

最新結果を踏まえた コライダー実験の将来展望

大阪大学・花垣和則

高エネルギー物理学将来計画検討小委員会

コメント

- ❖ 湯川秀樹「一つの学問には必ず、新しい仮説が
どんどん生まれるロマンチックな時代と、重箱
の隅をつつくような細かい研究が続くアカデミ
ズムの時代がある」
 - ▶ 実験家
 - ◎ 過去30年間重箱の隅をつついている
 - ◎ ロマンチックな時代の幕開けは近い (はず)
- ❖ コライダー実験の将来はバラ色 (のはず)

コライダー実験の めざすもの

Lagrangian in the GWS Model

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L} = & \bar{\nu}(i \not{\partial} - m_\nu)\nu + \bar{l}(i \not{\partial} - m_l)l + \frac{1}{2}(\partial_\mu \chi \partial^\mu \chi - \mu^2 \chi^2) \\
 & - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}^i F^{i\mu\nu} + m_W^2 W_{+\mu}^* W_+^\mu - \frac{1}{4}G_{\mu\nu} G^{\mu\nu} + \frac{m_Z^2}{2} Z_\mu Z^\mu \\
 & + eA_\mu (\bar{l} \gamma^\mu l) - \frac{g}{\sqrt{2}} [W_+^\mu (\bar{\nu} \gamma^\mu P_L l) + c.c.] \\
 & - \bar{g} Z_\mu [\bar{\nu} \gamma^\mu (s_{\nu L} P_L + s_{\nu R} P_R) \nu + \bar{l} \gamma^\mu (s_{l L} P_L + s_{l R} P_R) l] \\
 & + \frac{2v\chi + \chi^2}{4} (g^2 W_{+\mu}^* W_+^\mu + \frac{\bar{g}^2}{2} Z_\mu Z^\mu) \\
 & - \frac{m_l}{v} \chi (\bar{l} l) - \frac{m_\nu}{v} \chi (\bar{\nu} \nu) \\
 & + \dots
 \end{aligned}$$

Lagrangian in the GWS Model

$$\begin{aligned}\mathcal{L} = & \bar{\nu}(i \not{\partial} - m_{\nu})\nu + \bar{l}(i \not{\partial} - m_l)l + \frac{1}{2}(\partial_{\mu}\chi\partial^{\mu}\chi - \mu^2\chi^2) \\ & - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}^i F^{i\mu\nu} + m_W^2 W_{+\mu}^* W_+^{\mu} - \frac{1}{4}G_{\mu\nu}G^{\mu\nu} + \frac{m_Z^2}{2}Z_{\mu}Z^{\mu}\end{aligned}$$

わかった気になるのは早過ぎ

$$\begin{aligned}& - \bar{g}Z_{\mu}[\bar{\nu}\gamma^{\mu}(s_{\nu L}P_L + s_{\nu R}P_R)\nu + \bar{l}\gamma^{\mu}(s_{l L}P_L + s_{l R}P_R)l] \\ & + \frac{2v\chi + \chi^2}{4}(g^2 W_{+\mu}^* W_+^{\mu} + \frac{\bar{g}^2}{2}Z_{\mu}Z^{\mu}) \\ & - \frac{m_l}{v}\chi(\bar{l}l) - \frac{m_{\nu}}{v}\chi(\bar{\nu}\nu) \\ & + \dots\end{aligned}$$

怪し過ぎるヒッグスセクター

❖ ゲージ不変性から

- ▶ gauge boson massless
- ▶ fermion not necessarily massless

⇒ なぜ同じヒッグス機構？

❖ 湯川結合定数：新しい相互作用？

- ▶ 全てのフェルミオンに固有の値

⇒ なぜ結合する相手を認識できるのか？

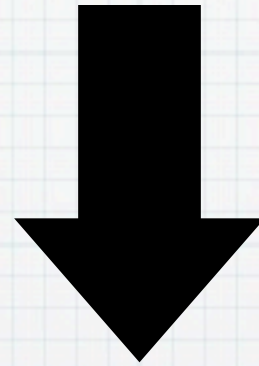
❖ スピンゼロ？

$$\begin{aligned}
\mathcal{L} = & \bar{\nu}(i \not{\partial} - m_{\nu})\nu + \bar{l}(i \not{\partial} - m_l)l + \frac{1}{2}(\partial_{\mu}\chi\partial^{\mu}\chi - \mu^2\chi^2) \\
& - \frac{1}{4}F_{\mu\nu}^i F^{i\mu\nu} + m_W^2 W_{+\mu}^* W_+^{\mu} - \frac{1}{4}G_{\mu\nu}G^{\mu\nu} + \frac{m_Z^2}{2}Z_{\mu}Z^{\mu} \\
& + eA_{\mu}(\bar{l}\gamma^{\mu}l) - \frac{g}{\sqrt{2}}[W_+^{\mu}(\bar{\nu}\gamma^{\mu}P_L l) + c.c.] \\
& - \bar{g}Z_{\mu}[\bar{\nu}\gamma^{\mu}(s_{\nu L}P_L + s_{\nu R}P_R)\nu + \bar{l}\gamma^{\mu}(s_{l L}P_L + s_{l R}P_R)l] \\
& + \frac{2v\chi + \chi^2}{4}(g^2 W_{+\mu}^* W_+^{\mu} + \frac{\bar{g}^2}{2}Z_{\mu}Z^{\mu}) \\
& - \frac{m_l}{v}\chi(\bar{l}l) - \frac{m_{\nu}}{v}\chi(\bar{\nu}\nu) \\
& + \dots
\end{aligned}$$

ヒッグスの物理が新しい

GWS模型を超えて

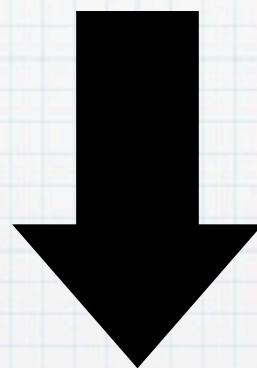
- ❖ ラグランジアンがそもそも美しくないっ
- ❖ 階層性問題



- ❖ いわゆる”新しい物理”：超対称性, 余剰次元, ...
 - ▶ 力の大統一 → 重力も含めた超大統一？
 - ▶ 暗黒物質
 - ▶ 反物質消滅の手がかり

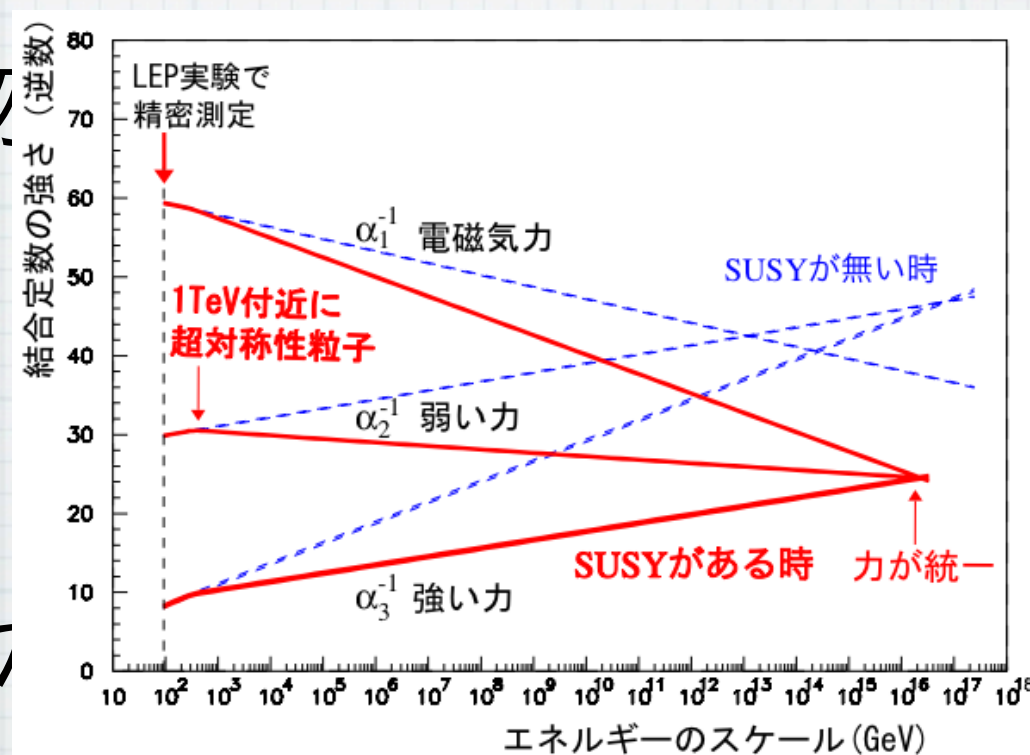
GWS模型を超えて

- ❖ ラグランジアンがそもそも美しくないっ
- ❖ 階層性問題



❖ いわゆる”新しい物理”

- ▶ 力の大統一 →
- ▶ 暗黒物質
- ▶ 反物質消滅の手

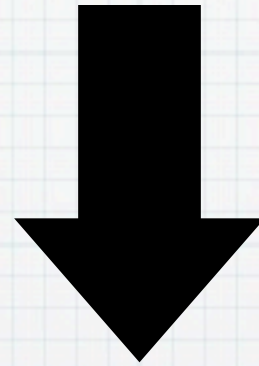


欠元, ...

— ?

GWS模型を超えて

- ❖ ラグランジアンがそもそも美しくないっ
- ❖ 階層性問題



- ❖ いわゆる”新しい物理”：超対称性, 余剰次元, ...
 - ▶ 力の大統一 → 重力も含めた超大統一？
 - ▶ 暗黒物質
 - ▶ 反物質消滅の手がかり

GWS模型を超えて

- ❖ ラグランジアンがそもそも美しくないっ
- ❖ 階層性問題



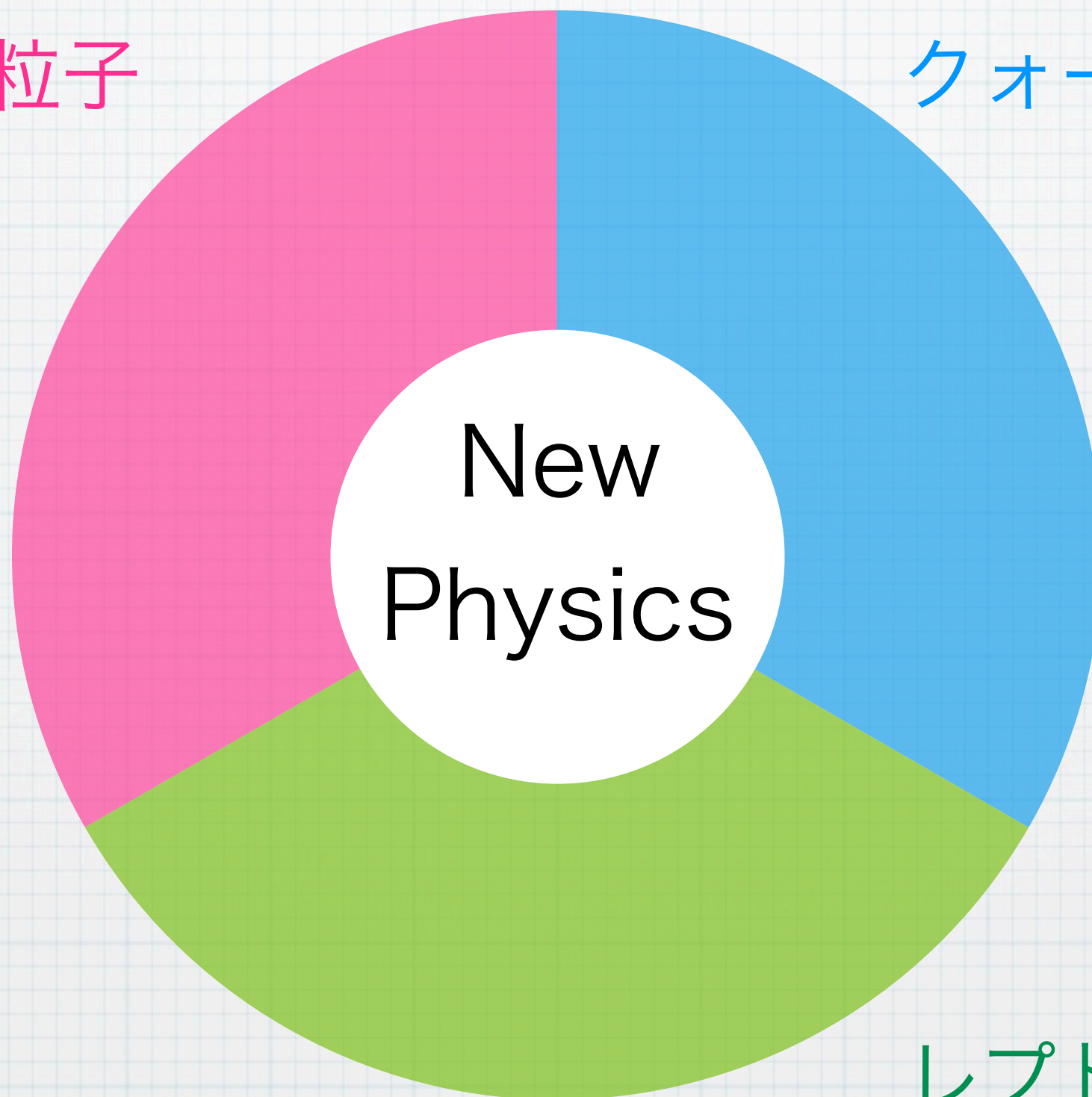
新しい物理の探索

- ❖ いわゆる”新しい物理”：超対称性, 余剰次元, ...
 - ▶ 力の大統一 → 重力も含めた超大統一？
 - ▶ 暗黒物質
 - ▶ 反物質消滅の手がかり

New Physics へ向けて

未知の粒子

クォークセクター



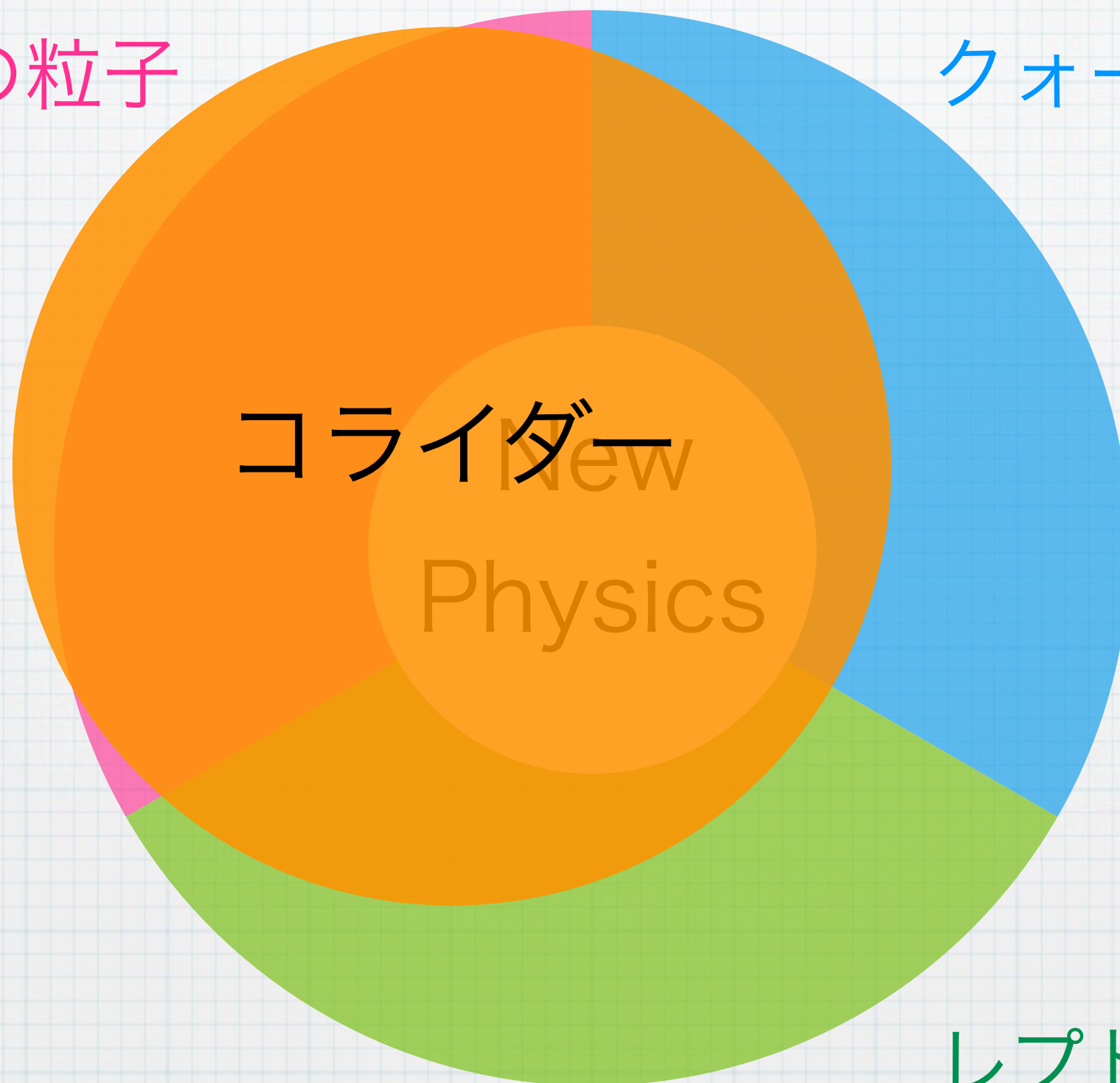
レプトンセクター

❖ 色々なところから攻める

New Physics へ向けて

未知の粒子

クォークセクター

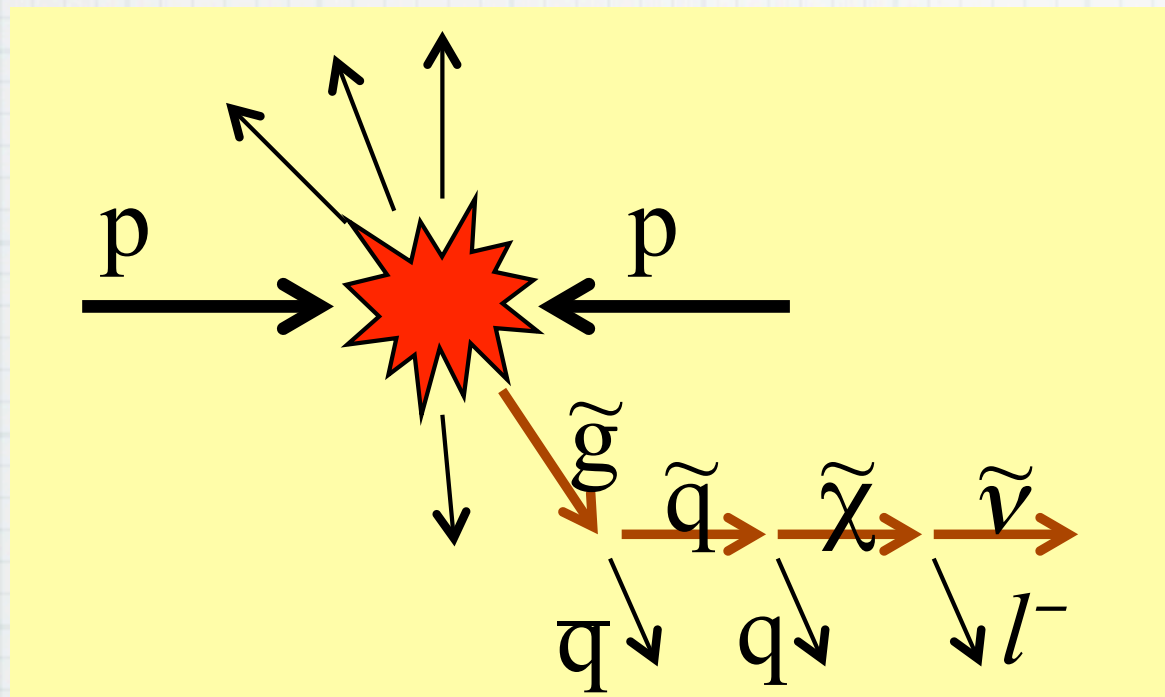


レプトンセクター

❖ 色々なところから攻める

2つのアプローチ@コライダー

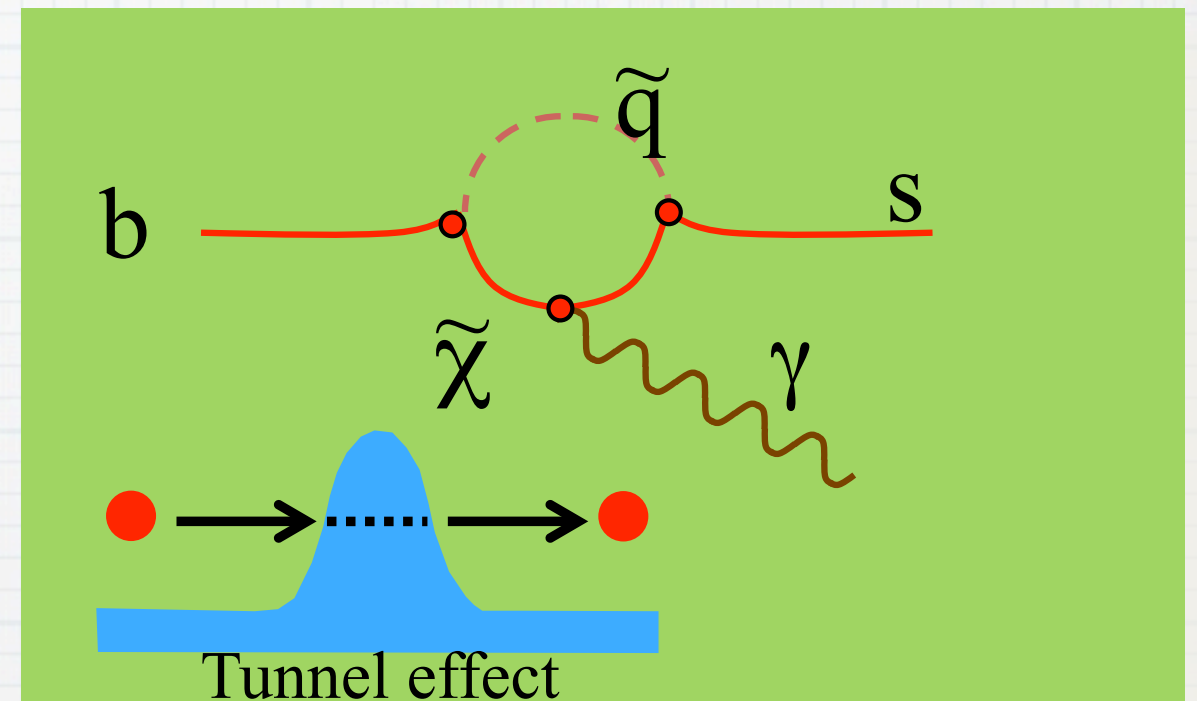
未知の粒子を直接生成



エネルギーフロンティア
多くの過去のコライダー

- LEP
- Tevatron/LHC
- ILC

未知の粒子の 量子補正への寄与



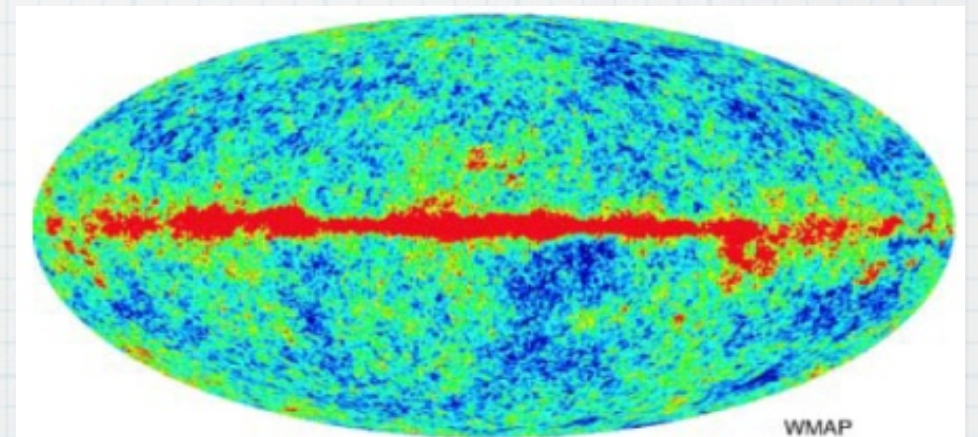
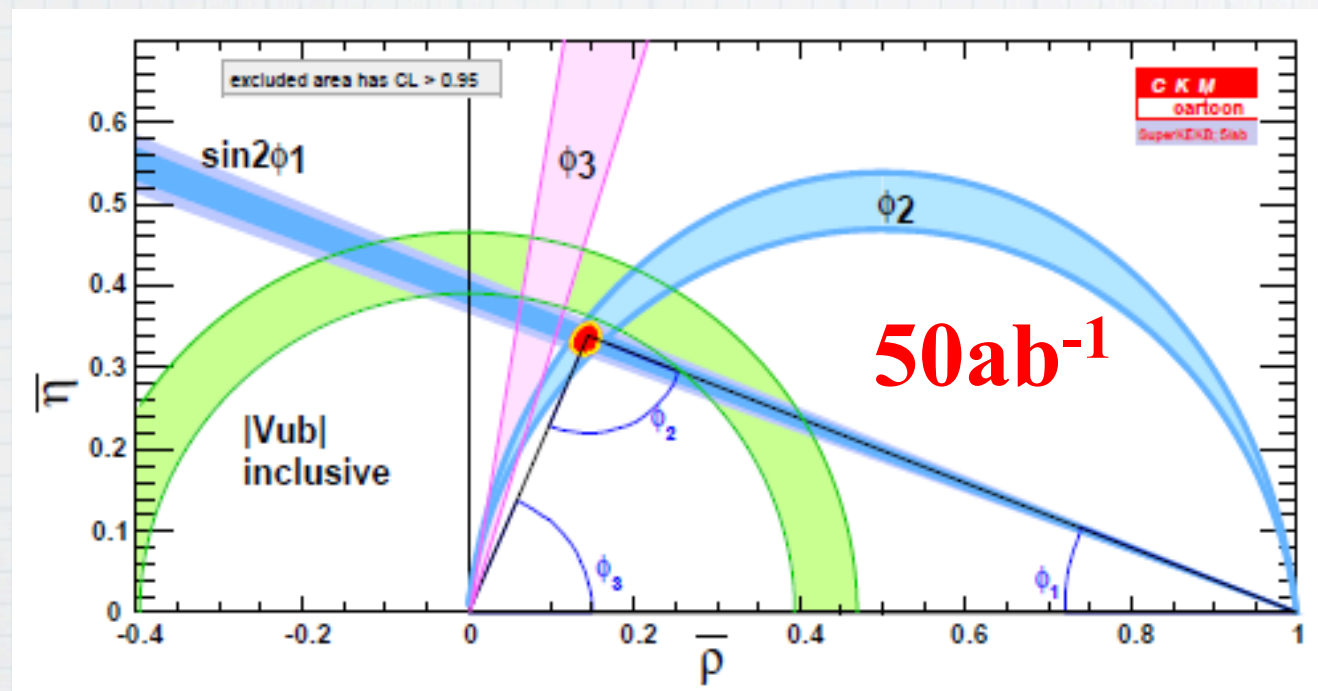
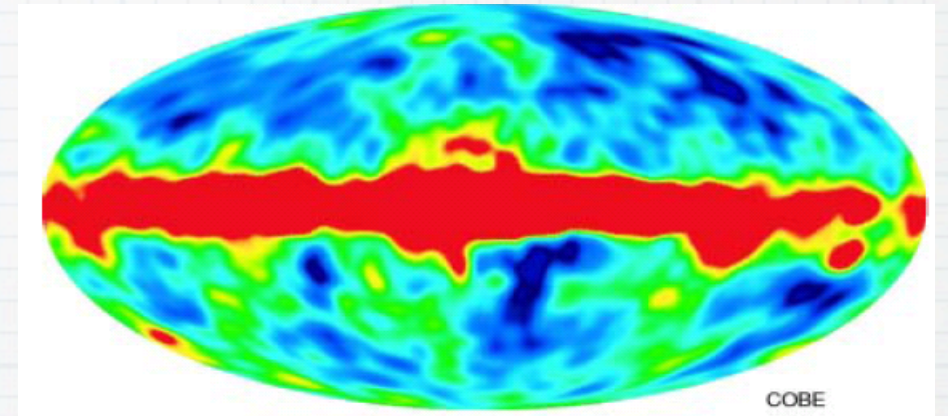
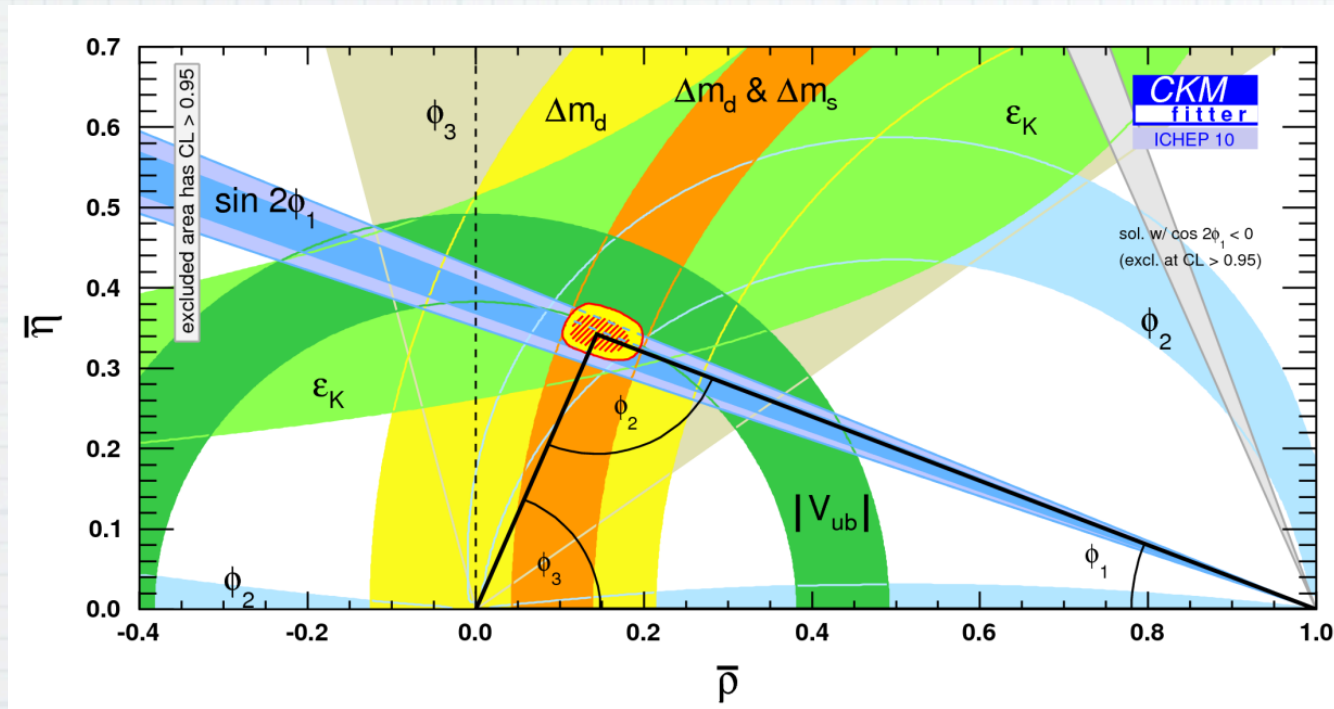
ルミノシティフロンティア

Bファクトリー

- CESR
- KEKB/PEP2
- SuperKEKB

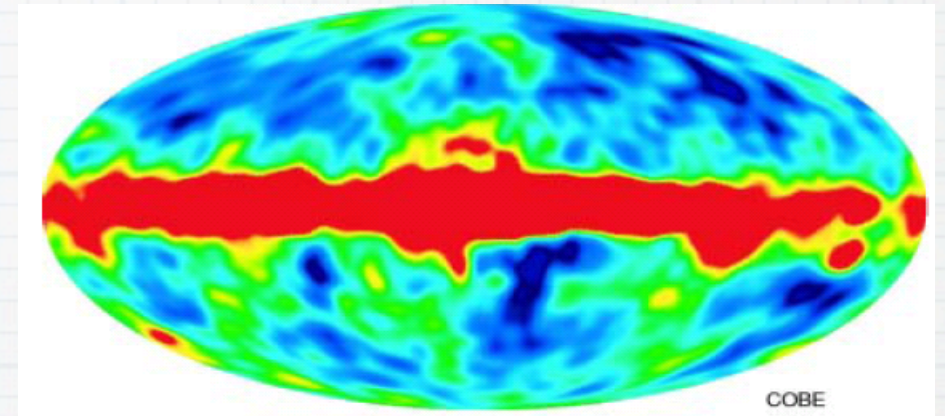
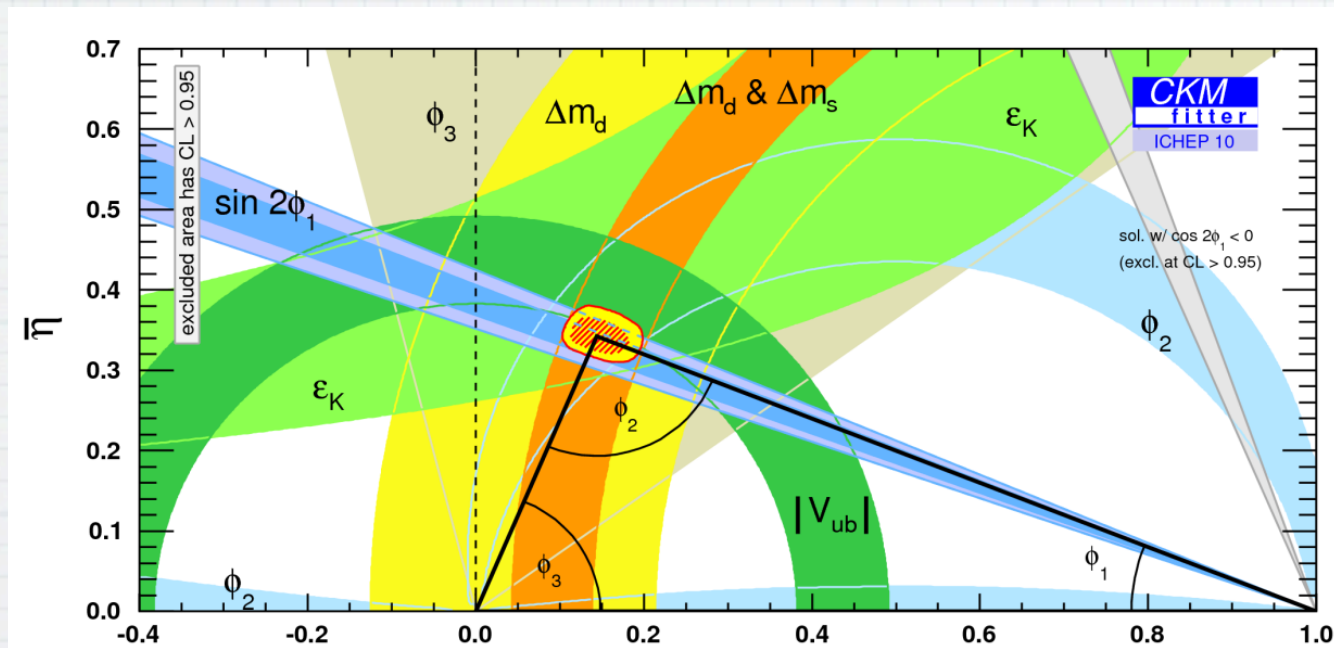
SuperKEKB

測定精度の向上で見えてくるもの

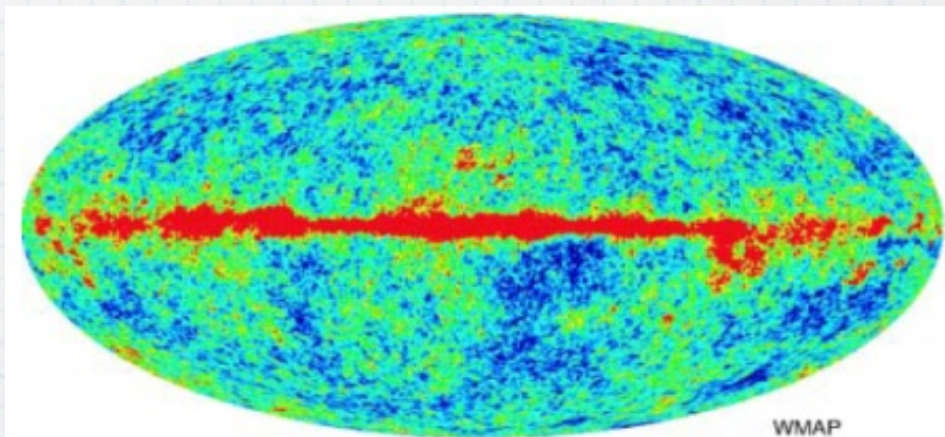
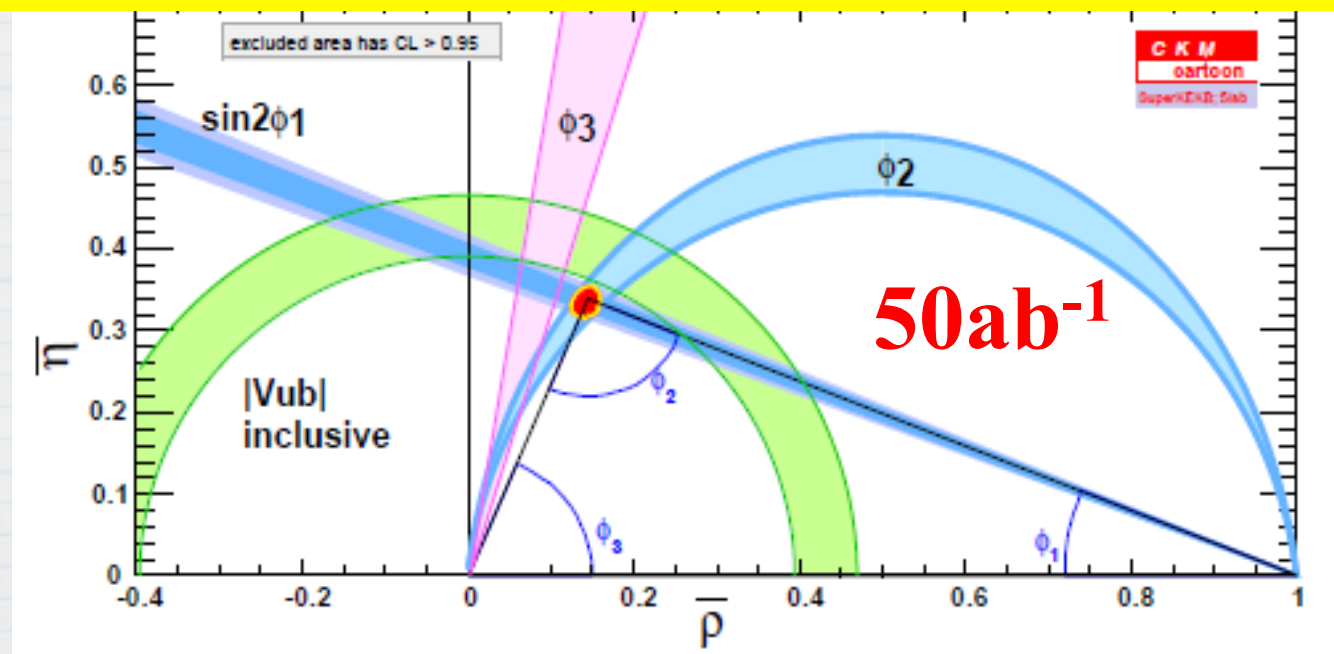


❖ 新しい物理の寄与の余地：10%程度

測定精度の向上で見えてくるもの

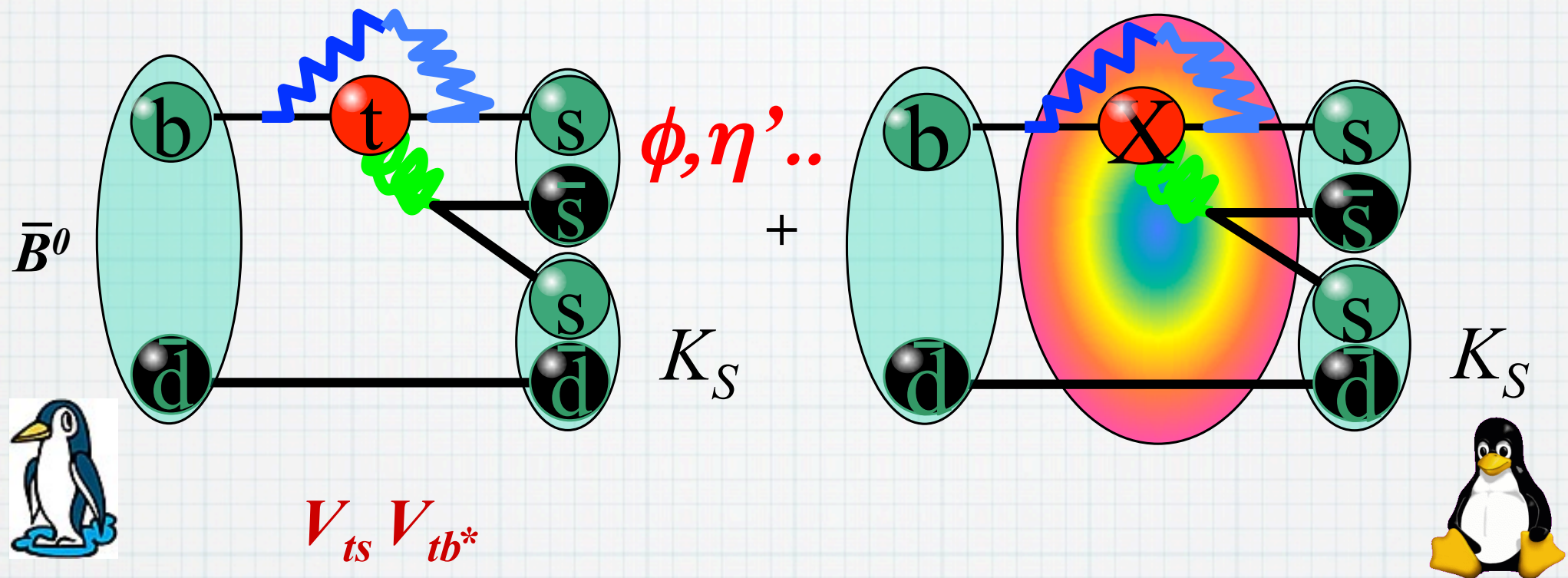


様々な崩壊モードを精査することが大事



❖ 新しい物理の寄与の余地：10%程度

新たな複素位相を求めて

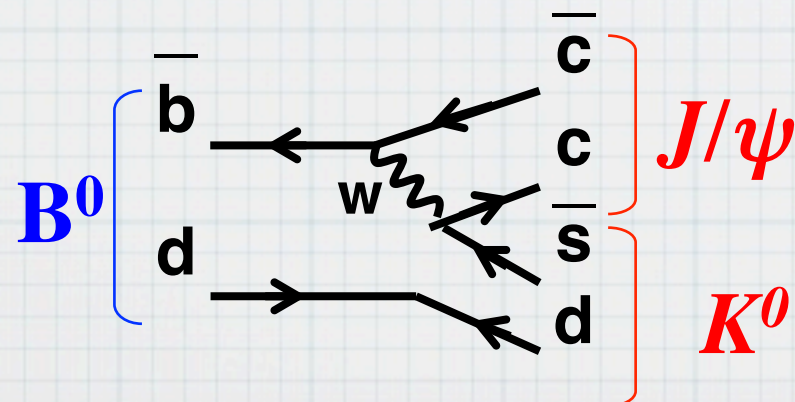


SM: $b \rightarrow s$ Penguin
phase = $(c\bar{c}) K^0$

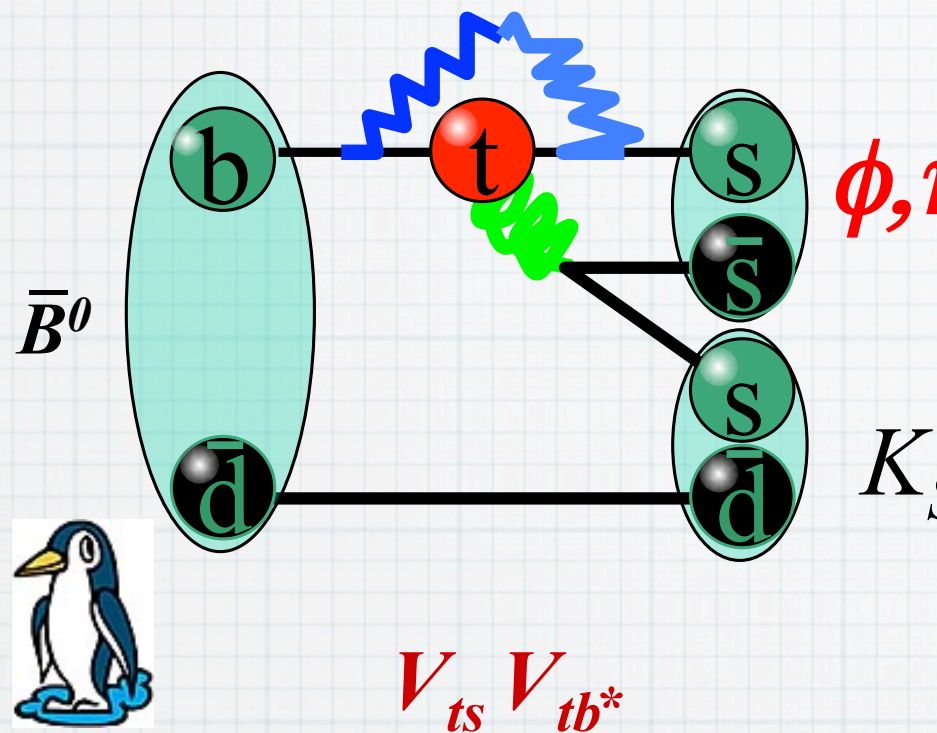
+ New Physics
with New Phase

$S_{bs} \neq S_{bc}$, A_{DCP} can $\neq 0$

“ $b \rightarrow c\bar{c}s$: $\sin 2\phi_1$ ” (SM reference) $\Rightarrow$ deviation

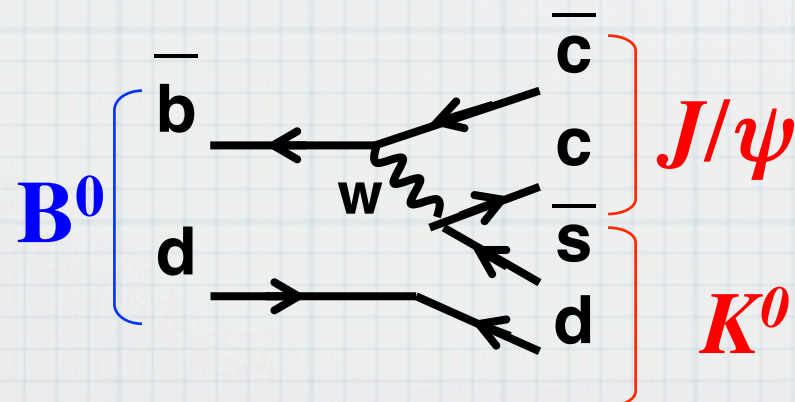


新たな複素位相を求めて

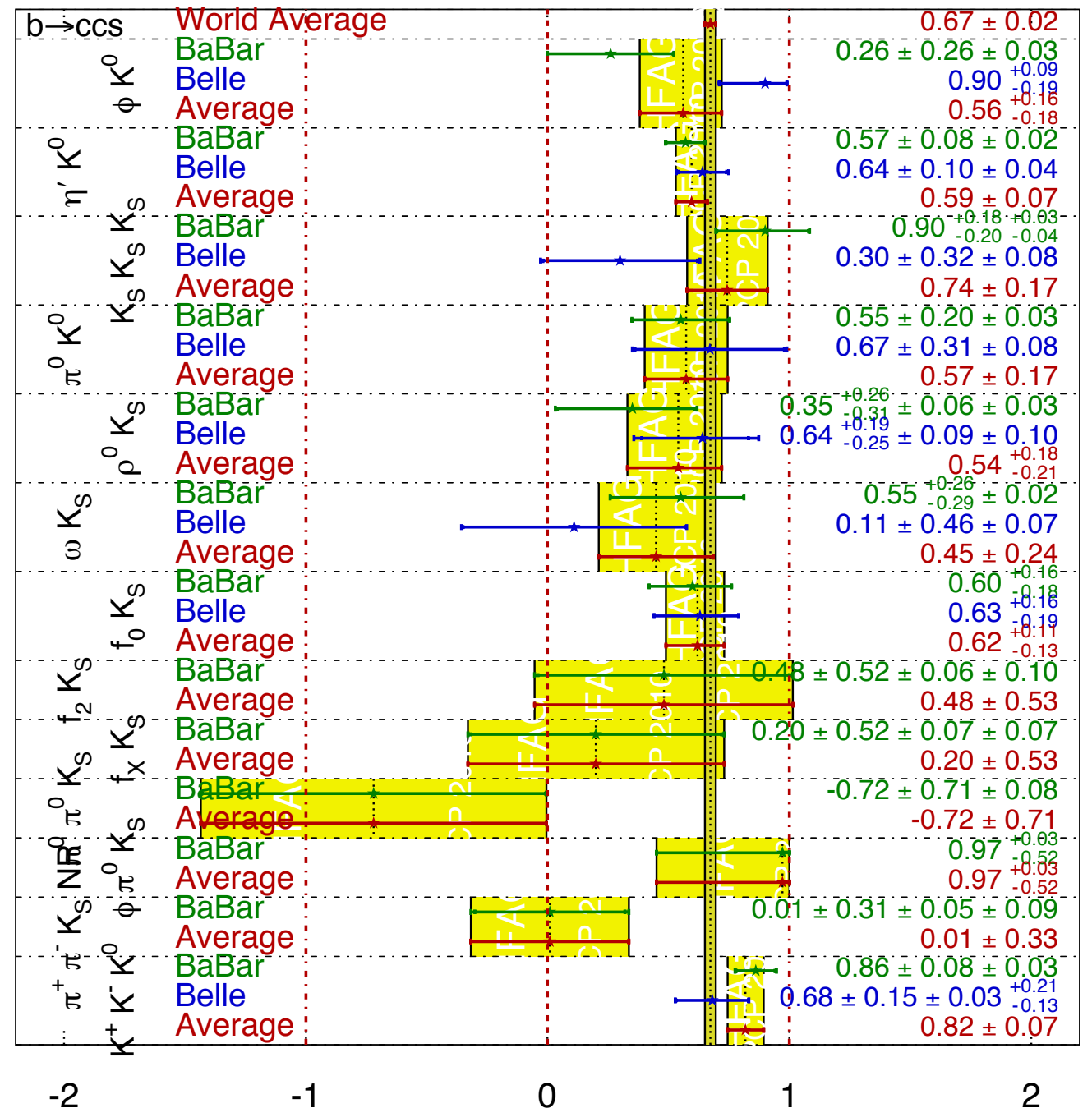


SM: $b \rightarrow s$ Penguin
phase = $(c\bar{c}) K^0$

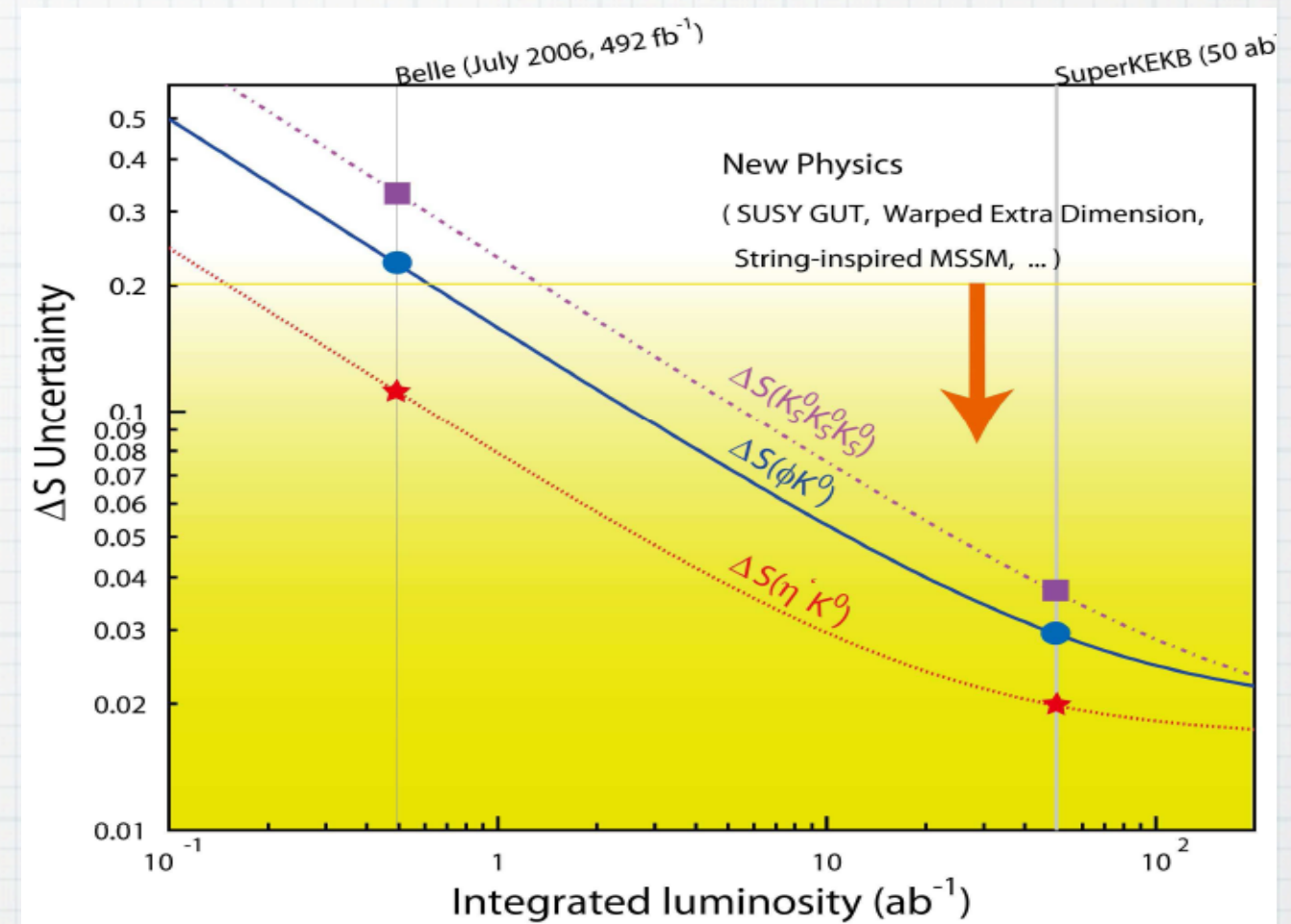
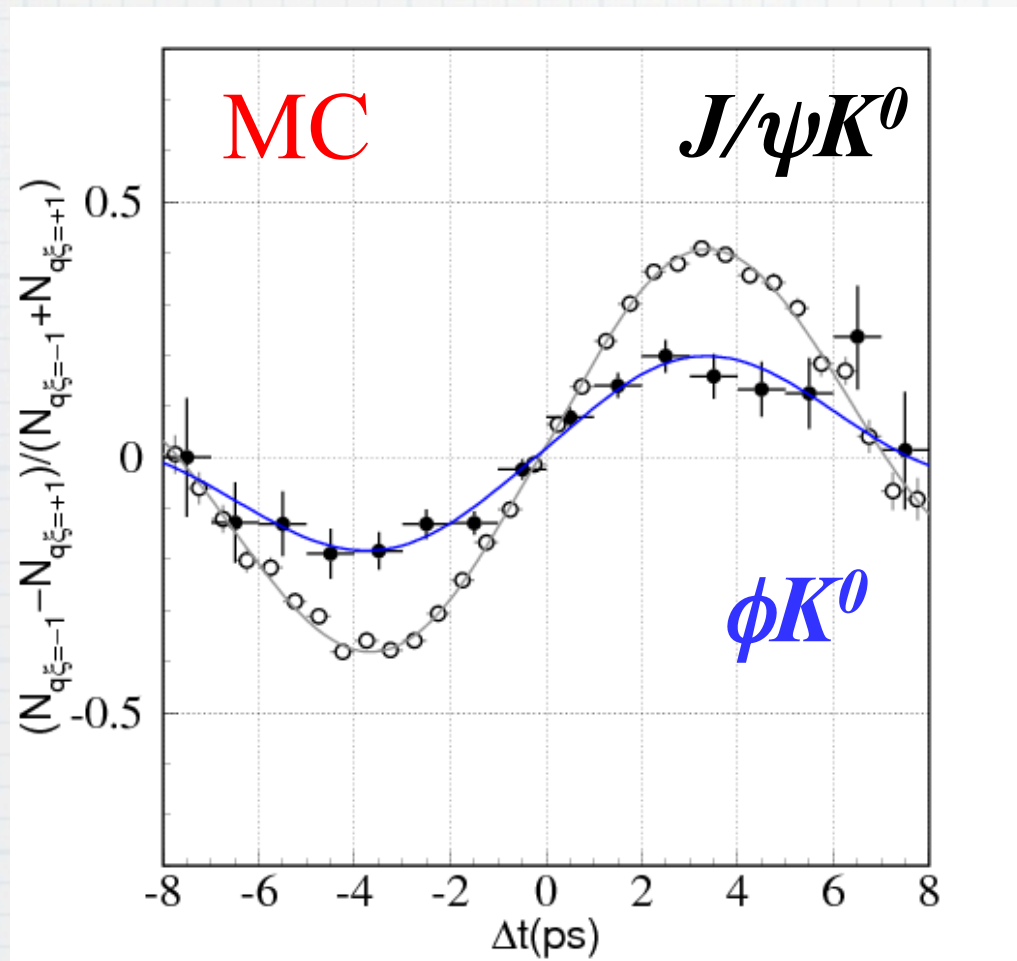
“ $b \rightarrow c\bar{c}s$: $\sin 2\phi_1$ ” (SM re



$\sin(2\beta^{\text{eff}}) \equiv \sin(2\phi_1^{\text{eff}})$ **HFA3**
FPCP 2010
PRELIMINARY



Prospect for $b \rightarrow sq\bar{q}$

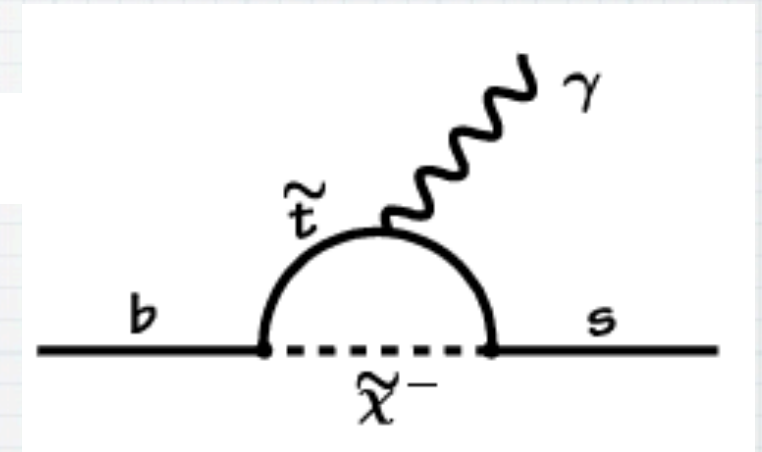
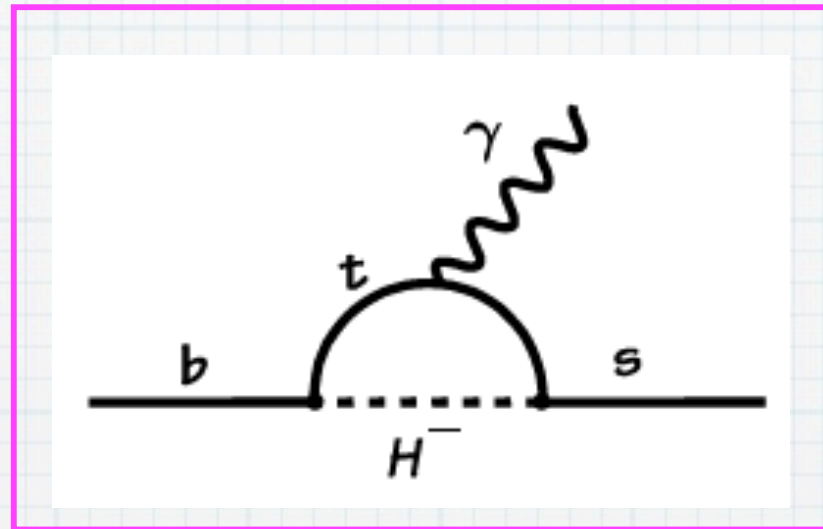
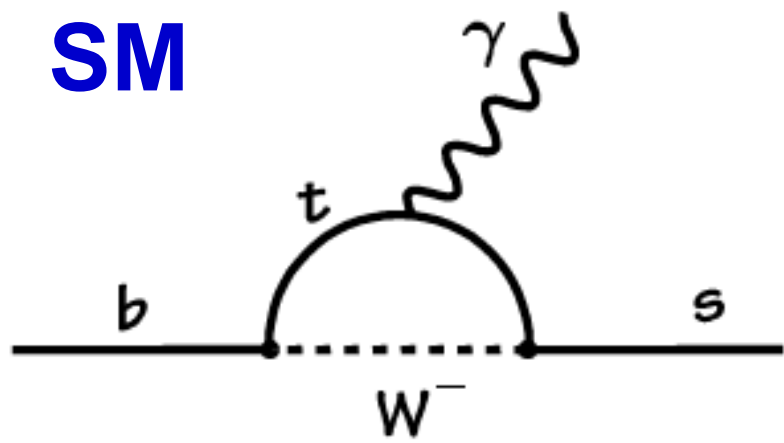


Prospect $\delta(S_{b \rightarrow s}) \sim 0.012 @ 50 \text{ab}^{-1}$

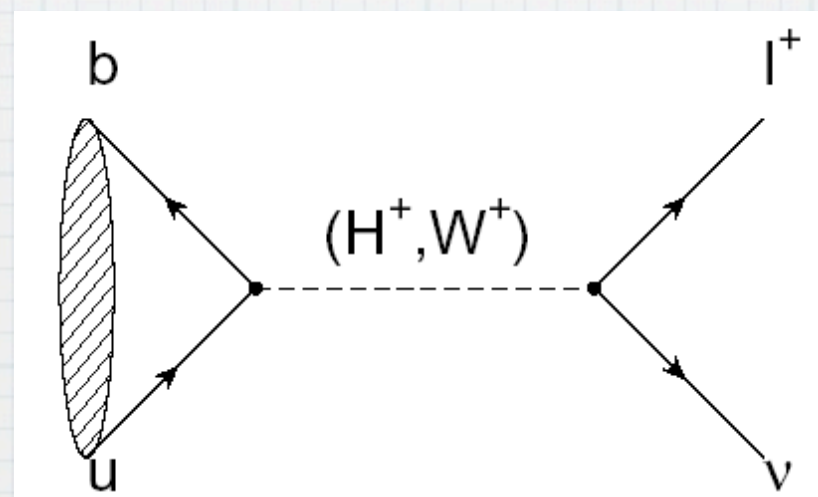
Charged Higgs の探索

❖ $b \rightarrow s\gamma$

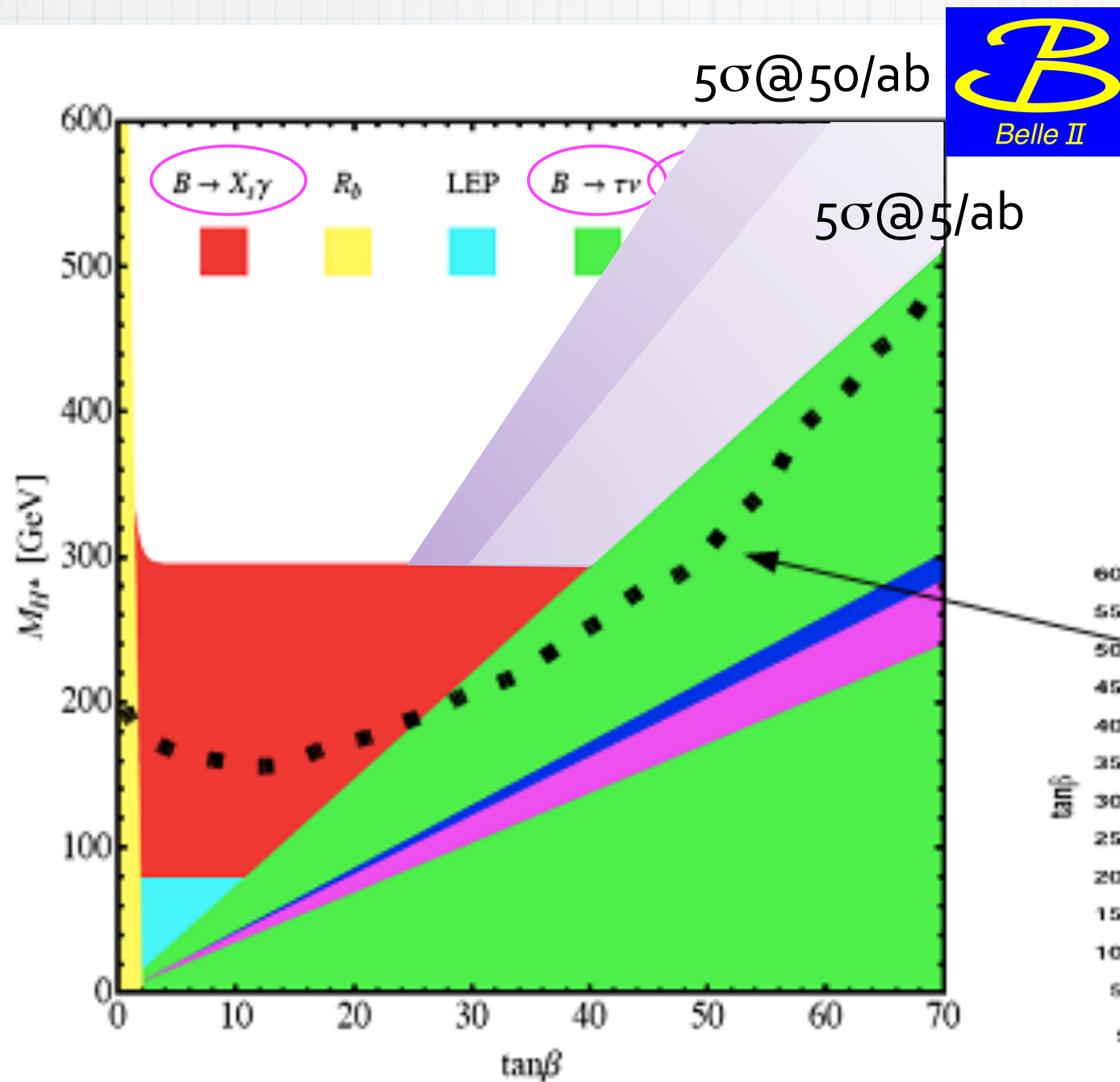
SM



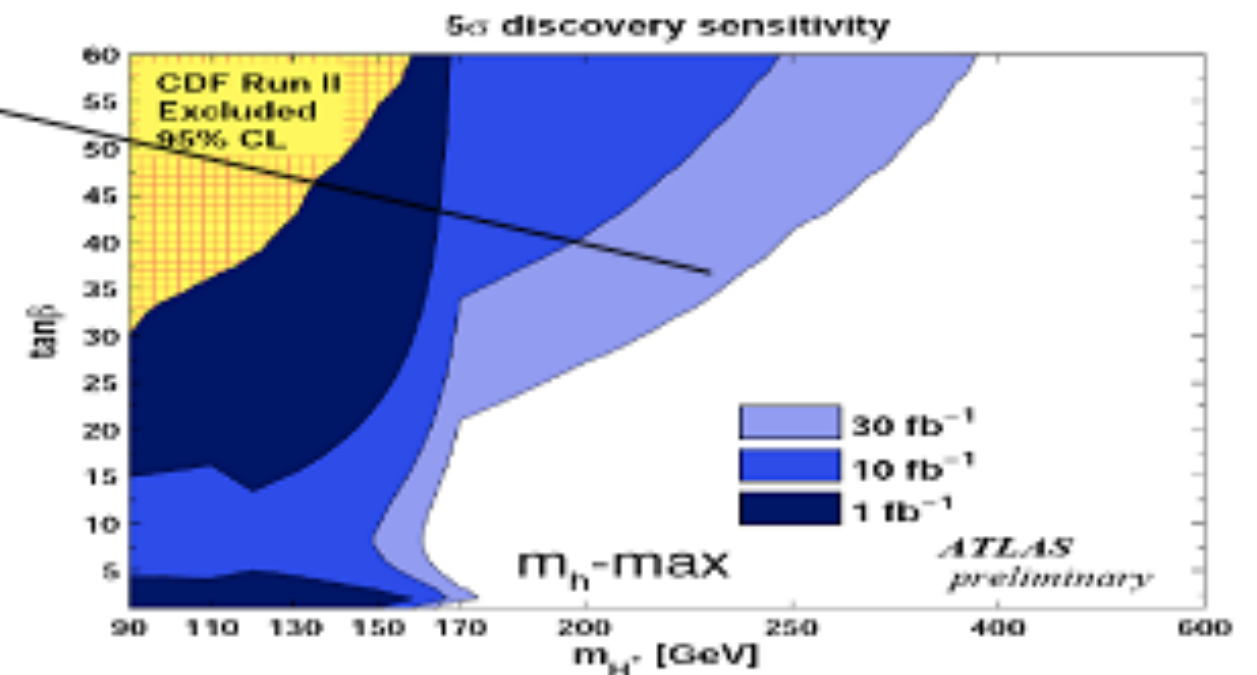
❖ $B \rightarrow \tau\nu$ $B \rightarrow D\tau\nu$



Charged Higgs Status and Prospects



ATLAS 30/fbで発見(5σ)可能な領域は、Flavor Physicsにより既に棄却(95%)されている。
Belle IIでデータを貯めると、薄紫の領域なら5σで発見可能。



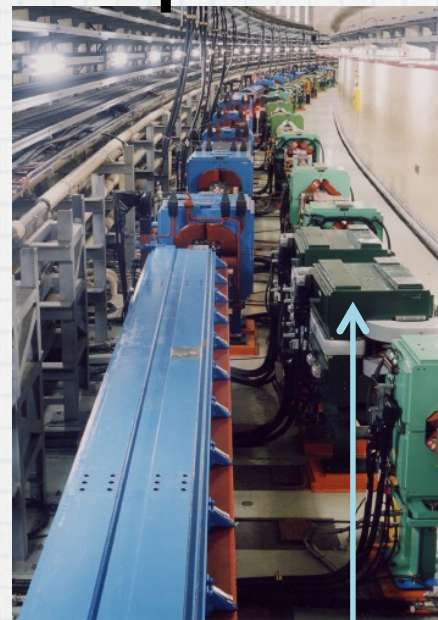
Prospectsのまとめ

	Belle'06 (~0.5ab ⁻¹)	5ab ⁻¹	50ab ⁻¹
$\Delta S(\phi K^0)$	0.22	0.073	0.029
$\Delta S(\eta' K^0)$	0.11	0.038	0.020
$\Delta S(K_S K_S K_S)$	0.33	0.105	0.037
$\Delta S(K_S \pi^0 \gamma)$	0.32	0.10	0.03
$\text{Br}(X_s \gamma)$	13%	7%	6%
$A_{\text{CP}}(X_s \gamma)$	0.058	0.01	0.005
$C_9 [A_{\text{FB}}(K^{*\text{II}})]$	---	11%	4%
$C_{10} [A_{\text{FB}}(K^{*\text{II}})]$	---	13%	4%
$\text{Br}(B^+ \rightarrow K^+ \nu \nu)$	<9Br(SM)	33ab ⁻¹ for 5 σ discovery	
$\text{Br}(B^+ \rightarrow \tau \nu)$	3.5 σ	10%	3%
$\text{Br}(B^+ \rightarrow \mu \nu)$	<2.4Br(SM)	4.3ab ⁻¹ for 5 σ discovery	
$\text{Br}(B^+ \rightarrow D \tau \nu)$	---	7.9%	2.5%
$\text{Br}(\tau \rightarrow \mu \gamma)$	<45	<30	<8
$\text{Br}(\tau \rightarrow \mu \eta)$	<65	<20	<4
$\text{Br}(\tau \rightarrow 3\mu)$	<209	<10	<1
$\Delta \sin 2\phi_1$	0.026	0.016	0.012
$\Delta \Phi_2 (\rho \pi)$	68°—95°	3°	1°
$\Delta \Phi_3 (\text{Dalitz})$	20°	7°	2.5°
$\Delta V_{\text{ub}} (\text{incl.})$	7.3%	6.6%	6.1%

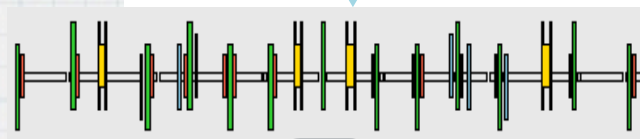
どこに何があるかわからないので、
色々な崩壊を使い
色々な物理量を測定
することが重要

SuperKEKB and Belle II

Belle II

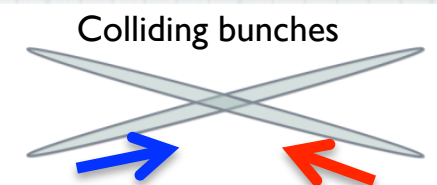
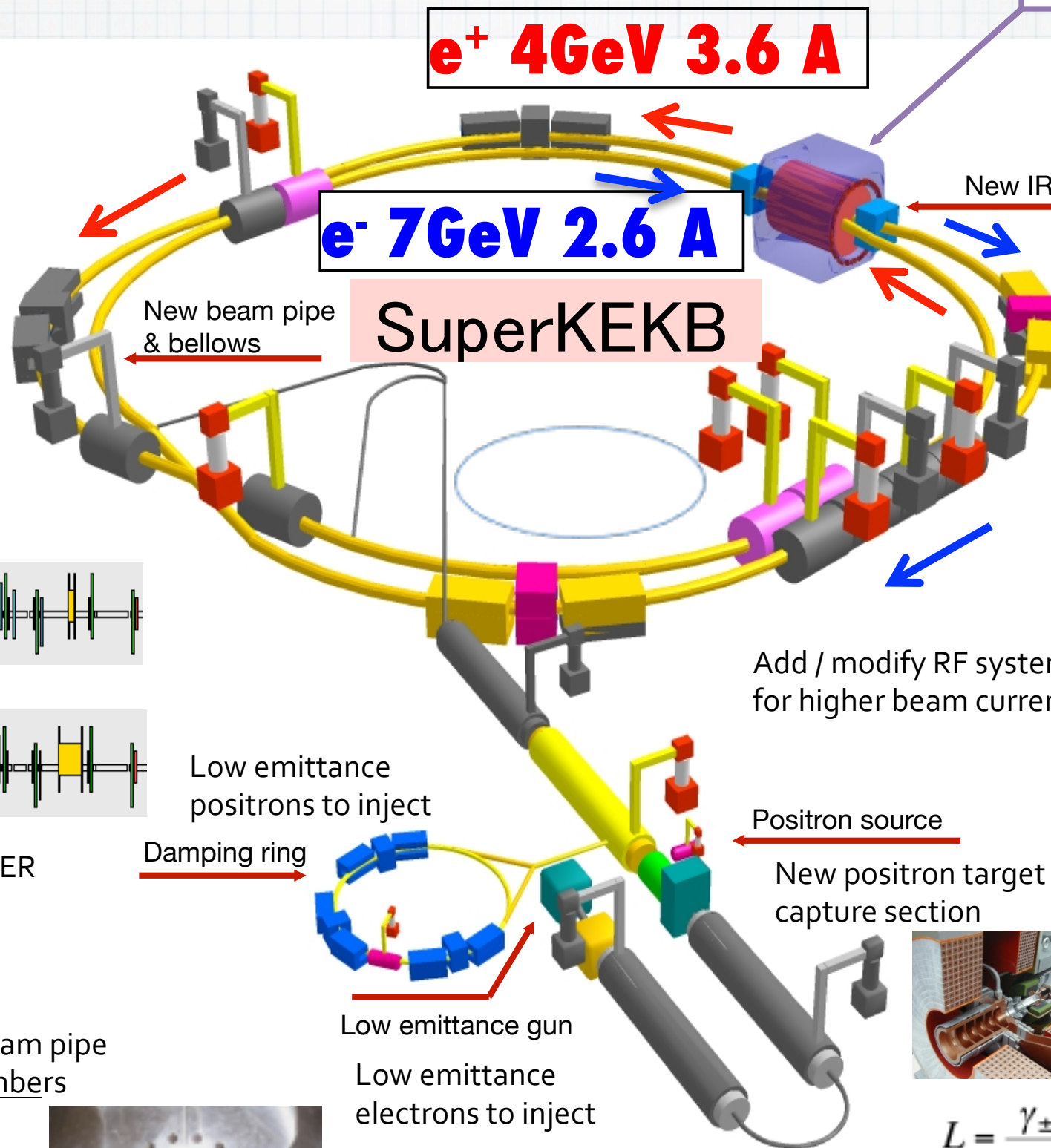
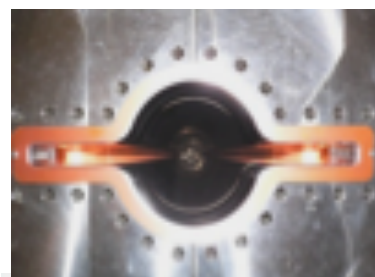
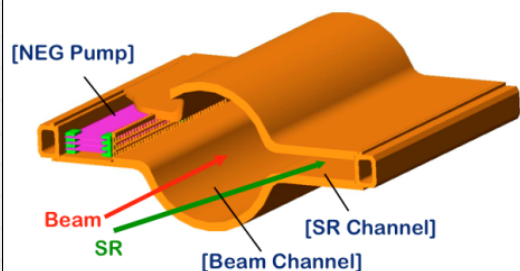


Replace short dipoles with longer ones (LER)



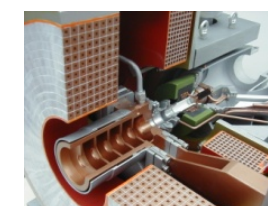
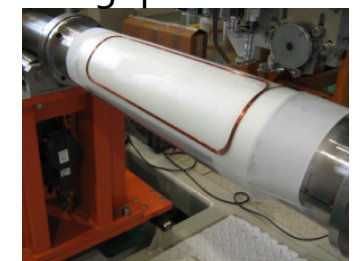
Redesign the lattices of HER & LER to squeeze the emittance

TiN-coated beam pipe with antechambers



Colliding bunches

New superconducting / permanent final focusing quads near the IP



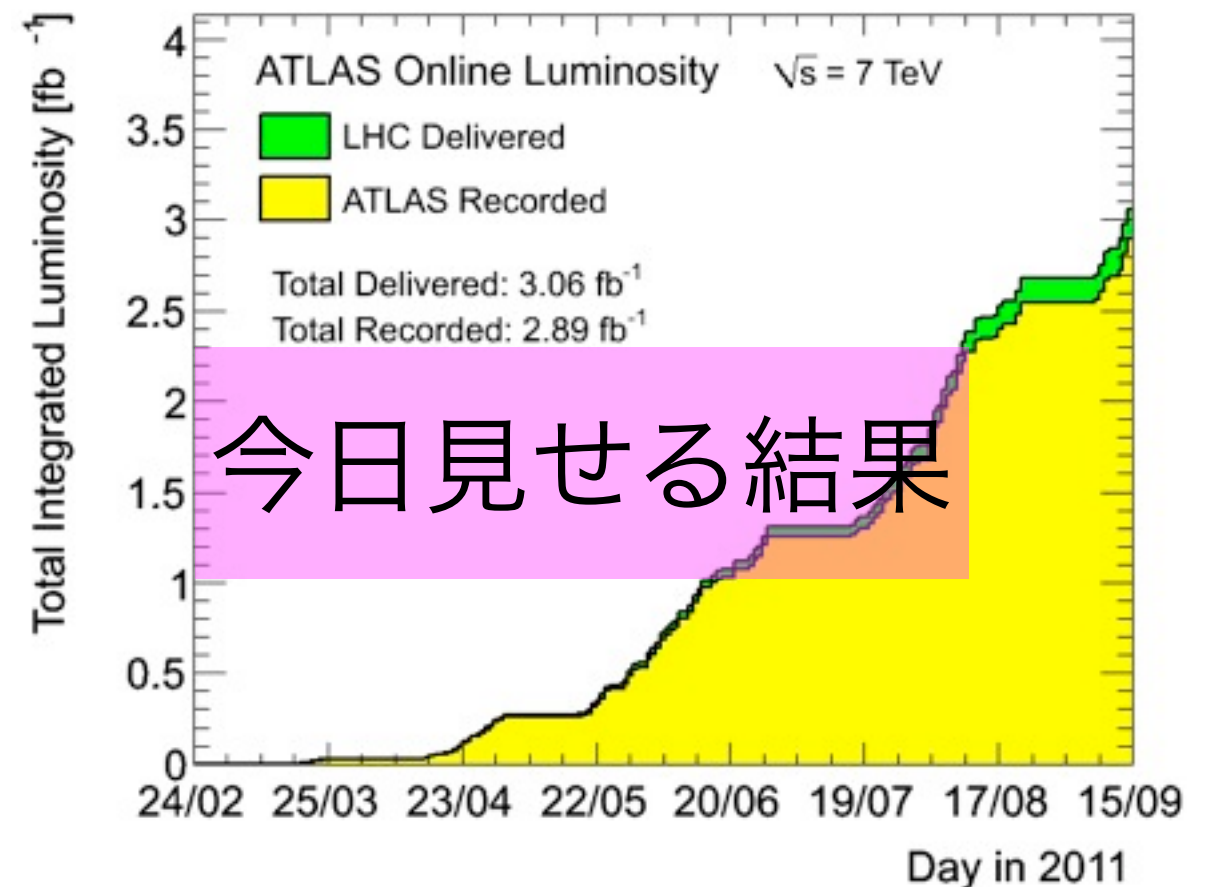
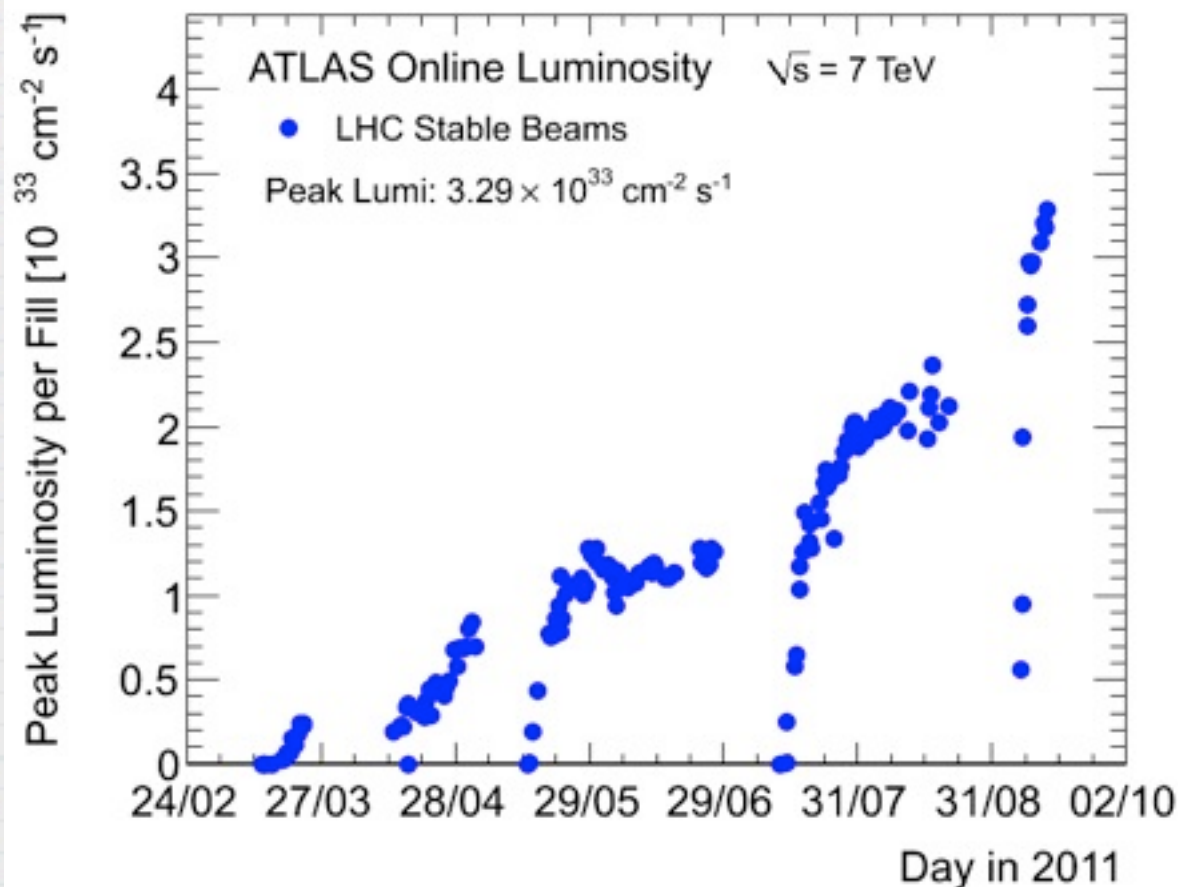
$$L = \frac{\gamma_{\pm}}{2e r_e} \left(1 + \frac{\sigma_y^*}{\sigma_x^*} \right) \frac{I_{\pm} \xi_{\pm y}}{\beta_y^*} \left(\frac{R_L}{R_y} \right)$$

Target: $L = 8 \times 10^{35} / \text{cm}^2 / \text{s}$

LHC (ATLAS) の現状

LHC Status

- ❖ $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ で順調に運転
- ❖ 50ns bunch spacing (ave.~6colli./crossing)
- ❖ Peak luminosity $\sim 3.3 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - ▶ 予想よりも高いパフォーマンス



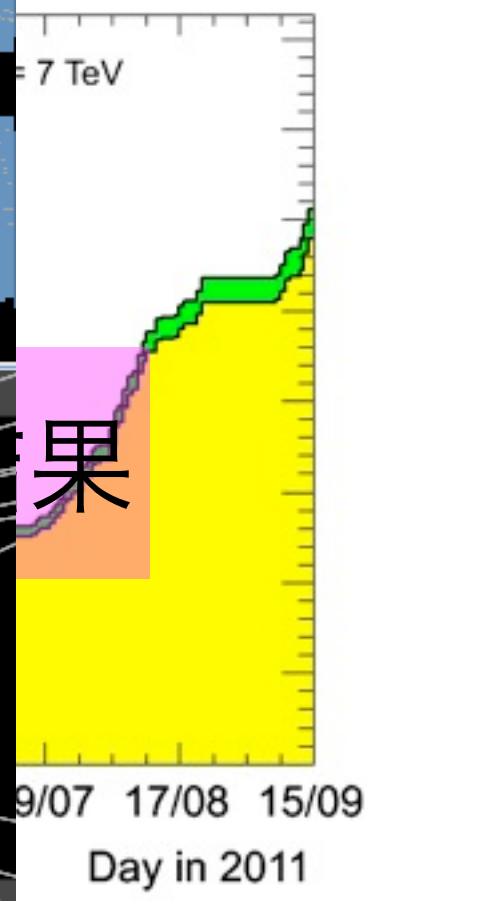
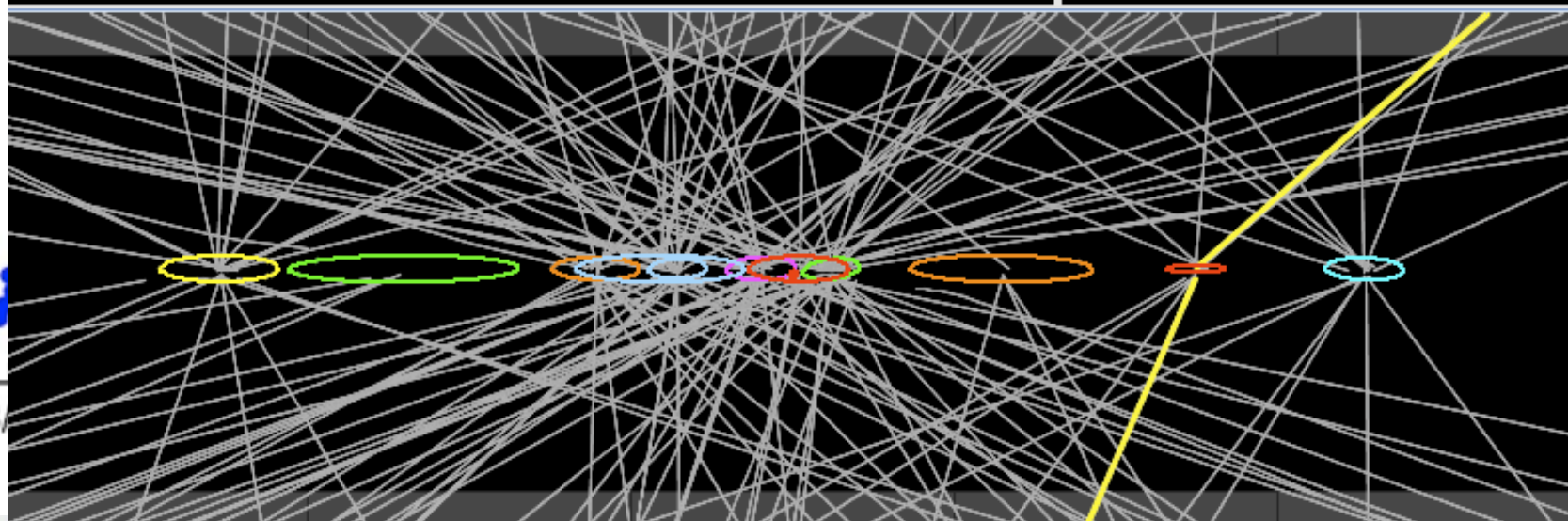
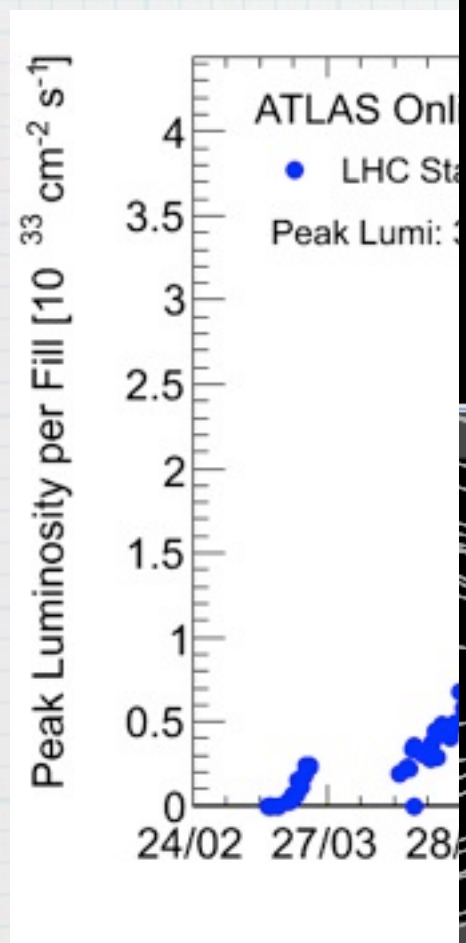
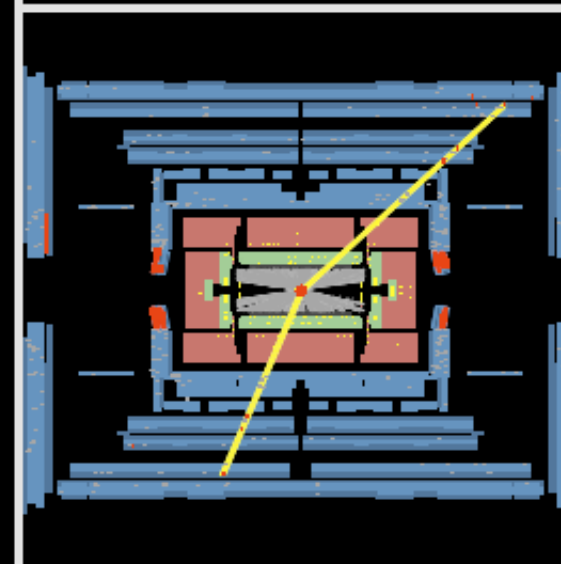
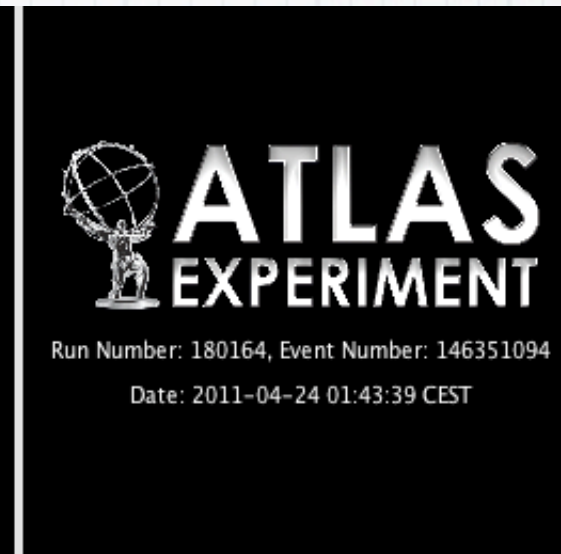
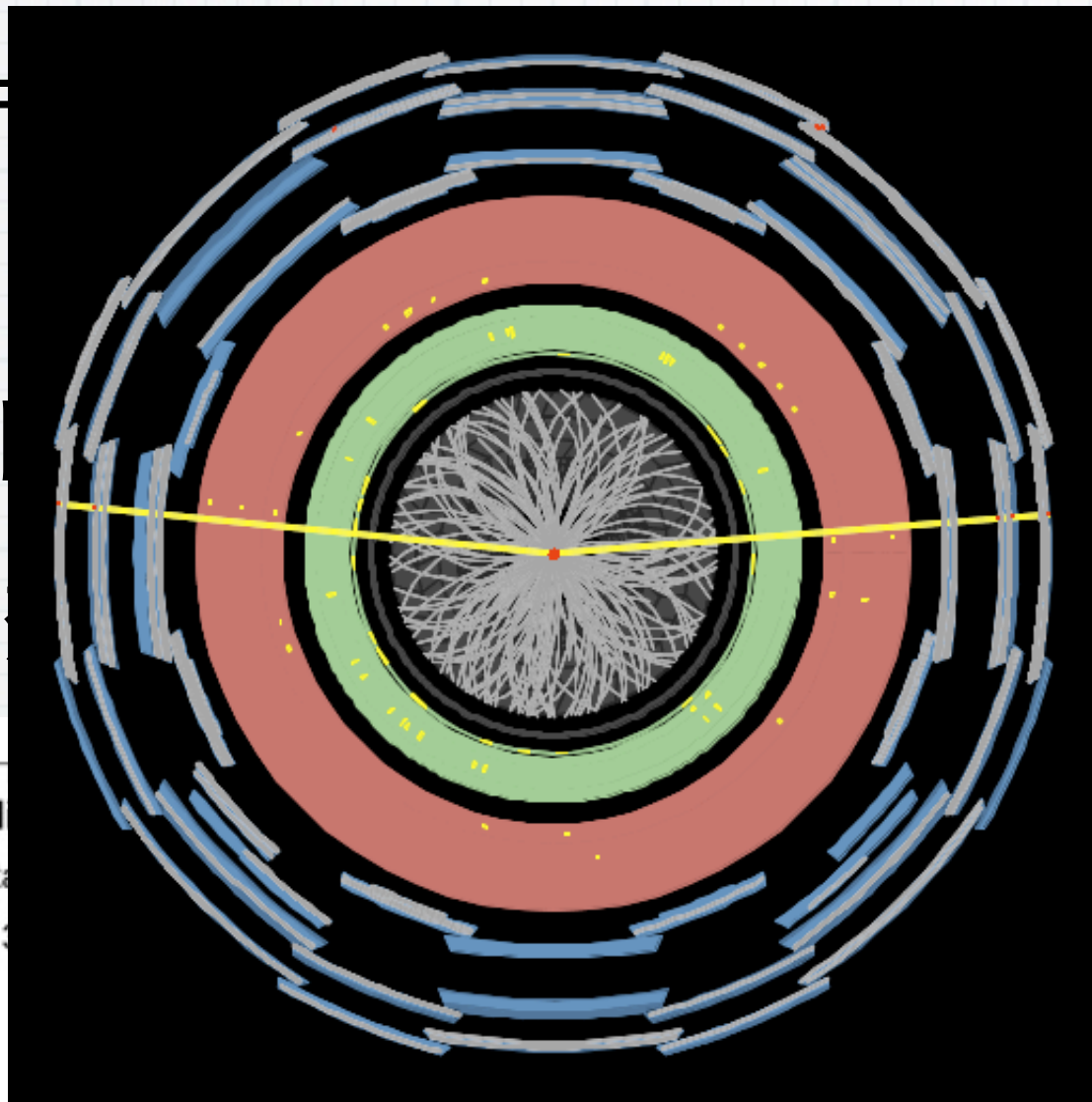
LHC Status

❖ $\sqrt{s} =$

❖ 50n

❖ Peak

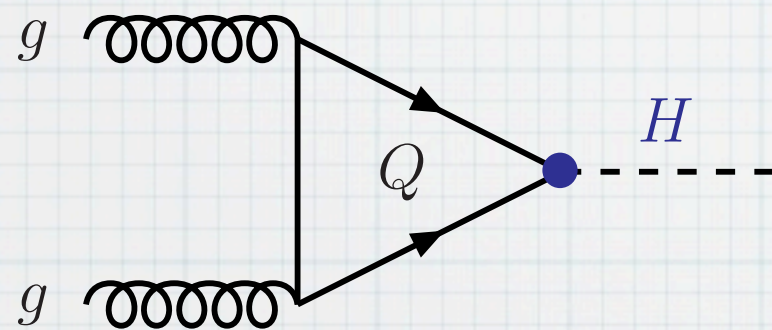
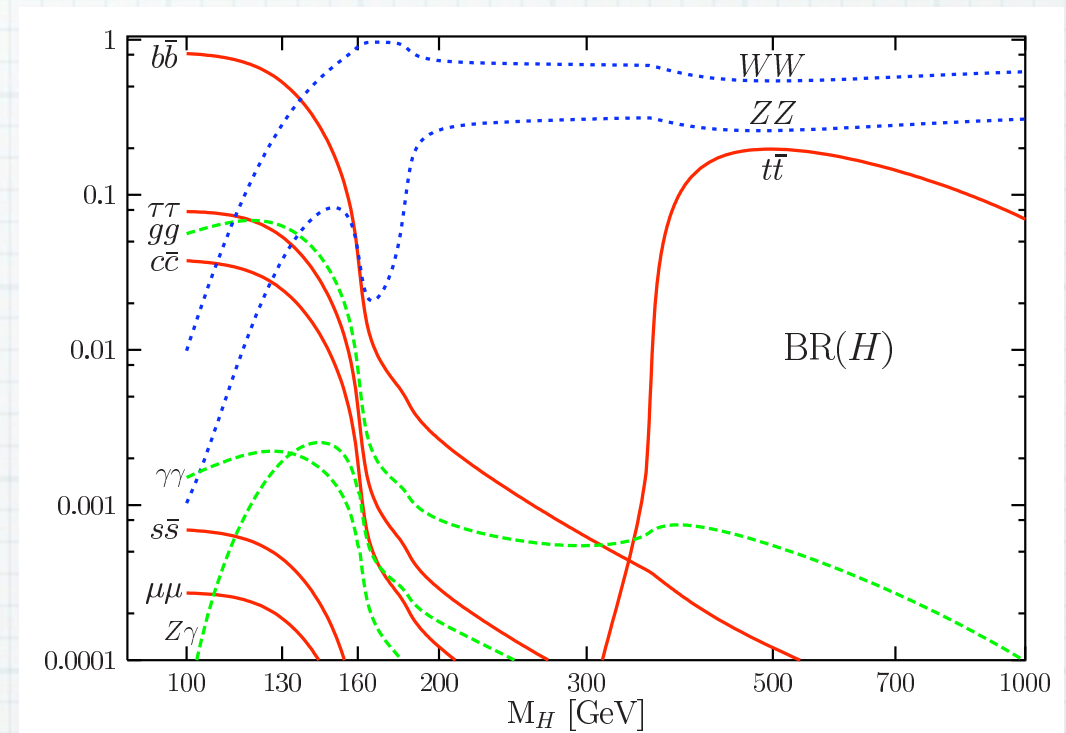
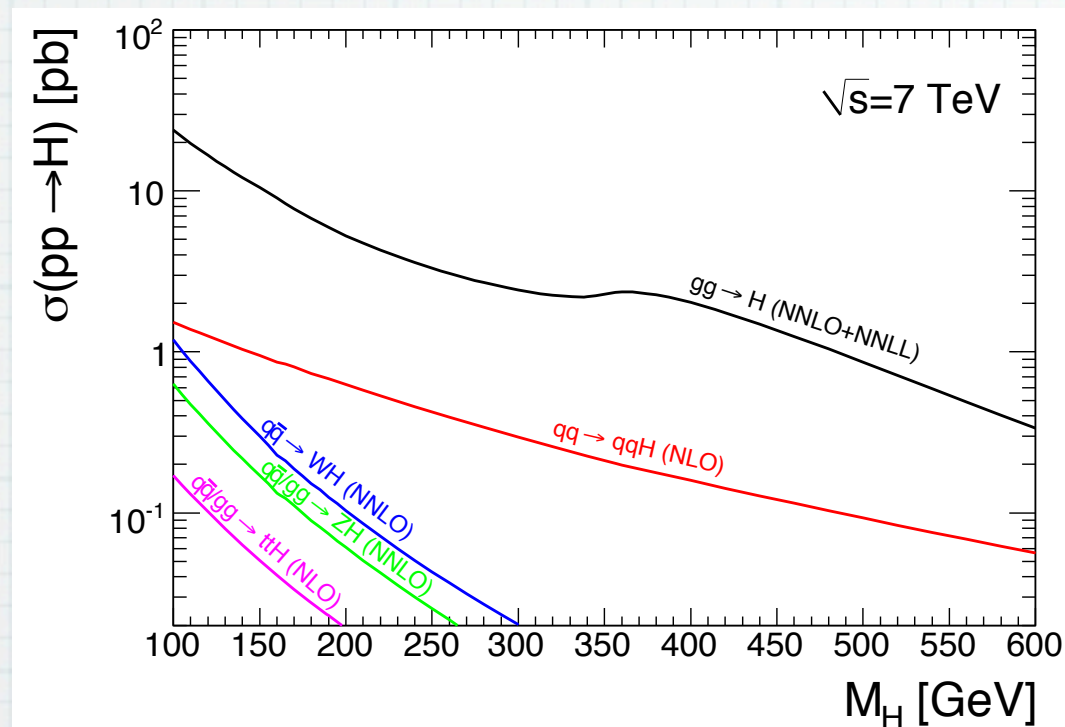
▶ 予



crossing)

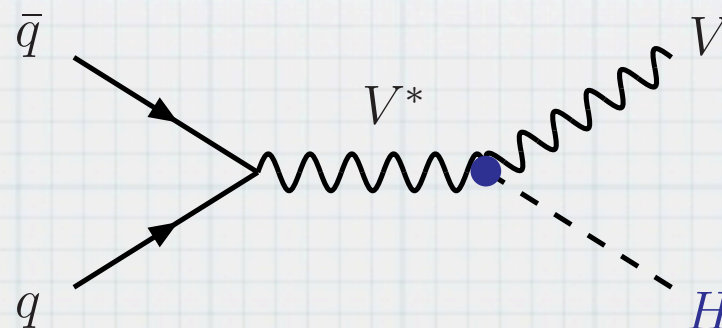
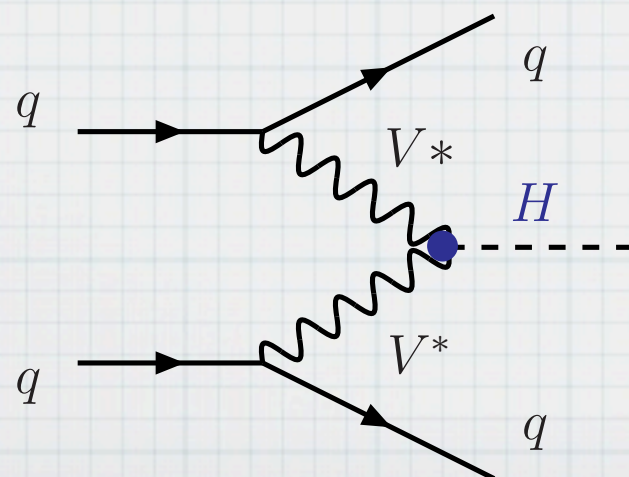
果

Higgs Production and Decay at LHC



有力なモード

$H \rightarrow \gamma\gamma$, $H \rightarrow WW$, $H \rightarrow ZZ$



将来有力
(非常に軽いとき)

$H \rightarrow f\bar{f}$

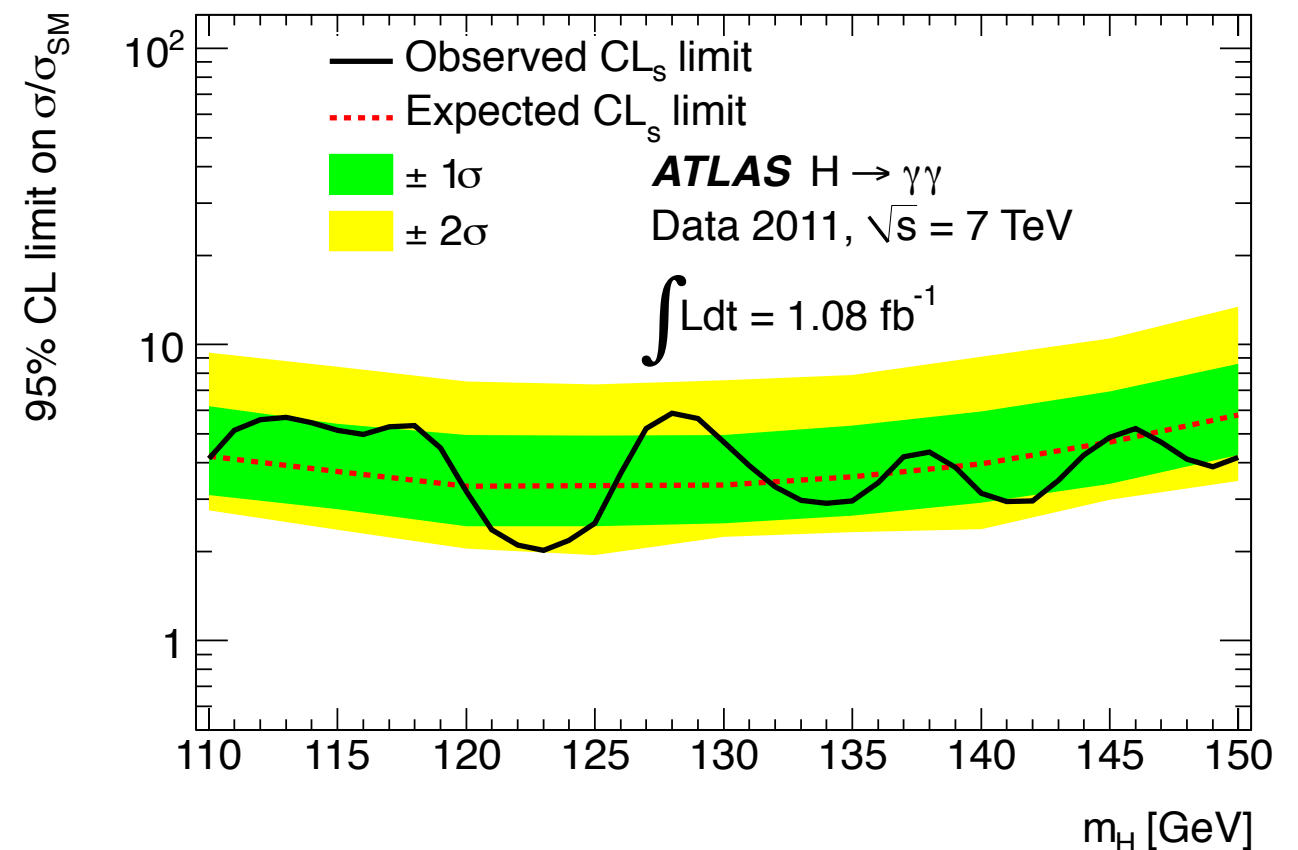
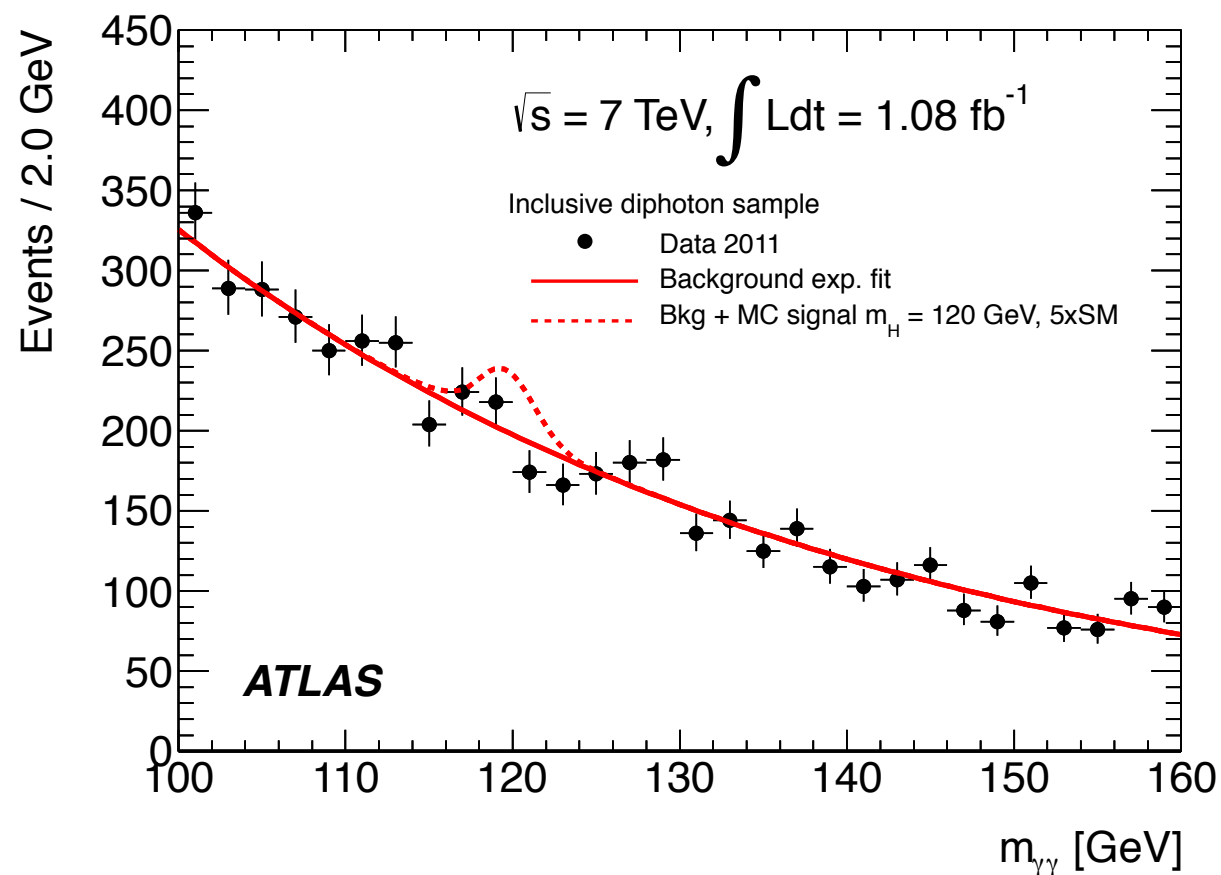
$$H \rightarrow \gamma \gamma \quad (1.08 \text{ fb}^{-1})$$

❖ Resonance search

- ▶ $\sigma \sim$ a few GeV for 120 GeV Higgs

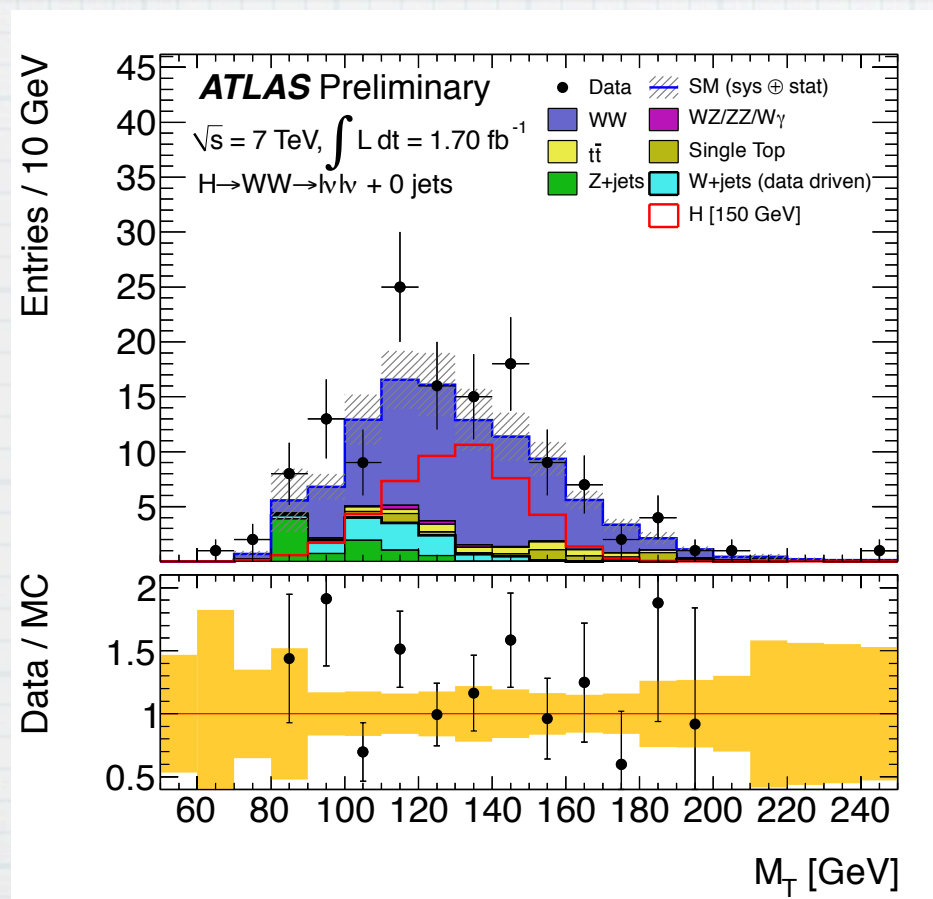
❖ Two isolated photon

- ▶ $p_T > 40$ GeV, and 25 GeV

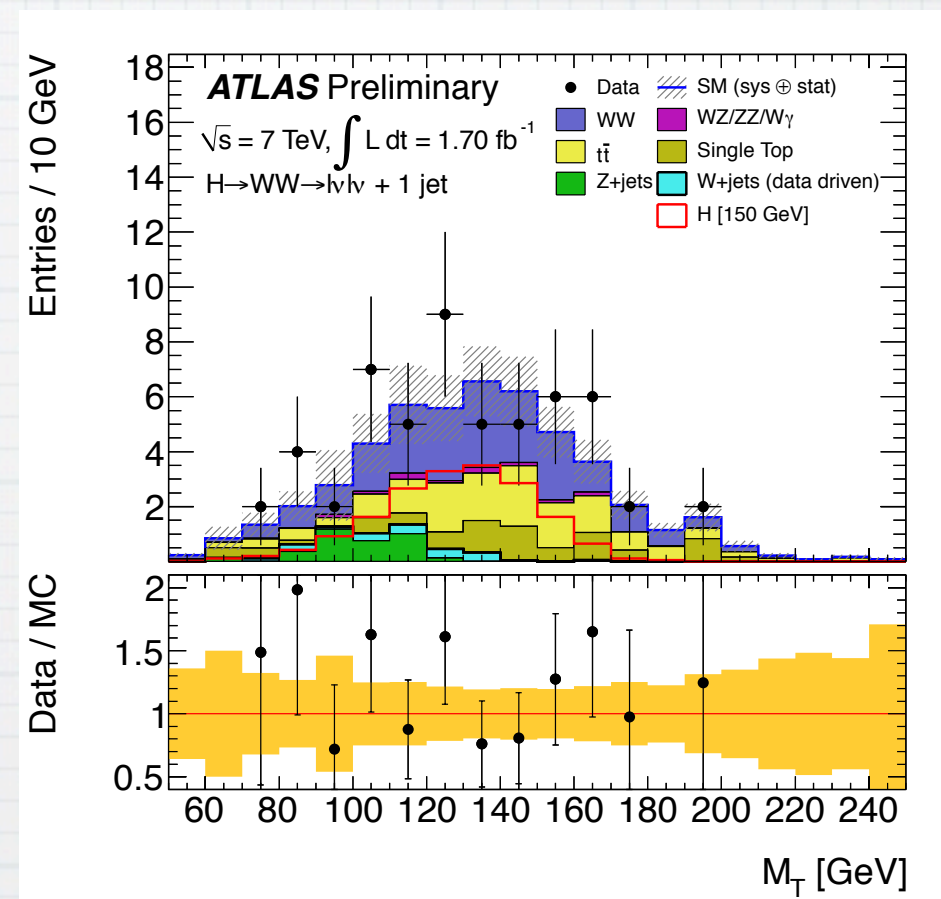


$$H \rightarrow W(\rightarrow l\nu)W(\rightarrow l\nu) \quad (1.7\text{fb}^{-1})$$

- ❖ Two isolated leptons
- ❖ Missing $E_T > 30$ GeV
- ❖ $M_{ll} < 50$ ($m_H < 170$) or 65 GeV ($m_H > 170$ GeV)
- ❖ $\Phi_{ll} < 1.3$ or 1.8
- ❖ Transverse Mass M_T

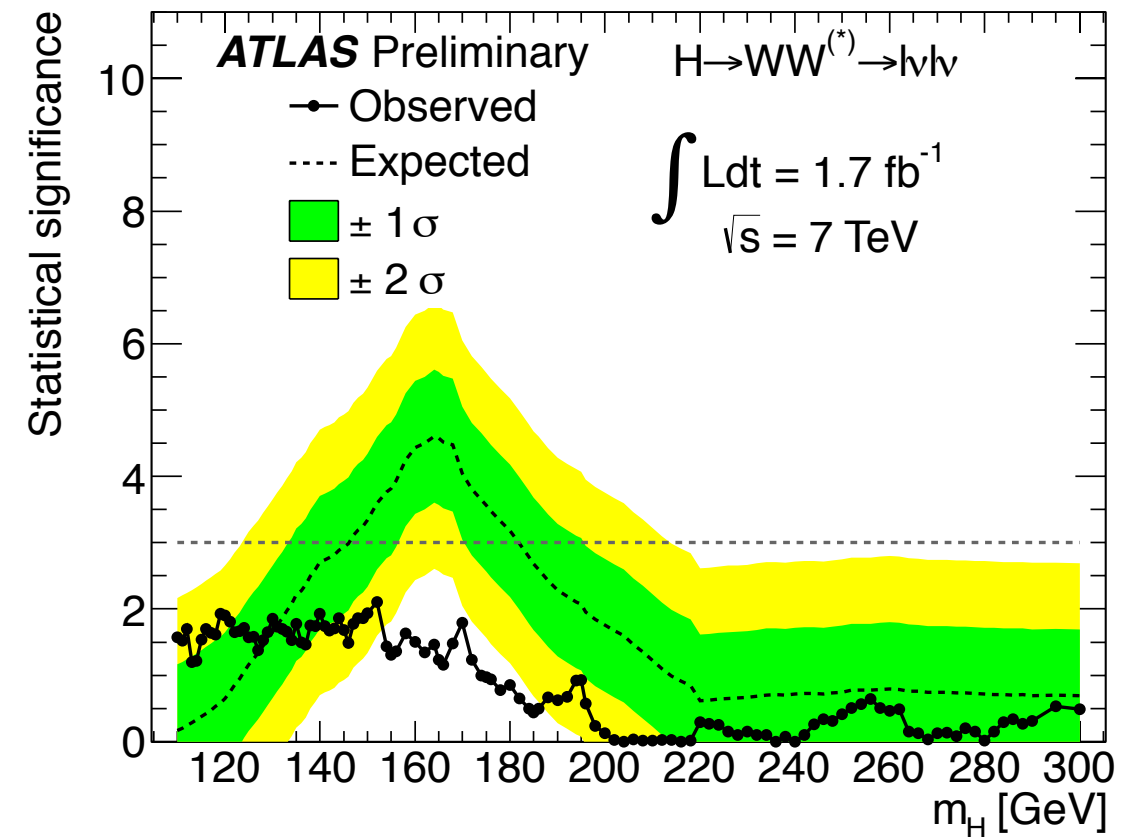
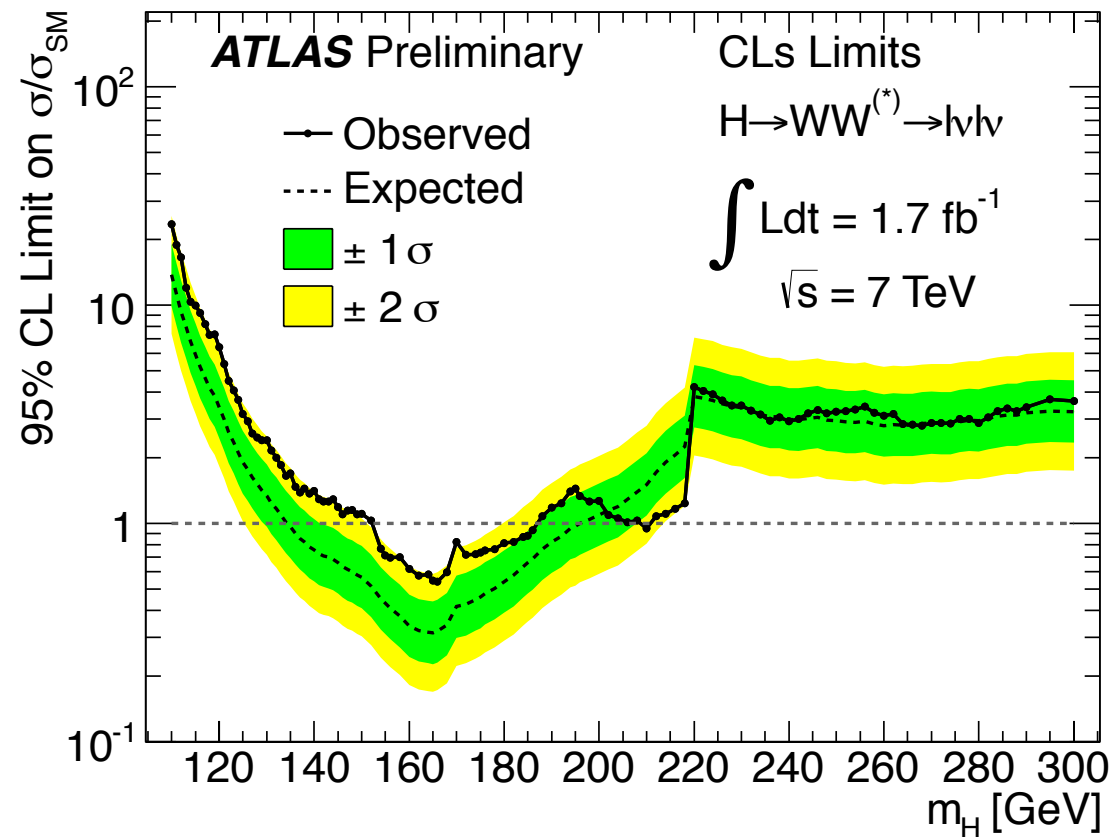


0jet: gluon fusion like



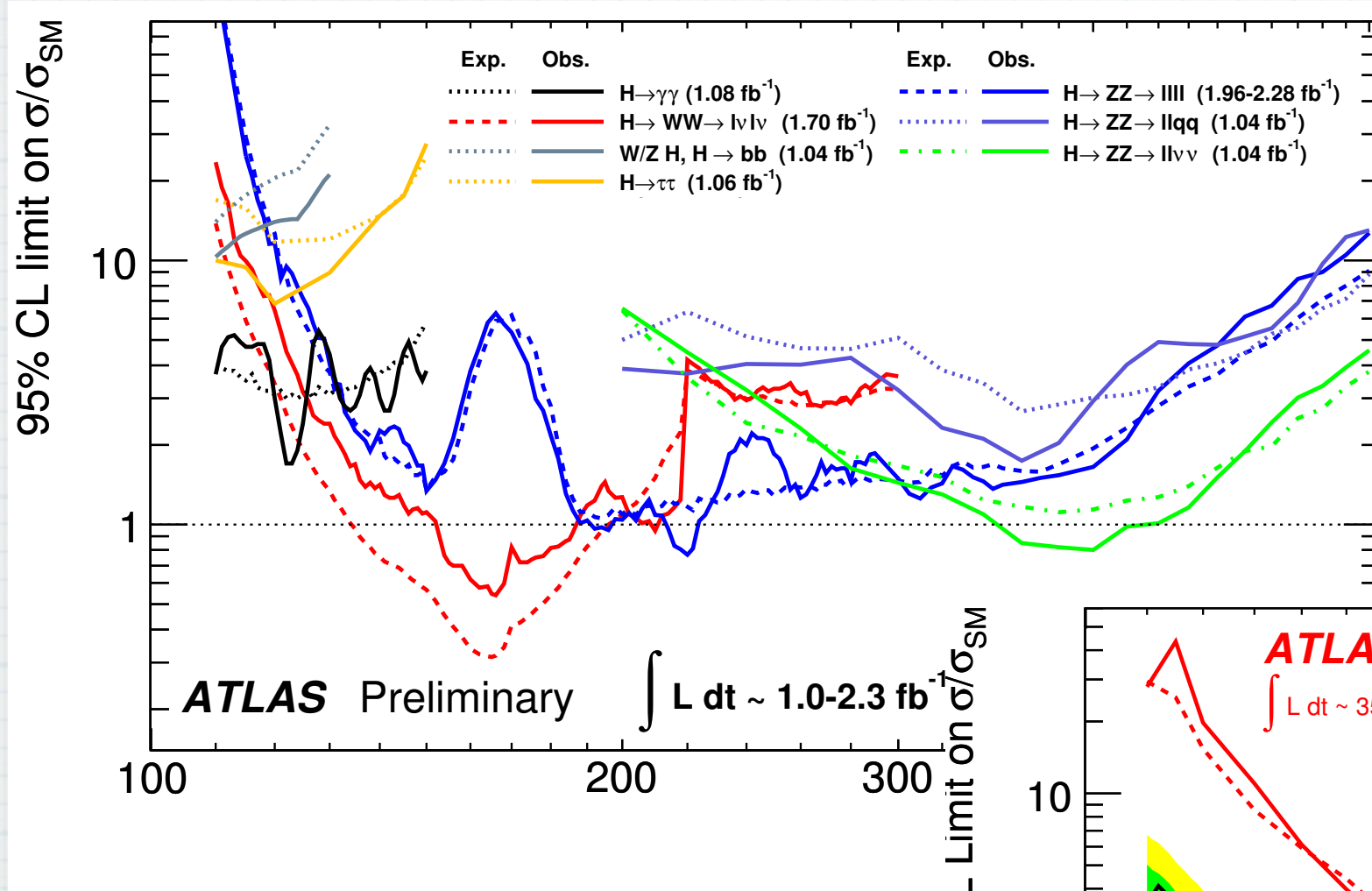
1jet: vector boson fusion like

$H \rightarrow W(\rightarrow l\nu)W(\rightarrow l\nu)$ Limit



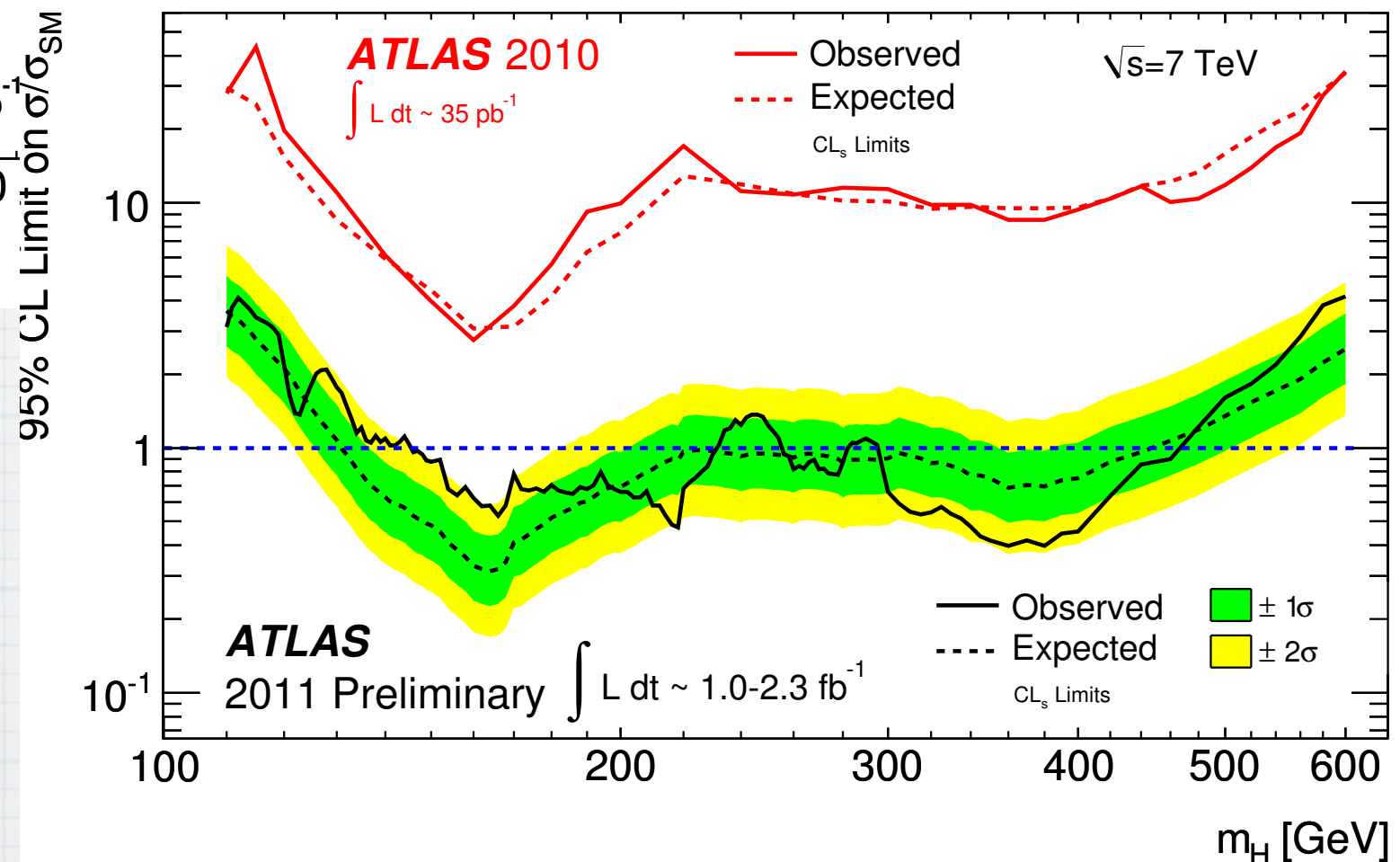
- ❖ $154 < M_H < 186 \text{ GeV}$ を棄却
 - ▶ CMS : $147 < M_H < 194 \text{ GeV}$
- ❖ 軽いところにわずかなexcess

Combination (1.0-2.3fb⁻¹)

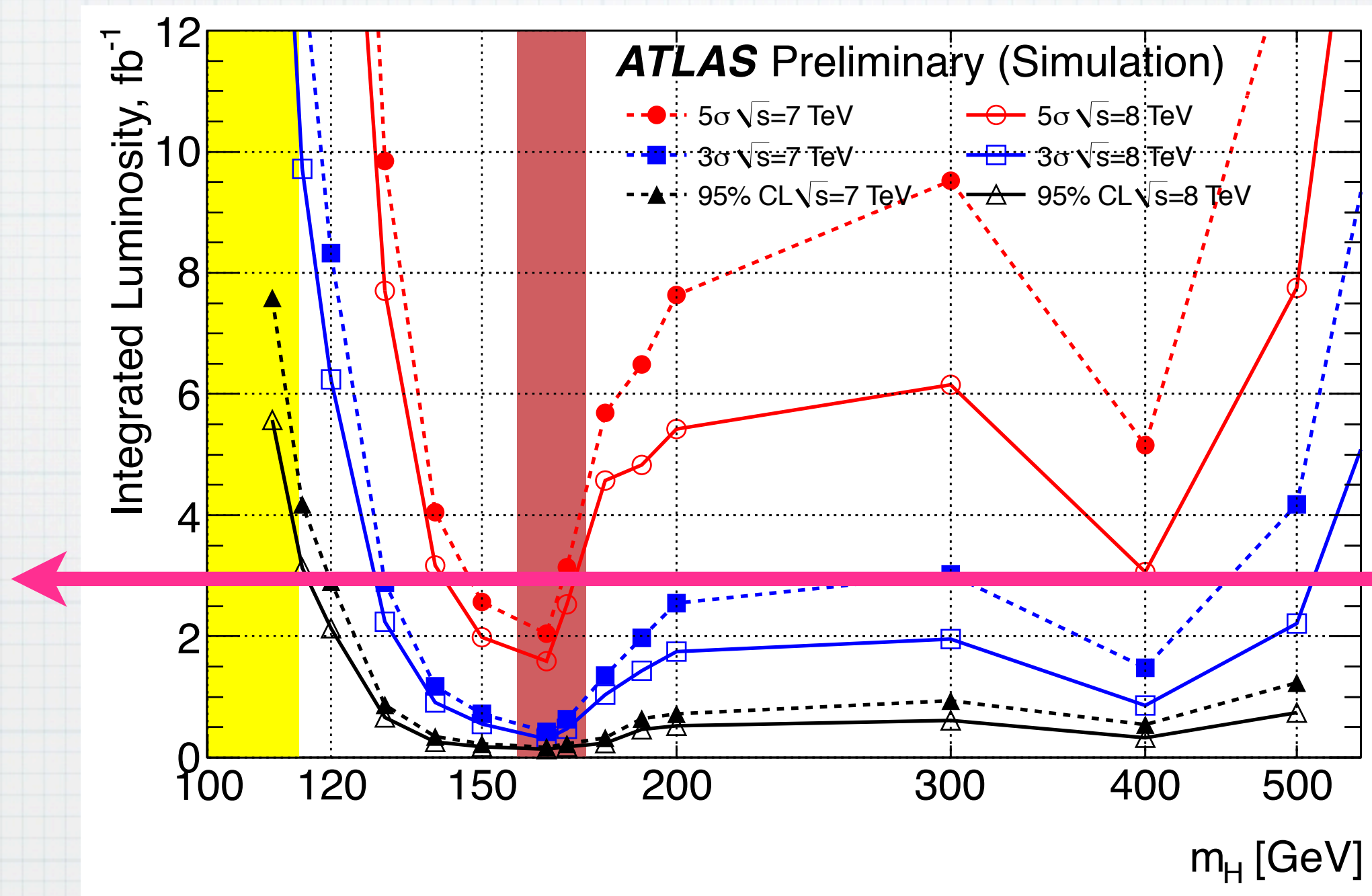


$H \rightarrow \gamma \gamma$
 $H \rightarrow WW \rightarrow l \nu l \nu$
 $H \rightarrow ZZ \rightarrow llll$

❖ 146-446GeVを
 ”ほぼ”棄却

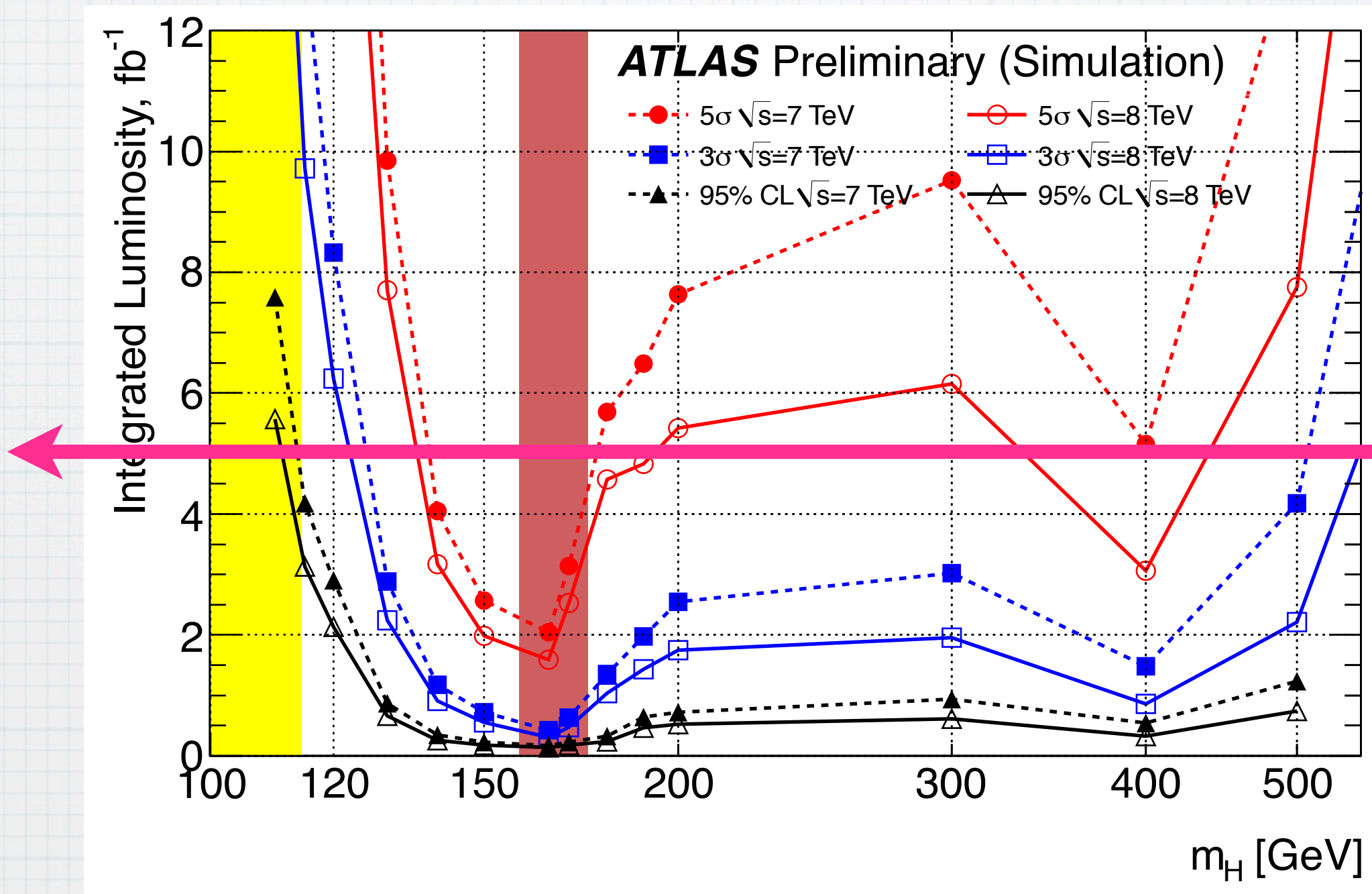


Prospects



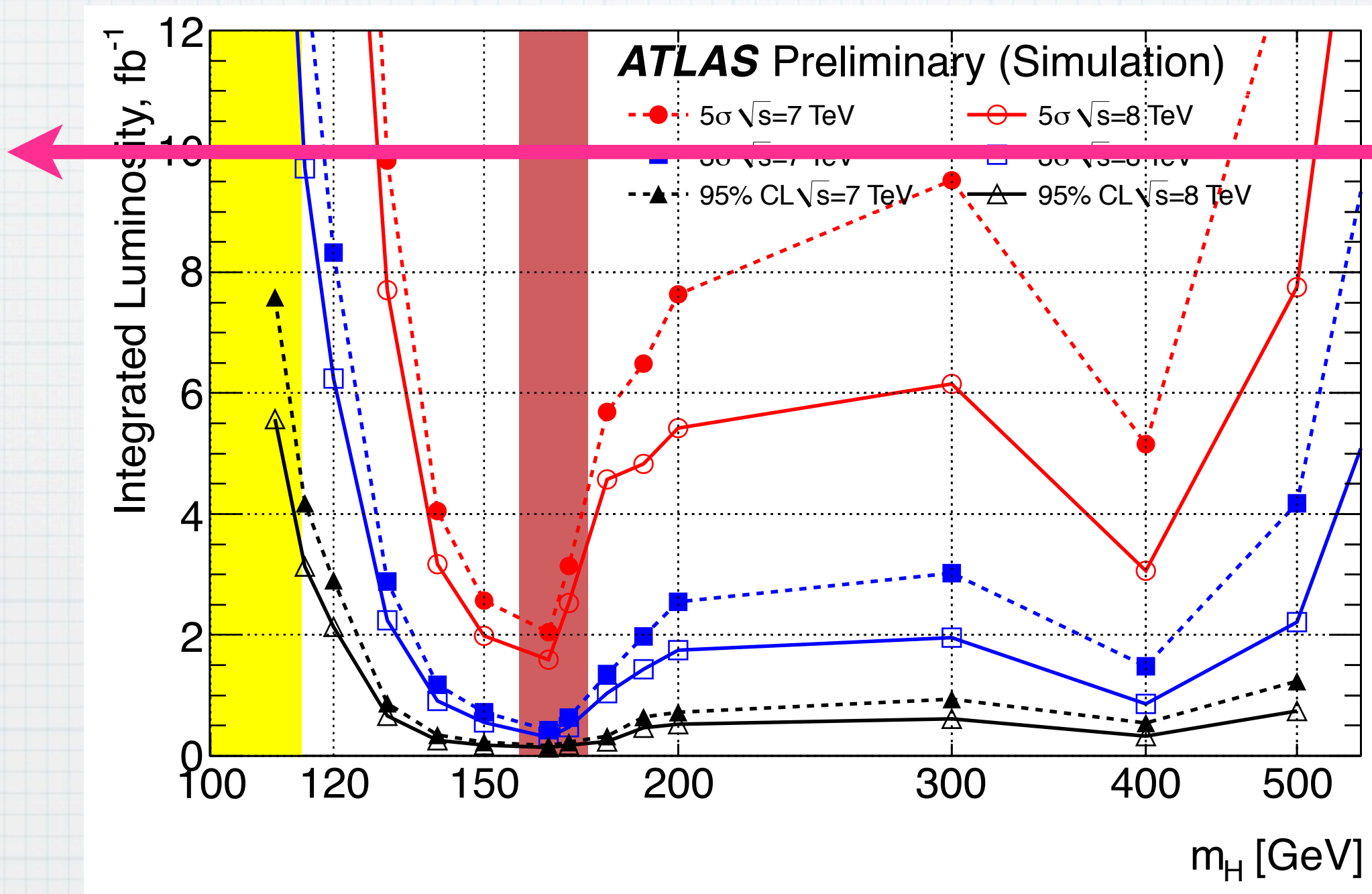
❖ 発見はすぐそこっ

Prospects



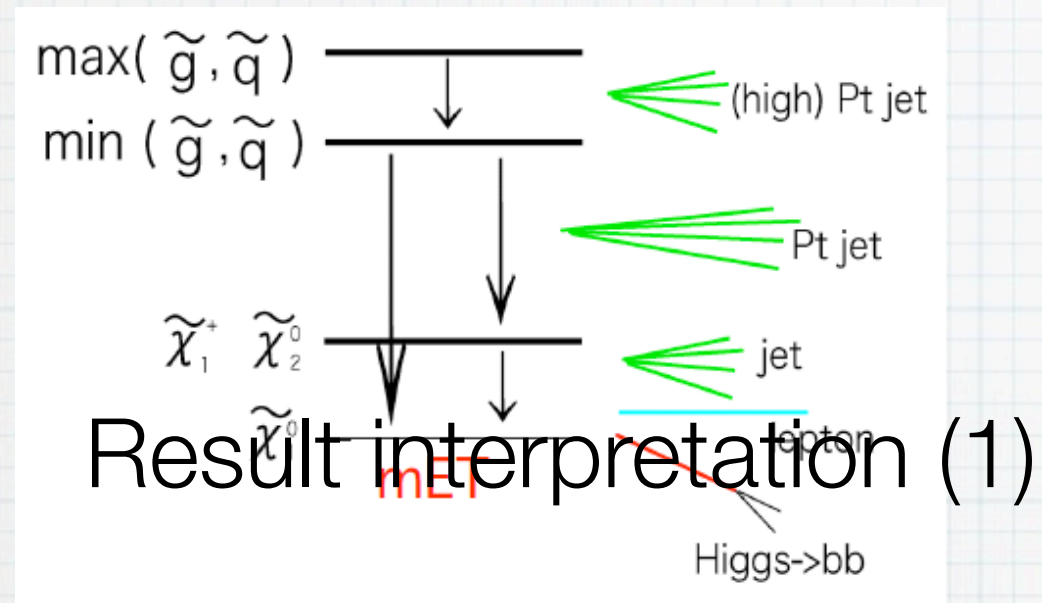
❖ 発見はすぐそこっ

Prospects



❖ 発見はすぐそこっ

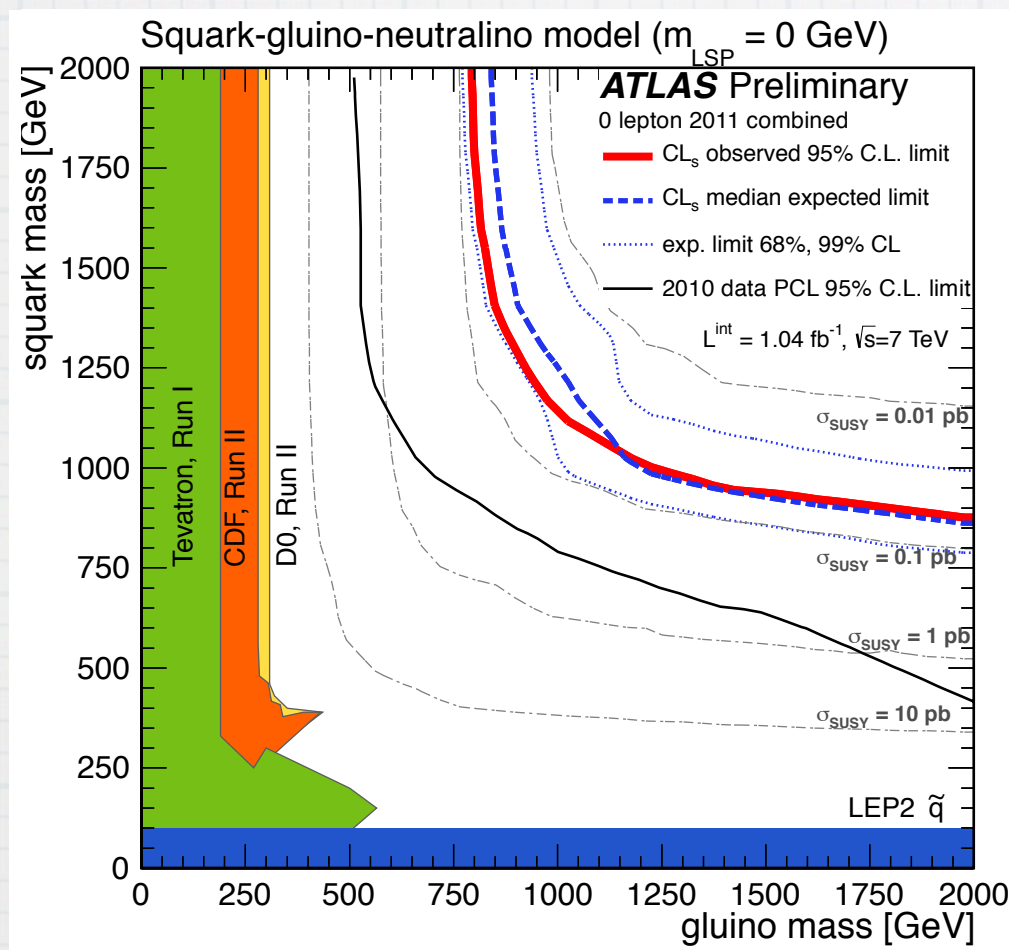
SUSY探索



❖ Jet + missing E_T

❖ 0 lepton

▶ jetの数により tuning

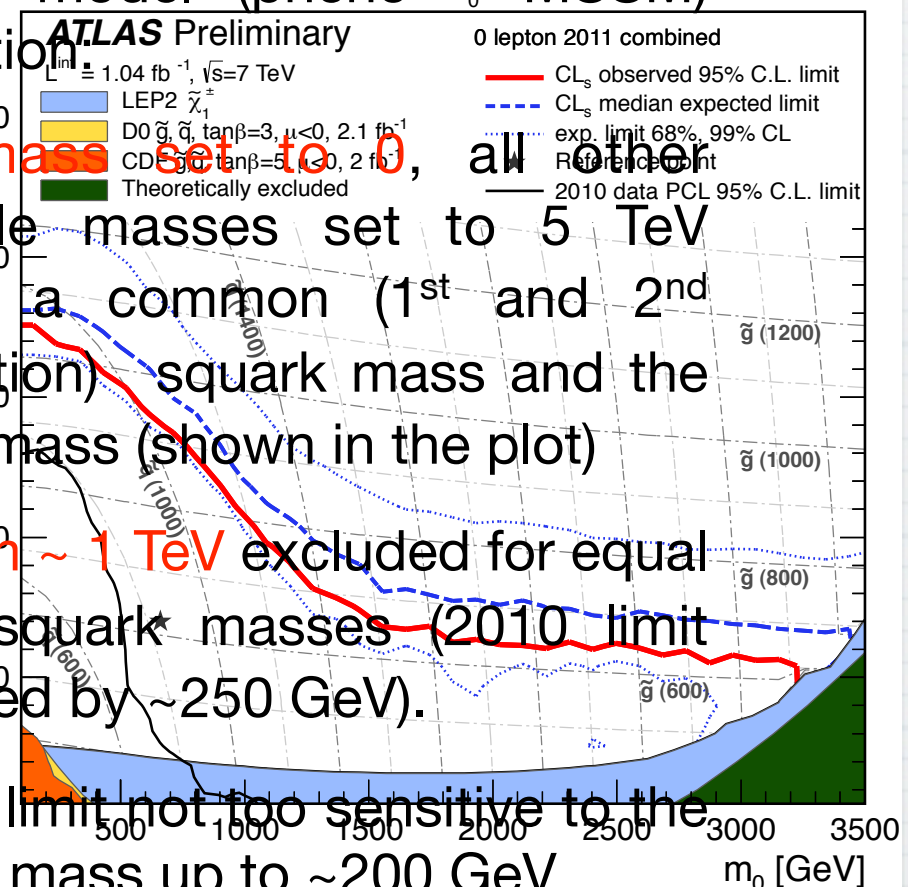


• Simplified model (phenomenological MSSM)

• LSP mass set to 0, all other sparticle masses set to 5 TeV except a common (1st and 2nd generation) squark mass and the gluino mass (shown in the plot)

• Up to $m \sim 1$ TeV excluded for equal gluino-squark masses (2010 limit extended by ~ 250 GeV).

• Exclusion limit not too sensitive to the neutralino mass up to ~ 200 GeV



• Result
mSUGRA
0, tan

• Limit
prof
intro
regio
multip

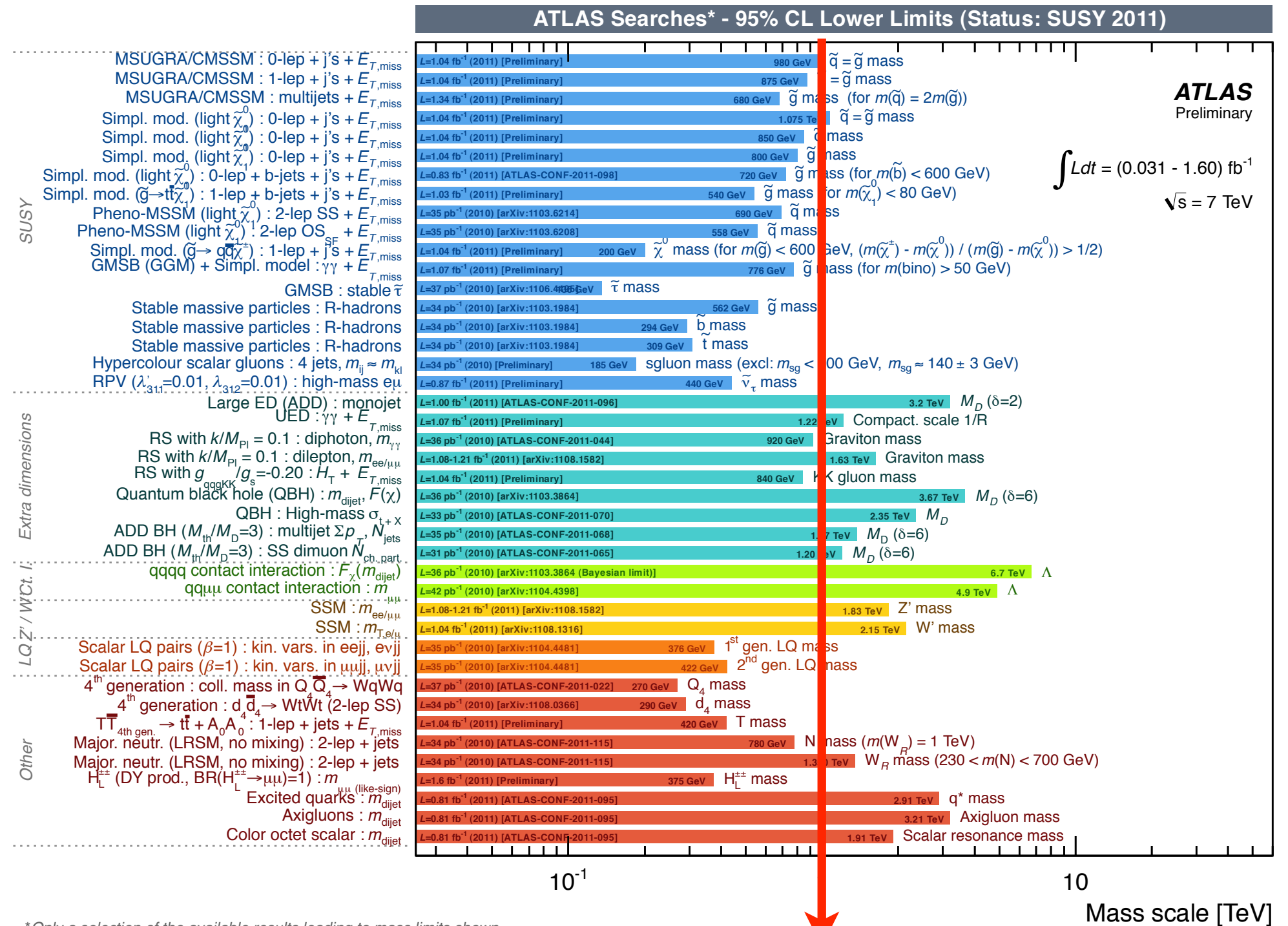
• Equal
mass
980 G

New Physics探索現状

SUSY

ED

W'/Z'



*Only a selection of the available results leading to mass limits shown

次期エネルギー フロンティア計画

2つのアプローチ 陽子 vs 電子

❖ エネルギー

▶ 陽子

◎ シンクロトロン放射 $\Delta E \propto \frac{(E/m)^4}{R}$

❖ 背景事象その他解析のしやすさ

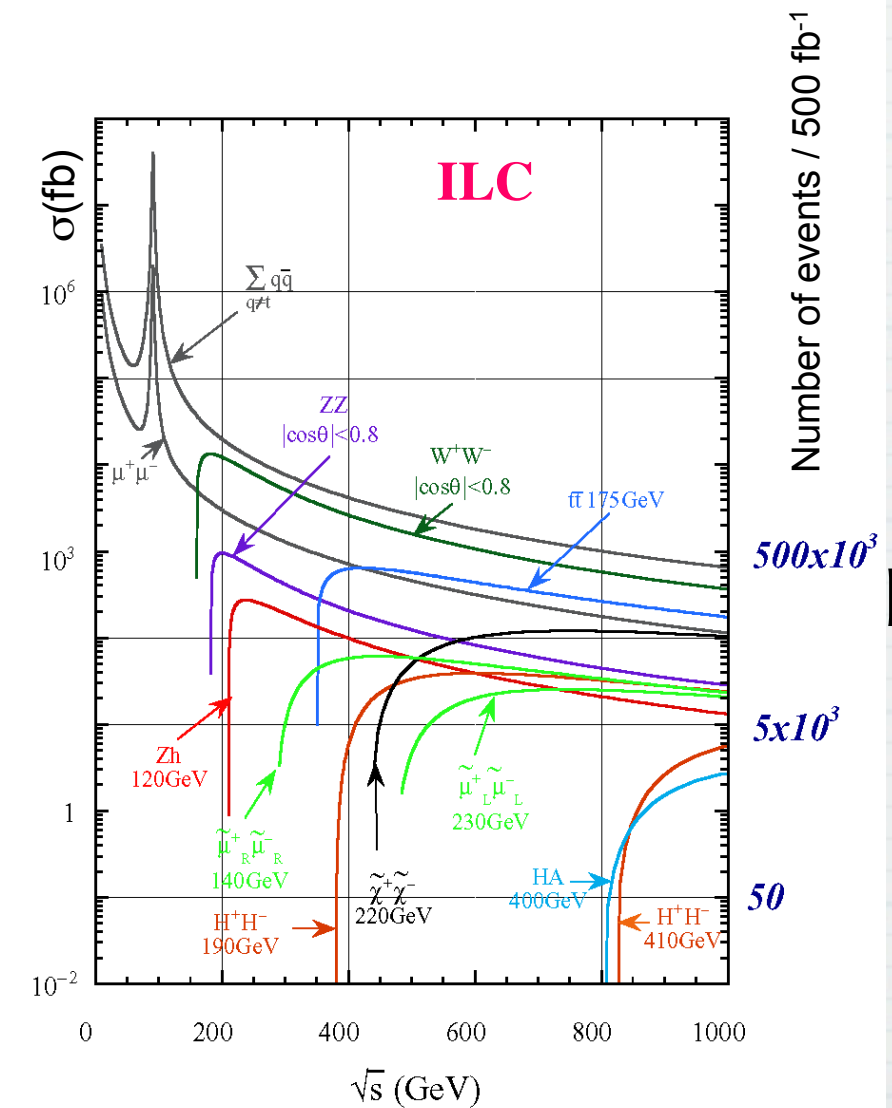
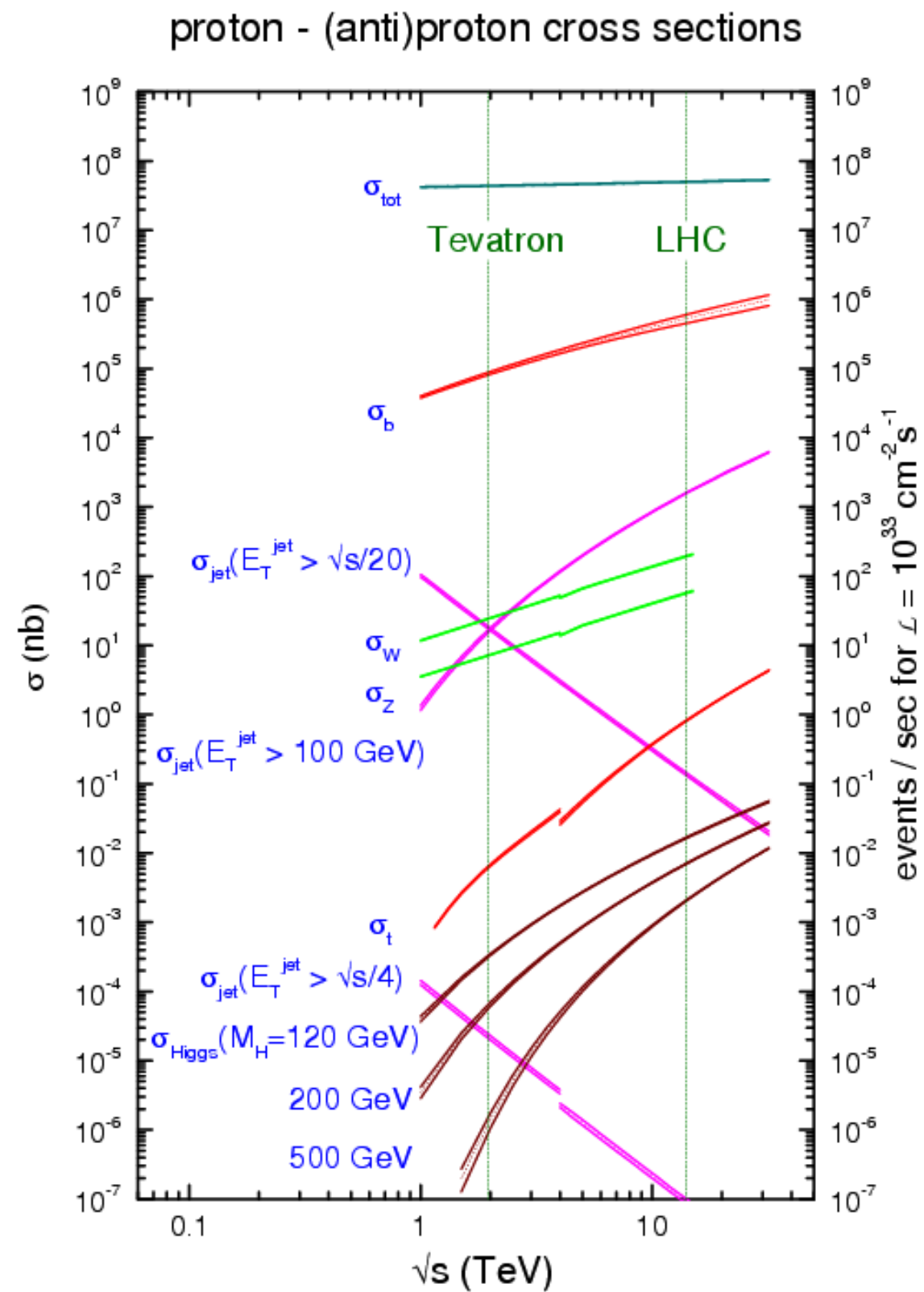
▶ 電子 (R→∞ … Linear Collider)

◎ 高いS/N

◎ No multiple interactions, no underlying events, no remnant

◎ 3次元の運動量保存

2つのアプローチ 陽子 vs 電子



2つのアプローチ 陽子 vs 電子

❖ エネルギー

▶ 陽子

◎ シンクロトロン放射 $\Delta E \propto \frac{(E/m)^4}{R}$

❖ 背景事象その他解析のしやすさ

▶ 電子 (R→∞ … Linear Collider)

◎ 高いS/N

◎ No multiple interactions, no underlying events, no remnant

◎ 3次元の運動量保存

発見と精密測定

❖ ハドロンコライダー

- ▶ 高いエネルギーを利用して未知粒子の発見

❖ レプトンコライダー

- ▶ 高いS/Nなどを利用して精密測定

発見と精密測定

❖ ハドロンコライダー

- ▶ 高いエネルギーを利用して未知粒子の発見

❖ レプトンコライダー

- ▶ 高いS/Nなどを利用して精密測定

SPPS

発見と精密測定

❖ ハドロンコライダー

- ▶ 高いエネルギーを利用して未知粒子の発見

❖ レプトンコライダー

- ▶ 高いS/Nなどを利用して精密測定

SPPS → Tevatron

発見と精密測定

❖ ハドロンコライダー

- ▶ 高いエネルギーを利用して未知粒子の発見

❖ レプトンコライダー

- ▶ 高いS/Nなどを利用して精密測定

SPPS → Tevatron

→ LEP → LEP II

発見と精密測定

❖ ハドロンコライダー

- ▶ 高いエネルギーを利用して未知粒子の発見

❖ レプトンコライダー

- ▶ 高いS/Nなどを利用して精密測定

SPPS → Tevatron → LHC → HL-LHC
→ LEP → LEP II

発見と精密測定

❖ ハドロンコライダー

- ▶ 高いエネルギーを利用して未知粒子の発見

❖ レプトンコライダー

- ▶ 高いS/Nなどを利用して精密測定

SPPS → Tevatron → LHC → HL-LHC
→ LEP → LEP II → ILC

発見と精密測定

❖ ハドロンコライダー

- ▶ 高いエネルギーを利用して未知粒子の発見

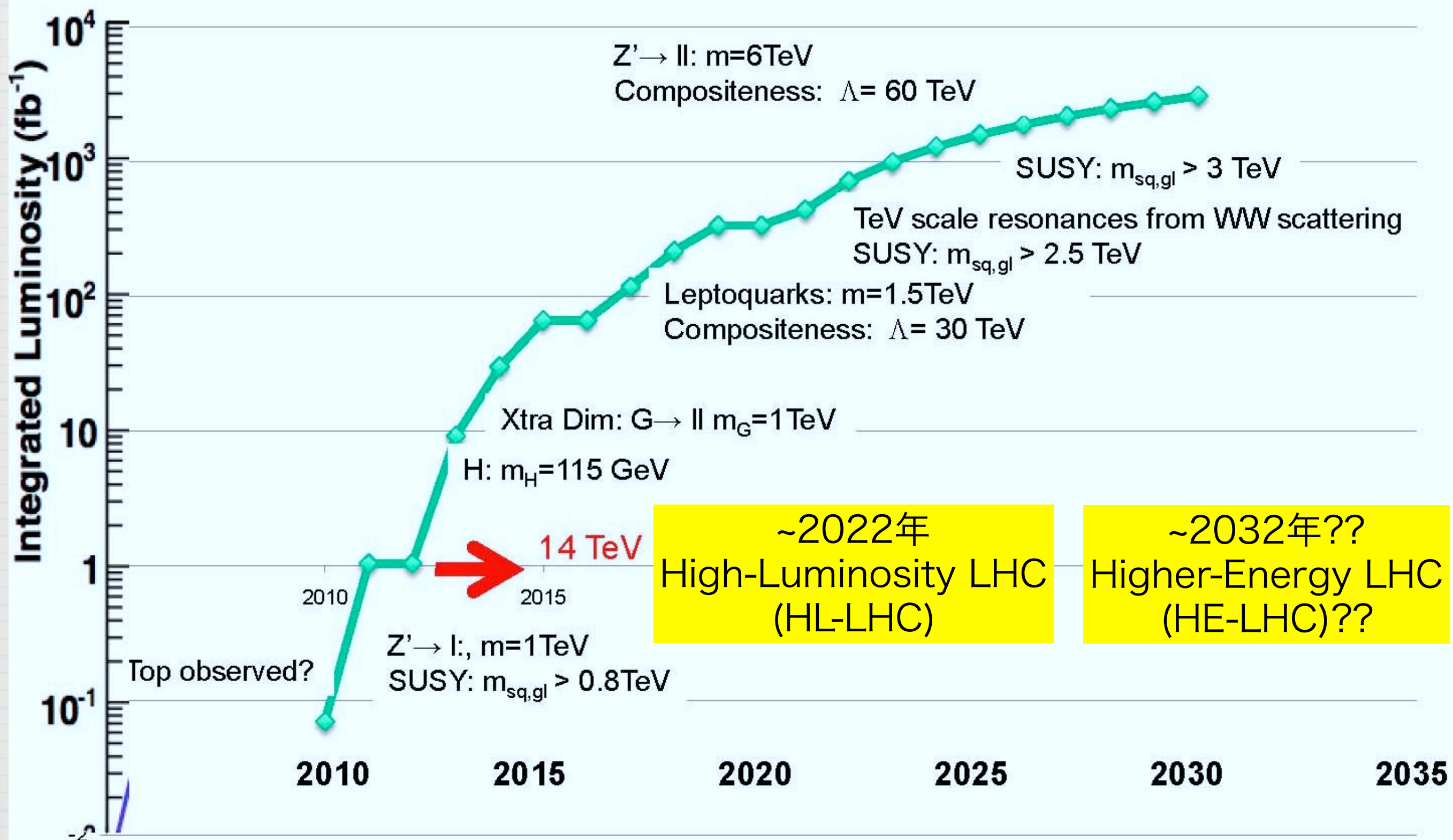
❖ レプトンコライダー

- ▶ 高いS/Nなどを利用して精密測定

SPPS → Tevatron → LHC → HL-LHC
→ LEP → LEP II → ILC

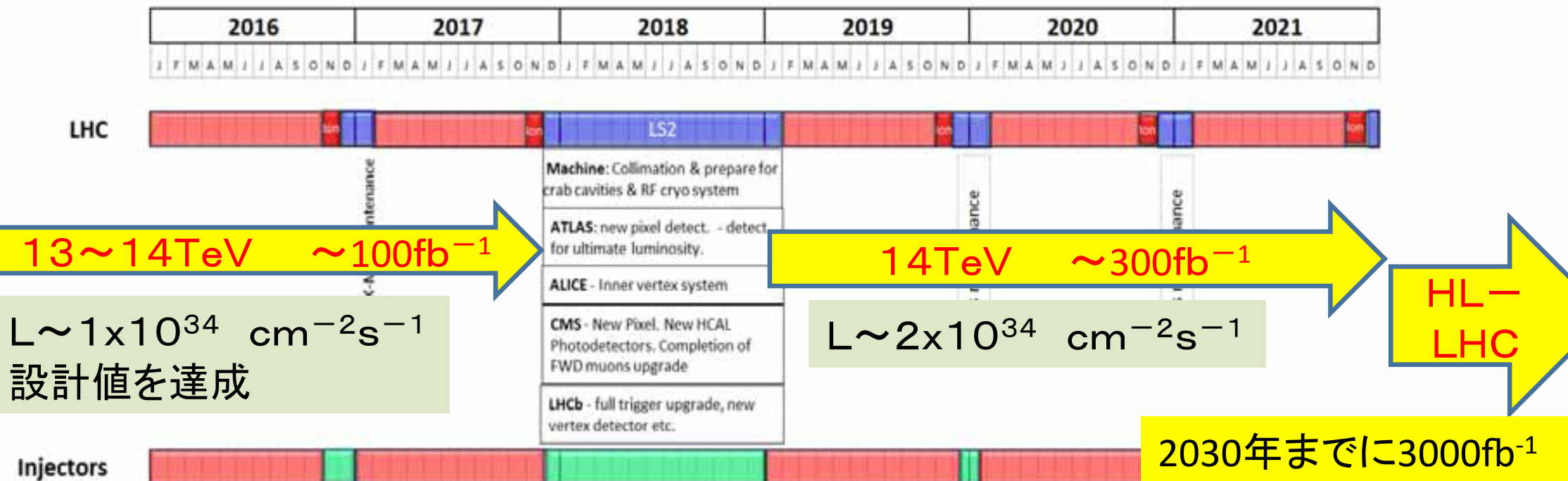
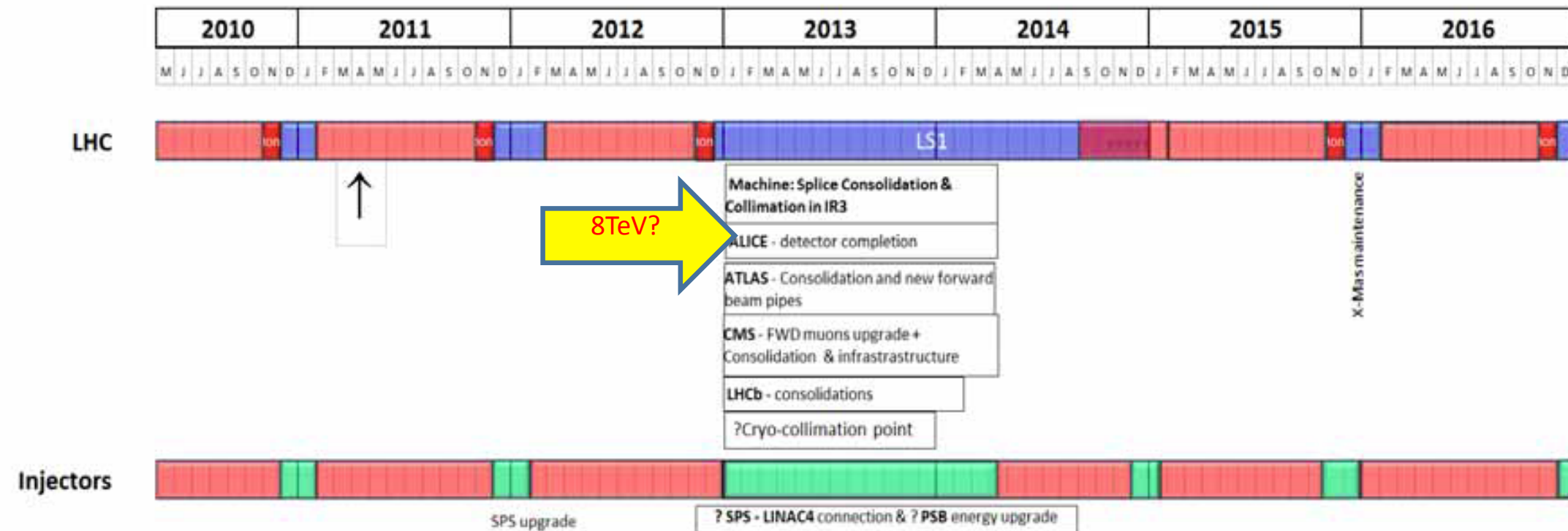
相補的な関係

LHC長期計画



New rough draft 10 year plan

まだ正式なものではない



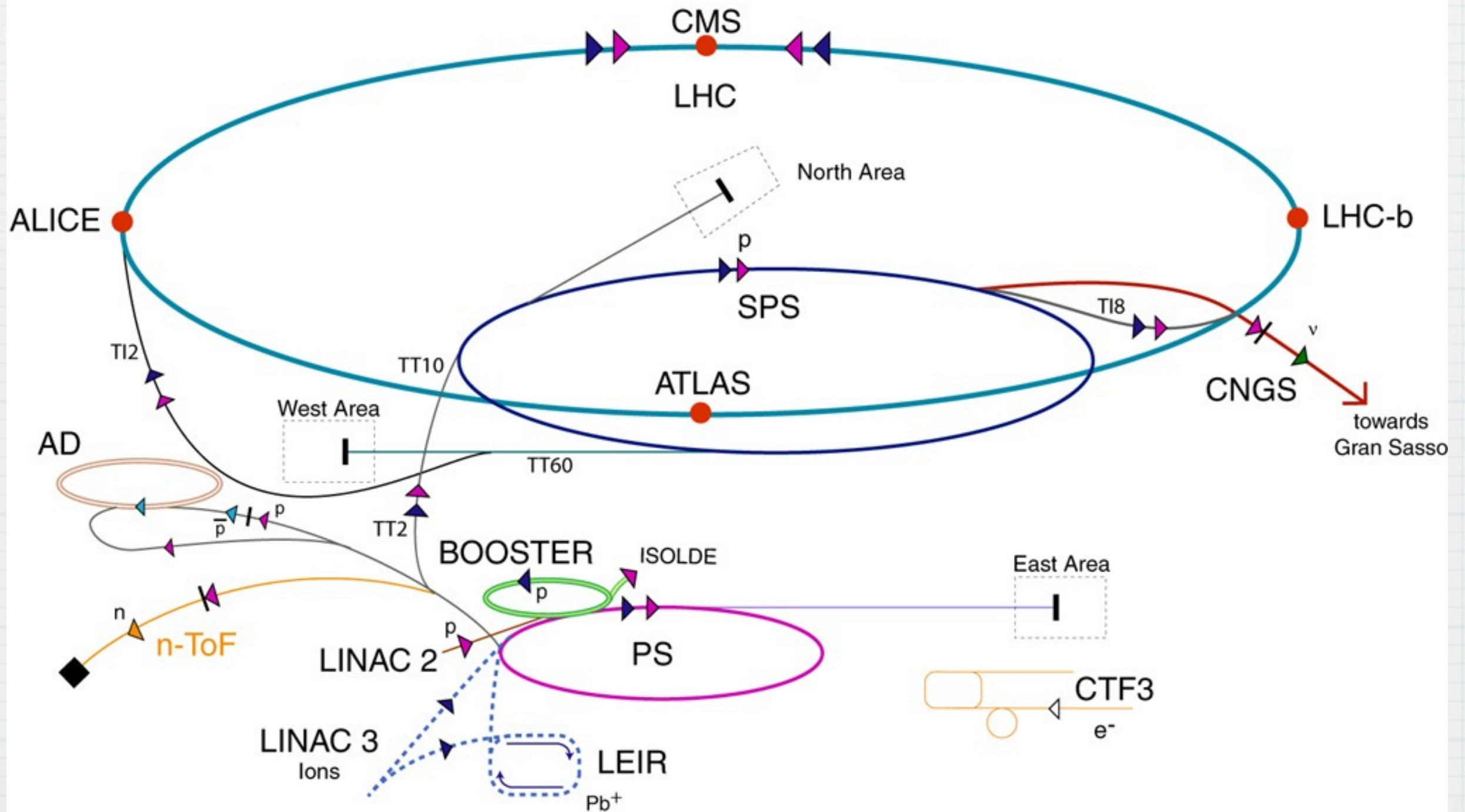
HL-LHCの物理

- ❖ まずは, 探索でのエネルギーリーチの拡大
- ❖ 何かあれば精密測定

質量到達範囲の目安 (TeV)

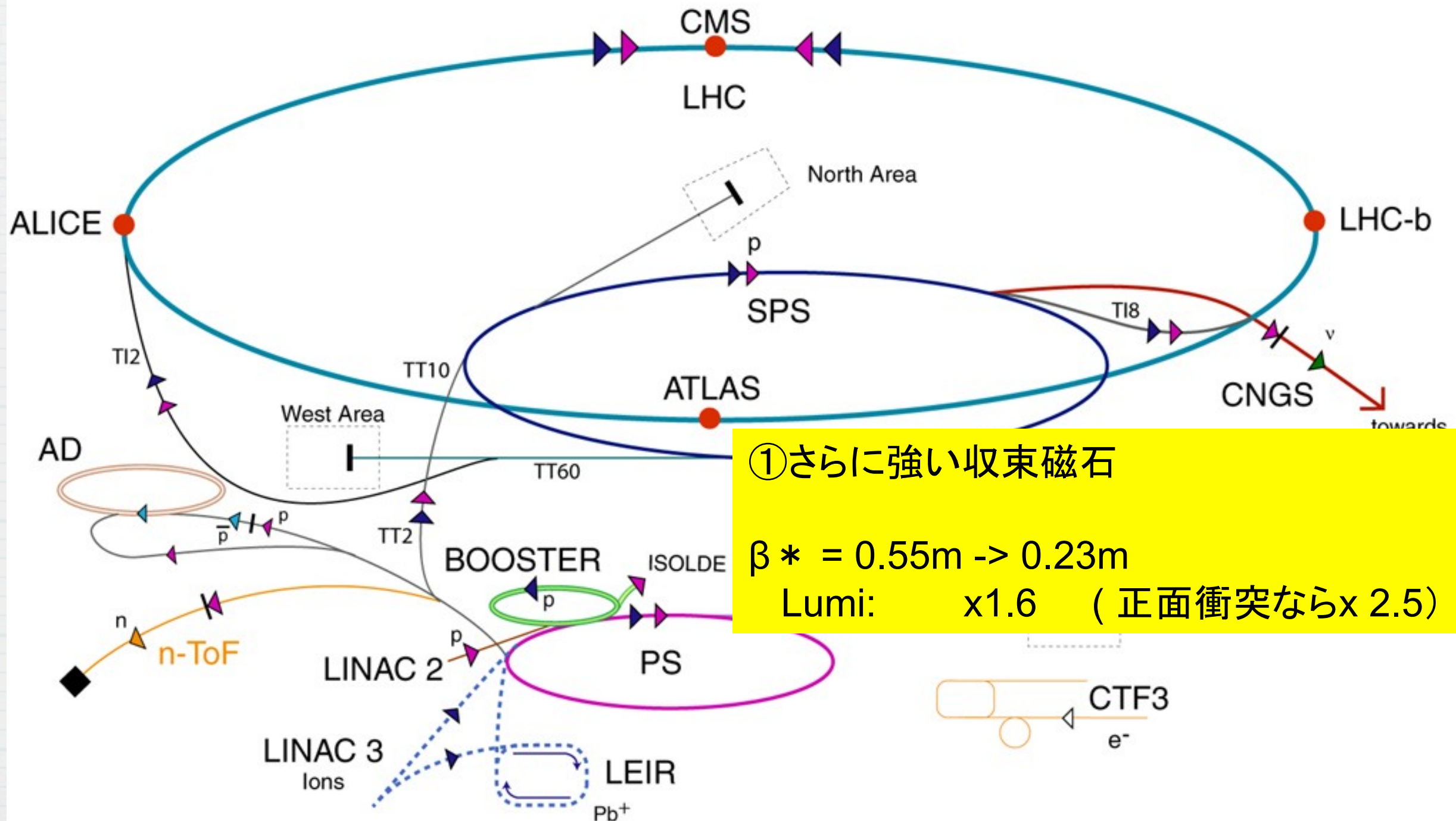
Process	LHC 14 TeV 100 fb ⁻¹	SLHC 14 TeV 1000 fb ⁻¹	DLHC 28 TeV 100 fb ⁻¹	LC 0.8 TeV 500 fb ⁻¹	CLIC 5 TeV 1000 fb ⁻¹
Squarks (TeV)	2.5	3	4	0.4	2.5
$W_L W_L$ (σ)	2	4	4.5	6	90
Z' (TeV)	5	6	8	8 [⊥]	30 [⊥]
Extra-dimens. scale (TeV)	9	12	15	5–8.5 [⊥]	30–55 [⊥]
q^* (TeV)	6.5	7.5	9.5	0.8	5
Compositeness scale (TeV)	30	40	40	100	400
TGC, λ_γ (95%CL)	0.0014	0.0006	0.0008	0.0004	0.00008

High Luminosity を得るために



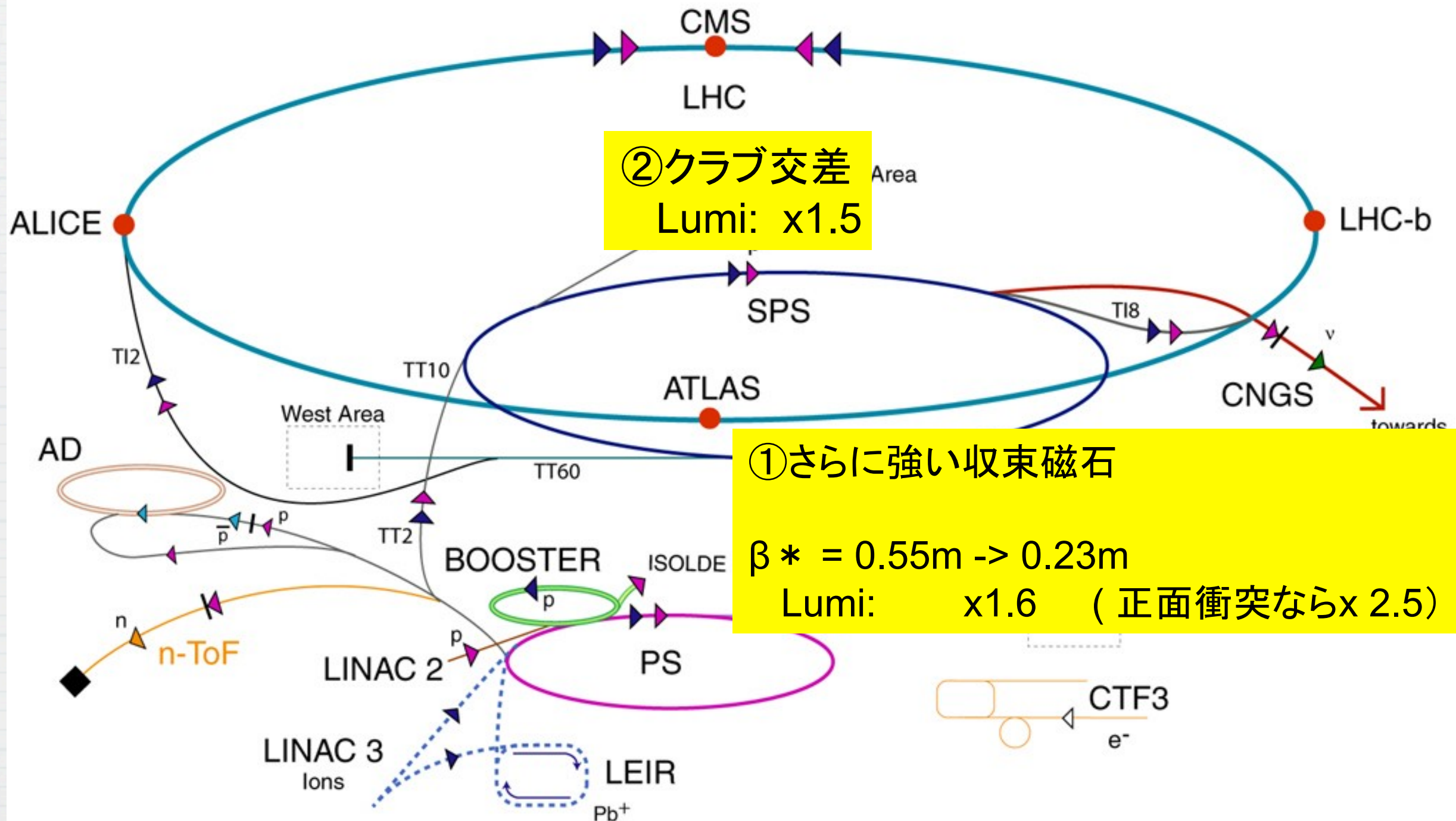
▶ protons	▶ antiprotons	AD Antiproton Decelerator	LHC Large Hadron Collider
▶ ions	▶ electrons	PS Proton Synchrotron	n-ToF Neutron Time of Flight
▶ neutrons	▶ neutrinos	SPS Super Proton Synchrotron	CNGS CERN Neutrinos Gran Sasso
			CTF3 CLIC Test Facility 3

High Luminosity を得るために



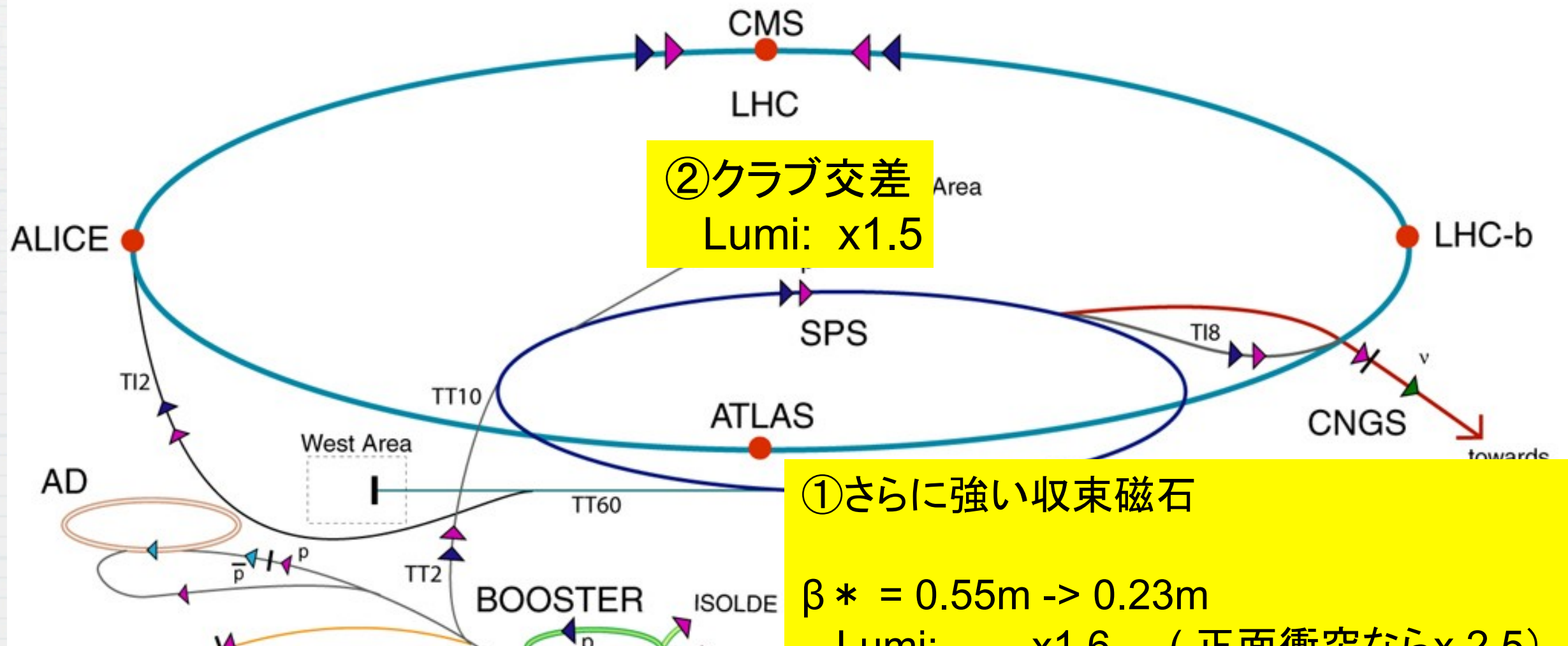
▶ protons	▶ antiprotons	AD Antiproton Decelerator	LHC Large Hadron Collider
▶ ions	▶ electrons	PS Proton Synchrotron	n-ToF Neutron Time of Flight
▶ neutrons	▶ neutrinos	SPS Super Proton Synchrotron	CNGS CERN Neutrinos Gran Sasso
			CTF3 CLIC Test Facility 3

High Luminosity を得るために



▶ protons	▶ antiprotons	AD Antiproton Decelerator	LHC Large Hadron Collider
▶ ions	▶ electrons	PS Proton Synchrotron	n-ToF Neutron Time of Flight
▶ neutrons	▶ neutrinos	SPS Super Proton Synchrotron	CNGS CERN Neutrinos Gran Sasso
			CTF3 CLIC Test Facility 3

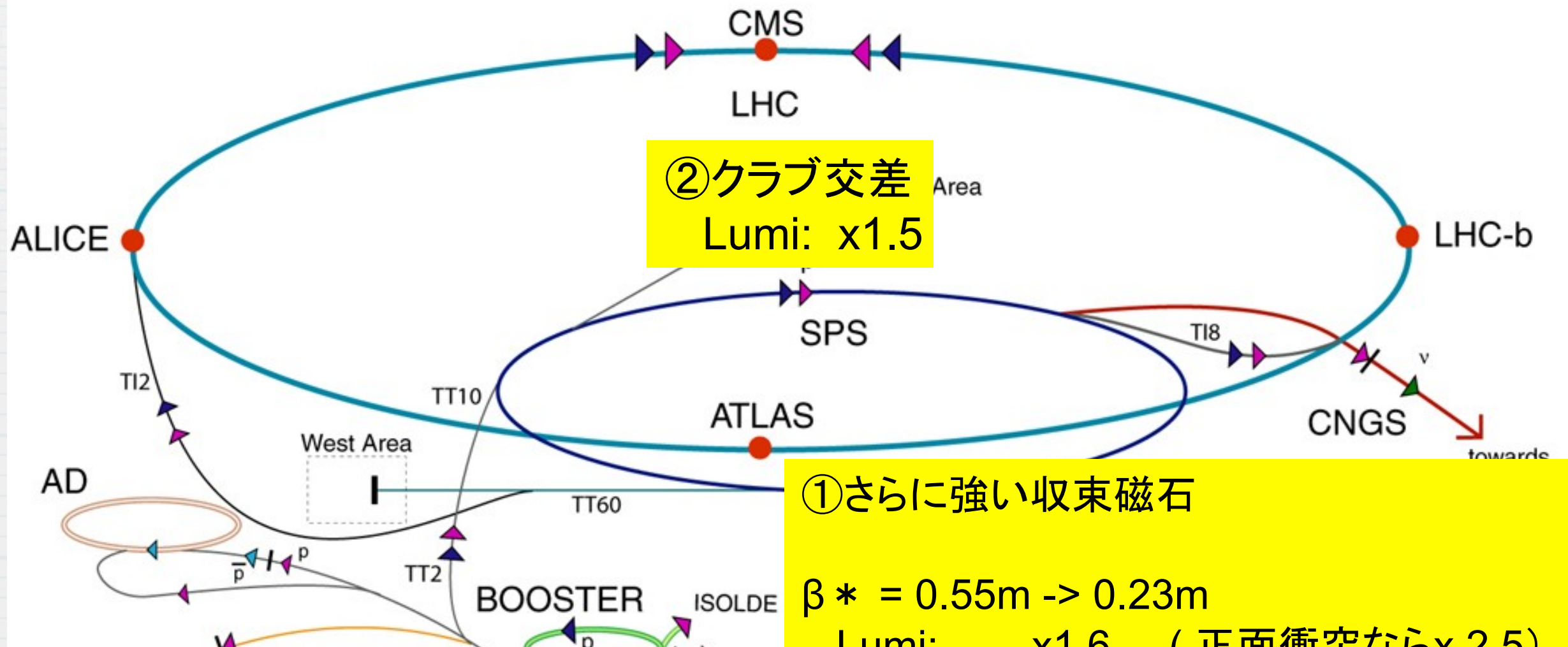
High Luminosity を得るために



③よりたくさんのビーム
を入射: Injector upgrade
N: $1.15 \times 10^{11} \rightarrow 1.5-1.7 \times 10^{11}$
Lumi: x2-3

▶ protons	▶ antiprotons	AD Antiproton Decelerator	LHC Large Hadron Collider
▶ ions	▶ electrons	PS Proton Synchrotron	n-ToF Neutron Time of Flight
▶ neutrons	▶ neutrinos	SPS Super Proton Synchrotron	CNGS CERN Neutrinos Gran Sasso
			CTF3 CLIC Test Facility 3

High Luminosity を得るために

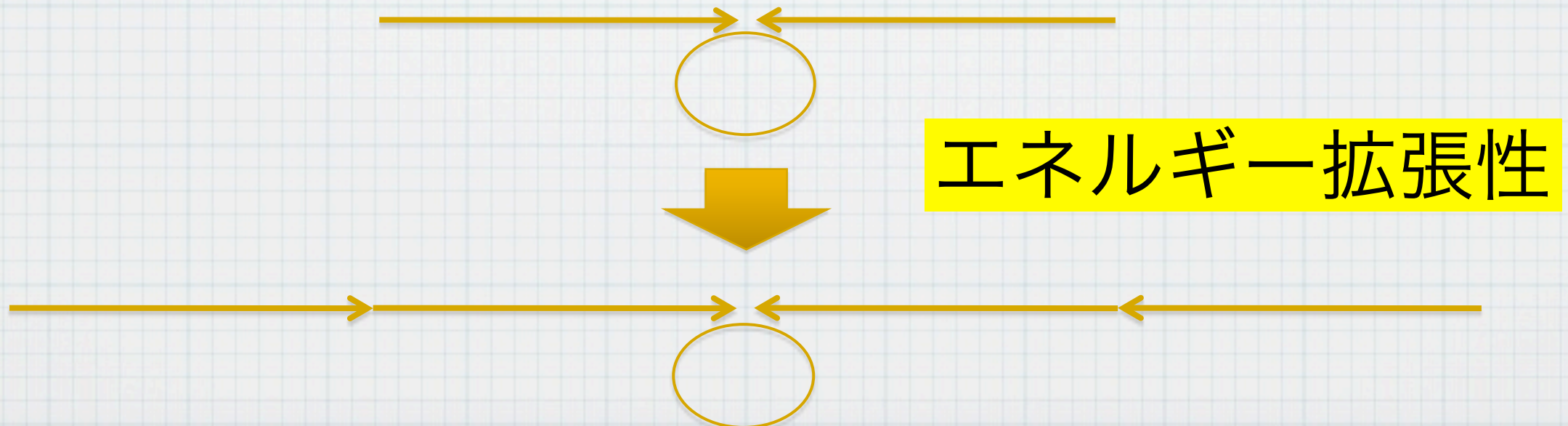


▶ protons	▶ antiprotons	AD Antiproton Decelerator	LHC Large Hadron Collider
▶ ions	▶ electrons	PS Proton Synchrotron	n-ToF Neutron Time of Flight
▶ neutrons	▶ neutrinos	SPS Super Proton Synchrotron	CNGS CERN Neutrinos Gran Sasso
			CTF3 CLIC Test Facility 3

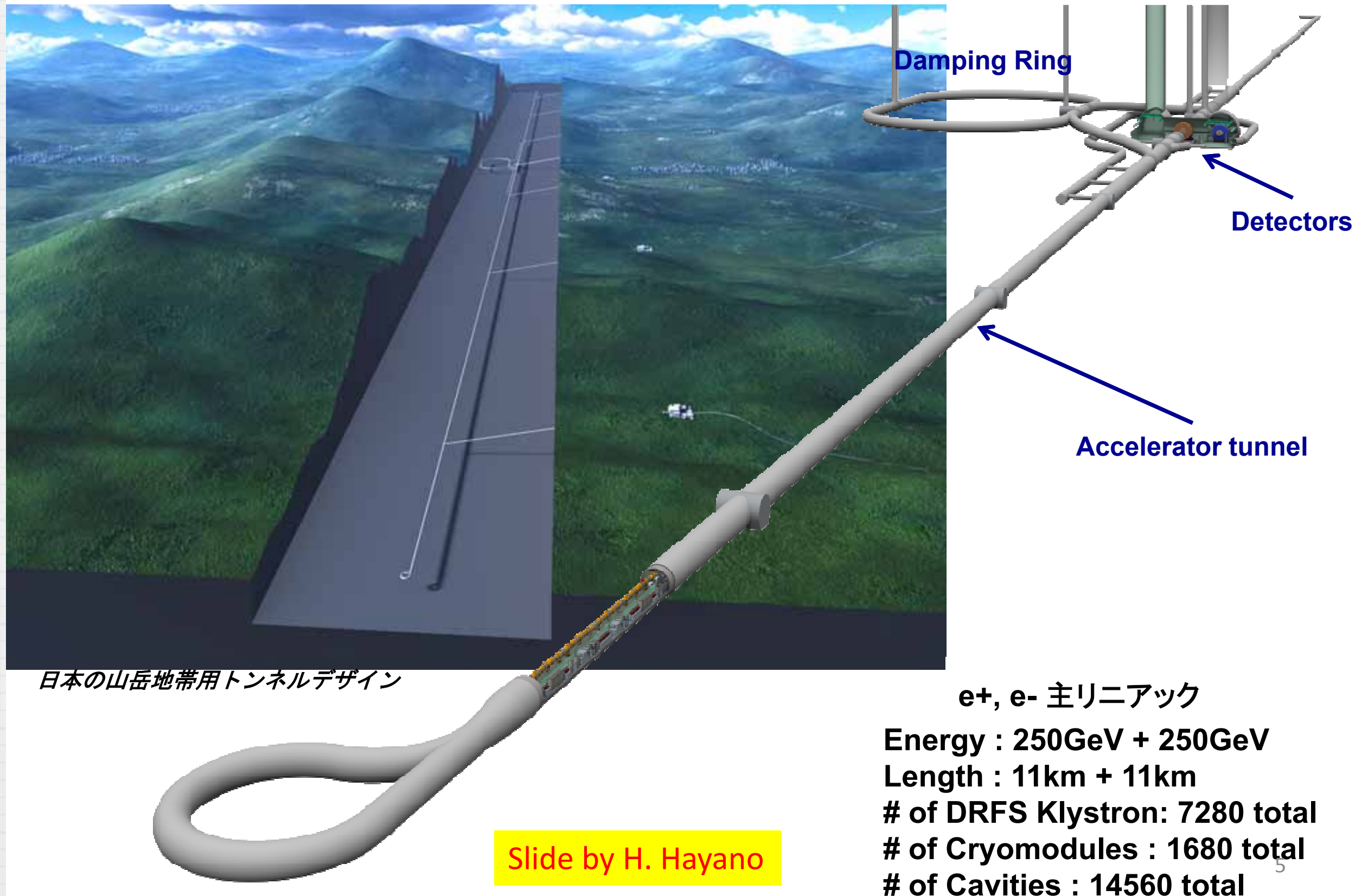
ILC はじめの一歩

❖ 最も重要なのは加速器のエネルギー

- ▶ Higgs生成 $M_{\text{higgs}} + M_Z$
- ▶ Higgs自己結合 $2 \times M_{\text{higgs}} + M_Z$
- ▶ 超対称性・ダークマター $2 \times \text{LSP}$
- ▶ Any pair production $2 \times M$



ILC リニアコライダー加速器(TDR)の鳥瞰図



ILC Accelerator Baseline Parameter for Physics

The BASELINE:

E_{cm} adjustable from 200 – 500 GeV

Luminosity $\int L dt = 500 \text{ fb}^{-1}$ in the first 4 years ($L \sim 2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

e^- beam polarization 80%

Upgradable: *to $\sim 1 \text{ TeV}$ with 1 ab^{-1} / 3-4 years*

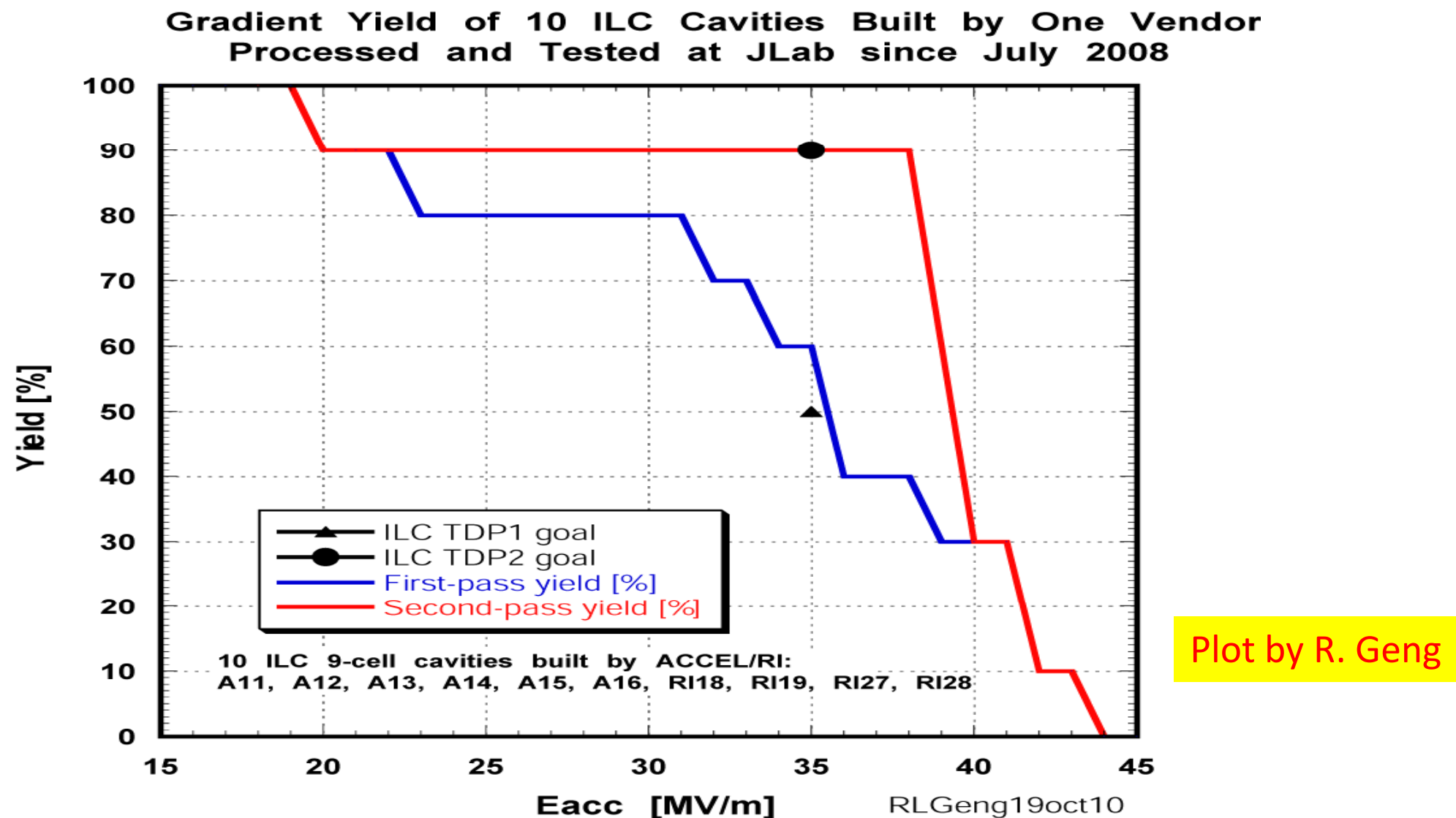
Options :

- e^+ polarization $> 50\%$
- GigaZ (high luminosity running at M_Z and $2M_W$)
- $\gamma\gamma$, $e\gamma$, e^-e^- collisions

Choice of options depends on LHC+ILC results

[<http://www.fnal.gov/directorate/icfa/para-Nov20-final.pdf>, Heuer et al]

超伝導空洞



Jlabにおける標準的な内面処理を行ったRI社製9セル空洞(10台)の性能歩留まりのプロット。製造受け入れ性能 $>38\text{MV/m}$ 対して、歩留まりが90%であることを表している。材料の欠陥や製造時の欠陥がなければ、この歩留まりが得られると考えられる。

良い製造会社と良い表面処理を選ぶと、ILCの最終目標である製造受け入れ性能 $>35\text{MV/m}$ で90%の歩留まり(Yield)を既に達成している。

シナリオ

提言のReminder

- ❖ LHCにおいて1TeV位までにヒッグスなどの新粒子の存在が確認された場合には、ILC による詳細研究が大きく期待され、新しい物理の解明に最適化した ILCの早期実現に尽力すべきである。特に軽い新粒子は比較的早期に発見される可能性があり、その場合低い 衝突エネルギーでの研究が重要となる。今からその様な場合に適した加速器の設計研究を 適宜進めていく必要がある。 一方ILCのエネルギー範囲に新粒子・新現象が全く期待できない場合には、LHCおよび そのアップグレード(HL-LHC)によって間断なく新しい物理の探究を続けると共に、必要とされるエネルギーに素早く到達可能なレプトンコライダーを実現するための電子加速 技術などの開発研究を日本として重点強化していく。

LHCの結果に沿ったシナリオ

9/10のタウンミーティングでの 議論を踏まえて提示

- ❖ 現在までのLHCの結果を受けて分類
 - ▶ 単純化のために以下の3つ
 - 1) 軽いヒッグスあり, New Physicsあり
 - 2) 軽いヒッグスあり, New Physicsなし
 - 3) ヒッグスなし, New Physicsなし

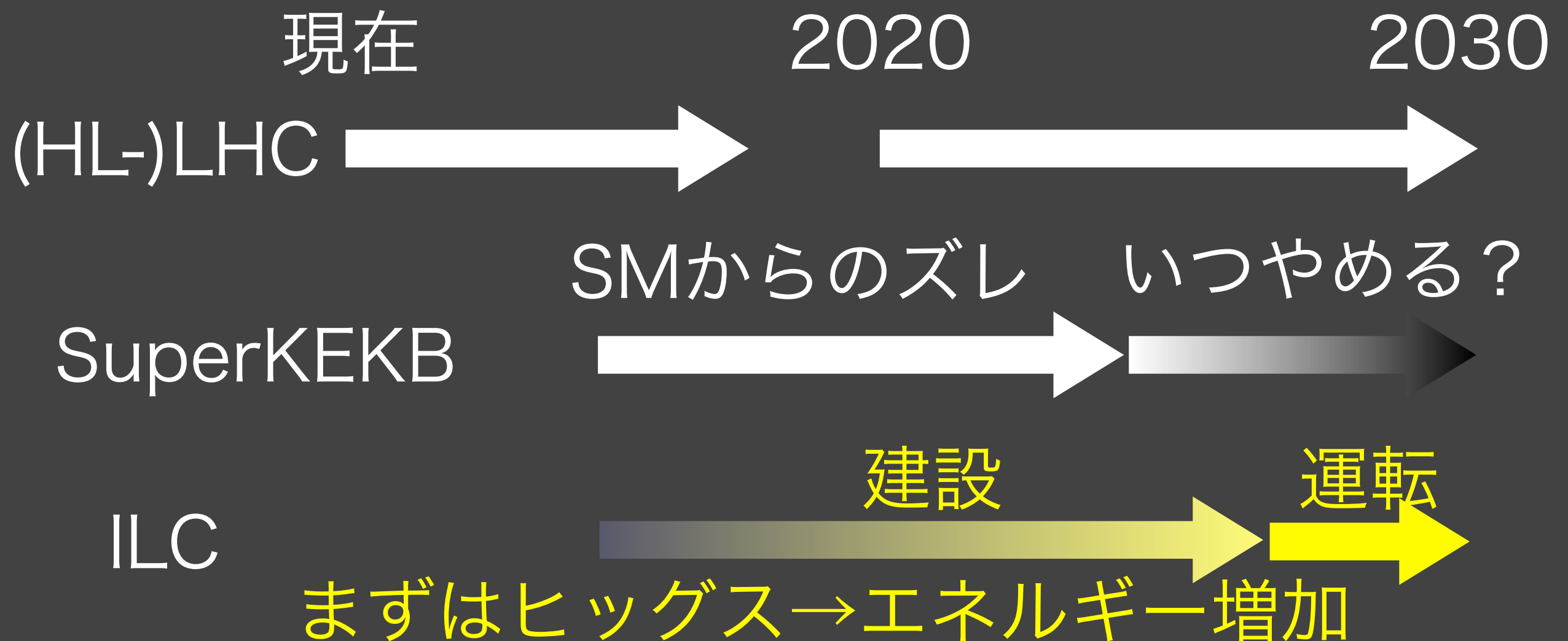
1) Higgs ある / NP ある

- ロマンチックな時代の到来
 - ❖ Higgsの精密測定
 - ▶ 結合定数, 質量, スピン, CP, 寿命
 - ❖ 新現象の同定
 - ▶ SUSY, Little Higgs, UED, etc.
 - ◎ MSSMは軽いHiggsがお好み

テラスケール物理のパラダイム

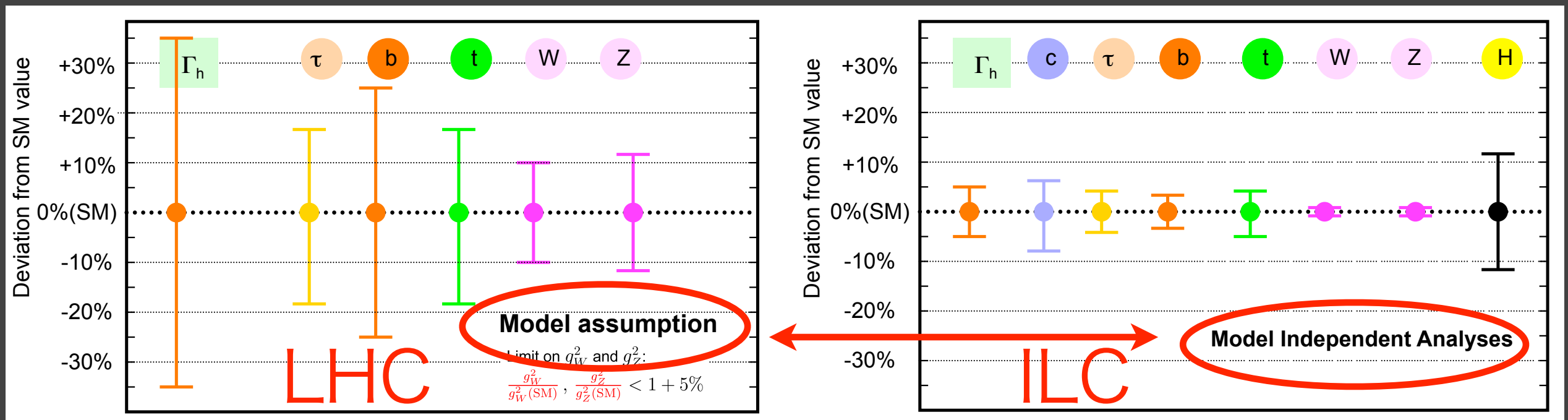
1) Higgs ある / NP ある

- LHC : 未知粒子のさらなる探索
- LHC+ILC: Higgsの精密測定, 新現象の同定



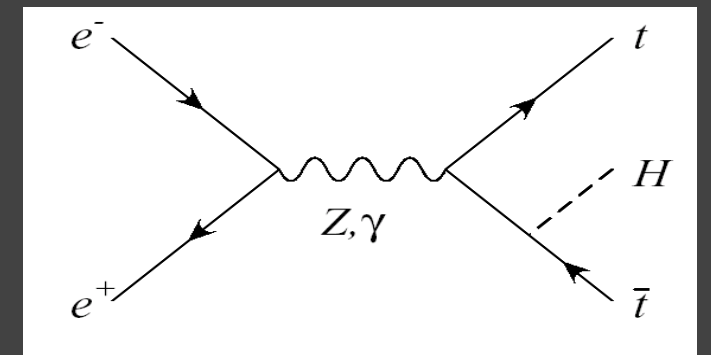
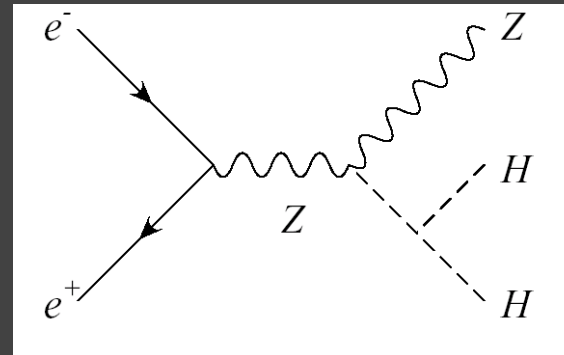
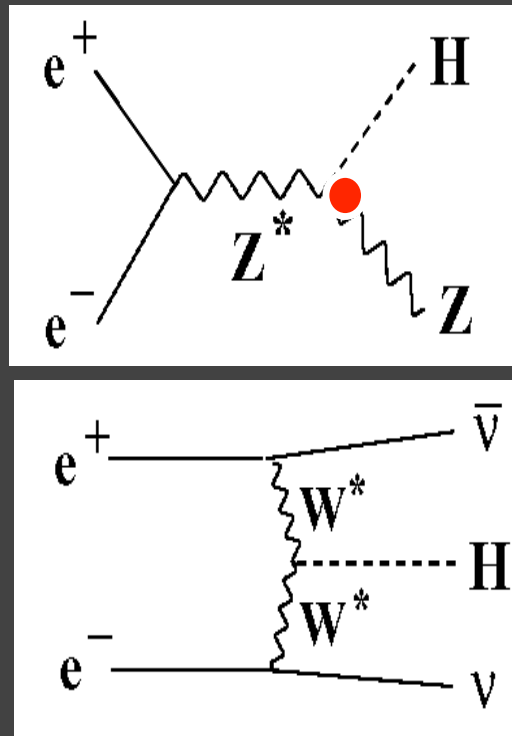
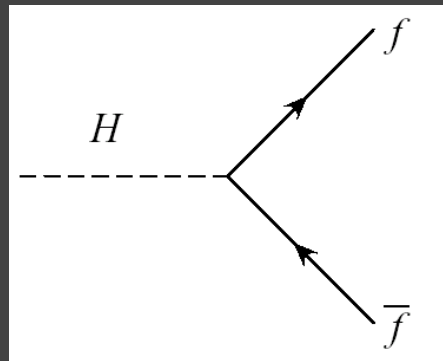
2) Higgs ある / NP ない

- 階層性問題その他, 色々な問題が未解決
- Higgsを調べ尽くす
 - ❖ SM か New Physics か
 - ❖ New Physics への手がかりを探す



Higgs Factory

- ヒッグスの性質



- 新物理が見えてないだけかもしれない
 - ❖ 将来LHCで重い新粒子が見つかる可能性
 - $\Rightarrow$ ILCではエネルギー拡張できるように

2) Higgs ある / NP ない

- HL-LHCでさらに探索+Higgsの測定
- ILCでヒッグスファクトリー

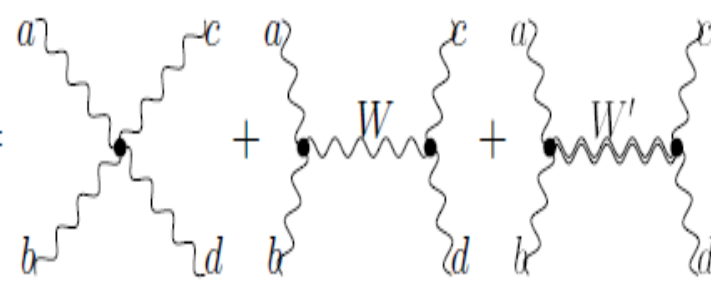


3) Higgs ない / NP ない

- GWS模型は間違ってる

- ❖ ヒッグスレス模型？

- ❖ WW散乱の精査

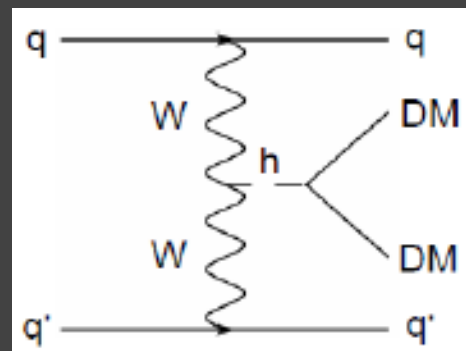
$$i\mathcal{M}(W_L^a W_L^b \rightarrow W_L^c W_L^d) =$$


The image shows three Feynman diagrams for the process $W_L^a W_L^b \rightarrow W_L^c W_L^d$. The first diagram is a four-point contact interaction. The second diagram shows a t-channel exchange of a W boson. The third diagram shows a u-channel exchange of a W boson. External lines are labeled with 'a', 'b', 'c', 'd' and wavy lines represent W bosons.

- ヒッグスは生成されているが見えてない？

- ❖ 暗黒物質

- ❖ 余剰次元



ヒッグスポータル
暗黒物質

ないのか, 見えてないのか, の研究

3) Higgs ない / NP ない

- LHCを続ける (energy ↑の可能性?)
- HyperKEKBの可能性を考える



結論

- ❖ 素粒子物理学上の大きな謎にコライダー実験は挑んでいる
 - ▶ SuperKEKB計画での新現象探索
 - ▶ LHCの結果が今後の方向を決める
- ❖ LHCの結果に基づくシナリオを提示
 - ▶ 何かあればILC
 - ◎ ヒッグスだけのときヒッグスファクトリー
 - ▶ 見つからない場合のstudyの必要性