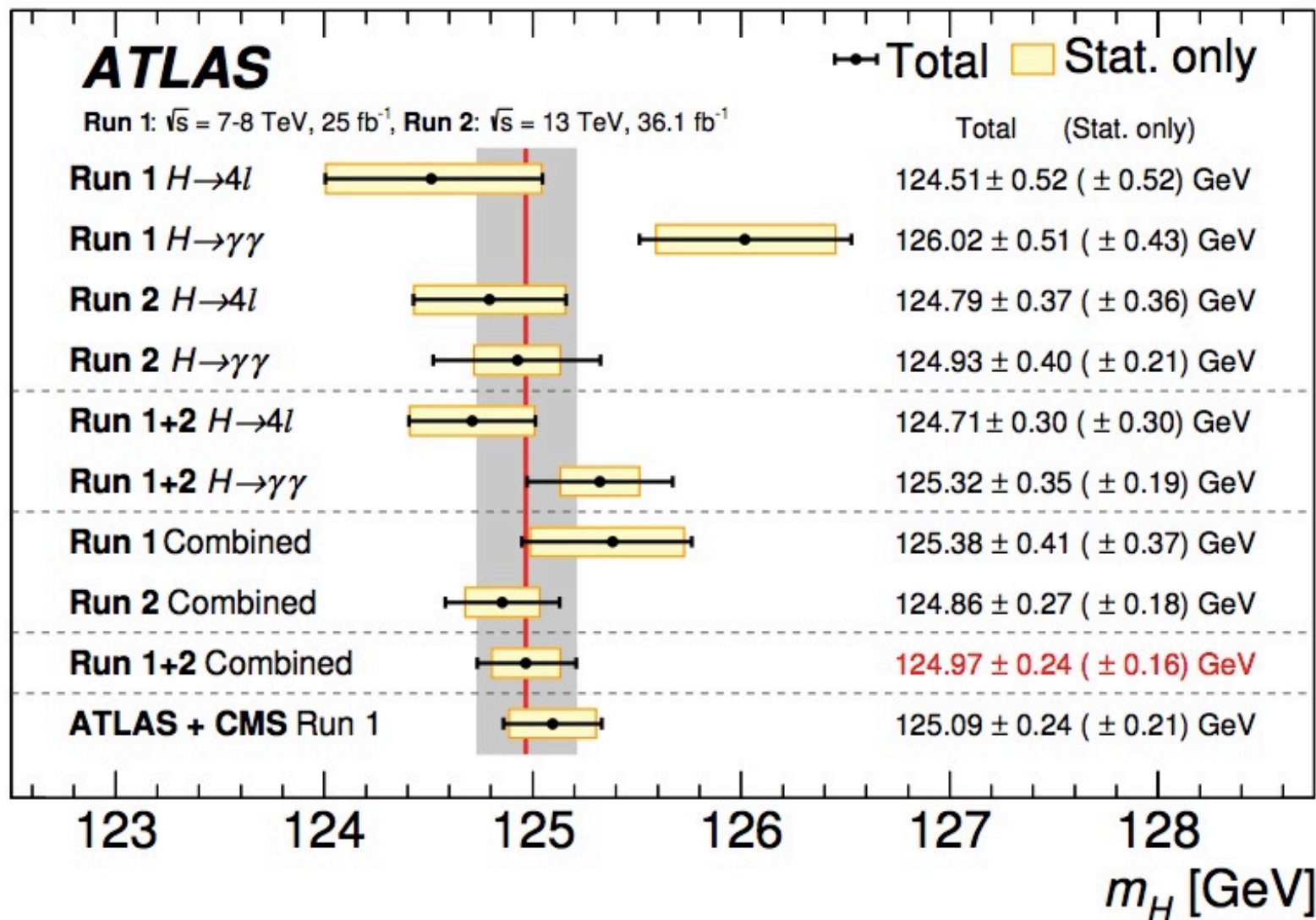
PDFの問題？何か？？



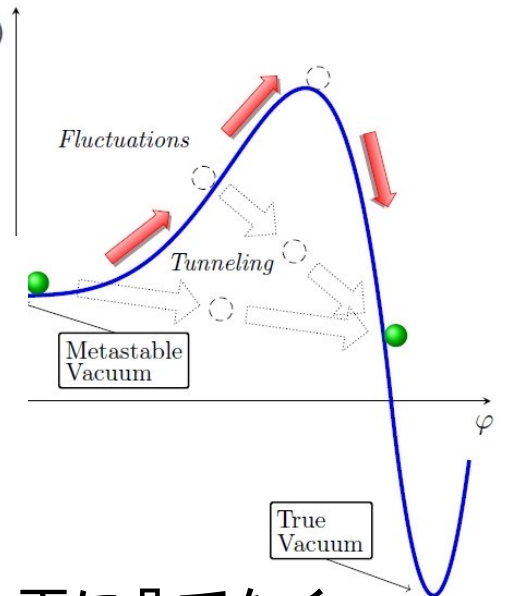
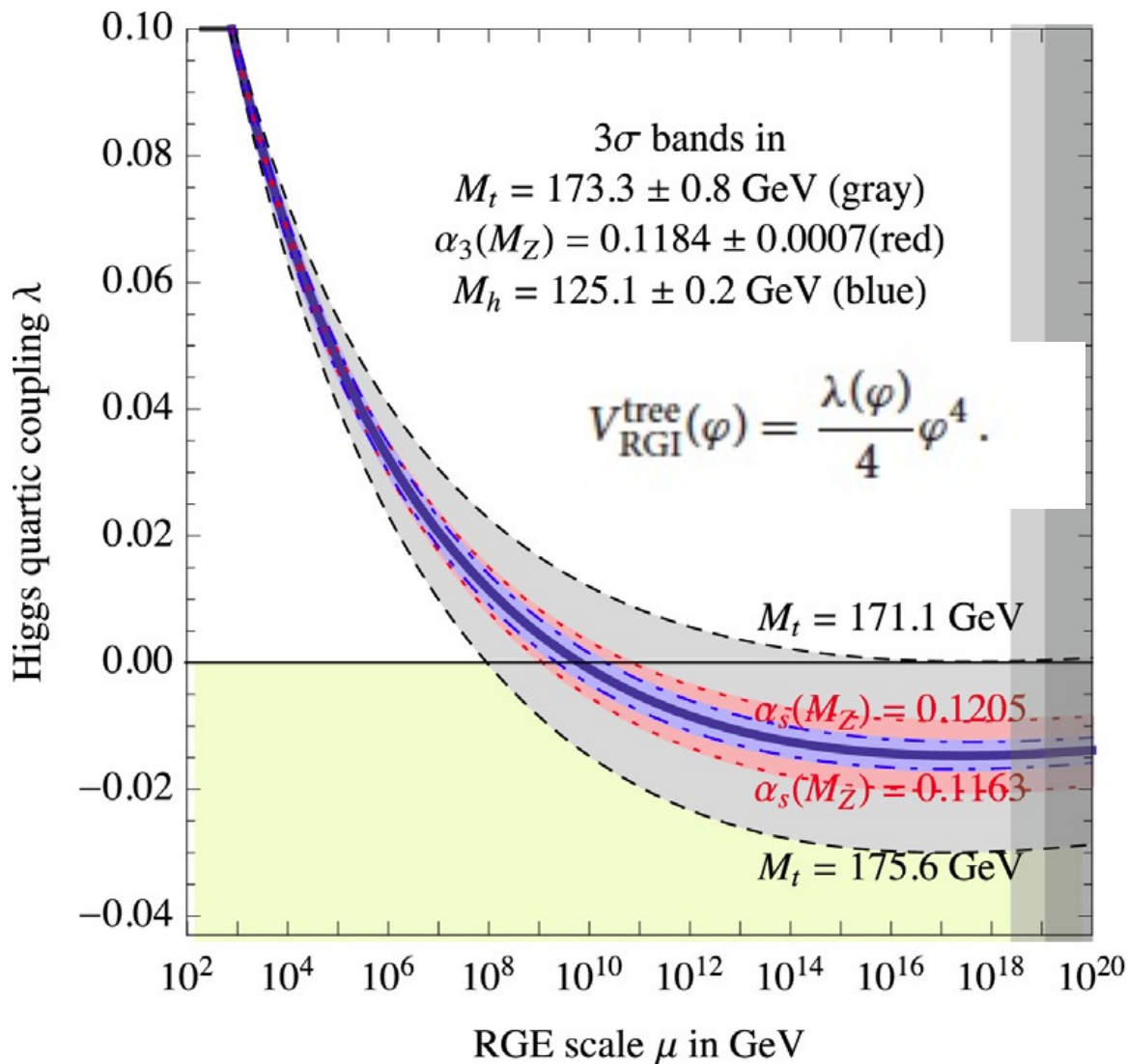
Higgsについて
一番
大切な
課題

6. ヒッグスの質量 0.2%の精度

電磁calのcalib.



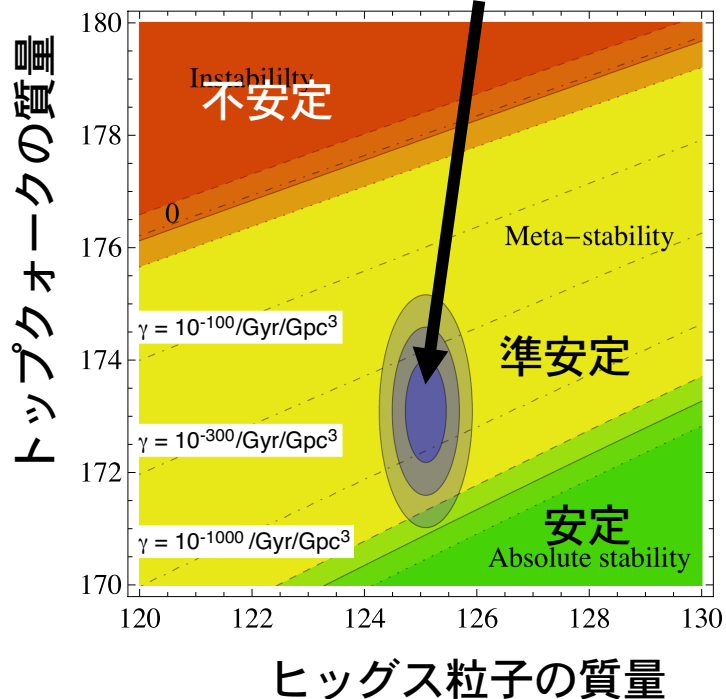
7. 125GeVが意味すること 1



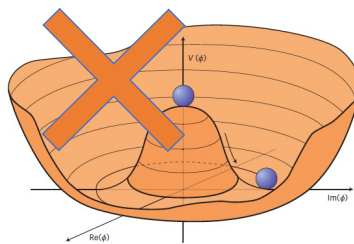
下に凸でなく
上に凸

標準理論：完全ではなく
 なんか、新しい真空が
 ある

我々の宇宙（真空）は



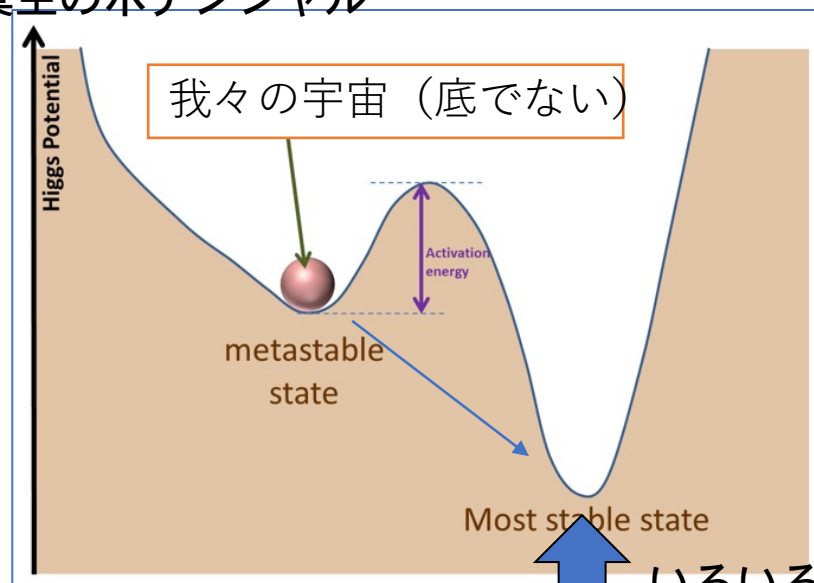
準安定：宇宙はある日、
大きな変化（相転移）で消えてしまふ！！！！



こんな簡単な話
ではなかった

イメージ

真空のポテンシャル



本当の底の存在の示唆

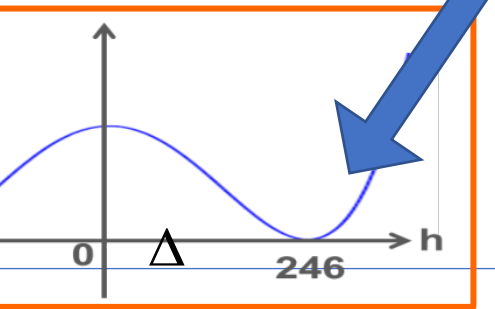
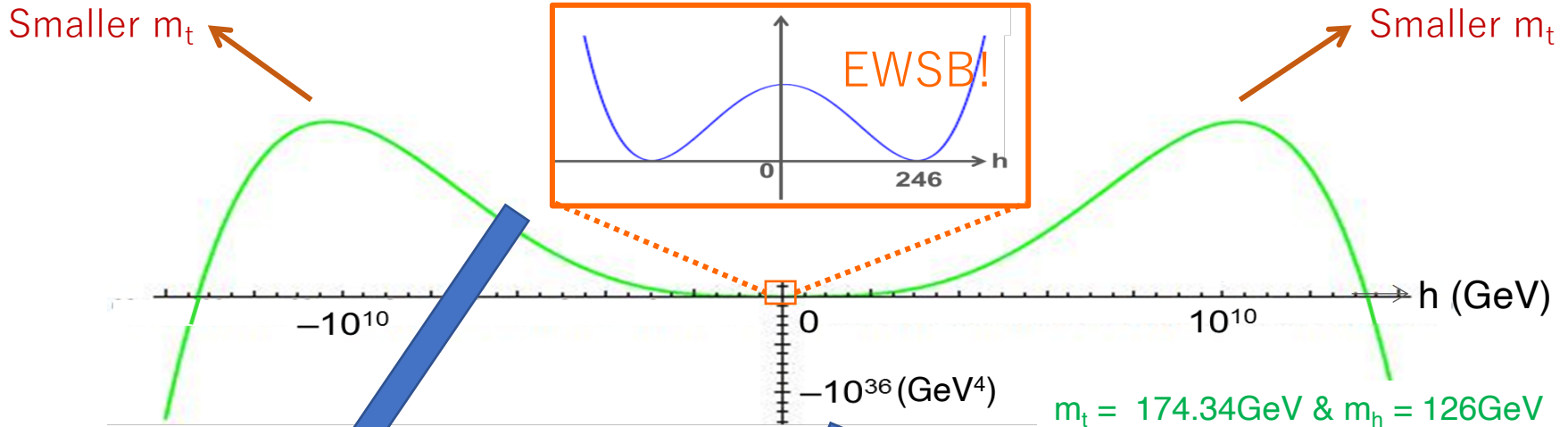
より高いエネルギーでの新現象の示唆

いろいろな
ヒッグスのエネルギー

宇宙がなくなる心配より
電弱スケールがいかに変か？

杞憂

謎 1 電弱スケール



Δ 1/120桁だけ
上にずれている

10桁～15桁
小さなスケールを
生み出し、安定させる何かアイデアやはり必要²⁹

$10^{11} \sim 10^{16} \sim 10^{18} \text{ GeV}$

125GeVが意味すること 2

SUSY危機？

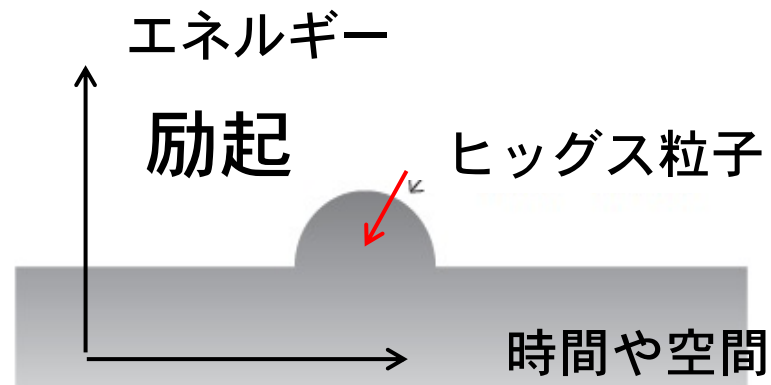
来週か再来週



8. ヒッグス粒子発見の意味

ヒッグス粒子が
すごいのではなく
ヒッグス場がスゴイ

- 粒子(gluon)と反粒子(gluon)を対消滅させた
エネルギーで真空“場”を励起させたら
- 弱い電荷を持った”粒子”
 - 真空に何か「弱い電荷の場」
が隠れていた

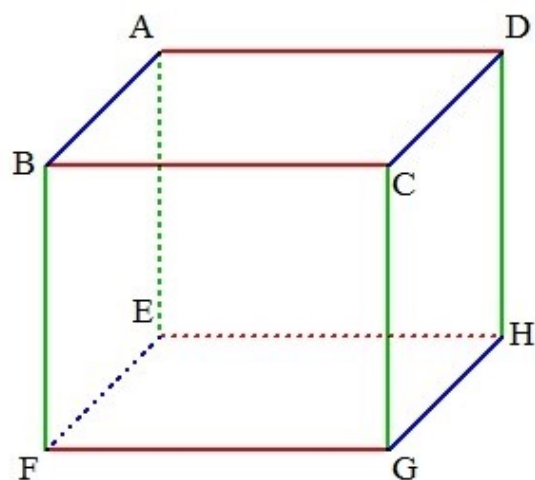


物質を形作る粒子
クォーク・レプトン

力を伝える素粒子
ゲージ粒子

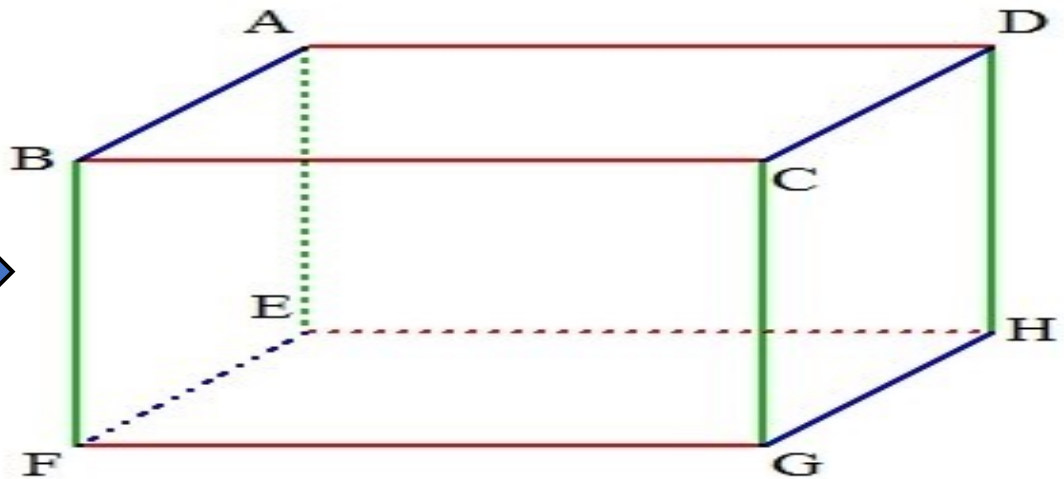
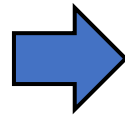
質量を生み出す
真空：ヒッグス場

不思議な真空のエネルギー



真空のエネルギーの密度

体積がN倍



エネルギーの密度 変わらない
体積 * 密度 = 総エネルギーがN倍

物質 $\rho \sim a^{-3}$ 輻射 $\rho \sim a^{-4}$ $\Lambda \sim \text{constant}$

真空のエネルギー → インフレーション

偽真空 Eにあると、 $a = \exp(Et)$ で指数関数的にスケールが宇宙のインフレーション膨張にしたがって、体積が大きくE（エネルギー）* Vがどんどん増加

相転移した時 → **ビックバン**

エネルギー・運動量 保存則は？

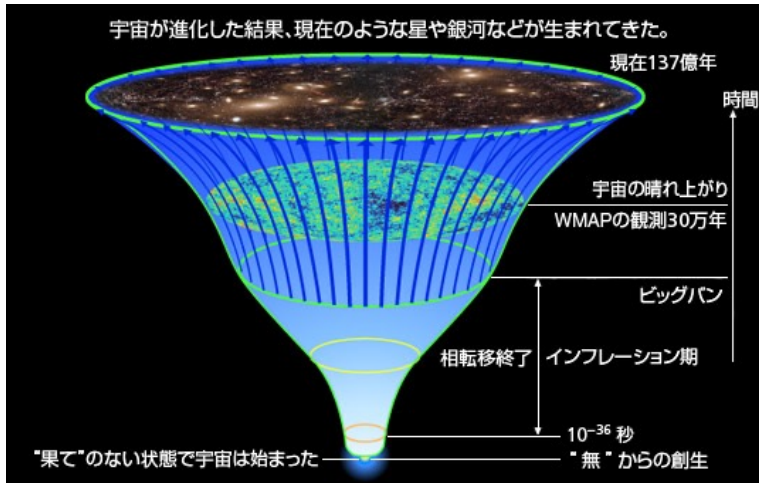
「昨日の物理法則と、今日の物理法則が同じだから、
「あっちの物理法則とこっちの物理法則が同じだから、

実はその程度のコト

エネルギー
保存則は絶対
です

エネルギー
運動量が保

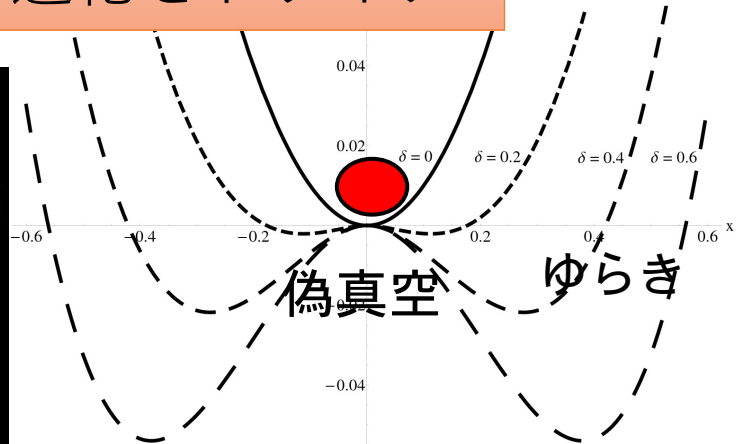
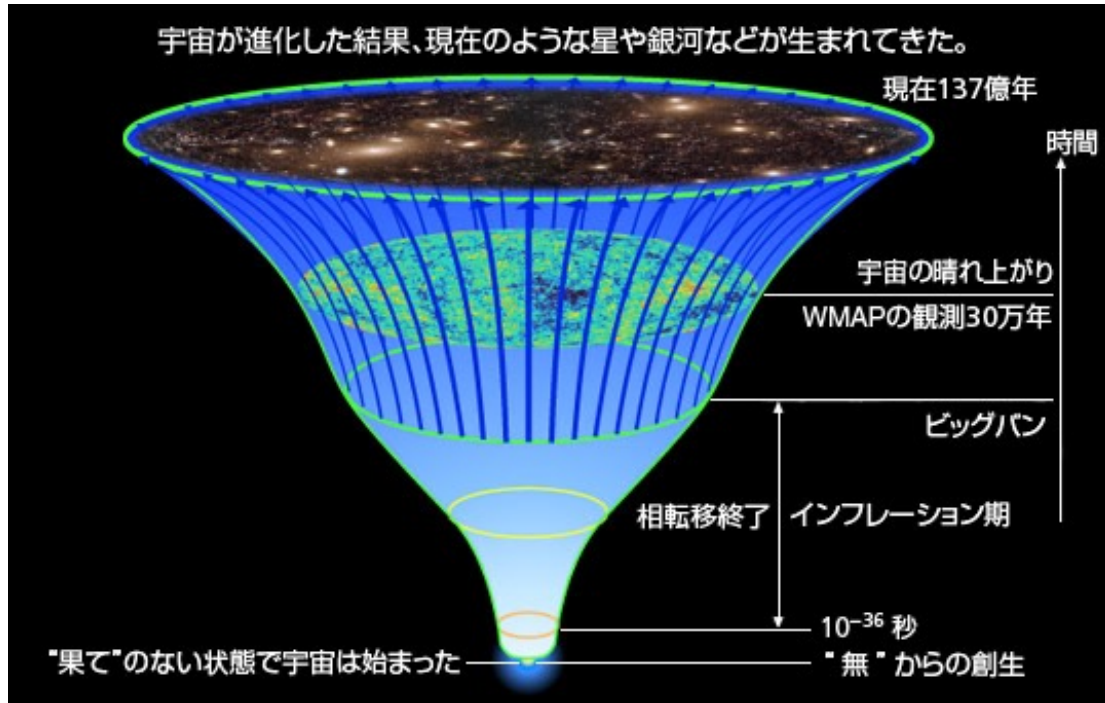
(営業妨害ではありません)



時間の始まりや
空間に端があったら
エネルギーや運動量は
保存しない。

ミクロな場がマクロに影響を及ぼす (真空の場：マクロな影響)

真空の状態の変化 (相転移) が宇宙の進化をドライブ



1. 量子的な揺らぎで
小さな時空が誕生
(おそらく今も、ここでも。)
小さい宇宙 (10^{-35} m)
2. (理由は?? たまたま?)
SSB (安定)
3. 宇宙は短時間 偽真空
エネルギーが
高い状態 E になる

4. インフレーションが起こる
 $a = a_0 \exp(Et)$
宇宙のサイズ a が 10^{30} - 10^{40} 倍
宇宙が 1-100m くらいのサイズ

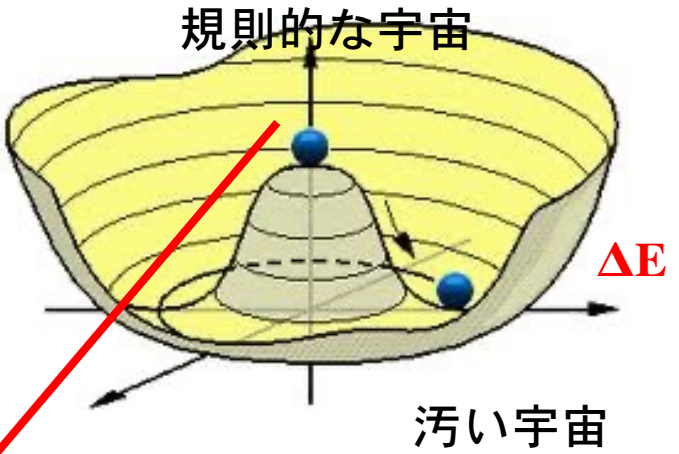
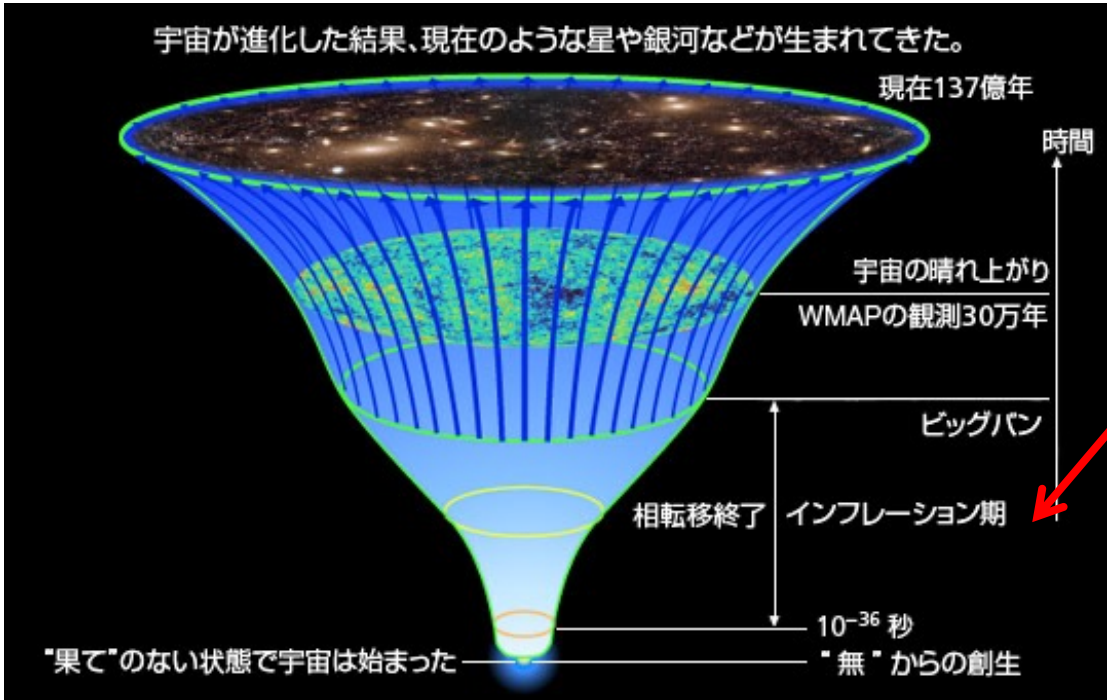
エネルギーが保存していない
(時間に端があると保存しない)

インフラトン、このヒッグス場でなく別の場? 多分

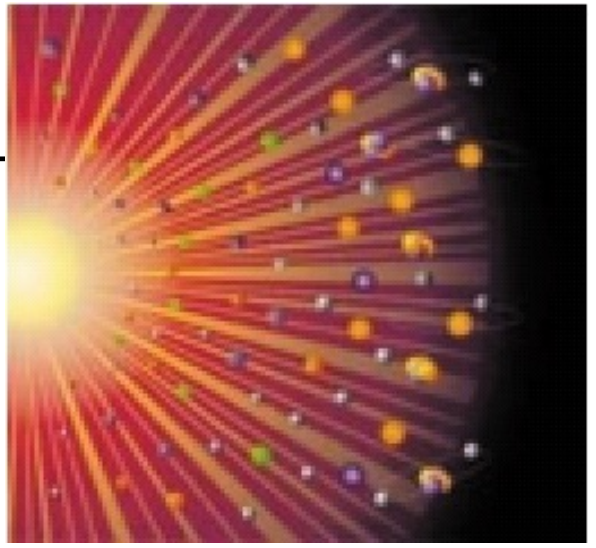
謎 5



宇宙の誕生の謎に迫る成果



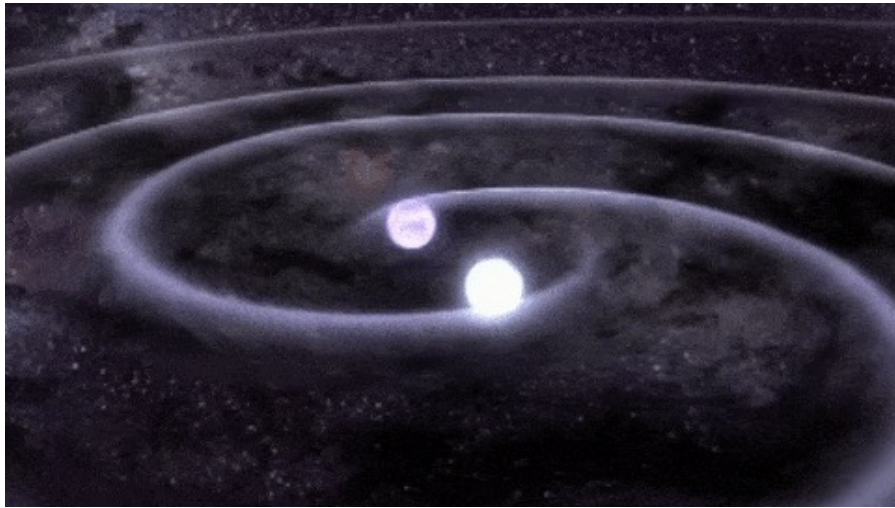
30~40桁倍されたエネルギー
「ビッグバン」として放出



インフレーションを起こすエネルギー

ビッグバンは、宇宙誕生（容れ物）でなく、物質誕生モノを生んだのは、真空の場

このヒッグスがインフレーションを起こしたか？
ヒッグスに兄貴分のヒッグスがおこしたか？
現在論争中。

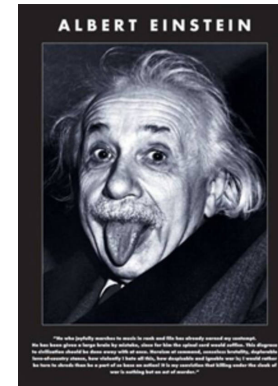


アインシュタイン方程式

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



時空の
曲がり方



エネルギー
があると
時空がまがる
!!??
何故??

人類最大の謎？

暗黒エネルギー
(観測値)



60桁違う



ヒッグス場がある
(実験事実)



角砂糖 1つの大きさ 10^{28}kg

人生最大の失敗なのか
人生最高の成功なのか？

→ 暗黒エネルギー

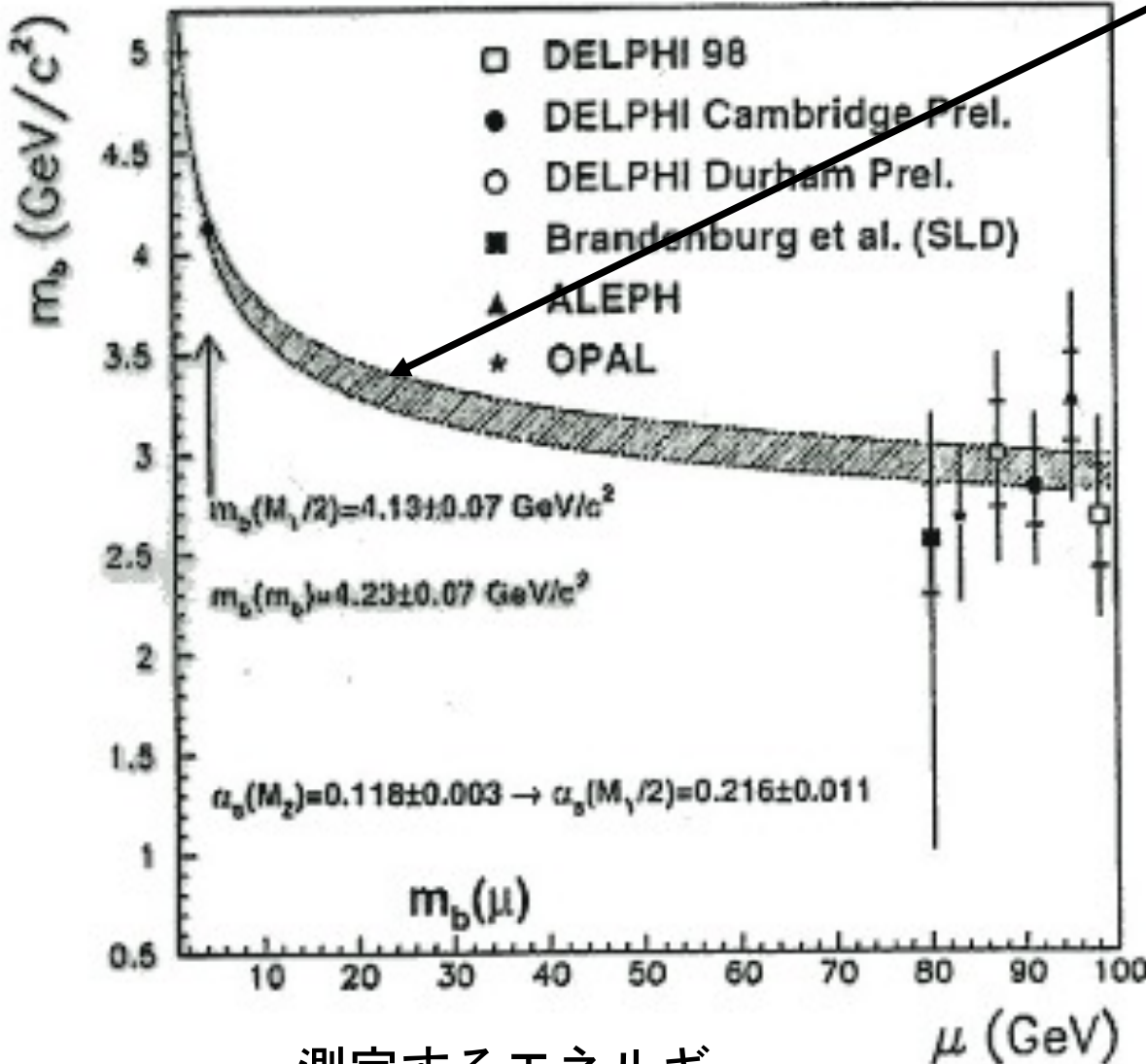
ミクロ量子論とマクロな一般相対性
理論 どう折り合いつけえるのか？

質量も測定するエネルギー
の関数

Bottom massのうち、QCDの衣 1-2GeV

$M_b=3\text{GeV}$
 $y_b=0.017$

$Y_{\tau}=0.01$



Higgs起源のmass

QCD:

qq が真空期待値

$\Lambda \sim 200\text{MeV}$

運動学的なmassをもつ

Chiral symmetry Breaking in QCD vacuum

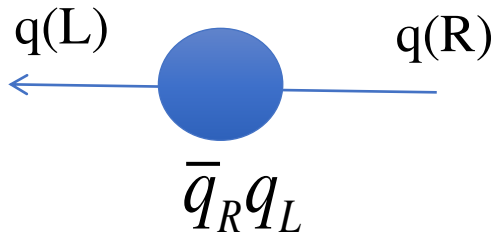
$\bar{q}q$

Color exchange for long range ($>1\text{fm}$) becomes strong, quark anti-quark system has strong bound and condensate dynamically in vacuum (QCD effect).

$$\langle \bar{q}q \rangle = \langle \bar{q}_R q_L \rangle + c.c.$$

This make mass ($\Lambda_{\text{QCD}} \sim 300\text{MeV}$)

Many part of hadron mass comes from QCD



This vacuum has also the same weak charge.

Analogy possible; QCD color \leftrightarrow Techni-color
 quark \leftrightarrow Techni-fermion
 Λ_{QCD} \leftrightarrow EW Scale

$v = 246\text{GeV}$

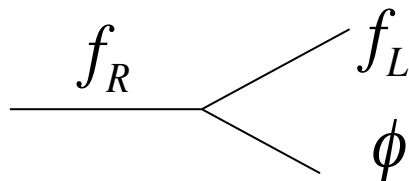
Higgs is composite or elemental ?



Techni-color

SUSY

真空にいっぱい



3章