

素粒子物理学の進展2025 (PPP2025)

Sep 1 – 5, 2025

京都大学基礎物理学研究所

Invited Speakers (敬称略)

遠藤基 (KEK)

Future e+e- circular colliderでの精密測定

奥村恭幸 (ICEPP)

円形コライダーでのヒッグスファクトリー計画について

神野隆介(神戸大)

初期宇宙起源の重力波を用いた高エネルギー物理探査

辻竜太郎(KEK)

核子形状因子の巨大体積下における物理点格子QCD計算

富谷昭夫(東京女子大)

AI技術の進展と素粒子物理学、格子QCDへの応用

中山優 (京大基研)

Scale invariance vs Conformal invariance for particle theorists

林優依 (京大基研)

Semiclassical approaches to confinement: monopole and center vortex

藤原素子 (富山大)

Recent Progress in Particle Dark Matter

馬渡健太郎 (岩手大)

コライダー物理の過去・現在・未来

三島賢二 (KMI)

中性子を用いた素粒子物理学実験

コライダー物理に関する招待講演
3/10 = 30%

~~TH~~ TH

~~EXP~~ EXP

2024年8月19日（月） - 8月23日（金）

場所：京都大学 基礎物理学研究所とZoom(ハイブリッド)

Invited Speakers

Invited Speakersは以下の方々を予定しています（敬称略）。

コライダー物理に
関する招待講演
1/11 = 9%

青木 保道	(理研)	陽子崩壊行列要素の格子QCD計算	
金児 隆志	(KEK)	CKM行列要素決定のための格子QCD計算の現状	
金田 邦雄	(新潟大)	宇宙膨張と重力的な物質生成	
木河 達也	(京都大)	ニュートリノ実験の現状と展望	TH
武田 真滋	(金沢大)	テンソルネットワークの進展	EXP
長尾 桂子	(岡山理科大)	検出実験による暗黒物質の検証	
野村 泰紀	(UC Berkeley)	ブラックホールの相補性と量子重力	
早坂 圭司	(新潟大)	タウレプトンの物理~近年の実験の進展状況~	
冬頭 かおり	(Los Alamos)	<u>Searching for Lepton Flavor Violation</u>	
山本 直希	(慶應義塾大)	弱い力のパリティの破れと超新星・中性子星の物理	
横倉 諒	(慶應義塾大)	アクシオン電磁気学における一般化対称性とその応用	

2023年8月28日(月) - 9月1日(金)

場所：京都大学 基礎物理学研究所(対面)とZoom(オンライン)

招待講演(予定)

招待講演は以下の方々を予定しています (敬称略)。

コライダー物理に
関する招待講演
1/13 = 8%

山下 公子	(茨城大)	ヒッグス・ポータル暗黒物質と正值性制限	
山中 長閑	(名大KMI)	非可換ゲージ理論におけるトポロジカル電荷の観測不可能性	
鎌田 歩樹	(U. of Warsaw)	Current status of self-interacting dark matter	
多田 祐一郎	(名大)	原始ブラックホールは自然科学なのか	
西岡 辰磨	(大阪大)	Quantum error correction and high energy theory	TH
本多 正純	(京大基研)	量子計算の素粒子物理学への応用について	EXP
杉下 宗太郎	(京大基研)	QEDの赤外発散と漸近対称性	
身内 賢太郎	(神戸大)	暗黒物質直接探索の現状と展望	
平本 綾美	(岡山大)	電子EDM探索の現状と展望	
洪 江美	(LAL/IN2P3)	Belle IIの物理	
廣瀬 茂輝	(筑波大)	LHCからの最新物理結果とRun 3の状況	
北原 鉄平	(ITP-CAS)	フレーバーアノマリーの新たな展開	
三浦 光太郎	(KEK)	Recent Status of Lattice QCD for Muon g-2 and Electroweak Physics	

2022年8月29日(月) - 9月2日(金)

場所: 京都大学 基礎物理学研究所(対面)とZoom(オンライン)

招待講演(予定)

招待講演は以下の方々を予定しています(敬称略)。

青木 真由美	(金沢大学)	隠れたカイラル対称性の破れとスケール生成
大下 翔誉	(理研)	Lorentzian description of vacuum decay
大森 寛太郎	(東京大学)	3+1次元の非可逆的対称性
川名 清晴	(Seoul National Univ.)	Physics of multi-critical point principle
高浦 大雅	(KEK)	μ TRISTAN
田島 治	(京都大学)	CMB観測技術を応用したダークフォトンCDMの探索実験
濱田 雄太	(KEK)	沼地予想
深谷 英則	(大阪大学)	質量を持つフェルミオンでも理解できる指数定理 ～対称性への過度な信仰を省みるために～
三島 智	(KEK)	Theoretical status of the W-boson mass in the Standard Model and beyond
村山 斉	(UC Berkeley/Kavli IPMU)	超対称性を使ってゲージ理論を解く
谷口 七重	(KEK)	Belle/Belle II の最新結果
原 和彦	(筑波大学)	CDFでのWボゾン質量の精密測定

コライダー物理に関する招待講演
2/12 = 17%

TH

EXP

2021年9月6日(月) - 9月10日(金)

場所: ZoomとSlackによるオンライン開催

招待講演(予定)

招待講演は以下の方々を予定しています (敬称略)。

石川 明正	(KEK/Belle II)	Belle II の物理	コライダー物理に関する招待講演 2/13 = 15%
浦川 優子	(KEK)	cosmological axion dark matter search	
江間 陽平	(DESY)	Higgs inflation, unitarity, and scalaron	TH
菅野 優美	(九州大)	初期宇宙とグラビトン探索	EXP
櫻井 一樹	(Warsaw Univ.)	On the phenomenology of sphaleron-induced processes at the LHC and beyond	
佐藤 優太郎	(新潟大学)	muon g-2	
瀬名波 栄間	(Ton Duc Thang Univ.)	電弱バリオン数生成	
高橋 悠太	(Univ. of Zurich/CMS)	CMSのB-factory化プロジェクトとその成果	
千草 颯	(UC Berkeley)	物性系を用いた軽い暗黒物質の直接探索	
橋本 省二	(KEK)	フレーバー物理とハドロンの不定性〜格子QCDでは何ができて何ができないのか	
日高 義将	(KEK)	generalized global symmetry and its application	
南 雄人	(大阪大学)	A new measurement of the cosmic birefringence	
山田 雅俊	(Heidelberg Univ.)	漸近的に安全な量子重力理論	

2020年8月31日(月) - 9月4日(金)

場所: Zoom (口頭発表) およびslack (ポスター発表) によるオンライン開催

招待講演(予定)

招待講演は以下の方々を予定しています (敬称略)。

田窪 洋介	(KEK)	<u>LHC-FASER実験における新粒子探索</u>	コライダー物理に関する招待講演 2/16 = 13%
風間 慎吾	(名古屋大学)	Xenon1T	
仏坂 健太	(東京大学)	重力波天文学の進展	
黒柳 幸子	(名古屋大学/IFT Madrid)	重力波宇宙論の展望	
広島 渚	(富山大学)	ガンマ線による暗黒物質の探索	TH EXP
中山 和則	(東京大学)	軽い暗黒物質検出のための固体物理入門	
三浦 光太郎	(Helmholtz-Institut Mainz)	Lattice QCD Precision Science for Muon g-2	
富井 正明	(Connecticut U.)	K → ππ 崩壊における ε' の格子計算	
富谷 昭夫	(理研BNL)	機械学習と理論物理	TH EXP
米倉 和也	(東北大学)	Anomaly matching in QCD thermal phase transition	
本郷 優	(UI at Chicago/理研)	流体力学におけるアノマリーマッチング	
竹内 道久	(名古屋大学)	<u>HL-LHCでの新物理探索</u>	
飛岡 幸作	(Florida state U.)	K中間子崩壊による新粒子探索	
張ヶ谷 圭介	(IAS)	Physics beyond the standard model from Higgs Parity	
福田 朝	(UC Berkely)	Superconductivity on the axion string	
向田 享平	(DESY)	Baryo/Leptogenesis from Axion Inflation	

2019年7月29日(月) - 8月2日(金)

京都大学 基礎物理学研究所 (地図)

招待講演(予定)

招待講演(および講演のテーマ)は以下の方々を予定しています(敬称略)。

コライダー物理に
関する招待講演
0/11 = 0%

井岡 邦仁	(京大基研)	重力波とマルチメッセンジャー天文学
出淵 卓	(RIKEN/BNL)	g-2の格子理論計算
鎌田 耕平	(東大 RESCEU)	ヘリカル磁場による物質反物質非対称生成
川崎 雅裕	(東大宇宙線研)	原始ブラックホール
菊川 芳夫	(東大)	標準模型・SO(10) カイラルゲージ理論の 格子定式化と符号問題へのアプローチ
小林 達夫	(北大)	Flavor modular symmetry
佐藤 丈	(埼玉大)	深層学習によるCOMET実験データ解析
柴田 大	(京大基研/ マックスプランク研究所)	数値相対論の発展と重力波天文学
谷崎 佑弥	(North Carolina State U.)	'tHooft anomaly とQCD などへの応用
藤原 真琴	(TRIUMF)	Confronting CPT and the Equivalence Principle with Cold Antihydrogen Atoms
山崎 雅人	(東大 Kavli IPMU)	Swampland conjecture

TH

EXP

一般講演: 馬渡健太郎 (大阪大)

H-COUPで新物理を探る

* 初日(8/6)は午後から開始の予定です。

2018年 8月6日(月) - 8月10日(金)

京都大学 基礎物理学研究所 (地図)

招待講演(予定)

招待講演は以下の方々を予定しています(敬称略)。

青木 保道	(KEK)	有限温度QCD: 相転移、トポロジー、axion
阿部 智広	(名古屋大)	任意の模型における $GGG\sim$ の係数と中性子EDM
石渡 弘治	(金沢大)	銀河外ガンマ線による暗黒物質探索
衛藤 稔	(山形大)	トポロジカルソリトンによる ダイナミカルなブレーンワールドの構成
大木 洋	(奈良女子大)	Nucleon Electric Dipole Moments from Lattice QCD
大栗 真宗	(東京大)	ダークマターの観測的制限
北原 鉄平	(カールスルーエ工科大)	K中間子の精密測定で探る物理
庄司 裕太郎	(名古屋大)	False vacuum decay in gauge theory
須田 利美	(東北大)	Proton Size
鳥居 祥二	(早稲田大)	CALET による2.5年間の観測成果
野海 俊文	(神戸大)	弱い重力予想と現象論
森島 邦博	(名古屋大)	宇宙線観測によるクフ王ピラミッド内部の巨大空間の発見
一般講演: 馬渡健太郎	(大阪大)	Another Higgs production at ILC250

コライダー物理に
関する招待講演
0/12 = 0%

TH

EXP

2017年 7月31日 (月) – 8月4日 (金)

京都大学 基礎物理学研究所 (地図)

招待講演(予定)

招待講演は以下の方々を予定しています (敬称略) :

大野木 哲也 (大阪大)
岡田 安弘 (KEK)
九後 汰一郎 (益川塾)
倉知 昌史 (KEK)
佐藤 朗 (大阪大)
白井 智 (東京大カブリIPMU)
高田 昌広 (東京大カブリIPMU)
田中 純一 (東大 ICEPP)
寺師 弘二 (東大 ICEPP)
中家 剛 (京都大)
増淵 達也 (東大 ICEPP)
三角 樹弘 (秋田大)
山本 直希 (慶應大)

コライダー物理に
関する招待講演
 $3/13 = 23\%$

~~TH~~ TH
~~EXP~~ EXP

一般講演: 馬渡健太郎 (大阪大)

Seeking dark matter at the interface of collider physics,
astrophysics and cosmology

2013年 8月 5日(月) – 8月 9日 (金)

京都大学 基礎物理学研究所 (地図)

招待講演(予定)

招待講演は以下の方々を予定しています (敬称略) :

青木 慎也	(京大基研)	Hadron interactions from lattice QCD	コライダー物理に関する招待講演 6/14 = 43%
市来 淨與	(名古屋大)	CMB観測を用いた観測的宇宙論の現状	
釜江 常好	(SLAC)	宇宙線およびガンマ線観測からの暗黒粒子に対する制限	
川合 光	(京都大)	Desert and the Naturalness (砂漠と自然性)	
竹内 道久	(King's College London)	Boosted Top and Higgs at the LHC	TH EXP
寺師 弘二	(東京大)	LHC Non-SUSY BSM探索の現状と展望	
橋本 幸士	(大阪大/理研)	弦理論とその応用	
花垣 和則	(大阪大)	Higgs-likeからHiggsへ	
馬渡 健太郎	(ブリュッセル自由大)	Higgs characterisation framework	
村山 斉	(IPMU)	The View Ahead	
柳田 勉	(IPMU)	Rethinking Naturalness	
山口 嘉夫	(東京大/理研)	加速器・衝突器と素粒子物理の進展	
山中 隆志	(東京大)	LHC実験による8TeVでのSUSY探索および14TeVでの展望	
吉田 滋	(千葉大)	IceCube実験による高エネルギーニュートリノ観測の最新成果と宇宙線起源への示唆	

31

1932 e^+
n
d
Cockcroft-Walton
Cyclotron

Cosmic Ray → Particle Physics

e^+
 $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu + \bar{\nu}$
 $\pi^+ \rightarrow \mu + \nu$
 $\pi^- + A \rightarrow \text{star}$
 $K^+ K^0$
 $\Sigma^+ \Lambda^0$

not C, R,
 γ
n
 $\pi^0 \eta^0$
 $\rho \omega$
 Σ^0

1948 Part. Phys. Cosmic rays → Accelerators
pion physics

1952 → BNL Cosmotron 3 GeV
Strange Particles
K, Σ 1

Berkeley Bevatron 6 GeV
 $\bar{p} \bar{n}$

★ visual (emulsion, Cl. chamber)
decay mode
 θ $K_{2\pi}$
 τ $K_{3\pi}$
 κ $K_{3\pi}$
 K^0 pair creation
Gell-Mann - Nishijima
 $\theta - \tau$ Parity violation

target
(H target)
 $C_n H_{2n} - C$
H target → 1960's
detectors + mag fd
space/time resol.

1932 cyclotron
1945 synchrotron

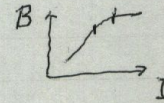
AG PS

1952 AG (Strong Focusing.)

BM + Focus. Combined
BM + FM + A Sep. function

Cornell ES 2 GeV INS ES

CERN PS 25/27 GeV 1959
BNL AGS 30/33 GeV 1960

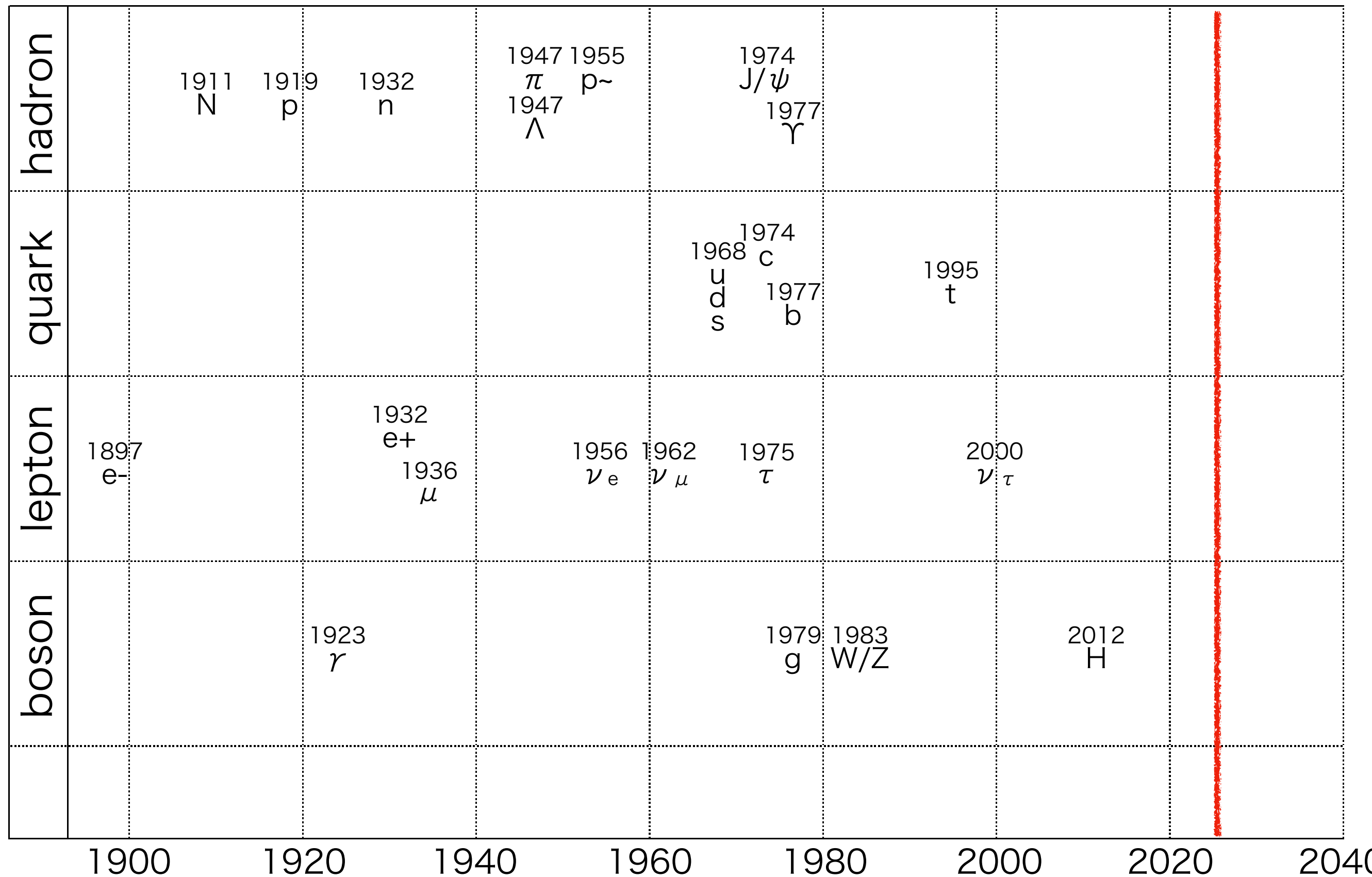
mg fd. 

exp. USA 正勝

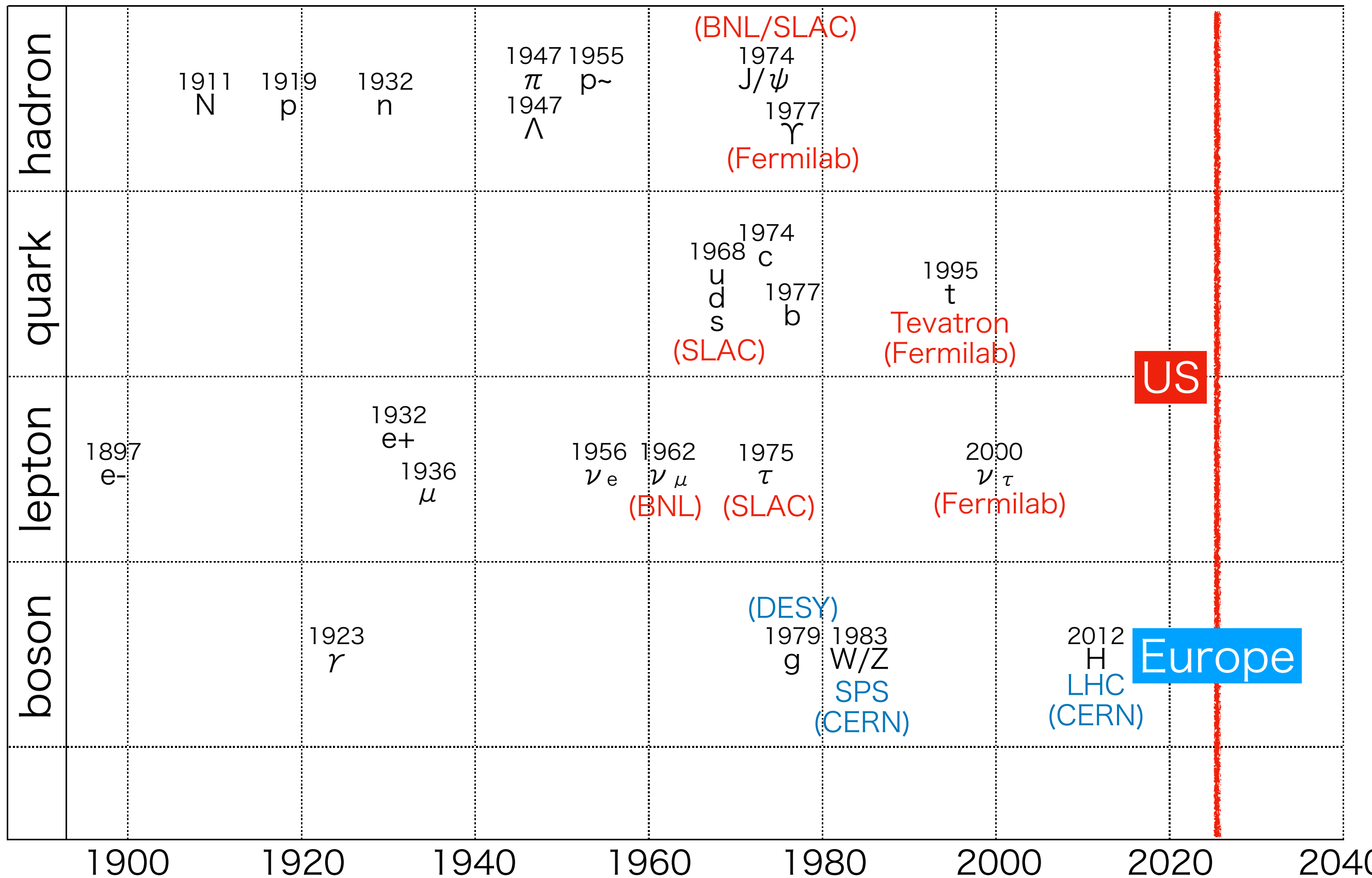
SV_3
 ν exp.

PPP2013 オープニングトーク (2013/8/5)
「加速器・衝突器と素粒子物理学の進展」
by 山口嘉夫さん
(講演スライド 1,2ページ目)

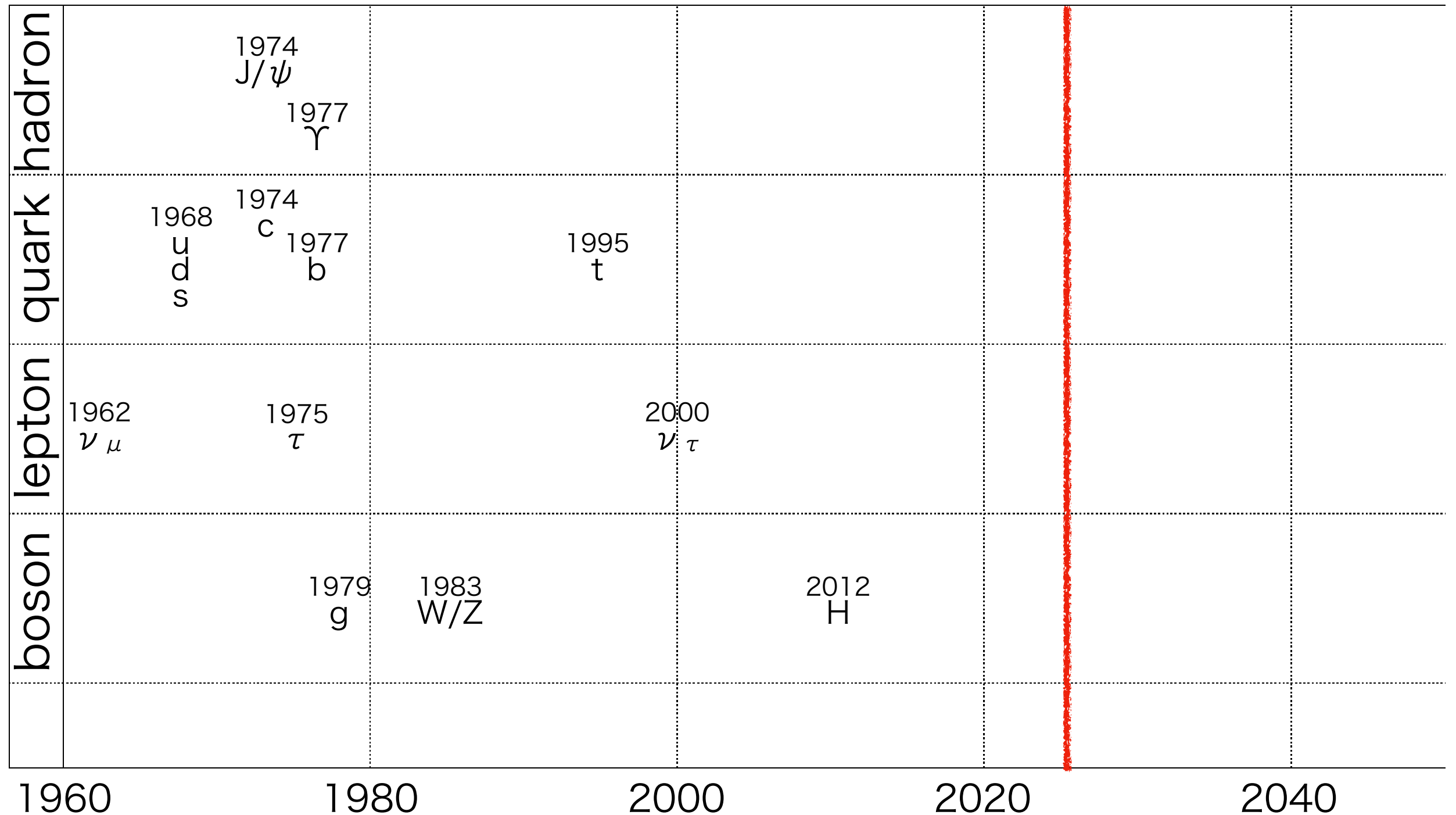
History of elementary particle discovery



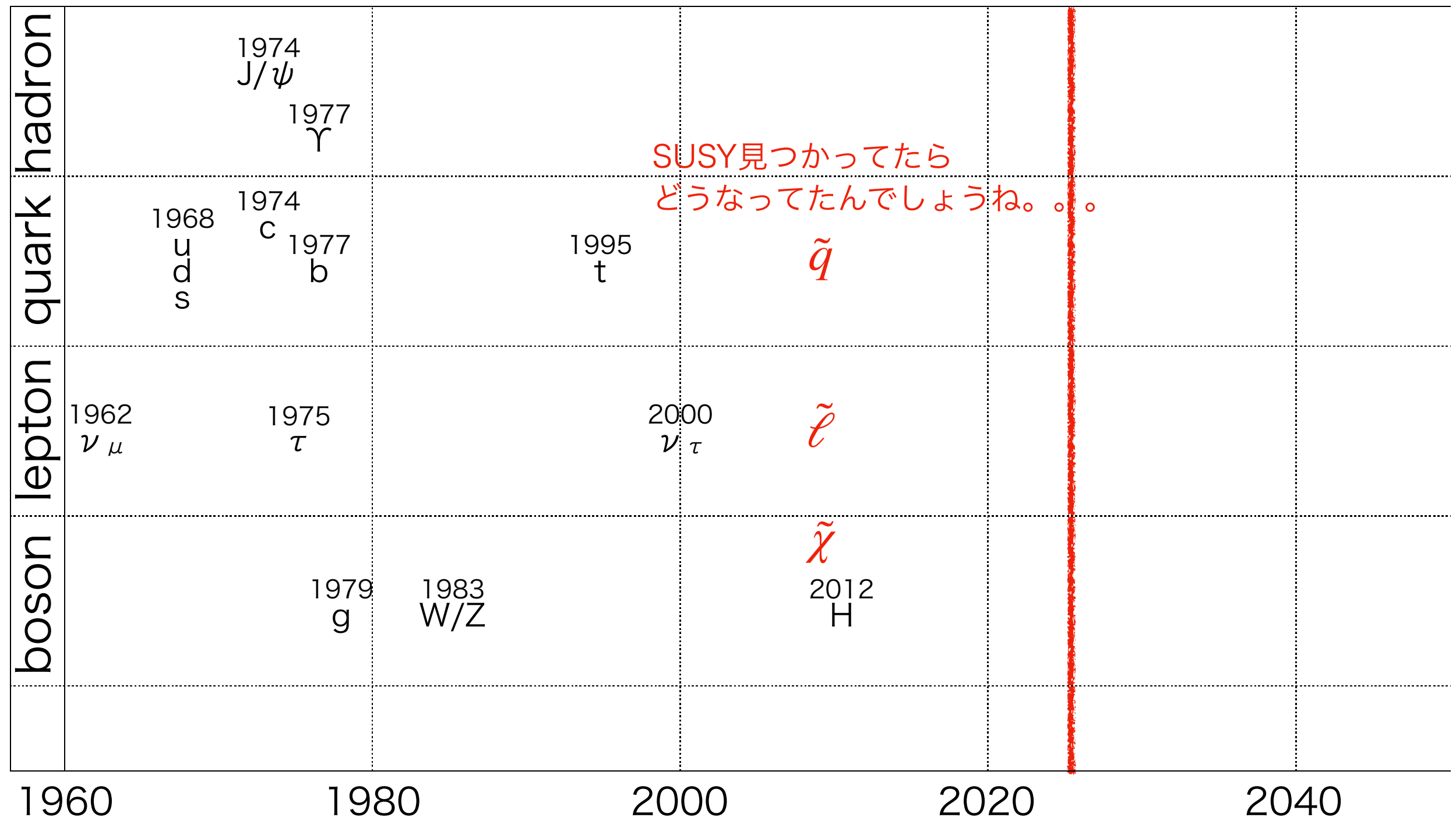
History of elementary particle discovery



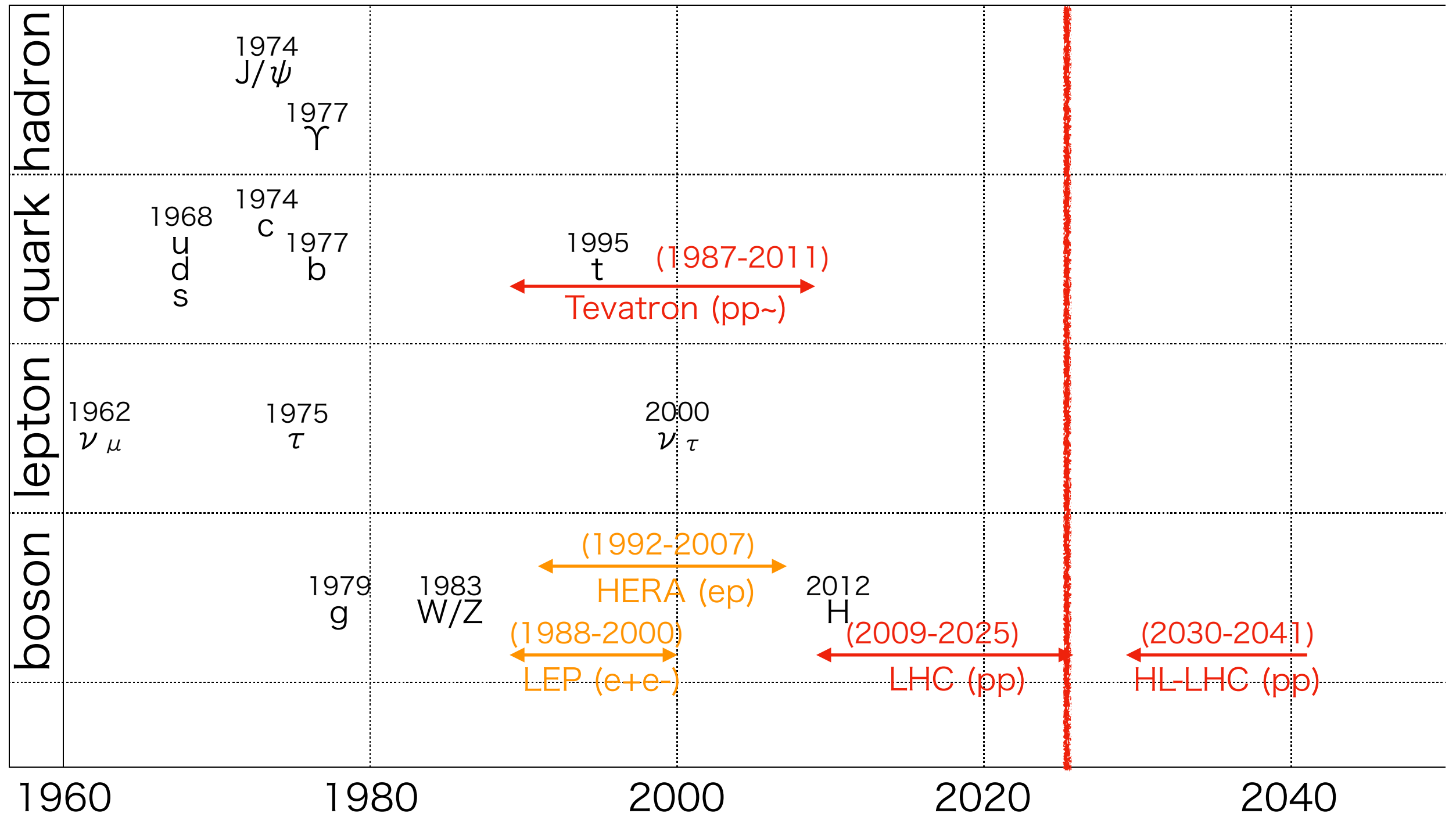
History of elementary particle discovery at colliders



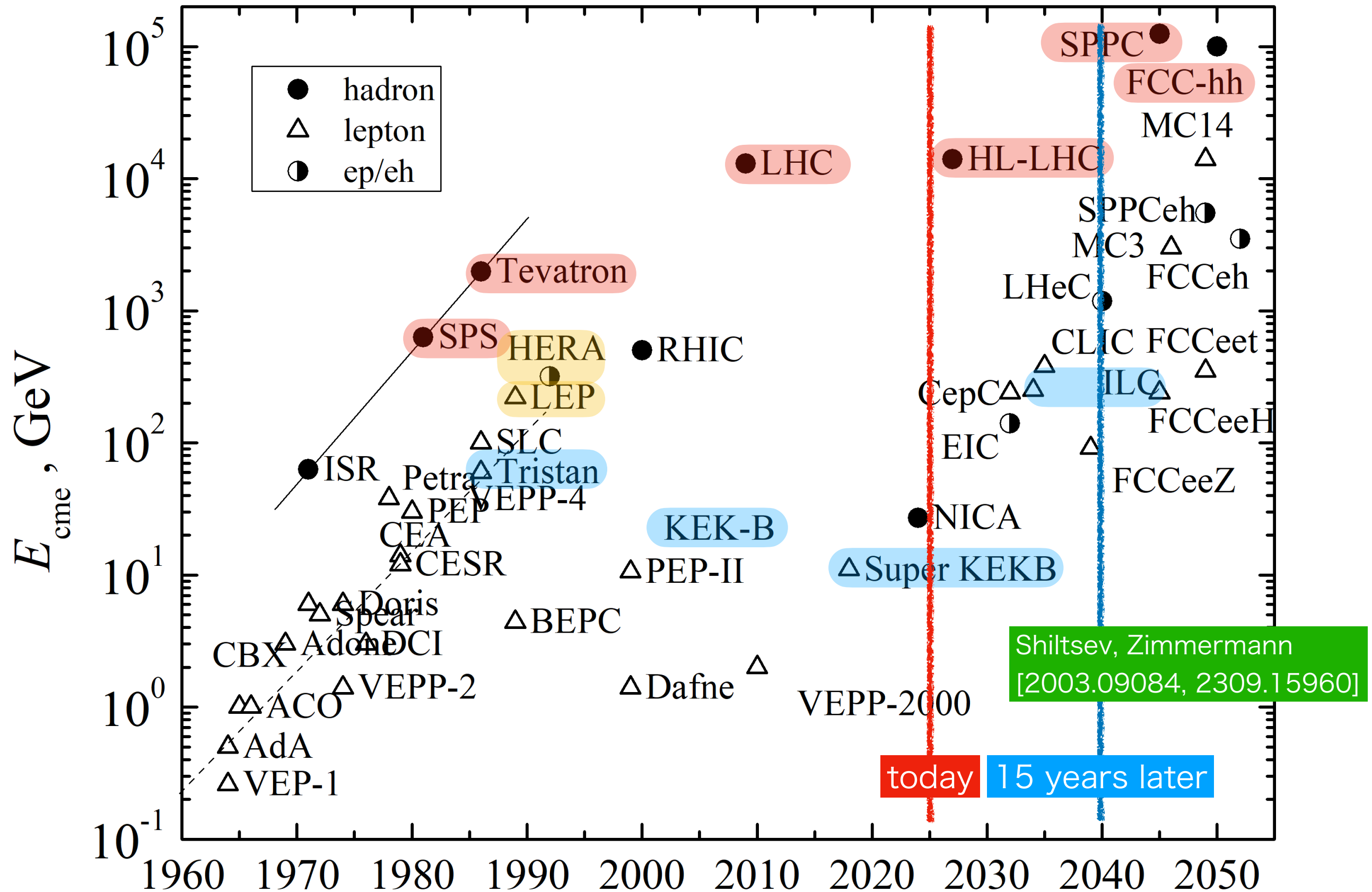
History of elementary particle discovery at colliders



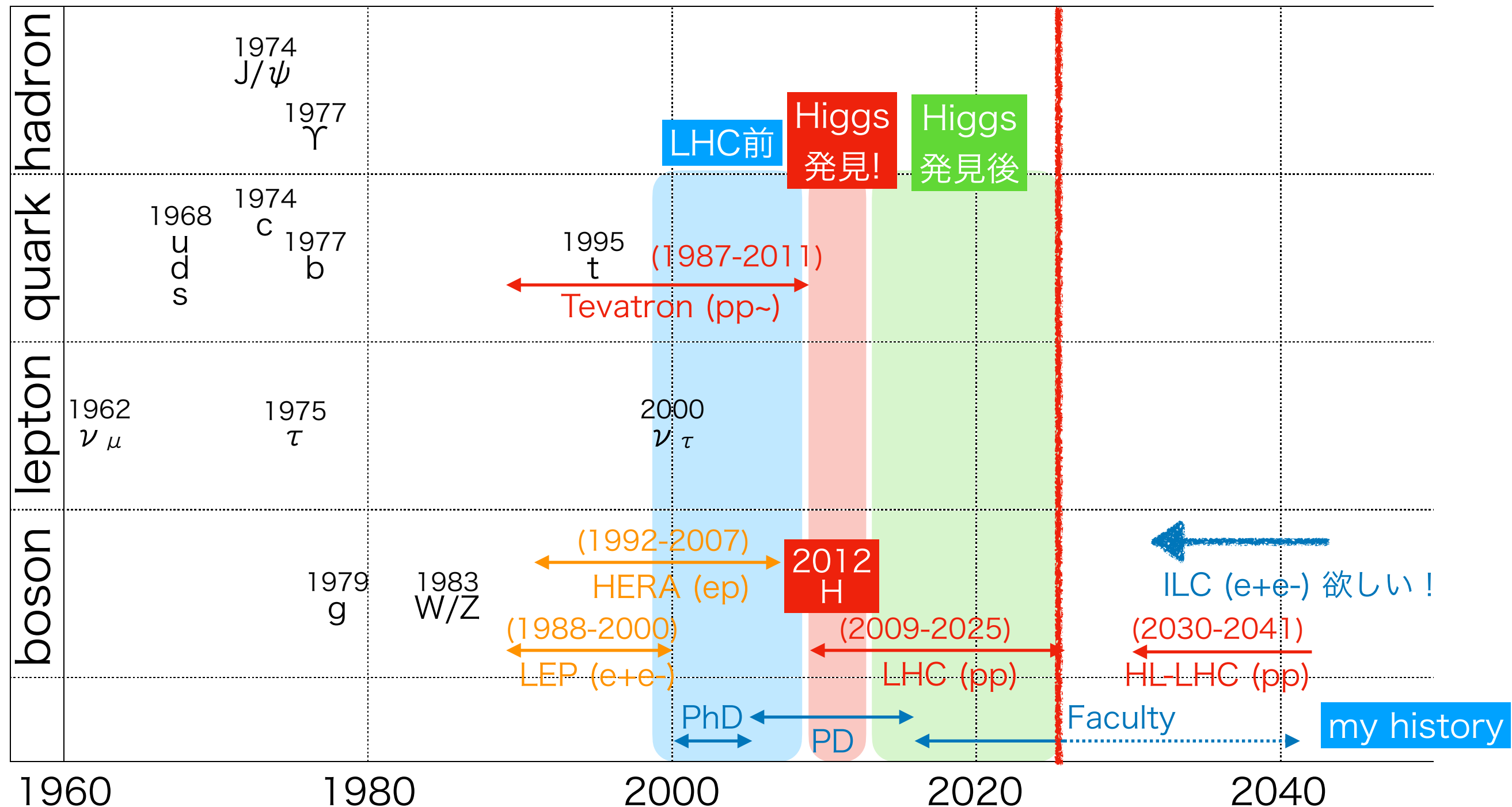
History of elementary particle discovery at colliders



History of particle colliders



History of elementary particle discovery at colliders



before the LHC (-- 2010)

Model dependent studies

supersymmetry

extra dimension

composite higgs

little higgs

...

BSM粒子（特にSUSY粒子）の
発見を心待ちに。。。



Spin analysis of supersymmetric particles

Kentarou Mawatari (馬渡 健太郎)

(KEK → KIAS in Seoul from this Sep.)

with S.Y. Choi (Chonbuk U./DESY)

K. Hagiwara (KEK)

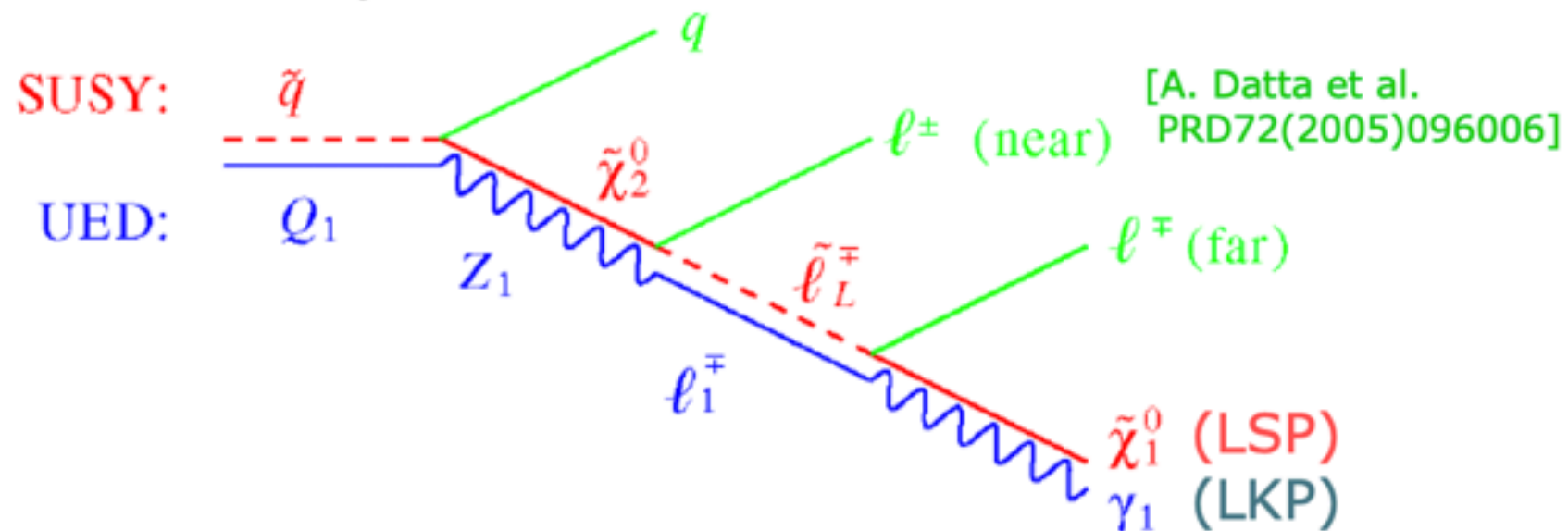
U. Martyn (DESY)

P.M. Zerwas (DESY/KEK)

in preparation ...

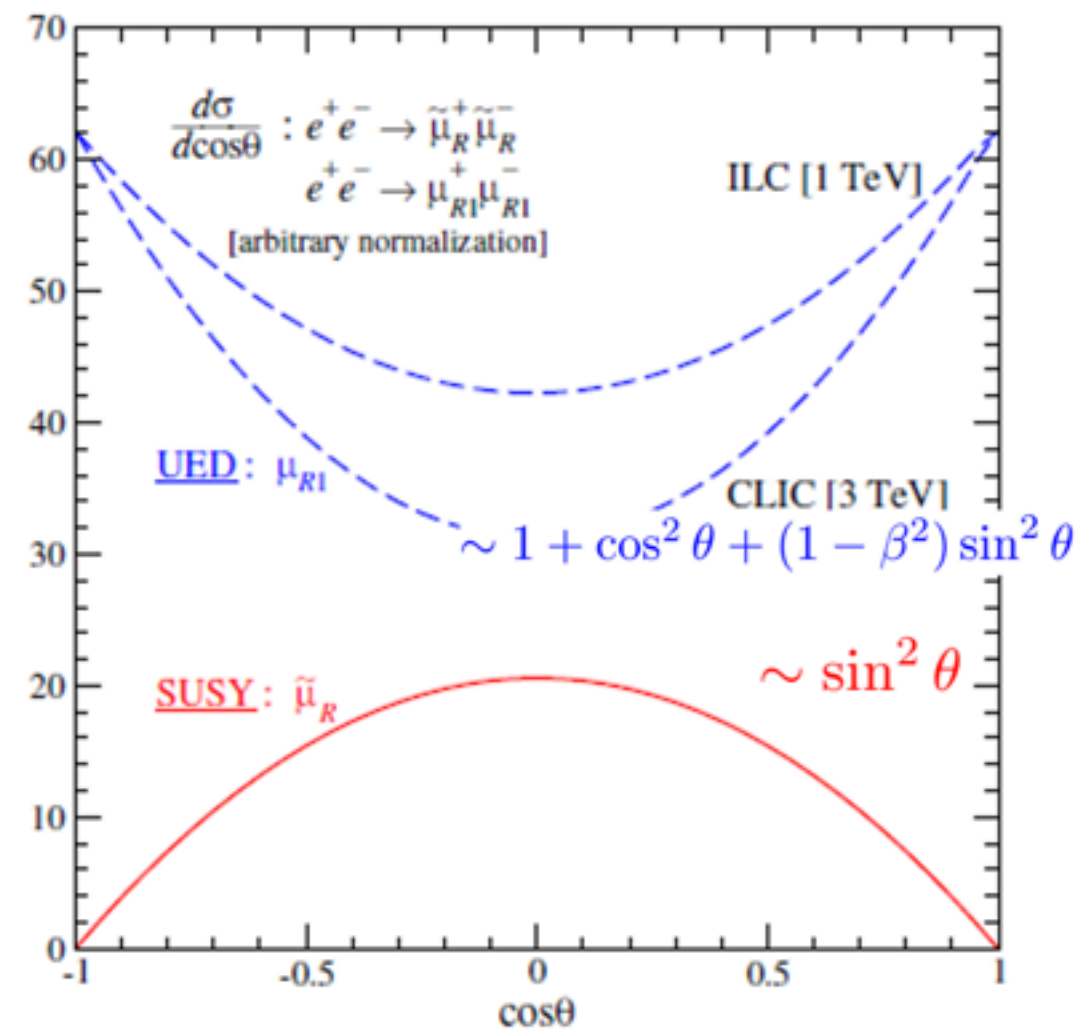
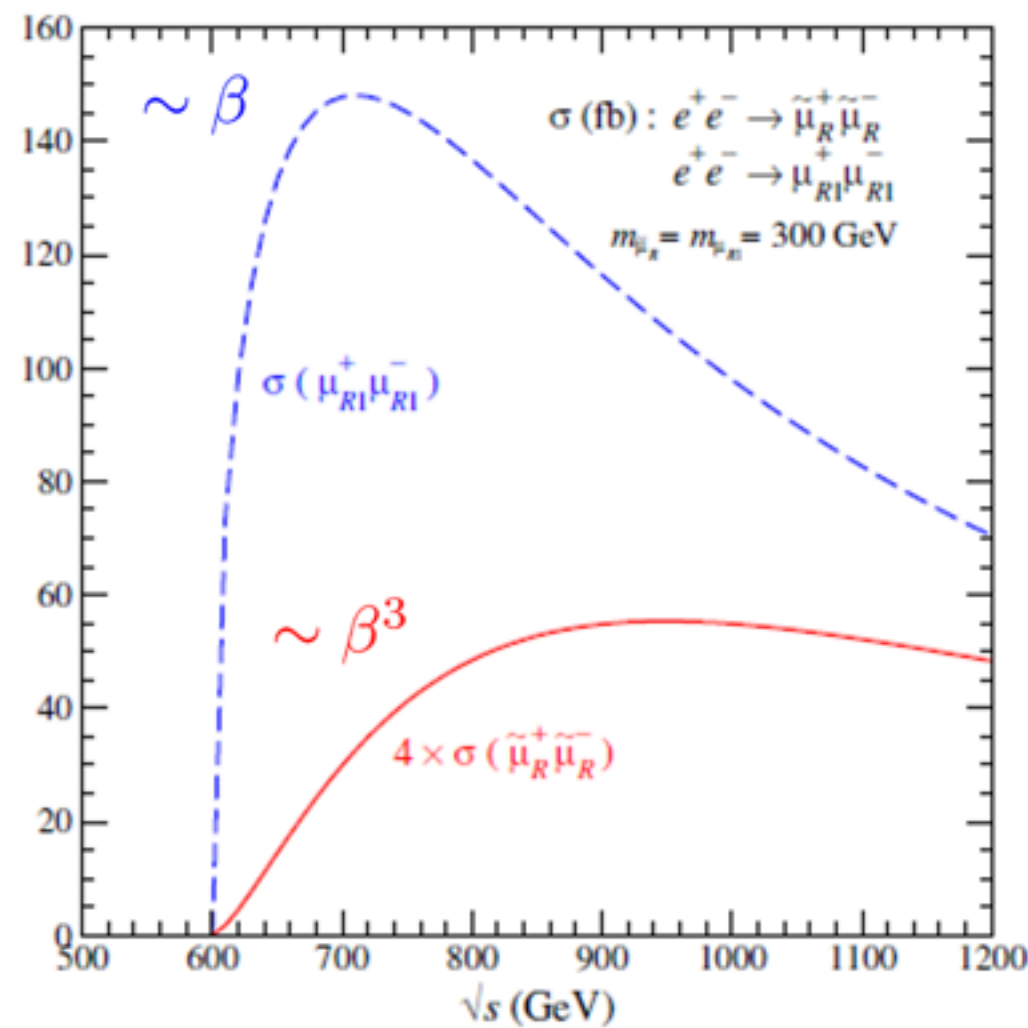
SUSY vs. UED

- The cascade decay in SUSY and UED



- In either case the observable final state is the same: $q \ell^+ \ell^-$ (+missing energy).
- The origin of the observed chain particles, SUSY or UED, can clearly be unraveled by measuring the spins of the intermediate cascade particles.

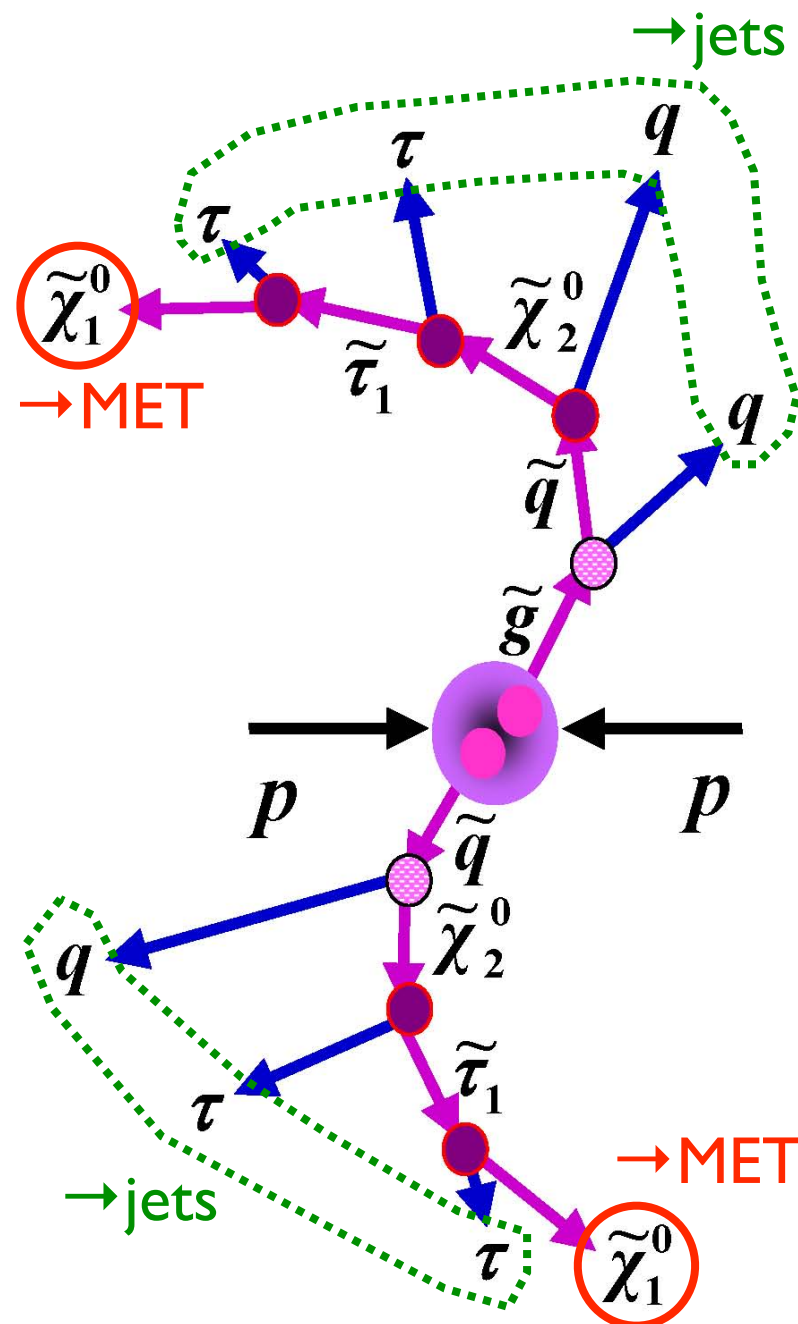
The threshold excitations and the angular distributions for smuons



[hep-ph/0612301, EPJC]

S. Choi, K. Hagiwara, H. Martyn, K. Mawatari, P. Zerwas

Inclusive Searches



Generic features in Supersymmetry

- ▶ gluino/squark production dominates
- ▶ cascade decays to lighter sparticles
- ▶ stable LSPs (R-parity conservation)

→ **Multi-jets + MET + X topology**

General strategy in ATLAS

- ▶ Select a few parameter points consistent with DM constraints
- ▶ Identify signatures with different topologies
- ▶ Perform full simulation studies on each signature
- ▶ Scan parameter space with fast simulation
- ▶ Perform separate full sim. studies on “exotic” signatures (not covered in this talk) :
 - Long-lived states, R-hadron, etc.

Working Models

Most ATLAS studies performed in the framework of MSSM with R-parity conservation

SUSY breaking scenarios considered :

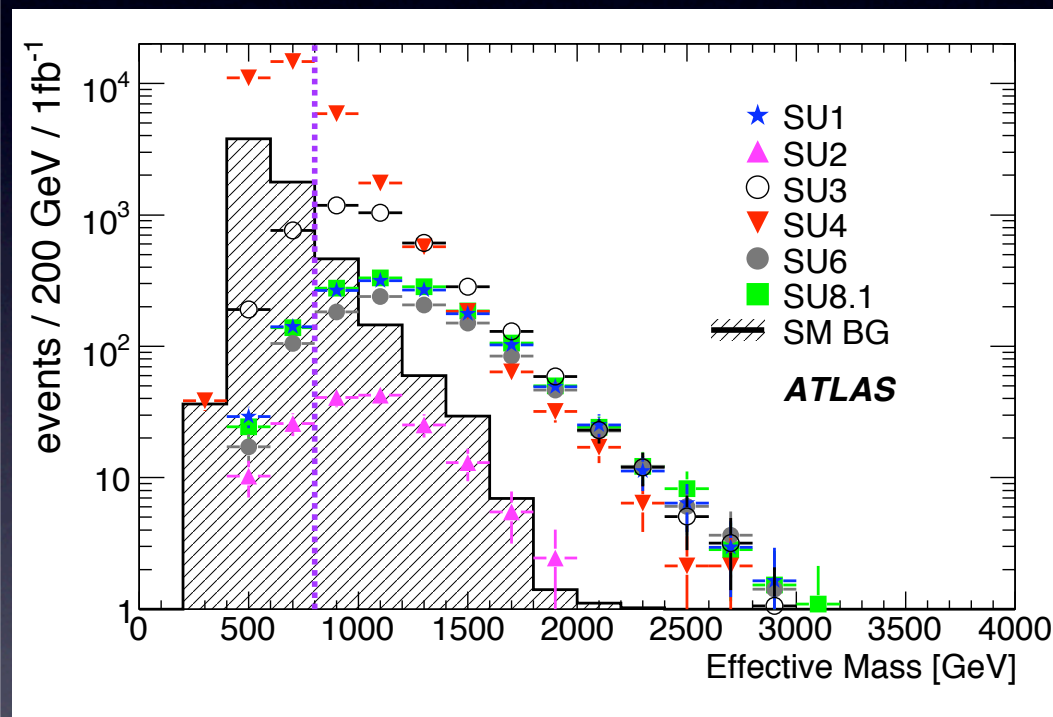
- ▶ **mSUGRA** - minimal SuperGravity (most studied)
- ▶ GMSB - Gauge Mediated SUSY Breaking
- ▶ AMSB - Anomaly Mediated SUSY Breaking

mSUGRA Benchmark Points						
	m_0 (GeV)	$m_{1/2}$ (GeV)	A_0 (GeV)	$\tan\beta$	σ_{NLO} (pb)	m_g / m_q (GeV)
SU1	70	350	0	10	10.9	830 / 750
SU2	3550	300	0	10	7.2	860 / 3550
SU3	100	300	-300	6	27.7	720 / 620
SU4	200	160	-400	10	402.2	420 / 420
SU6	320	375	0	50	6.1	900 / 870

SM and SUSY Events

0 lepton

- ▶ Common cuts
- ▶ no lepton
- ▶ $\Delta\phi(\text{jet}, E_T^{\text{miss}}) > 0.2$

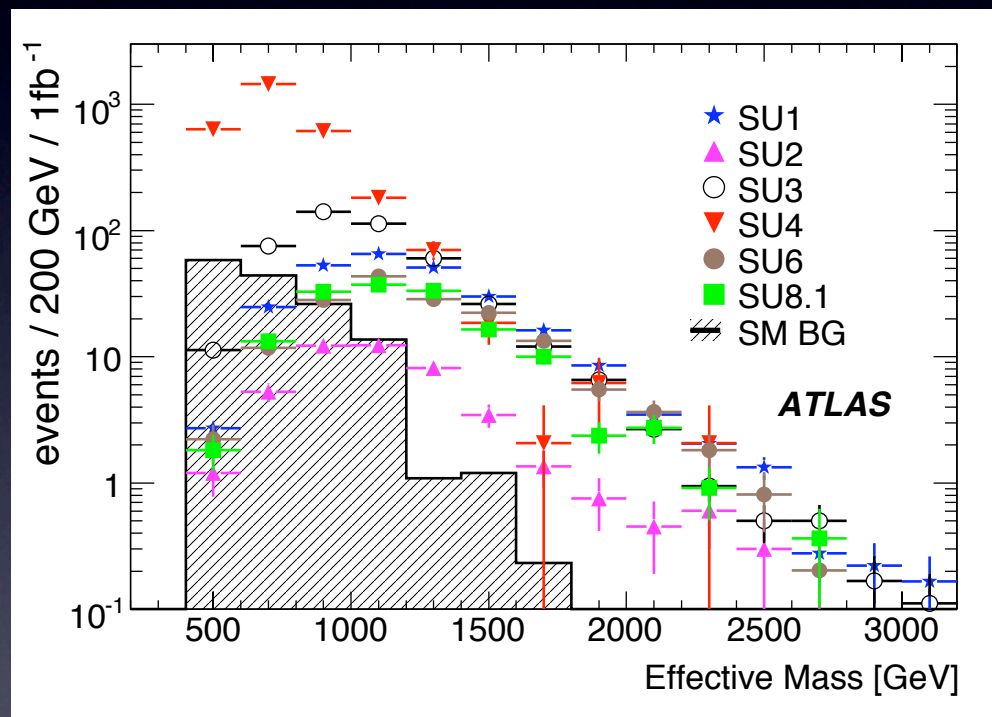


Common cuts :

- $\geq 4(1)$ jets with $p_T > 50(100)$ GeV
- $E_T^{\text{miss}} > \max(100 \text{ GeV}, 0.2M_{\text{eff}})$
- Transverse Sphericity > 0.2

1 lepton

- ▶ Common cuts
- ▶ Exactly one lepton ($p_T > 20$ GeV)
- ▶ Transverse Mass > 100 GeV

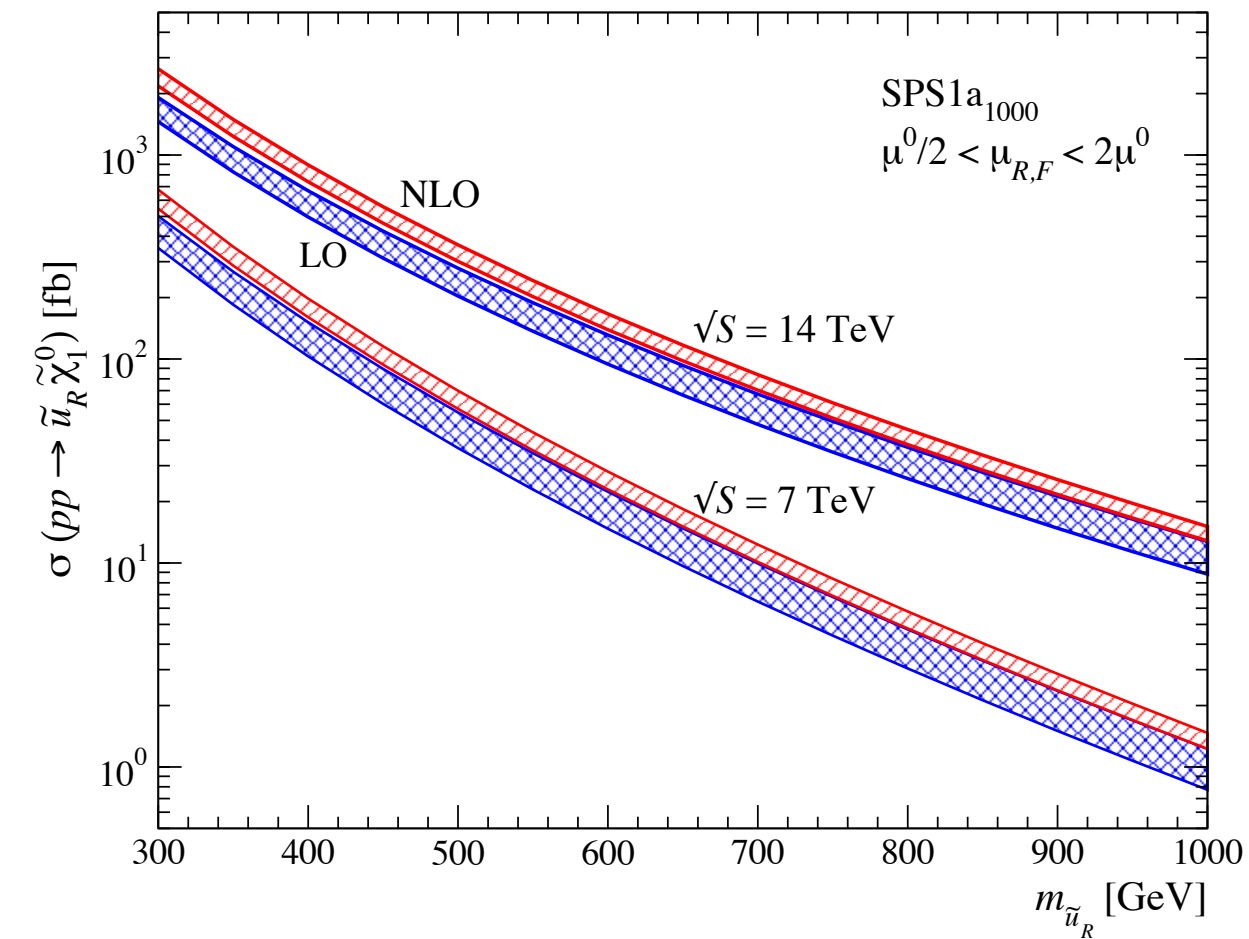


$$M_{\text{eff}} \equiv \sum_{i = \text{leptons}} P_T^i + \sum_{j = \text{jets}} P_T^j + E_T^{\text{miss}}$$

→ 2 lepton case separately analyzed

SUSY粒子発見に備えて

SUSY pair productionへの輻射補正計算の自動化



	$\sqrt{S}$ [TeV]	σ^{LO} [fb]	σ^{NLO} [fb]	K	$K[\tilde{u}_L]$	$K[\tilde{u}_R]$	$K[\tilde{d}_L]$	$K[\tilde{d}_R]$	$m_{\tilde{u}}$	$m_{\tilde{d}}$	$m_{\tilde{g}}$	$m_{\tilde{\chi}_1^0}$
SPS1a ₁₀₀₀	7	35.27	50.44	1.43	1.52	1.42	1.46	1.47	$\tilde{u}_L : 561$	$\tilde{d}_L : 568$	1000	97
	14	215.02	301.27	1.40	1.49	1.39	1.42	1.43	$\tilde{u}_R : 549$	$\tilde{d}_R : 545$		
SPS1b	7	2.77	3.99	1.45	1.57	1.43	1.62	1.52	$\tilde{u}_L : 872$	$\tilde{d}_L : 878$	938	162
	14	27.21	37.46	1.38	1.48	1.36	1.52	1.43	$\tilde{u}_R : 850$	$\tilde{d}_R : 843$		
SPS2	7	0.04	0.07	1.52	1.81	1.49	1.69	1.65	$\tilde{u}_L : 1554$	$\tilde{d}_L : 1559$	782	123
	14	1.21	1.64	1.36	1.45	1.34	1.46	1.45	$\tilde{u}_R : 1554$	$\tilde{d}_R : 1552$		
SPS3	7	3.15	4.55	1.44	1.56	1.42	1.59	1.52	$\tilde{u}_L : 854$	$\tilde{d}_L : 860$	935	161
	14	30.20	41.59	1.38	1.49	1.36	1.50	1.43	$\tilde{u}_R : 832$	$\tilde{d}_R : 824$		
SPS4	7	6.44	9.04	1.40	1.52	1.38	1.53	1.49	$\tilde{u}_L : 760$	$\tilde{d}_L : 766$	733	120
	14	52.87	71.40	1.35	1.46	1.33	1.45	1.41	$\tilde{u}_R : 748$	$\tilde{d}_R : 743$		
SPS5	7	13.26	18.11	1.37	1.52	1.40	1.54	1.48	$\tilde{u}_L : 675$	$\tilde{d}_L : 678$	722	120
	14	95.81	132.29	1.38	1.50	1.37	1.49	1.43	$\tilde{u}_R : 657$	$\tilde{d}_R : 652$		
SPS6	7	9.84	14.06	1.43	$\mathcal{O}(100)$	1.41	1.46	1.49	$\tilde{u}_L : 670$	$\tilde{d}_L : 676$	720	190
	14	77.08	107.03	1.39	$\mathcal{O}(100)$	1.37	1.40	1.44	$\tilde{u}_R : 660$	$\tilde{d}_R : 650$		
SPS7	7	2.19	3.17	1.45	1.71	1.43	1.56	1.53	$\tilde{u}_L : 896$	$\tilde{d}_L : 904$	950	163
	14	22.36	30.80	1.38	1.61	1.36	1.46	1.43	$\tilde{u}_R : 875$	$\tilde{d}_R : 870$		
SPS8	7	0.65	0.95	1.45	1.66	1.43	1.62	1.57	$\tilde{u}_L : 1113$	$\tilde{d}_L : 1122$	839	139
	14	8.73	11.79	1.35	1.43	1.34	1.44	1.42	$\tilde{u}_R : 1077$	$\tilde{d}_R : 1072$		
SPS9	7	0.39	0.58	1.49	1.46	$\mathcal{O}(1000)$	1.51	$\mathcal{O}(1000)$	$\tilde{u}_L : 1276$	$\tilde{d}_L : 1279$	1872	187
	14	7.65	10.42	1.36	1.34	$\mathcal{O}(1000)$	1.38	$\mathcal{O}(1000)$	$\tilde{u}_R : 1282$	$\tilde{d}_R : 1289$		

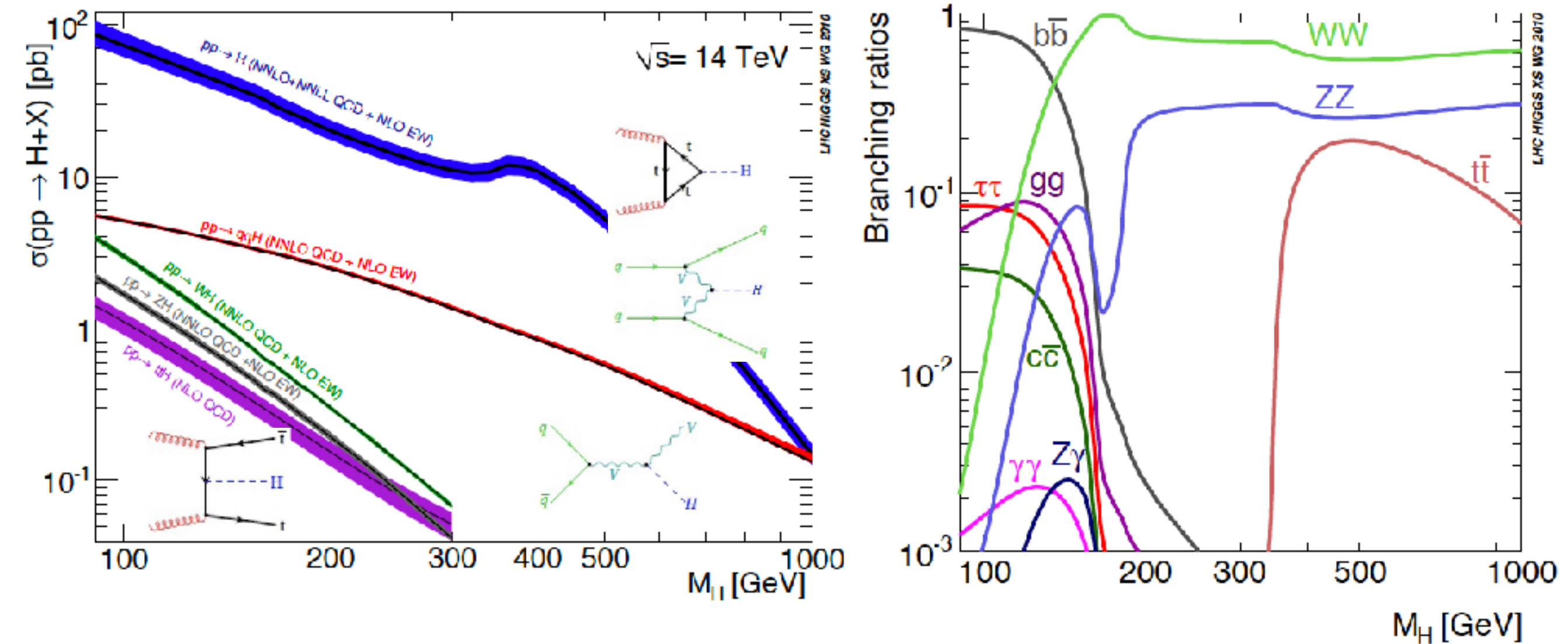
Table II: Summed cross section and corresponding K factors for all four first-generation squark processes $pp \rightarrow \tilde{q}\tilde{\chi}_1^0$ in different SPS benchmark scenarios. The scales are chosen at $\mu_{R,F}^0$. All masses are given in GeV.

[1108.1250, PRD]

Automized Squark-Neutralino Production to Next-to-Leading Order

T. Binoth, D. Goncalves Netto, D. Lopez-Val, K. Mawatari, T. Plehn, I. Wigmore

SM Higgs productions at the LHC and the decays



* SMで M_H だけが未知のパラメーター

LHC started ! (2009)

小林富雄 「LHC実験始動」



図 8 ビーム運転が再開され, splash event の記録に成功し, 喜びにわく ATLAS コントロールルーム (2009 年 11 月 20 日)

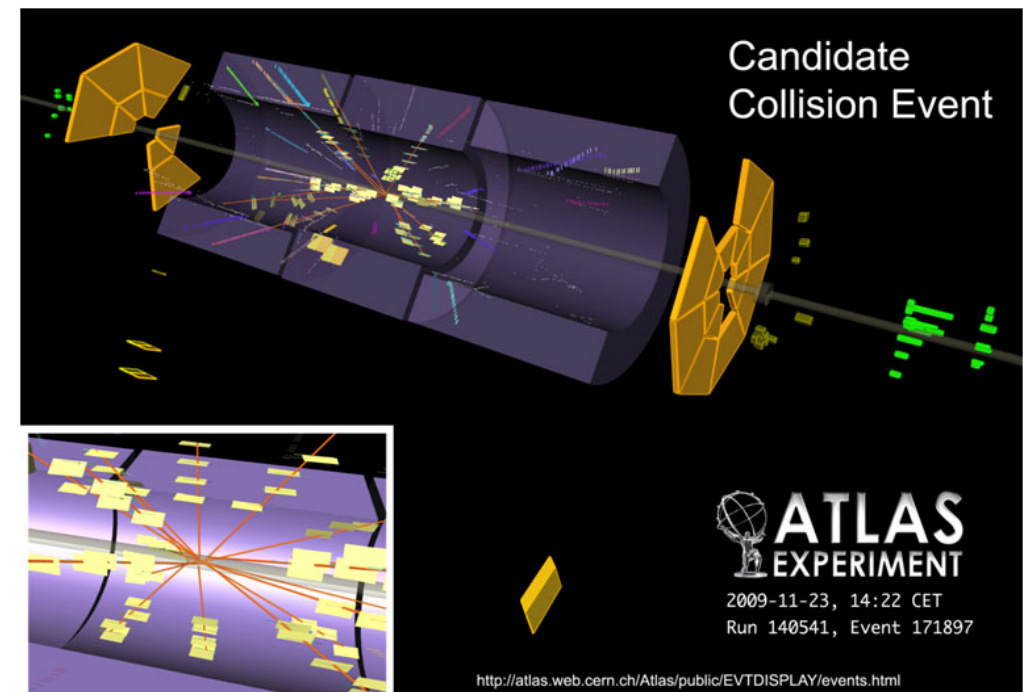
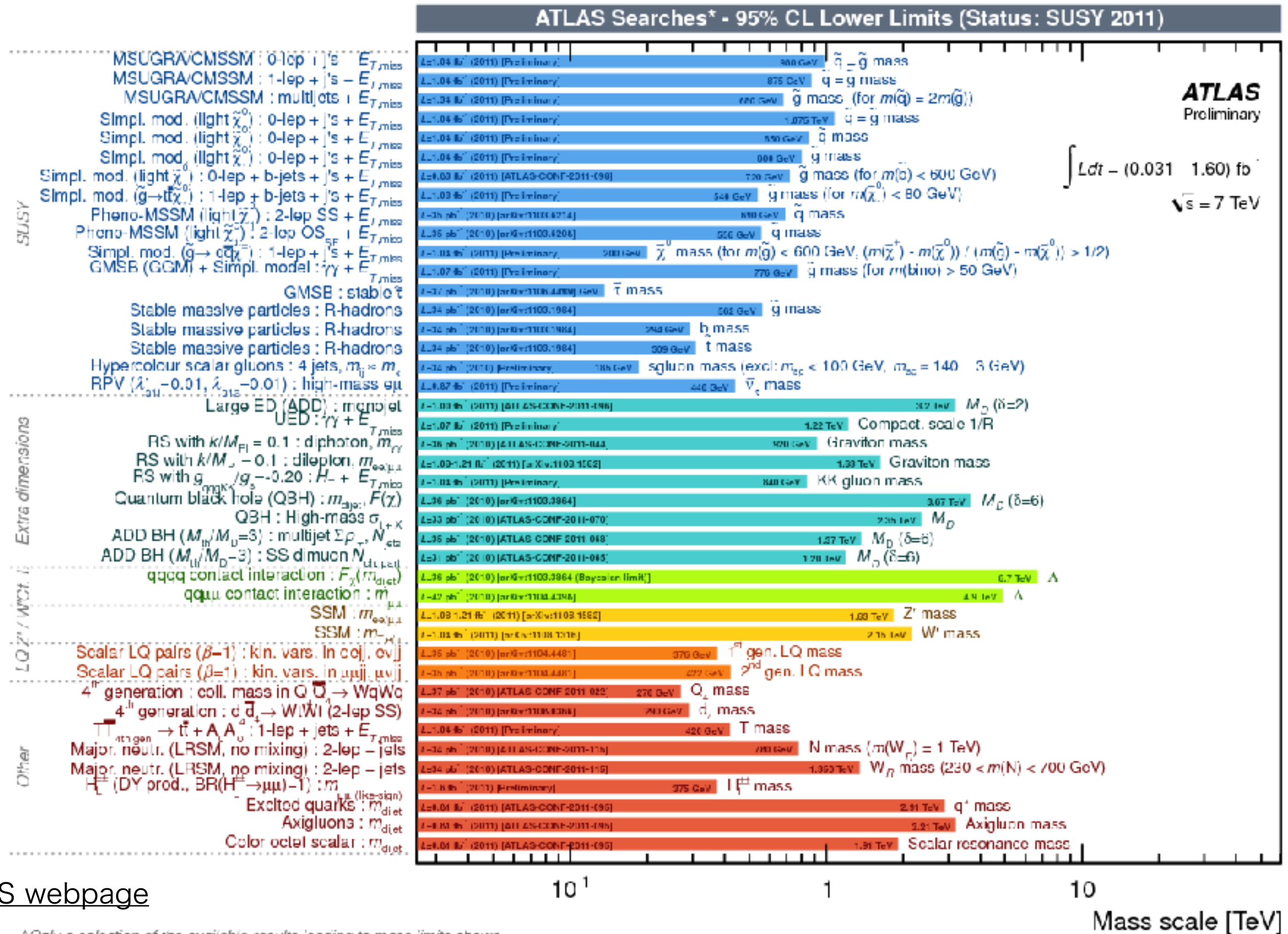
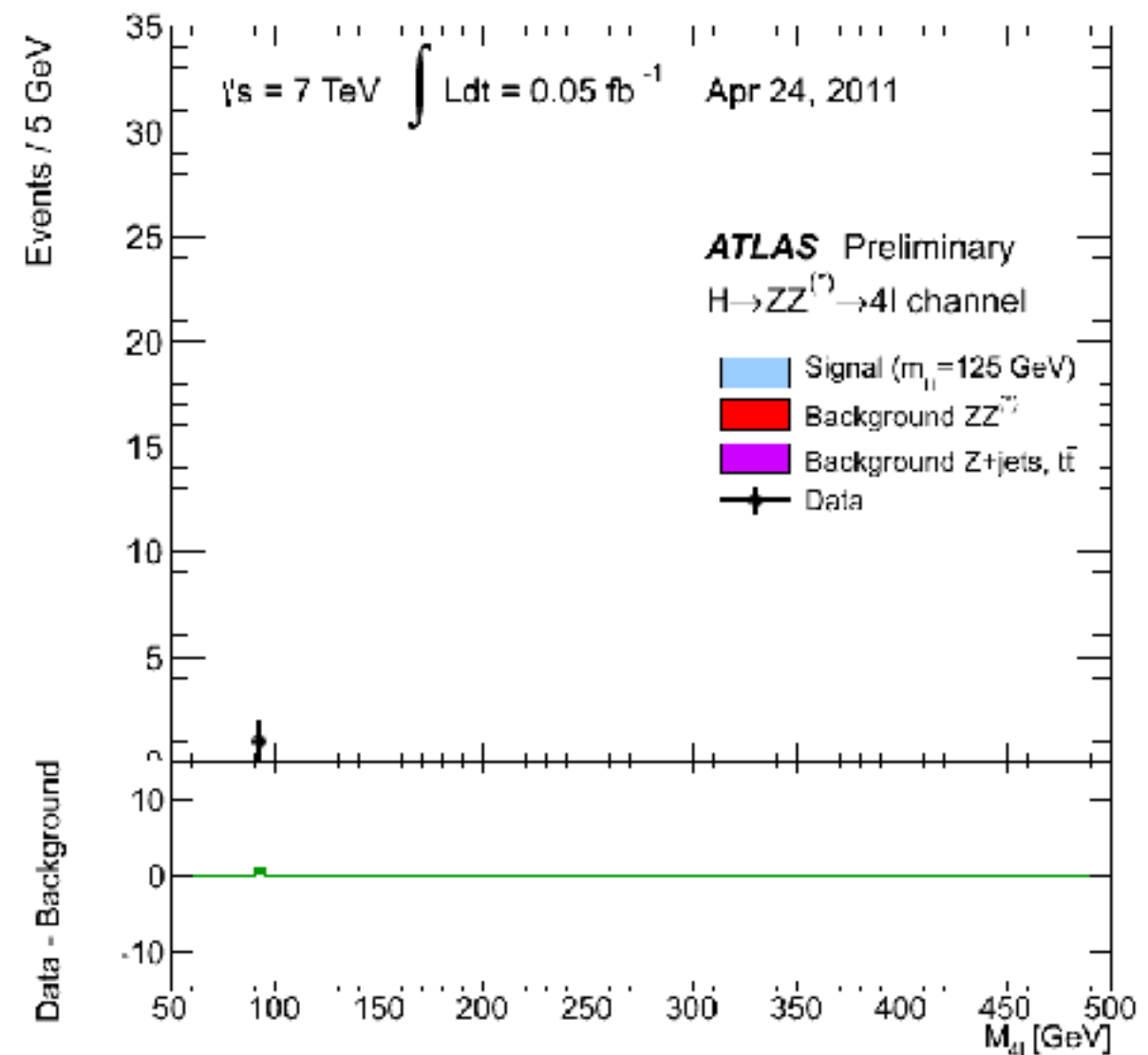


図 9 ATLAS 実験で記録された LHC 最初のビーム衝突イベントの一つ (重心系エネルギーは 900 GeV)

No new particles... only exclusion limits...



Higgs discovery? (2012)



PPP2012 by 浅井さん (ATLAS)

まっくに向かひて
心にうつりゆくよしなしごとを
そこはかとなく書き付けられは、
あやしうこそ物狂ほしけれ。

LHC徒然草

1. LHC加速器の現状と今後の予定
2. ヒッグスもどき粒子発見
3. SUSYと攻め方
4. SMの大事な過程

兼好法師

PPP2013 by 花垣さん (ATLAS)

Higgs-like to Higgs and Prospects

大阪大学 花垣和則
For the ATLAS collaboration

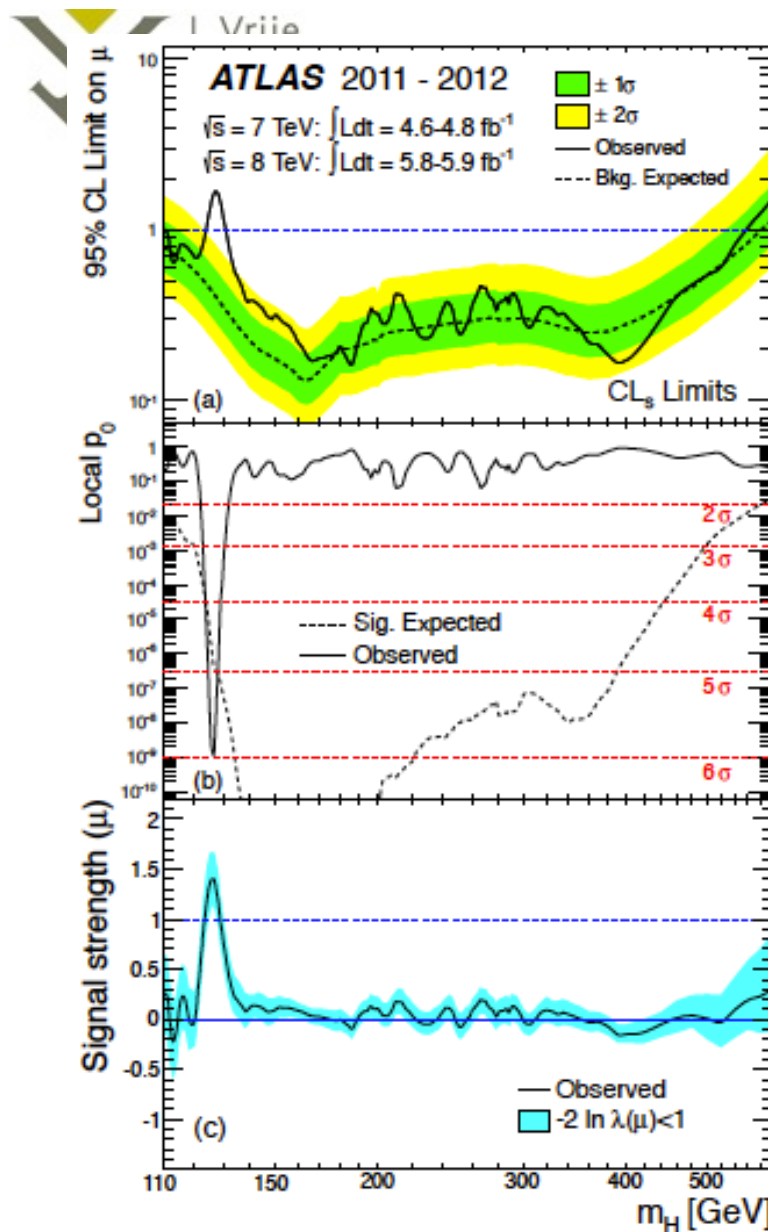


Brout-Englert-Higgs

BEH characterisation framework

Kentarou Mawatari (馬渡 健太郎)

(Vrije Universiteit Brussel and International Solvay Institutes)



Observation of a New Particle in the Search for the Standard Model Higgs Boson with the ATLAS Detector at the LHC

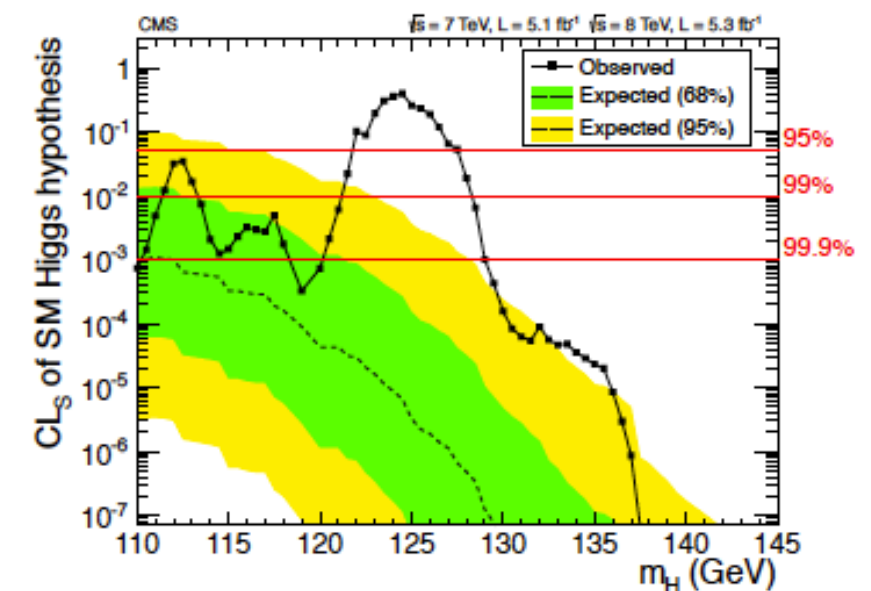
[arXiv: 1207.7214]

The ATLAS Collaboration

Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC

[arXiv: 1207.7235]

The CMS Collaboration



After one year...

arXiv:1307.1432v1 [hep-ex] 4 Jul 2013

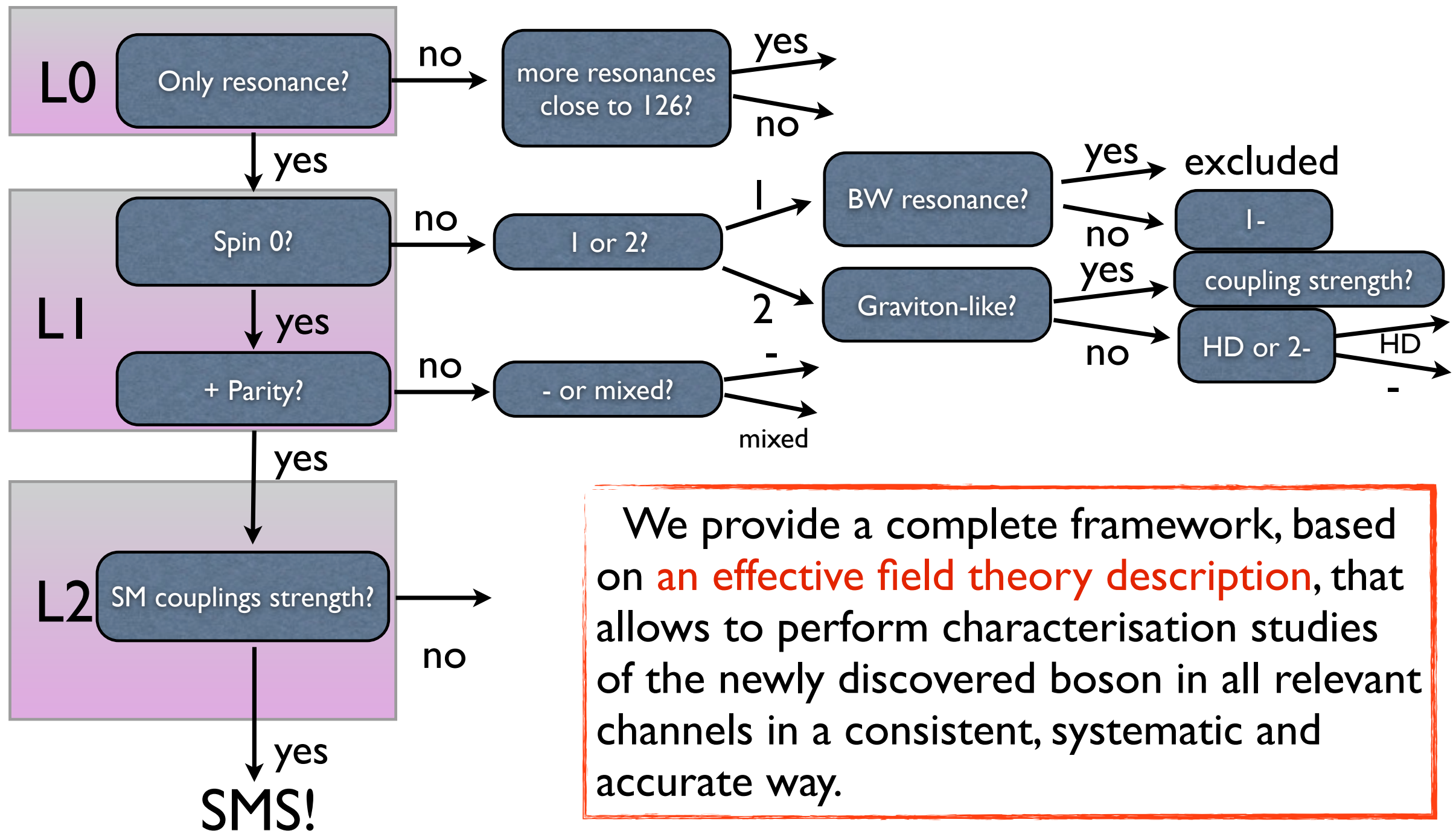
Evidence for the spin-0 nature of the Higgs boson using ATLAS data

The ATLAS Collaboration

Abstract

Studies of the spin and parity quantum numbers of the Higgs boson are presented, based on proton–proton collision data collected by the ATLAS experiment at the LHC. The Standard Model spin–parity $J^P = 0^+$ hypothesis is compared with alternative hypotheses using the Higgs boson decays $H \rightarrow \gamma\gamma$, $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ and $H \rightarrow WW^* \rightarrow \ell\nu\ell\nu$, as well as the combination of these channels. The analysed dataset corresponds to an integrated luminosity of 20.7 fb^{-1} collected at a centre-of-mass energy of $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$. For the $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$ decay mode the dataset corresponding to an integrated luminosity of 4.6 fb^{-1} collected at $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ is added. The data are compatible with the Standard Model $J^P = 0^+$ quantum numbers for the Higgs boson, whereas all alternative hypotheses studied in this letter, namely some specific $J^P = 0^-, 1^+, 1^-, 2^+$ models, are excluded at confidence levels above 97.8%. This exclusion holds independently of the assumptions on the coupling strengths to the Standard Model particles and in the case of the $J^P = 2^+$ model, of the relative fractions of gluon–fusion and quark–antiquark production of the spin-2 particle. The data thus provide evidence for the spin-0 nature of the Higgs boson, with positive parity being strongly preferred.

Strategy of the Higgs characterisation



We provide a complete framework, based on **an effective field theory description**, that allows to perform characterisation studies of the newly discovered boson in all relevant channels in a consistent, systematic and accurate way.



κ (kappa) framework = SM coupling からのズレをパラメトライズ



Effective Lagrangian -- spin0

$$\mathcal{L}_0^f = - \sum_{f=t,b,\tau} \bar{\psi}_f (c_\alpha \kappa_{Hff} g_{Hff} + i s_\alpha \kappa_{Aff} g_{Aff} \gamma_5) \psi_f X_0$$

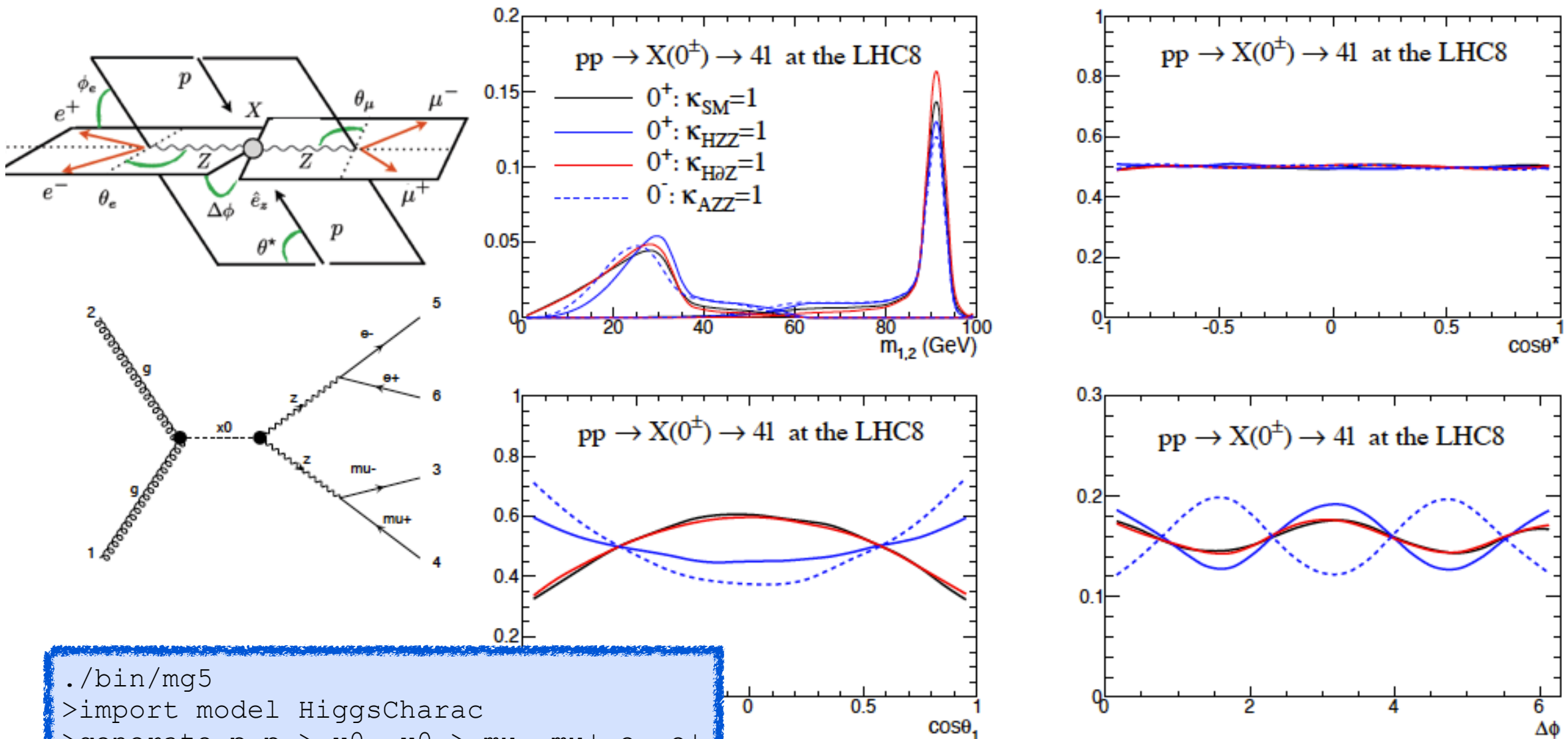
$$\begin{aligned} \mathcal{L}_0^V = & \left\{ c_\alpha \kappa_{SM} \left[\frac{1}{2} g_{HZZ} Z_\mu Z^\mu + g_{HWW} W_\mu^+ W^{-\mu} \right] \right. \\ & - \frac{1}{4} [c_\alpha \kappa_{H\gamma\gamma} g_{H\gamma\gamma} A_{\mu\nu} A^{\mu\nu} + s_\alpha \kappa_{A\gamma\gamma} g_{A\gamma\gamma} A_{\mu\nu} \tilde{A}^{\mu\nu}] \\ & - \frac{1}{2} [c_\alpha \kappa_{HZ\gamma} g_{HZ\gamma} Z_{\mu\nu} A^{\mu\nu} + s_\alpha \kappa_{AZ\gamma} g_{AZ\gamma} Z_{\mu\nu} \tilde{A}^{\mu\nu}] \\ & - \frac{1}{4} [c_\alpha \kappa_{Hgg} g_{Hgg} G_{\mu\nu}^a G^{a,\mu\nu} + s_\alpha \kappa_{Agg} g_{Agg} G_{\mu\nu}^a \tilde{G}^{a,\mu\nu}] \\ & - \frac{1}{4} \frac{1}{\Lambda} [c_\alpha \kappa_{HZZ} Z_{\mu\nu} Z^{\mu\nu} + s_\alpha \kappa_{AZZ} Z_{\mu\nu} \tilde{Z}^{\mu\nu}] \\ & - \frac{1}{2} \frac{1}{\Lambda} [c_\alpha \kappa_{HWW} W_{\mu\nu}^+ W^{-\mu\nu} + s_\alpha \kappa_{AWW} W_{\mu\nu}^+ \tilde{W}^{-\mu\nu}] \\ & \left. - \frac{1}{\Lambda} c_\alpha [\kappa_{H\partial\gamma} Z_\nu \partial_\mu A^{\mu\nu} + \kappa_{H\partial Z} Z_\nu \partial_\mu Z^{\mu\nu} + \kappa_{H\partial W} (W_\nu^+ \partial_\mu W^{-\mu\nu} + h.c.)] \right\} X_0 \end{aligned}$$

```
#####
## INFORMATION FOR FRBLOCK
#####
Block FRBlock
1 1.000000e+03 # Lambda
2 1.000000e+00 # ca
3 1.000000e+00 # kSM
4 1.000000e+00 # kHtt
5 1.000000e+00 # kAtt
6 1.000000e+00 # kHbb
7 1.000000e+00 # kAbb
8 1.000000e+00 # kHll
9 1.000000e+00 # kAll
10 1.000000e+00 # kHaa
11 1.000000e+00 # kAaa
12 1.000000e+00 # kHza
13 1.000000e+00 # kAza
14 1.000000e+00 # kHgg
15 1.000000e+00 # kAgg
16 0.000000e+00 # kHzz
17 0.000000e+00 # kAzz
18 0.000000e+00 # kHww
19 0.000000e+00 # kAww
20 0.000000e+00 # kHda
21 0.000000e+00 # kHdz
22 0.000000e+00 # kHdw
```

$$V_{\mu\nu} = \partial_\mu V_\nu - \partial_\nu V_\mu \quad (V = A, Z, W^\pm), \quad \tilde{V}_{\mu\nu} = \frac{1}{2} \epsilon_{\mu\nu\rho\sigma} V^{\rho\sigma}$$

$$G_{\mu\nu}^a = \partial_\mu G_\nu^a - \partial_\nu G_\mu^a + g_s f^{abc} G_\mu^b G_\nu^c,$$

Mass and angular distributions -- spin0



```
./bin/mg5
>import model HiggsCharac
>generate p p > x0, x0 > mu- mu+ e- e+
>output
>launch
```

[1306.6464, JHEP]

P.Artoisenet, P. de Aquino, F. Demartin, R. Frederix, S. Frixione, F. Maltoni, M. Mandal, P. Mathews, K. Mawatari, V. Ravindran, S. Seth, P. Torrielli, M. Zaro

2013 NOBEL PRIZE IN PHYSICS

François Englert
Peter W. Higgs



© The Nobel Foundation. Photo: Lovisa Engblom.

BROKEN SYMMETRY AND THE MASS OF GAUGE VECTOR MESONS*

F. Englert and R. Brout

Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgium
(Received 26 June 1964)

BROKEN SYMMETRIES, MASSLESS PARTICLES AND GAUGE FIELDS

P. W. HIGGS

Tait Institute of Mathematical Physics, University of Edinburgh, Scotland

Received 27 July 1964



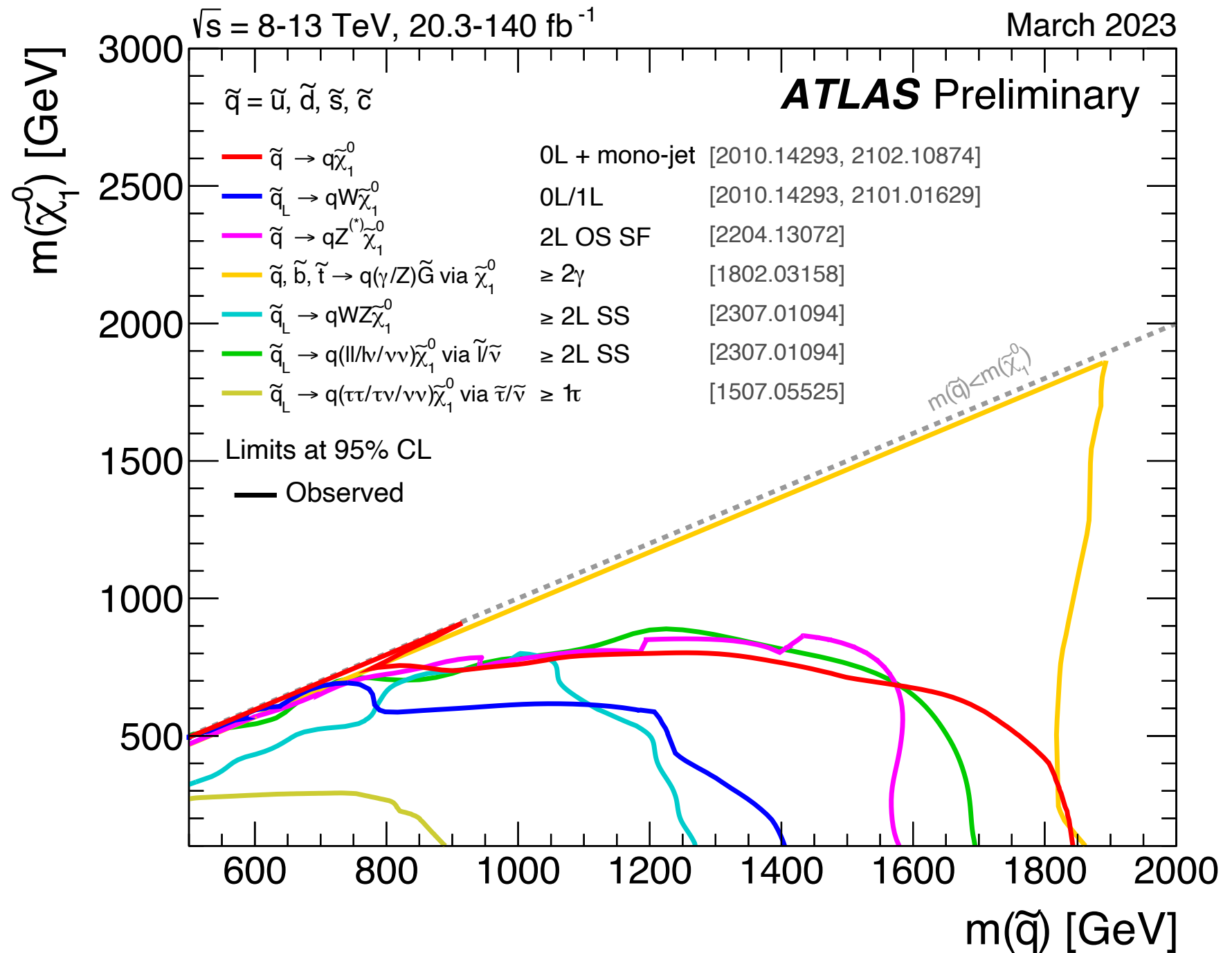
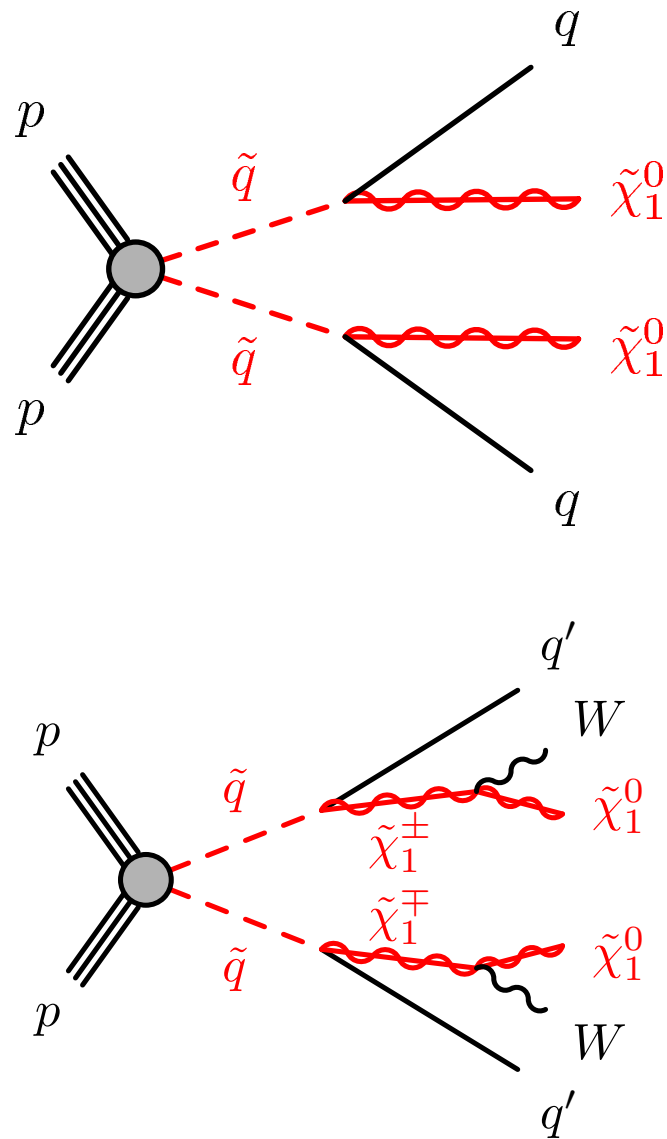
"for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider" [<http://www.nobelprize.org>]

After Higgs discovery

BSM: full SUSY spectra $\rightarrow$ simplified spectra, compressed spectra,
RPV (R parity violation),
LLP (Long-lived particle),
simplified DM models,
...

Higgs: kappa framework $\rightarrow$ SMEFT (SM Effective Field Theory)

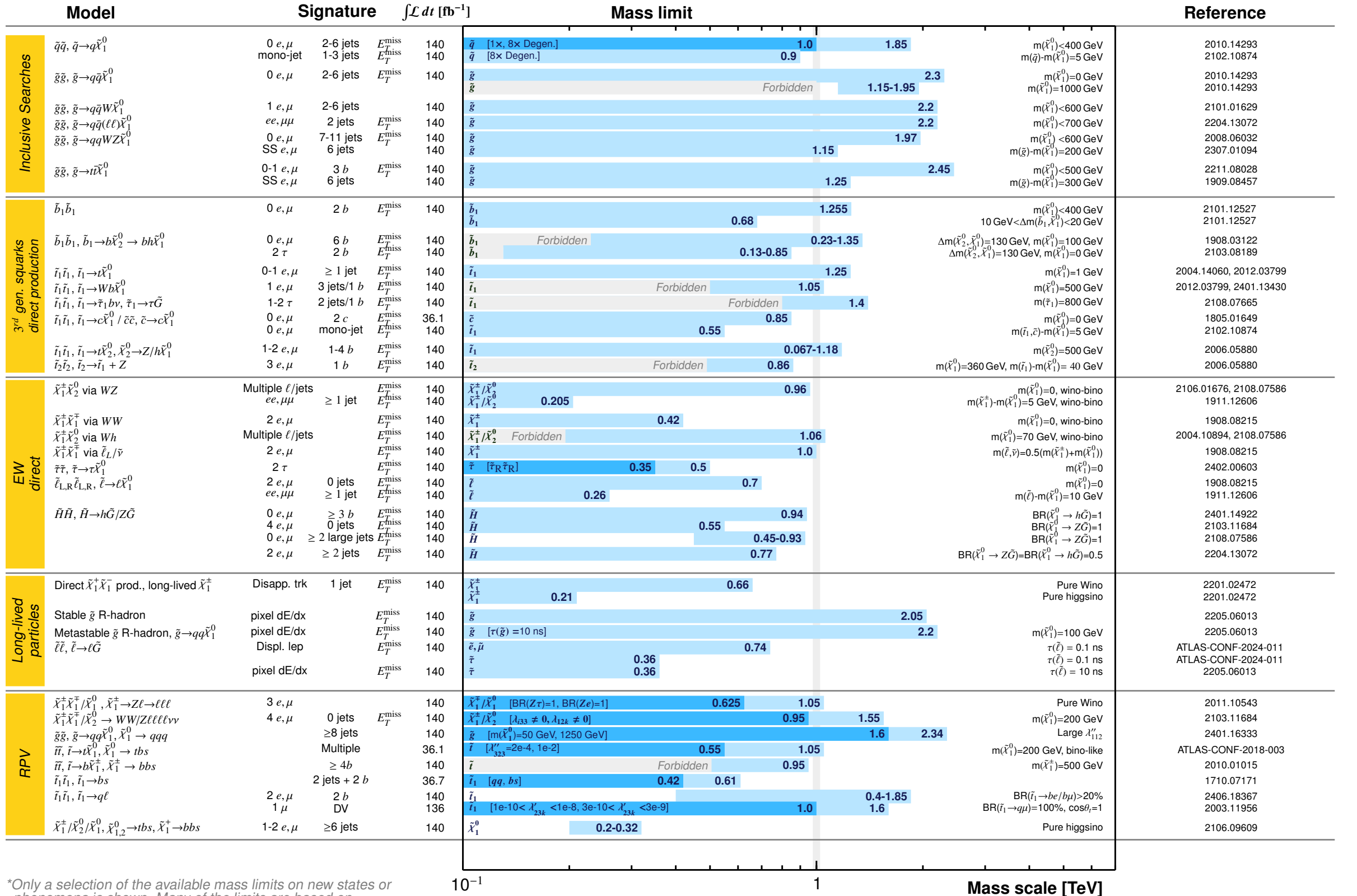
Full SUSY spectra to simplified spectra



ATLAS SUSY Searches* - 95% CL Lower Limits

July 2024

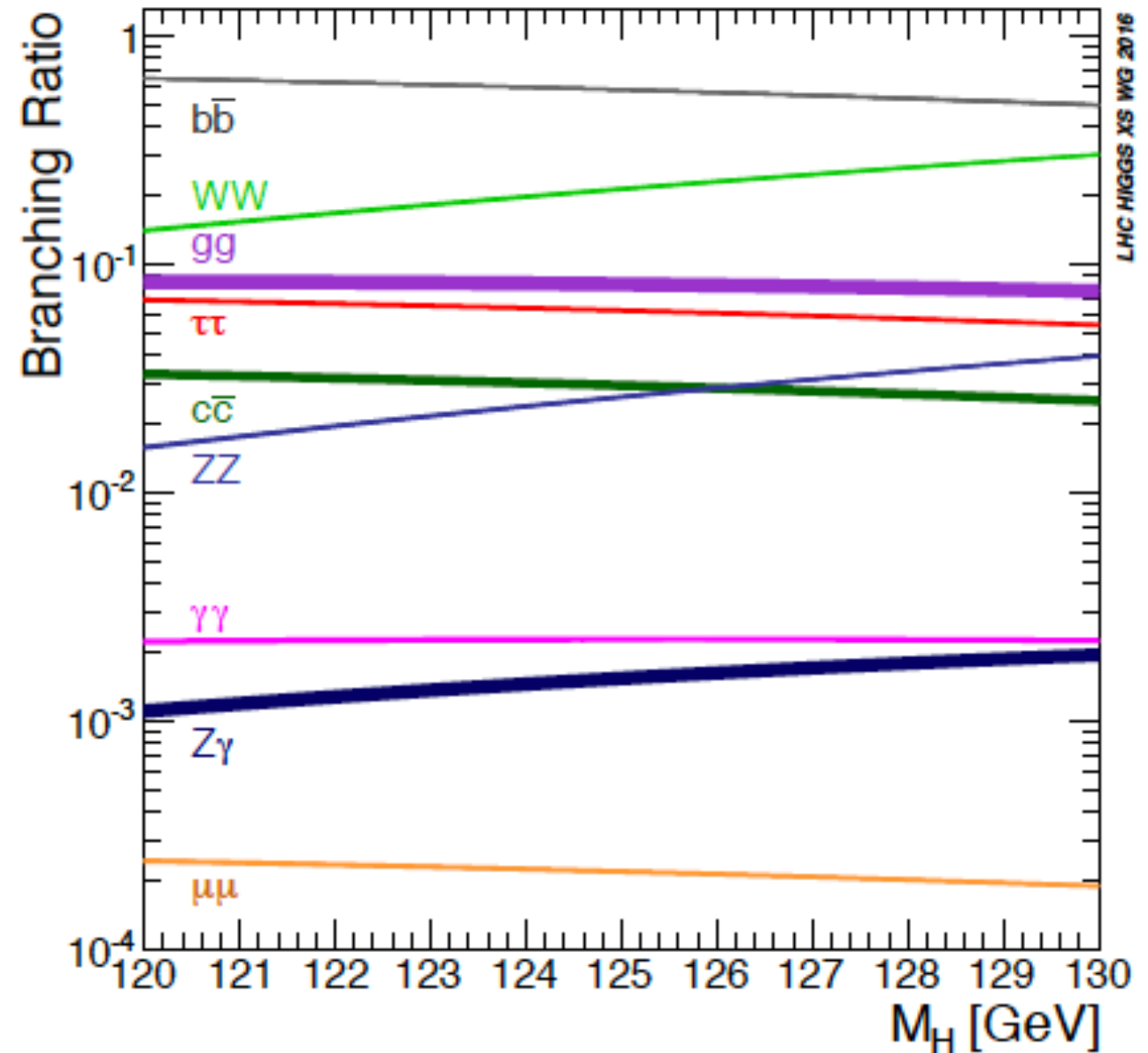
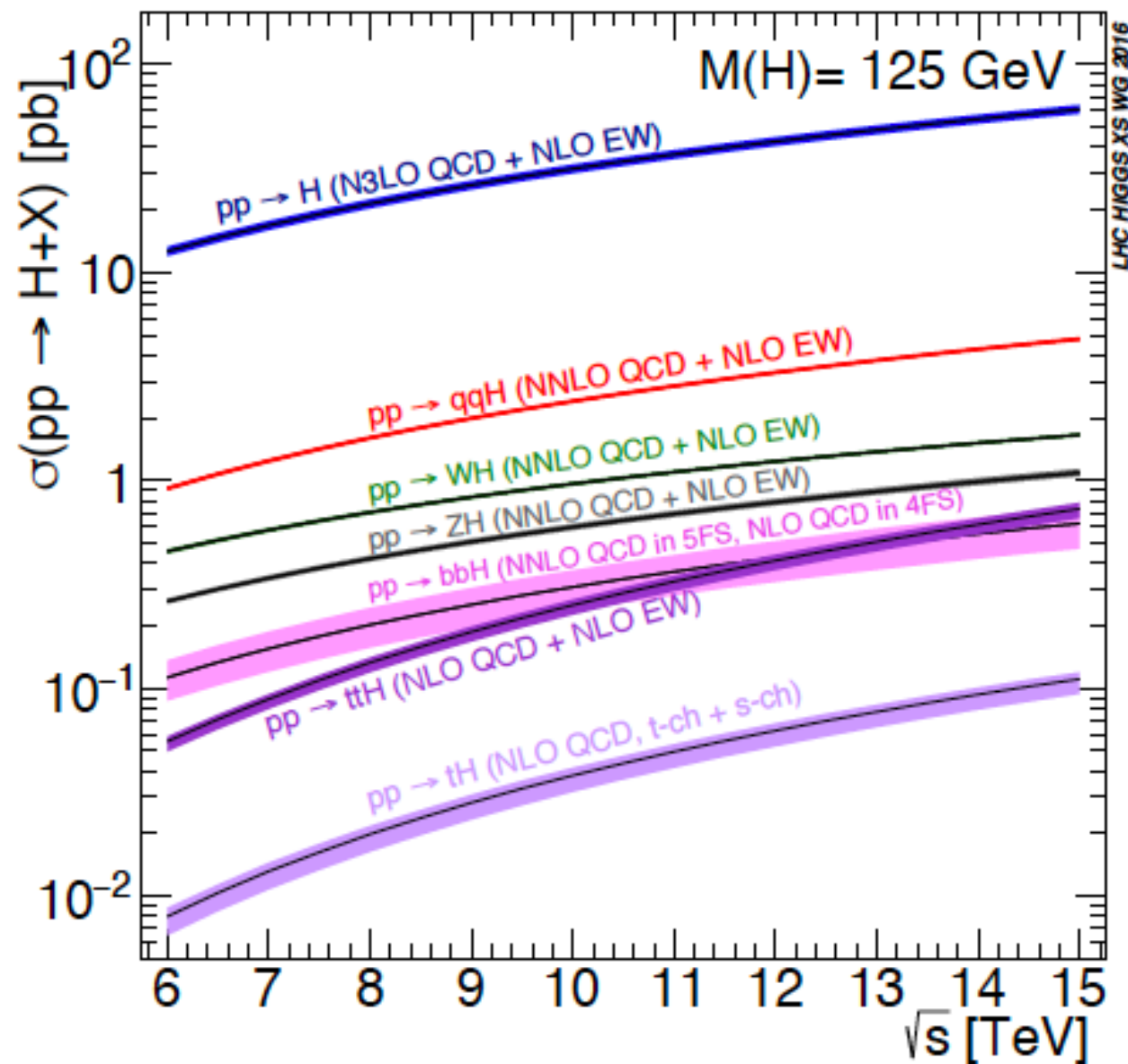
ATLAS Preliminary
 $\sqrt{s} = 13$ TeV



*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown. Many of the limits are based on simplified models, c.f. refs. for the assumptions made.

10⁻¹ 1 Mass scale [TeV]

125 GeV SM Higgs productions at the LHC and the decays

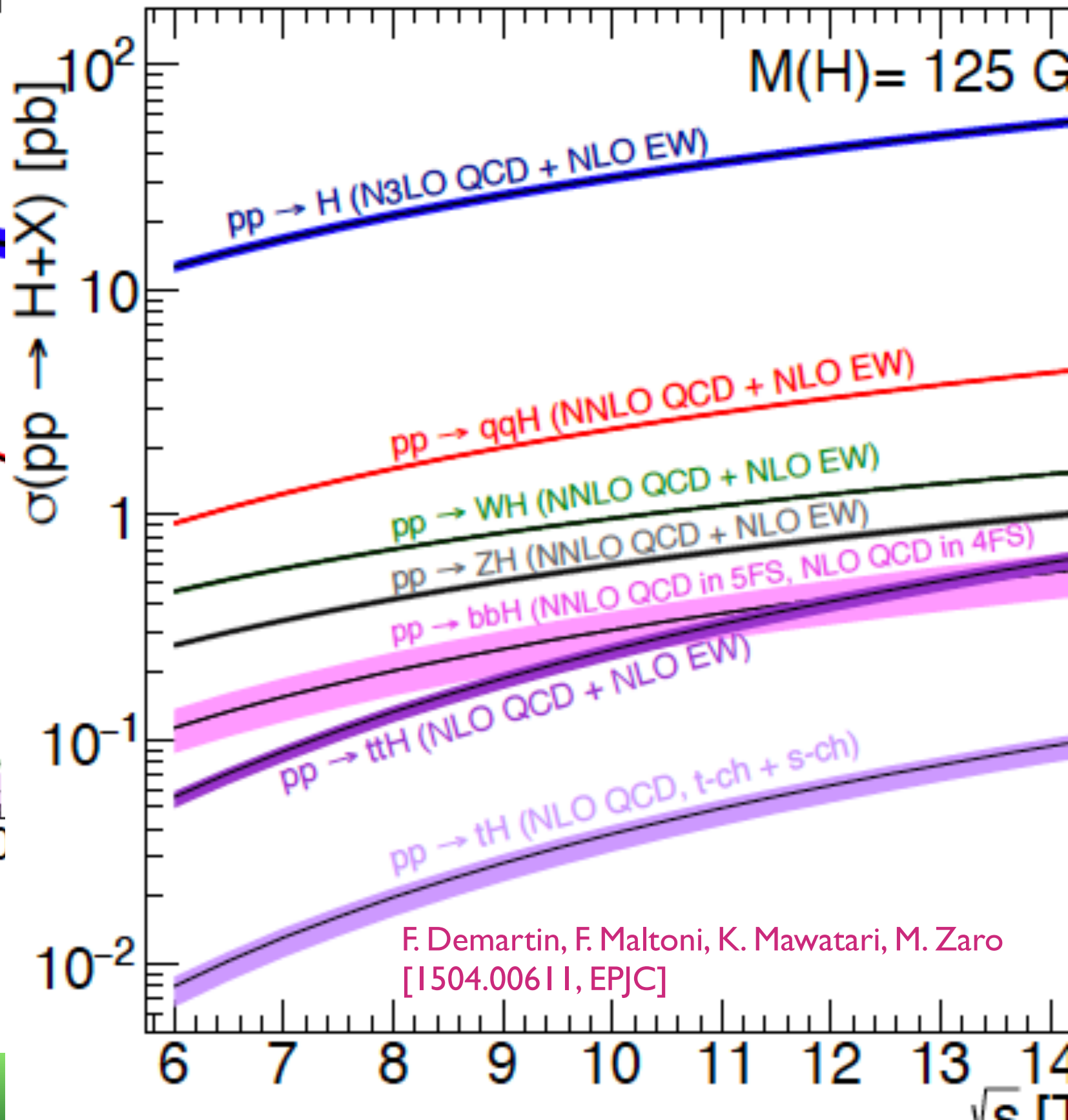
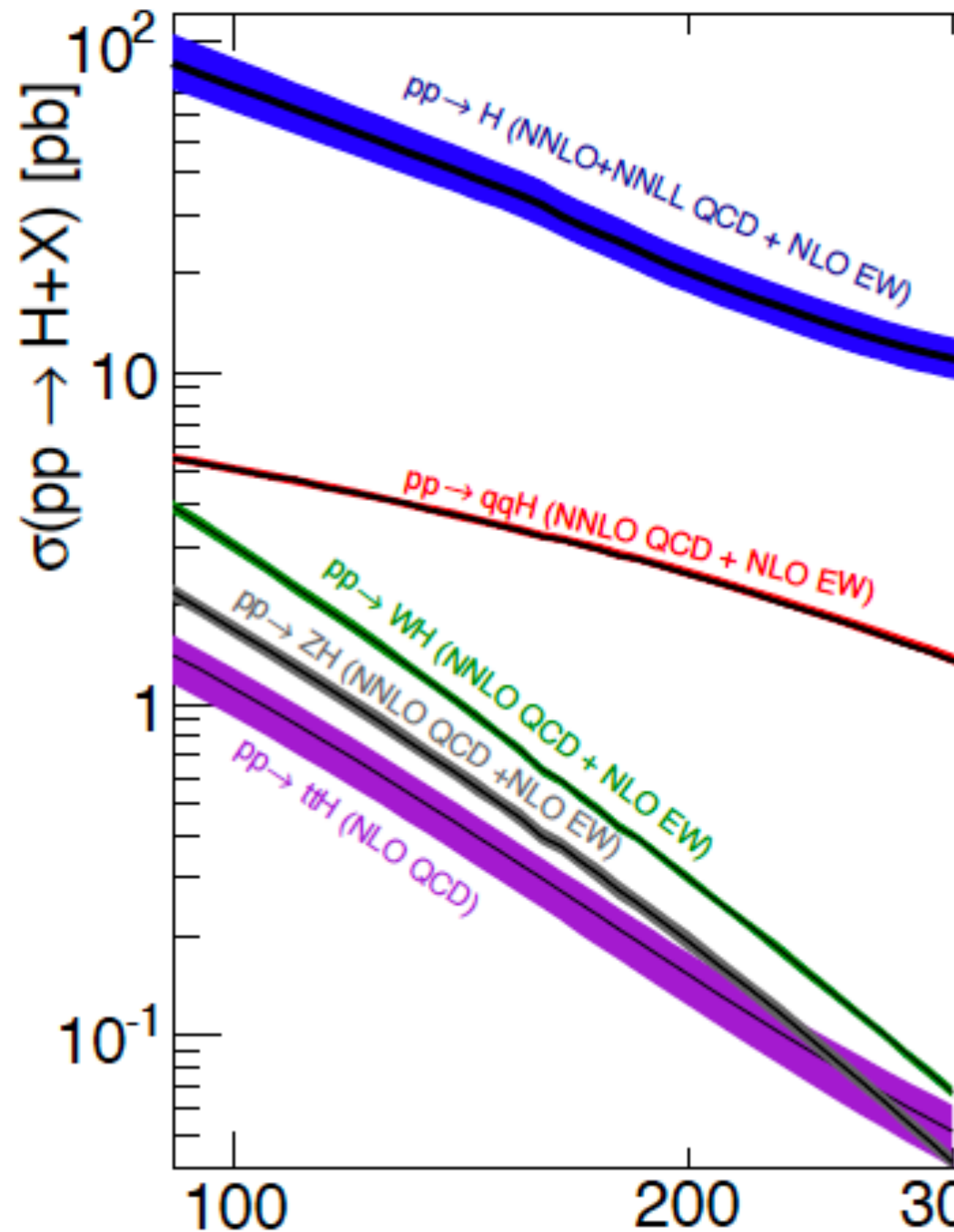


YR4: arXiv:1610.07922

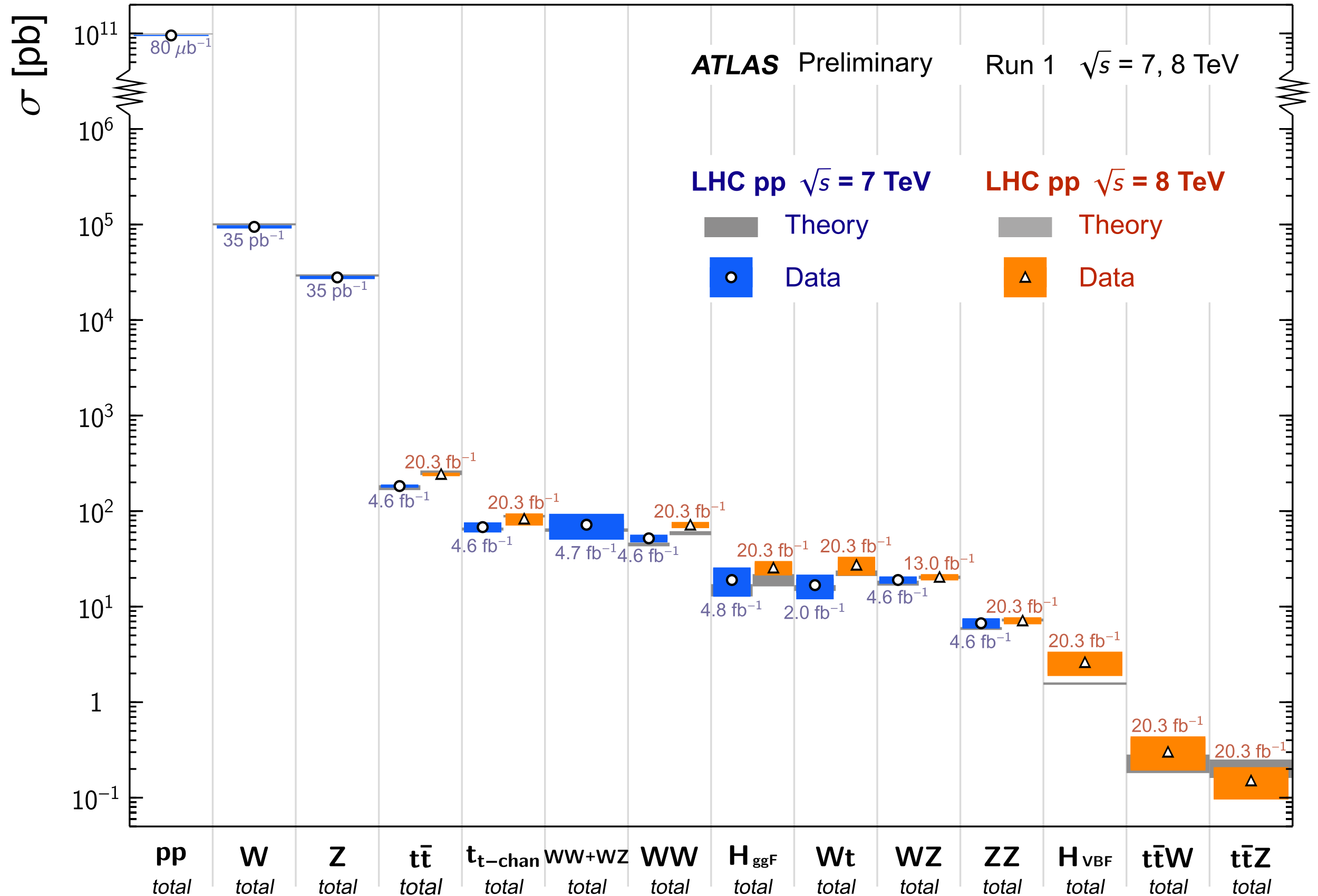
Higgs precision

YR1: arXiv:1101.0593

YR4: arXiv:1610.07922

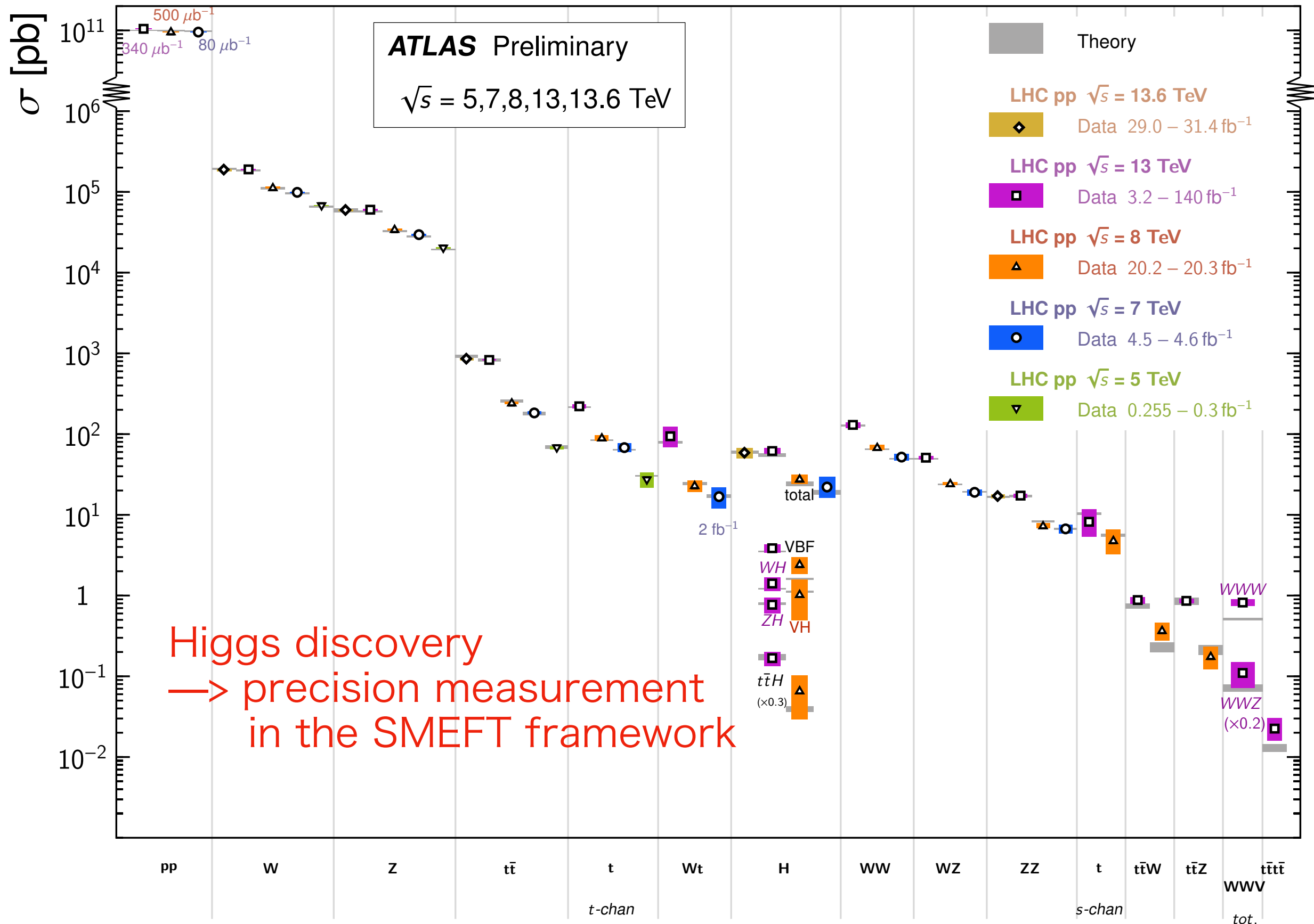


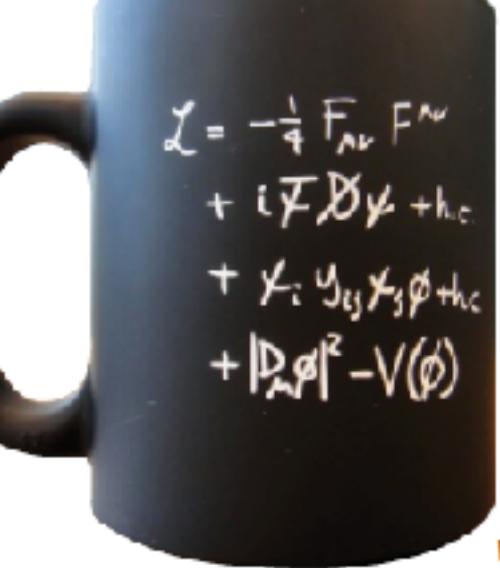
F. Demartin, F. Maltoni, K. Mawatari, M. Zaro
[1504.00611, EPJC]



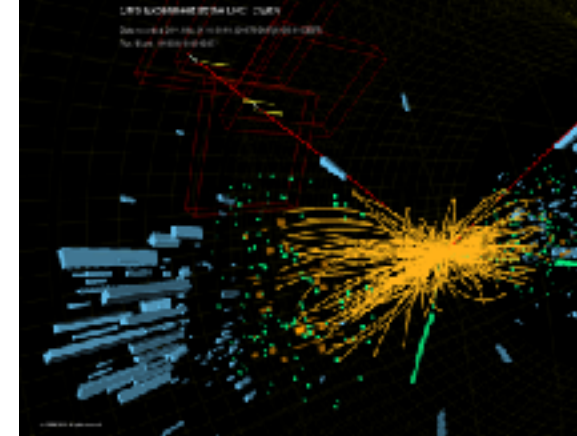
Standard Model Total Production Cross Section Measurements

Status: June 2024





behind the scenes



final-state parton shower
(QCD; perturbative)

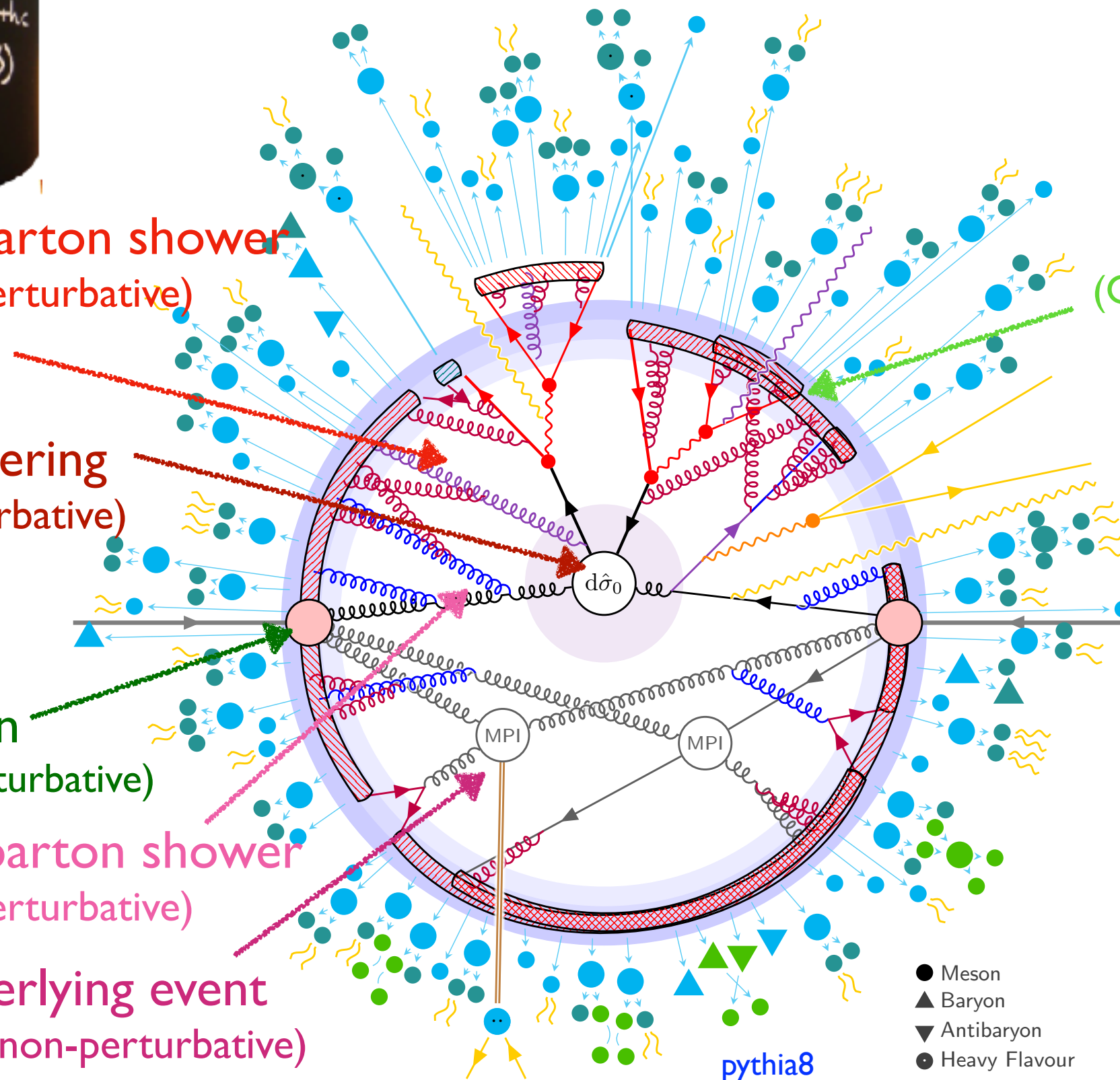
hard scattering
((B)SM; perturbative)

proton
(QCD; non-perturbative)

initial-state parton shower
(QCD; perturbative)

underlying event
(QCD; non-perturbative)

hadronization
(QCD; non-perturbative)



- Hard Interaction
- Resonance Decays
- MECs, Matching & Merging
- FSR
- ISR*
- QED
- Weak Showers
- Hard Onium
- Multiparton Interactions
- Beam Remnants*
- Strings
- Ministrings / Clusters
- Colour Reconnections
- String Interactions
- Bose-Einstein & Fermi-Dirac
- Primary Hadrons
- Secondary Hadrons
- Hadronic Reinteractions
- (*: incoming lines are crossed)

- Meson
- ▲ Baryon
- ▼ Antibaryon
- Heavy Flavour

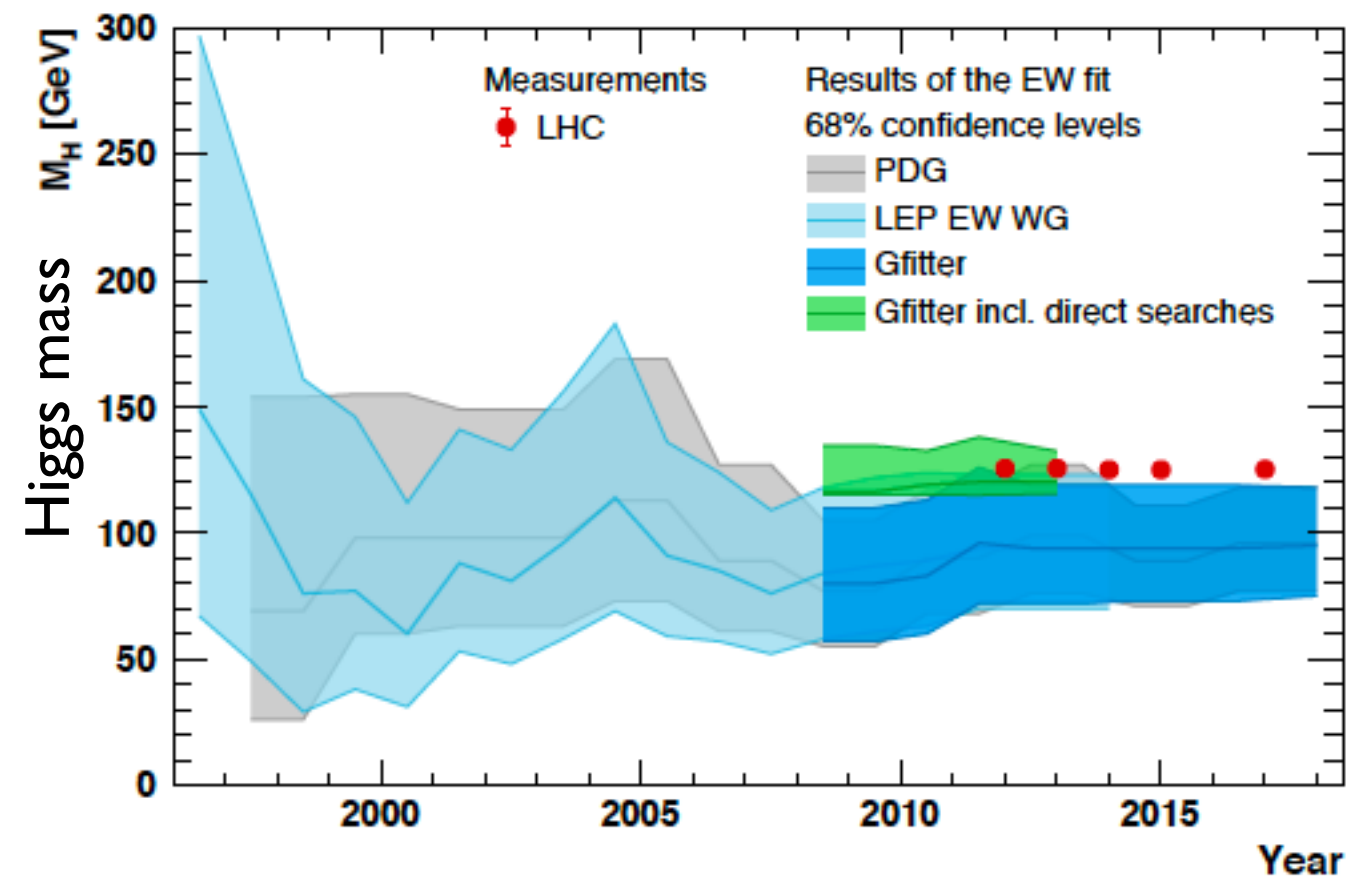
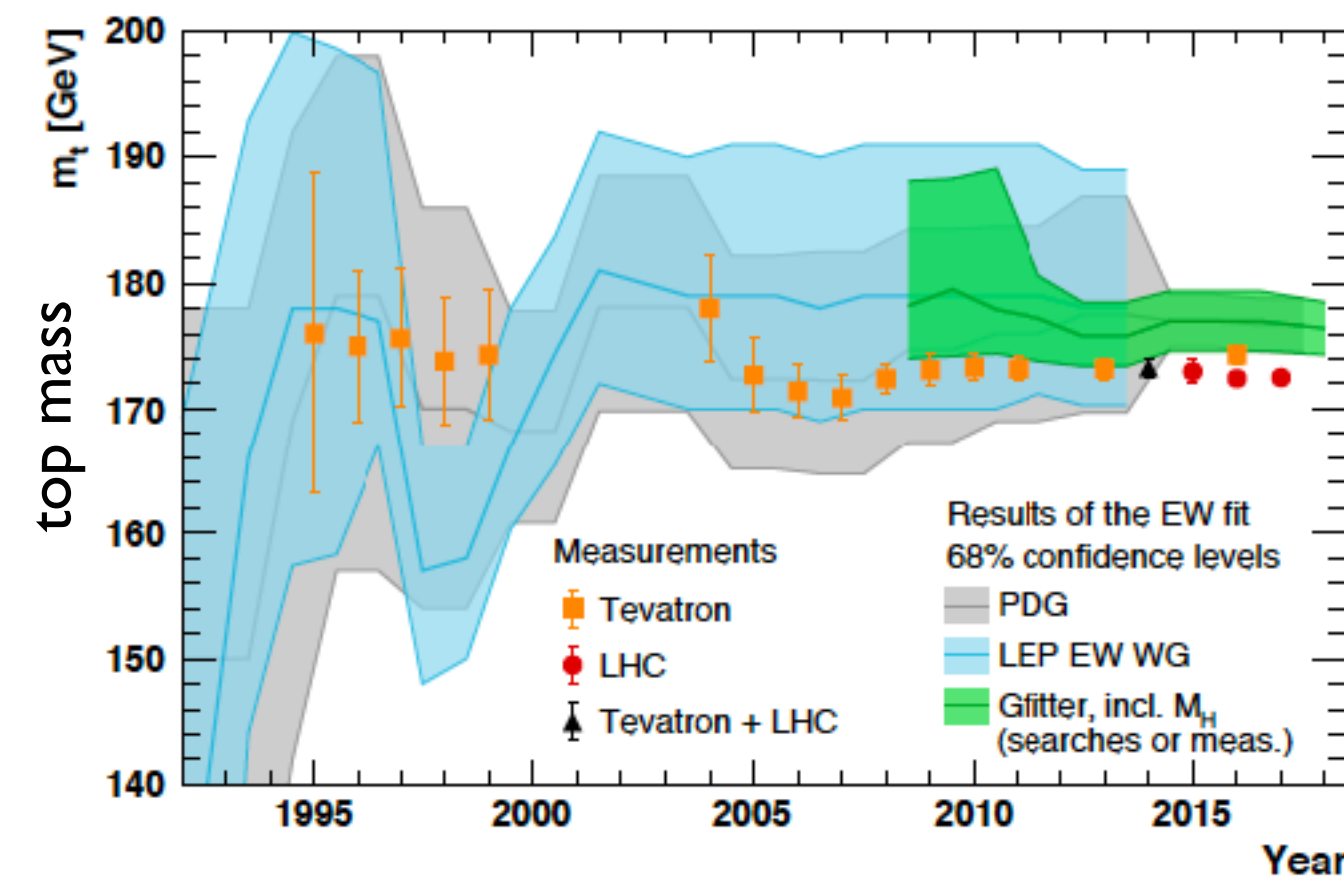
pythia8

Precise measurements

➔ Indirectly predict new particle masses
via quantum loop effects

LEP: W, Z precision ➔ predict top/Higgs masses

➔ Discovery @Tevatron/LHC!



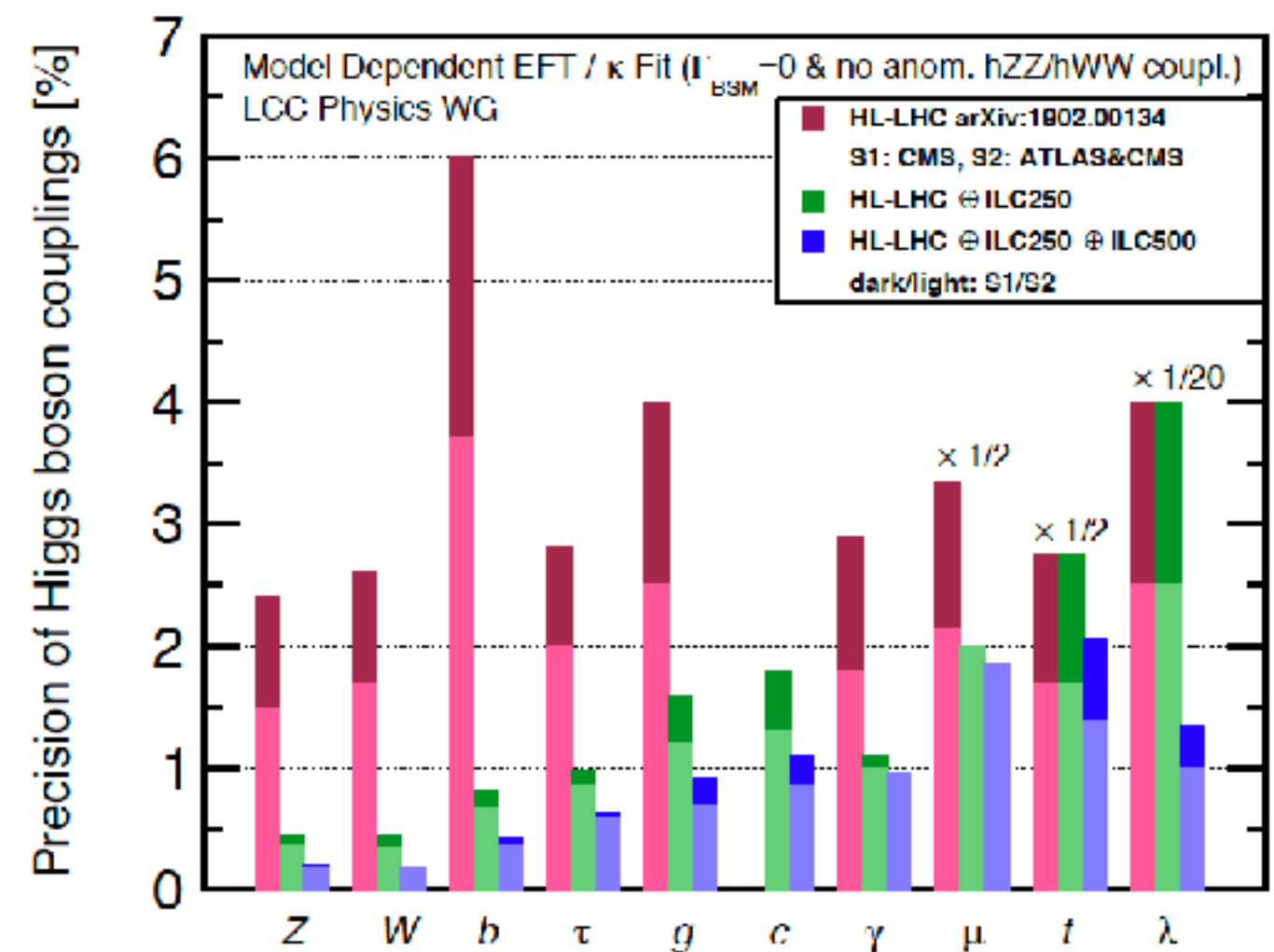
Gfitter [[1803.01853](#)]

Precise measurements

➔ Indirectly predict new particle masses
via quantum loop effects

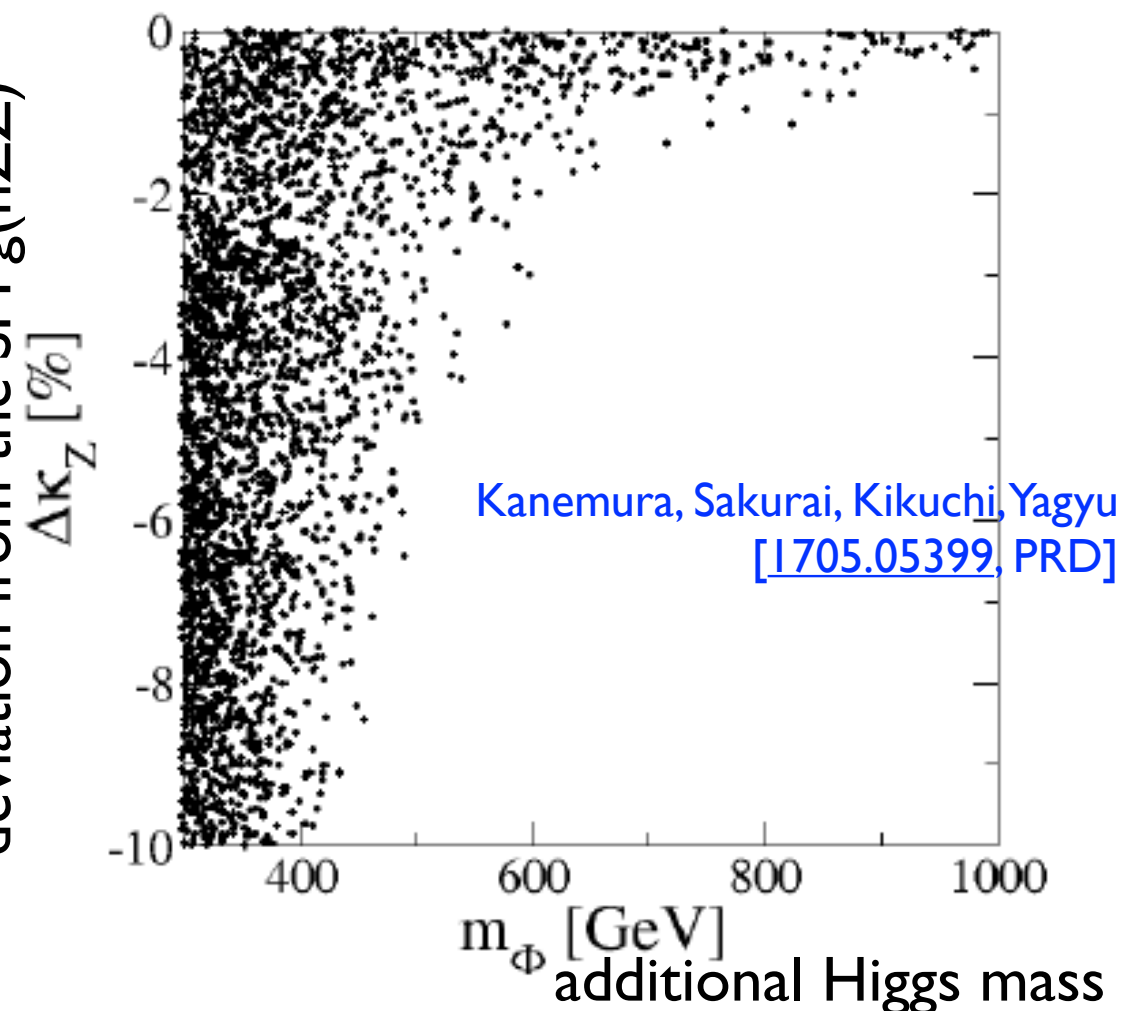
ILC: Higgs precision ➔ predict NP masses

➔ Discovery @100TeV collider?



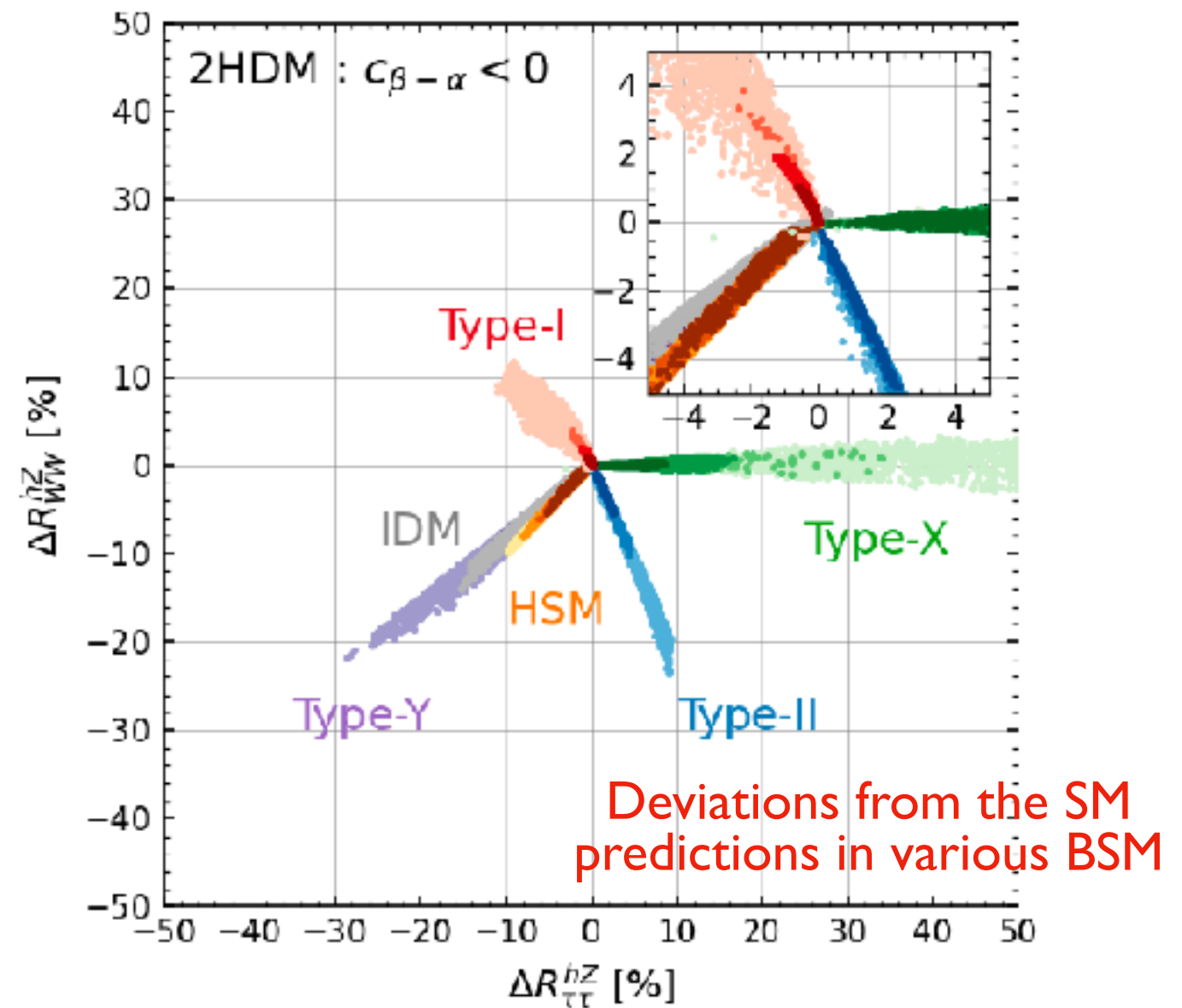
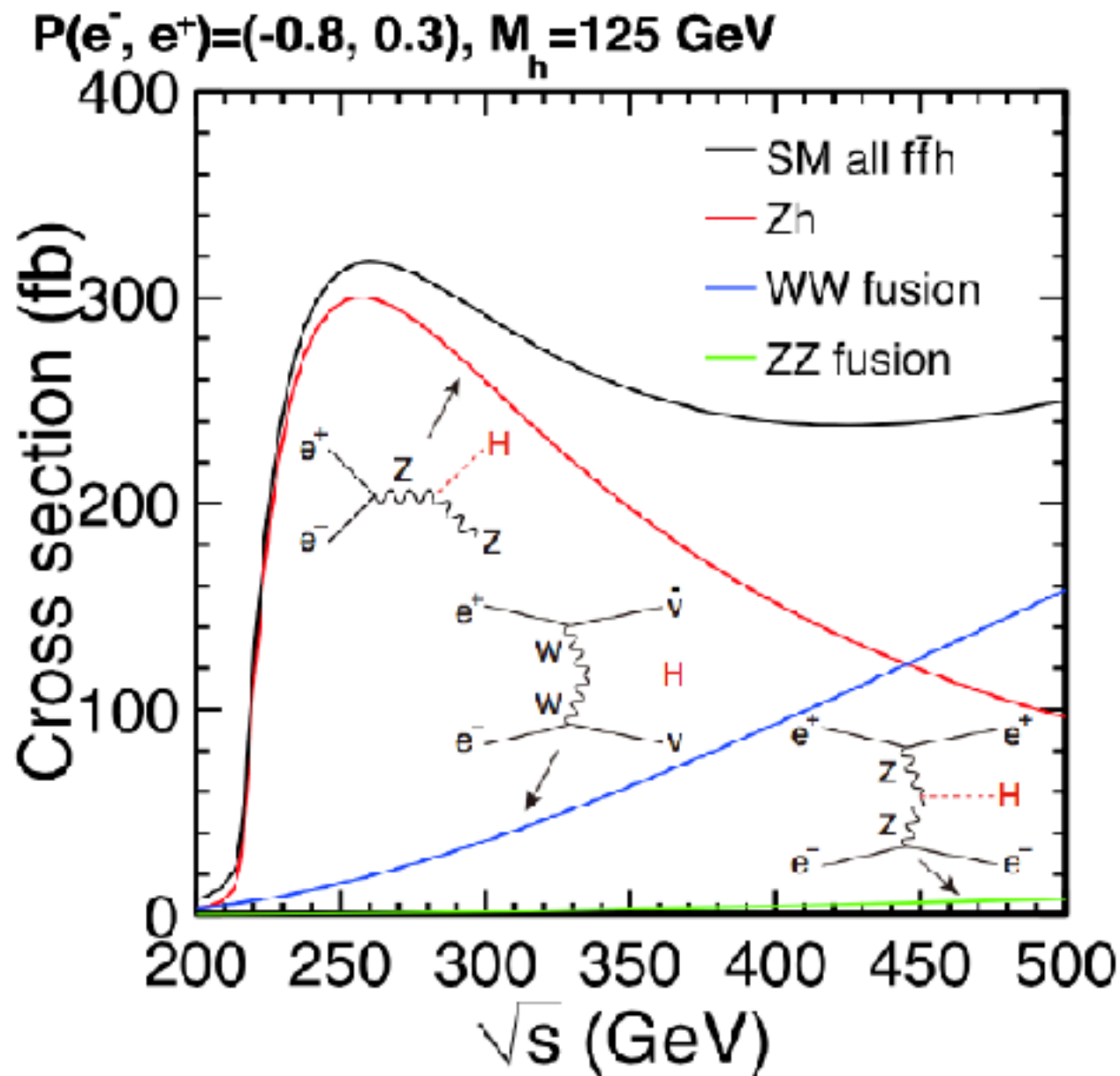
ILC [1903.01629]

deviation from the SM $g(hZZ)$



ILC250 = Higgs factory

Aiko, Kanemura, Mawatari [2109.02884, EPJC]



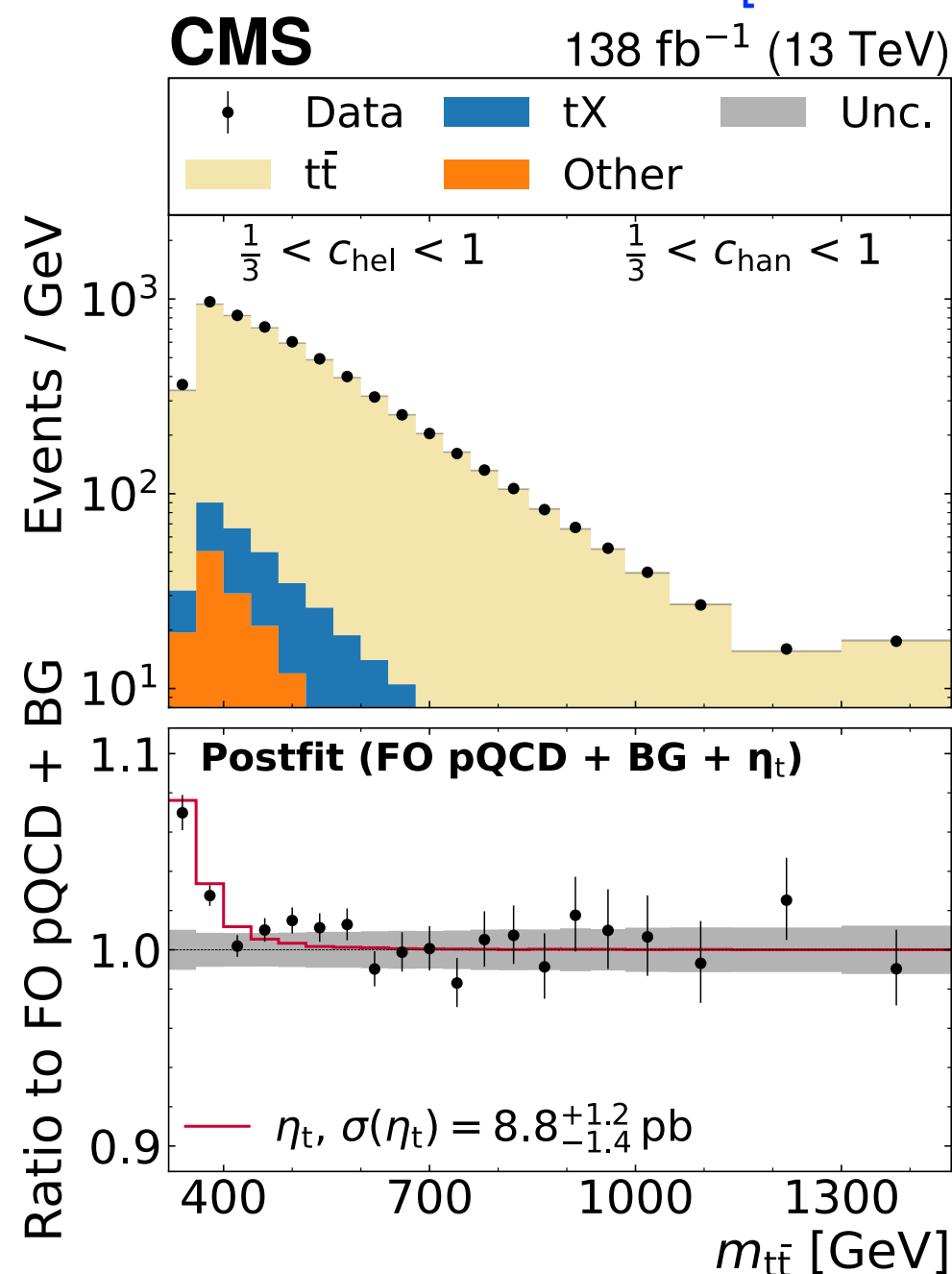
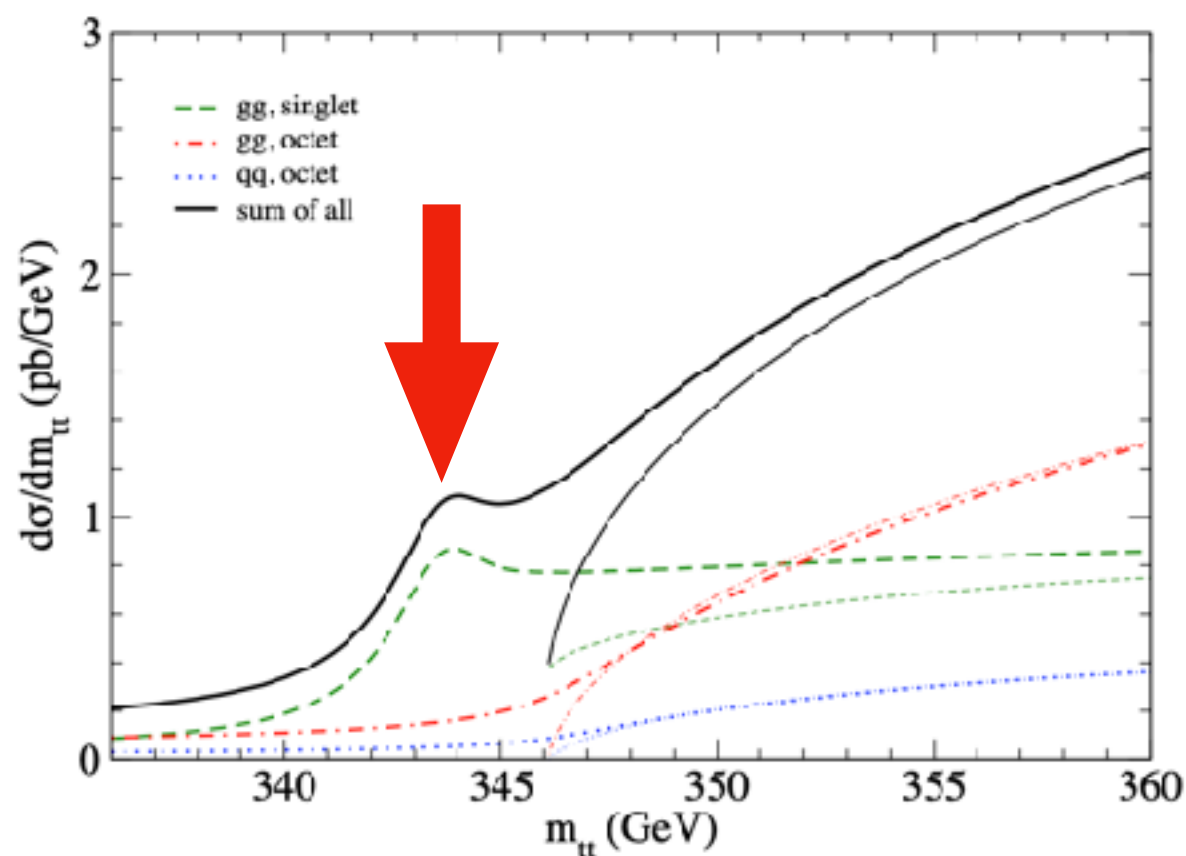
100TeVコライダー実現のためにも、まずはヒッグスファクトリーが必要！

A new particle
at the LHC in 2025?

Toponium (η_t)!

CMS [2503.22382]
ATLAS [CONF-2025-008]

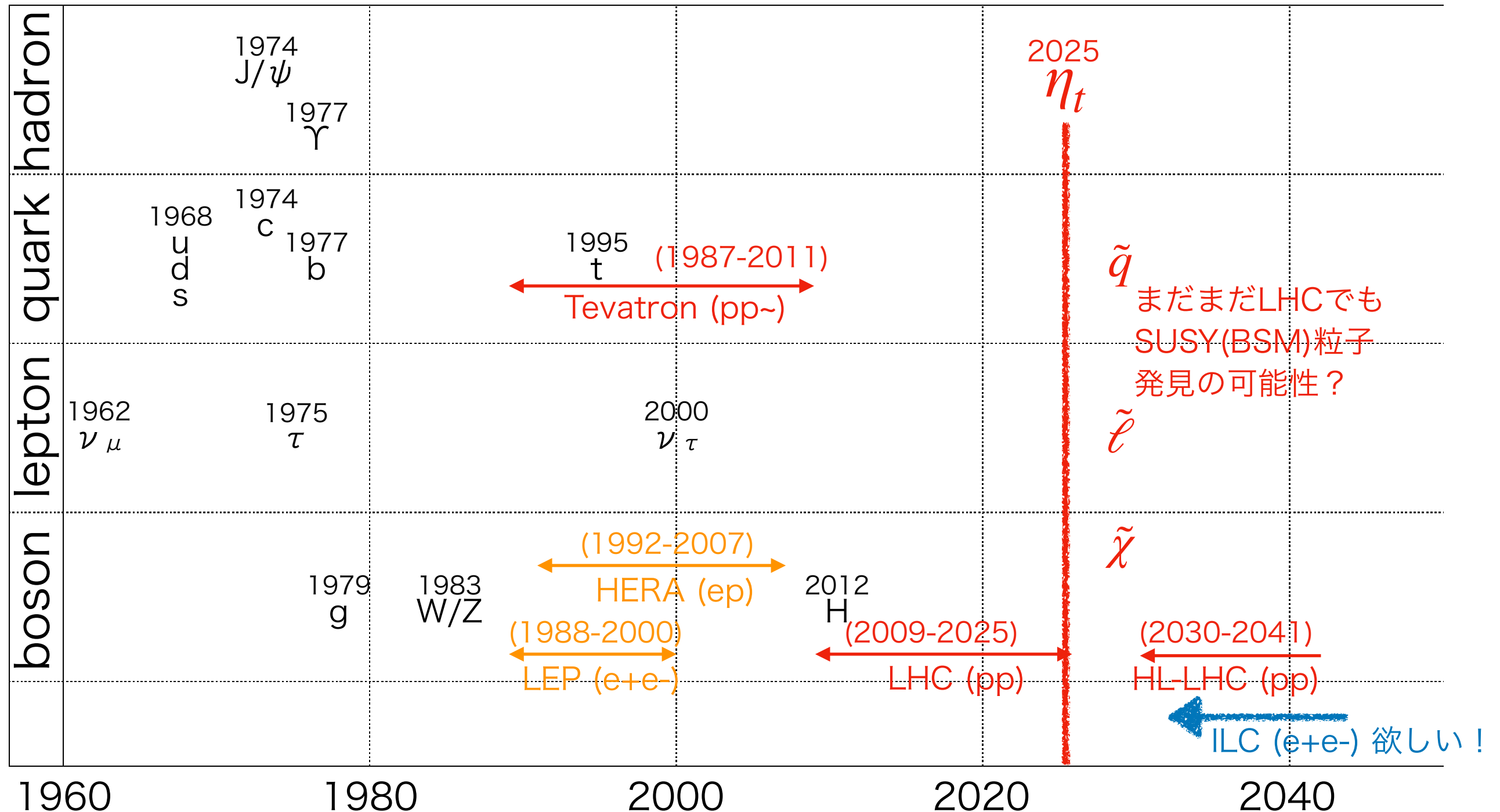
Hagiwara, Sumino, Yokoya [0804.1014, PLB]
Sumino, Yokoya [1007.0075, JHEP]
Fuks, Hagiwara, Ma, Zheng [2102.11281, PRD]
Fuks, Hagiwara, Ma, Zheng [2411.18962, EPJC]
Fuks, Hagiwara, Ma, Munoz-Aillaud, Zheng [2509.03596]



教訓：明らかなBSMシグナルは見えそうにないが、
まだまだ SM background に埋もれている可能性！

理論家・実験家双方の
努力・協力が必要不可欠！

History of elementary particle discovery at colliders



Iwate Collider Schools (ICS2022-25) @Appi ski resort

ぜひ一緒にコライダー物理やりましょう！



**KEK-IINAS
COLLIDER
2022**
26 MARCH, 2022
Appi highland, Iwate, Japan (Hyakuninuma)

Registration fee
FREE and local expenses will be supported.
(No support for travel fees.)

Eligibility
Mainly for graduate students and postdoc fellows
(Max. 25 participants in person / No limitation for online students)

Venue
ANA Crowne Plaza Resort Appi Kogen

Application submission deadline
18 December, 2022

Website
<https://ics.sgk.iwate-u.ac.jp/>

Contact
ics2022@iwate-u.ac.jp

Lecturers:
Rikako Imai (KEK, Japan)
Benjamin H. J. van der Meulen (KEK, Japan)
Hitoshi Murayama (KEK, Japan)
Olivier Mittlender (Louvain, Belgium)
Tineke Vries (Uppsala, Sweden) etc.

Organizers:
Koichi Hamaguchi (KEK)
Daniel Jeans (KEK)
Fabio Maltoni (UCLouvain / Belgium)
Kentarou Mawatari (Chair, Iwate U.)
Shinya Narita (Iwate U.)
Kei Yamamoto (Iwate U.)
Tajuan Zhang (Iwate U.)



**IWATE COLLIDER
2023**
27 FEBRUARY - 4 MARCH
Appi highland, Iwate, Japan (Hyakuninuma)

Registration fee
FREE and local expenses will be supported.
(No support for travel fees.)

Eligibility
Mainly for graduate students and postdoc fellows
(Max. 25 participants in person / No limitation for online students)

Venue
ANA Crowne Plaza Resort Appi Kogen

Application submission deadline
18 December, 2022

Website
<https://ics.sgk.iwate-u.ac.jp/>

Contact
ics2023@iwate-u.ac.jp

Lecturers:
Rikako Imai (KEK, Japan)
Benjamin H. J. van der Meulen (KEK, Japan)
Hitoshi Murayama (KEK, Japan)
Olivier Mittlender (Louvain, Belgium)
Tineke Vries (Uppsala, Sweden) etc.

Organizers:
Koichi Hamaguchi (KEK)
Daniel Jeans (KEK)
Fabio Maltoni (UCLouvain / Belgium)
Kentarou Mawatari (Chair, Iwate U.)
Shinya Narita (Iwate U.)
Kei Yamamoto (Iwate U.)
Tajuan Zhang (Iwate U.)



**IWATE COLLIDER
2024**
26 FEBRUARY - 2 MARCH
Appi highland, Iwate, Japan (Hyakuninuma)

Registration fee
FREE and local expenses will be supported.
(No support for travel fees.)

Eligibility
Mainly for graduate students and postdoc fellows
(Max. 25 participants in person)

Venue
ANA Crowne Plaza Resort Appi Kogen

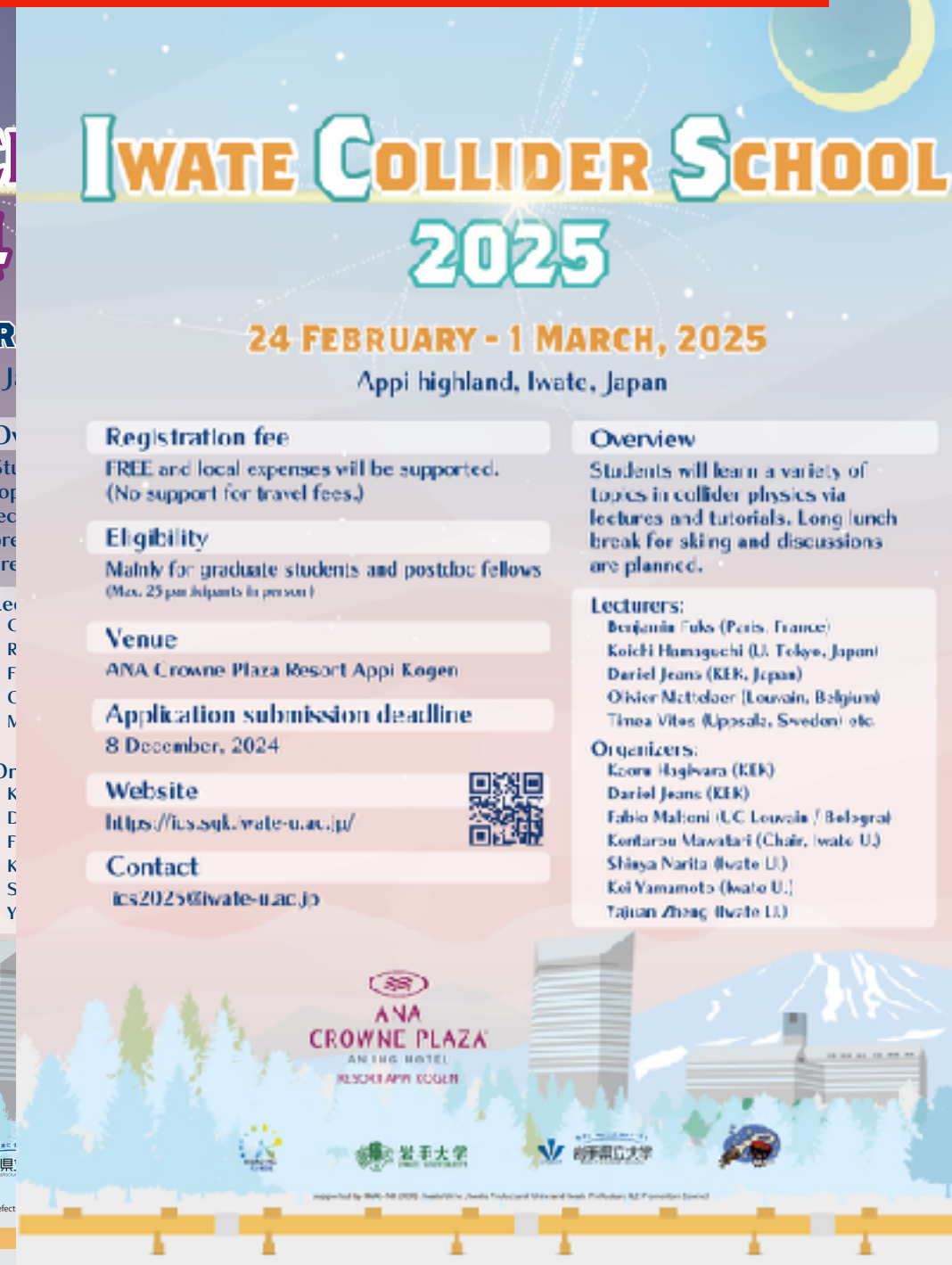
Application submission deadline
8 December, 2023

Website
<https://ics.sgk.iwate-u.ac.jp/>

Contact
ics2024@iwate-u.ac.jp

Lecturers:
Rikako Imai (KEK, Japan)
Benjamin H. J. van der Meulen (KEK, Japan)
Hitoshi Murayama (KEK, Japan)
Olivier Mittlender (Louvain, Belgium)
Tineke Vries (Uppsala, Sweden) etc.

Organizers:
Koichi Hamaguchi (KEK)
Daniel Jeans (KEK)
Fabio Maltoni (UCLouvain / Belgium)
Kentarou Mawatari (Chair, Iwate U.)
Shinya Narita (Iwate U.)
Kei Yamamoto (Iwate U.)
Tajuan Zhang (Iwate U.)



**IWATE COLLIDER SCHOOL
2025**
24 FEBRUARY - 1 MARCH, 2025
Appi highland, Iwate, Japan (Hyakuninuma)

Registration fee
FREE and local expenses will be supported.
(No support for travel fees.)

Eligibility
Mainly for graduate students and postdoc fellows
(Max. 25 participants in person)

Venue
ANA Crowne Plaza Resort Appi Kogen

Application submission deadline
8 December, 2024

Website
<https://ics.sgk.iwate-u.ac.jp/>

Contact
ics2025@iwate-u.ac.jp

Lecturers:
Benjamin Fuks (Paris, France)
Koichi Hamaguchi (U. Tokyo, Japan)
Daniel Jeans (KEK, Japan)
Olivier Mittlender (Louvain, Belgium)
Tineke Vries (Uppsala, Sweden) etc.

Organizers:
Koichi Hamaguchi (KEK)
Daniel Jeans (KEK)
Fabio Maltoni (UCLouvain / Belgium)
Kentarou Mawatari (Chair, Iwate U.)
Shinya Narita (Iwate U.)
Kei Yamamoto (Iwate U.)
Tajuan Zhang (Iwate U.)