

Top Quark Physics

Лагранжиан SM инвариантен относительно $SU(2)_L \times U(1)_Y$ калибровочных преобразований:

$$L(x) \rightarrow L'(x) = e^{i\alpha_a(x)T^a + i\beta(x)Y} L(x)$$

$$R(x) \rightarrow R'(x) = e^{i\beta(x)Y} R(x)$$

$$T^a = \frac{1}{2}\tau^a; \quad \tau_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \tau_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \quad \tau_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\vec{W}_\mu(x) \rightarrow \vec{W}'_\mu(x) = \frac{1}{g_2} \partial_\mu \vec{\alpha}(x) - \vec{\alpha}(x) \times \vec{W}_\mu(x)$$

$$B_\mu(x) \rightarrow B'_\mu(x) = \frac{1}{g_1} \partial_\mu \beta(x)$$

При этом массовые члены как для бозонов, так и для фермионов такой симметрией запрещены (например, для фотона и электрона):

$$\frac{1}{2} M_A^2 A_\mu A^\mu \rightarrow \frac{1}{2} M_A^2 (A_\mu - \frac{1}{e} \partial_\mu \alpha) (A^\mu - \frac{1}{e} \partial^\mu \alpha) \neq \frac{1}{2} M_A^2 A_\mu A^\mu$$

$$-m_e \bar{e} e = -m_e \bar{e} \left(\frac{1}{2} (1 - \gamma_5) + \frac{1}{2} (1 + \gamma_5) \right) e = -m_e (\bar{e}_R e_L + \bar{e}_L e_R)$$

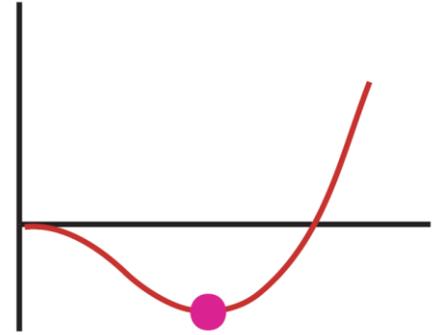
e_L - изодублет, а e_R - изосинглет

Как совместить локальную калибровочную инвариантность и факт наличия масс у калибровочных и фермионных полей?

В СМ эта проблема находит элегантное решение одновременно для калибровочных и фермионных полей за счет механизма спонтанного нарушения EW симметрии или механизма Хиггса

$$V(|\varphi|) = \mu^2 |\varphi|^2 + \lambda |\varphi|^4 \quad \mu^2 < 0$$

$$\varphi = \begin{pmatrix} \pi^+ \\ (v + h + i\pi^0)/\sqrt{2} \end{pmatrix}$$



Голстоуновские бозоны π^\pm, π^0 переходят в продольные степени свободы приобретающих массы калибровочных бозонов

$$|D_\mu \Phi|^2 = \left| \left(\partial_\mu - ig_2 \frac{\tau_a}{2} W_\mu^a - ig_1 \frac{1}{2} B_\mu \right) \Phi \right|^2$$

$$A \equiv B \cos \theta_W + W^3 \sin \theta_W$$

$$Z \equiv -B \sin \theta_W + W^3 \cos \theta_W$$

$$e = g_2 \cos \Theta_W$$

$$v = 246 \text{ GeV}$$

$$\frac{G_F}{\sqrt{2}} = \frac{g_2^2}{8M_W^2}$$

Взаимодействие фермионов с калибровочными полями:

$$\mathcal{L}_\psi = \bar{L}_i iD_\mu \gamma^\mu L_i + \bar{e}_{Ri} iD_\mu \gamma^\mu e_{Ri}$$

$$\bar{Q}_i iD_\mu \gamma^\mu Q_i + \bar{u}_{Ri} iD_\mu \gamma^\mu u_{Ri} + \bar{d}_{Ri} iD_\mu \gamma^\mu d_{Ri}$$

$$\mathcal{L}_\psi \equiv \mathcal{L}_{kin} + \mathcal{L}_{CC} + \mathcal{L}_{NC}$$

$$\mathcal{L}_{NC} = e J_\mu^A A^\mu + \frac{g_2}{\cos \theta_W} J_\mu^Z Z^\mu$$

$$\mathcal{L}_{CC} = \frac{g_2}{\sqrt{2}} (J_\mu^+ W^{+\mu} + J_\mu^- W^{-\mu})$$

$$J_\mu^A = Q_f \bar{f} \gamma_\mu f$$

$$J_\mu^Z = \frac{1}{4} \bar{f} \gamma_\mu [(2I_f^3 - 4Q_f \sin^2 \theta_W) - \gamma_5 (2I_f^3)] f$$

$$J_\mu^+ = \frac{1}{2} \bar{f}_u \gamma_\mu (1 - \gamma_5) f_d$$

$$W_\mu^\pm = \frac{1}{\sqrt{2}} (W_\mu^1 \mp iW_\mu^2)$$

$$I_f^3 = \pm \frac{1}{2}$$

Взаимодействие Юкавы определяет физику ароматов (flavor physics) СМ

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{\text{Yukawa}} = & -\Gamma_d^{ij} \bar{Q}_L^i \Phi d_R^j - \Gamma_d^{ij*} \bar{d}_R^i \Phi^\dagger Q_L^j \\
 & -\Gamma_u^{ij} \bar{Q}_L^i \Phi_c u_R^j + \text{h.c.} & \Phi_c = i\sigma_2 \Phi^* = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} v + H(x) \\ 0 \end{pmatrix} \\
 & -\Gamma_e^{ij} \bar{L}_L^i \Phi e_R^j + \text{h.c.}
 \end{aligned}$$

В унитарной калибровке имеем:

$$\begin{aligned}
 \bar{Q}_L^i \Phi d_R^j &= \begin{pmatrix} \bar{u}_L^i & \bar{d}_L^i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{v+H}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} d_R^j = \frac{v+H}{\sqrt{2}} \bar{d}_L^i d_R^j \\
 \bar{Q}_L^i \Phi_c u_R^j &= \begin{pmatrix} \bar{u}_L^i & \bar{d}_L^i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{v+H}{\sqrt{2}} \\ 0 \end{pmatrix} u_R^j = \frac{v+H}{\sqrt{2}} \bar{u}_L^i u_R^j
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mathcal{L}_{\text{Yukawa}} &= -\Gamma_d^{ij} \frac{v+H}{\sqrt{2}} \bar{d}_L^i d_R^j - \Gamma_u^{ij} \frac{v+H}{\sqrt{2}} \bar{u}_L^i u_R^j - \Gamma_e^{ij} \frac{v+H}{\sqrt{2}} \bar{e}_L^i e_R^j + \text{h.c.} \\
 &= -\left[M_u^{ij} \bar{u}_L^i u_R^j + M_d^{ij} \bar{d}_L^i d_R^j + M_e^{ij} \bar{e}_L^i e_R^j + \text{h.c.} \right] \left(1 + \frac{H}{v} \right)
 \end{aligned}$$

$$M^{ij} = \Gamma^{ij} \frac{v}{\sqrt{2}}$$

Диагонализуем массовые матрицы левых и правых фермионов:

$$\begin{aligned} f'_{Li} &= (U_L^f)_{ij} f_{Lj} \\ f'_{Ri} &= (U_R^f)_{ij} f_{Rj} \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad (U_L^f)^\dagger M_f U_R^f = \text{diagonal}$$

$$(U_L^u)^\dagger M_u U_R^u = \begin{pmatrix} m_u & 0 & 0 \\ 0 & m_c & 0 \\ 0 & 0 & m_t \end{pmatrix} \quad (U_L^d)^\dagger M_d U_R^d = \begin{pmatrix} m_d & 0 & 0 \\ 0 & m_s & 0 \\ 0 & 0 & m_b \end{pmatrix}$$

Юкавский член дает массы фермионам. Взаимодействие бозона Хиггса с Фермионами пропорционально массе фермиона. Нет FCNC couplings

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{\text{Yukawa}} &= - \sum_{f', i, j} M_f^{ij} \bar{f}'_L{}^i f'^j_R \left(1 + \frac{H}{v} \right) + \text{h.c.} \\ &= - \sum_{f, i, j} \bar{f}_L^i \left[(U_L^f)^\dagger M_f U_R^f \right]_{ij} f_R^j \left(1 + \frac{H}{v} \right) + \text{h.c.} \\ &= - \sum_f m_f (\bar{f}_L f_R + \bar{f}_R f_L) \left(1 + \frac{H}{v} \right) \end{aligned}$$

$$\frac{e}{\sqrt{2} \sin \theta_W} \bar{u}'_L{}^i \mathcal{W}^+ d'_L{}^i + \text{h.c.}$$

$$\frac{e}{\sqrt{2} \sin \theta_W} \bar{u}_L{}^i \left[(U_L^u)^\dagger U_L^d \right]_{ij} \mathcal{W}^+ d_L{}^j + \text{h.c.}$$

$$V_{CKM} = (U_L^u)^\dagger U_L^d$$

$$V = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

Top Quark in SM

$$Q_{em}^t = + \frac{2}{3} | e |$$

Weak isospin partner of b quark: $T_3^t = \frac{1}{2}$

Color triplet

spin- $\frac{1}{2}$

			<u>$SU(3)$</u>	<u>$SU(2)$</u>	<u>$U(1)_Y$</u>	
$Q_L^i =$	$\begin{pmatrix} u_L \\ d_L \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} c_L \\ s_L \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} t_L \\ b_L \end{pmatrix}$	3	2	$\frac{1}{6}$
$u_R^i =$	u_R	c_R	t_R	3	1	$\frac{2}{3}$
$d_R^i =$	d_R	s_R	b_R	3	1	$-\frac{1}{3}$

In the Standard Model top quark couplings are uniquely fixed by the principle of gauge invariance, the structure of the quark generations, and a requirement of including the lowest dimension interaction operators.

What is the difference?

Mass

$$M_{\text{top}} = 173.1 \pm 0.6 \text{ (stat.)} \pm 1.1 \text{ (syst.)}$$

CKM elements

$$V_{\text{CKM}} = (U_L^u)^\dagger U_L^d$$

$$V = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 1 - \lambda^2/2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \lambda^2/2 & A\lambda^2 \\ A\lambda^3(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix} + \mathcal{O}(\lambda^4)$$

$$\lambda = 0.2257_{-0.0010}^{+0.0009},$$

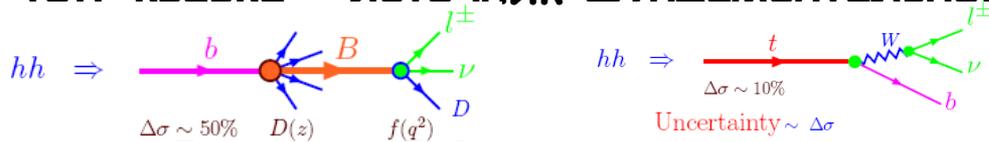
$$A = 0.814_{-0.022}^{+0.021}$$

$$\bar{\rho} = 0.135_{-0.016}^{+0.031},$$

$$\bar{\eta} = 0.349_{-0.017}^{+0.015}$$

На сегодняшний день t -кварк - самая тяжелая элементарная частица, найденная в природе

- время жизни топ-кварка ($\tau_t \sim 5 \times 10^{-25} \text{ sec}$) существенно меньше характерного времени адронизации ($\tau_{QCD} \sim 3 \times 10^{-24} \text{ sec}$). Адроны с участием топ-кварка не успевают образоваться. Процессы с участием топ-кварка - источник фундаментальной информации.

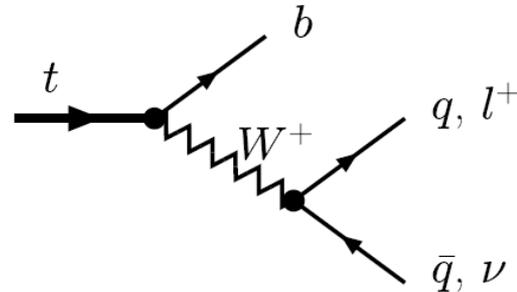
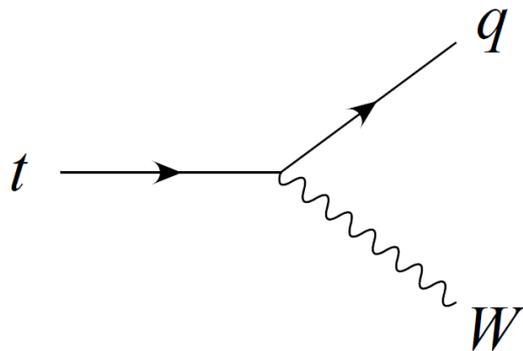


- топ-кварк такой тяжелый (почти как ядро золота) и точечный, то есть его структура, если она и есть, не проявляется до расстояний порядка 10^{-17} см.
- константа Юкавы, связанная с массой и вакуумным средним ($\lambda_t = 2^{3/4} G_F^{1/2} m_t$) для топ-кварка численно очень близка к единице.

Какова роль t -кварка?

- адронов, содержащих топ-кварк нет
- в СМ обеспечивает сокращение киральных аномалий ($(Q_{\text{top}} + Q_b) \times N_c + Q_{\text{tau}} = 0$)
- большой петлевой вклад в массу бозона Хиггса: проблема иерархий в СМ, но сдвигает массу легкого Хиггса МССМ в допустимую экспериментально область $\leq 135 \text{ GeV}$
- лаборатория для поиска отклонений от СМ
- ключевой объект в различных расширениях СМ

В СМ топ-кварк распадается на W-бозон и b-кварк практически со 100% вероятностью



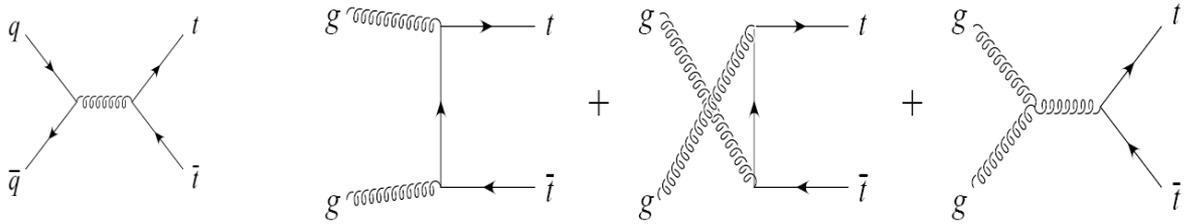
Ширина распада в лидирующем порядке:

$$\Gamma_{tot}^t = \frac{G_F}{8\pi\sqrt{2}} |V_{tb}|^2 m_t^3 \left(1 - \frac{M_W^2}{M_t^2}\right) \left(1 + \frac{M_W^2}{M_t^2} - 2\frac{M_W^4}{M_t^4}\right)$$

$$\Gamma(t \rightarrow bW)_{LO} \simeq 1.53 \text{ GeV}, \quad \Gamma(t \rightarrow bW)_{correc} = 1.42 \text{ GeV}$$

На адронных коллайдерах топ-кварк рождается парами или одиночно

Два механизма парного рождения (Top pair) :

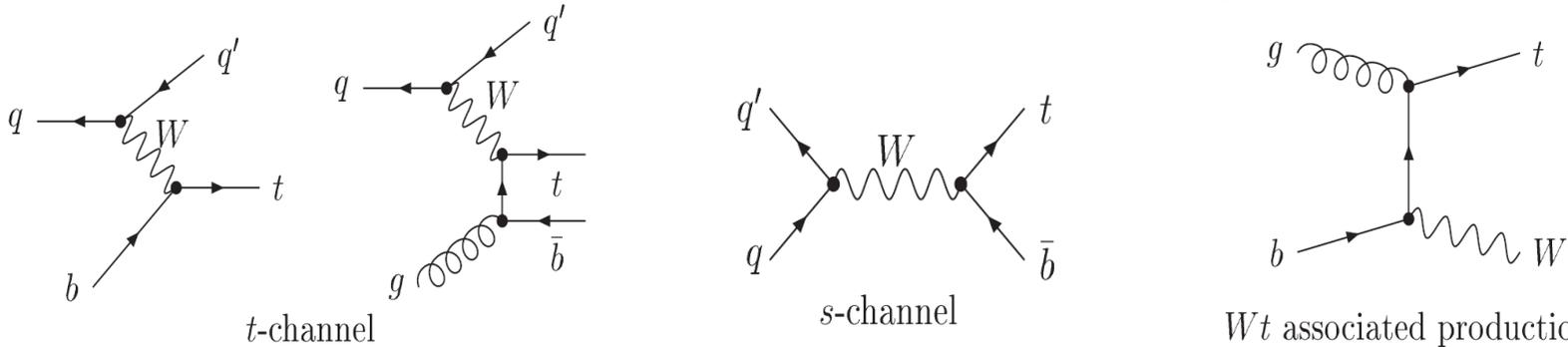


Top pair

Single top

electroweak top-W-b coupling in production

Три механизма одиночного рождения (Single top) :



t-channel ($Q_W^2 < 0$)

s-channel ($Q_W^2 > 0$)

associated tW ($Q_W^2 = M_W^2$)

Q_W^2 - W-boson virtuality

Сечения основных процессов парного рождения топ-кварка

NLO + NLL resummation

Tevatron, 1.96 TeV: $\sigma = 7.1 \pm 0.5$ pb

LHC, 7 TeV: $\sigma = 163 \pm 11$ pb

10 TeV: $\sigma = 414 \pm 35$ pb

14 TeV: $\sigma = 920 \pm 60$ pb

Kidonakis

Сечения основных процессов одиночного рождения топ-кварка

NLO + NLL resummation

Tevatron, 1.96 TeV: s-channel $\sigma = 0.88 \pm 0.11$ pb

t-channel $\sigma = 1.98 \pm 0.25$ pb

Sullivan

3 pb

LHC, 7 TeV: t-channel $\sigma = 64.3 \pm 3.1$ pb

s-channel $\sigma = 4.6 \pm 0.2$ pb

tW-channel $\sigma = 15.6 \pm 1.1$ pb

89 pb

LHC, 14 TeV: t-channel $\sigma = 243 \pm 6$ pb

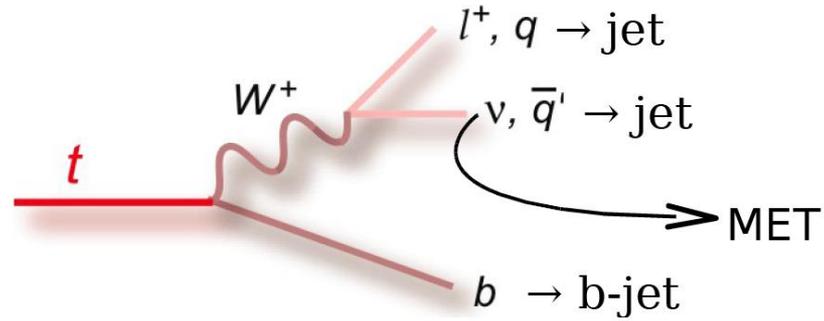
s-channel $\sigma = 11.9 \pm 0.5$ pb

tW-channel $\sigma = 84 \pm 6$ pb

339 pb

Сечение одиночного рождения составляет ~40% от парного

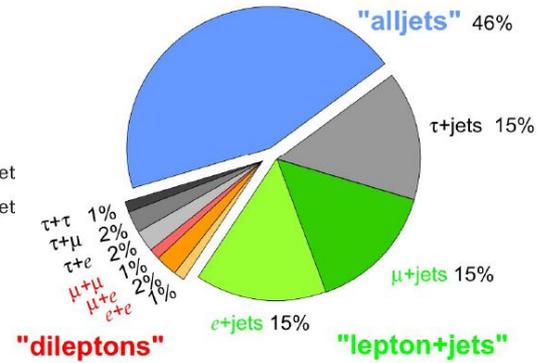
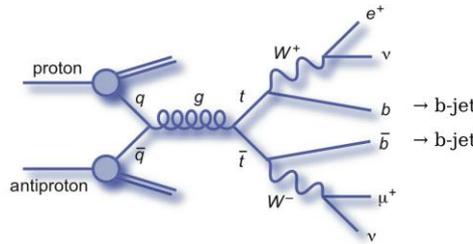
- Top decays:



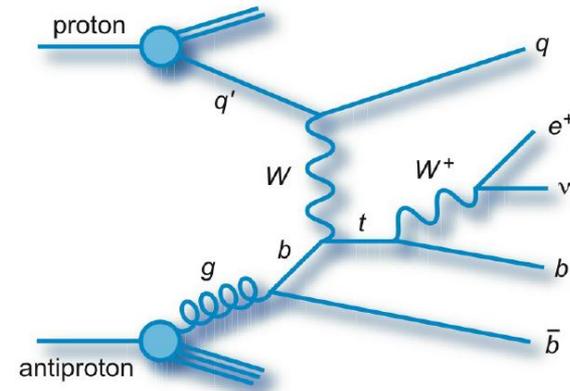
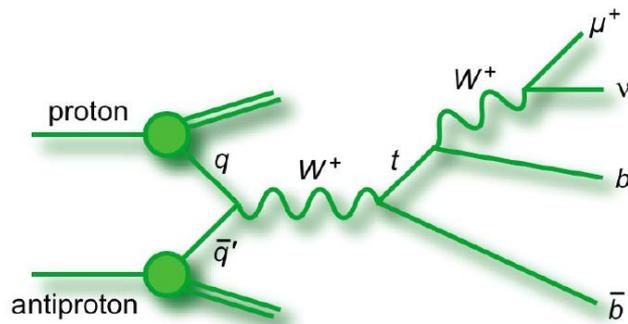
Top Pair Branching Fractions

- Top pair signatures:

- lepton + jets
- dilepton
- all jets

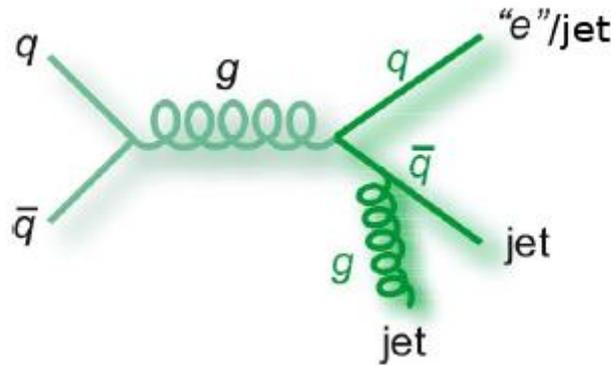


- Single Top Signatures:



Фон - серьезная проблема для выделения топ-кварка

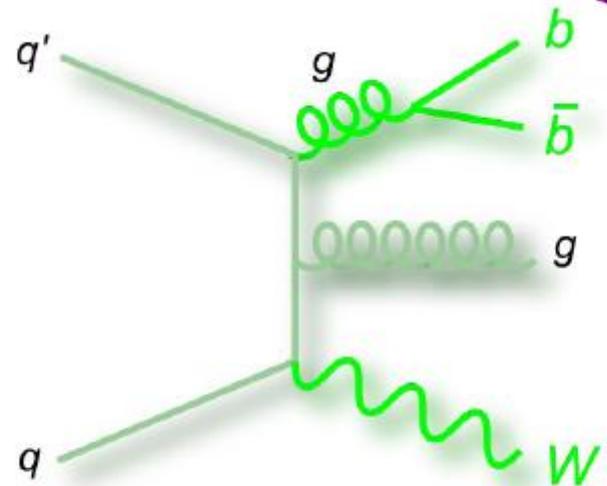
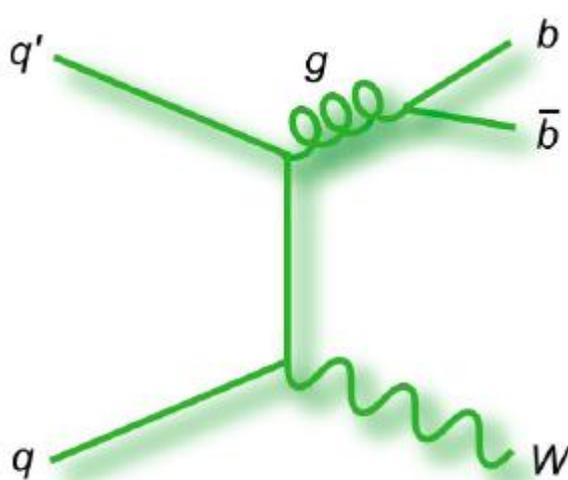
- Multi-jet



From data:

- Orthogonal sample with looser lepton ID
- B-tag jets randomly

- W+jets



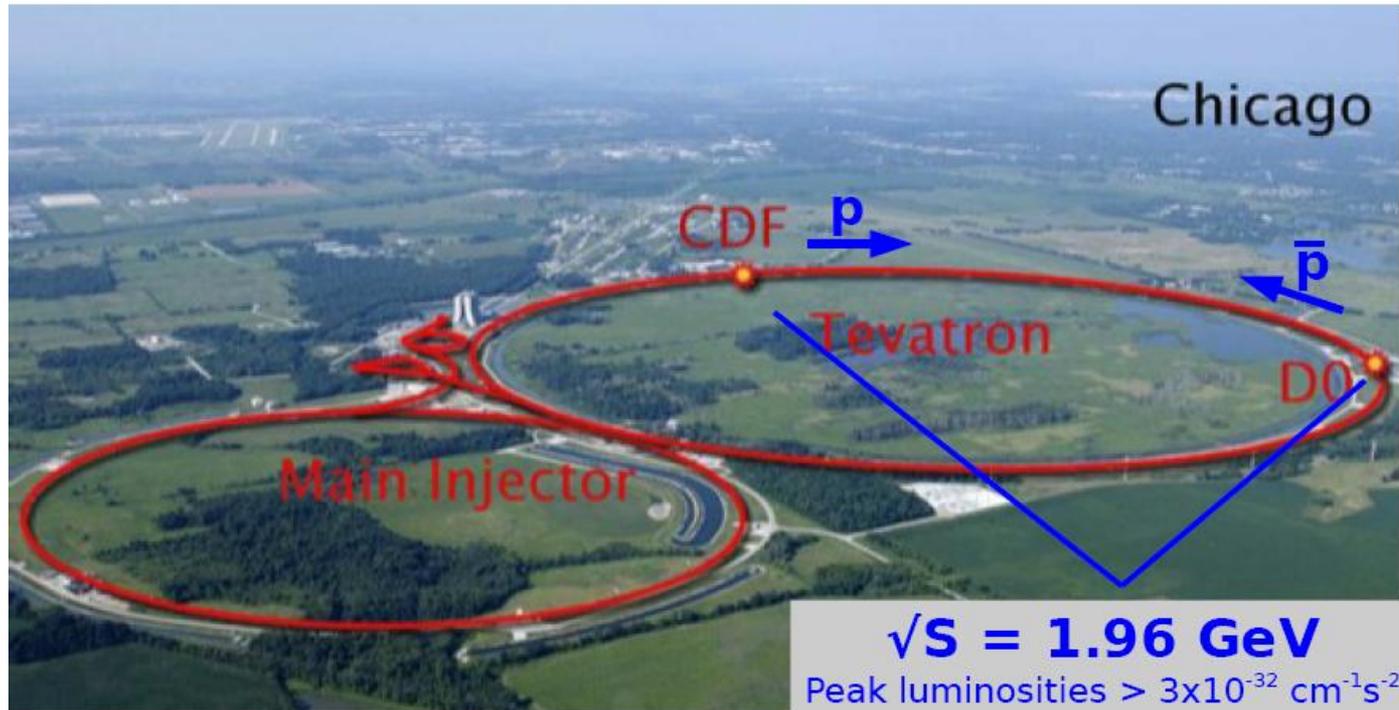
MC

- Z+jets, diboson (WW,ZZ,WZ)

- Top pair is a background to single top!

Открытие топ-кварка в парном рождении - 1995 г.

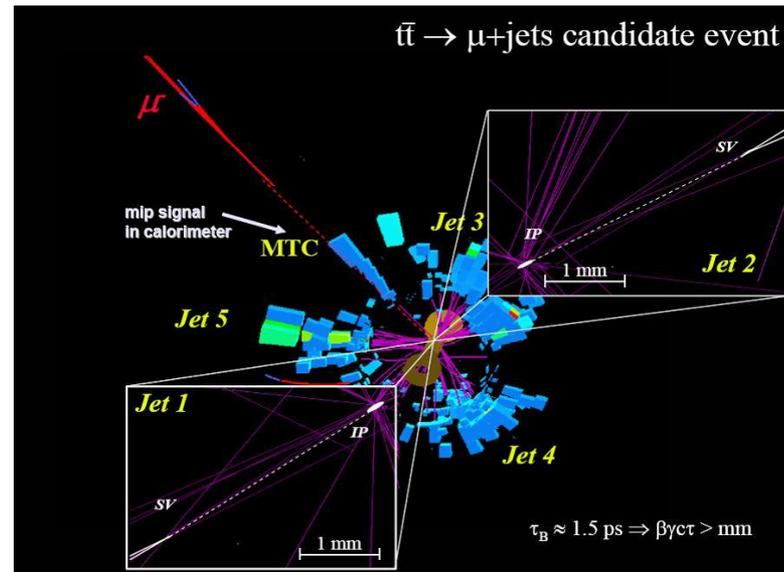
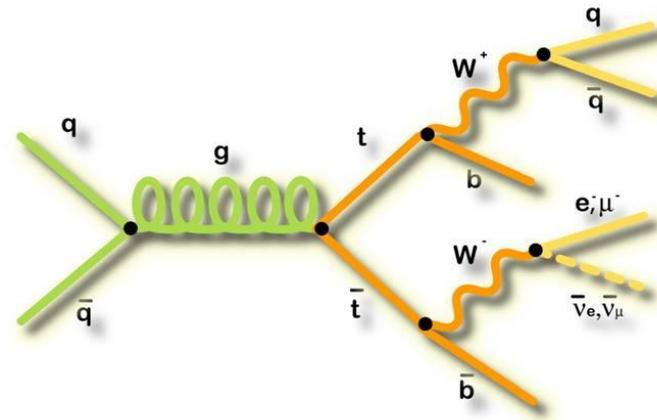
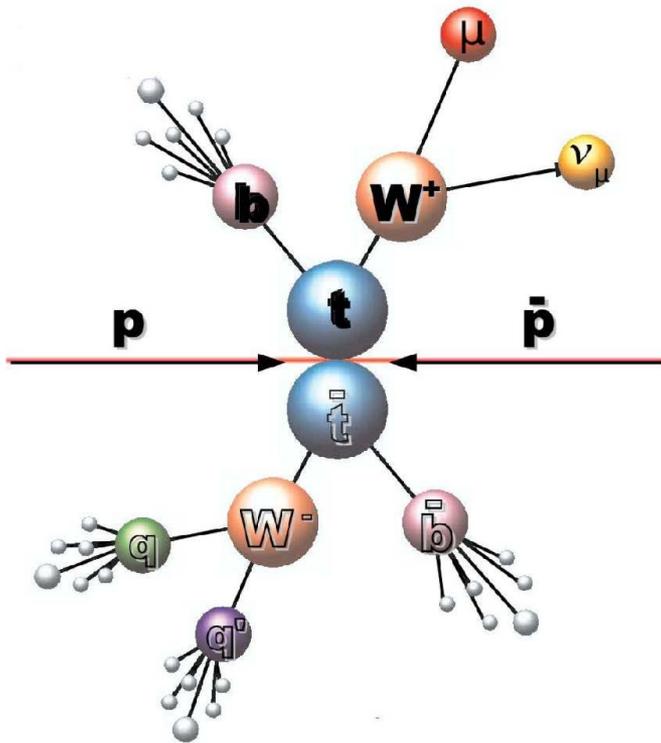
Открытие одиночного рождения (5 sigma effect) - 2009 г.



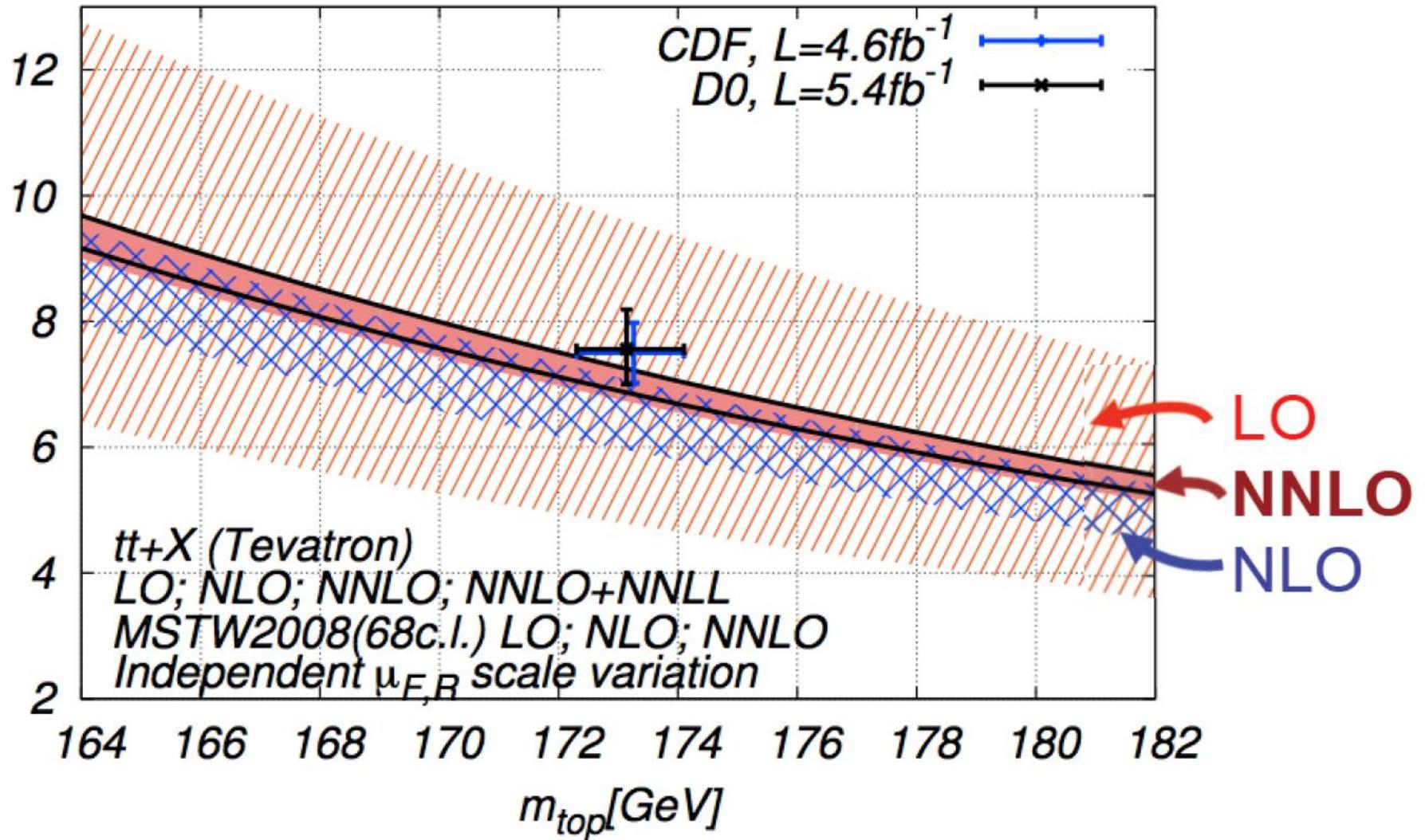
Tevatron 2010 combined (Blue method): $m_t = 173.3 \pm 1.1 \text{ GeV}$

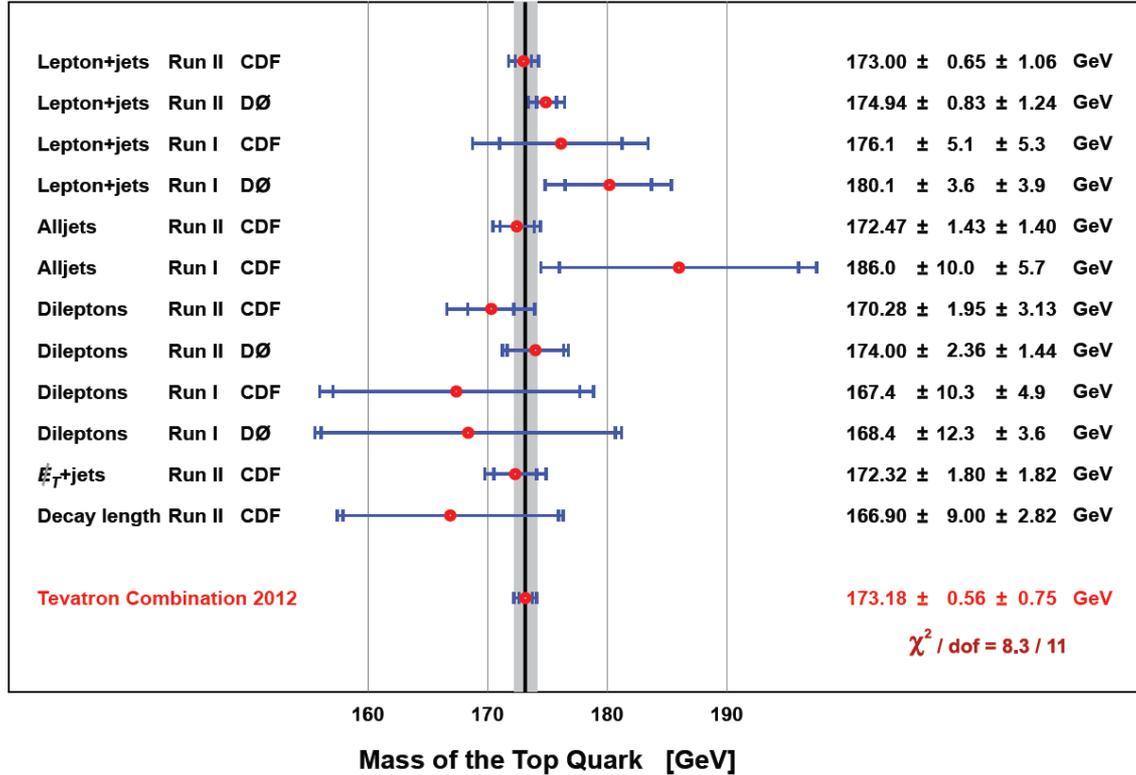
Tevatron 2010 combined: $|V_{tb}|_{\text{measured}} = 0.88 \pm 0.07$ or $0.77 < |V_{tb}|_{\text{measured}} \leq 1$ 95% C.L.

Самая тяжелая из существующих частиц (Тор quark) был открыт в Fermilab в 1995 году коллаборациями CDF и D0



Top pair cross section measurement to be compared to precise computations





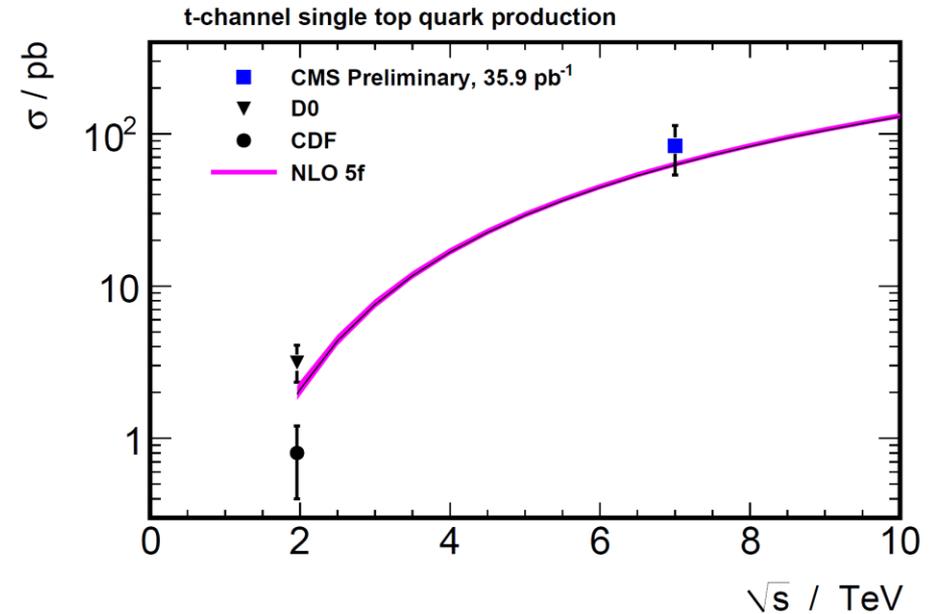
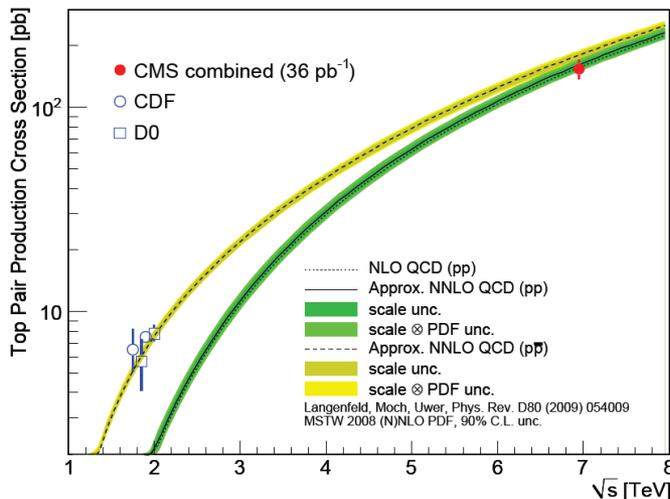
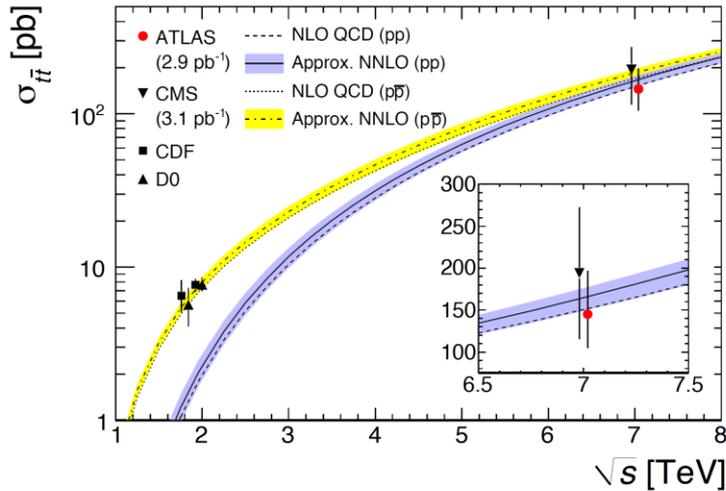
$$m_t^{\text{comb}} = 173.18 \pm 0.56 (\text{stat}) \pm 0.75 (\text{syst}) \text{ GeV}$$

$$= 173.18 \pm 0.94 \text{ GeV}$$

Парное и одиночное рождение топ-кварка уже обнаружены на LHC

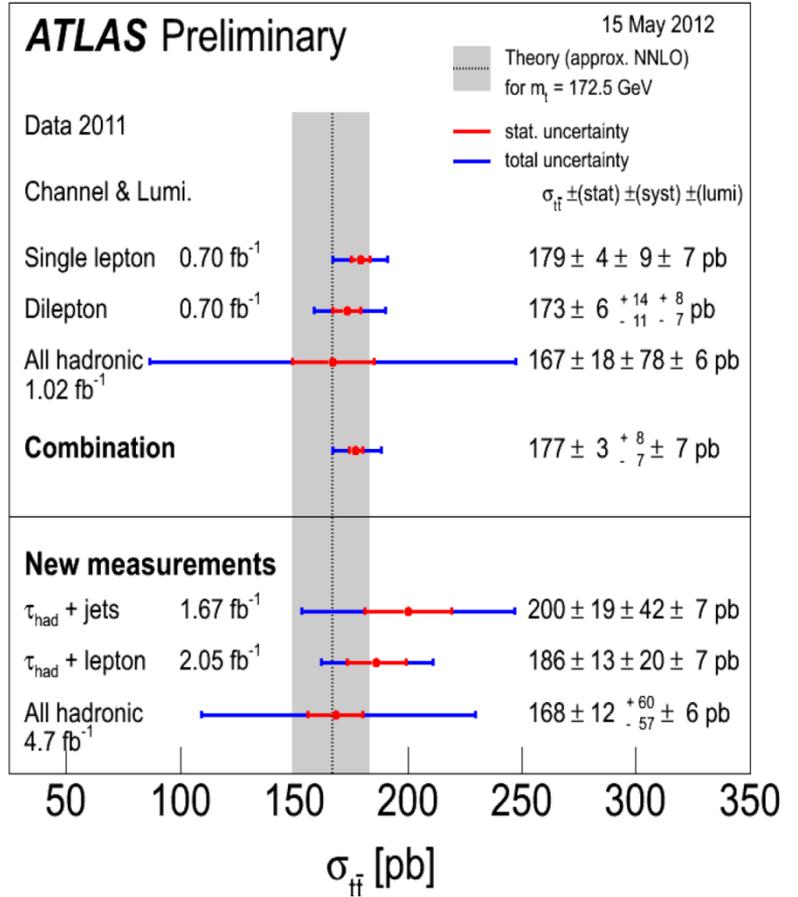
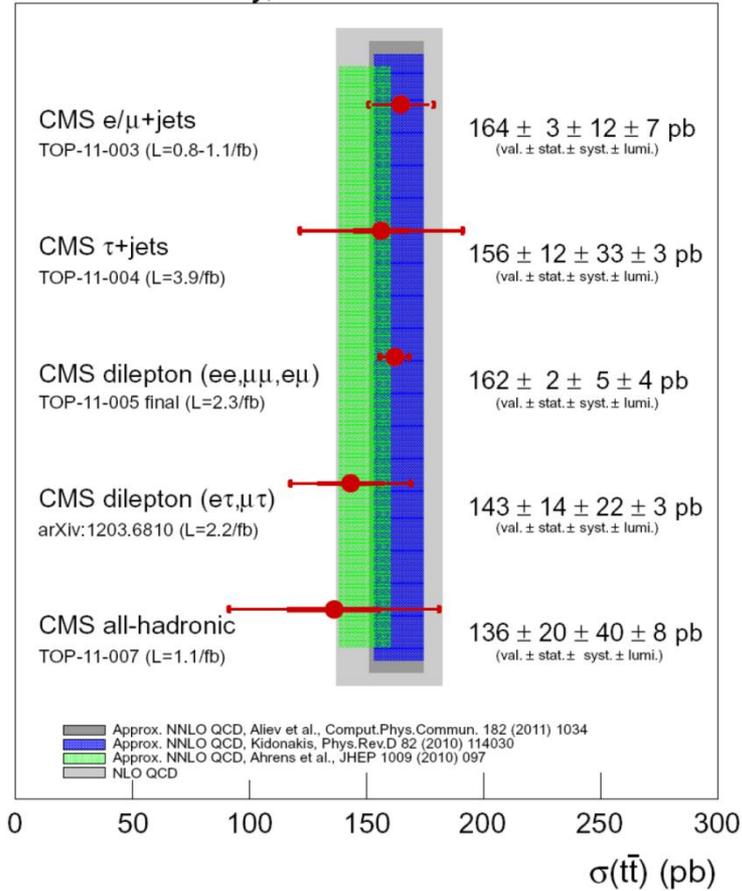
Phys. Lett. B695, 424 (2010) (CMS)

Eur.Phys.J. C71, 1577 (2011) (ATLAS)



$$|V_{tb}| = \sqrt{\frac{\sigma^{exp}}{\sigma^{th}}} = 1.16 \pm 0.22(exp) \pm 0.02(th)$$

CMS Preliminary, $\sqrt{s}=7$ TeV

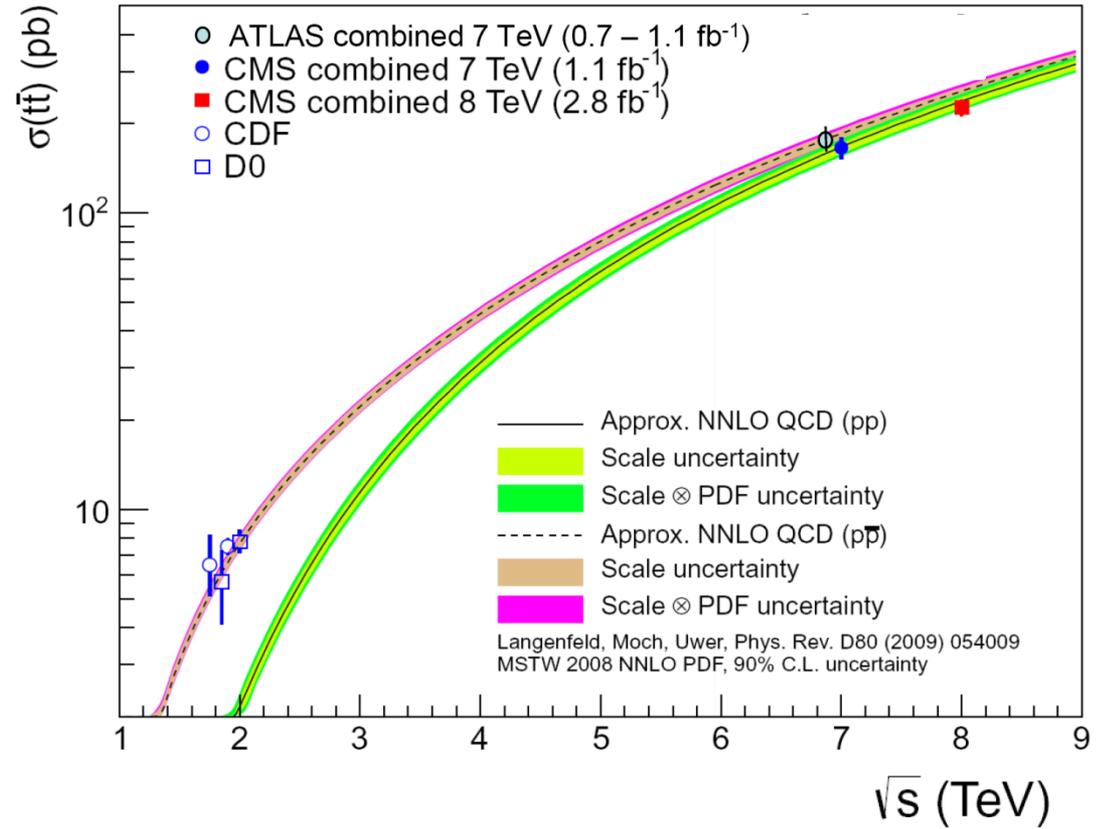
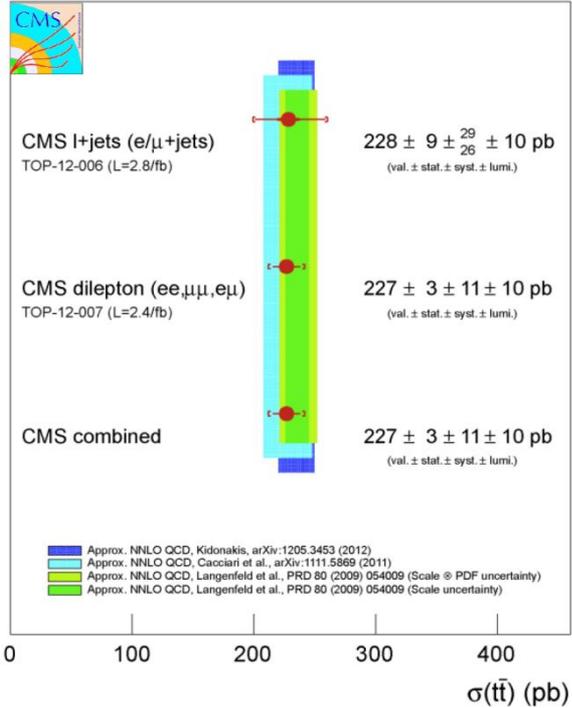


ATLAS $\sigma = 177 \pm 3$ (stat) ± 7 (syst.) ± 7 (lum.) pb

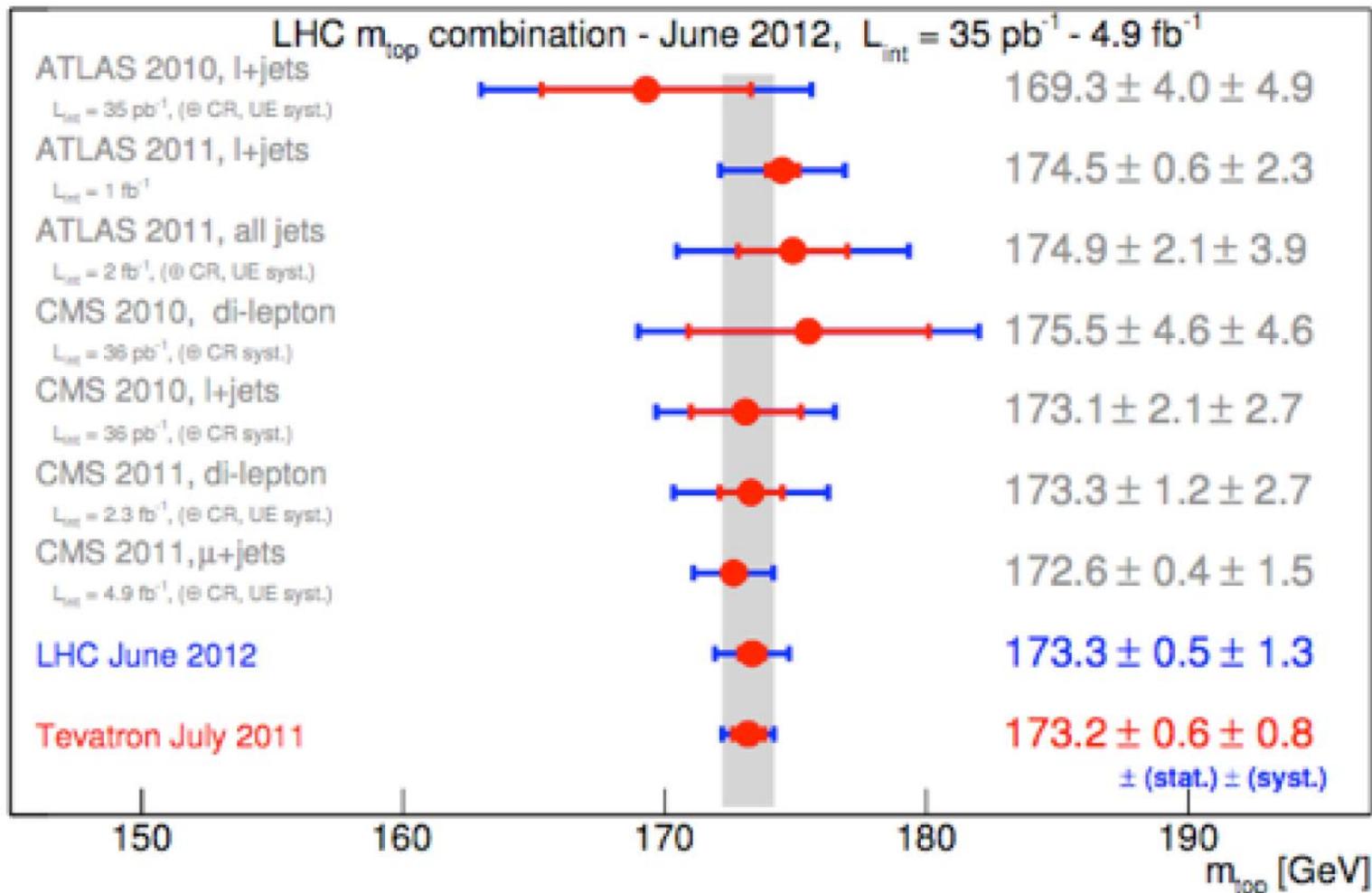
CMS $\sigma = 165.8 \pm 2.2$ (stat) ± 10.6 (syst.) ± 7.8 (lum.)pb

NLO+NLL: 7 TeV: $\sigma = 163 \pm 11$ pb

CMS Preliminary, $\sqrt{s}=8$ TeV



$$\sigma(8\text{TeV})/\sigma(7\text{TeV}) = 1.41 \pm 0.11$$



LHC: $m_{\text{top}} = 173.3 \pm 0.5 (\text{stat}) \pm 1.3 (\text{syst}) \text{ GeV}$
 $= 173.3 \pm 1.4 \text{ GeV}$

TEVATRON:

$$m_t^{\text{comb}} = 173.18 \pm 0.56 \text{ (stat)} \pm 0.75 \text{ (syst)} \text{ GeV}$$
$$= 173.18 \pm 0.94 \text{ GeV}$$

LHC: $m_{\text{top}} = 173.3 \pm 0.5 \text{ (stat)} \pm 1.3 \text{ (syst)} \text{ GeV}$

$$= 173.3 \pm 1.4 \text{ GeV}$$

Most precise known quark mass !

$$m_{\text{MC}} = m_{\text{Pole}} (1 \pm \Delta)$$

$$\Delta \stackrel{?}{=} \begin{cases} \frac{\Lambda}{m} \approx 0.13\% \\ \frac{\Gamma}{m} \approx 0.8\% \\ \frac{\alpha_s}{\pi} \approx 3.7\% \end{cases}$$

Peter Uwer

Single top

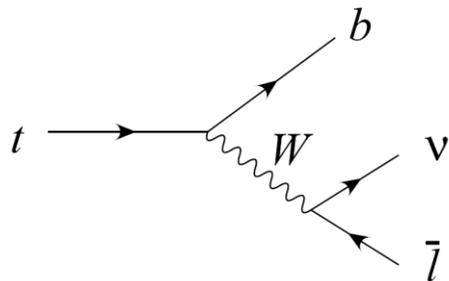
- Независимый электрослабый канал рождения
- Возможность прямого измерения параметра $|V_{tb}|$ матрицы CKM
- Существенный фон для поисков бозона Хиггса и многих процессов за рамками SM, в частности, MSSM
- Уникальные спиновые корреляции
- Особый интерес для поисков "новой физики"
 - W_{tb} anomalous couplings
 - FCNC
 - поиск W' (например, возбуждение Kaluza-Klein W -бозона)
 - поиски проявлений новой сильной динамики (π_T, ρ_T)
 - ...
- Новая методика извлечения слабых сигналов из фонов

Willenbrock, Dicus; Yuan; Cortese, Petronzio; Jikia, Slabospitsky; Ellis, Parke; Kane, Ladinsky, Yuan; Heinson, Belyaev, Boos; Stelzer, Willenbrock; Tait, Yuan; Belyaev, Boos, Dudko; Stelzer, Sullivan, Willenbrock; Boos, Dudko, Ohl; Tait, Yuan; Beccaria, Macorini, Renard, Verzegnassi; Cao, Wudka, Yuan.....

Спиновые корреляции в одиночном рождении топ-кварка

V-A структура взаимодействия

$$d\Gamma \sim |\mathcal{M}|^2 \sim (t + ms) \cdot lb \cdot \nu$$



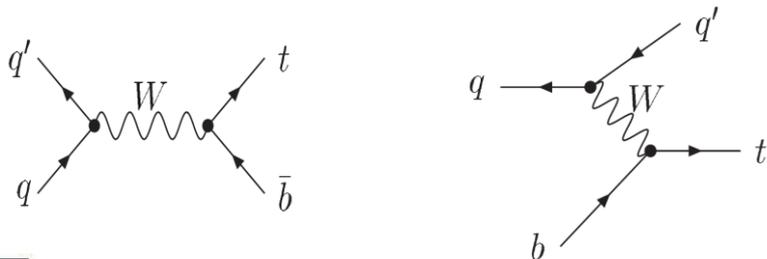
в системе покоя топ-кварка:

$$\frac{1}{\Gamma} \frac{d\Gamma}{d \cos \theta_\ell} = \frac{1}{2} (1 + \cos \theta_\ell) \quad s = (0, \hat{s})$$

где угол - это угол между трех-вектором спина и импульсом заряженного лептона

Одиночное рождение как распад назад во времени

Mahlon, Parke;
Boos, Sherstnev

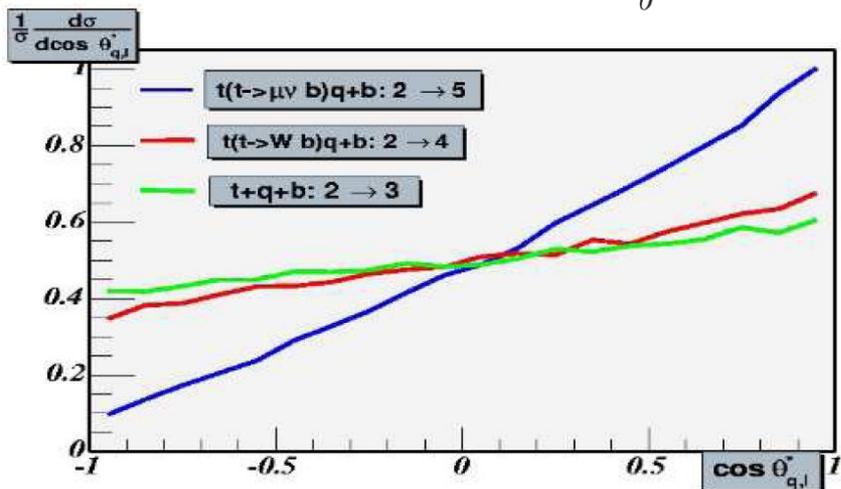


Нижняя компонента слабого изодублета - d-кварк в рождении играет роль лептона в распаде

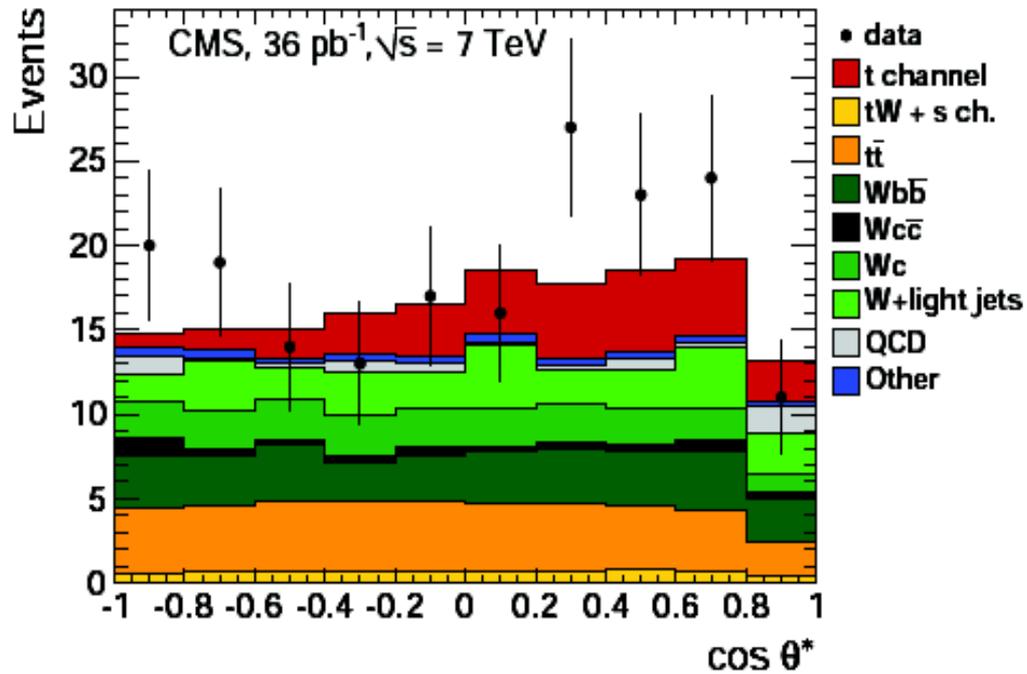
t-channel production

Наилучшая спиновая корреляционная переменная - угол между лептоном в распаде и импульсом рожденной легкой струи в системе покоя топ-кварка

$$\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{d \cos \theta_{ql}^*} = \frac{1 + P \cos \theta_{ql}^*}{2} \quad P_{top} \approx 90\%$$

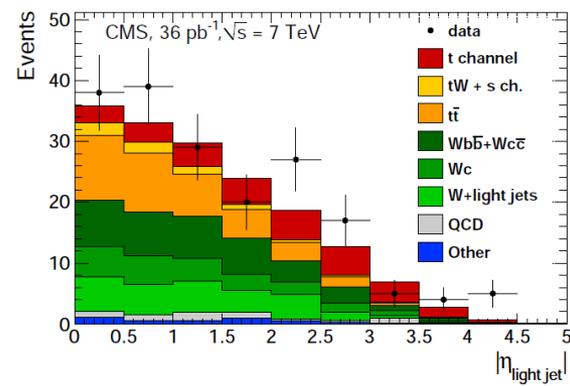
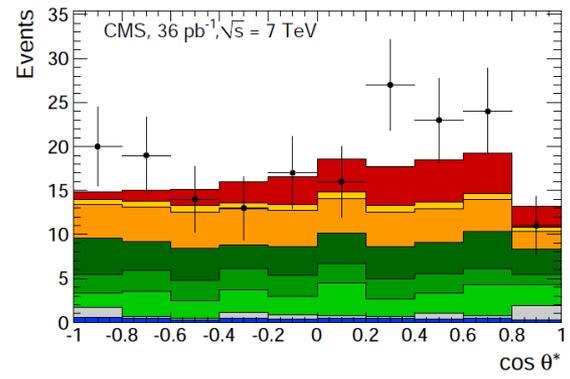


Best spin correlation variable in searches for single top

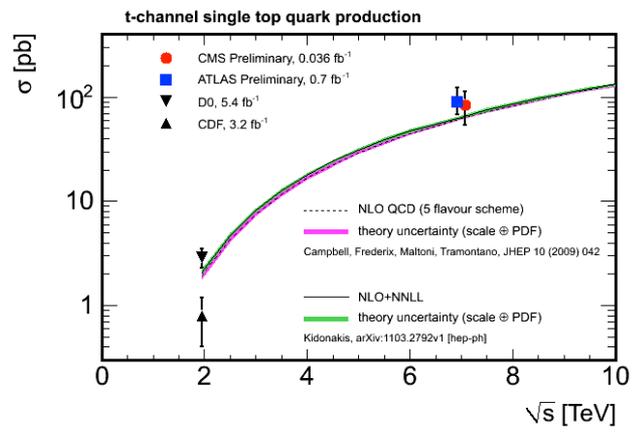
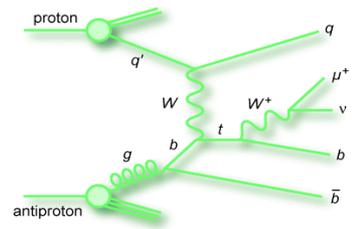
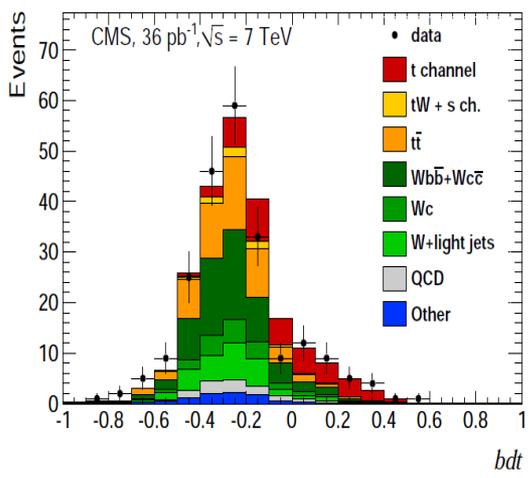


Обнаружение одиночного рождения топ-кварка в эксперименте CMS на БАК двумя методами

2D analysis

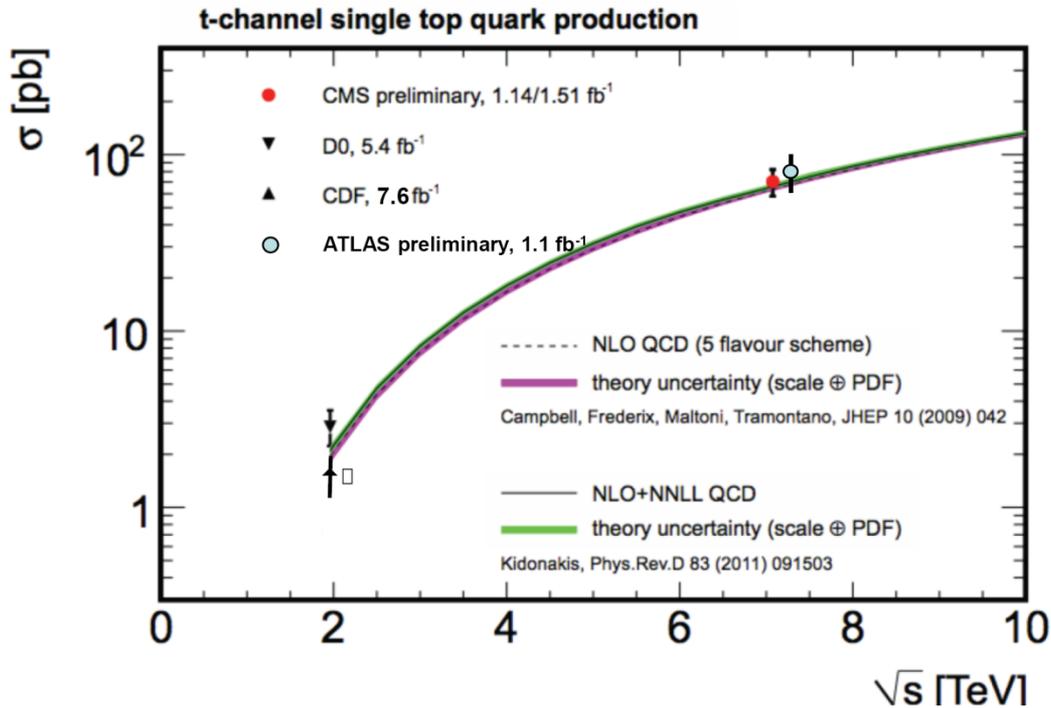


Boosted decision tree analysis



Измеренное сечение одиночного рождения $83.6 \pm 29.8(\text{stat+sys}) \pm 3.3(\text{lumi}) \text{ pb}$
 Сходится с предсказанием Стандартной модели
 Phys. Rev. Lett. 107, 091802 (2011)

New results at ICHEP 2012



ATLAS: $\sigma = 83 \pm 4$ (stat.) ± 20 -19(syst.) pb

CMS: $\sigma = 70.2 \pm 5.2$ (stat.) ± 10.4 (syst.) ± 3.4 (lumi.) pb

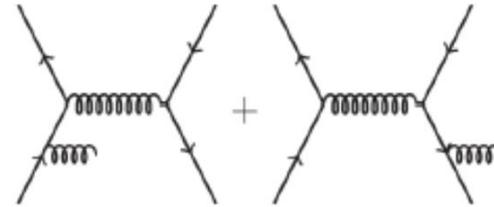
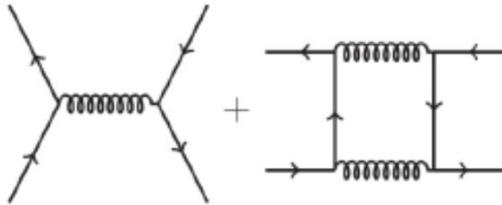
First measurements of tW production cross section

ATLAS: $\sigma = 16.8 \pm 2.9$ (stat.) ± 4.9 (syst.) pb

CMS: $\sigma = 22 \pm 9$ (stat. + syst.) pb

tW NLO: $\sigma = 15.6 \pm 1.1$ pb

tT forward-backward and charge asymmetries



Tevatron

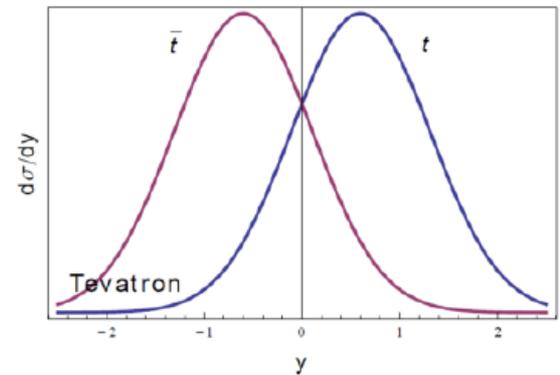
$$A_{\text{rest}}(t\bar{t}) = \frac{N_t(\Delta y > 0) - N_t(\Delta y < 0)}{N(\Delta y > 0) + N(\Delta y < 0)}$$

$$A_{\text{rest}}^{\text{theory}} = 0.07 \pm 0.006$$

Kuehn, Rodrigo

$$A_{\text{rest}} = 0.15 \pm 0.05 \quad \text{CDF}$$

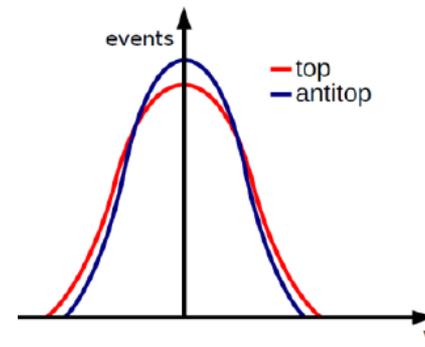
$$A_{\text{rest}} = 0.196 \pm 0.065, \quad \text{D0}$$



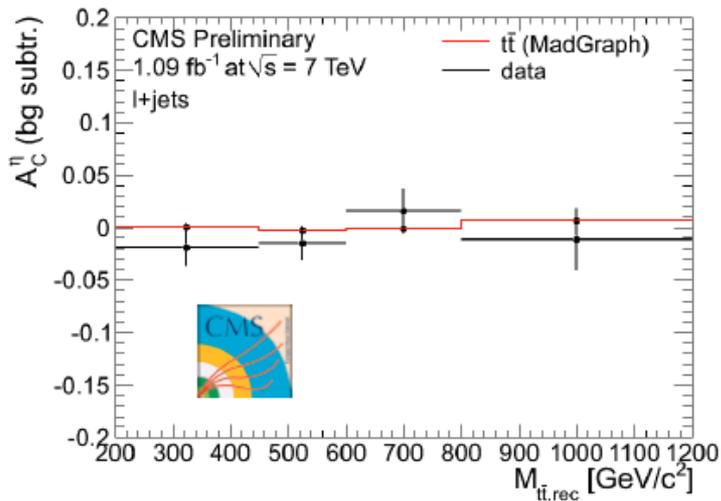
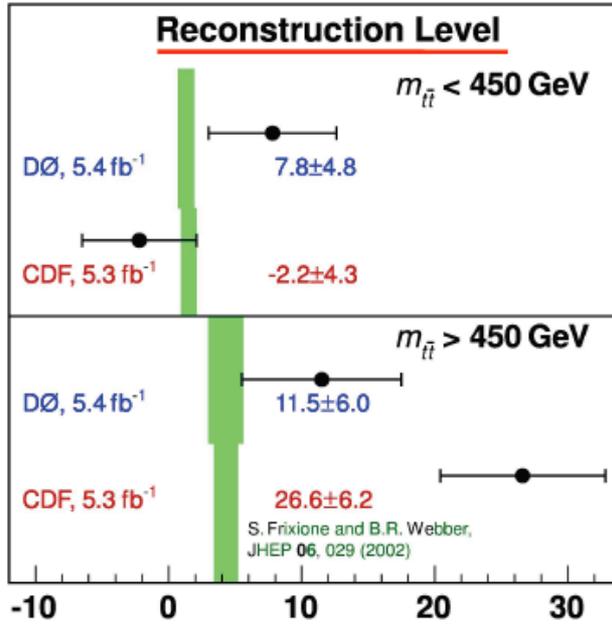
LHC

$$A_C = \frac{N(\Delta|y| > 0) - N(\Delta|y| < 0)}{N(\Delta|y| > 0) + N(\Delta|y| < 0)}$$

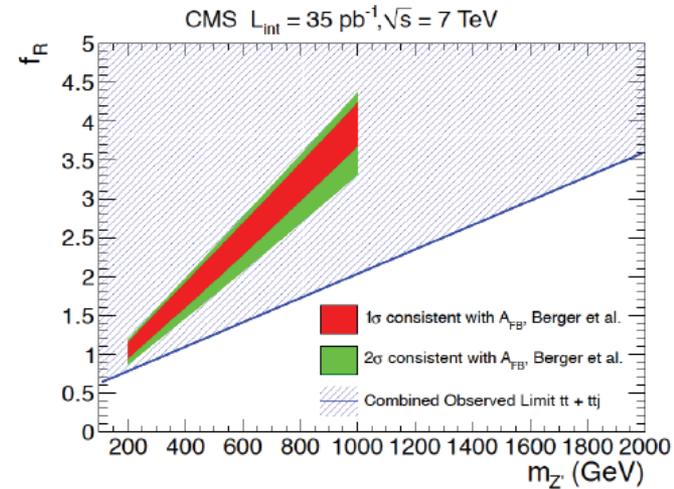
$$\Delta|y| = |y_t| - |y_{\bar{t}}|$$

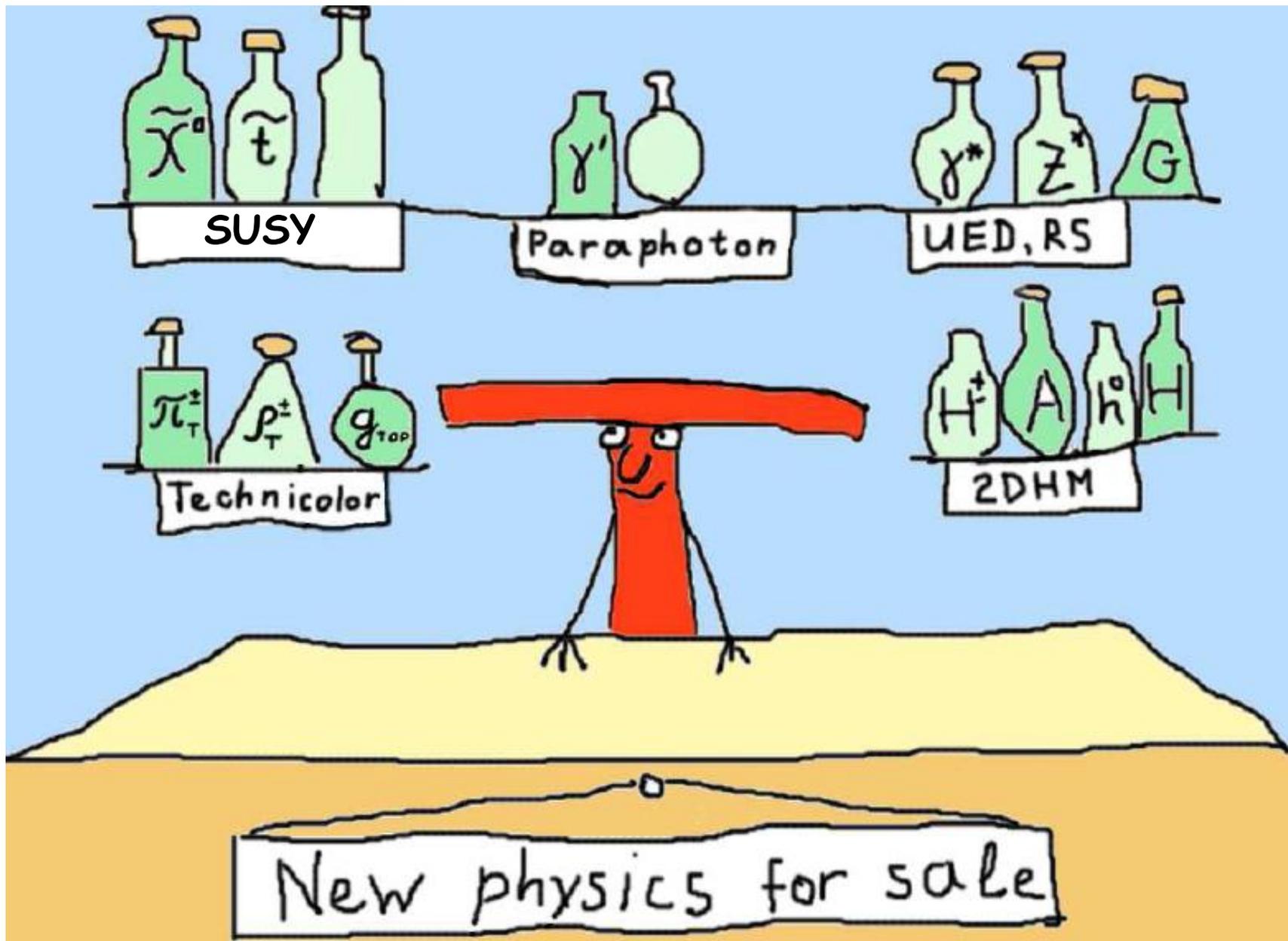


Forward-Backward Top Asymmetry, %



LHC ruled out most interesting t-channel possibilities





Страхи в связи с образованием черных дыр и прочего

(LHC Safety Assessment Group)

LHC: $L=10^{34} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, Типичное сечение адронных взаимодействий- 10^{-24} cm^2

Число событий за рабочий год- $10^{34} \cdot 10^{-24} \cdot 3 \cdot 10^7 = 3 \cdot 10^{17}$ событий

Энергия 7 TeV в системе центра масс эквивалентна энергии столкновения протона, падающего на неподвижную мишень, 10^{17} eV .

Поток космических протонов с энергией $> 10^{17} \text{ eV}$ составляет $5 \cdot 10^{-14} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$

Площадь поверхности Земли примерно - $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^2$

Возраст Земли примерно - $4 \cdot 10^9$ лет = $12 \cdot 10^{16} \text{ s}$

→ Число таких протонов за год - $3 \cdot 10^{22}$ - Это 10^5 годовых программ LHC

Солнце в 10^5 раз больше Земли → Это 10^{10} годовых программ LHC

Наша галактика Млечный Путь содержит примерно 10^{11} звезд типа Солнца → Это дает 10^{21} годовых программ LHC

Примено 10^{11} галактик в видимой Вселенной → 10^{32} годовых программ LHC

Природа уже реализовала 10^{32} годовых программ LHC и ничего...
LHC безопасен!!!