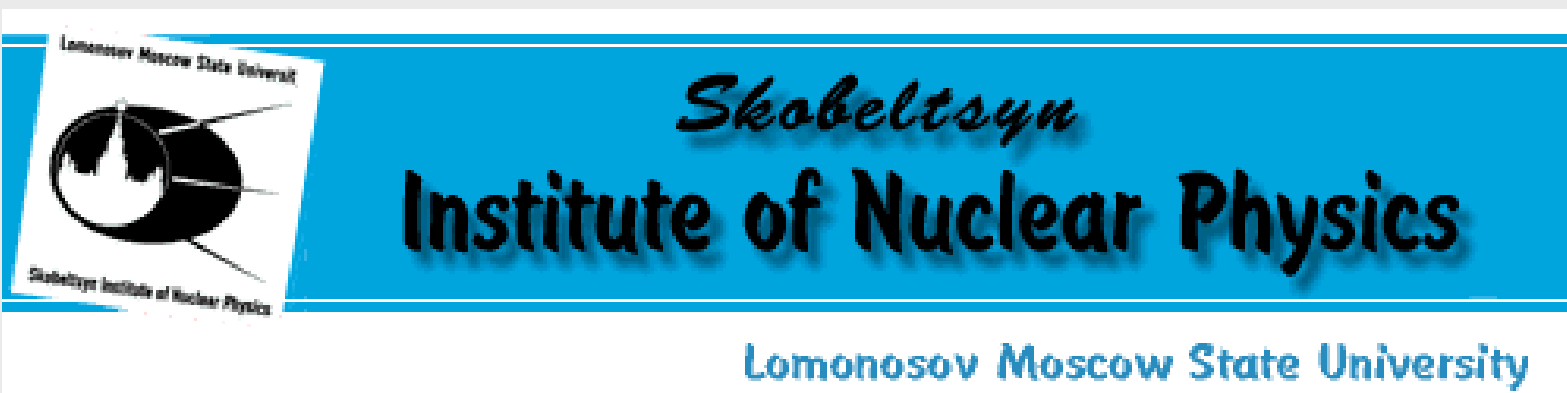


Адронная физика на LHC (поверхностный обзор дилетанта)

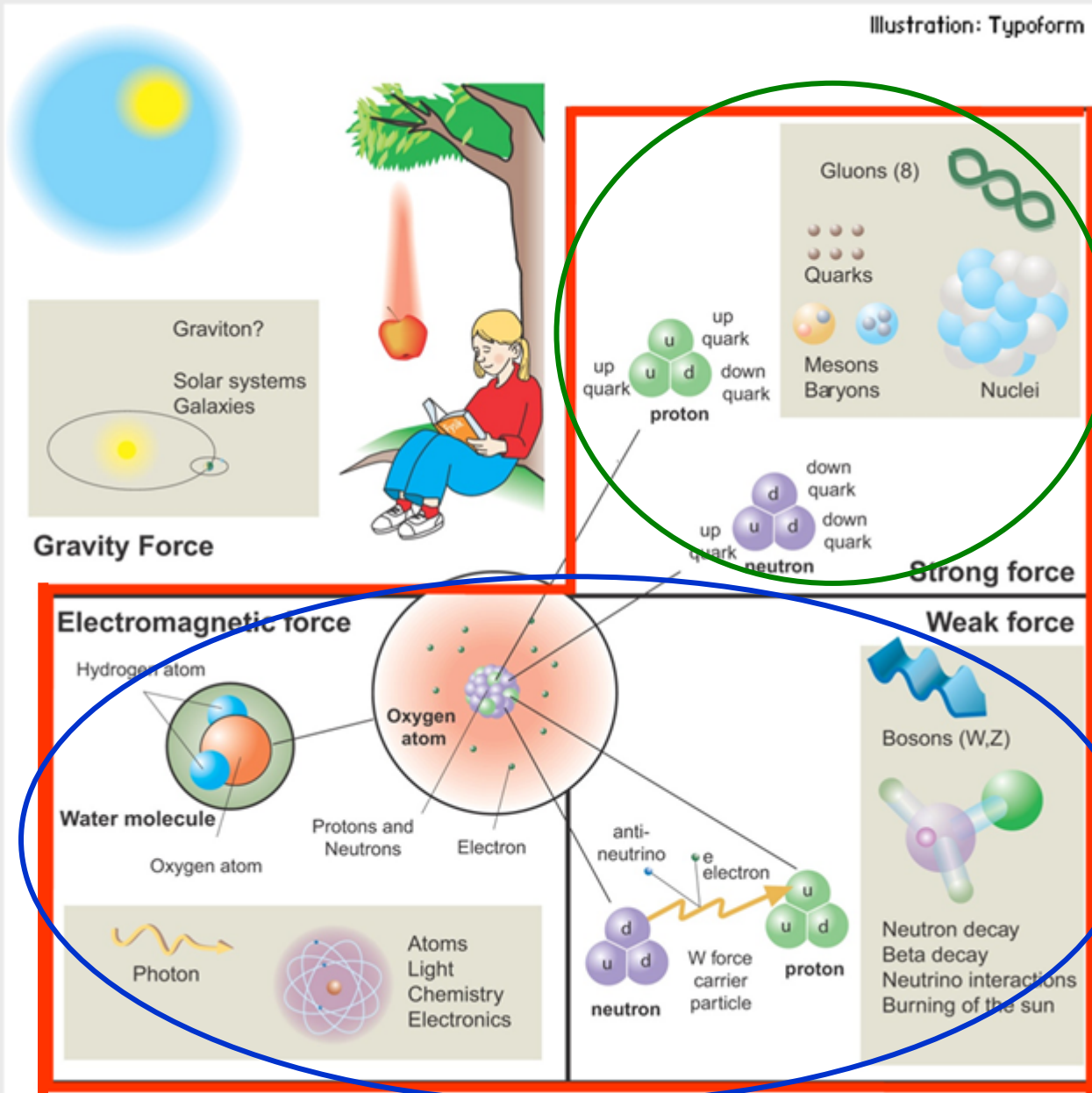
Никитин Н.В.

14 июня 2011 года



1. Физическая прелюдия

Стандартная Модель (СМ)



СМ господствует в физике элементарных частиц с 1973 года. Описывает всю совокупность экспериментальных данных. Эта модель содержит более 20 определяемых из опыта параметров и не включает в себя гравитацию.

СМ = Квантовая хромодинамика + Минимальная электрослабая модель .

Таблица элементарных частиц СМ

КВАРКИ



up



down



charm



strange



top



beauty



electron



neutrino e



muon



neutrino μ



tau



neutrino τ

БОЗОНЫ



photon



gluon

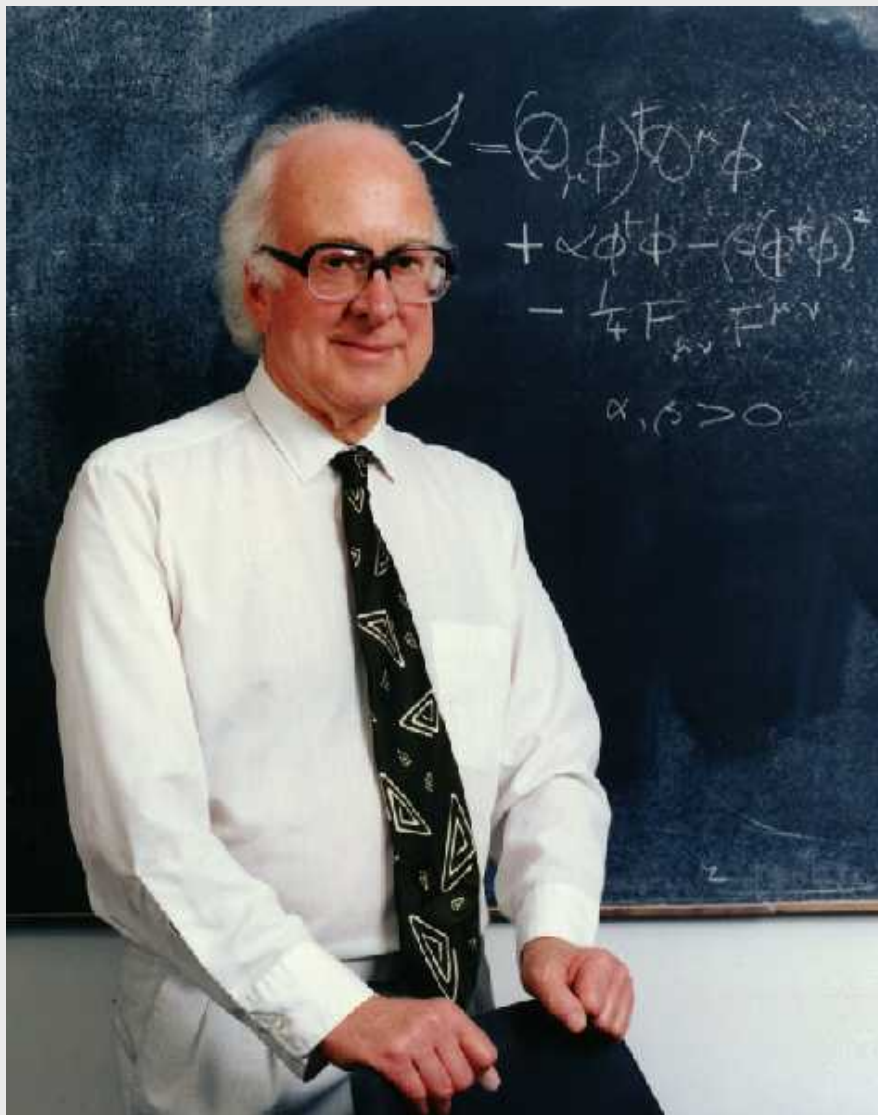


Z^0 W^+



Higgs

Существует ли Хиггс?



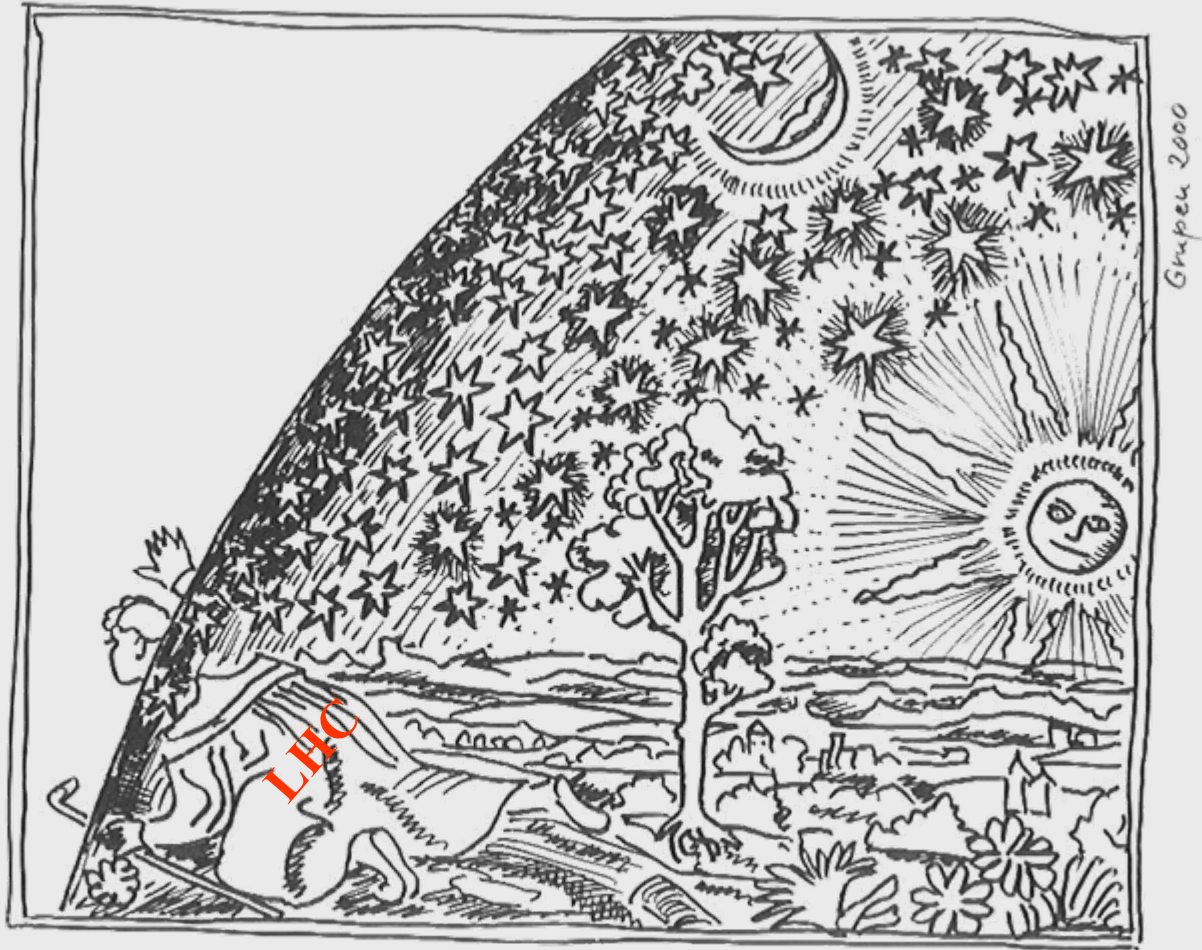
Один – несомненно!
Это **Петер Хиггс**, который придумал меха-низм Хиггса.

Бозоны Хиггса нужны, чтобы **частицы СМ** имели **ненулевую массу покоя**. Массы частиц возникают ди- намически.

Существуют ли **бозоны Хиггса**?

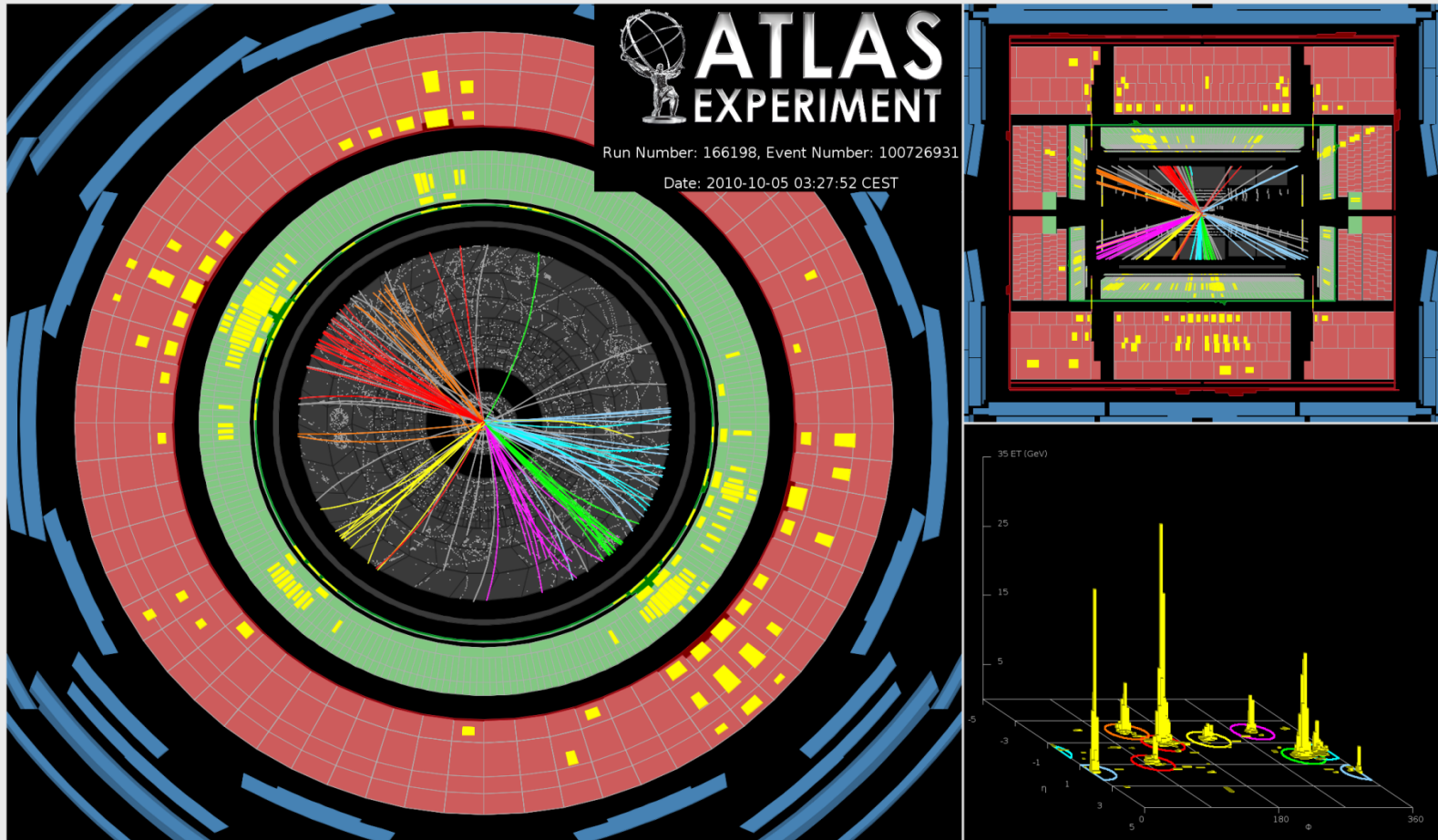
Ответить на этот вопрос **ДОЛЖЕН проект LHC**.

Какая физика лежит за пределами Стандартной Модели?



Ответить на этот вопрос МОЖЕТ проект LHC

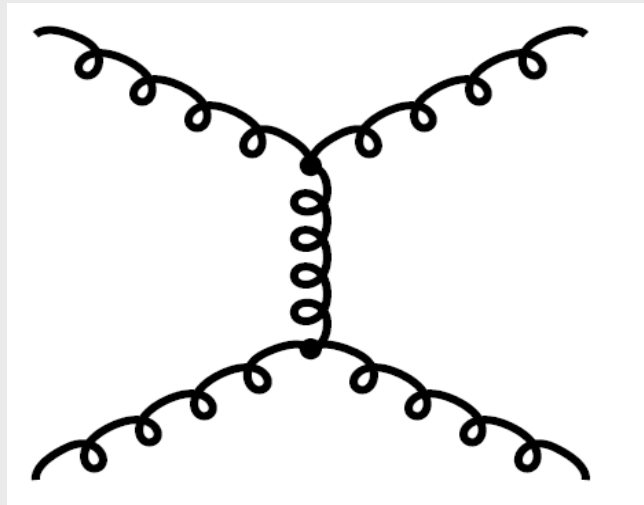
Зачем надо изучать сильные взаимодействия на LHC?



В каждом столкновении мы видим картинку, подобную этой. Сильное взаимодействие является либо сигналом (струи), либо фоном (те же струи) к изучаемым процессам. Поэтому мы должны

Типичный пример вычисления вклада сильного взаимодействия

Первый шаг: вычисление жесткого процесса

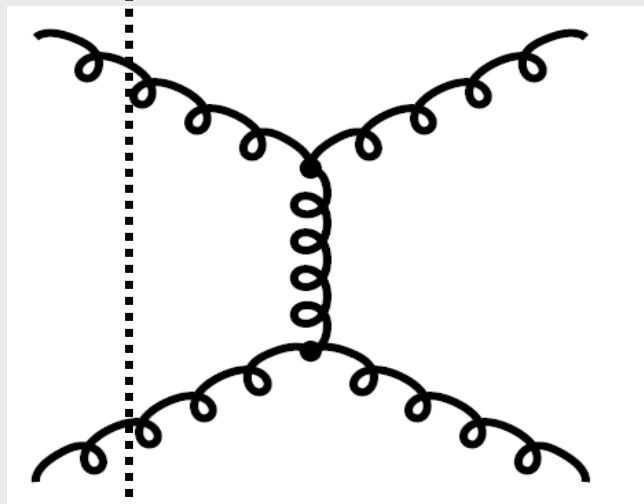


Сугубо **пертурбативный подход** в рамках КХД

Второй шаг:
связываем
пертурбативные
вычисления с
функциями
распределения
глюонов в
протонах



Первый шаг: вычисление
жесткого процесса



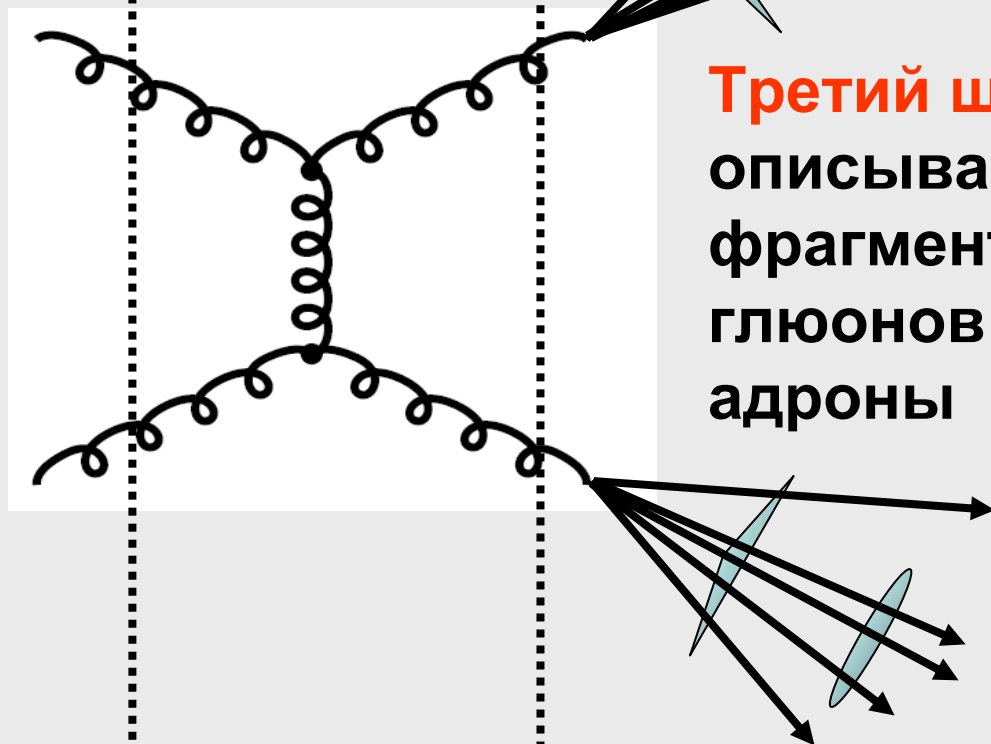
**Непертурбативное
описание**

**Пертурбативное
описание**

Второй шаг:
связываем
пертурба-
тивные
вычисления
с функциями
распреде-
ления глюонов
в протонах



Первый шаг:
вычисление
жесткого
процесса

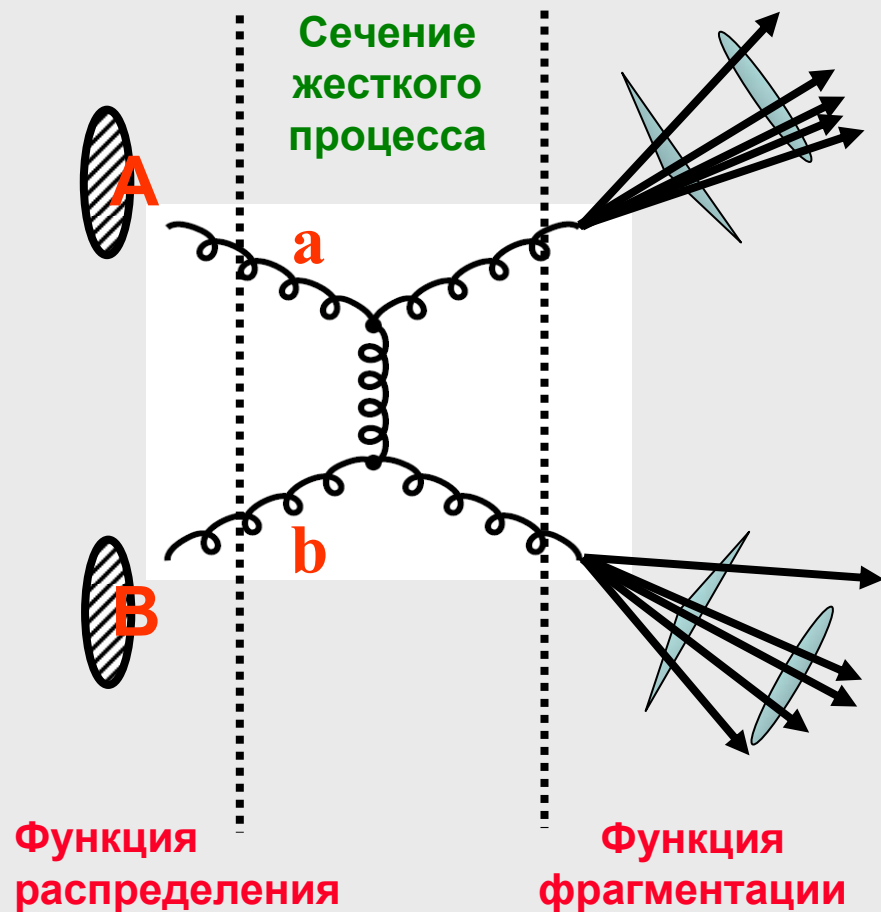


Третий шаг:
описываем
фрагментацию
глюонов в струи и
адроны

**Непертурбативное
описание**

**Пертурбативное
описание**

**Непертурбативное
описание**



Вычисление процессов при больших переданных импульсах для адронных коллайдеров (таких как ускорители Tevatron или LHC) основывается на **факторизационной теореме**.

Из эксперимента можно найти один из трех компонентов, если известны два других.

$$\sigma_{AB} = \int dx_a dx_b q_a^A(x_a, \mu_F^2) q_b^B(x_b, \mu_F^2) \times [\hat{\sigma}_0 + \alpha_s(\mu_R^2) \hat{\sigma}_1 + \dots]_{ab \rightarrow X}$$

μ_F — масштаб факторизации;

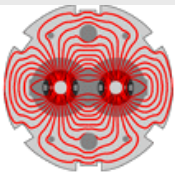
μ_R — ренормгрупповой масштаб.

Примеры экспериментальных результатов

- 1) Описание начального состояния: прямые фотоны, струи;
- 2) Жесткие процессы: W/Z + струя;
- 3) Описание фрагментации: сечение рождения b -кварков.

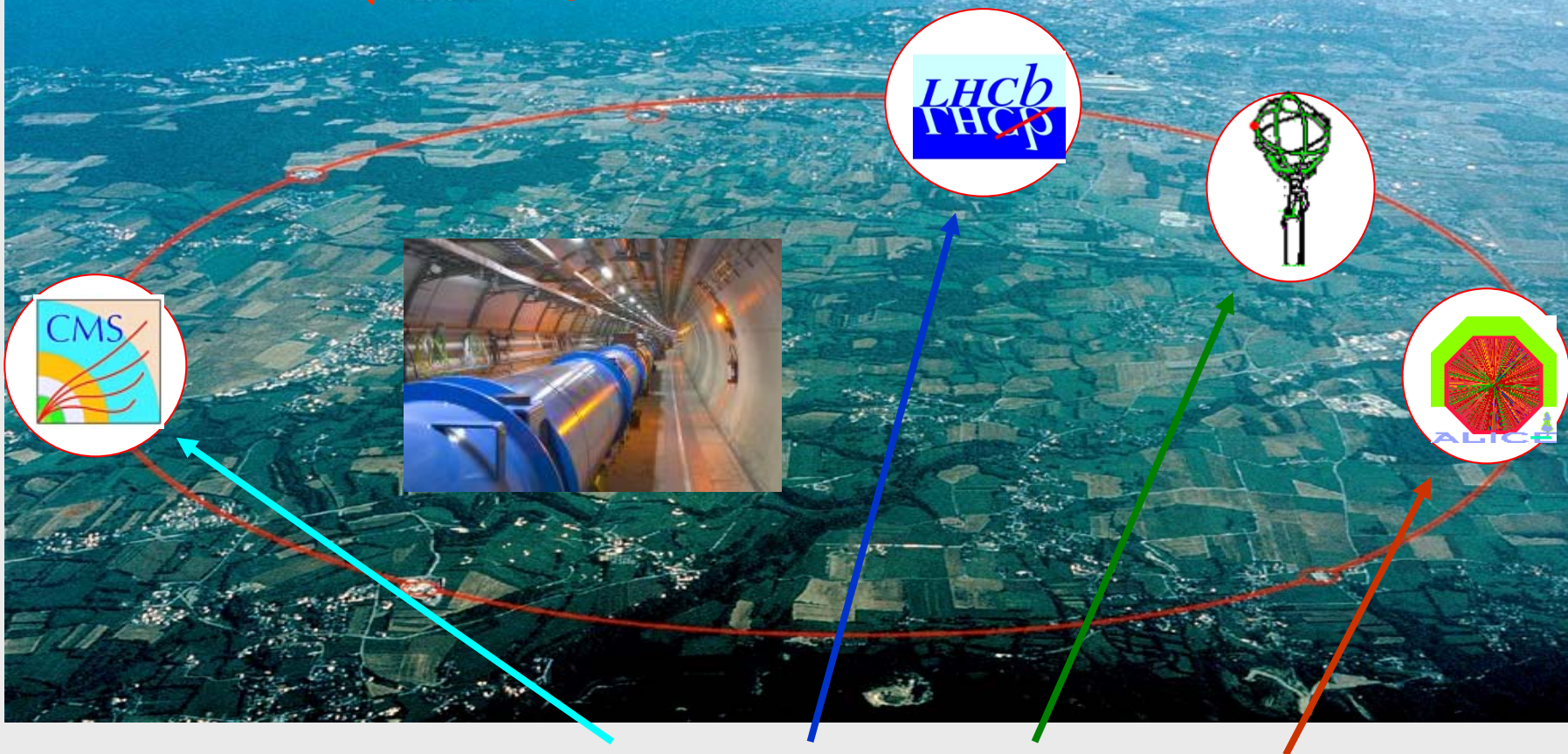
Просто интересные результаты: поиски бозона Хиггса и физики вне рамок СМ.

2. Проект ЛНС



Проект LHC

LHC: { Длина окружности тоннеля 27 км;
Энергия сталкивающихся пучков 7 ТэВ;
Достигнута светимость почти $1.26 \cdot 10^{33}$ протонов / $\text{см}^2 \text{с}$.



4 детектора: CMS, LHCb, ATLAS и ALICE

Задачи детекторов на LHC

ATLAS и **CMS**: поиск бозона Хиггса, физики вне рамок СМ (суперсимметрия? дополнительные размерности? абсолютно новые взаимодействия и/или законы природы?), изучение свойств тяжелых кварков (b и t).

LHCb: изучение свойств b-кварка и нарушения комбинированной пространственной и зарядовой четности (CP-нарушение) в b-секторе.

ALICE: поиск и изучение свойств кварк-глюонной плазмы или кварк-глюонной жидкости.

3. Некоторые результаты (Physics at LHC Perugia, 6-11 June 2011)

В данном разделе используются прозрачки из обзорных докладов:

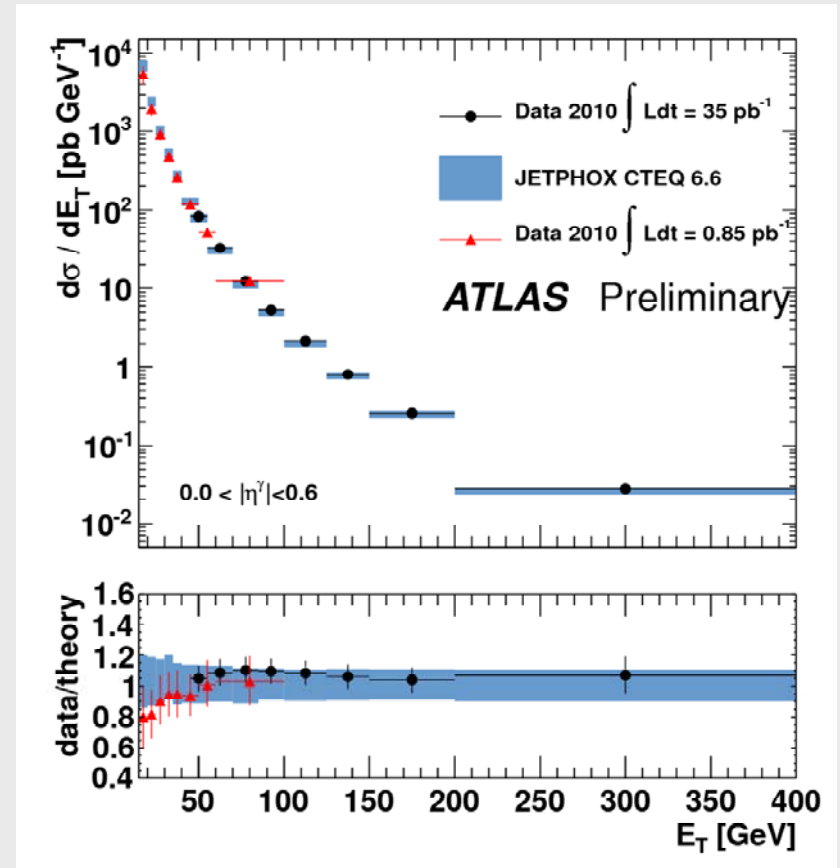
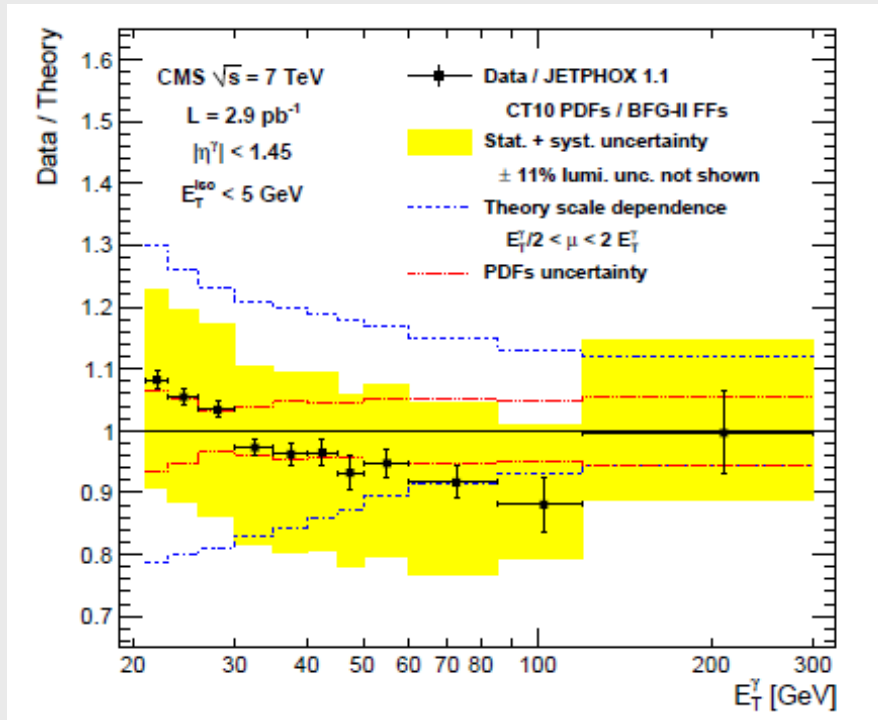
ATLAS: L. Pontecorvo, P.Jenni

CMS: G. Tonelli

LHCb: A. Schopper

и общего обзорного доклада **T.J. LeCompte.**

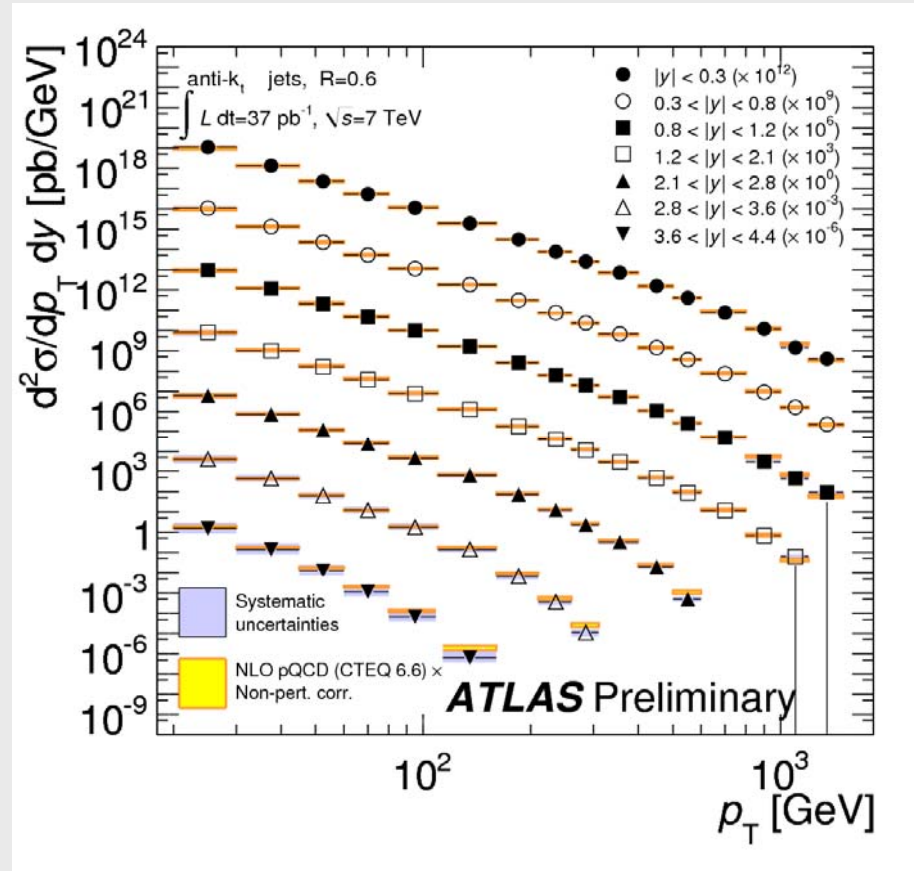
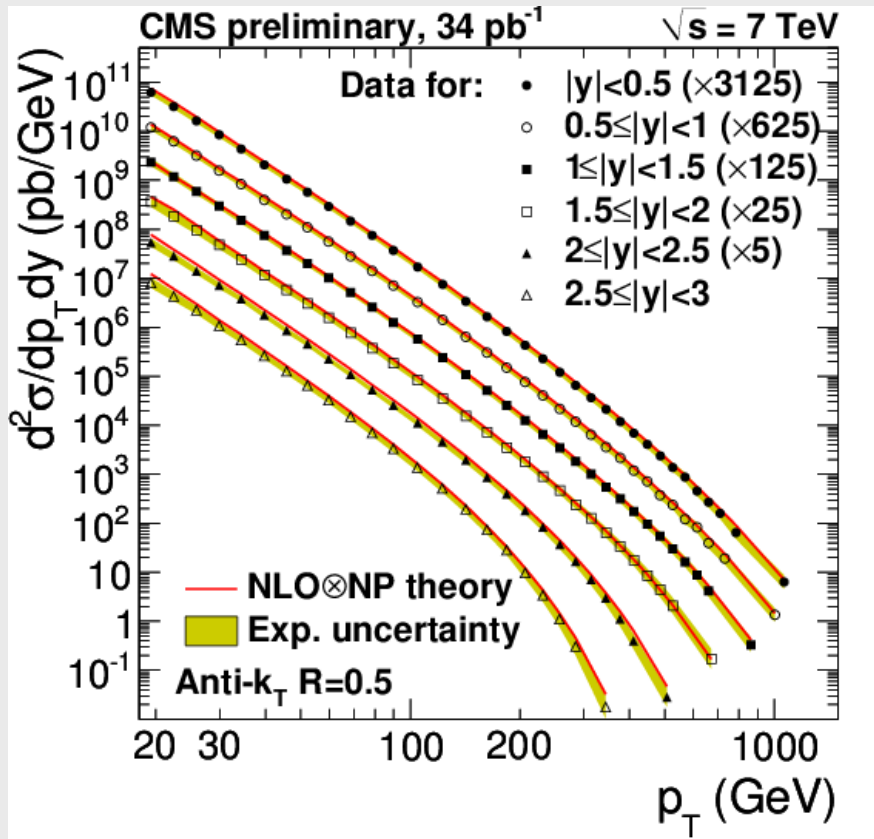
ФОТОНЫ на LHC



- There is still something not understood going on below 50 GeV
 - But we know now that this is a function of E_T , not of x_T . We can separate PDF effects from the calculational issues.
- The additional kinematic reach of the LHC is apparent
 - For the same x_T , the LHC goes out 3.5x farther in E_T .
 - With only 1% of the data, the kinematic reach is the same as the Tevatron's
 - This represents 1-10% of the data the LHC has already collected
 - The troublesome region below 50 GeV is a tiny piece of what will be studied

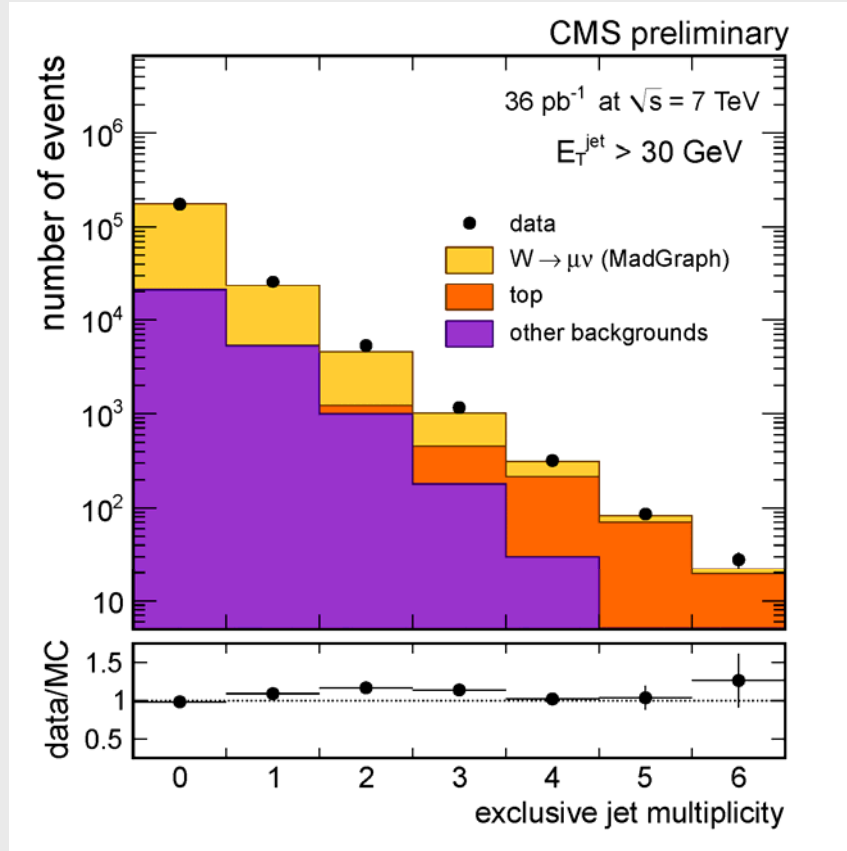
Струи на LHC

(объединенные данные qq, qg и gg состояний)

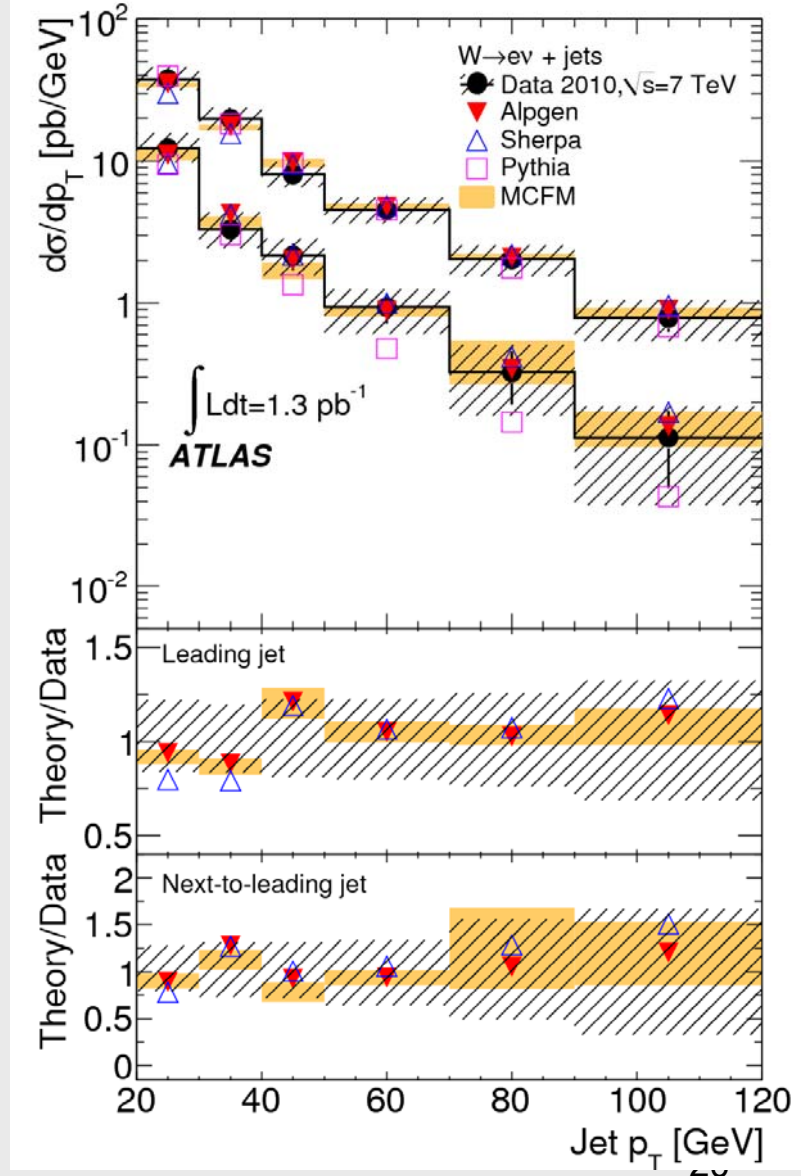


- 1) Сечения измерены в диапазоне, охватывающем **10 порядков** величины и в **6-7 бинах** по псевдобыстроте.
- 2) Расхождение между результатами моделирования и экспериментальными данными не превышает нескольких

W+jet на LHC

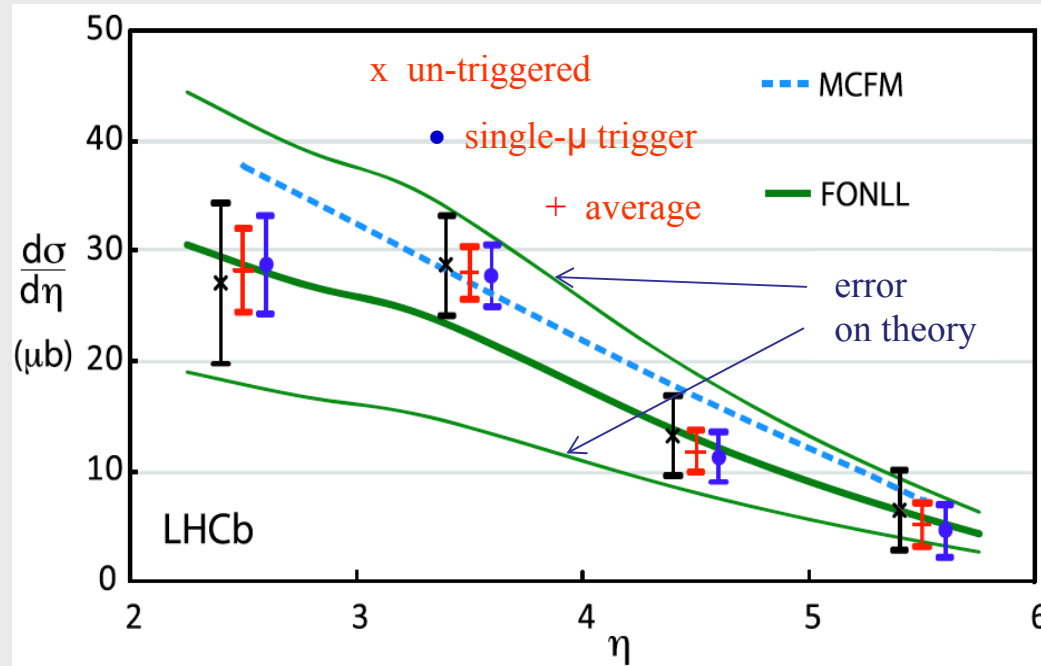


На LHC t -кварк дает основной фон к событиям $W+\text{jet}$, в то время как на Tevatron-е в точности наоборот



Сечение рождения $b\bar{b}$ -пар на LHCb

$b\bar{b}$ -cross section at $\sqrt{s} = 7$ TeV from semileptonic B decays



From $B^0 \rightarrow D^0 X^+ \mu^- \nu$ with $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$
total $b\bar{b}$ cross-section in 4π :

$$\sigma(pp \rightarrow b\bar{b}X) = 284 \pm 20 \pm 49 \mu\text{b}$$

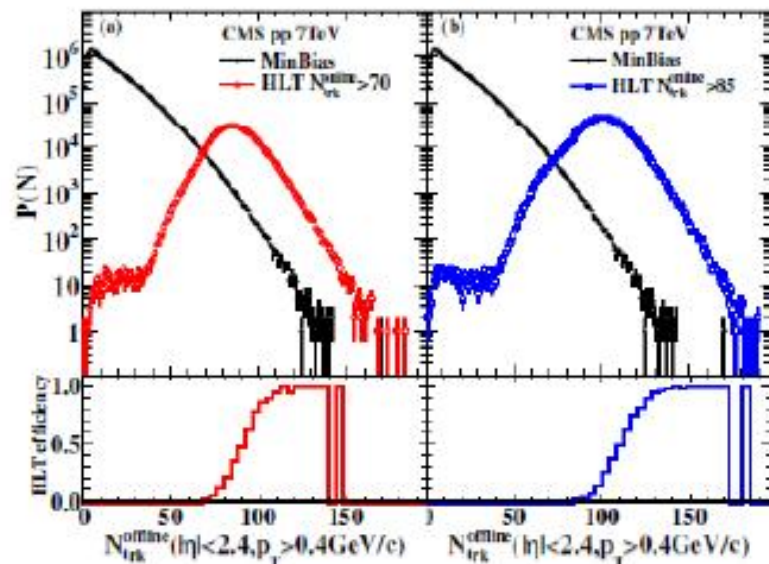
[Physics Letters B 694 (2010) 209]

In perfect agreement with result
from $B \rightarrow J/\psi X$:

$$\sigma(pp \rightarrow b\bar{b}X) = 288 \pm 4 \pm 48 \mu\text{b}$$

[Eur. Phys. J. C 71 (2011) 1645]

Thanks to its excellent detector performance, with $\sim 37 \text{ pb}^{-1}$ LHCb is already competitive with Tevatron results based on 6000 pb^{-1} , even though $b\bar{b}$ cross-section only 3 times higher

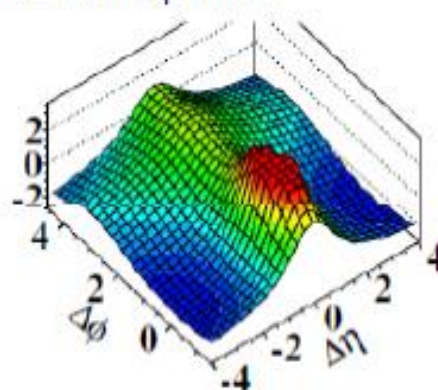


CMS reported an unexpected effect in very high-multiplicity events collected with a dedicated trigger (980 nb^{-1})

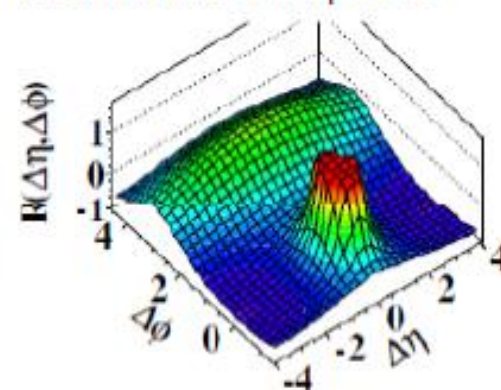
Observation of long-range, near-side angular correlations in the two-particle angular correlation of charged particle pairs ($\rightarrow$ 'ridge effect')

JHEP 09(2010)091

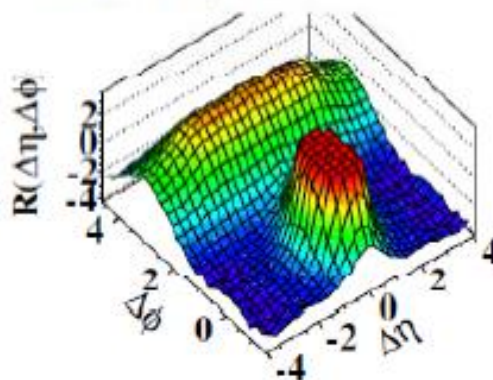
(a) CMS MinBias, $p_T > 0.1 \text{ GeV/c}$



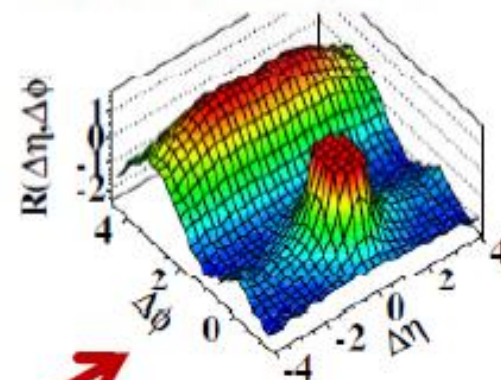
(b) CMS MinBias, $1.0 \text{ GeV/c} < p_T < 3.0 \text{ GeV/c}$



(c) CMS $N \geq 110$, $p_T > 0.1 \text{ GeV/c}$

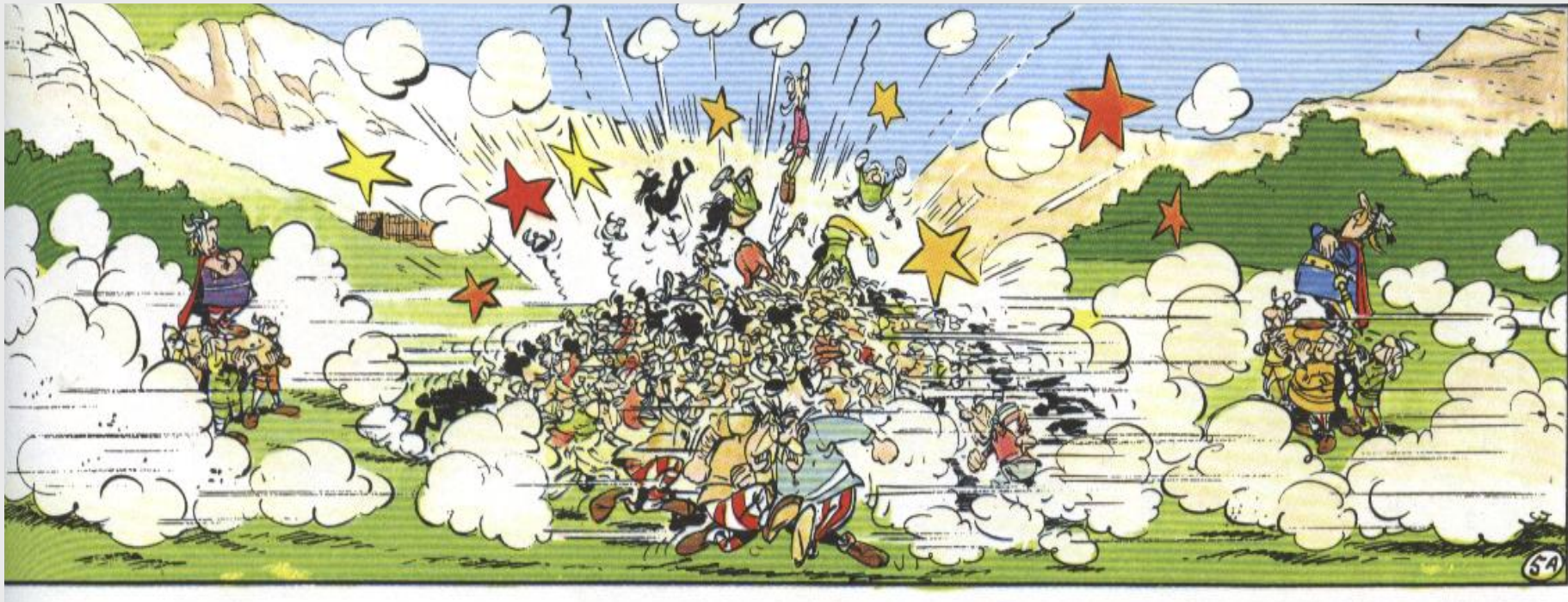


(d) CMS $N \geq 110$, $1.0 \text{ GeV/c} < p_T < 3.0 \text{ GeV/c}$



4. Поиск бозона Хиггса на LHC

Пример протон-протонного столкновения на LHC при энергии 7 ТэВ в СЦМ



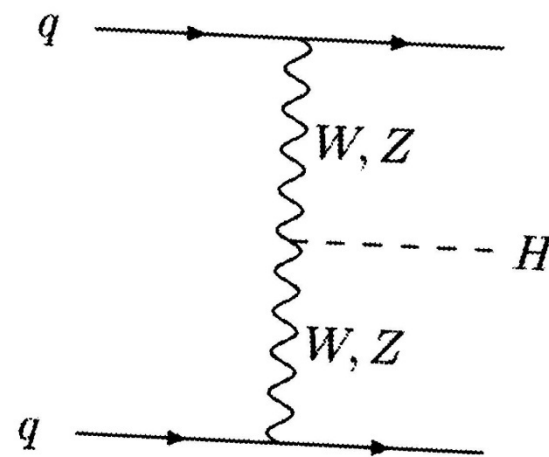
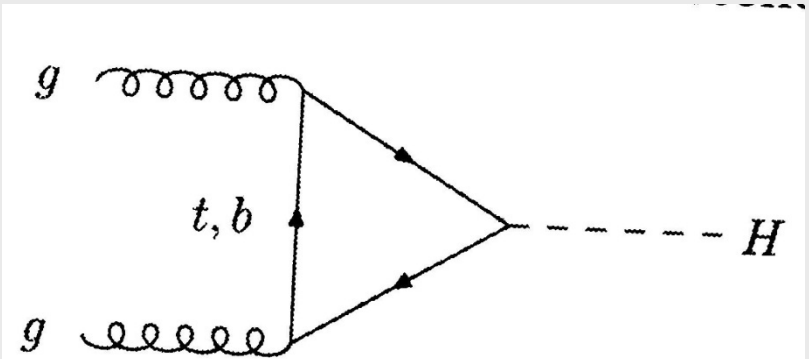
Нашедшему на этой картинке бозон Хиггса будет вручена Нобелевская премия по физике за какой-то следующий год.

Рождение и распады бозона Хиггса на LHC

Бозон Хиггса на LHC
может рождаться в
следующих процессах:

1) Глюонное слияние:
 $gg \rightarrow H$. Этот процесс в
СМ идет за счет
треугольной петли с t и
 b -кварками и является
основным.

2) W^+W^- или ZZ -слияние

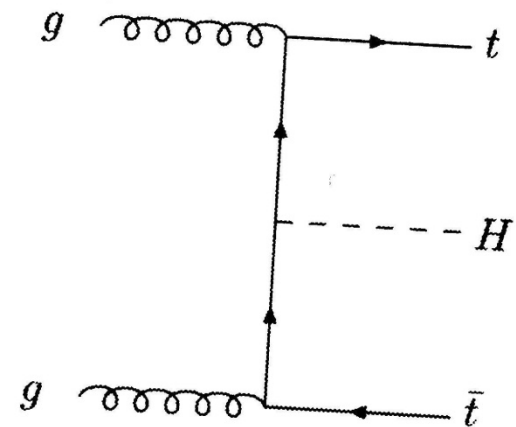
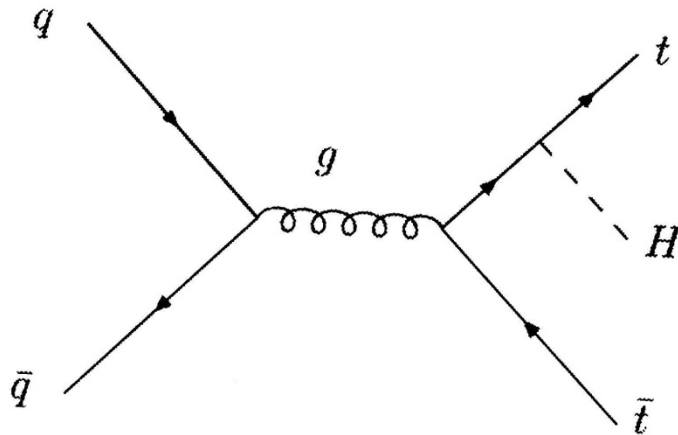


Рождение и распады бозона Хиггса

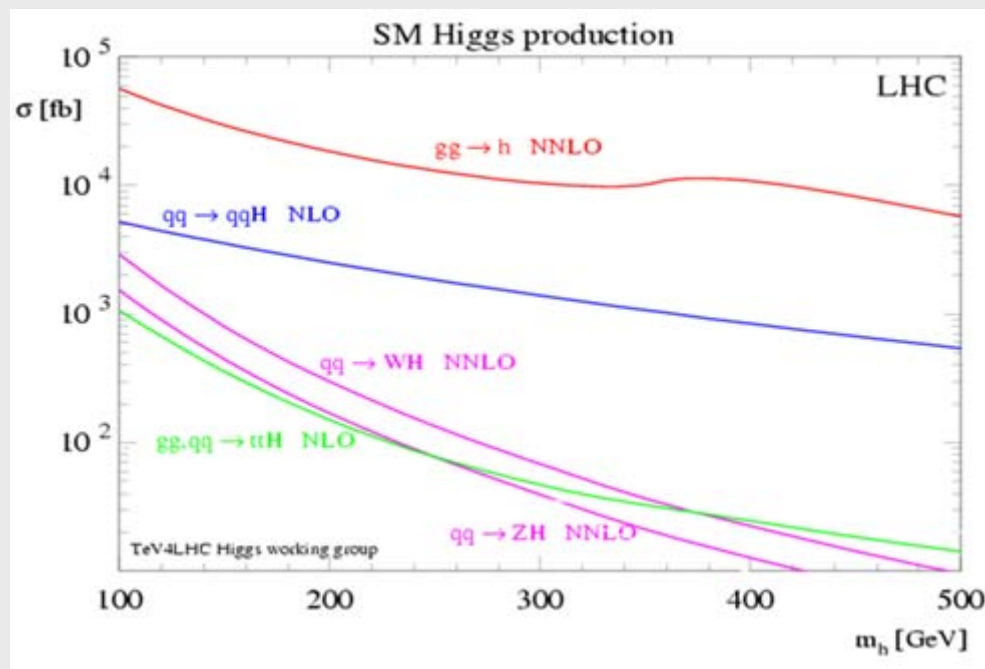
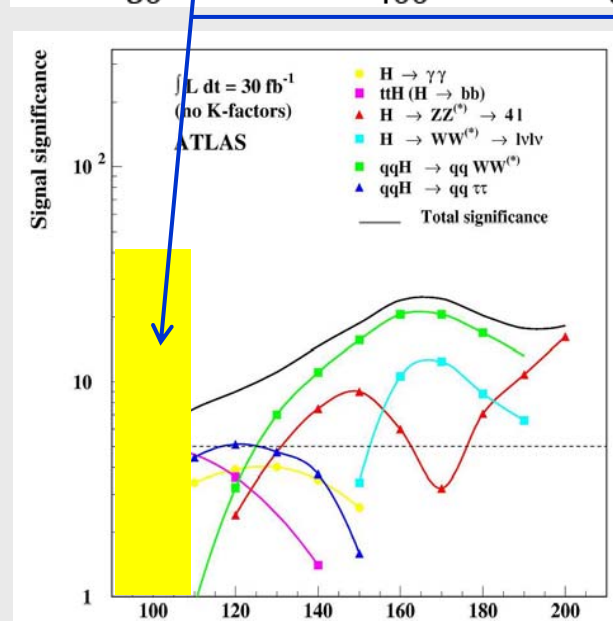
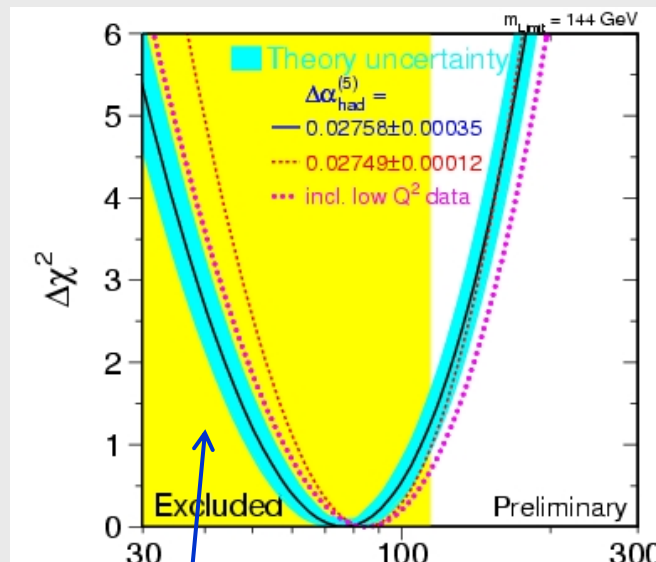
Хиггса на LHC

3) Излучение бозона Хиггса W или Z -бозоном;

4) Излучение бозона Хиггса t -кварком.



Рождение и распады бозона Хиггса на LHC

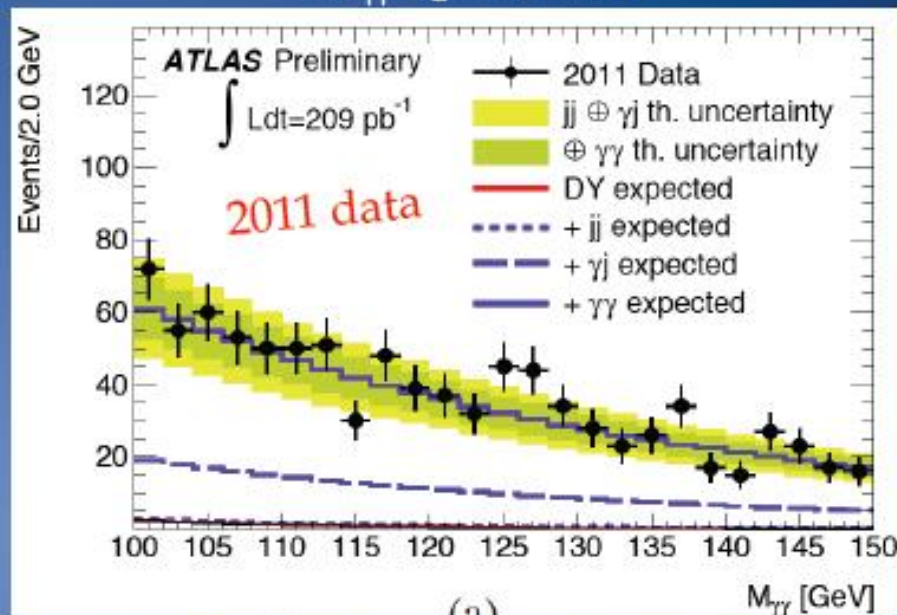


1) LEP дал **ограничение** на массу бозона Хиггса **снизу**: $m_h > 114,4 \text{ ГэВ}$. Поправки к массе t-кварка дают **ограничение** на массу бозона Хиггса **сверху**: $m_h < 185 \text{ ГэВ}$.

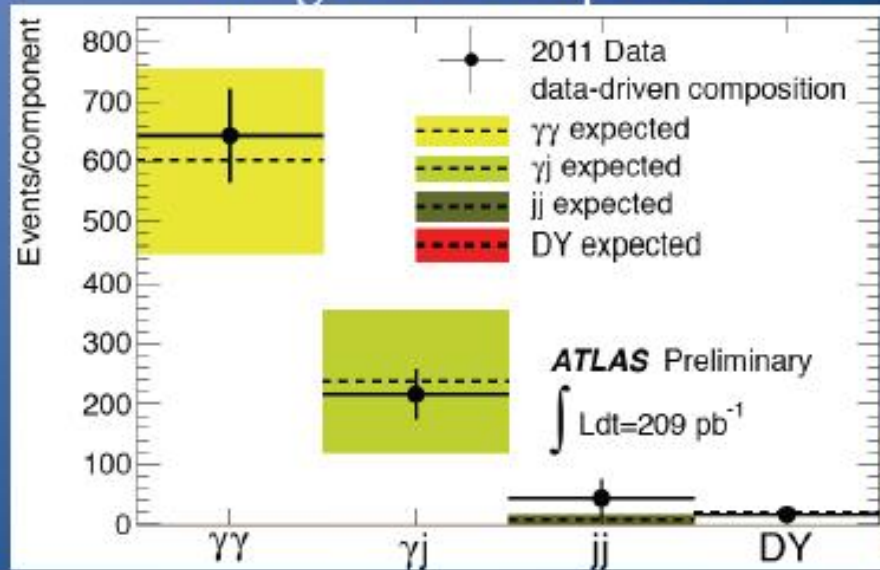
2) В апреле этого года прошла информация о том, что ATLAS якобы видит распад **H**

- Cleanest channels for very low Mass Higgs,
- Needs:
 - Good di-photon mass resolution
 - Determination of primary vertex
 - Good Photon Id.
 - $\gamma/\text{Jet}, \gamma/\pi^0$ discrimination
- Need to understand backgrounds with high precision with Data Driven techniques
 - QCD $\gamma\gamma$ production
 - γ -Jet and Jet-Jet production

$M_{\gamma\gamma}$ Spectrum

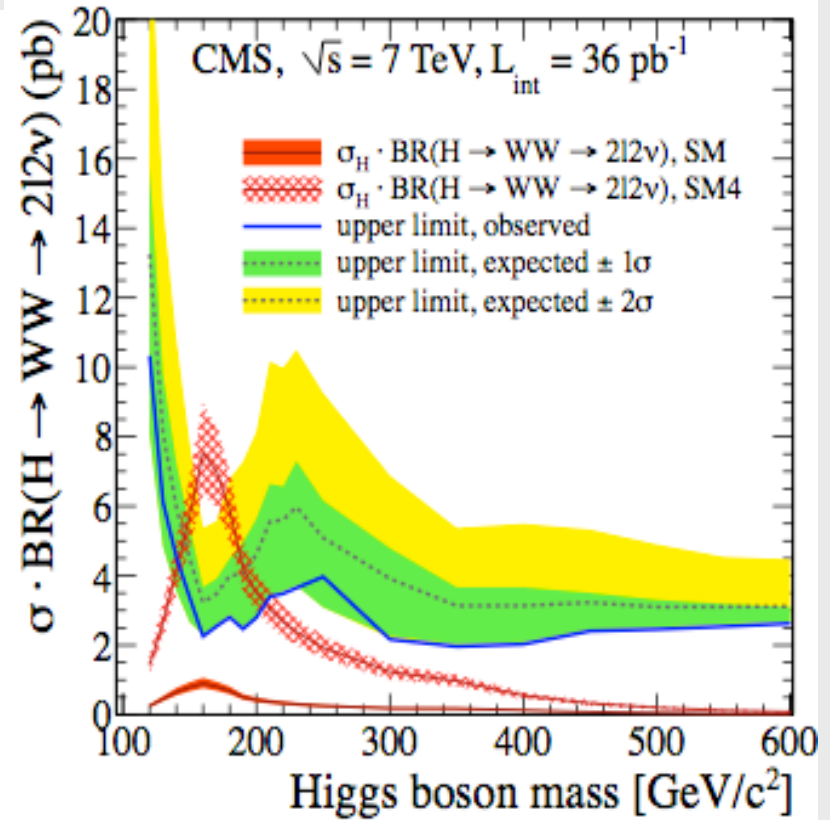
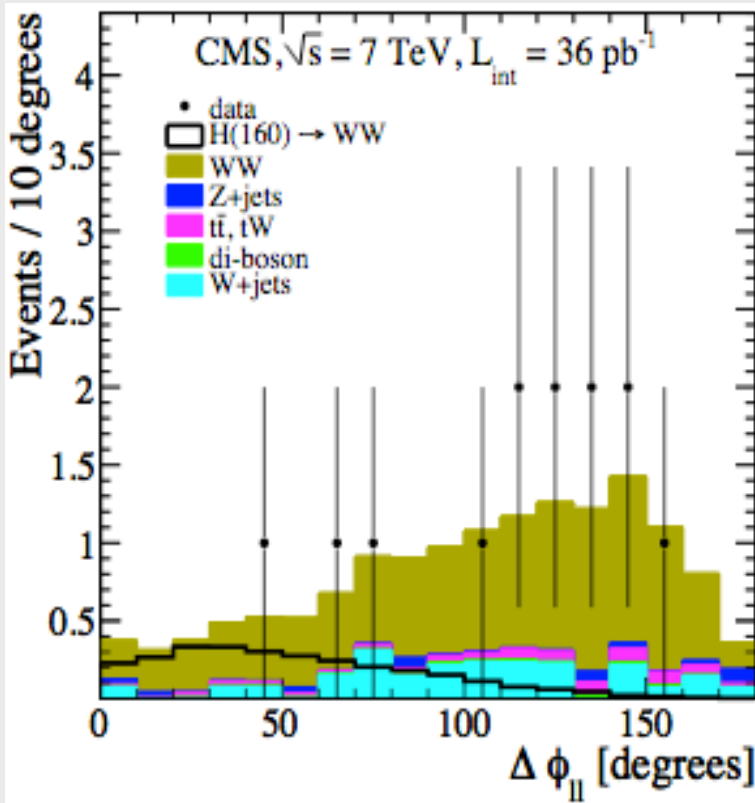


Background composition



First CMS result on the SM Higgs: $H \rightarrow WW$

36pb⁻¹



- ☞ 4th-f generation case: excluded region $m_H = [144 - 207] \text{ GeV}$
- ☞ SM case: excluded $\sim \times 3$ SM expectation at $m_H = 160 \text{ GeV}$

**5. Перемен, мы ждем
перемен!**

ATLAS Searches* - 95% CL Lower Limits (June 6, 2011)

ATLAS
Preliminary

$$\int L dt = (31 - 236) \text{ pb}^{-1}$$

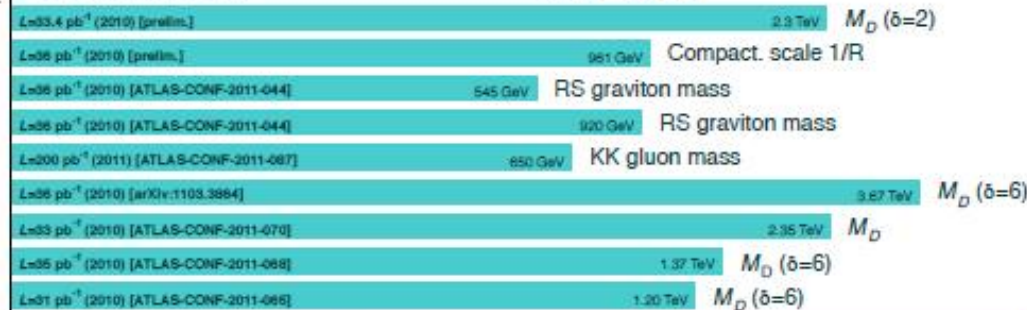
SUSY

MSUGRA : 0/1-lep + $E_{T,miss}$
MSUGRA : 0-lep + $E_{T,miss}$
Simplified model : 0-lep + $E_{T,miss}$
Simplified model : 0-lep + $E_{T,miss}$
Simplified model : 0/1-lep + b-jets + $E_{T,miss}$
Pheno-MSSM (light $\tilde{\chi}_1^0$) : 2-lep SS + $E_{T,miss}$
Pheno-MSSM (light $\tilde{\chi}_1^0$) : 2-lep OS_{SF} + $E_{T,miss}$
GMSB (GGM) + Simpl. model : $\gamma\gamma$ + $E_{T,miss}$
GMSB : stable $\tilde{\tau}$
Stable massive particles : R-hadrons
Stable massive particles : R-hadrons
Stable massive particles : R-hadrons
RPV ($\lambda'_{311}=0.11, \lambda'_{321}=0.07$) : high-mass $e\mu$



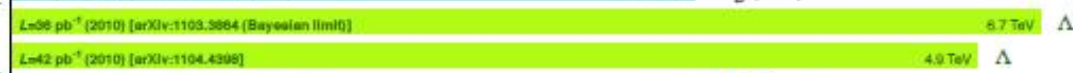
Extra dimensions

Large ED (ADD) : monojet
UED : $\gamma\gamma$ + $E_{T,miss}$
RS with $k/M_{Pl} = 0.02 : m_{\gamma\gamma}$
RS with $k/M_{Pl} = 0.1 : m_{\gamma\gamma}$
RS with top couplings $g_L=1.0, g_R=4.0 : m_{\gamma\gamma}$
Quantum black hole (QBH) : $m_{dijet}, F(\chi)$
QBH : High-mass σ_{l+l}
ADD BH ($M_{th}/M_D=3$) : multijet $\Sigma p_T, N_{jets}$
ADD BH ($M_{th}/M_D=3$) : SS dimuon $N_{ch. part.}$



q q q q contact interaction : $F_\chi(m_{dijet})$

q q $\mu\mu$ contact interaction : $m_{\mu\mu}$



LQ : $Z'/W/\text{Ct. l.}$

SSM : $m_{\mu\mu/\mu\mu}$
SSM : $m_{\tau\tau/\tau\tau}$



Scalar LQ pairs ($\beta=1$) : kin. vars. in $e\mu jj$, $e\nu jj$

Scalar LQ pairs ($\beta=1$) : kin. vars. in $\mu\mu jj$, $\mu\nu jj$



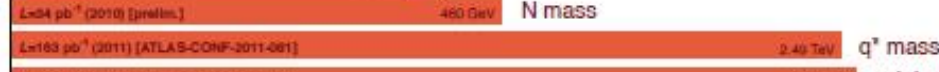
4th family : coll. mass in $Q_4 \bar{Q}_4 \rightarrow WqWq$

4th family : $d_4 \bar{d}_4 \rightarrow WtWt$ (SS dilepton)



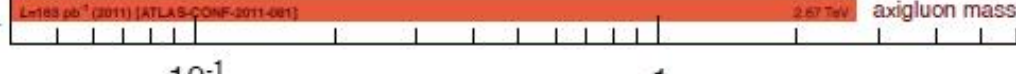
Major. neutr. ($V_{4ferm.}, \Delta=1 \text{ TeV}$) : SS dilepton

Excited quarks : m_{dijet}



Other

axigluons : m_{dijet}



10⁻¹

1

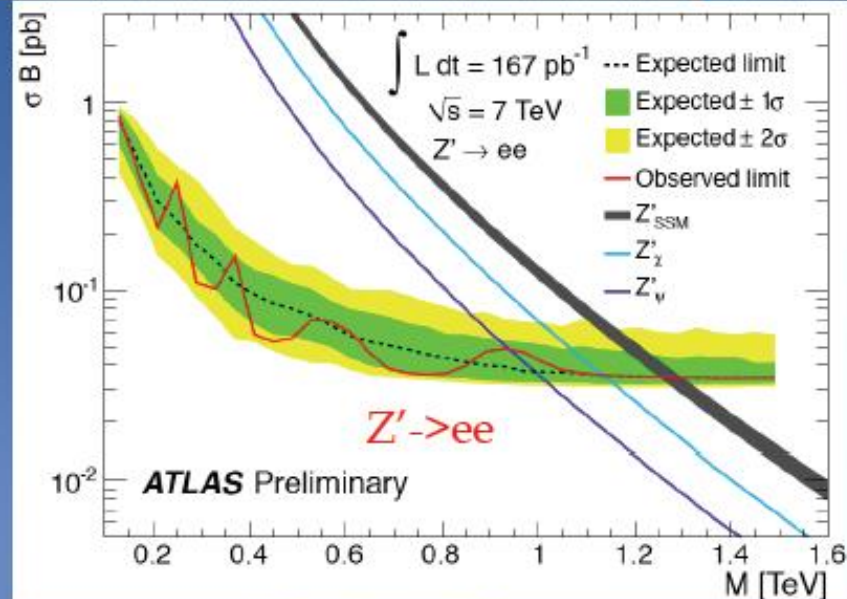
10

Mass scale [TeV]

*Only a selection of the available results shown

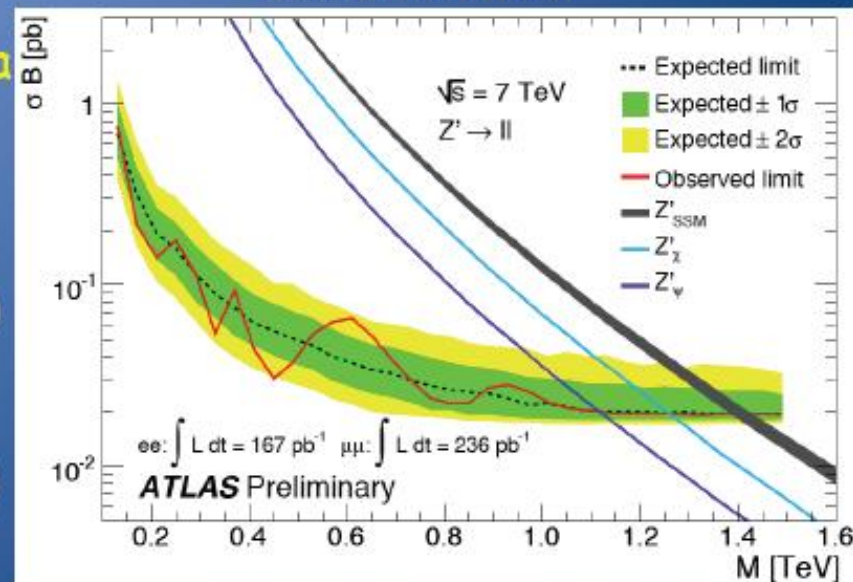
$Z' \rightarrow \mu\mu, Z' \rightarrow ee$: New Limits

26

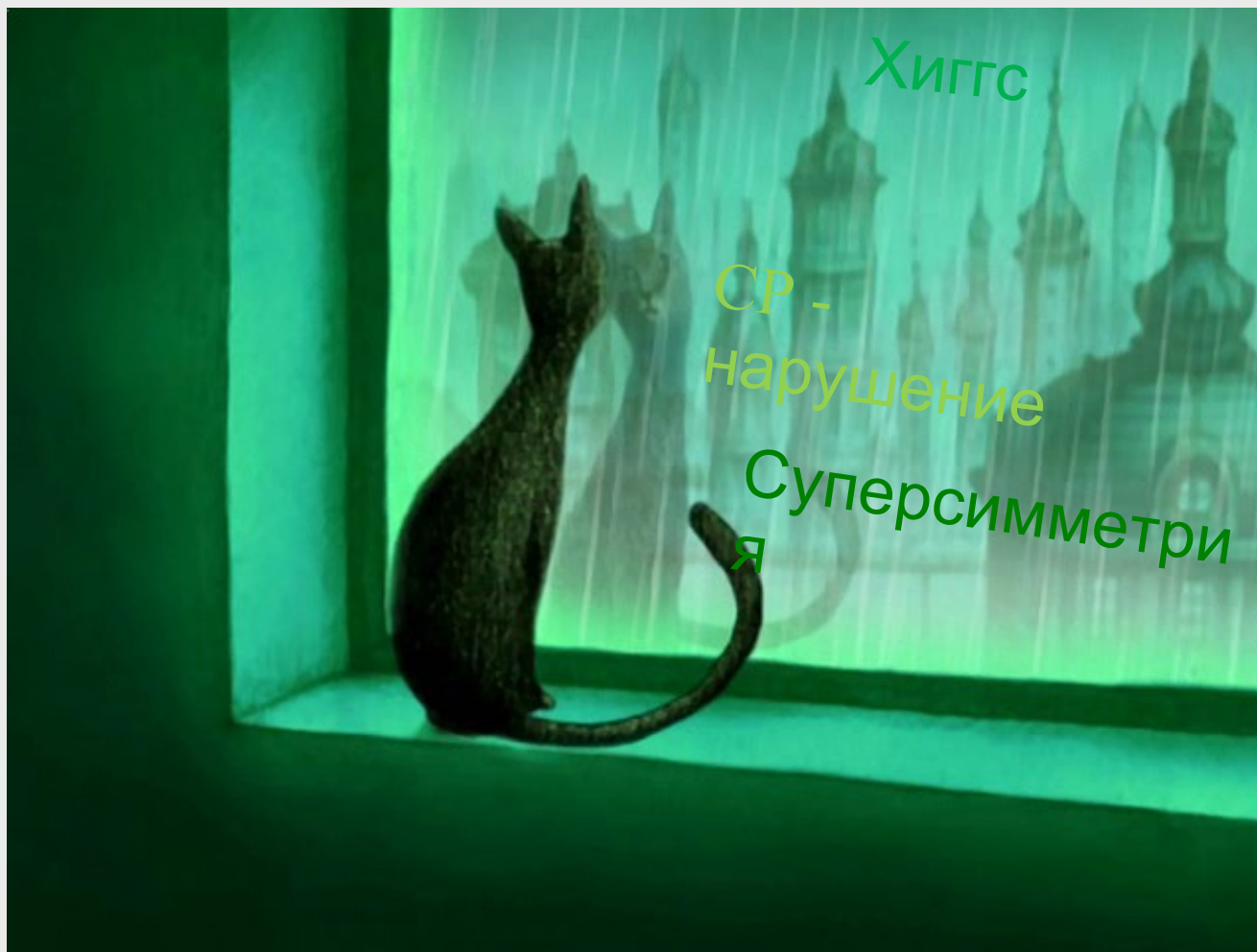


Combined limit

- Good agreement between Data and background expectations
- SSM Z' lower limits
 - Electron Chan. $> 1.27 \text{ TeV}$ (1.27)
 - Muon Chan. $> 1.22 \text{ TeV}$ (1.23)
 - $e\text{-}\mu$ Combined $> 1.41 \text{ TeV}$ (1.48)



Заключение



В мире, где (пока) господствует Стандартная Модель,
мы ждем перемен, которые принесет нам запуск

ЛHC

Еинечюлказ

... и надеемся, что эти перемены окажутся **весьма неожиданными.**



The End