

まとめ

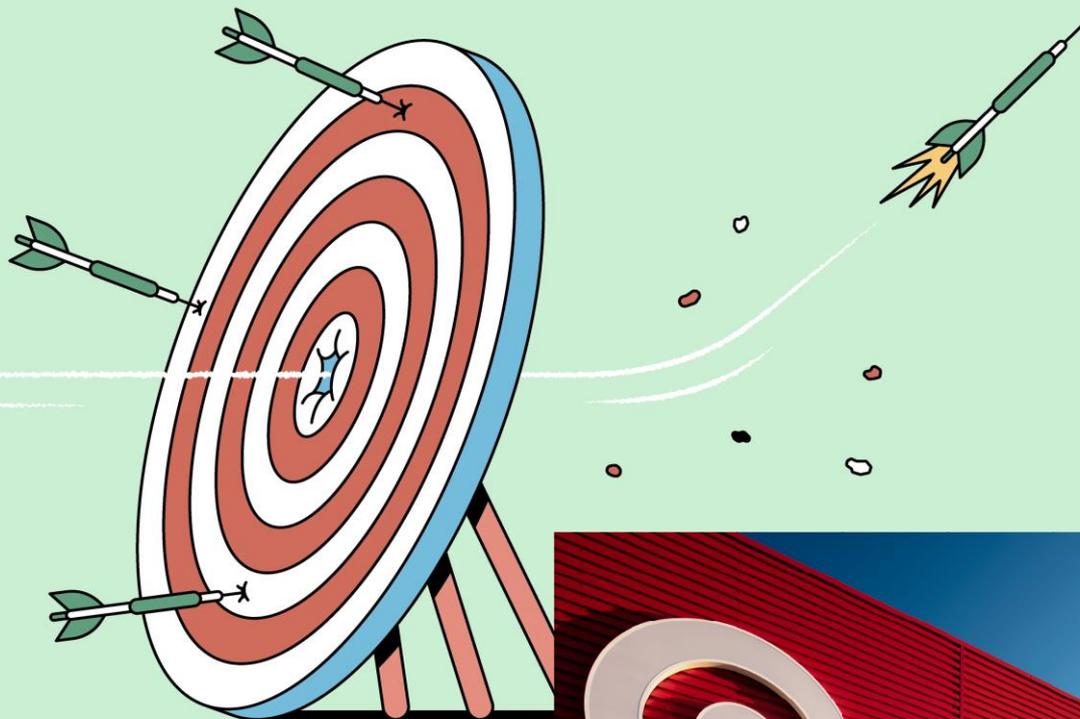


何故 円から線へが必要なのか？

浅井祥仁
(KEK)

次の新現象(?)スケール

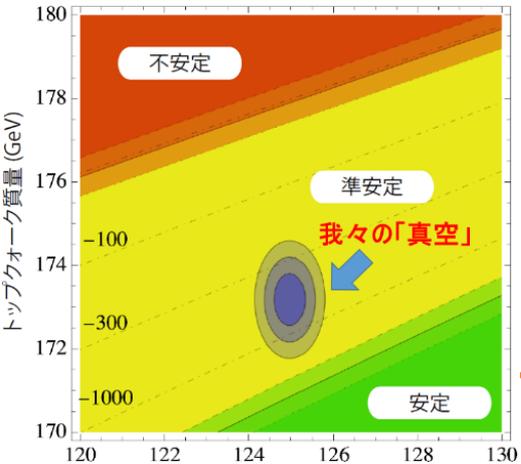
本当にTeV?



アメリカでの経験
「よくよく考えないと
入店して残念なことになる」

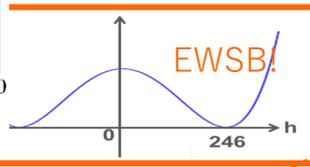


重要なテーマ

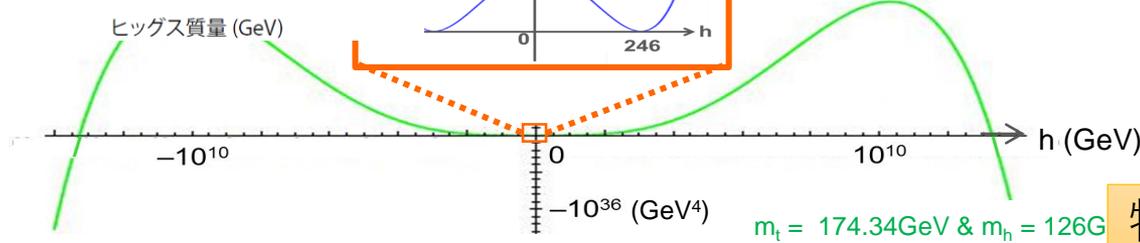
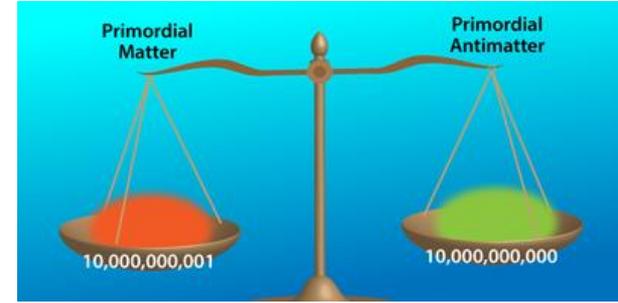


10^3 10^{10} , 10^{16} , 10^{19} GeV

EWスケール
無茶苦茶小さい



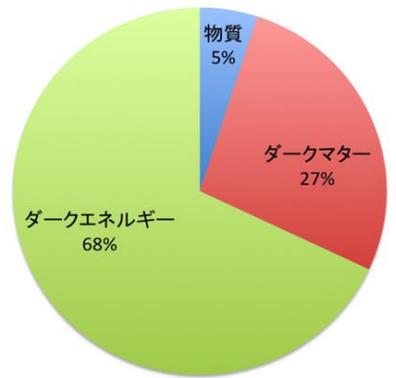
Smaller m_t



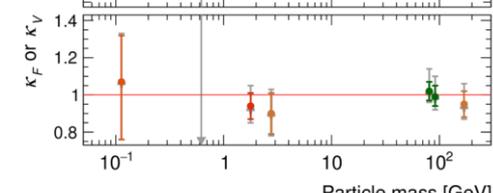
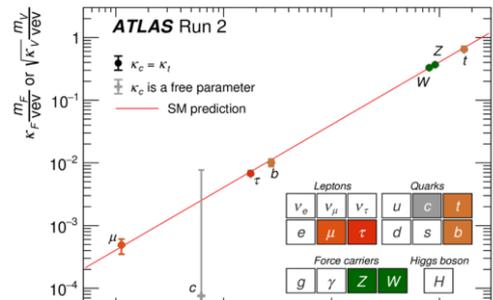
物質・反物質非対称性の起源?

電弱スケールの起源

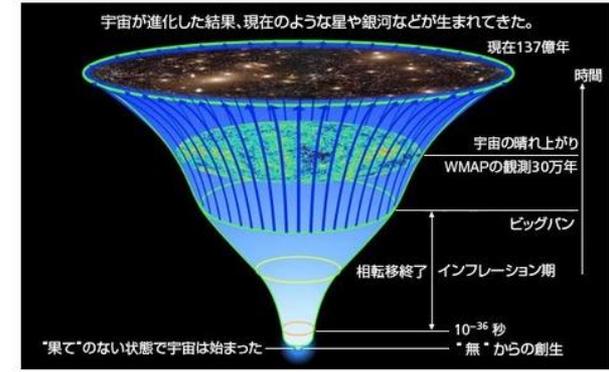
必然か偶然か?



暗黒物質・暗黒世界?



フレーバーの起源
湯川結合の構造?



インフレーションの起源?

ヒッグスファクトリー + 次のtarget



E-Upgradeのポテンシャル

直線加速器がもつポテンシャル

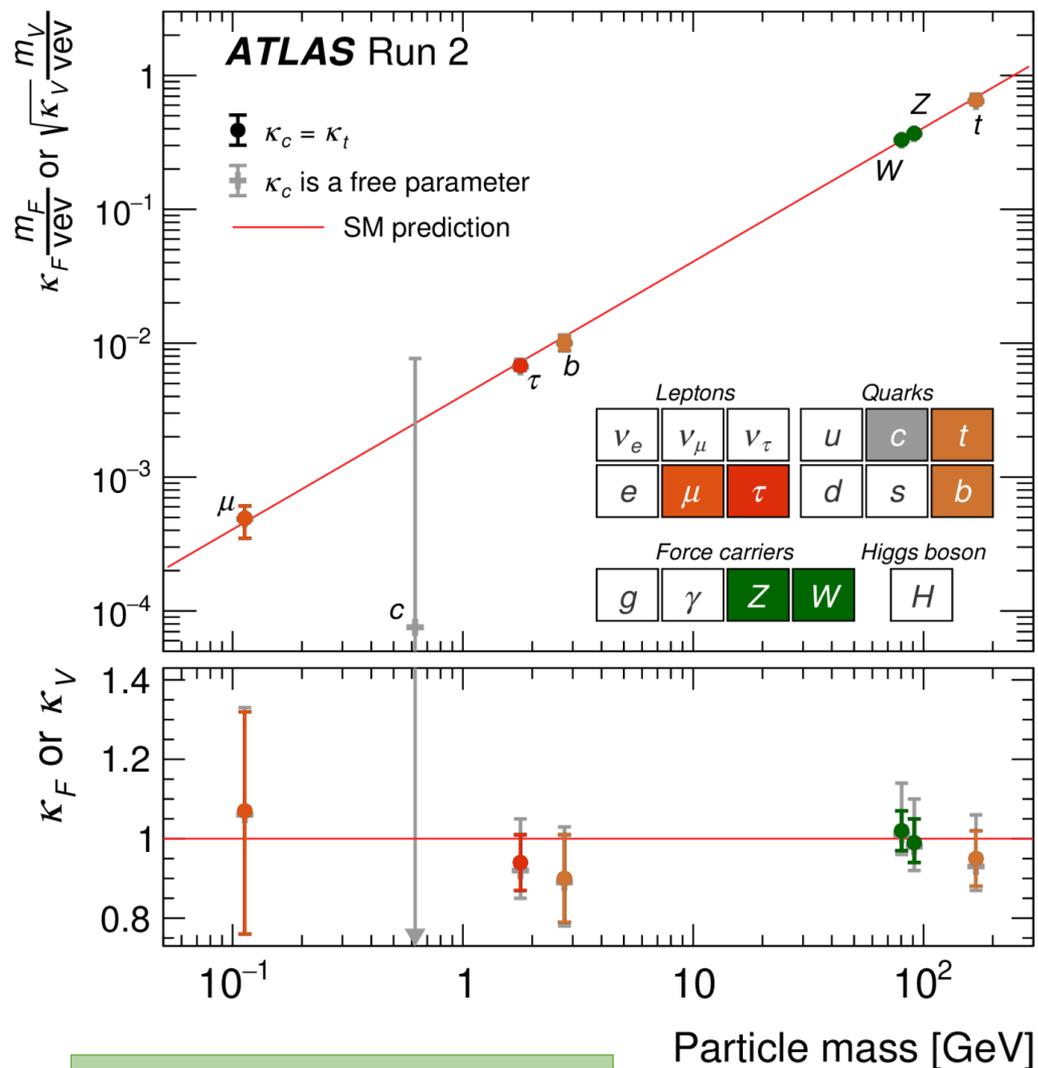
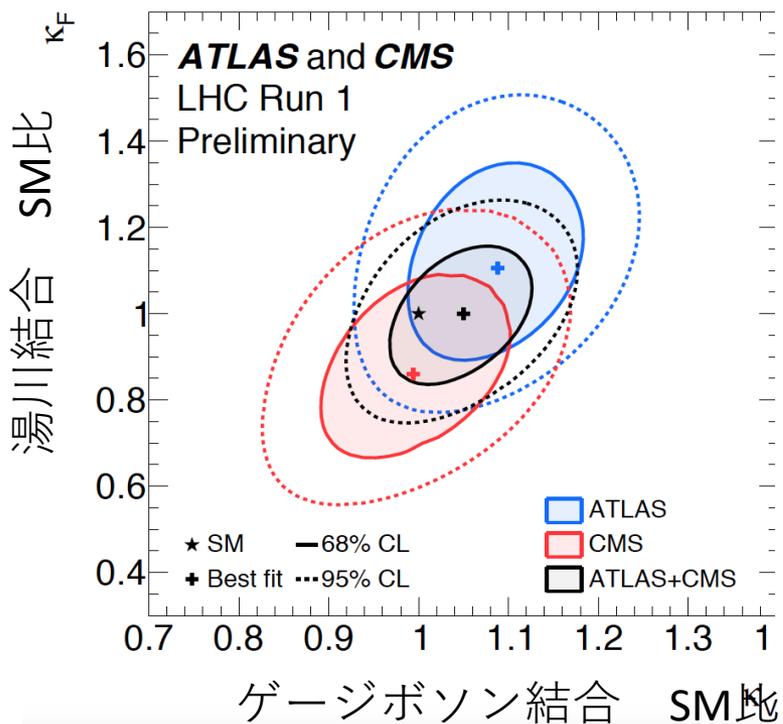
- 1) Current Design
250GeV
- 2) TW + 超伝導材料
~ 1 TeV
-> **Top+ Self coupling**
- 3) NC ?
~ Several TeV
-> **Wino/Higgsino**
- 4) Plasma加速
100GV/m ?
1PeV コライダー
(e^+ 駄目なら $\gamma\gamma$?)
-> **100TeV SUSY?**

1) ヒッグス結合強度

@ $\sqrt{s}=250\text{GeV}$

- 1) 湯川結合：
フェルミオンの質量の起源
- 2) 世代をつくっているのは、
ヒッグス（フレーバーの謎）

誤差まだ10%程度(Z/W/第3世代)

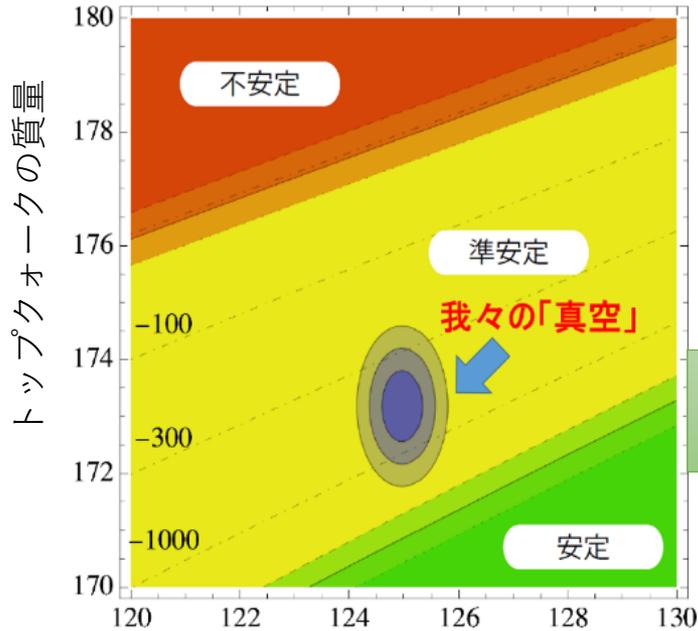


2HD $\sim 2\text{TeV}$

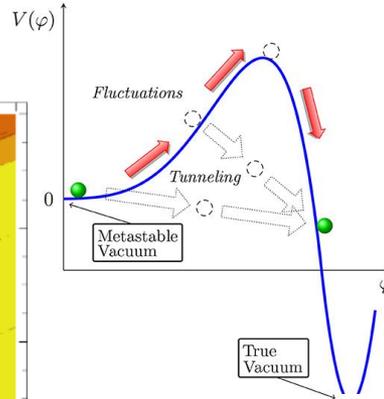
2) ヒッグス自己結合

@ $\sqrt{s} \sim 1\text{TeV} + 350\text{GeV}$

LHCの研究成果



ヒッグス粒子の質量



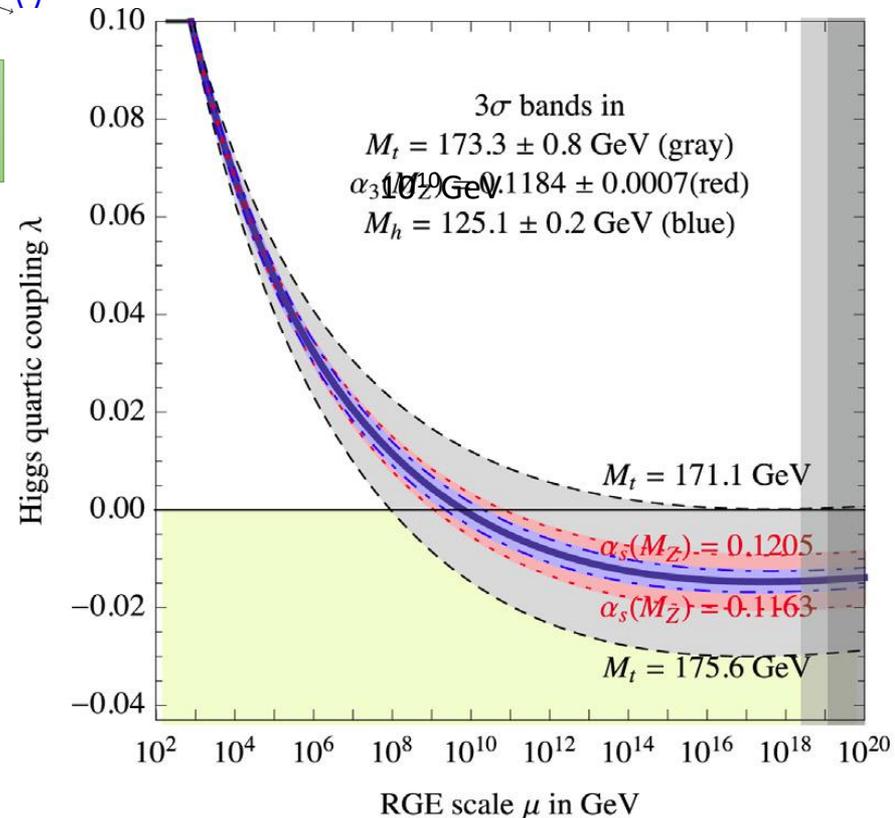
新現象の示唆
!! ??

$$V_{\text{RGI}}^{\text{tree}}(\varphi) = \frac{\lambda(\varphi)}{4} \varphi^4.$$

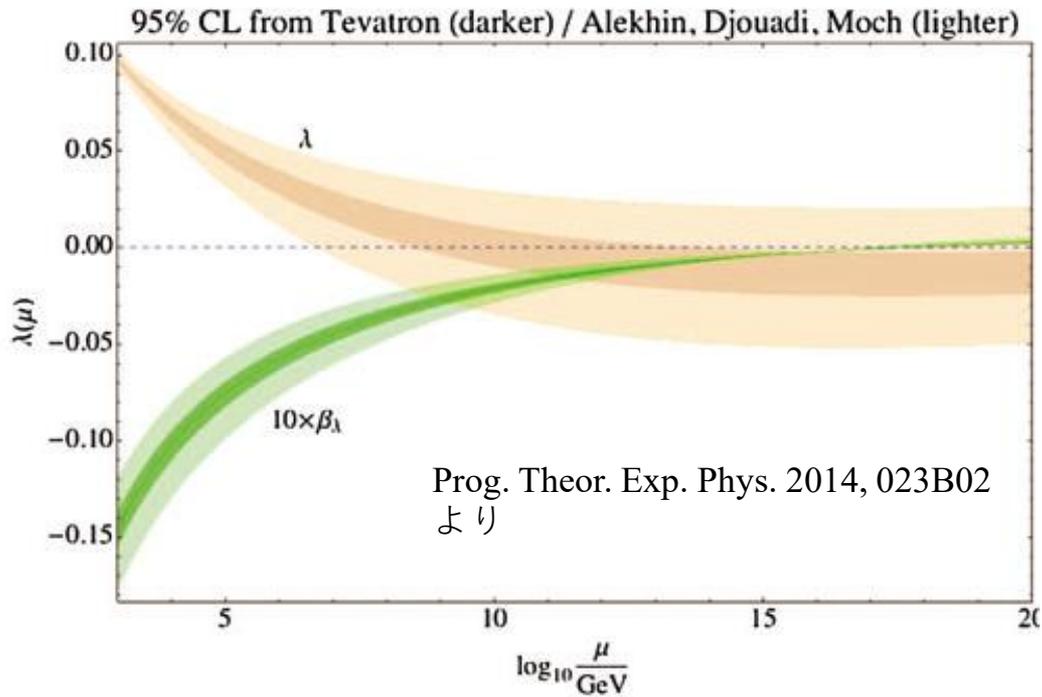
Higgsの質量が Self coupling λ からと仮定して、

→ running (top Yukawa)

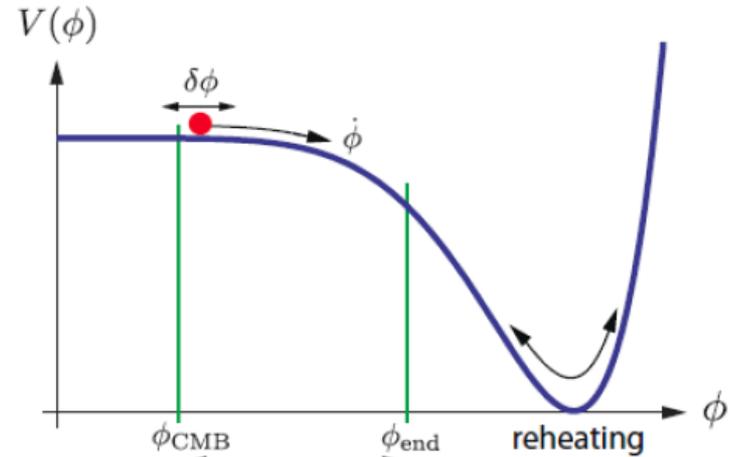
10¹⁰ GeV くらいで $\lambda < 0$
たまたま?
 ν_R mass との関係 ?



Higgs インフレーション??



ゆっくりとした ($\beta \sim 0$) ポテンシャルの間に
インフレーション：観測データ



[Source - arXiv:0907.5424]

Higgs がインフラトン？

Potentialの傾き(β 関数)がゼロ？
 λ の値は 負？

zero? \leftarrow top mass / λ / 新粒子の効果などが大事

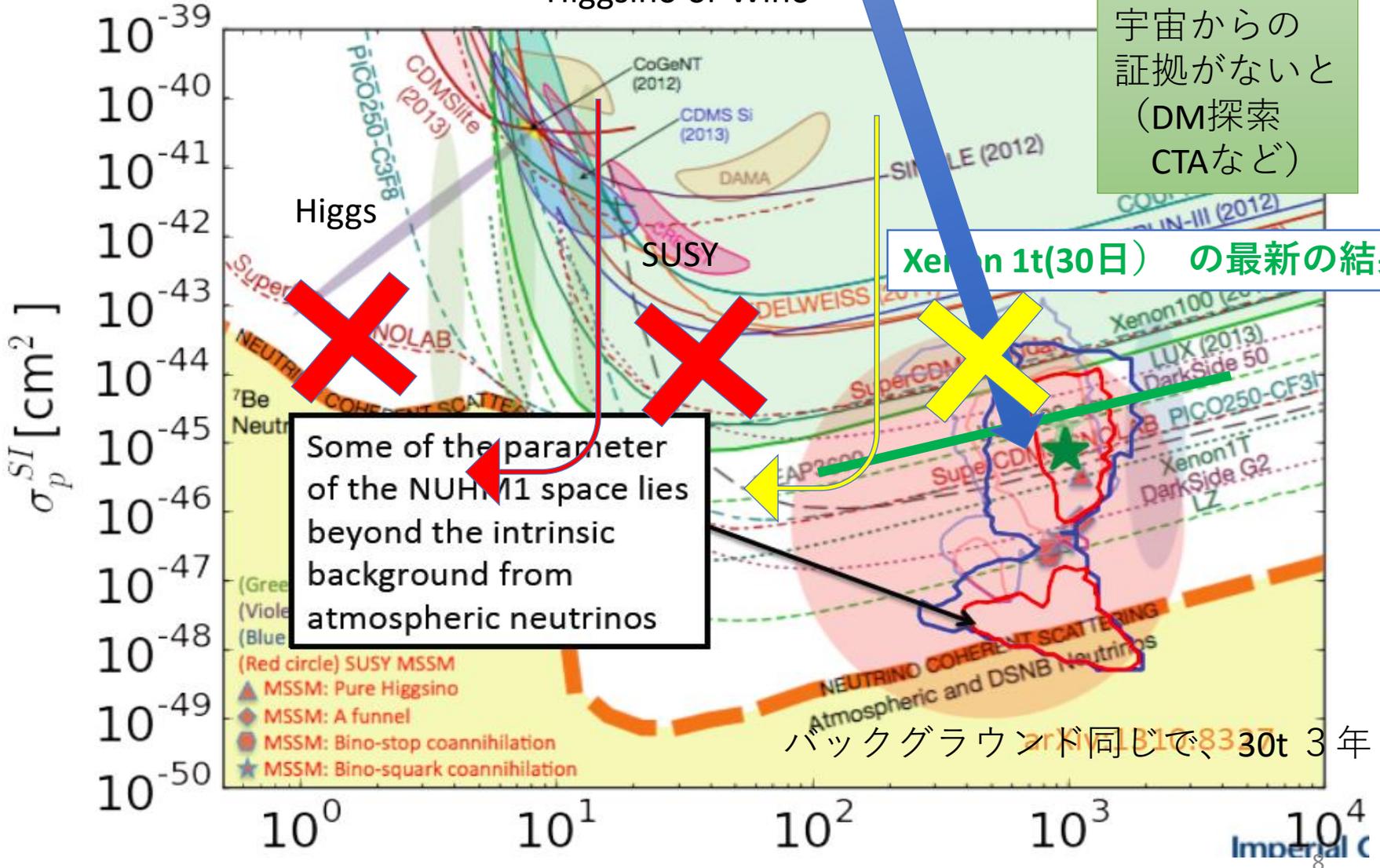
もし SM しかなかったら

3) WIMP DM $v_s = 10 \text{ TeV}$

★：今のLHCのいろいろな結果
が予言する望ましいところ（500-3000GeVの
ところ）

Higgsino or Wino

宇宙からの
証拠がないと
(DM探索
CTAなど)



4) 超対称性のあるとき ヒッグス粒子の質量

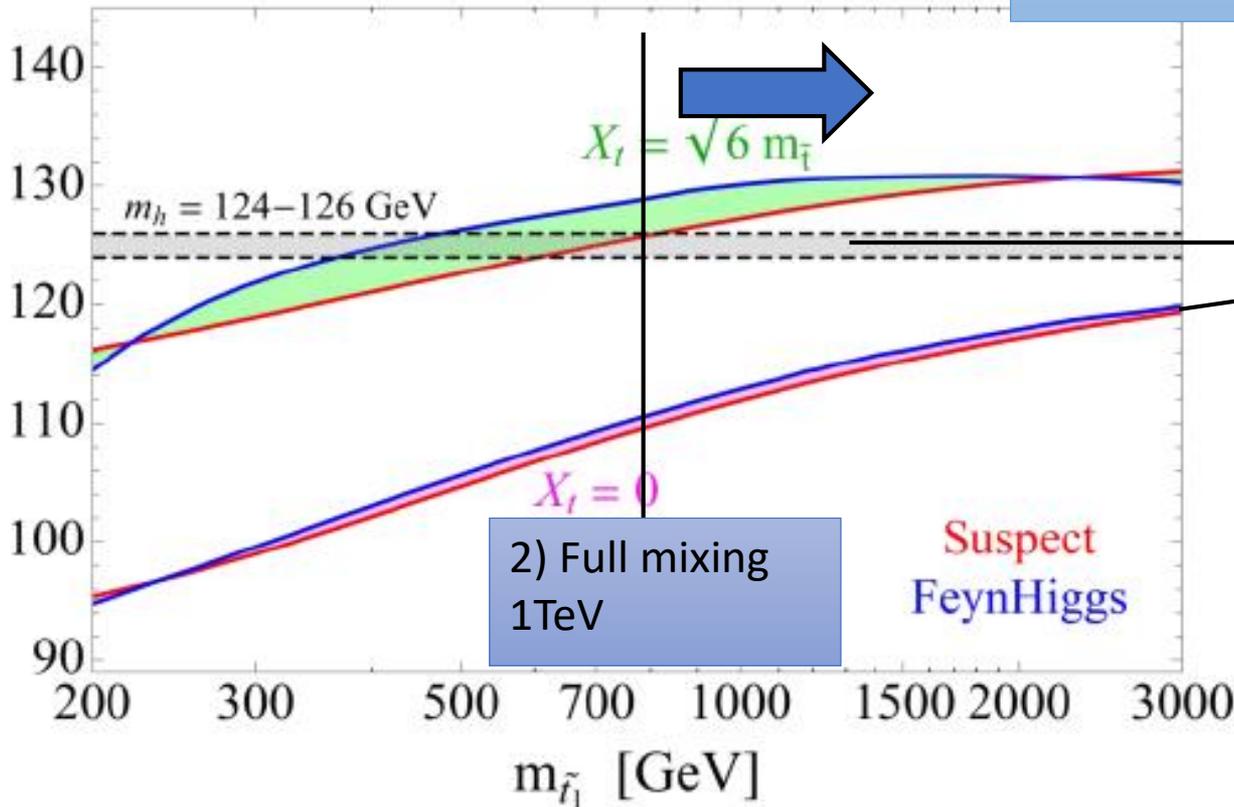
MSSM ヒッグスの質量

$$m_h^2 \simeq m_Z^2 \cos^2 2\beta$$

$$+ \frac{3m_t^4}{4\pi^2 v^2} \left[\log \left(\frac{M_S^2}{m_t^2} \right) + \frac{A_t^2}{M_S^2} \left(1 - \frac{A_t^2}{12M_S^2} \right) \right]$$

定量的に

- Mixingがないとき
スカラートップは
10-100TeV



2) Full mixing
1TeV

スカラートップ
クォークの質量
10-100TeV

3) NMSSM

$$X_t \equiv \underline{A_t} - \mu \cot \beta$$

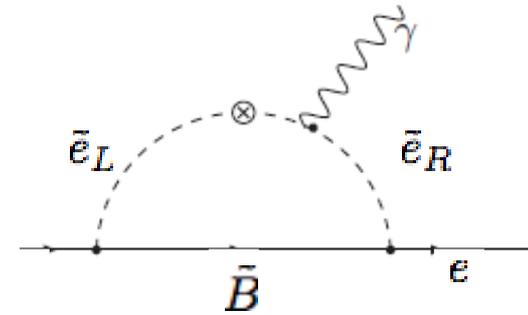
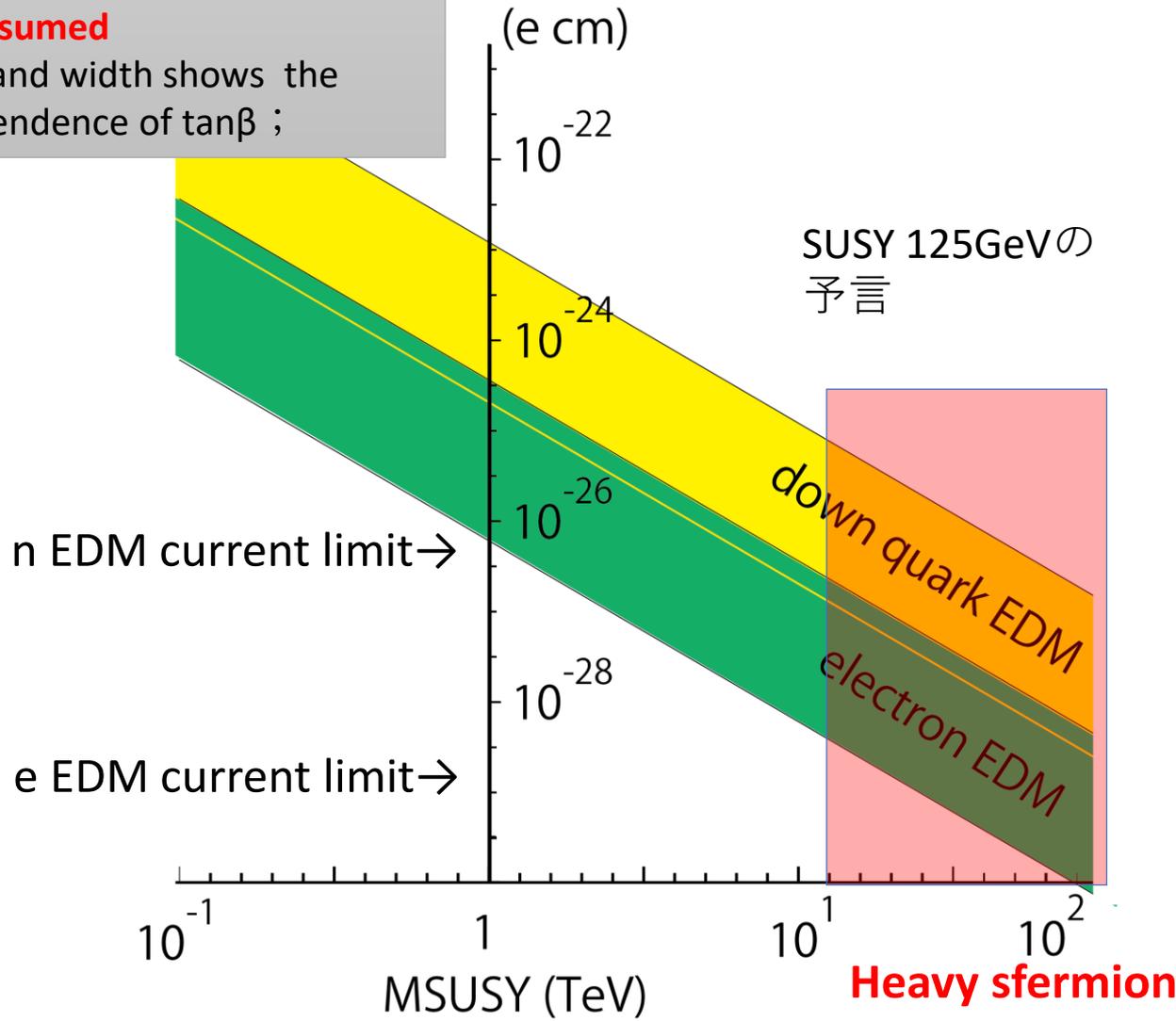
3点結合

Electric Dipole M からの制限(ACME/n)

EDM prediction as a function of scalar mass.

* **Maximum CP violation is assumed**

* Band width shows the dependence of $\tan\beta$;



10^{-30} for eEDM
 10^{-28} for nEDM

Squark, Selectron

$>10 \sim 100$ TeV

中性子からの制限 (-28へ)
 電子からの制限 (-31へ)

おまけ

観測 vs 理論

スカラー型揺らぎ

$$P_{\mathcal{R}} = A_s \left(\frac{k}{k_0} \right)^{n_s - 1}$$

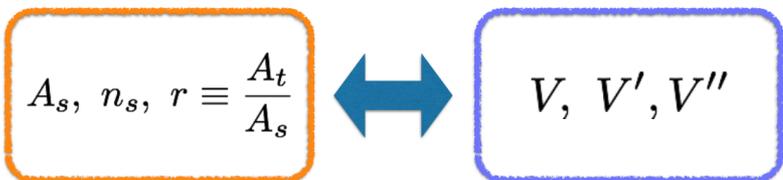
テンソル型揺らぎ

$$P_t = A_t \left(\frac{k}{k_0} \right)^{n_t}$$

$$A_s = \frac{V^3}{2\sqrt{3}V'^2},$$

$$n_s = 1 + 2\frac{V''}{V} - 3\left(\frac{V'}{V}\right)^2,$$

$$r = 8\left(\frac{V'}{V}\right)^2$$

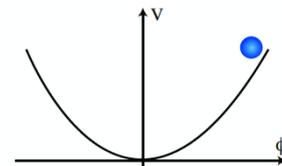


V: the inflaton potential

Bmode がすぐに見えた場合

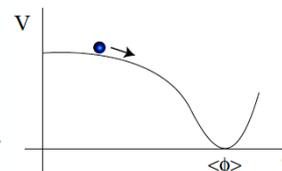
Large-field inflation

$$\Delta\phi \gtrsim M_P \quad V \propto \phi^n \quad \epsilon, \eta \propto \left(\frac{M_P}{\phi} \right)^2$$



Small-field inflation

$$\Delta\phi \lesssim M_P \quad V = V_0 - \frac{1}{2}m^2\phi^2 - \lambda\phi^4 + \dots$$

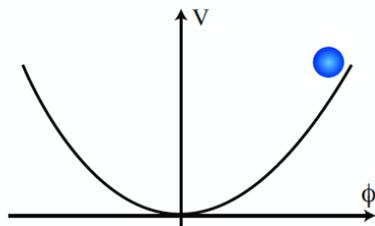


高橋さんスライドより

・典型的なinflation energy scale ~ GUT scale

・典型的なinflaton mass ~ 10¹²⁻¹³ GeV

SUSY breaking? Seesaw scale → RH sneutrino?



SUSYシナリオ

T_R > 10⁸⁻⁹ GeV
レプトジェネシス

SUSY Braking

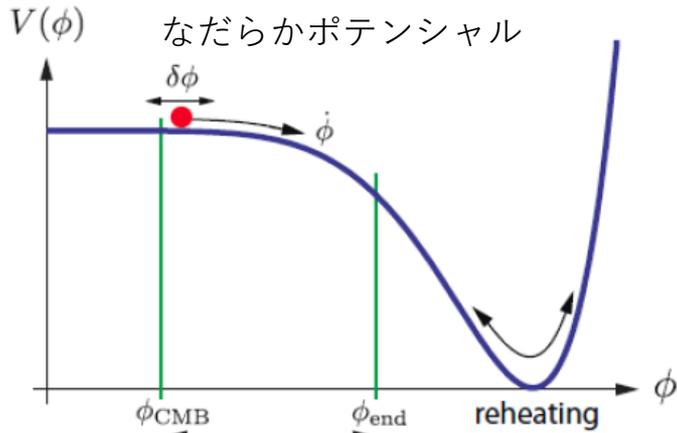
GMよりはAMSB, SUGRA
右巻き ニュートリノ

Higgs/EWの研究 @ILC

DM探索

→ SUSYのスケール・アップグレード

Bmode がなかなか見つからない場合



[Source - arXiv:0907.5424]

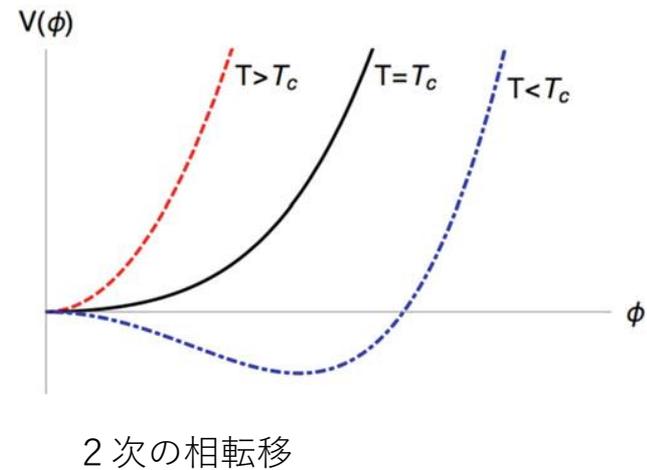
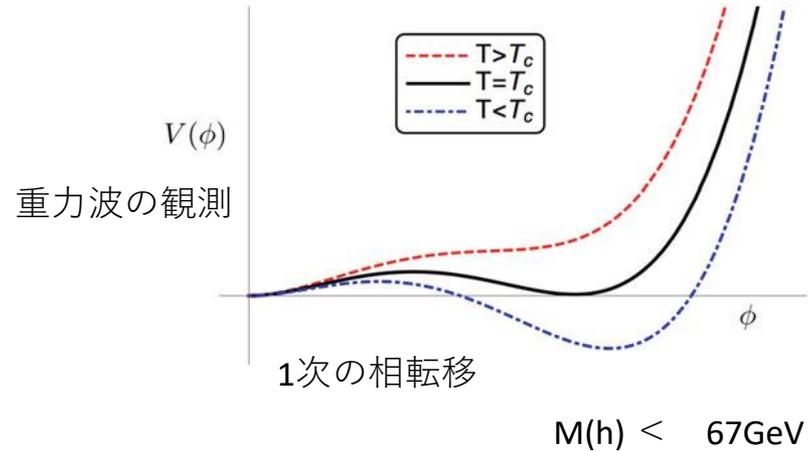
Non minimal couplingをいれた
Higgs インフレーション?

Higgs場と重力の結合が分かるかも

Higgs / 2 HD/ Singlet Scalar
/ Top Yukawa の研究



電弱バリオジェネシス



EDMないから
おしまいと
言う簡単な
問題ない

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{2} D_f \bar{f}_R \sigma^{\mu\nu} f_L F_{\mu\nu} + \text{h.c.}$$

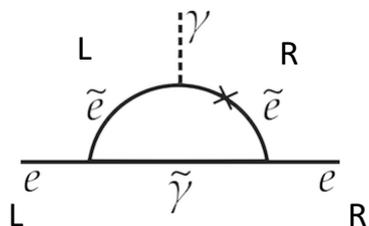
EDMと muon g-2
は、不自然な
位相の小ささを示唆

$$a_f \equiv \frac{g-2}{2} = \frac{2|m_f|}{Q_f e} \text{Re}(D_f)$$

違い

- ・ 位相 δ (EDMは虚部)
- ・ 電子か、 μ が $(200)^2$ ちがう

$$d_f = \text{Im}(D_f)$$



複素位相は
なんで
こんなに
小さいの？

	g-2	EDM
電子	$(-10.5 \pm 8.1) \times 10^{-13}$ 1×10^{-13}	$ d_e < 4.1 \times 10^{-30} \text{ ecm}$ $ d_\mu < 1 \times 10^{-27} \tan\delta (\text{smu/sele})^2 \text{ ecm}$
Muon	$(251 \pm 59) \times 10^{-11}$	$ d_\mu < 1 \times 10^{-19} \text{ ecm}$ $ d_\mu < 1 \times 10^{-23} \tan\delta \text{ ecm}$

- ・ 電子の g-2はあと 1桁改善が必要
- ・ MuonのEDMは 最低でもあと 4桁改善が必要

ILC

HK/LFV

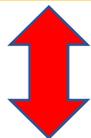
Belle2

CPの破れが大事 (Higgs, Lepton, Quark 別々に)

- 1) **ヒッグスCPの測定** (ILC250)
- 2) κ の精密測定 (ILC250+HL-LHC)
- 3) **他のCPの吟味** (SuperKEKB、HK)
- 4) EDM・LFV測定と1) 2) 3) とのconsistency
- 5) SingletのLH-LHCでの発見
- 6) 宇宙空間での重力波検出

全部がうまくいくと
EWバリオジェネシスシナリオ

強い結合の複数ヒッグス場
→ ランダウポール
10-1000TeVにあたらしい現象

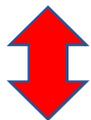


レプトジェネシスシナリオ

- 1) **ニュートリノCPの発見**
- 2) マヨラナ (ダブル β decay)の発見
- 3) CPの理解

高いエネルギースケール(GUT or 10^{11} GeV)の存在の示唆

λ が負になるエネルギースケール



No new CPV

自然さ?

SUSY探索

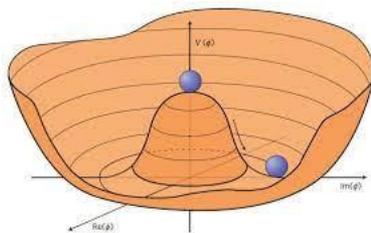
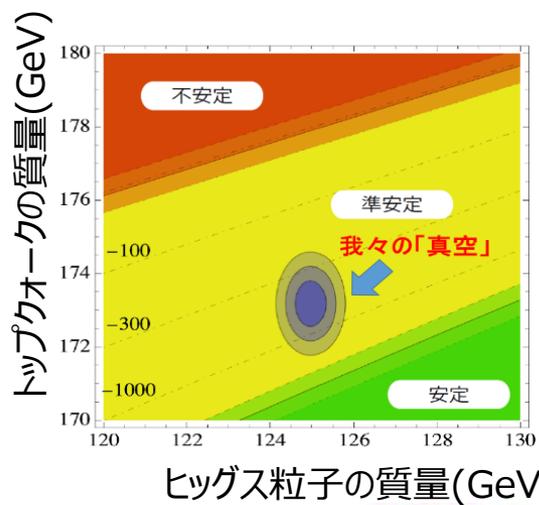
陽子崩壊

LFV

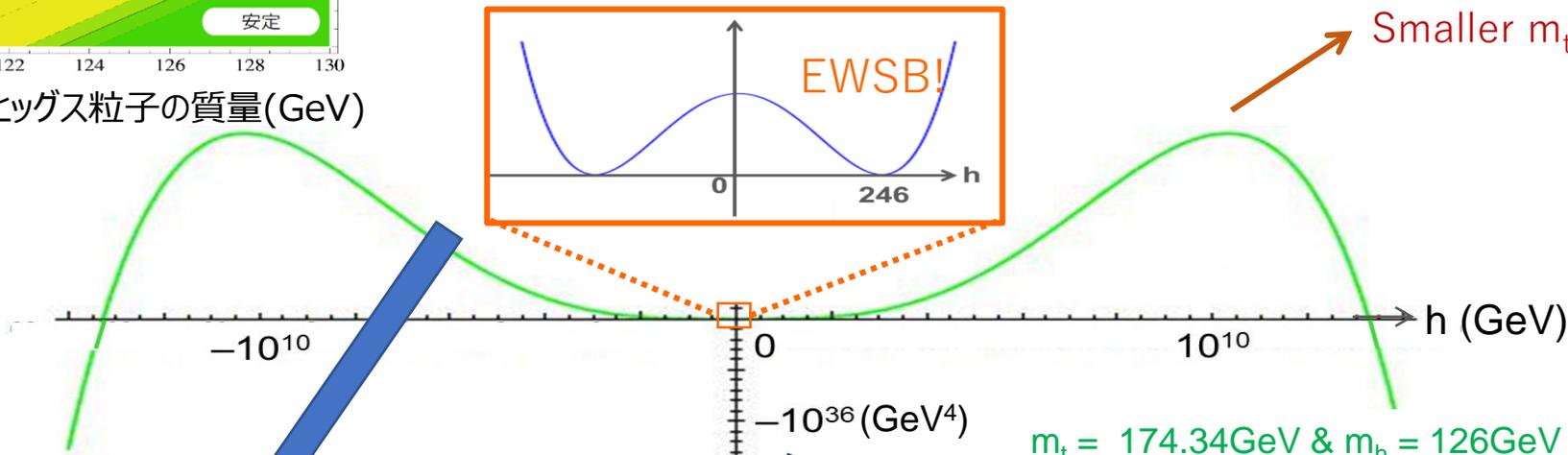
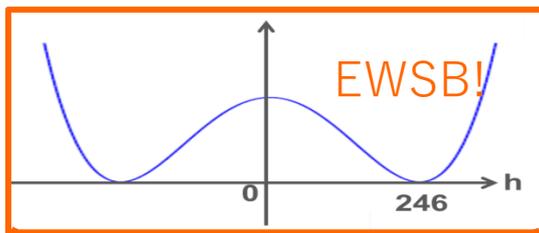
アップグレードILC /HL-LHC

HK

SuperKEKB、 $\mu \rightarrow e\gamma$ ・conv.

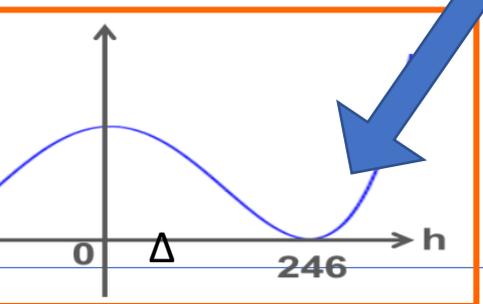


電弱スケールのへん!



$m_t = 174.34 \text{ GeV} \ \& \ m_h = 126 \text{ GeV}$

松本さん：センターwinter school の講義より



Δ 1/120桁だけ
原点から
ずれている?

10桁～15桁
何故電弱スケールが
存在し、安定させる何かアイデアやはり必要
SUSY?

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

GUT/Planck ?

この真空のポテンシャルの形

相転移のメカニズム

インフレーション

暗黒エネルギーと真空のエネルギー

ILC, HL-LHC, 重力波、CMB, Qセンサー、量子情報

包括的に

2HDモデルへの感度

Small $\tan\beta$ では、 $H \rightarrow \tau\tau / bb$ が Suppressされて LHCでのdirect searchが難しくなる。
Small $\tan\beta$ (~ 10)をどうカバーするか？

ILC250とHL-LHC/SuperKEKBのsynergy

W/Zとの結合で、 $\tan\beta$ が小さい所をみる

$$\kappa_V^2 = \sin^2(\beta - \alpha)$$

