

Обзор Физики на Большом Адронном Коллайдере



Татьяна Берже-Гринева
(LAPP Аннесу, Франция)

Программа для украинских
учителей в ЦЕРНе

18 ноября 2011

Большой Адронный Коллайдер

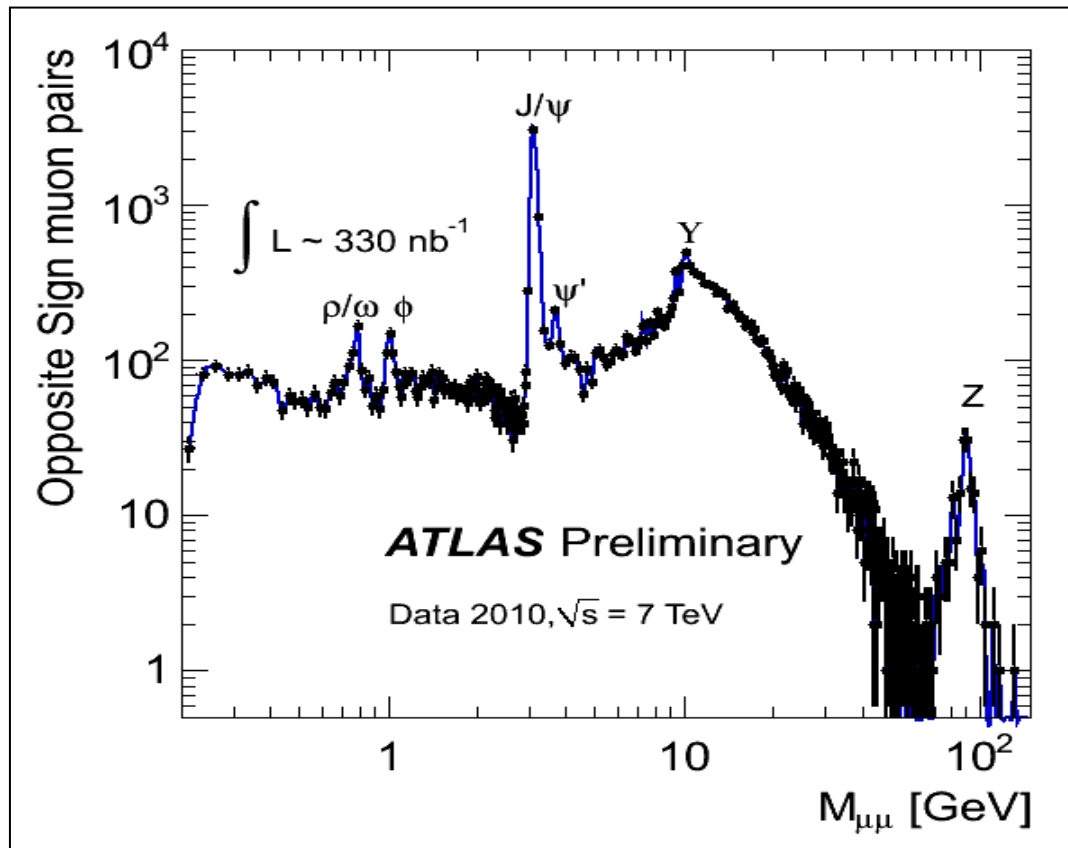


$7\text{TэВ} \rightarrow \leftarrow 7\text{TэВ}$
 $3.5\text{TэВ } p \quad p \quad 3.5\text{TэВ}$

-
- Этот доклад сконцентрирован на физике экспериментов «общего» назначения: ATLAS & CMS
 - Физика экспериментов LHCb и ALICE была рассмотрена в специальных докладах В. Балагуры и Г. Зиновьева

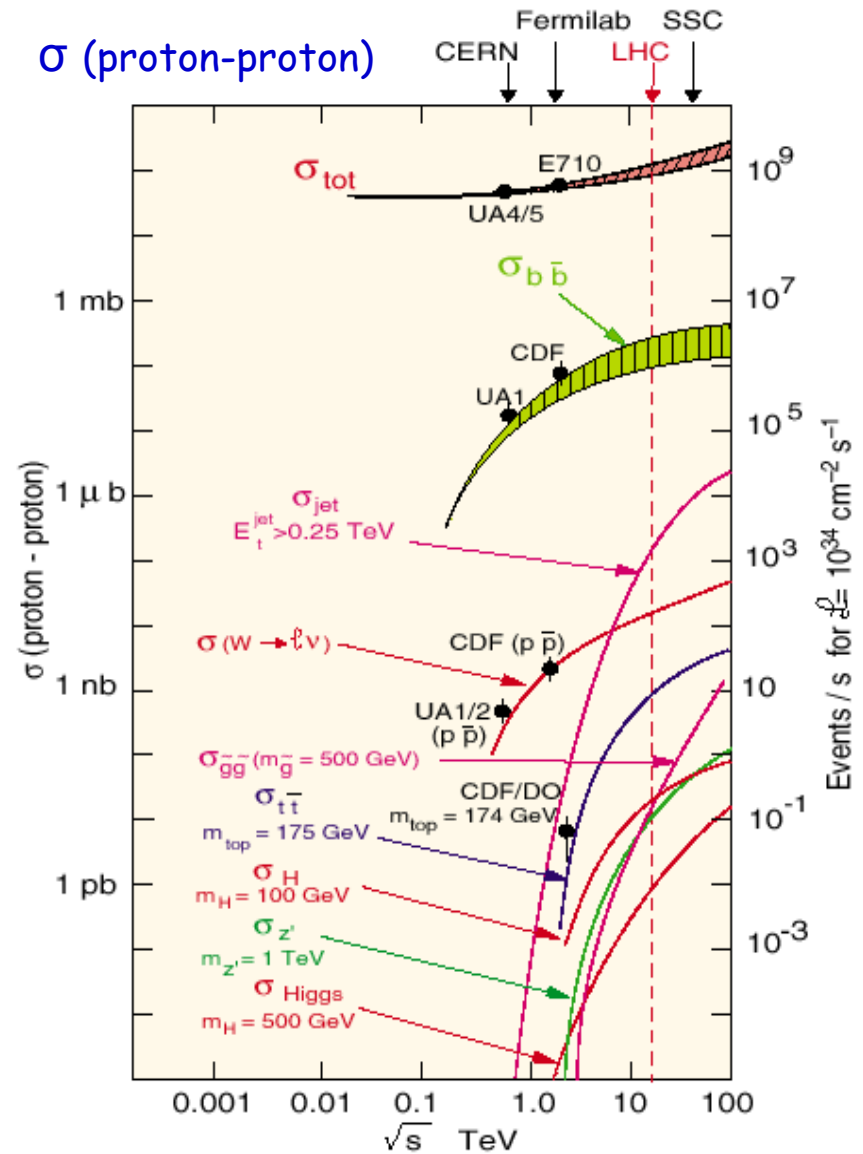
Определения из Википедии (1)

- **Резонанс** — [элементарная частица](#) с коротким временем жизни. Определяются как пик в распределении энергии вторичных частиц.



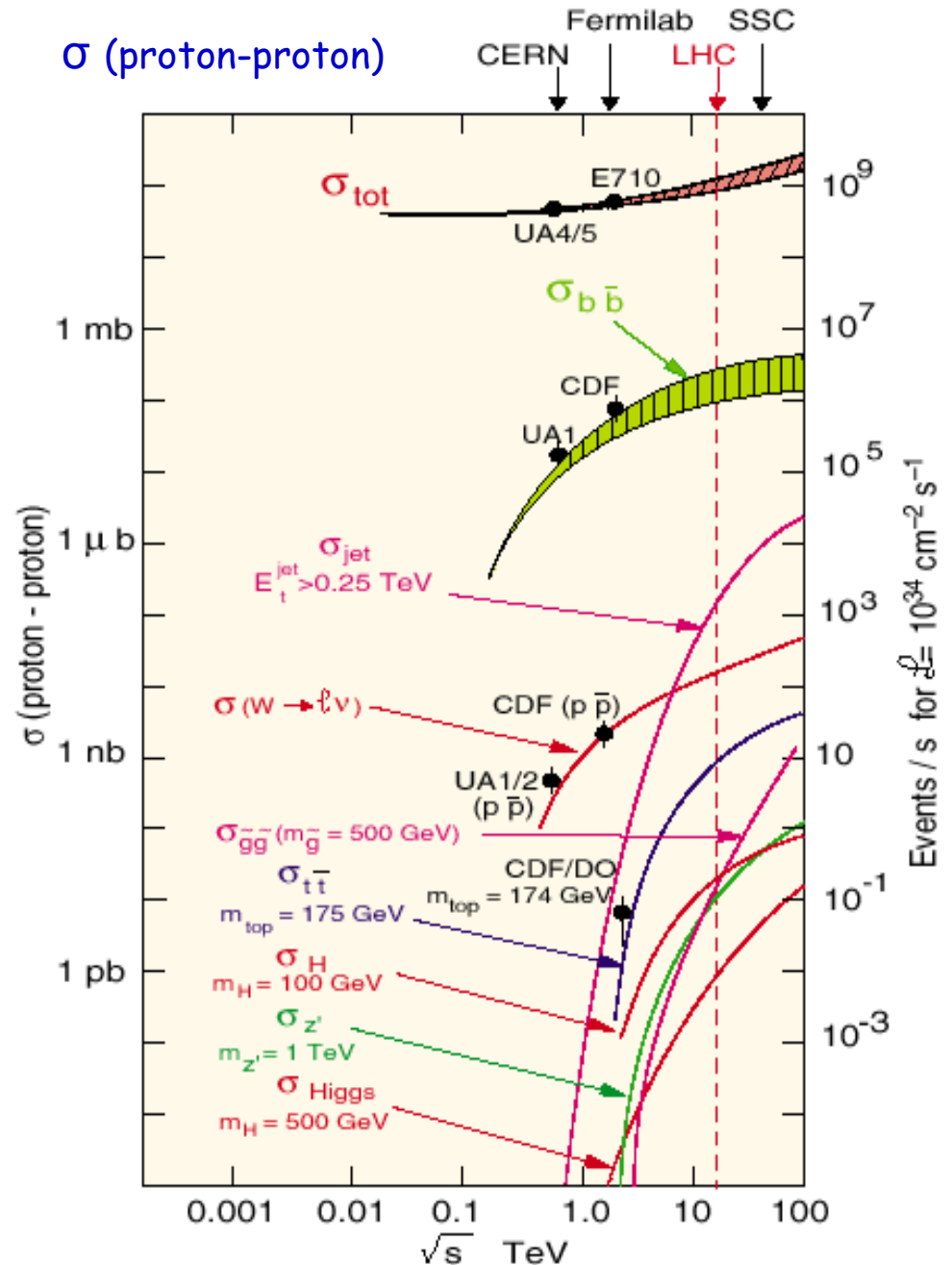
Определения из Википедии (2)

- **Эффективное поперечное сечение (σ)** — это физическая величина, характеризующая вероятность перехода системы двух взаимодействующих частиц в определённое конечное состояние.



План доклада

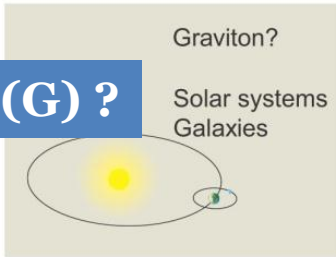
- Проверка Стандартной Модели при новых энергиях
- Поиск Бозона Хиггса
- Поиск новых частиц и их взаимодействий



Взаимодействия в природе

Гравитационное

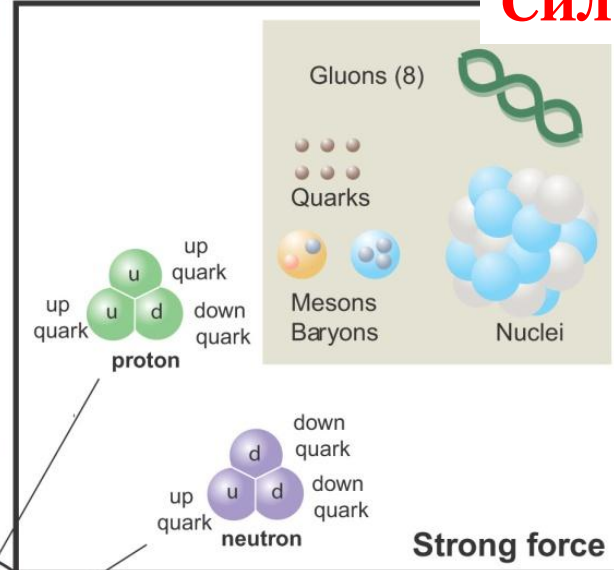
Гравитон (G) ?



Gravity Force



Сильное

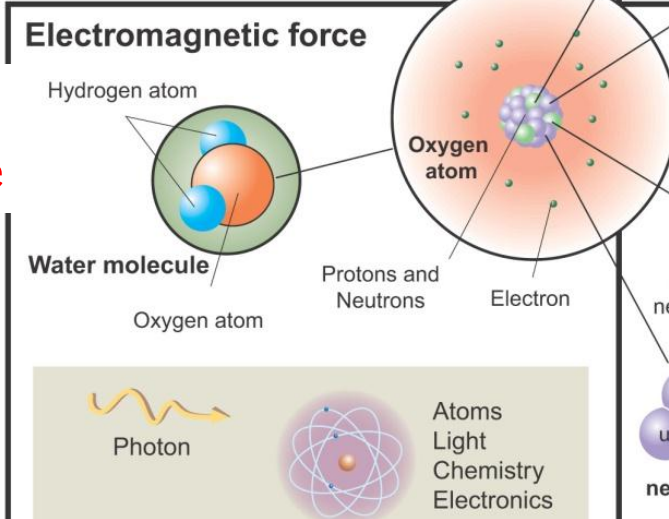


Strong force

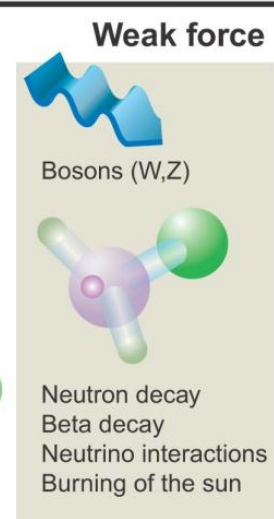
**8
Глюон (g)**

Электро-магнитное

**ФОТОН
 γ**



Electromagnetic force



Weak force

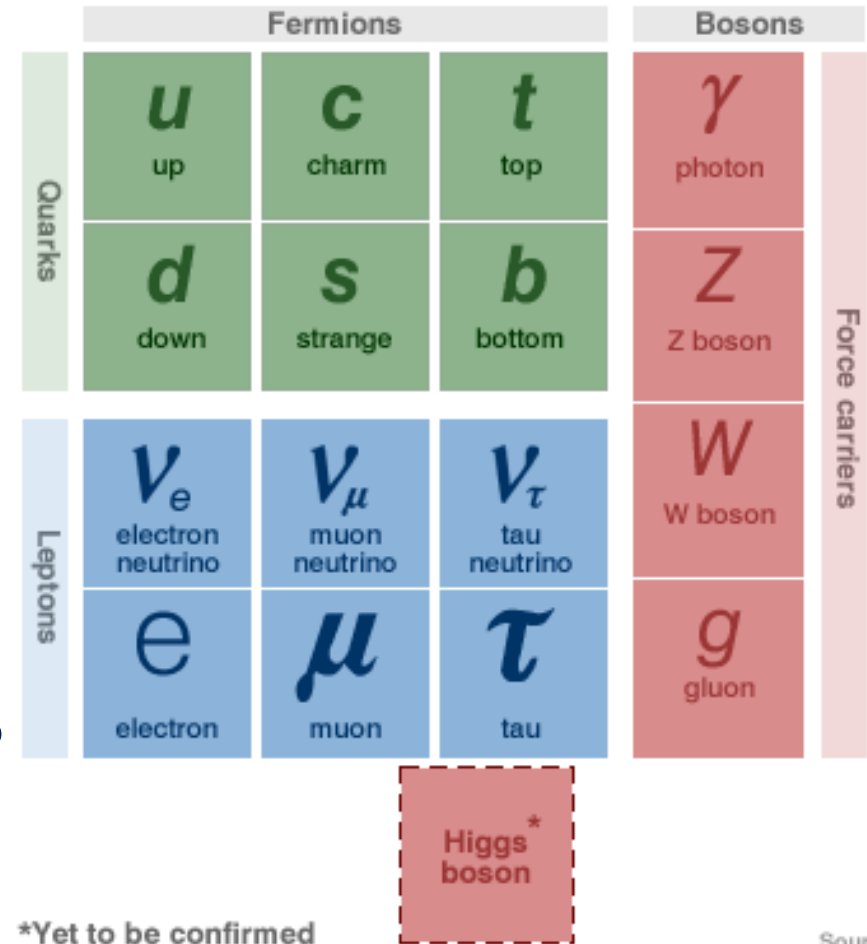
Слабое

**Бозоны
 W^{\pm}, Z**

Стандартная Модель описывает сильные, слабые и электро-магнитные взаимодействия

Стандартная Модель (СМ)

- СМ хорошо описывает все явления наблюдаемые до настоящего времени
- Но в этой модели 20+ свободных параметров происхождение которых не известно
- Непонятно почему три поколения кварков и лептонов? Элементарны ли они?
- Происхождение масс частиц и их иерархия?
- Проблема конфаймента – несуществования свободных кварков

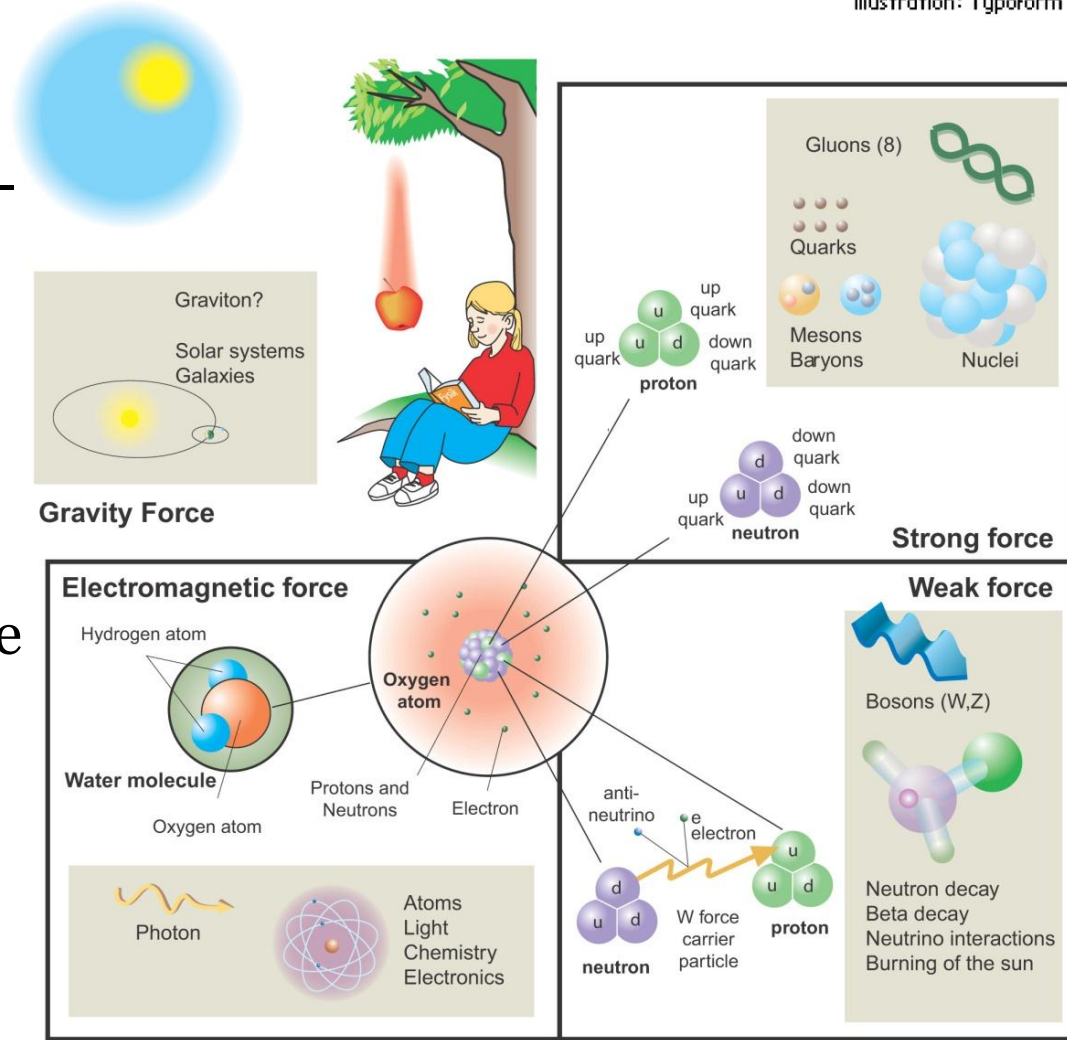


Где бозон Хиггса?

Стандартная Модель (СМ)

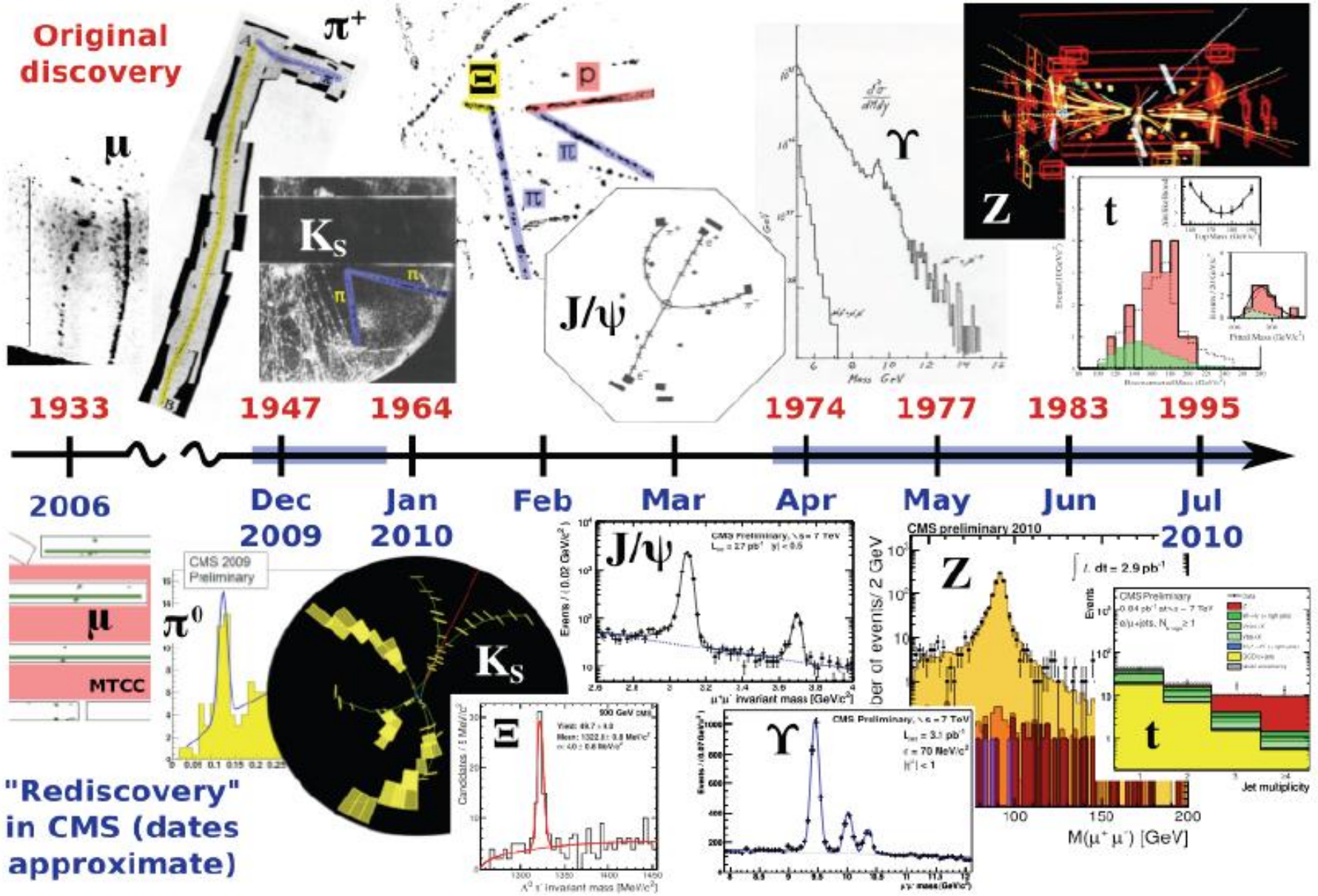
Illustration: Typoform

- Природа CP нарушения
- Почему нарушена симметрия между электромагнитными и слабым взаимодействиями
- Сильные и электро-слабые взаимодействия не объединены
- Проблема иерархии: слабое взаимодействие в 10^{32} раз сильнее гравитационного. Почему?
- Как включить гравитацию в Стандартную Модель...



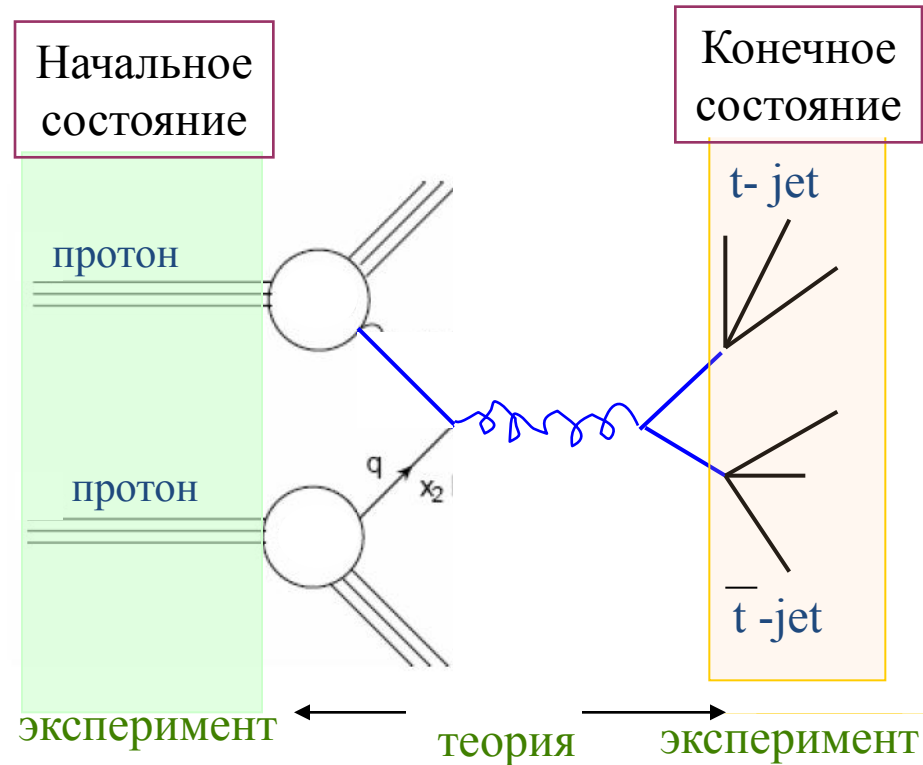
На эти вопросы пытаются ответить эксперименты на БАК

Переоткрытие Стандартной Модели



Базовые процессы СМ

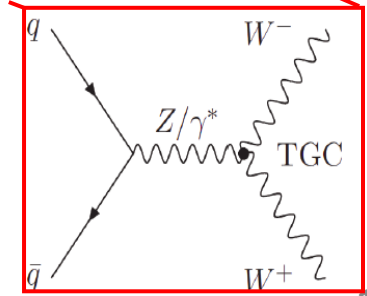
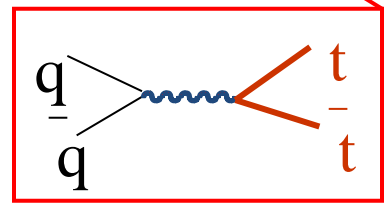
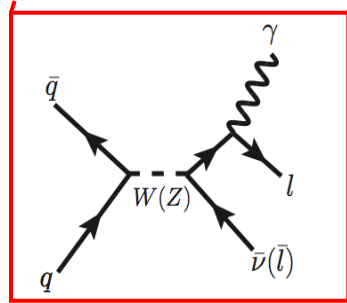
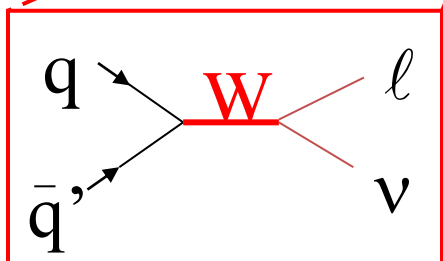
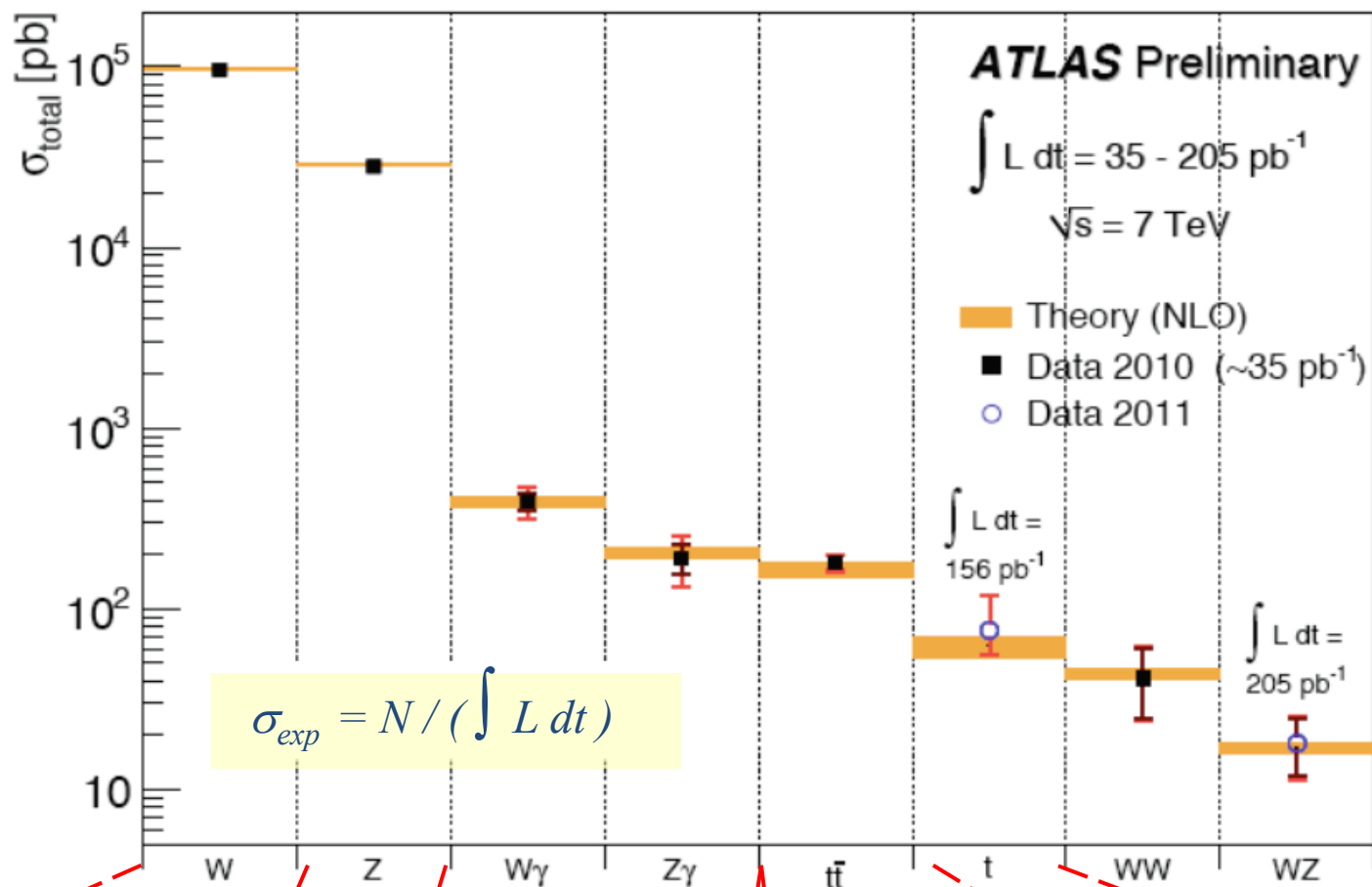
1. Изучение струй
2. Измерения свойств $W, Z/\gamma$
3. Изучение топ-кварка



Эти процессы являются фоном при поиске бозона Хиггса и сигналов «Новых явлений».
Они более часты и имеют похожие характеристики.

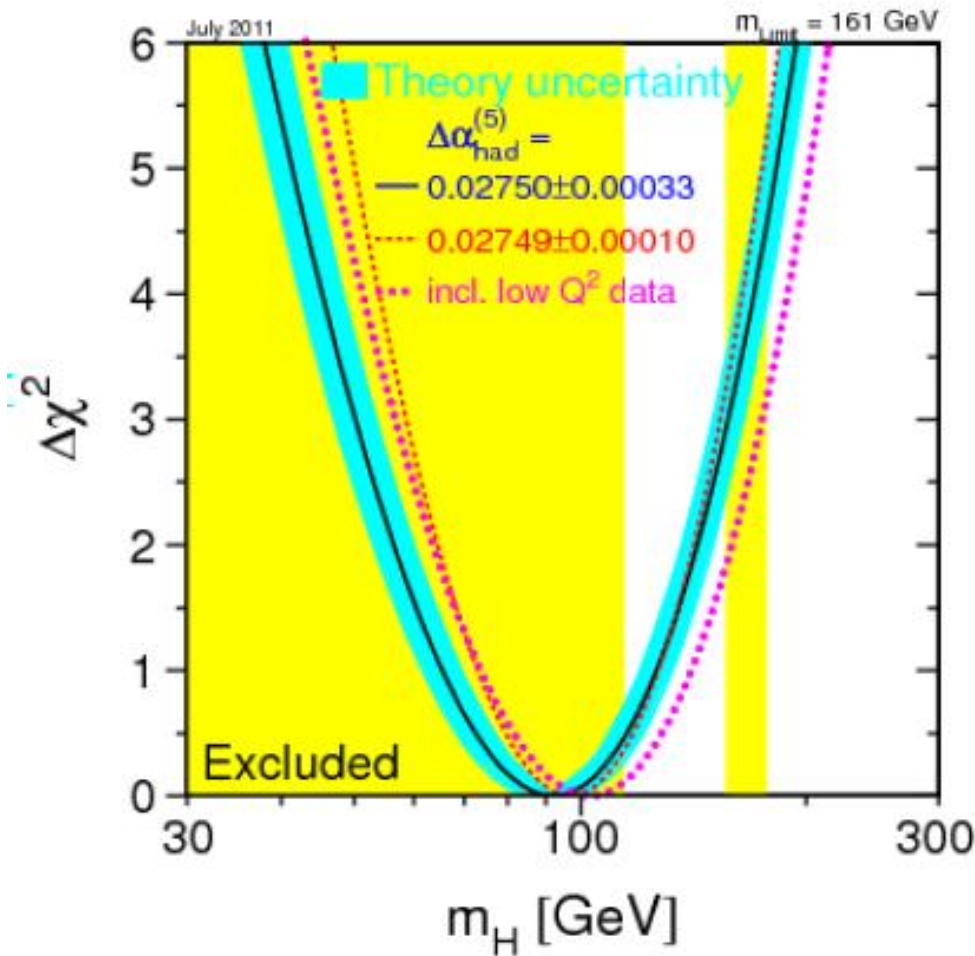
⇒ Очень важно их точное измерение

Измерения процессов СМ



Где бозон Хиггса?

Экспериментальные данные подтверждают теоретические предсказания Стандартной Модели.



	Fermions			Bosons	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon	Force carriers
	d down	s strange	b bottom	Z Z boson	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
	e electron	μ muon	τ tau	g gluon	
				H Higgs boson*	

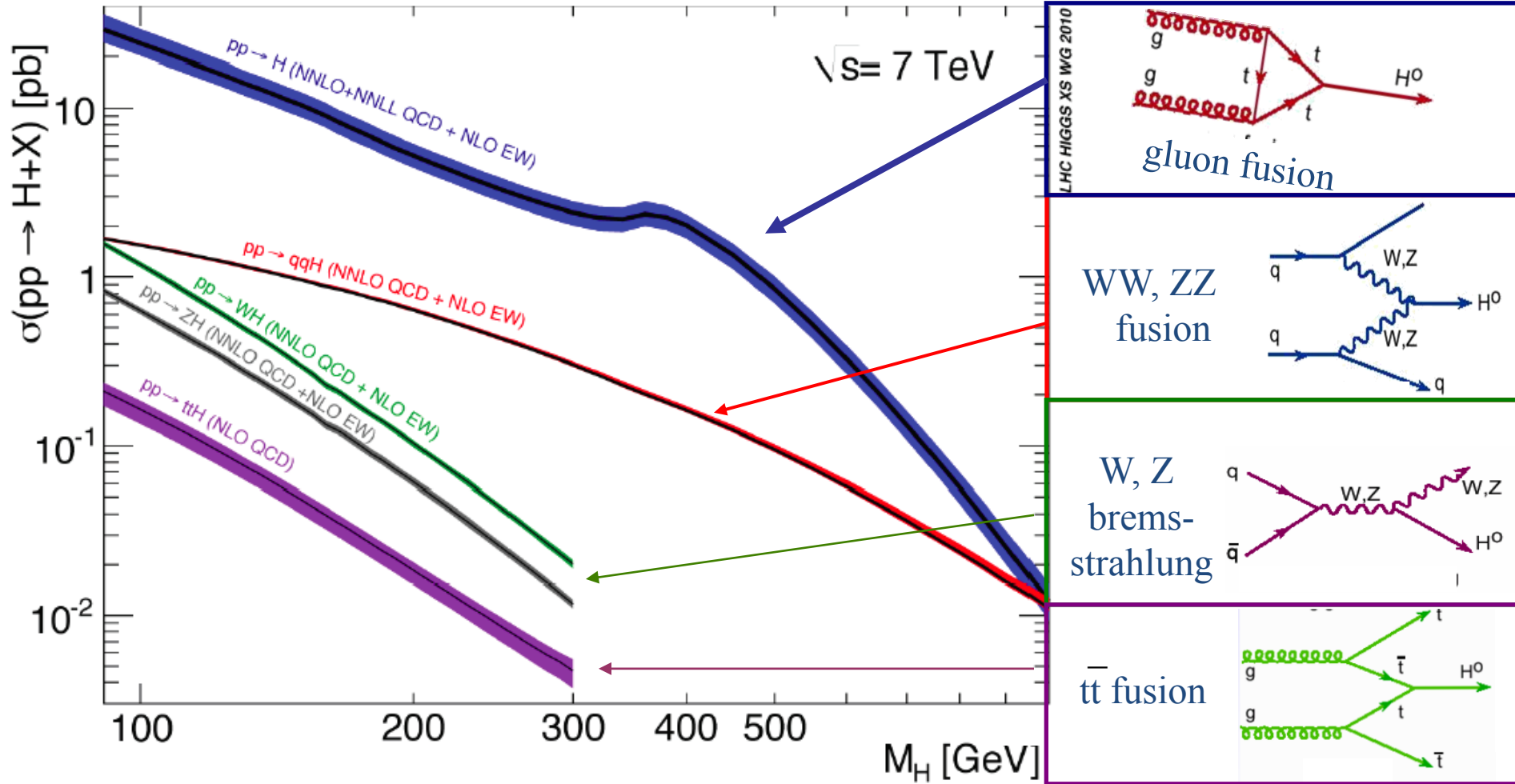
*Yet to be confirmed

Но Хиггс бозон еще не найден.

«Как частицы получают массу»



Как производится бозон Хиггса?

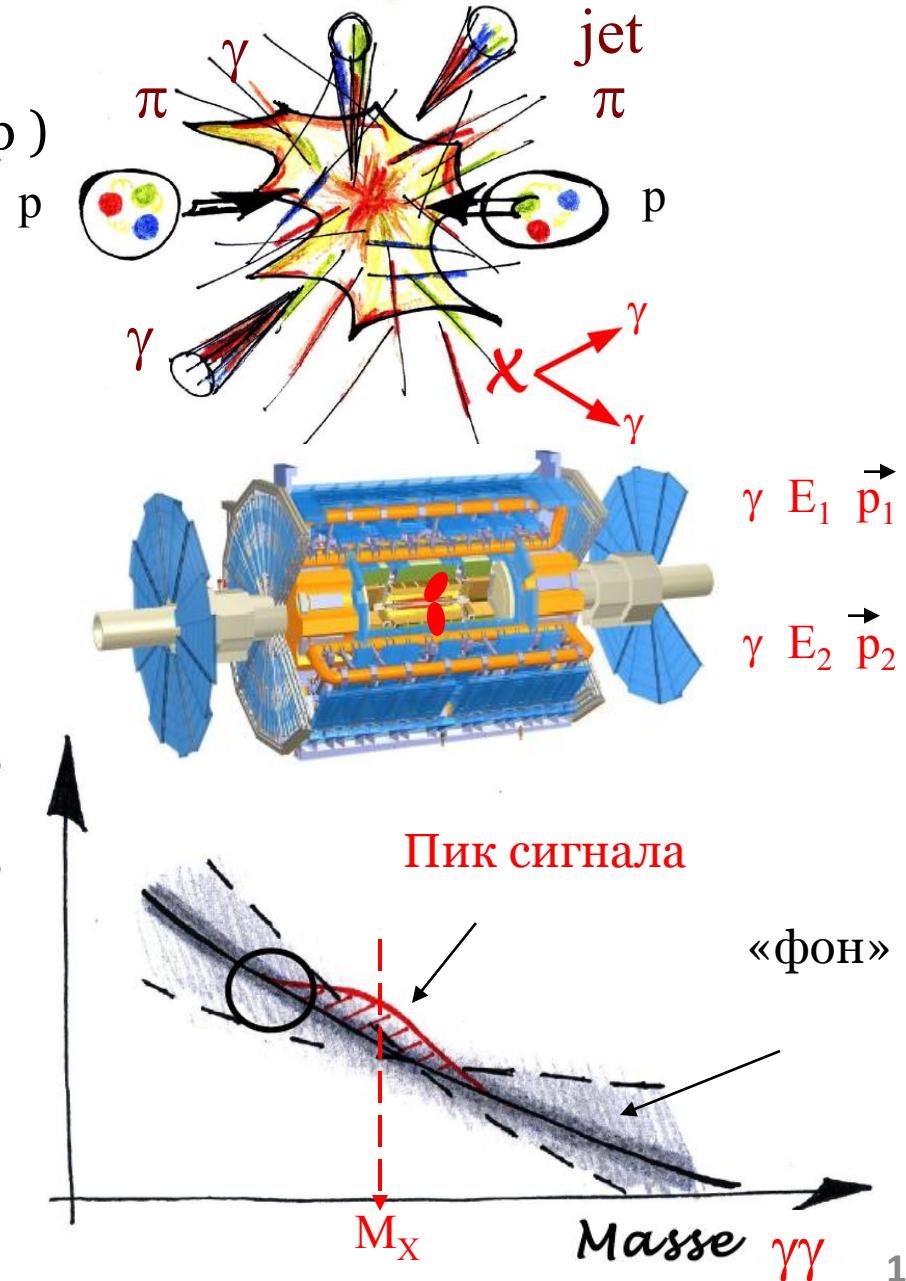


Главный канал: глюонный синтез.

Как найти бозон Хиггса?

- Произвести в столкновениях (напр. pp)
⇒ Среди других известных частиц может быть X
- Идентифицировать и измерить свойства частиц, особенно тех, что получаются при распадах X
- Чаще всего, бозон Хиггса проявится как пик в распределении инвариантной массы ($m_{\gamma\gamma}$).

$$M_{\gamma\gamma}^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2$$



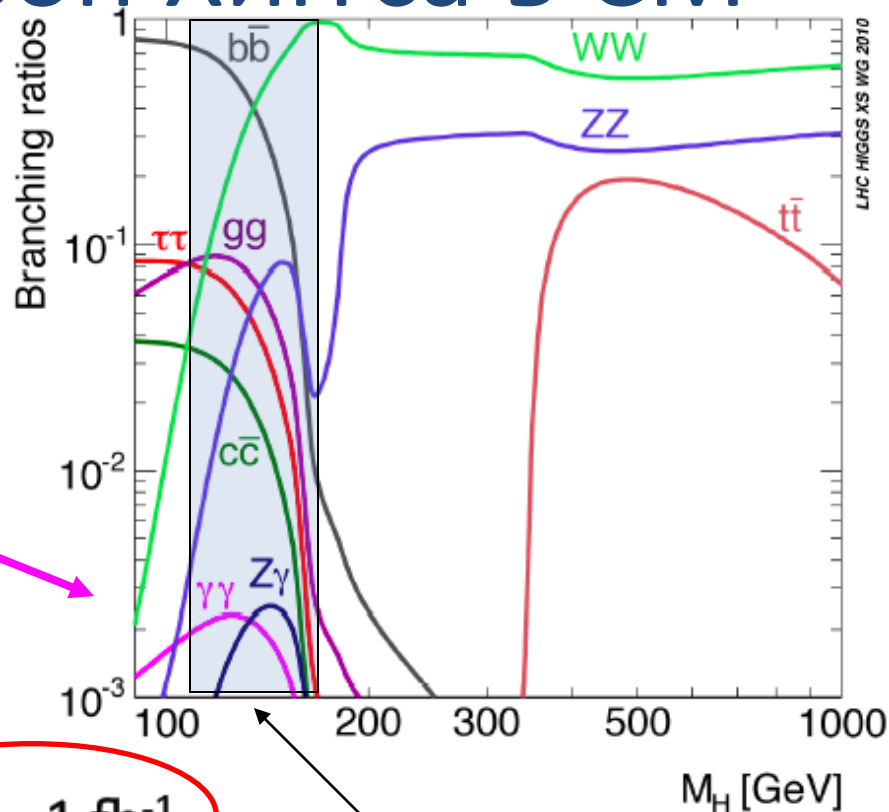
Каналы распада бозон Хиггса в СМ

Очень много каналов распада

Branching Ratio (BR) =
процент распадов
в заданное конечное состояние.

Например:

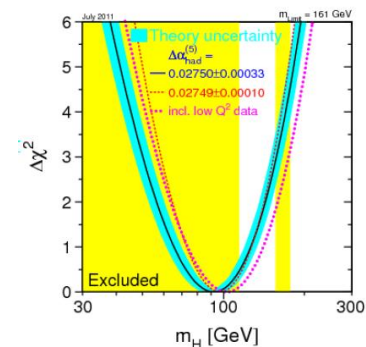
$$\text{Branching ratio } H \rightarrow \gamma\gamma = \frac{N_{H \rightarrow \gamma\gamma}}{N_{H \rightarrow \text{all}}}$$



Events expected to be produced with $L=1 \text{ fb}^{-1}$

$m_H, \text{ GeV}$	$WW \rightarrow l\nu l\nu$	$ZZ \rightarrow 4l$	$\gamma\gamma$
120	127	1.5	43
150	390	4.6	16
300	89	3.8	0.04

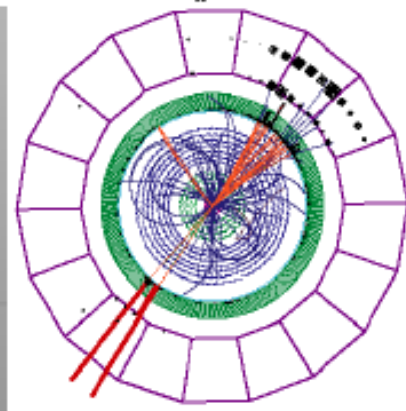
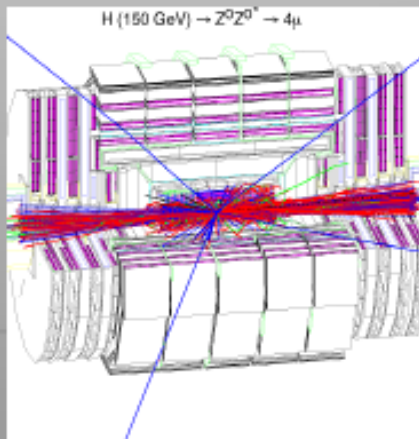
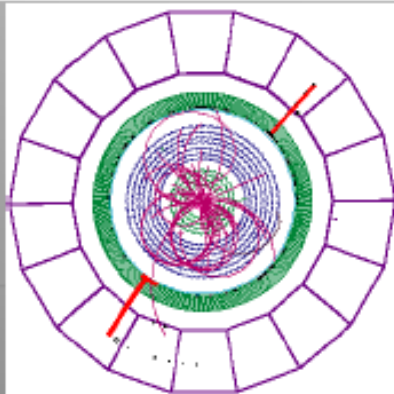
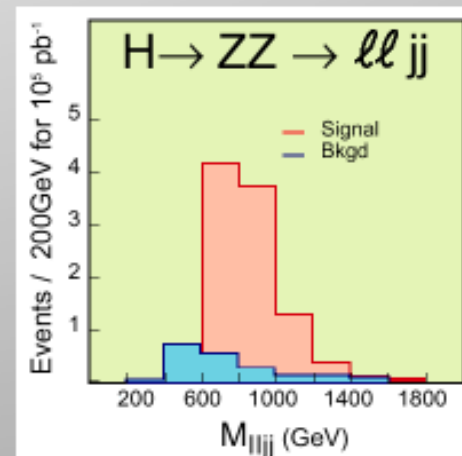
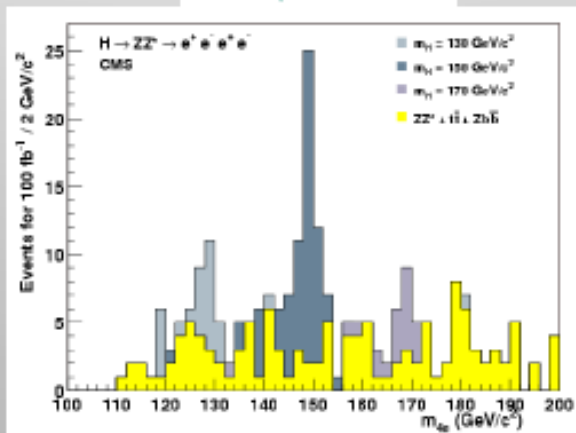
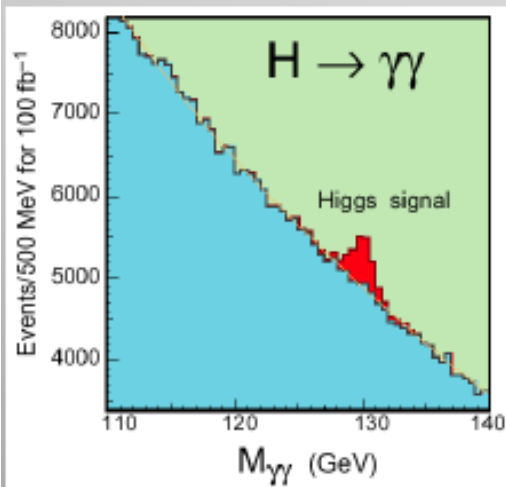
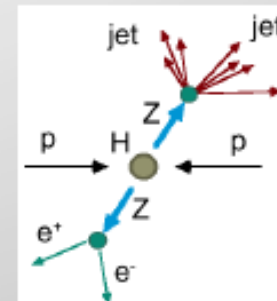
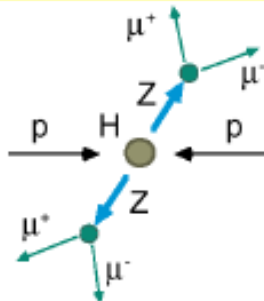
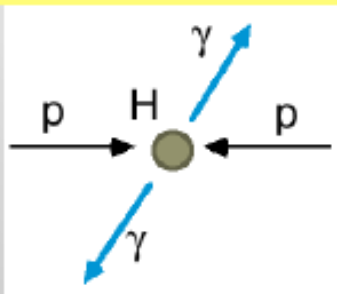
Наиболее вероятный интервал



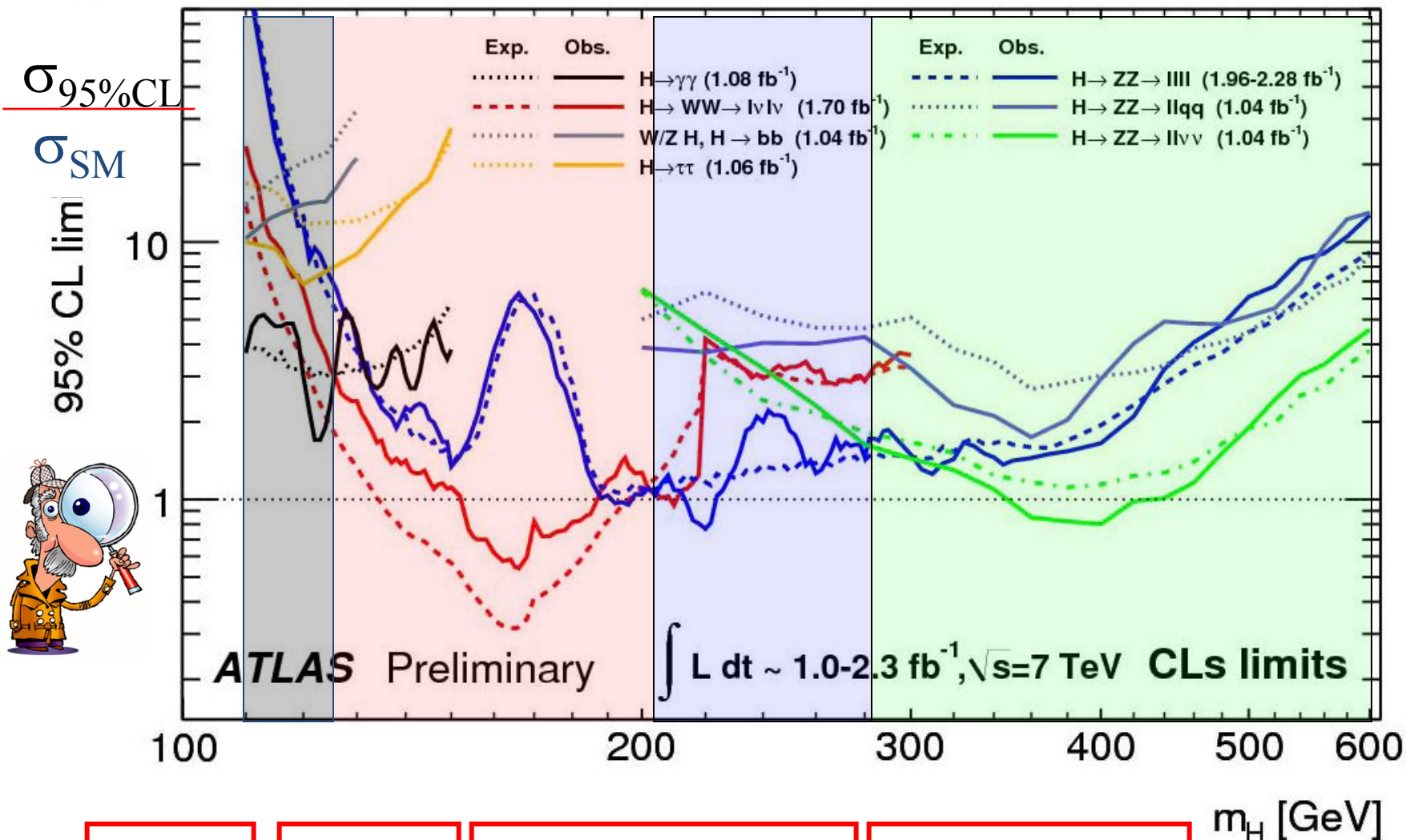
Каналы распада бозон Хиггса в СМ

Low $M_H < 140 \text{ GeV}/c^2$

Medium $130 < M_H < 500 \text{ GeV}/c^2$ High $M_H > \sim 500 \text{ GeV}/c^2$



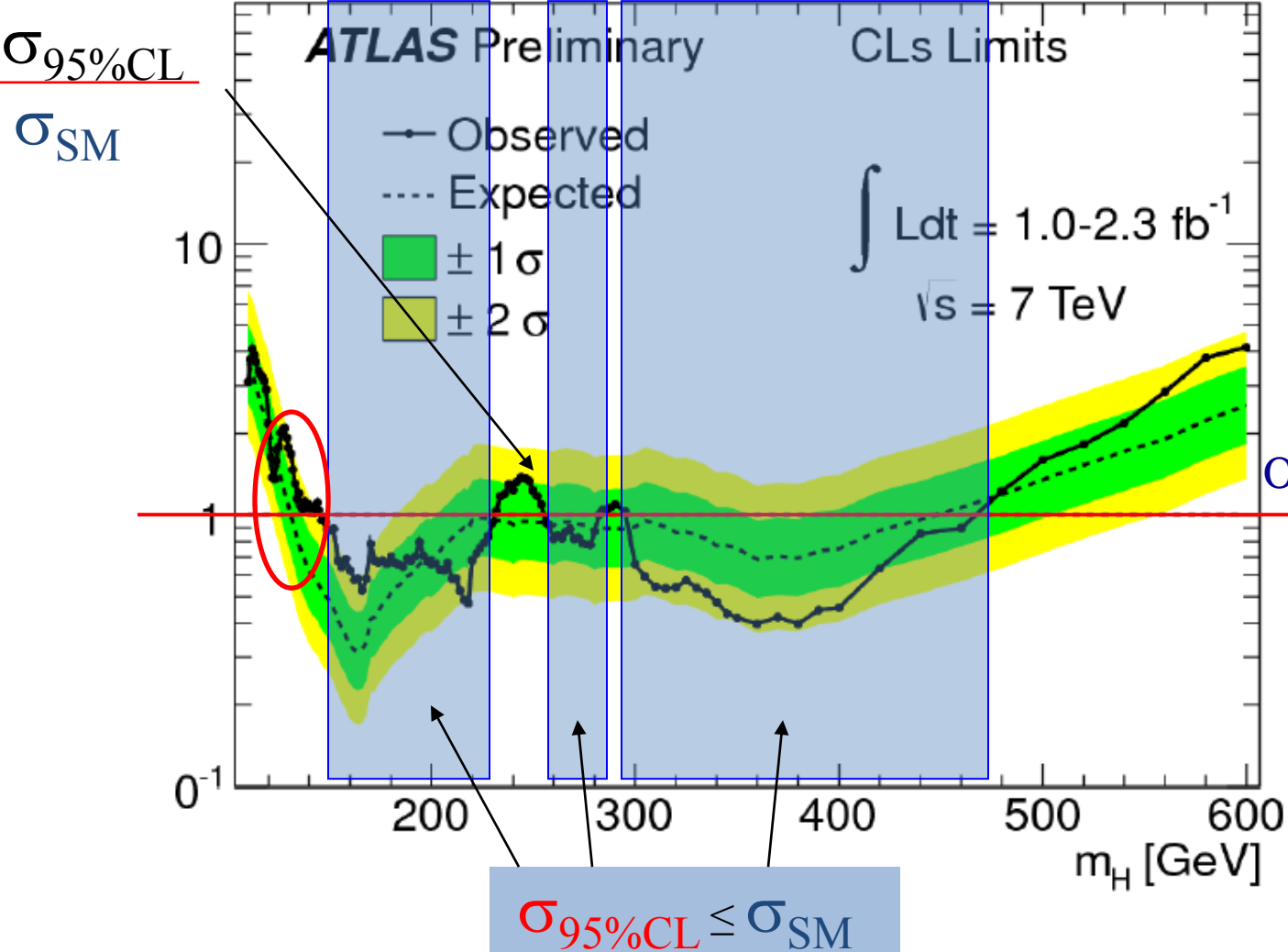
Ограничения на массу СМ Хиггса (ATLAS)



- H \rightarrow $\gamma\gamma$ H \rightarrow $\tau\tau$ H \rightarrow WW H \rightarrow $l\nu bb$ H \rightarrow ZZ \rightarrow $ll bb$
- H \rightarrow WW(*) \rightarrow $l\nu l\nu$ H \rightarrow ZZ(*) \rightarrow $llll$
- H \rightarrow ZZ \rightarrow $ll\nu\nu$, H \rightarrow $ll qq$, H \rightarrow WW \rightarrow $l\nu qq$

Множество каналов распада!

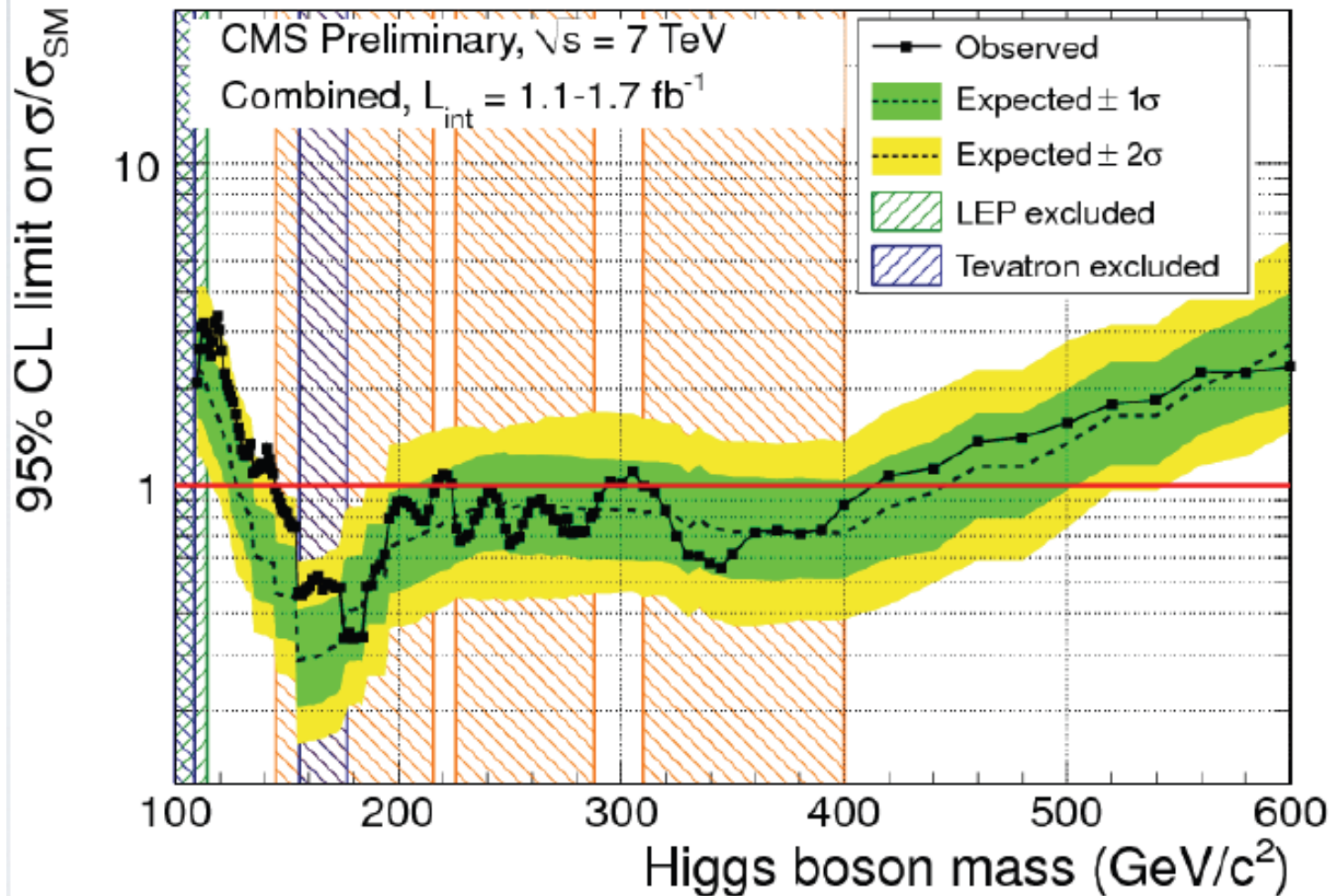
Ограничения на массу СМ Хиггса (ATLAS)



Ограничения на массу
 Бозона Хиггса
 @ 95% C.L.:
 $146 < m_H < 232 \text{ ГэВ}$
 $256 < m_H < 282 \text{ ГэВ}$
 $296 < m_H < 466 \text{ ГэВ}$

Если Хиггс бозон прячется с наших данных, $\sigma_{95\%CL}$ это значение эффективного поперечного сечения при котором вероятность его не заметить $\leq 5\%$ (1 из 20 случаев).

Ограничения на массу СМ Хиггса (CMS)



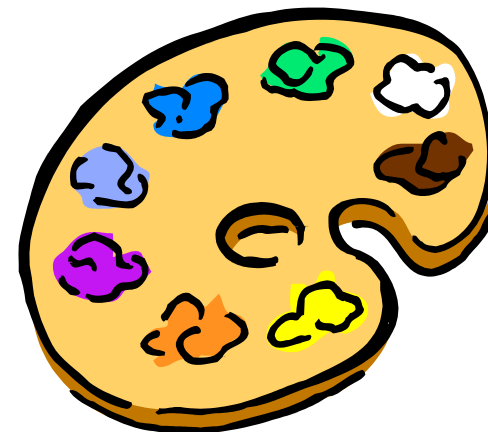
Expected 95% CL exclusion M_H 130 – 440 GeV

Observed 95% CL exclusion M_H 145-216, 226-288, 310-400 GeV

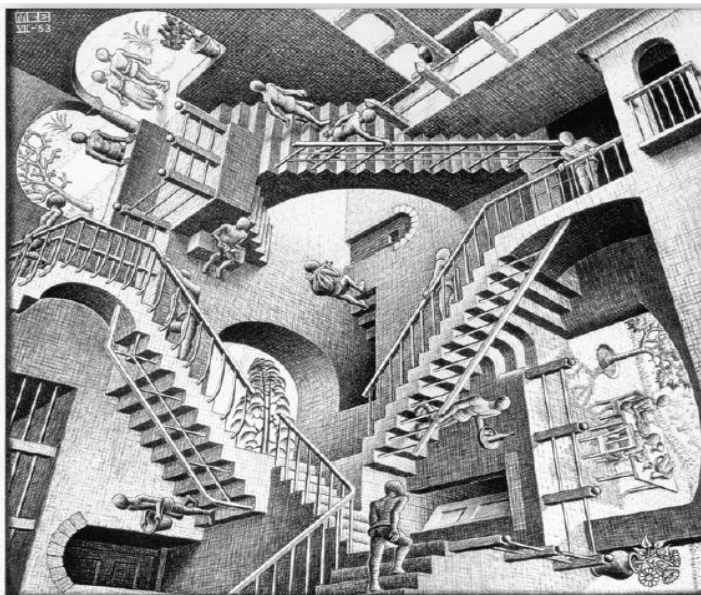
Физика вне Стандартной Модели



Суперсимметрия?

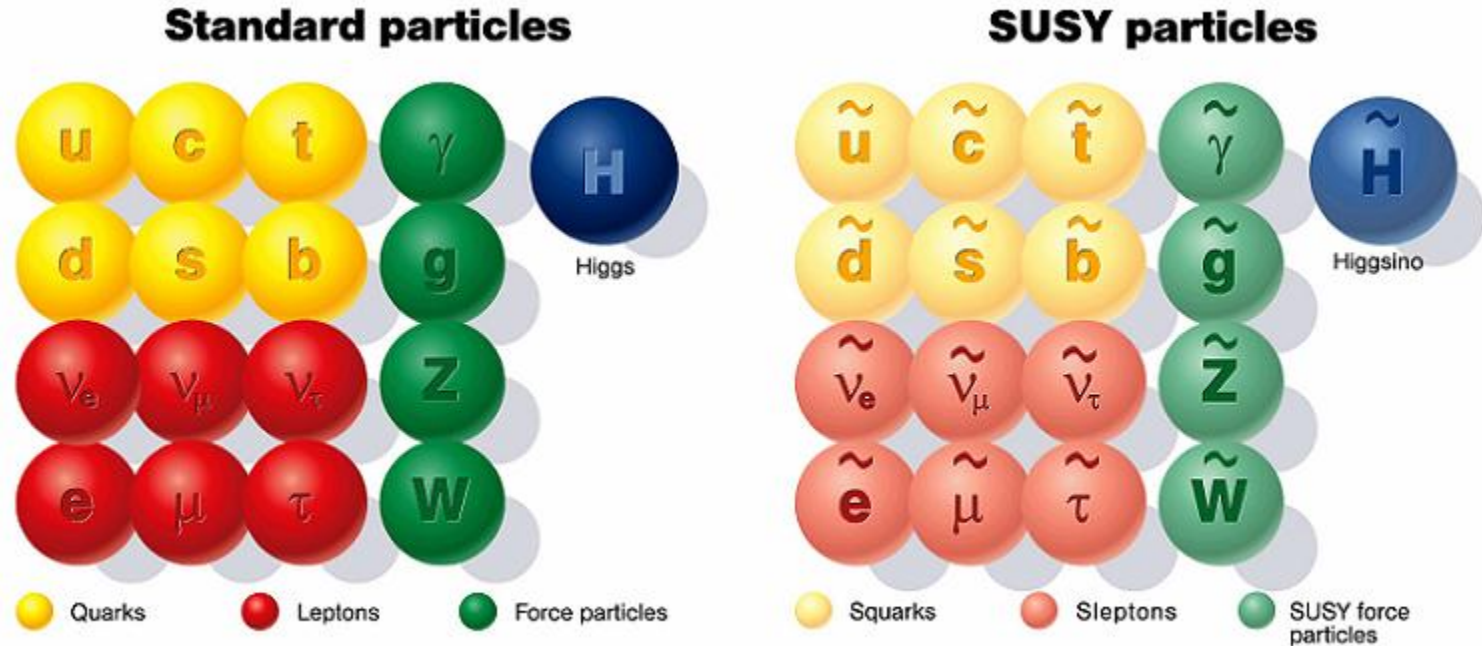


Техницвет ??



Дополнительные измерения???

Суперсимметрия

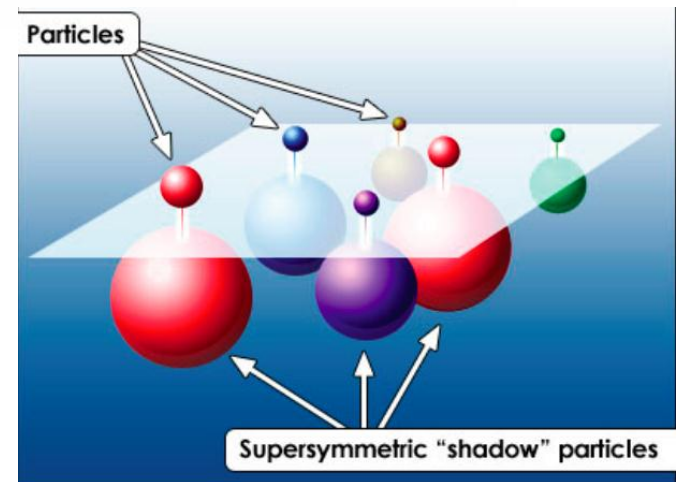


Симметрия между фермионами и бозонами.

У каждой частицы СМ со спином S появляется партнер со спином $S-1/2$.

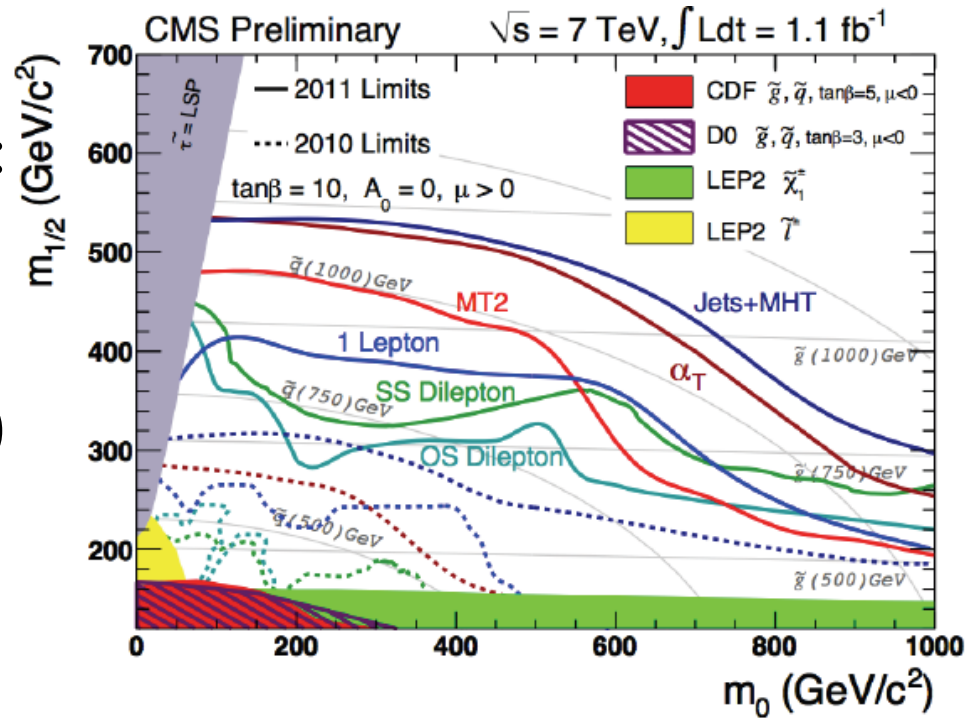
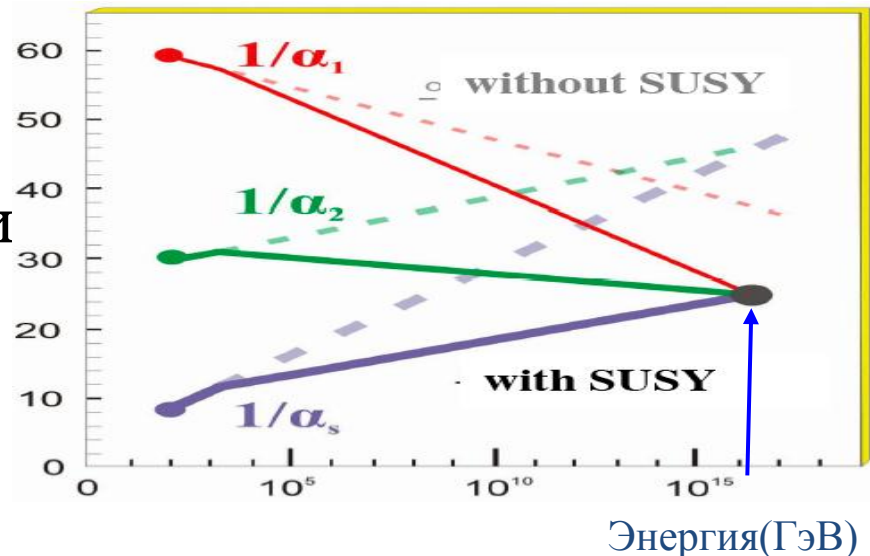
Так как мы не еще видели супер-частиц Эта симметрия должна быть нарушена.

Много новых частиц и новых параметров (120!). ☹

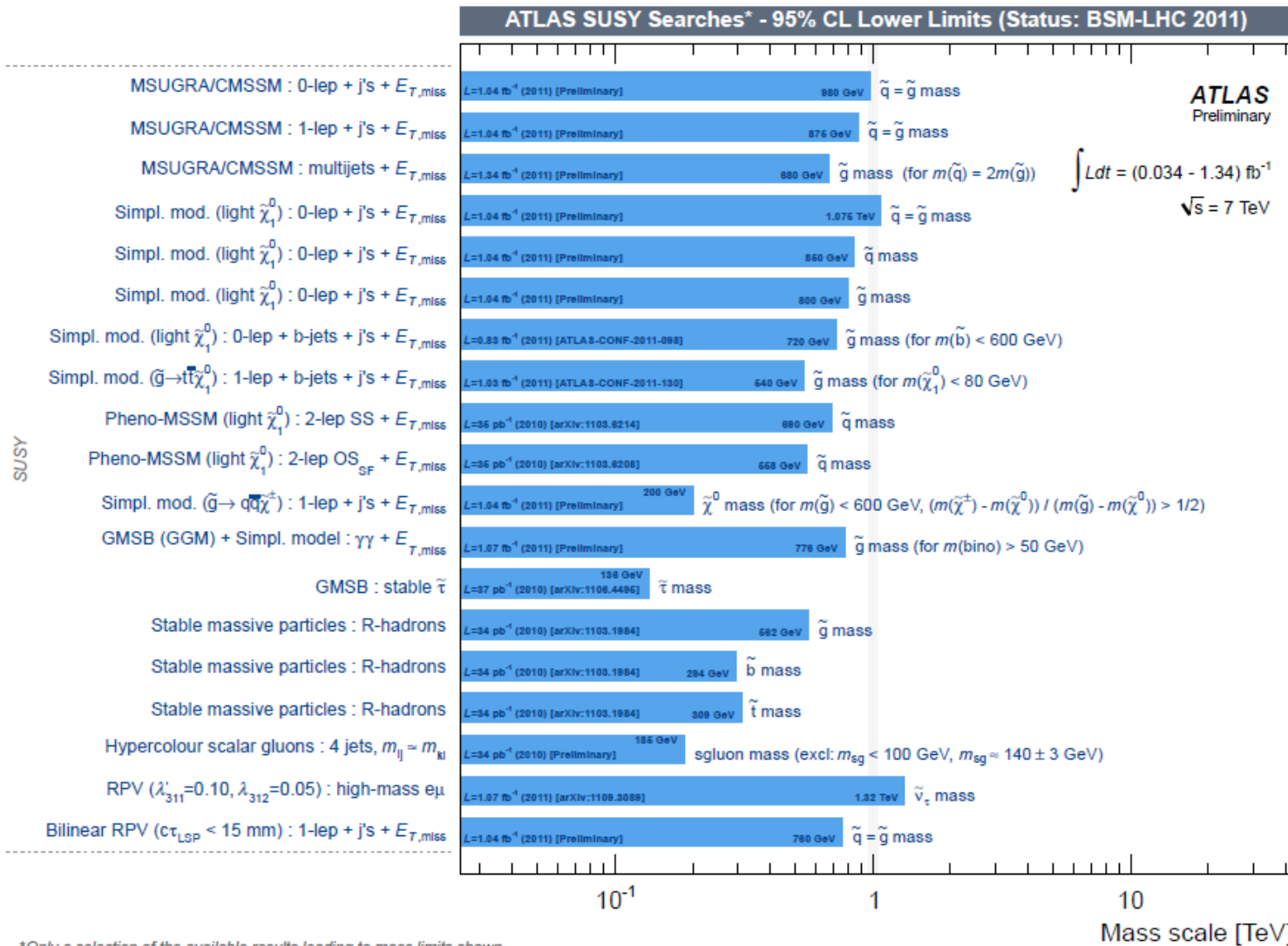


Зачем нужна Суперсимметрия?

- Объединение **электро-магнитной, слабой** и **сильной** констант взаимодействия при одной энергии
- Новая стабильная, нейтральная частица \Rightarrow идеальный кандидат для темной материи
- Простейшее обобщение СМ:
 Минимальная
 Суперсимметричная
 Стандартная Модель (MSSM)



Поиск Суперсимметрии



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

Ограничение на массу скварков и глюино более 1 ТэВ.

Поиск продолжается.

Дополнительные измерения

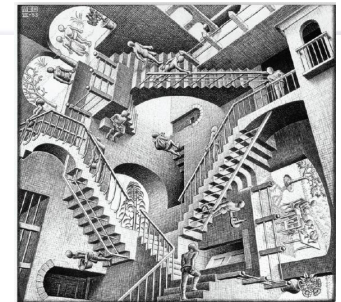
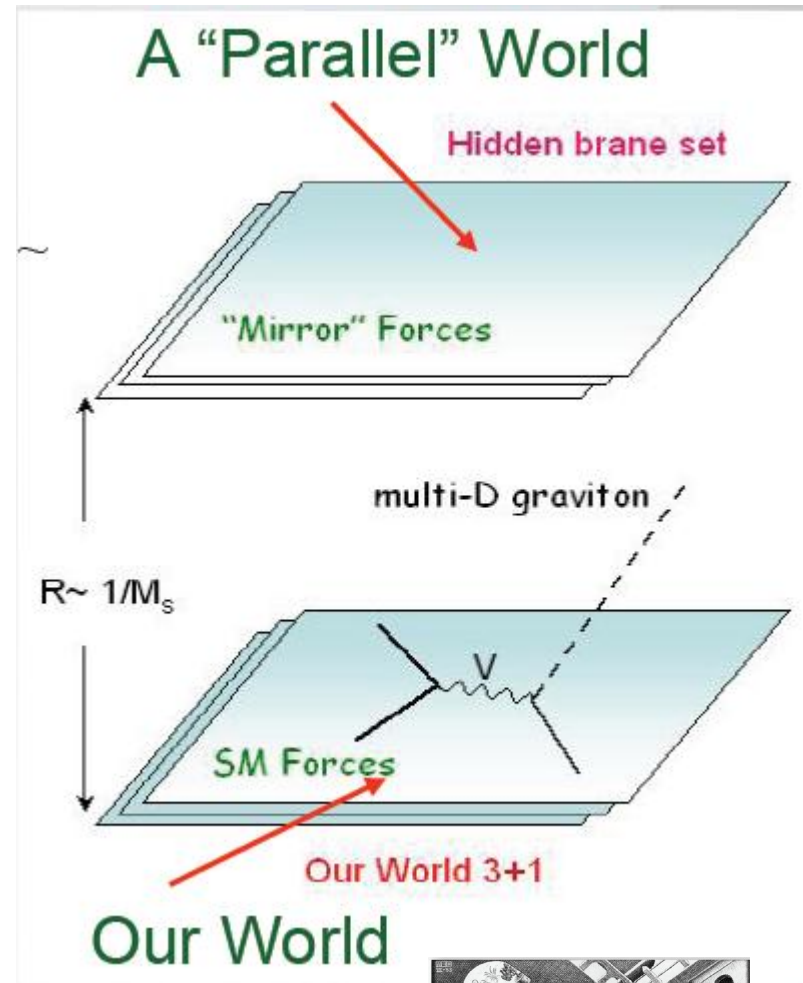
- Суперсимметрия не отвечает на все вопросы
 - Почему слабое взаимодействие в 10^{32} раз сильнее гравитационного
- Если существуют >1 новых измерения размером $< \text{мм}$, гравитационные эффекты могут быть в пределах энергий БАК
 - Гравитонные резонансы
 - Производство мини черных дыр
 - ...

новая масса Планка: M_D

новая длина Планка: L_D $L_D = \left(\frac{G_D \hbar}{c^3} \right)^{1/(n+2)}$

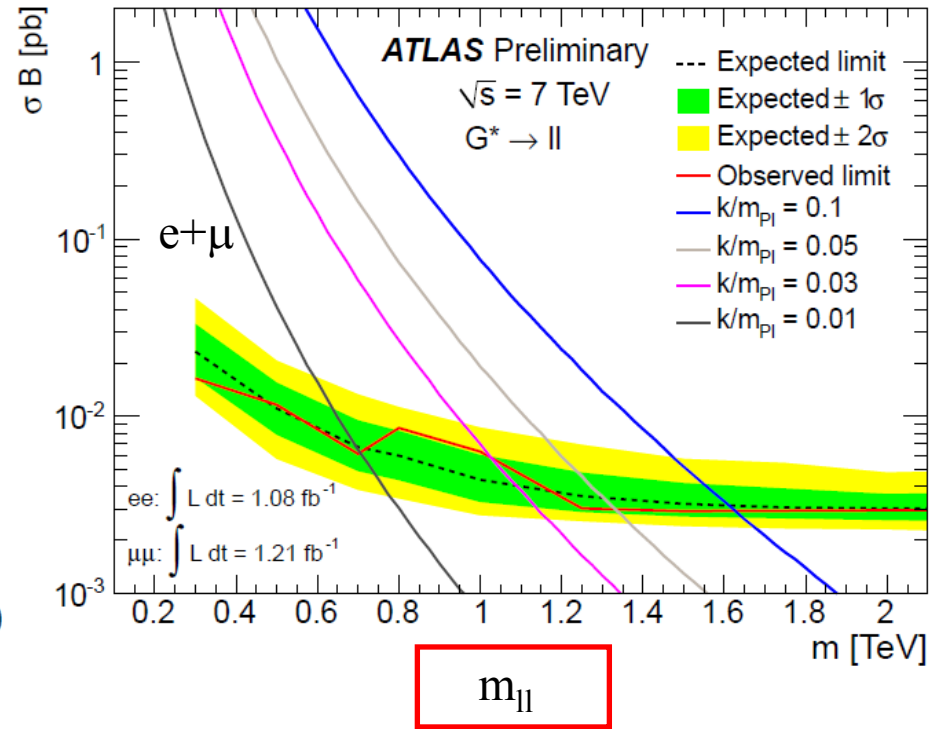
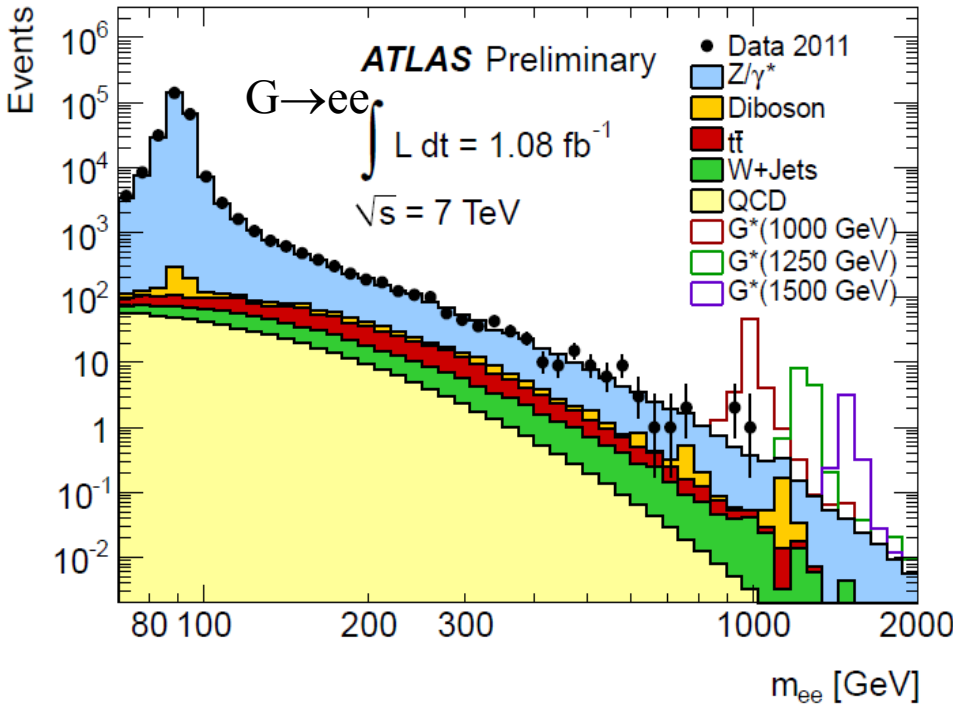
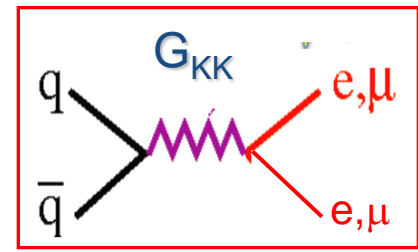
новая гравитационная

константа Ньютона: $G_D = \frac{(2\pi)^{n-1} \hbar^{n+1}}{4c^{n-1} M_D^{n+2}}$



Поиск гравитона

Электроны и мюоны очень высоких энергий!
 Данные согласуются с предсказаниями СМ. ☹



Coupling(k/M_{Pl})	0.01	0.03	0.05	0.1
UL@95%CL(TeV)	0.70	1.03	1.33	1.63

ATLAS Searches* - 95% CL Lower Limits (Lepton-Photon 2011)

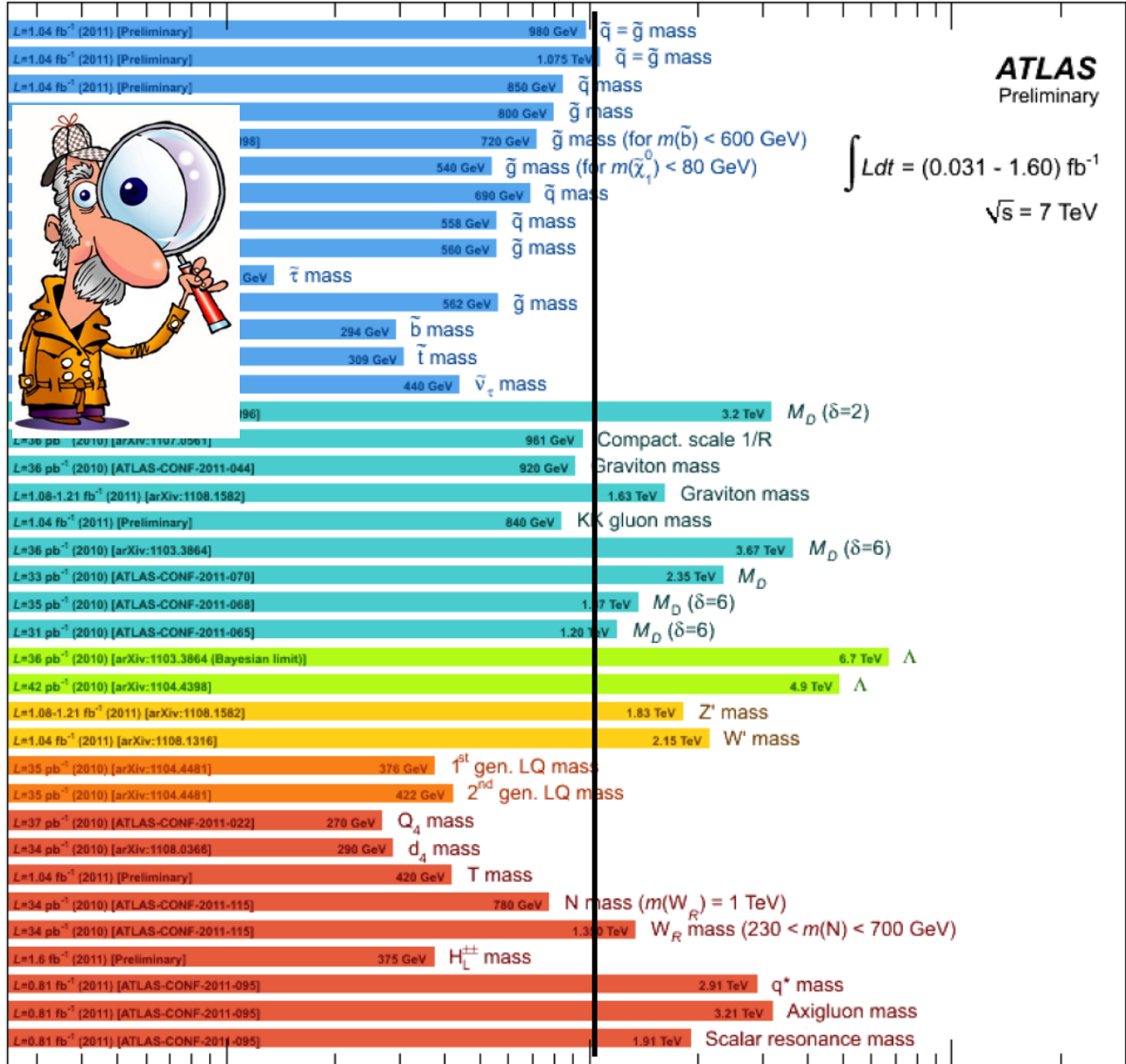
ATLAS
Preliminary

SUSY

Extra dimensions

LQ Z' / W' Ct. I.

Other



$$\int L dt = (0.031 - 1.60) \text{ fb}^{-1}$$

$$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$$

10⁻¹

1

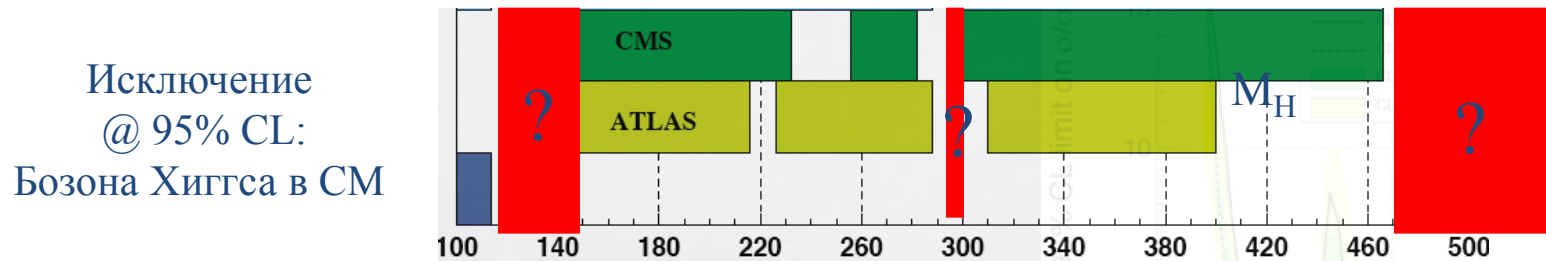
10

Mass scale [TeV]

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

Заключение

- Этот год прошел удачно для БАК и всех экспериментов
 - Собрано 5 фб^{-1} данных pp столкновений (до 30.10.2011)
 - Сейчас собираются данные с тяжелыми ионами
 - Сделано множество измерений
- Хиггс бозон еще не найден, но область его существования значительно ограничена:



- Его наблюдение может быть не за горами...
- Ограничения на многие модели «Новых явлений» выше 1ТэВ! Но поиск продолжается!

Перспективы

- Сбор данных предполагается до конца 2012
 - ATLAS & CMS по $5\text{fb}^{-1} = 10\text{fb}^{-1}$

SM Higgs Search Prospects (Mass in GeV)			
ATLAS + CMS $\approx 2 \times \text{CMS}$	95% CL exclusion	3σ sensitivity	5σ sensitivity
1fb^{-1}	120 - 530	135 - 475	152 - 175
2fb^{-1}	114 - 585	120 - 545	140 - 200
5fb^{-1}	114 - 600	114 - 600	128 - 482
10fb^{-1}	114 - 600	114 - 600	117 - 535

- Это будет решающий год для бозона Хиггса
- Длинный ремонт БАК в 2013
 - Энергия должна возрасти в 2 раза до номинальной!

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Благодарности

- В этом докладе использованы материалы лекций:
 - В. Ким CERN Russian Teachers programme
<https://indico.cern.ch/getFile.py/access?contribId=30&resId=0&materialId=slides&confId=158108>
 - L. DiCiaccio - ENS Cachan - 8 novembre 2011
- Результаты ATLAS & CMS
 - <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic>
 - <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/PhysicsResults>