

*Поиск эффектов
за рамками Стандартной Модели
в процессах одиночного рождения t -кварка
в эксперименте $D0$
на коллайдере $TEVATRON$*

Максим Перфилов

по материалам кандидатской диссертации

*науч. руководители
д.ф.-м.н. Боос Э.Э, к. ф.-м.н. Дудко Л.В.*

Семинар ОФВЭ ИЯИ РАН,, 28.03.2011

Поиск отклонений от СМ: топ-кварк в Стандартной Модели

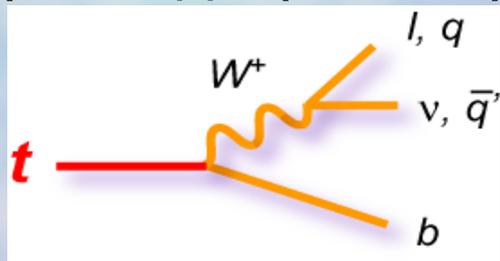
Три поколения кварков

u	c	t
d	s	b

(V-A) тип вершины взаимодействия

$$\Gamma_{\mu tqW} = -\frac{g}{\sqrt{2}} V_{tq} \bar{u}(p_q) \gamma_{\mu} \frac{1}{2} (1 - \gamma_5) u(p_t)$$

Основная мода распада (~100%):



t-кварк
в СМ

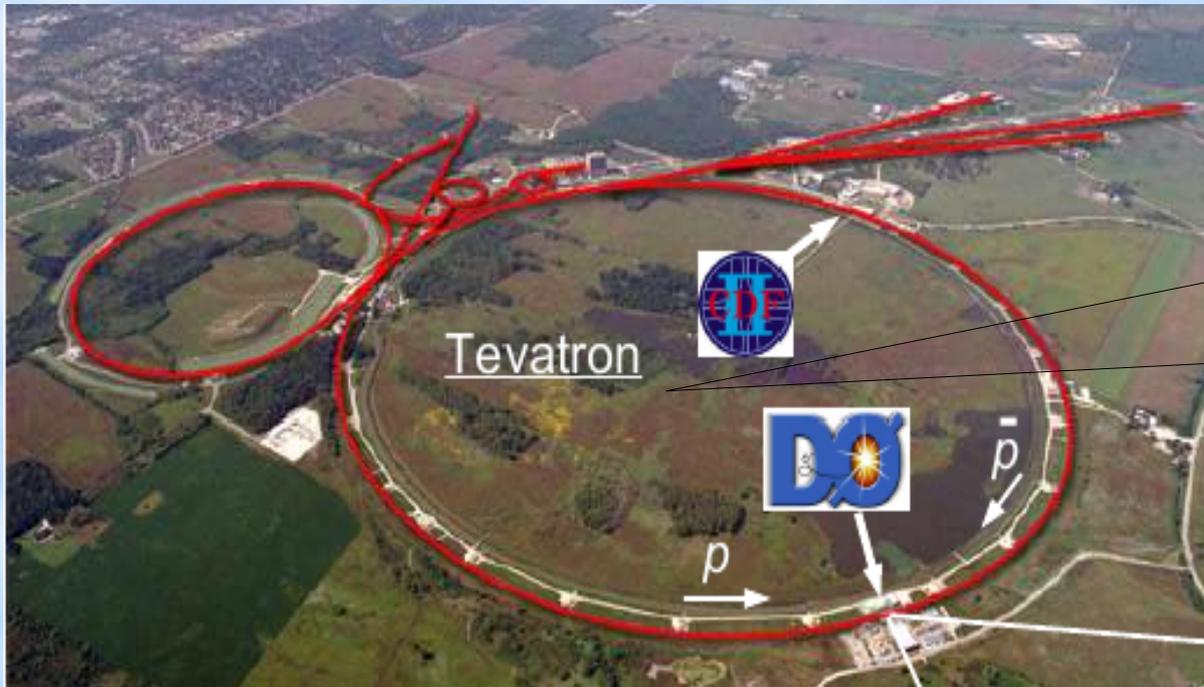
$M_{\text{top}} = 172 \text{ ГэВ}$
(PDG, 2010)

...топ-кварк
в силу своих свойств - отличный кандидат
для проверки отклонений от СМ...

Поиск отклонений от СМ: особые свойства топ-кварка



Поиск отклонений от СМ: Тэватрон; CDF и D0 детекторы

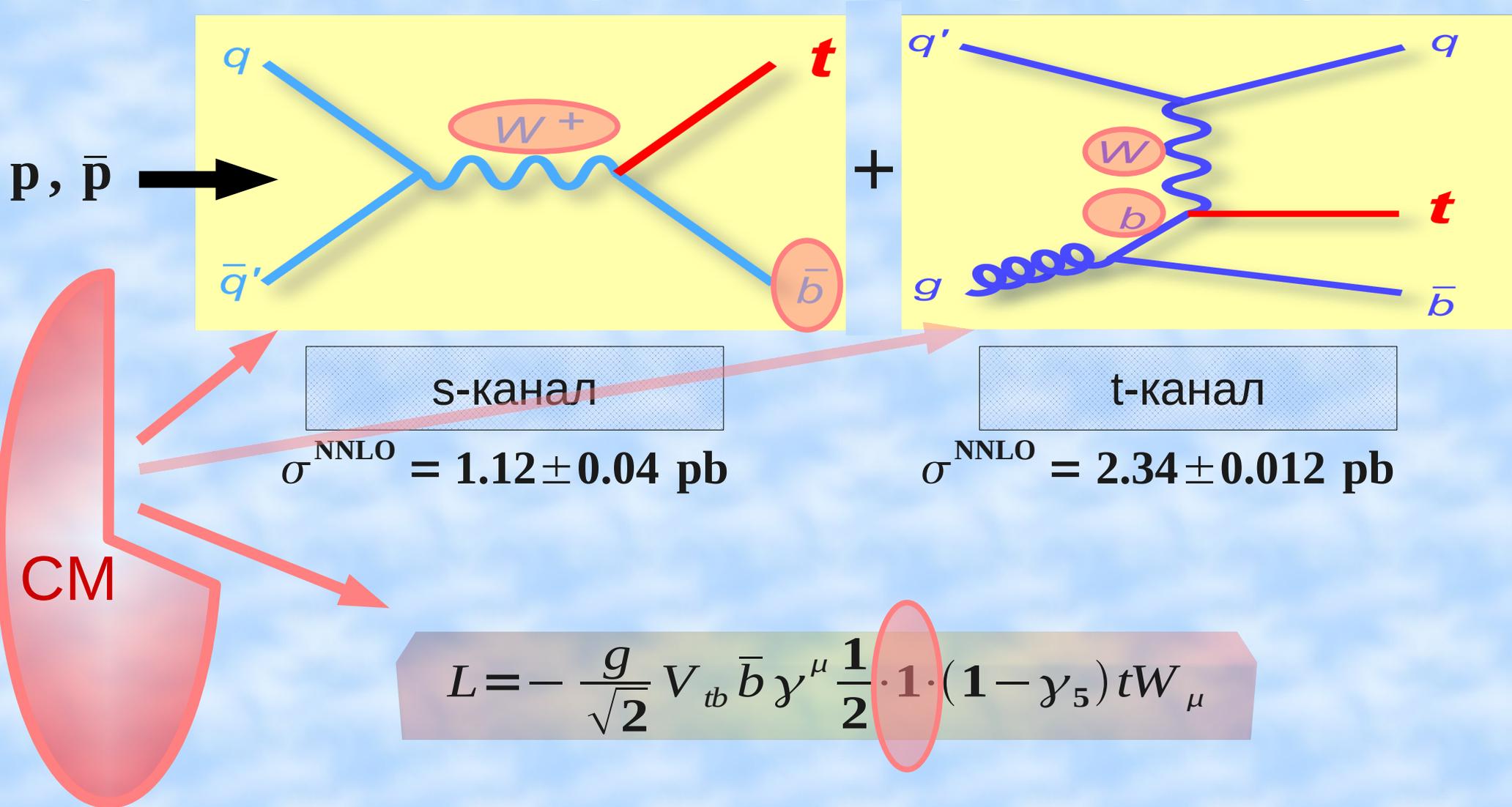


ТЭВАТРОН
протон-антипротонный
ускоритель
на встречный пучках
 $\sqrt{s} = 1960$ ГэВ

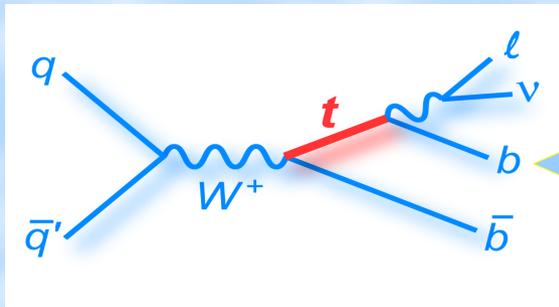
D0-детектор:
анализ данных, собранных
с лета 2002 по лето 2007



Процессы одиночного рождения топ-кварка на Тэватроне:

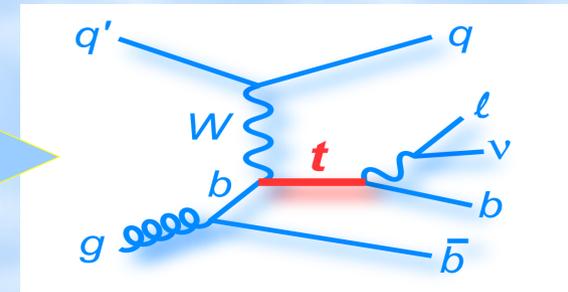


Поиск отклонений от СМ: процессы

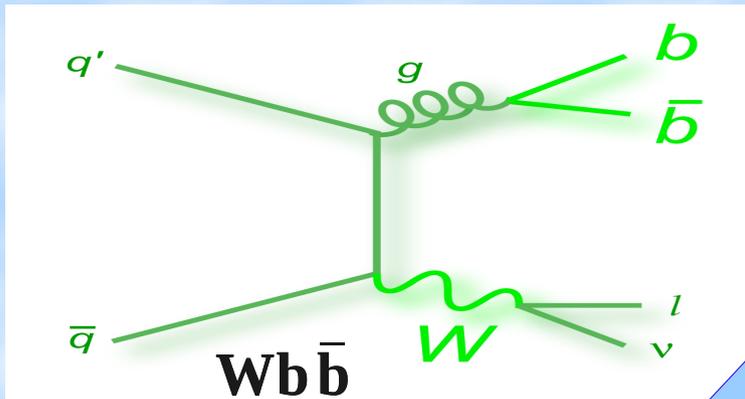


s-канал, tb -процесс

СИГНАЛ
рождение одиночного
топ-кварка



t-канал, tqb -процесс

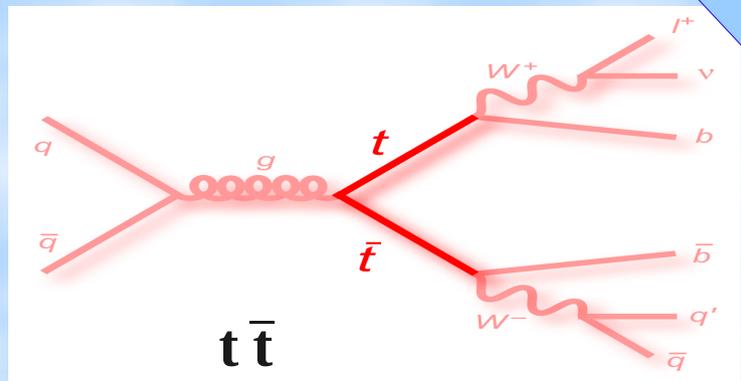


$Wb\bar{b}$

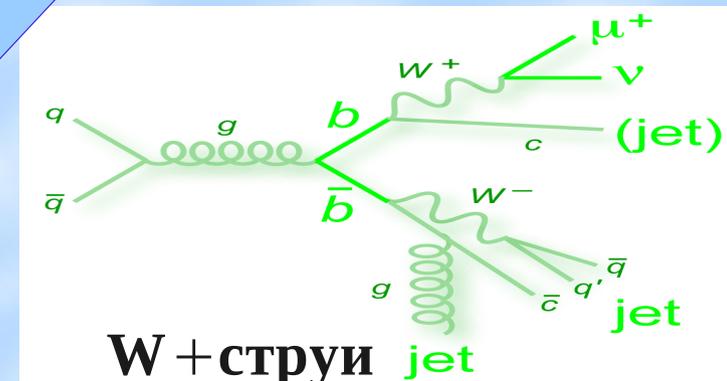


$Wq\bar{q}$

ФОН
парное рождение,
W + струи,
...



$t\bar{t}$



$W + \text{струи}$ jet

Поиск отклонений от СМ: направления D0 исследований

«Search for single top quark production...» Phys. Lett. B 622, 265 (2005)

- **верхние пределы для сечений рождения одиночного топ-кварка: 6.4 pb (s-канал), 5.0 pb (t-канал)**

«Evidence for production of single top quarks...» Phys. Lett. B 98, 18 (2007)

- **сечение рождения: 4.9 +/- 1.4 pb**

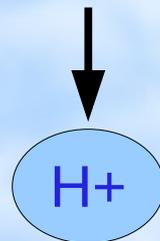
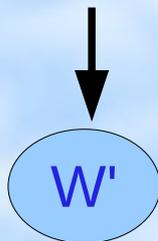
«Observation of Single Top Quark Production» Phys.Rev.Lett. 103:092001(2009)

- **сечение рождения 3.98 +/- 0.88**

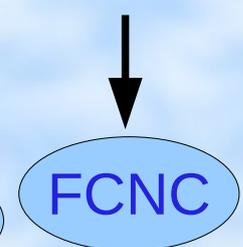
СМ

Отклонения от Стандартной Модели:

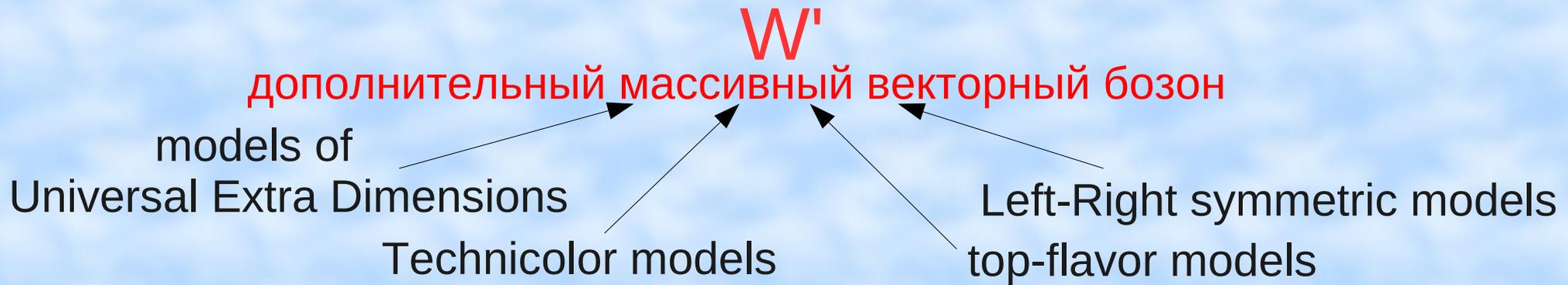
Новые частицы
в процессах рождения
одиночного топ-кварка



Модификация предсказываемых СМ
констант связи топ-кварка
с другими частицами



Поиск отклонений от СМ: W' и предыдущие результаты



Экспериментальные ограничения на массу W' :

- лептонный канал: $M_{W'} > M_{\nu_R}$ $M_{W'} > 786 \text{ ГэВ}$
(Affolder et al, Phys Rev Lett. **87**, 231803 (2001))
- кварковый канал: $M_{W'} < M_{\nu_R}$ $M_{W'} > 800 \text{ ГэВ}$
(Abazov et al, Phys Rev Rev D **69**, 111101 (2004))
- канал $W' \rightarrow t \bar{b}$: $M_{W'} > 536 \text{ GeV}$ при $M_{W'} > M_{\nu_R}$
 $M_{W'} > 566 \text{ GeV}$ при $M_{W'} < M_{\nu_R}$
(D. Acosta et al, Phys. Rev. Lett **90**, 081802 (2003))
- предполагается та или иная структура вершины взаимодействия W' с фермионами

Эффективный лагранжиан взаимодействия W' с фермионами

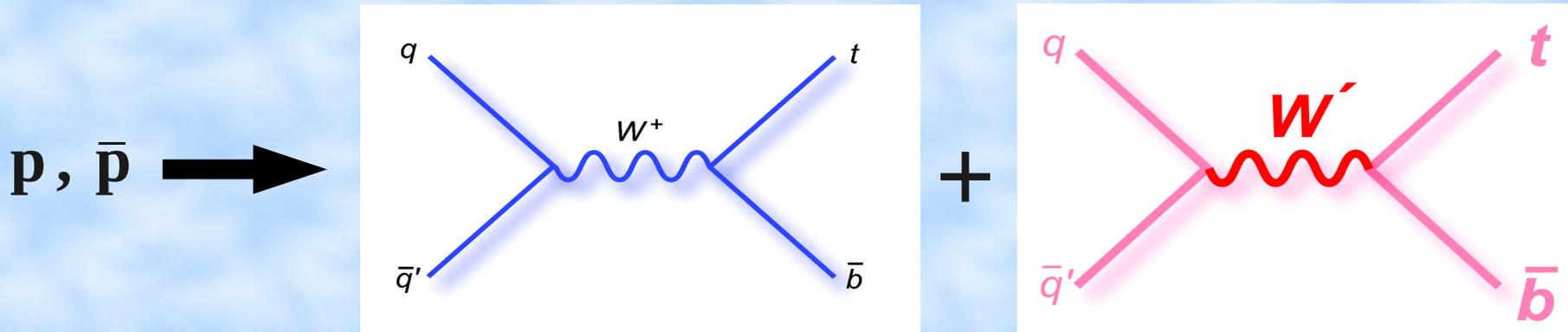
$$L_{q_i q_j W'} = \frac{V_{q_i q_j}}{2\sqrt{2}} g_W \bar{q}_i \gamma_\mu [a_{q_i q_j}^R (1 + \gamma_5) + a_{q_i q_j}^L (1 - \gamma_5)] W' q_j + \text{Э.С.}$$

$a_{q_i q_j}^R, a_{q_i q_j}^L$ – параметры связи W' с фермионами

$V_{q_i q_j}$ – соответствующий элемент ККМ – матрицы

$g_W = e/\sin(\theta)$ – калибровочная постоянная Стандартной Модели

Процесс s-канального рождения топ-кварка с участием W' :

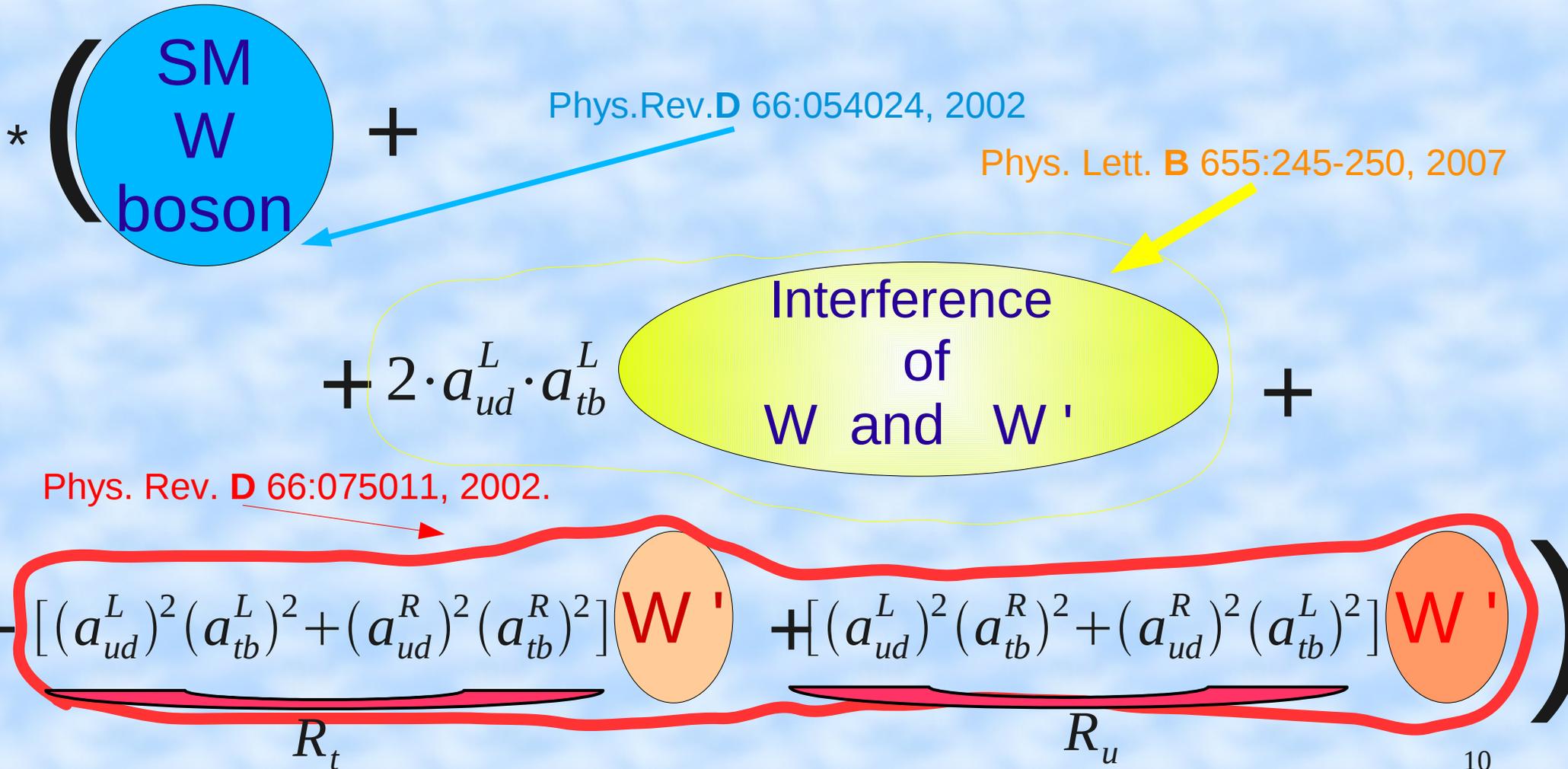


- интерференция между W -бозоном Стандартной Модели и W' в s-канале !

Поиск отклонений от СМ: матричный элемент

Матричный элемент для лидирующего подпроцесса:

$$|M_1(u\bar{d} \rightarrow W \rightarrow t\bar{b}) + M_2(u\bar{d} \rightarrow W' \rightarrow t\bar{b})|^2 = V_{tb}^2 \cdot V_{ud}^2 \cdot g_W^4 *$$

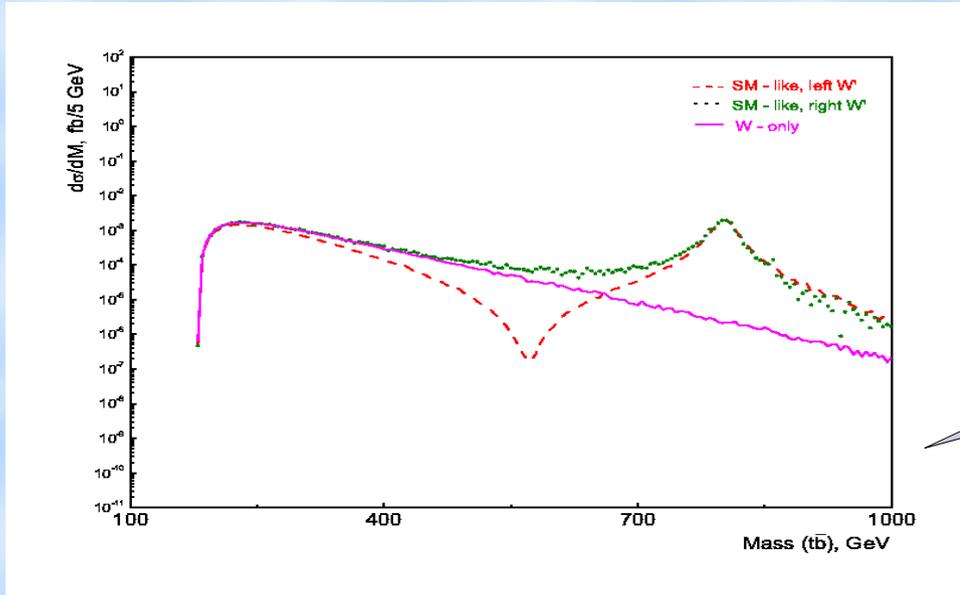


Поиск отклонений от СМ: вклад интерференции

$M_{W'}$, [GeV]	SM+left W'			SM+right W'	
	σ_{tot} , [pb]	Γ , [pb]	%	σ_{tot} , [pb]	Γ , [pb]
500	2.12660	-0.26399	12.36	2.3905	0
600	0.84553	-0.17941	21.22	1.0236	0
700	0.39600	-0.12185	30.77	0.5244	0
800	0.25584	-0.08550	33.42	0.3414	0
900	0.20500	-0.06256	30.52	0.2747	0
1000	0.20233	-0.04763	23.54	0.2500	0

Сечения одиночного рождения топ-кварка в s-канале в присутствии дополнительного заряженного векторного бозона W' и вклад интерференции между W' и W -бозоном стандартной модели.

Поиск отклонений от СМ: W' - распределения и моделирование



Зависимость сечения от инвариантной массы $t\bar{b}$ системы при $M_{W'} = 800$ ГэВ

$$|M|^2 = SM + 2 \cdot a_{ud}^L \cdot a_{tb}^L$$

Interference of W and W'

$$+ [(a_{ud}^L)^2 (a_{tb}^L)^2 + (a_{ud}^R)^2 (a_{tb}^R)^2] W' + [(a_{ud}^L)^2 (a_{tb}^R)^2 + (a_{ud}^R)^2 (a_{tb}^L)^2] W'$$

Для модельно независимого анализа необходимо отдельно смоделировать события со следующими значениями параметров взаимодействия W' с фермионами:

$$a^L = 1, a^R = 0$$

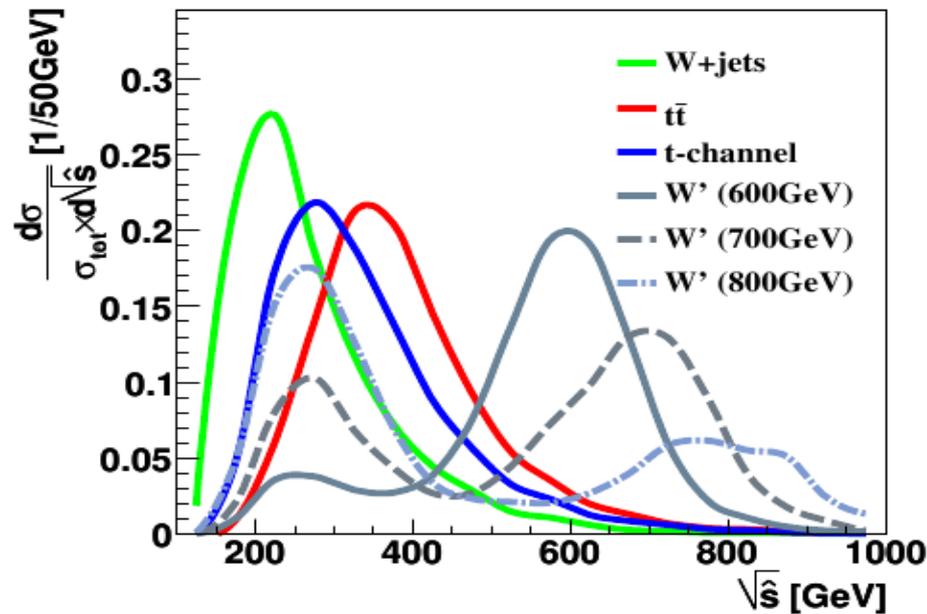
$$a^L = 0, a^R = 1$$

$$a^L = 1, a^R = 1$$

Первый поиск W'

- лето 2006 года, D0 данные, соответствующие 230pb^{-1}
- Монте-Карло: генератор COMPUER
 - 50000 событий для масс W' 600, 650, ..., 900 ГэВ
 - для разных сценариев взаимодействия W' с фермионами
(левые токи, правые токи)
 - корректный учёт интерференции W' и W для левых токов
 - учитывалась возможность распада W' на l, ν_R
- МК-моделирование фонов, отбор событий
 - W +струи, WZ , WW , Z +струи
 - t -канальный процесс рождения одиночного топ-кварка
 - изолированный лептон; хотя бы одна b -струя...

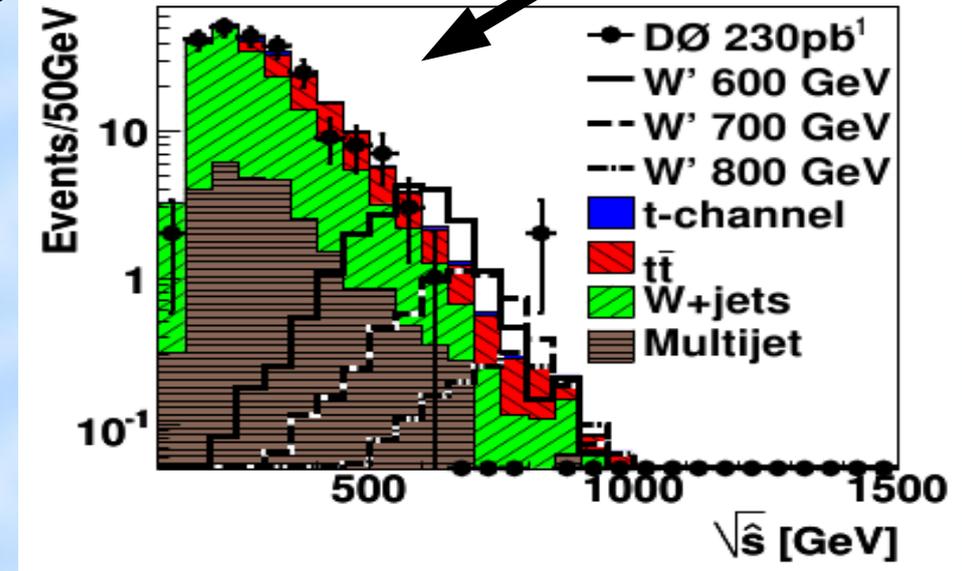
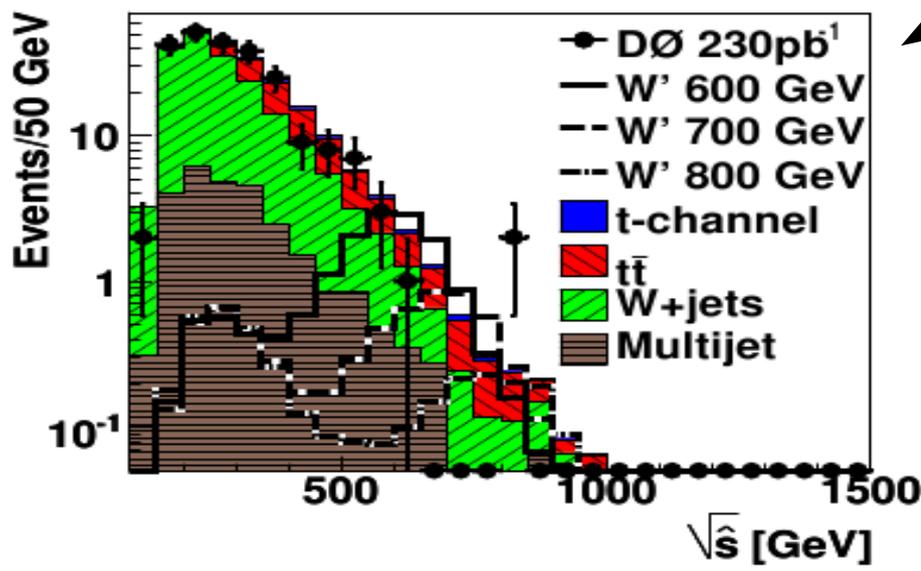
Поиск отклонений от СМ: W' - детали первого анализа



Распределение реконструированной инвариантной массы W' при различных значениях $M(W')$. На рисунках приведены наиболее значимые фоны, рассматриваемые в анализе.

СМ + левый W'

правый W'



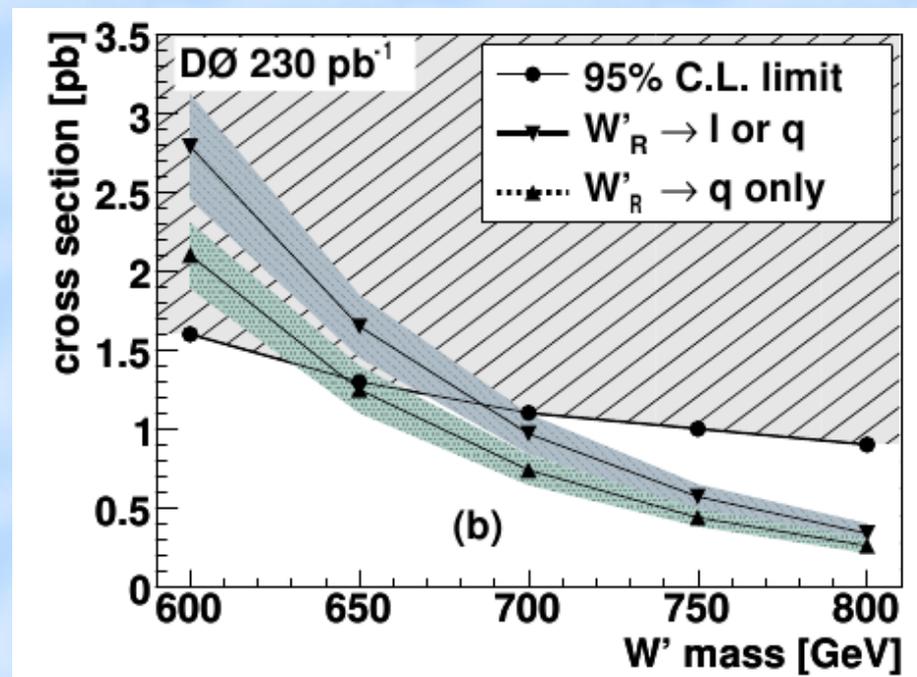
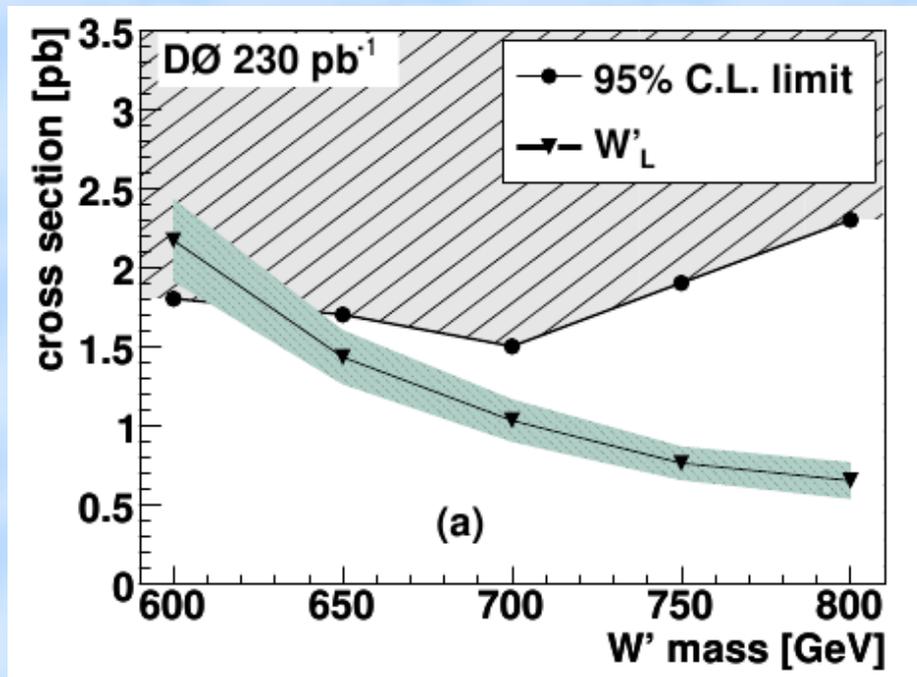
- поведение данных согласуется с предсказаниями фоновой модели с учётом неопределённостей

Поиск отклонений от СМ: W' - результаты

Байесовский подход: сечения как функции массы W' (95% С.Л.)

W' (SM-like) (левые токи)

W' (правые токи)



Результаты — пределы на массу W' :

W' (левые токи) : $M_{W'} > 610$ ГэВ

W' (правые токи) : $M_{W'} > 630$ ГэВ ($M_{W'} > M_{\nu_R}$)

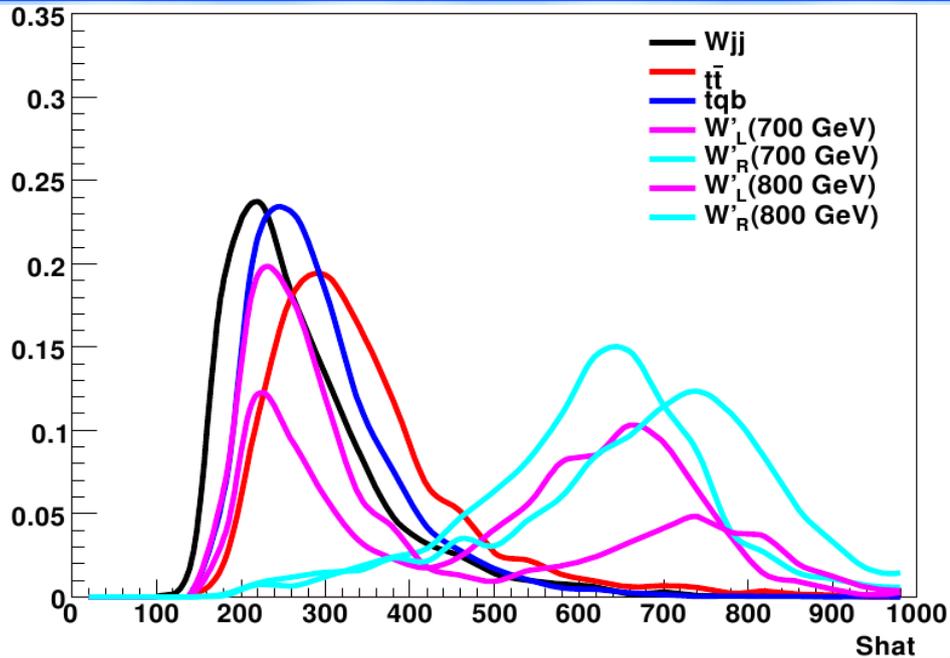
W' (правые токи) : $M_{W'} > 670$ ГэВ ($M_{W'} < M_{\nu_R}$)

Phys. Lett. B,
641 (2006) 423-431

Второй поиск W'

- 2007-2008 гг., D0 данные, соответствующие 900pb^{-1}
- заново созданные МК-события (COMPFER)
 - 150тыс. для масс $W' = 600\dots1100$; 50тыс. для масс $W' = 650\dots1050$
- подобные основные критерии отбора событий и моделирования фонов, как и в D0 RunII публикации (2007) по открытию одиночного топ-кварка
 - исключались события с $\sqrt{s} > 400$ ГэВ
- дополнительно поставлены пределы на параметры связи W' с фермионами

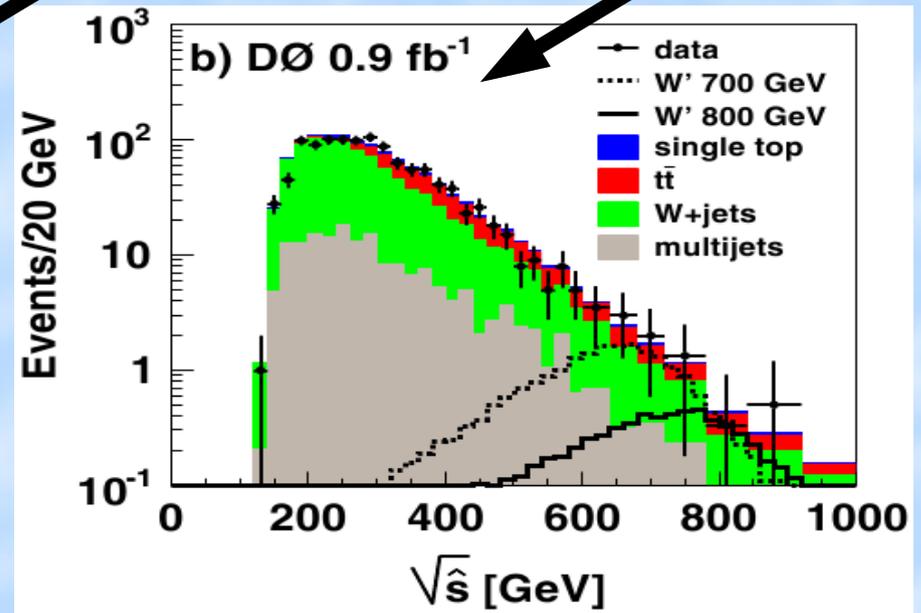
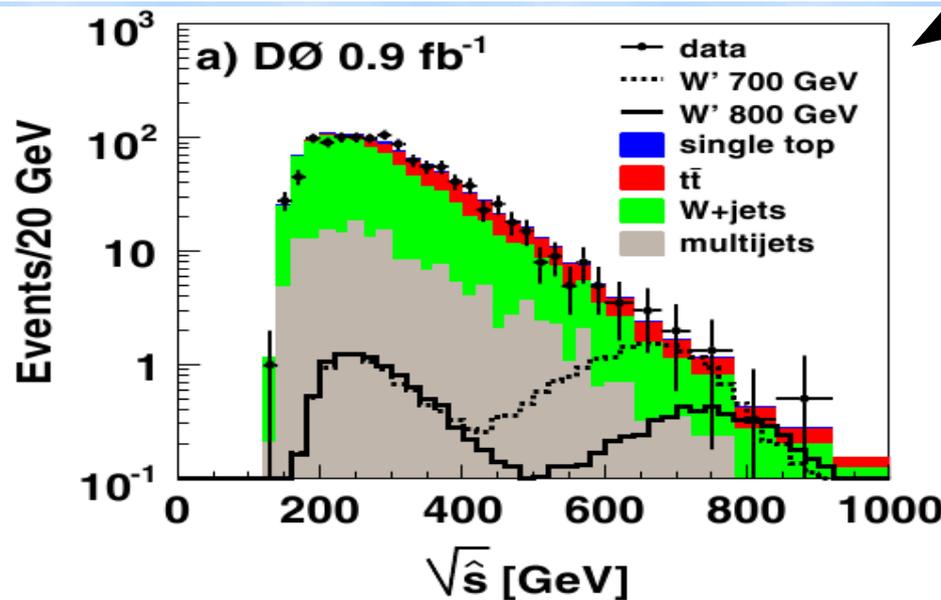
Поиск отклонений от СМ: W' - детали второго анализа



Распределение реконструированной инвариантной массы W' при различных значениях $M(W')$. На рисунках приведены наиболее значимые фоны, рассматриваемые в анализе.

СМ + левый W'

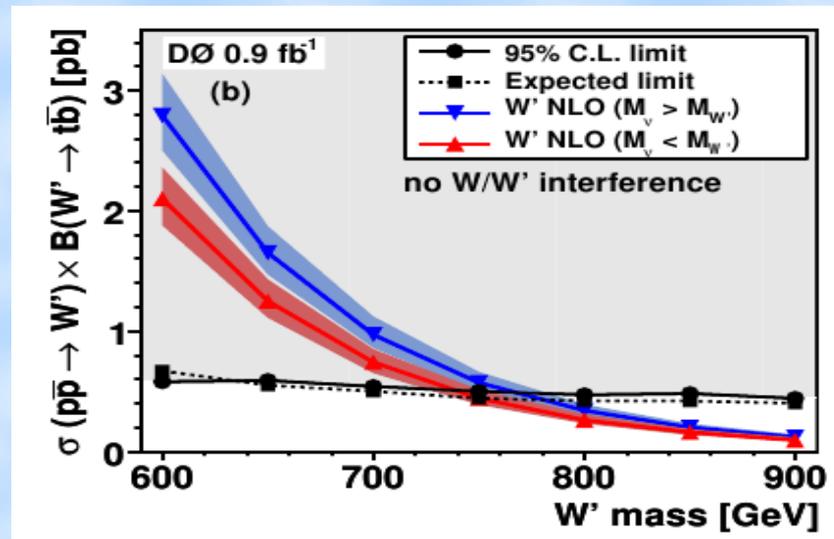
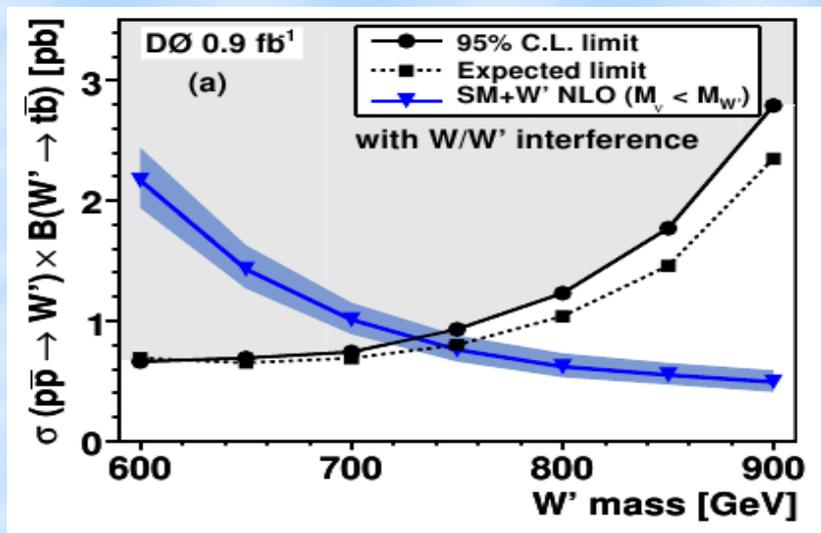
правый W'



- поведение данных согласуется с предсказаниями фоновой модели

Поиск отклонений от СМ: W' - результаты второго анализа

Байесовский подход: сечения как функции массы W' (95% C.L.).
 W' (SM-like) (левые токи) W' (правые токи)



Результаты — пределы на массу W' :

W' (левые токи) : $M_{W'} > 731 \text{ ГэВ}$

W' (правые токи) : $M_{W'} > 739 \text{ ГэВ}$ ($M_{W'} > M_{W_R}$)

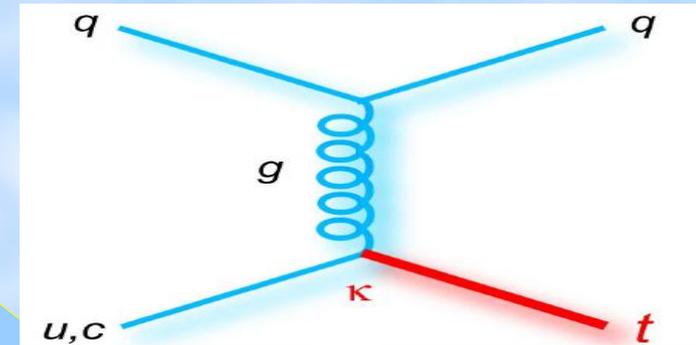
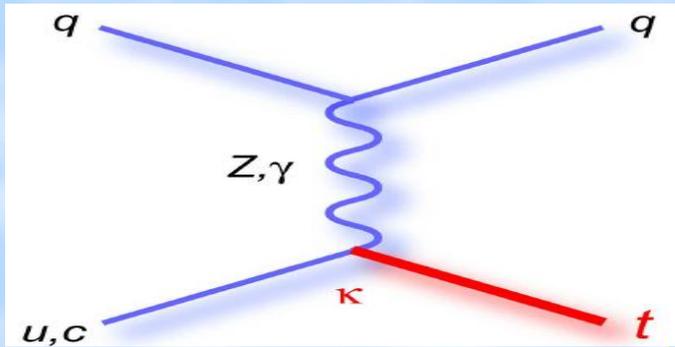
W' (правые токи) : $M_{W'} > 768 \text{ ГэВ}$ ($M_{W'} < M_{W_R}$)

и ограничения на параметры связи W' с фермионами для

«правого» W' : $a^R < 0.72$ ($M_{W'} > M_{W_R}$), $a^R < 0.68$ ($M_{W'} < M_{W_R}$)

Phys. Rev. Lett.
100, 211803 (2008)

Нейтральные токи, меняющие аромат кварков (FCNC)



Flavor Changing
Neutral Currents
меняют аромат кварков
без изменения их зарядов

модели, в которых топ-кварк является составным объектом

модели с новыми динамическими взаимодействиями топ-кварка

модели с многими Хиггсовскими дублетами, такие, как SUSY

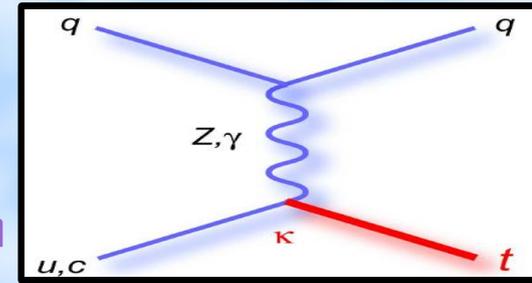
Поиск отклонений от СМ: FCNC (фотоны, Z)

- FCNC посредством фотонов и Z-бозонов:

- CDF constraints (95% CL):

$$B(t \rightarrow q\gamma) < 0.032, \quad B(t \rightarrow qZ) < 0.33$$

(*Phys. Rev. Lett.* **80**, 2525 (1998))



- L3 (LEP) direct constraints on FCNC parameters: $k_{\gamma,Z} < 0.4$

(*Phys. Lett. B* **459**, 290 (2002))

- ZEUS (HERA) constraints (95% CL): $k_{\gamma} < 0.174$

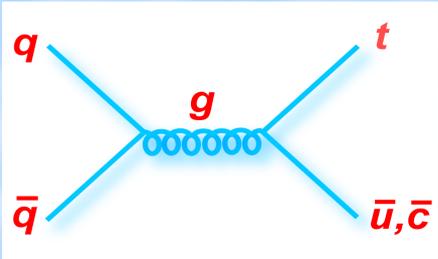
(*Phys. Lett. B* **559**, 153 (2004))

- CDF recent constraints (95% CL): $B(t \rightarrow Zq) < 3.7\%$

(*Phys. Rev. Lett.* **101**, 192002 (2008))

Поиск отклонений от СМ: FCNC

- FCNC посредством глюонов



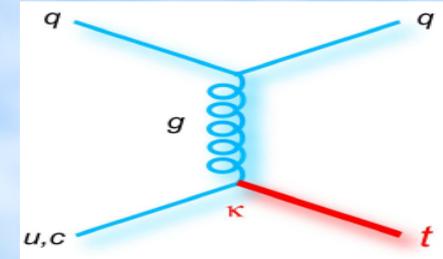
Дополнительное к СМ взаимодействие :

$$\mathbf{L}_{\text{add}} = \frac{k_f}{\Lambda} g_s \bar{f} \sigma^{\mu\nu} \frac{\lambda^a}{2} t \mathbf{G}_{\mu\nu}^a$$

f : либо u , либо c -кварк

k_f – величина аномальных FCNC параметров $t\bar{u}g$ и $t\bar{c}g$

Λ – масштаб новой физики (1ТэВ)

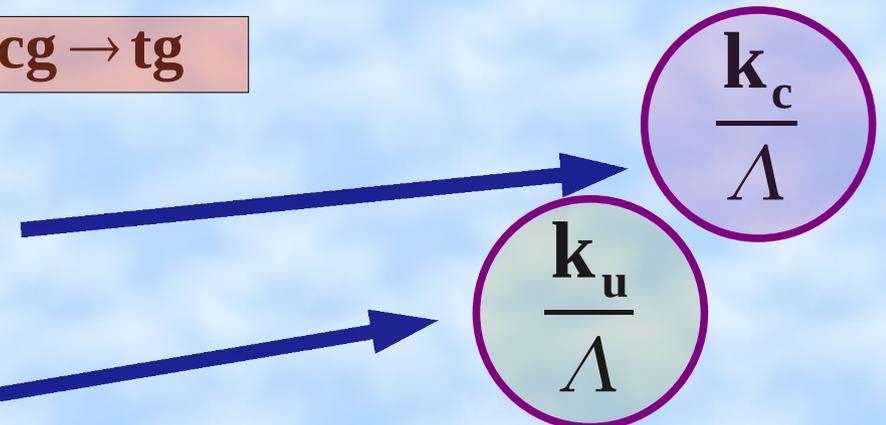


- МК-события (COMPTON)

$$q\bar{q} \rightarrow t\bar{c}; gg \rightarrow t\bar{c}; cq(\bar{c}) \rightarrow tq(\bar{q}), cg \rightarrow tg$$

аналогично для $t \leftrightarrow \bar{t}$

и аналогично для $c \leftrightarrow \bar{u}$



2 набора событий: $K_c=0.03, K_u=0.0 \rightarrow (K_c/\Lambda)^2=0.0009 \text{ TeV}^{-2}$

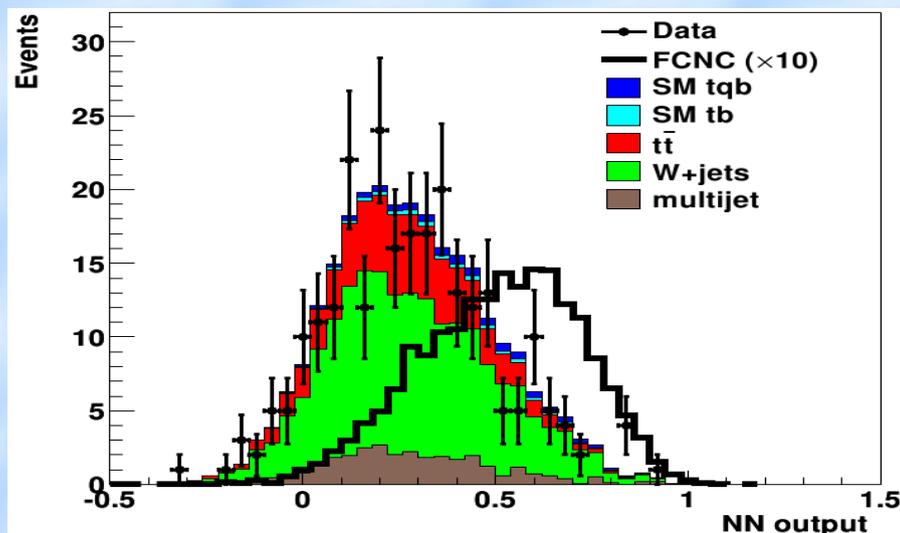
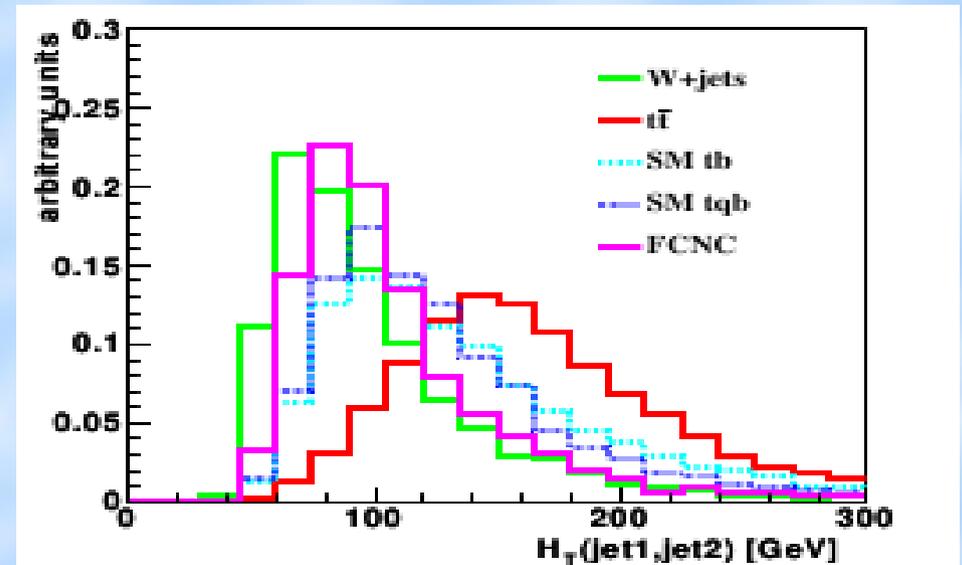
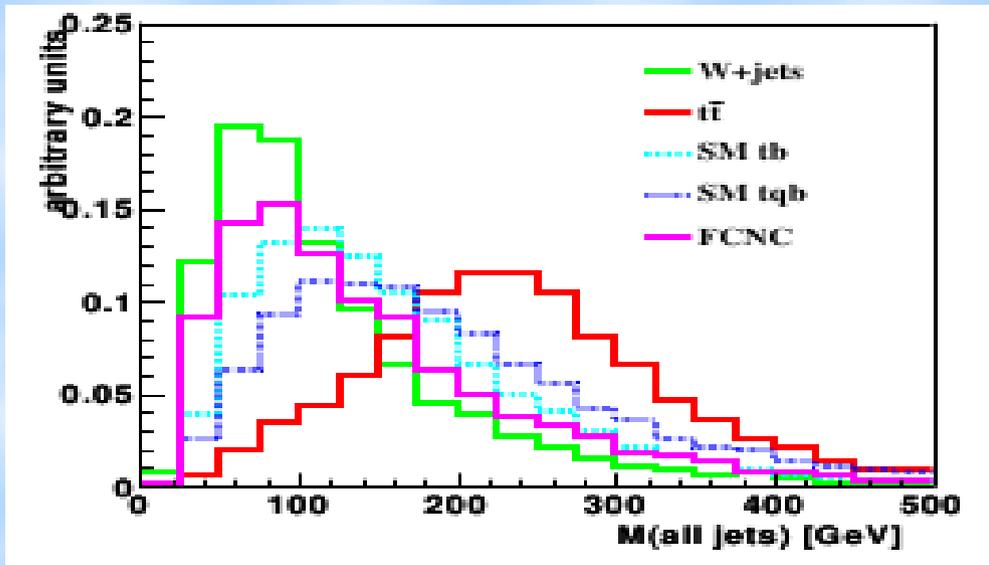
$K_u=0.03, K_c=0.0 \rightarrow (K_u/\Lambda)^2=0.0009 \text{ TeV}^{-2}$

FCNC: детали первого анализа

- 2007, D0 данные, соответствующие 230pb^{-1} (2002-2004)
- подобные критерии отбора и моделирования фонов, как и в D0 RunII публикации (2005) по одиночному топ-кварку
 - *требование наличия только одной струи от b -кварка*
 - *СМ процессы рождения одиночного топ-кварка — фон*
- использовалась нейронная сеть для отделения FCNC-сигнала от фоновых событий (СМ, W +струи, парное рождение топ-кварков)
 - *найдено 10 переменных, максимально эффективно разделяющих сигнал и фон*

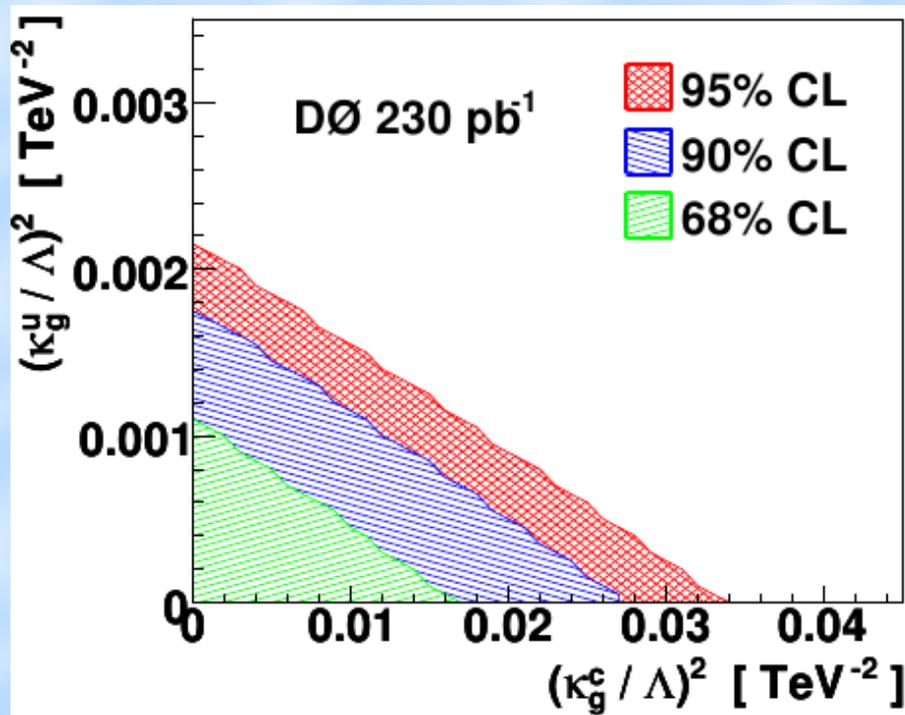
Поиск отклонений от СМ: FCNC - результаты

Распределения по некоторым переменным, используемым в нейронной сети для FCNC анализа



- хорошее согласование между данными и предсказаниями нашей фоновой модели

Поиск отклонений от СМ: FCNC - результаты



Исключённые данным анализом области значений параметров, определяющих величину FCNC-взаимодействия для различных CL

Результаты — пределы на FCNC-параметры

$$\frac{k_c}{\Lambda} < 0.15 \text{ TeV}^{-1} ; \quad \frac{k_u}{\Lambda} < 0.037 \text{ TeV}^{-1}$$

Phys. Rev. Lett.
99, 191802 (2007)

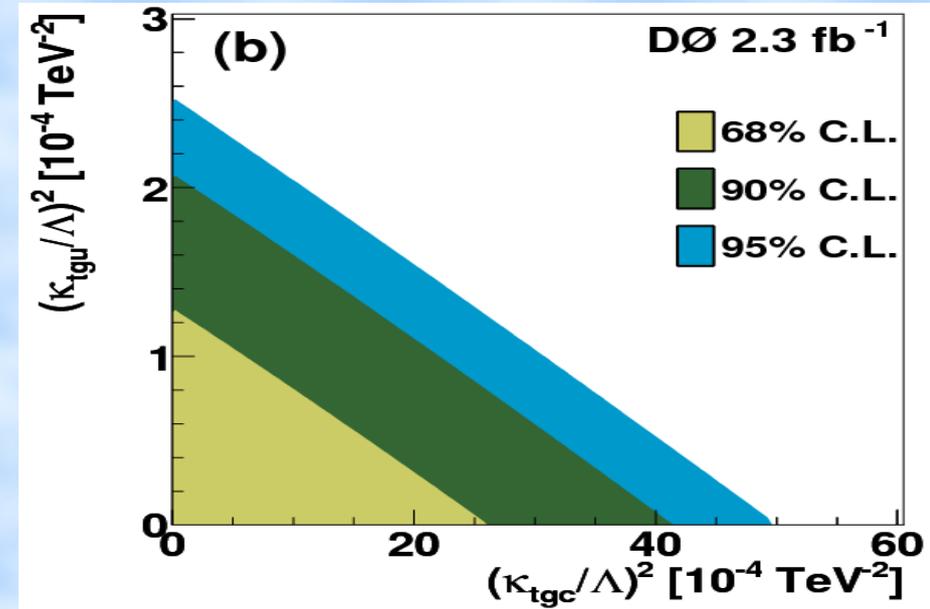
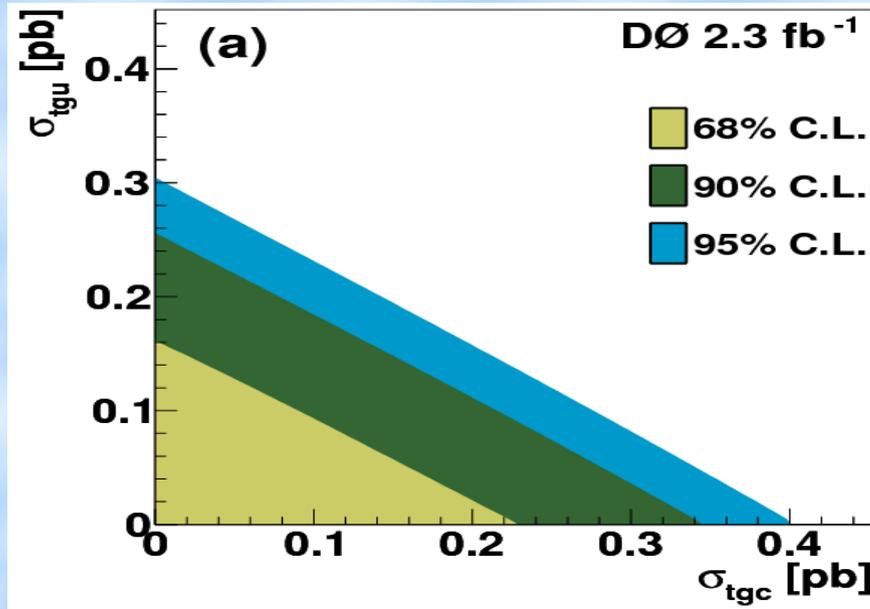
- первые ограничения на параметры FCNC, проходящие посредством глюонов, полученные на адронных коллайдерах

FCNC: детали второго анализа

- 2010, D0 данные, соответствующие 2.3 fb^{-1}
- CDF, 2008: $\kappa_{tug}/\Lambda < 0.018 \text{ TeV}^{-1}$ $\kappa_{tcg}/\Lambda < 0.069 \text{ TeV}^{-1}$
(*Phys. Rev. Lett.* **102**, 151801 (2009))
- подобные критерии отбора и моделирования фонов, как и в D0 RunII публикации (2009) по наблюдению одиночного топ-кварка
- использовалась Байесовская нейронная сеть для отделения FCNC-сигнала от фоновых событий (СМ, W +струи, парное рождение топ-кварков)
 - 18-28 переменных (в зависимости от канала) из анализа 2009 ,были объединены с 10 переменными из предыдущего FCNC анализа
 - конечный стабильный набор - ~24 переменные

Поиск отклонений от СМ: FCNC - второй анализ: результаты

Исключённые данным анализом области сечений
FCNC-параметров

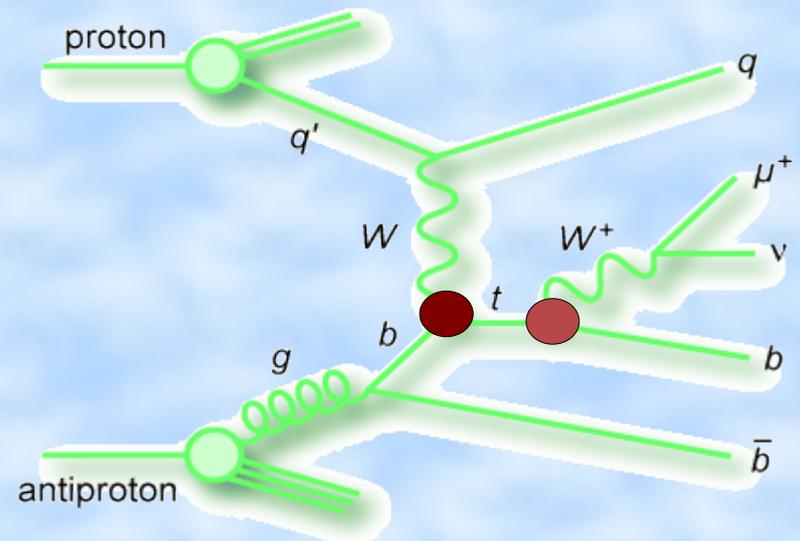
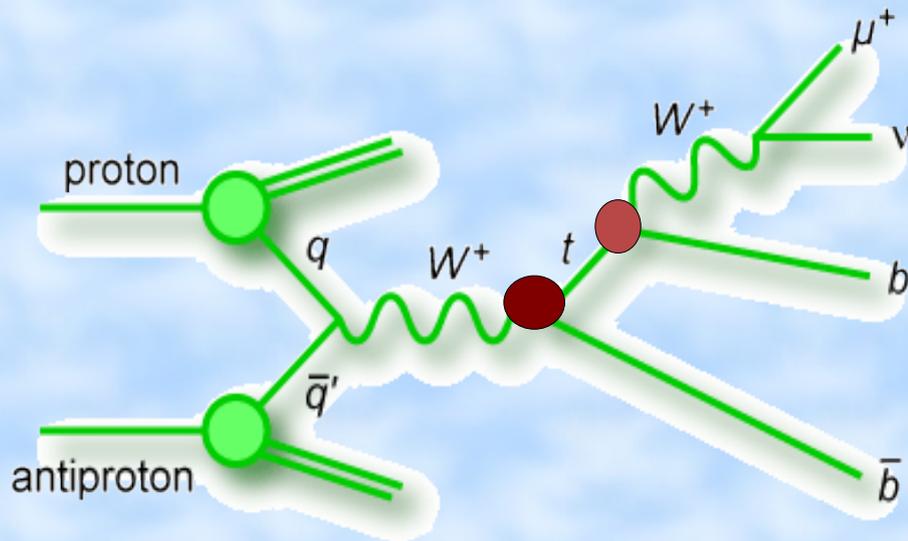


Результаты — улучшенные пределы на FCNC-параметры

	tgu	tgc
Cross section	0.20 pb	0.27 pb
κ_{tgf}/Λ	0.013 TeV^{-1}	0.057 TeV^{-1}
$\mathcal{B}(t \rightarrow qg)$	2.0×10^{-4}	3.9×10^{-3}

Phys. Lett. B
693, 81 (2010)

Поиск отклонений от СМ: Аномальная Wtb - вершина



Эффективный лагранжиан Wtb - вершины в общей форме имеет вид:

$$\mathcal{L}_{tbW} = \frac{g}{\sqrt{2}} W_{\mu}^{-} \bar{b} \gamma^{\mu} (f_1^L P_L + f_1^R P_R) t$$

$$- \frac{g}{\sqrt{2} M_W} \partial_{\nu} W_{\mu}^{-} \bar{b} \sigma^{\mu\nu} (f_2^L P_L + f_2^R P_R) t + h.c.$$

векторные левый и правый параметры

тензорные левый и правый параметры

СМ:	V_{tb}	0	0	0
-----	----------	---	---	---

Поиск отклонений от СМ: сечение и параметры генерации

- Сечение электрослабого рождения одиночного топ-кварка:

$$\sigma \propto A \cdot (F_{L1})^2 + B \cdot (F_{R1})^2 + C \cdot (F_{L1} \cdot F_{L2}) + D \cdot (F_{R1} \cdot F_{R2}) + E \cdot (F_{L2})^2 + G \cdot (F_{R2})^2$$

- Необходимые значения аномальных параметров в МК-событиях:

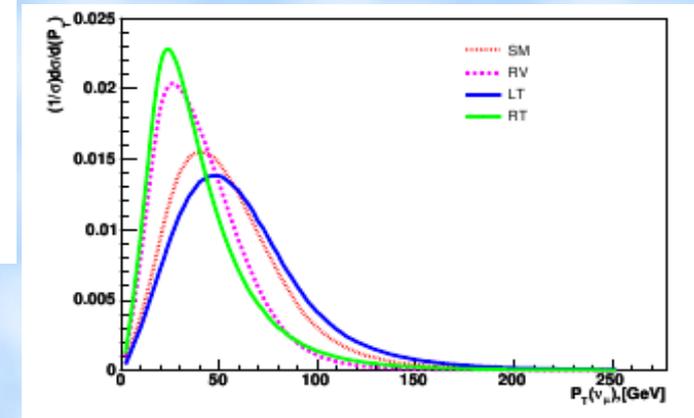
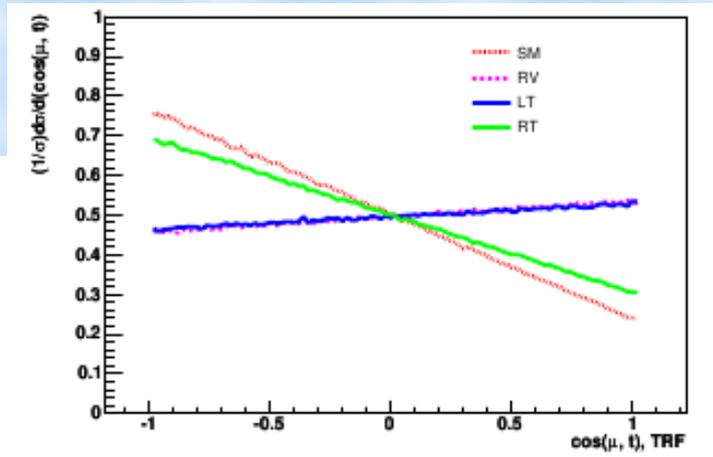
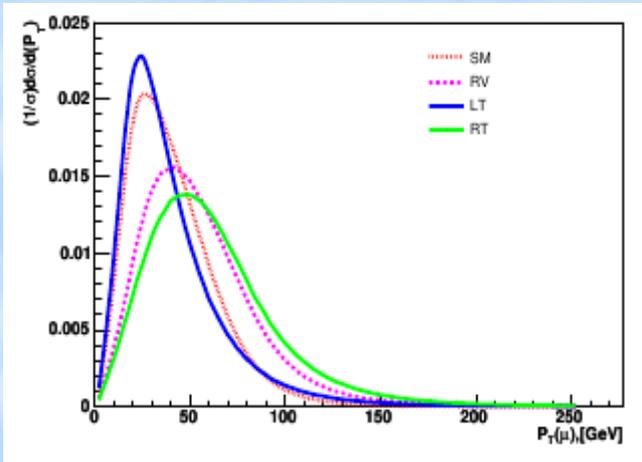
	F_{L1}	F_{R1}	F_{L2}	F_{R2}
СМ	1	0	0	0
	0	1	0	0
	0	0	1	0
	0	0	0	1
	1	0	1	0
	0	1	0	1

- s-канальные и t-канальные события
- Учитывают вклады от аномальных операторов и в рождении топ-кварка, и в его распаде

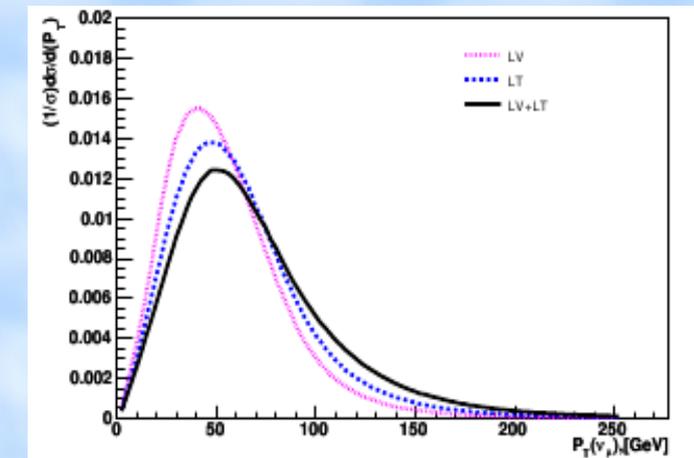
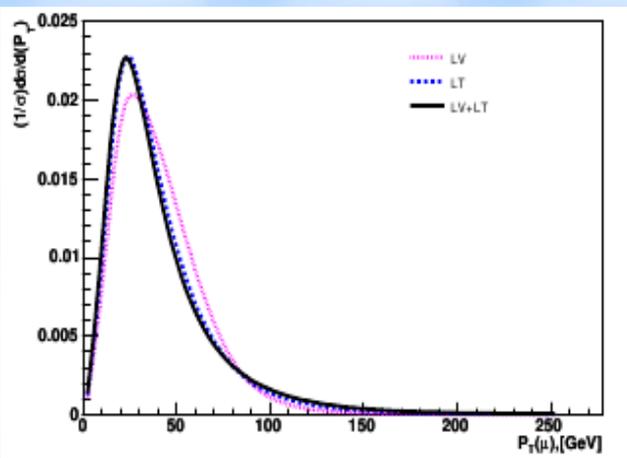
Аномальная Wtb -вершина: детали анализа

- осень 2007, D0-данные, 900pb^{-1}
- соответствующие правила Фейнмана вставлены в CompHEP
- создано ~ 50000 событий для каждой аномальной точки
- изучались вклады в электрослабое рождение топ-кварка правой векторной вершины, левой и правой тензорных вершин попеременно (три различных сценария)
- метод дерева решений для разделения сигнала и фона

Поиск отклонений от СМ: Wtb - распределения

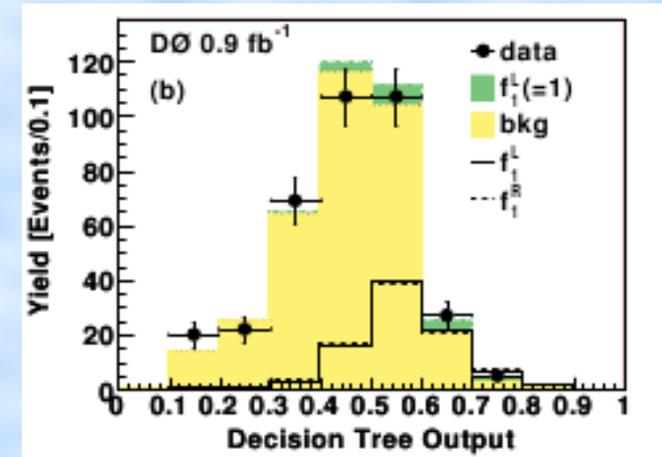
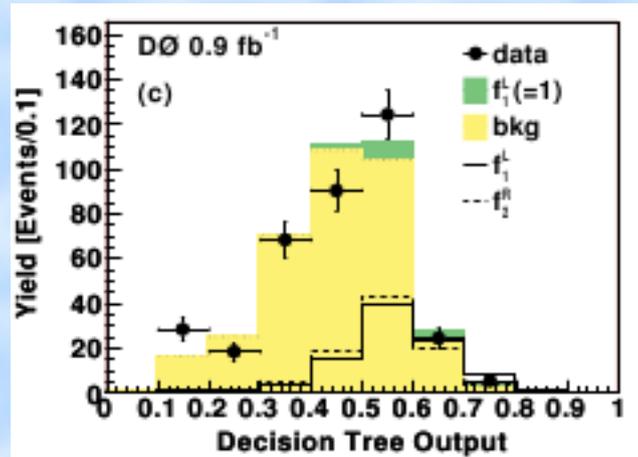
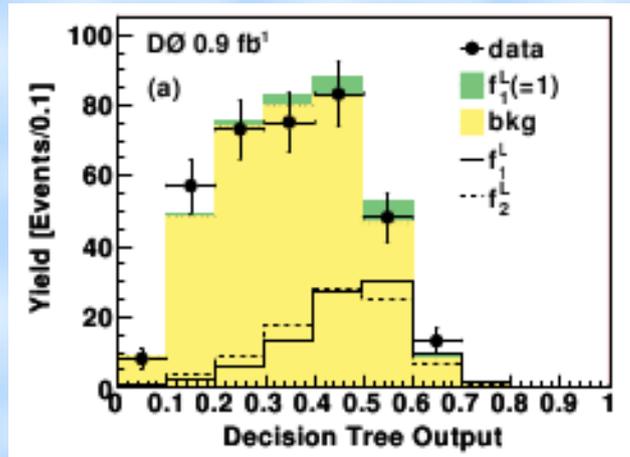


Аномальные
параметры в
 Wtb -вершине
сильнейшим
образом меняют
угловые
распределения !



Поиск отклонений от СМ: Wtb - результаты

Распределения для СМ-сигнала и фонов для событий с двумя струями и одной b -тагированной струей (выходные данные дерева принятия решений) для трёх сценариев, рассматриваемых в анализе)



Результаты — пределы на аномальные Wtb -параметры для трёх сценариев

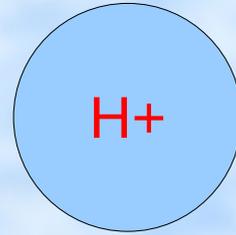
$$(F_{L1}, F_{L2})$$

$$(F_{L1}, F_{R1})$$

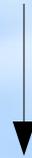
$$(F_{L1}, F_{R2})$$

$$\begin{aligned} |f_1^L|^2 &= 1.4^{+0.6}_{-0.5} \\ |f_2^L|^2 &< 0.5 \text{ at } 95\% \text{ C.L.} \\ |f_1^L|^2 &= 1.8^{+1.0}_{-1.3} \\ |f_1^R|^2 &< 2.5 \text{ at } 95\% \text{ C.L.} \\ |f_1^L|^2 &= 1.4^{+0.9}_{-0.8} \\ |f_2^R|^2 &< 0.3 \text{ at } 95\% \text{ C.L.} \end{aligned}$$

Phys. Rev. Lett.
101, 211801 (2008)



расширенные модели спонтанного нарушения симметрии

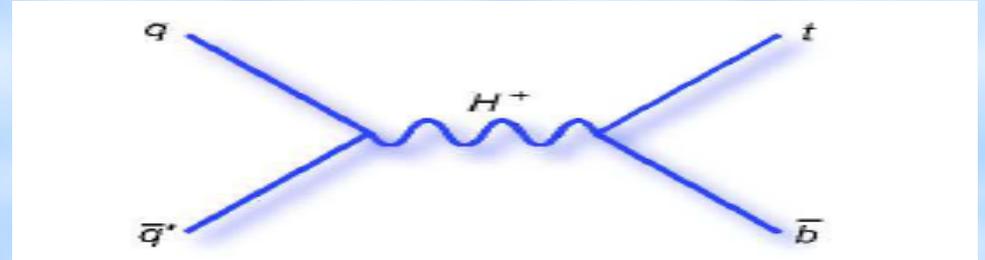


Модели с двумя Хиггсовскими дублетами
I, II и III типов

- различаются механизмом подавления FCNC

Поиск отклонений от СМ: H^\pm взаимодействие

- Заряженный бозон Хиггса в s-канальном процессе



- Лагранжиан взаимодействия заряженного скаляра с фермионами

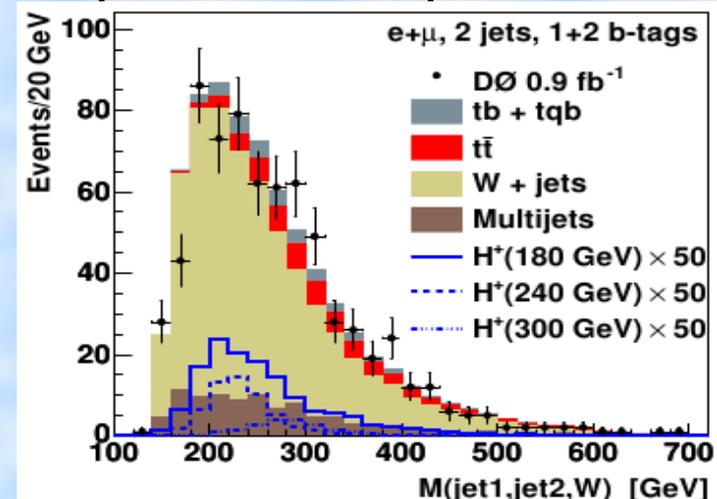
$$\mathcal{L} = \frac{g_w V_{q_i q_j}}{2\sqrt{2}} H^\pm \bar{q}_i \left(a_{q_i q_j}^L (1 - \gamma^5) + a_{q_i q_j}^R (1 + \gamma^5) \right) q_j + \text{H.c.}$$

- константы определяются видом конкретной 2HDM
- ComrNER события:
 - значения констант выбирались равными 0; 1
 - массы заряженного скаляра: 180-300 ГэВ
 - «левые» и «правые» наборы перевзвешивались для симуляции конкретной 2HDM.

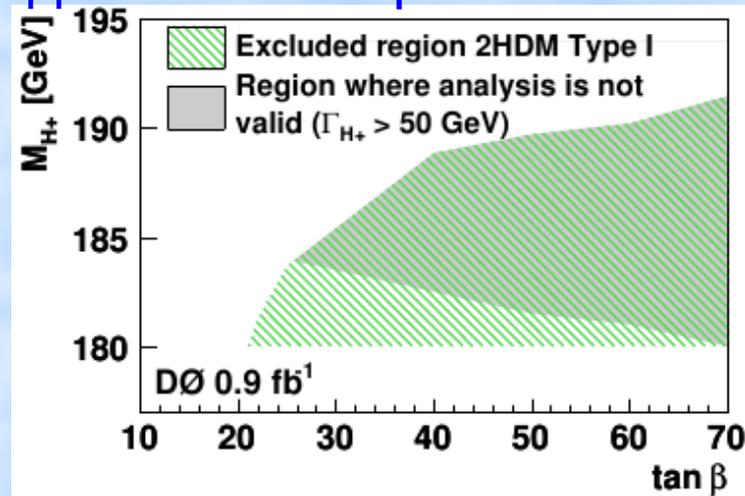
H^+ : детали анализа

- 2008, D0 данные, соответствующие 900 пб^{-1}
- подобные критерии отбора и моделирования фонов, как и в D0 RunII публикации (2007) по открытию одиночного топ-кварка
 - одна или две b -струи
- инвариантная масса $t\bar{b}$ системы как переменная, различающая сигнал от заряженного скаляра
 - переменная $M(\text{jet1}, \text{jet2}, W)$

распределение по разделяющей переменной для сигнала, фоновой модели и данных; 2HDM III типа



Исключённая область в плоскости $M(H^+) vs \tan\beta$
для 2HDM первого типа.



Результаты - пределы на сечения рождения заряженного бозона Хиггса (справедливы для 2HDM II типа и для 2HDM I (III) типа при $\tan\beta < 0.1$ ($\tan\beta > 10$))

M_{H^+} (GeV)	$\tan\beta < 0.1$	$\tan\beta = 1$	$\tan\beta = 5$	$\tan\beta > 10$
180	12.9 (11.4)	14.3 (12.2)	13.7 (11.7)	13.7 (12.2)
200	[5.9 (9.6)]	6.3 (9.9)	6.5 (10.0)	6.5 (10.0)
220	[2.9 (4.2)]	3.0 (4.4)	3.0 (4.5)	3.0 (4.5)
240	[2.3 (3.1)]	2.4 (3.3)	2.6 (3.5)	2.6 (3.5)
260	[3.0 (2.8)]	3.0 (2.9)	3.0 (3.0)	3.0 (3.0)
280	[4.0 (2.6)]	4.2 (2.7)	4.5 (2.9)	4.5 (2.9)
300	[4.5 (2.4)]	4.7 (2.4)	4.9 (2.5)	4.9 (2.5)

Phys. Rev. Lett.
101, 211801 (2008)

Поиск отклонений от СМ: итоги

- Проведен цикл модельнонезависимых исследований отклонений от предсказаний Стандартной Модели в процессах электрослабого рождения одиночного топ-кварка на D0-детекторе коллайдера Тэватрон
- исследования касались W' , заряженного бозона Хиггса, FCNC и присутствия аномальных операторов в Wtb вершине
- Результатами стали установленные пределы на следующие параметры:
 - массу дополнительного заряженного бозона W' для различных сценариев взаимодействия W' с фермионами
 - сечения рождения заряженного бозона Хиггса в зависимости от его массы
 - параметры, определяющие величину FCNC-взаимодействия
 - параметры, характеризующие вклад аномальных операторов в Wtb -вершину

Поиск отклонений от СМ: итоги

- Для W' и FCNC проведены повторные анализы
 - *большее количество экспериментальных данных*
 - *более усовершенствованные методы исследования*
- Все результаты опубликованы от имени D0-коллаборации

Поиск отклонений от СМ: численные результаты

- Последние ограничения на аномальные параметры:

- W' :

$$W'(\text{левые токи}) : M_{W'} > 731 \text{ ГэВ}$$

$$W'(\text{правые токи}) : M_{W'} > 739 \text{ ГэВ} \quad (M_{W'} > M_{\nu_R})$$

$$W'(\text{правые токи}) : M_{W'} > 768 \text{ ГэВ} \quad (M_{W'} < M_{\nu_R})$$

- FCNC:

	tg_u	tg_c
Cross section	0.20 pb	0.27 pb
κ_{tgf}/Λ	0.013 TeV ⁻¹	0.057 TeV ⁻¹
$B(t \rightarrow qg)$	2.0×10^{-4}	3.9×10^{-3}

- аномальные параметры

Wtb вершины:

$$|f_1^L|^2 = 1.4^{+0.6}_{-0.5}$$

$$|f_2^L|^2 < 0.5 \text{ at } 95\% \text{ C.L.}$$

$$|f_1^L|^2 = 1.8^{+1.0}_{-1.3}$$

$$|f_1^R|^2 < 2.5 \text{ at } 95\% \text{ C.L.}$$

$$|f_1^L|^2 = 1.4^{+0.9}_{-0.8}$$

$$|f_2^R|^2 < 0.3 \text{ at } 95\% \text{ C.L.}$$

- сечения рождения

аряженного бозона Хиггса

M_{H^+} (GeV)	$\tan\beta < 0.1$	$\tan\beta = 1$	$\tan\beta = 5$	$\tan\beta > 10$
180	12.9 (11.4)	14.3 (12.2)	13.7 (11.7)	13.7 (12.2)
200	[5.9 (9.6)]	6.3 (9.9)	6.5 (10.0)	6.5 (10.0)
300	[4.5 (2.4)]	4.7 (2.4)	4.9 (2.5)	4.9 (2.5)

Список публикаций

1. V. Abazov...M.Perfilov...[D0 collaboration]
«Search for W boson production in the top quark decay channel»
Phys. Lett. **B** 641 (2006) 423-431
2. V. Abazov...M.Perfilov...[D0 collaboration]
«Search for production of Single Top quarks via t_{cg} and t_{ug} Flavor-Changing-Neutral-Currents Couplings»
Phys. Rev. Lett. **99**, 191802 (2007)
3. V. Abazov...M.Perfilov...[D0 collaboration]
«Search for W Resonances Decaying to a Top Quark and a Bottom Quark»
Phys. Rev. Lett. **100**, 211803 (2008)
4. V. Abazov...M.Perfilov...[D0 collaboration]
«Search for charged Higgs bosons decaying to top and bottom quarks in p anti- p collisions»
Phys. Rev. Lett. **102**, 191802 (2009)
5. V. Abazov...M.Perfilov...[D0 collaboration]
«Search for anomalous Wtb couplings in single top quark production»
Phys. Rev. Lett. **101**, 221801 (2008)
6. V. Abazov...M.Perfilov...[D0 collaboration]
«Search for flavor changing neutral currents via quark-gluon couplings in single top quark production using 2.3 fb^{-1} of p anti- p collisions»
Phys. Lett. **B** 693, issue 2, 81-87, (2010)