



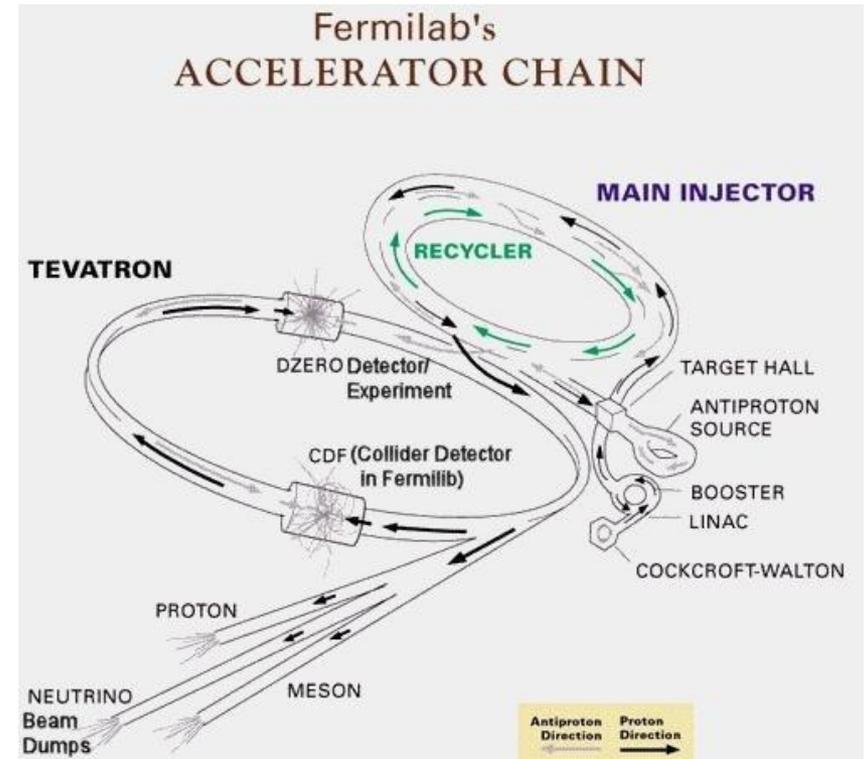
Новые результаты в эксперименте DO (FNAL)

С.П. Денисов, А.А. Щукин
(ИФВЭ, Протвино)



Коллайдер Tevatron

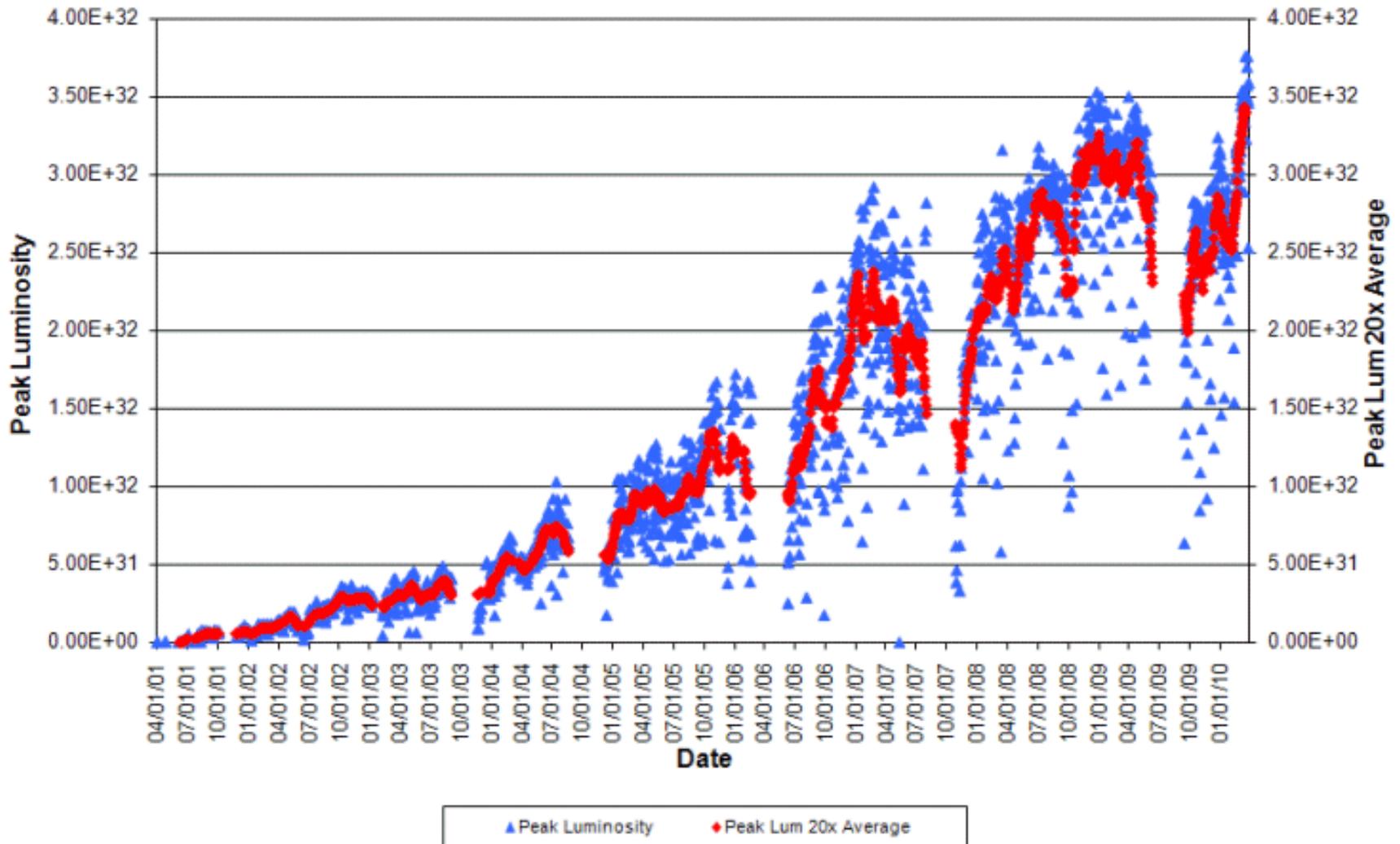
- Расположен в Fermilab (Батавия, Иллинойс)
- Энергия протон-антипротонных столкновений - 1.96 ТэВ
- Обслуживает два многоцелевых эксперимента – CDF и D0



Коллайдер Tevatron

Начальная мгновенная светимость

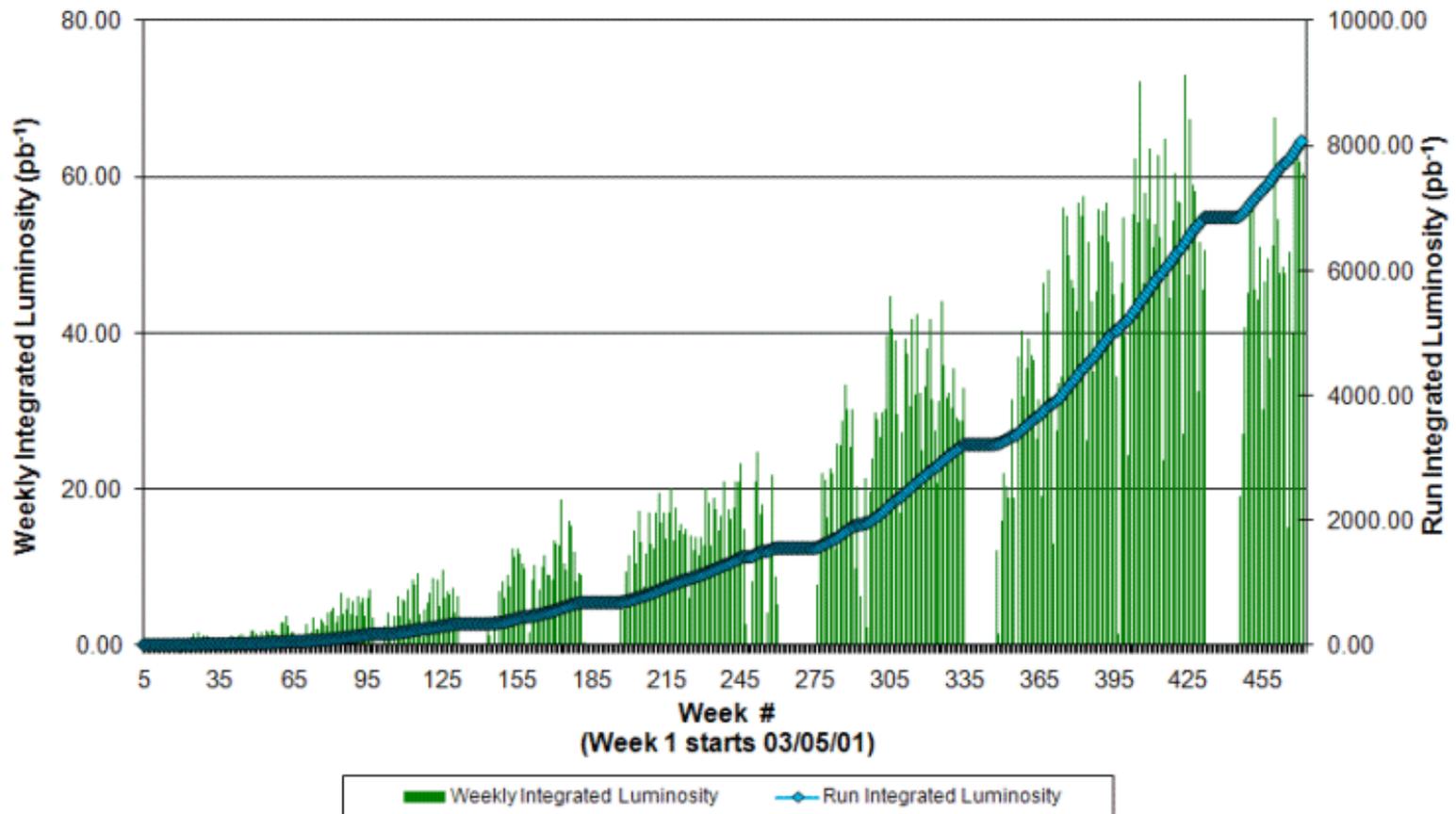
Collider Run II Peak Luminosity



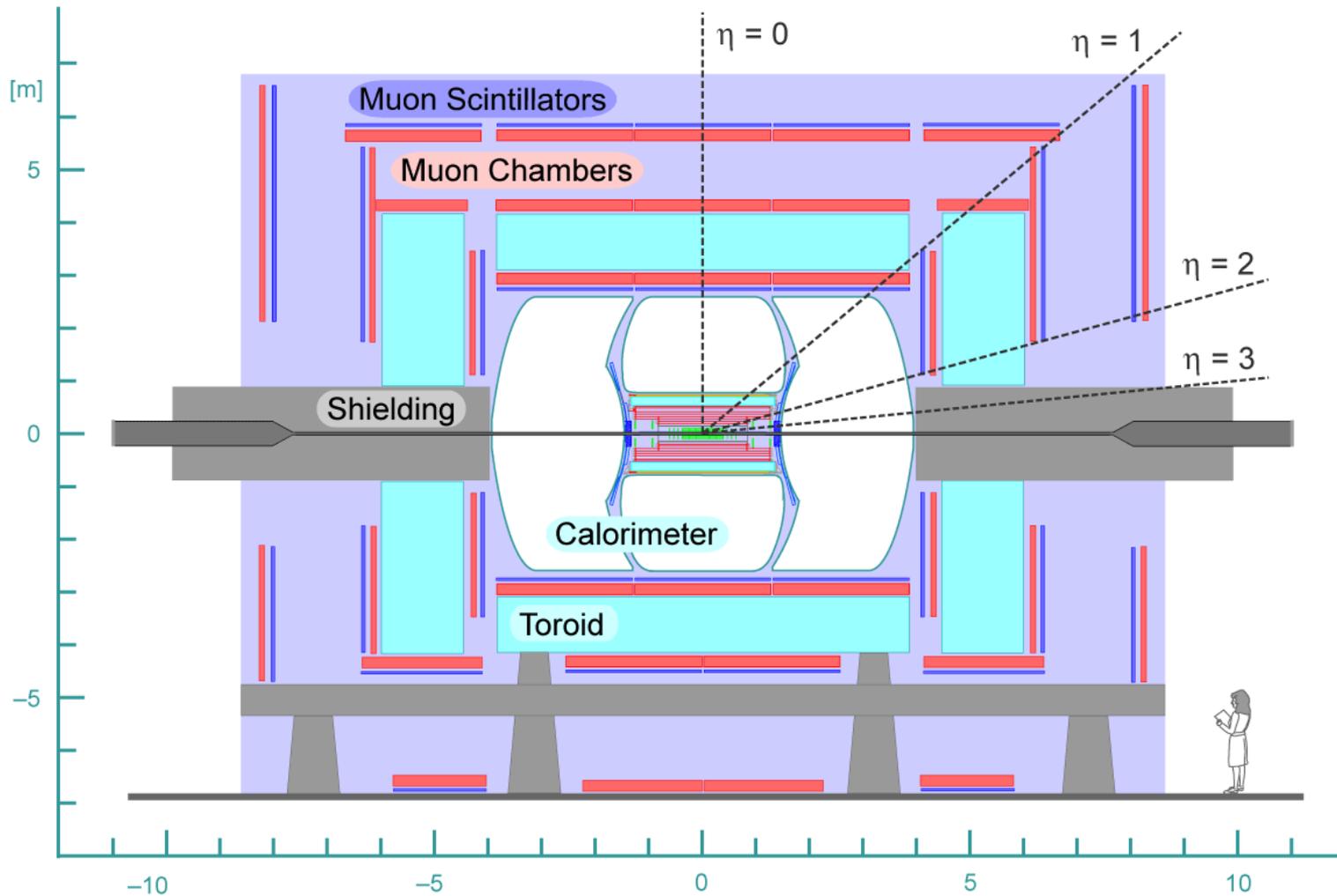
Коллайдер Tevatron

Интегральная светимость

Collider Run II Integrated Luminosity



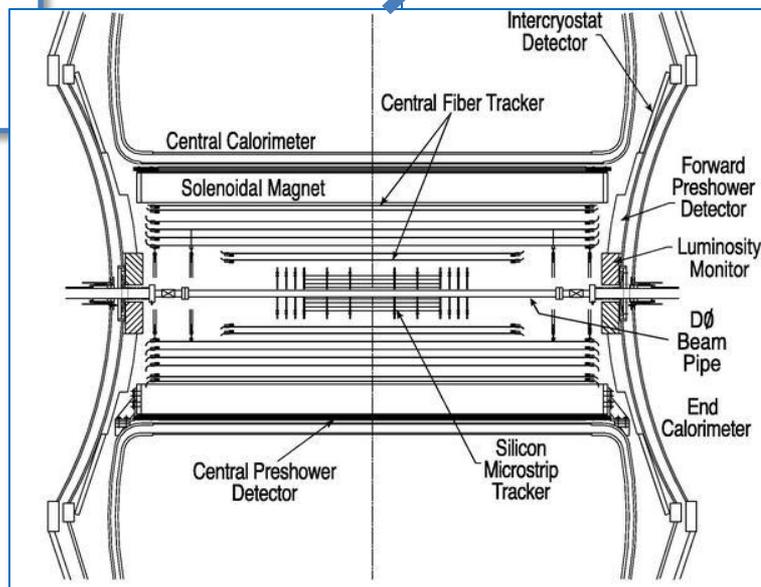
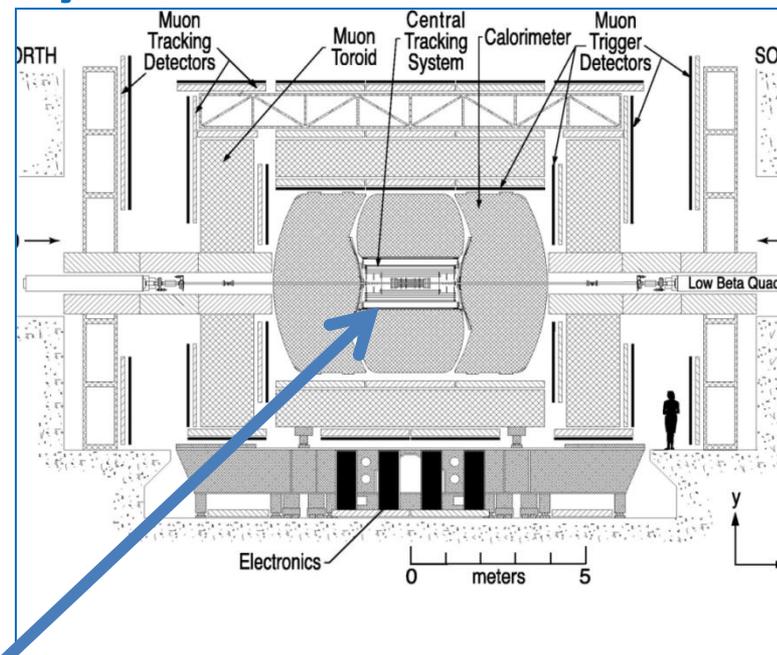
Экспериментальная установка D0



Экспериментальная установка D0

Типичные параметры подсистем:

- Разрешение центральной трековой системы: 20-50 мкм
- Магнитное поле соленоида: 2 Тл
- Разрешение мюонной трековой системы: 0.5-1 мм
- Разрешение калориметра:
EM: $(7.5-25\%)/E^{1/2}$
HAD: $(35-80\%)/E^{1/2}$



Коллаборация D0



101 организация из 19 стран

≈600 участников

60 российских специалистов из:

1) ИФВЭ

2) МГУ

3) ПИЯФ

4) ОИЯИ

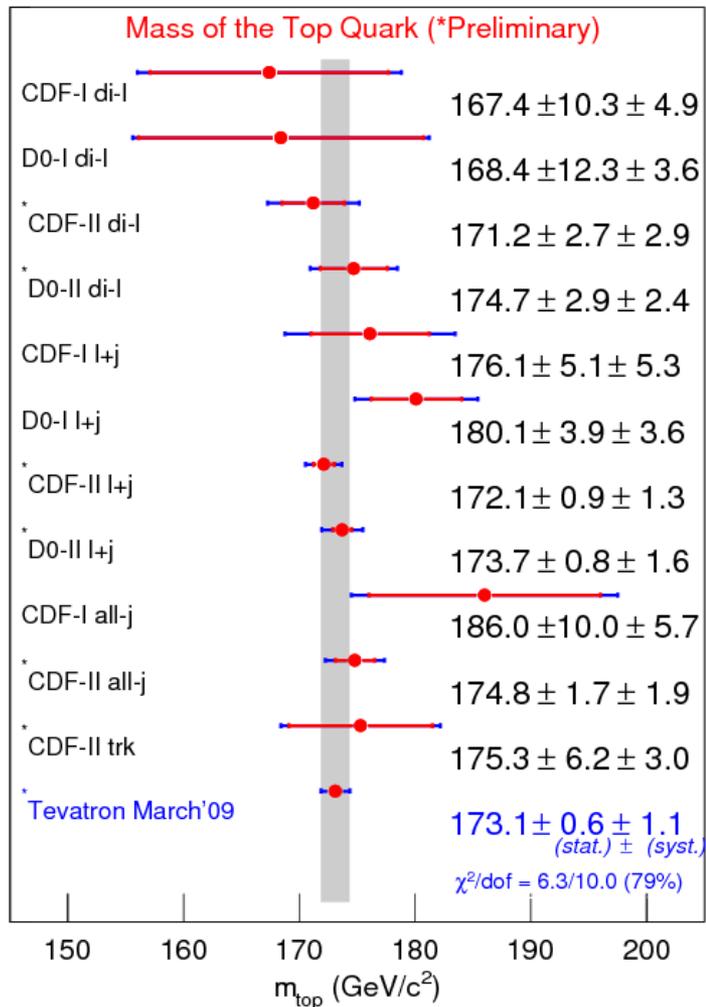
5) ИТЭФ

D0 – первый крупный эксперимент на адронном коллайдере, в котором начали участвовать российские группы (Соглашение ИФВЭ-Fermilab от 1987 г.):

- создание и обслуживание экспериментальных подсистем
- физические исследования

t-кварк

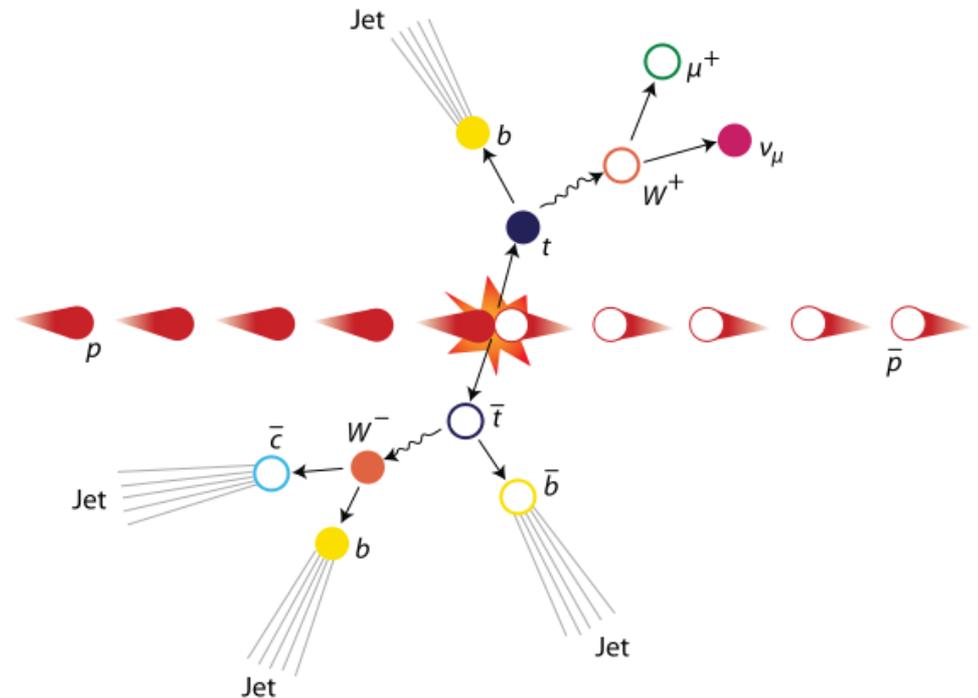
- Поиск t-кварка и изучение его свойств – одна из основных задач экспериментов на коллайдере Tevatron



t-кварк был открыт в 1995 одновременно в экспериментах D0 и CDF:

Phys. Rev. Lett. 74, 2422–2426 (1995)

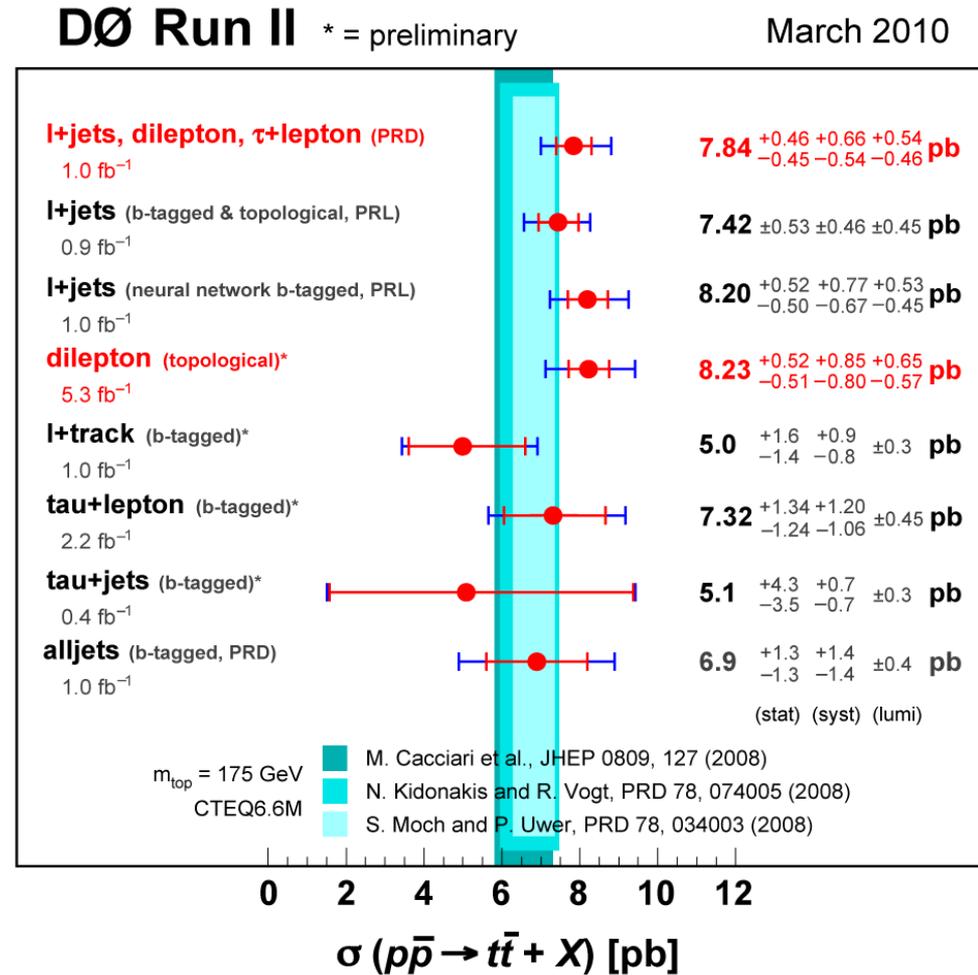
Phys. Rev. Lett. 74, 2626–2631 (1995)



t-кварк

Сравнивая измеренное сечение с теоретическими NNLO КХД предсказаниями, можно косвенно извлечь массу t-кварка.

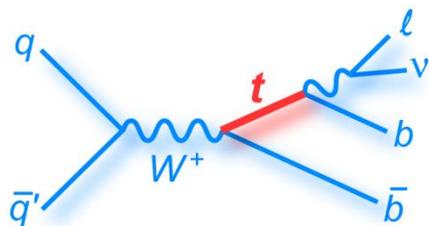
Полученный результат 171.5 ± 9.9 ГэВ согласуется с прямыми измерениями.



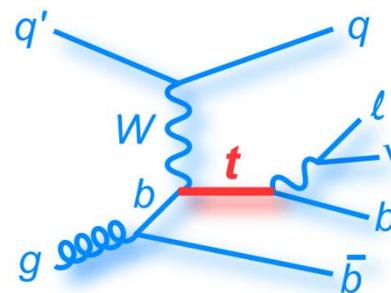
t-кварк

Наблюдение одиночного рождения t-кварка

t-кварк может быть рожден за счет электрослабого взаимодействия:



s-канал



t-канал

Впервые в 2006 году в эксперименте D0 было надежно зарегистрировано одиночное рождение t-кварка

62 события

t-кварк

Наблюдение одиночного рождения t-кварка

t-канал: $\sigma = 3.14^{+0.94}_{-0.8} \text{ нб}$
 $\sigma_{SM} = 2.15 \pm 0.24 \text{ нб}$
(NLO QCD при $m_t = 170 \text{ ГэВ}$)

s-канал: $\sigma = 1.05 \pm 0.81 \text{ нб}$

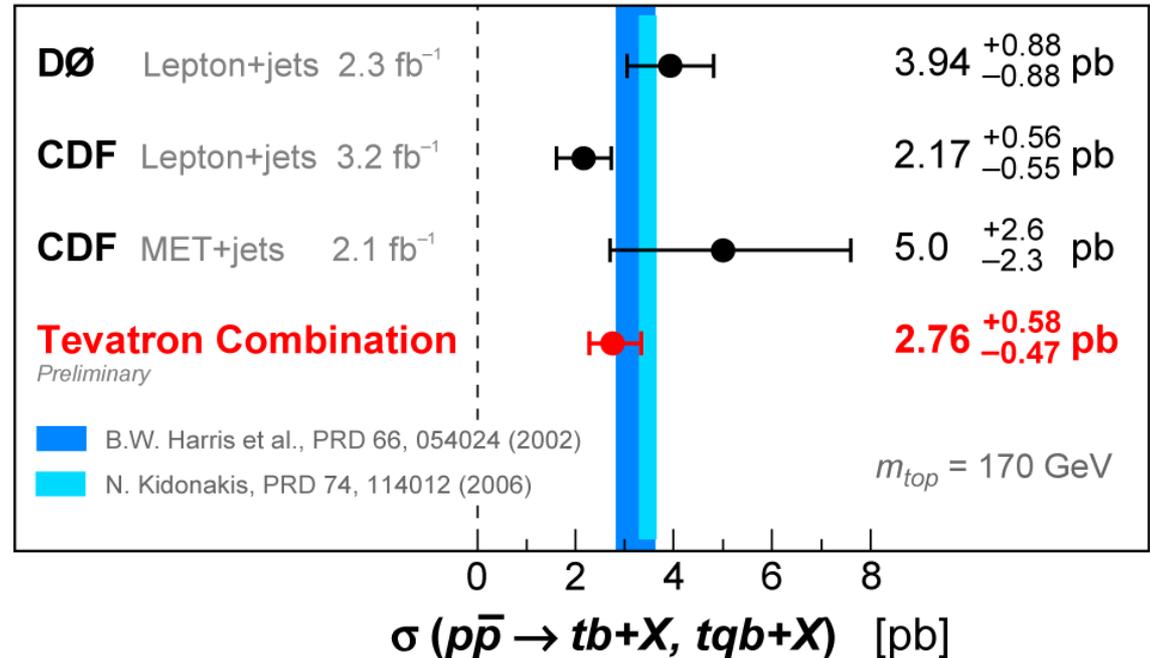
$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

Измеренное сечение позволило установить ограничение $0.78 < |V_{tb}| < 1.0$

- ранее он вычислялся только косвенно, в предположении, что число поколений кварков равно трем

Single Top Quark Cross Section

August 2009



t-кварк

Измерение времени жизни t-кварка

1. Прямое измерение времени жизни по наличию вершины распада:

Эксперимент CDF: $\tau_t < 1.75 \cdot 10^{-13}$ с

2. Определение времени жизни по ширине массового спектра частицы:

$$\tau_t = \hbar / \Gamma_t, \quad \hbar = 6.58 \cdot 10^{-22} \text{ МэВ} \cdot \text{с}$$

$$\Gamma_t^0 = \frac{G_F m_t^3}{8\pi\sqrt{2}} \times |V_{tb}|^2; \quad \Gamma_t = \Gamma_t^0 \left(1 - \frac{M_W^2}{m_t^2}\right)^2 \left(1 + 2 \frac{M_W^2}{m_t^2}\right) \left[1 - \frac{2\alpha_S}{3\pi} \left(\frac{2\pi^2}{3} - \frac{5}{2}\right)\right],$$

$c = \hbar = 1$
 $G_F / \hbar c^3 = 1.166 \text{ ГэВ}^{-2}$
 $\alpha_S = 0.1176$

При $m_t=170$ ГэВ $\Gamma_t = 1.3$ ГэВ, $\tau_t \approx 5 \cdot 10^{-25}$ с - теоретическая оценка

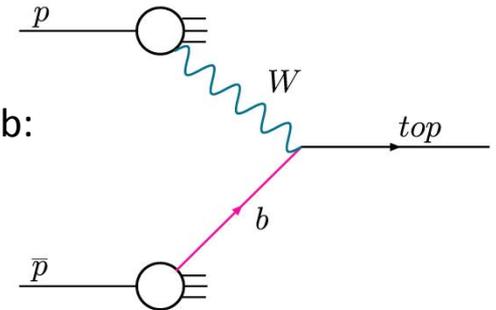
Эксперимент CDF: $\Gamma_t \leq 7.5$ ГэВ, 95% CL при $m_t=175$ ГэВ.

t-кварк

Измерение времени жизни t-кварка

Эксперимент D0, интегральная светимость 4.3 фб^{-1}

Рождение одиночного топ-кварка в t-канале идет через слияние W и b:



Таким образом:

$$\Gamma(t \rightarrow Wb) = \sigma(t\text{-channel}) \times \frac{\Gamma(t \rightarrow Wb)_{SM}}{\sigma(t\text{-channel})_{SM}}, \text{ где } \sigma(t\text{-channel})_{SM} = 2.15 \pm 0.24 \text{ пб}$$

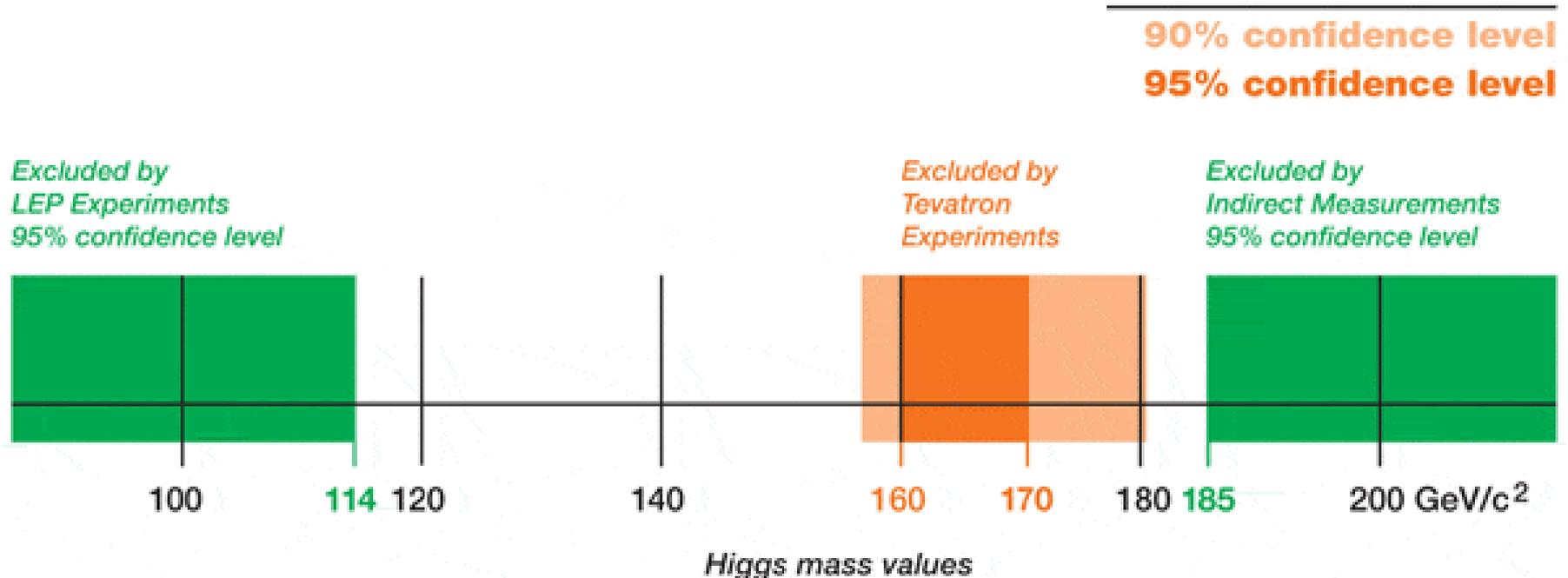
$$\Gamma_t = \frac{\Gamma(t \rightarrow Wb)}{B(t \rightarrow Wb)}$$

$$\Gamma_t = 2.05_{-0.52}^{+0.57} \text{ ГэВ}, \tau_t = \left(3.2_{-0.7}^{+1.1}\right) \times 10^{-25} \text{ с.}$$

Наиболее точное определение времени жизни частицы!

Бозон Хиггса

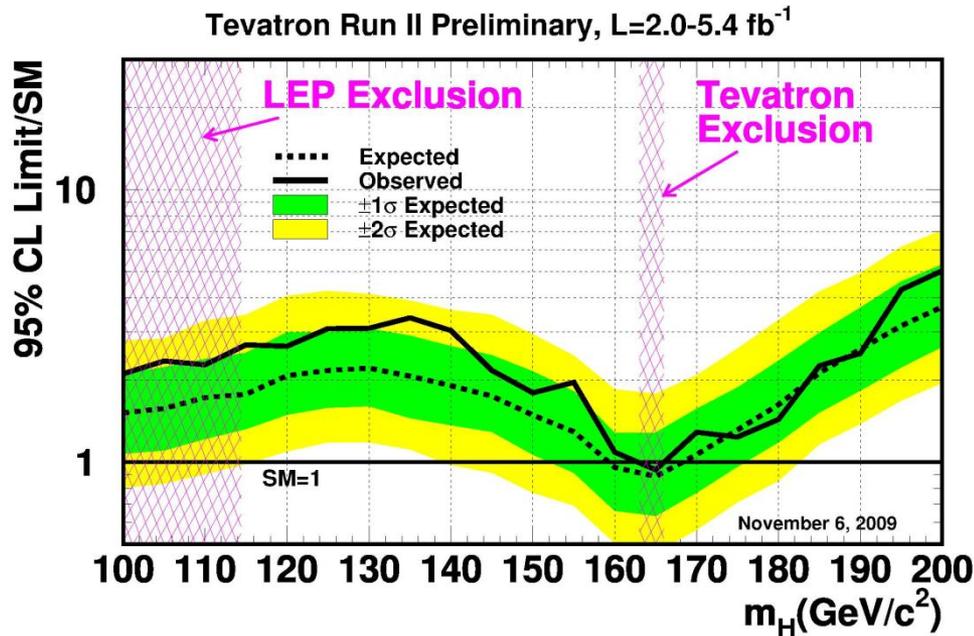
- Одна из важнейших задач современной физики высоких энергий
- Большое количество исследуемых сигнатур
- Поиски как в Стандартной Модели, так и в Суперсимметрии
- Результаты LEP исключили $m_H < 114$ ГэВ
- Комбинированием результатов LEP с результатами прецизионных электрослабых измерений исключается область – $m_H > 185$ ГэВ



Бозон Хиггса

Комбинация результатов поиска бозона Хиггса на коллайдере Tevatron в WW канале

- 4.8 fb^{-1} (CDF)
- 5.4 fb^{-1} (D0)
- Одинаковый отбор событий (два разнознаковых лептона и большая недостающая поперечная энергия)
- При комбинировании результатов использовались метод Байеса и CLs метод.



С уровнем достоверности 95%
исключена область
 $163 < m_H < 166 \text{ ГэВ}$

Электрослабые взаимодействия

Измерение массы W бозона

С массой W бозона тесно связана масса бозона Хиггса

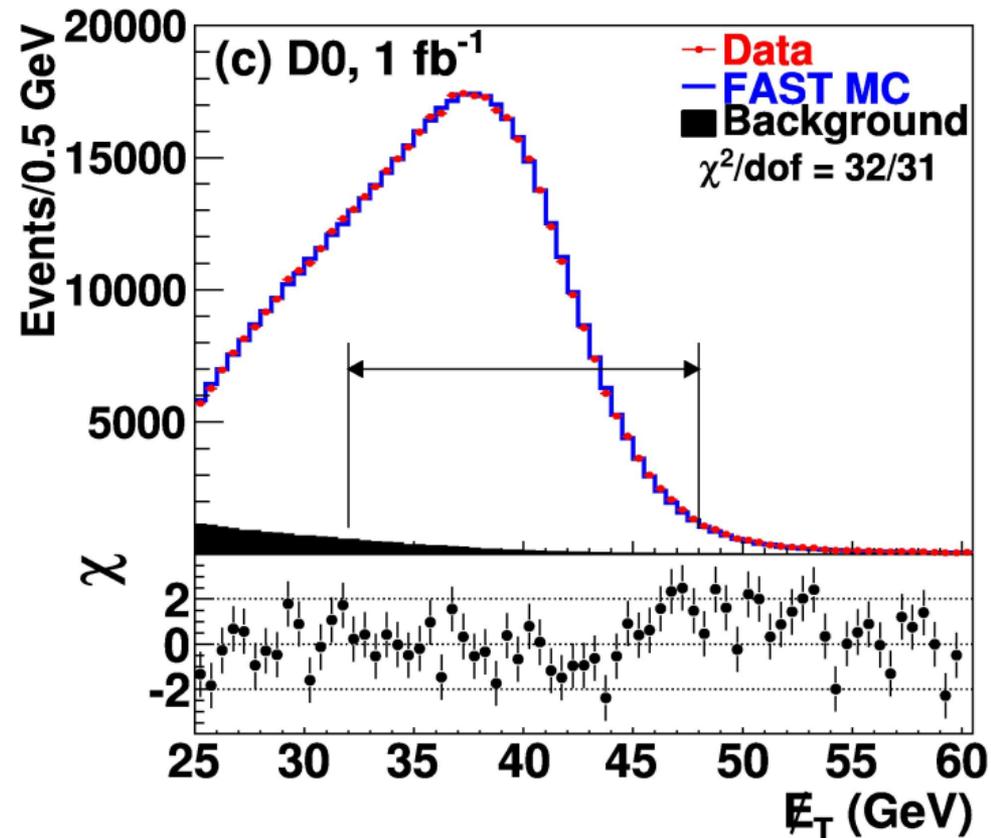
На момент публикации мировое среднее составляло $m_W = 80.399 \pm 0.025$ ГэВ

(комбинация результатов ALEPH, DELPHI, L3, OPAL, D0, CDF)

На 1 fb^{-1} в канале $W \rightarrow e\nu$ данных D0 представил результат

$$m_W = 80.401 \pm 0.043 \text{ ГэВ}$$

Самое точное измерение в одном эксперименте!



Электрослабые взаимодействия

Наблюдение образования ZZ пар

1.7 фб⁻¹

Исследуемый канал: $Z \rightarrow l^+ l' l'^+ l^-$ (где $l, l' = e$ или μ)

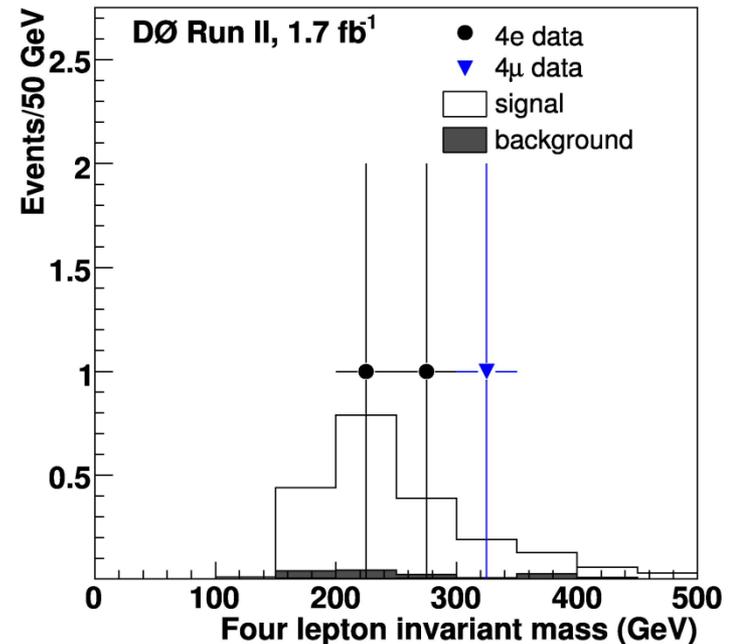
Предсказание Стандартной Модели: $\sigma = 1.4 \pm 0.1$ пб

Существенные отклонения от этой величины могут свидетельствовать о возможности ZZZ, ZZ γ процессов.

Наблюдено 3 события, фон – 0.14 события
(значимость 5.3 σ)

Измеренное сечение:

$$\sigma = 1.6 \pm 0.63(\text{стат.})_{-0.17}^{+0.16}(\text{сист.}) \text{ пб}$$



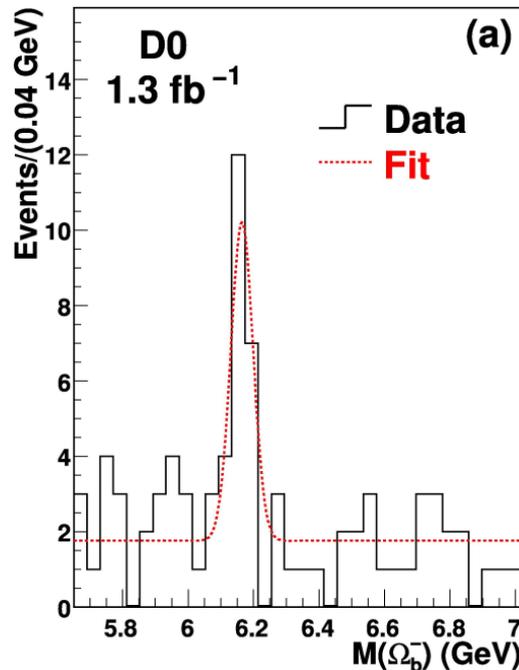
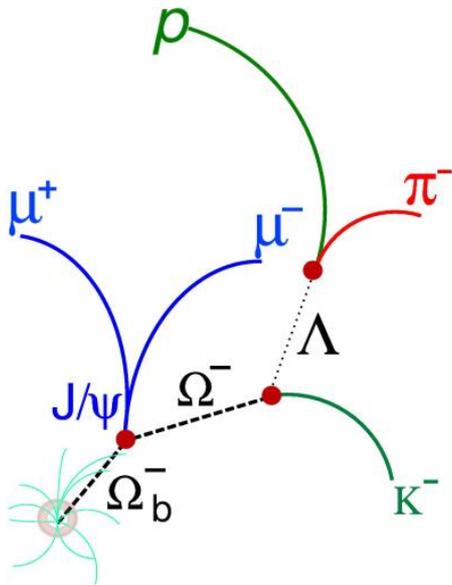
В-физика

Наблюдение дважды странного b -бариона Ω_b^-

• Открытие Ω^- в 1964 имело важнейшее значение, для подтверждения кварковой модели.

• На D0, с использованием 1.3 fb^{-1} данных были полностью реконструированы события-кандидаты Ω_b^- (bss) с предсказанной массой 5.94-6.12 ГэВ

$$\Omega_b^- \rightarrow J/\psi \Omega^- \quad \text{с} \quad J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-, \quad \Omega^- \rightarrow \Lambda K^- \quad \text{и} \quad \Lambda \rightarrow p \pi^-$$

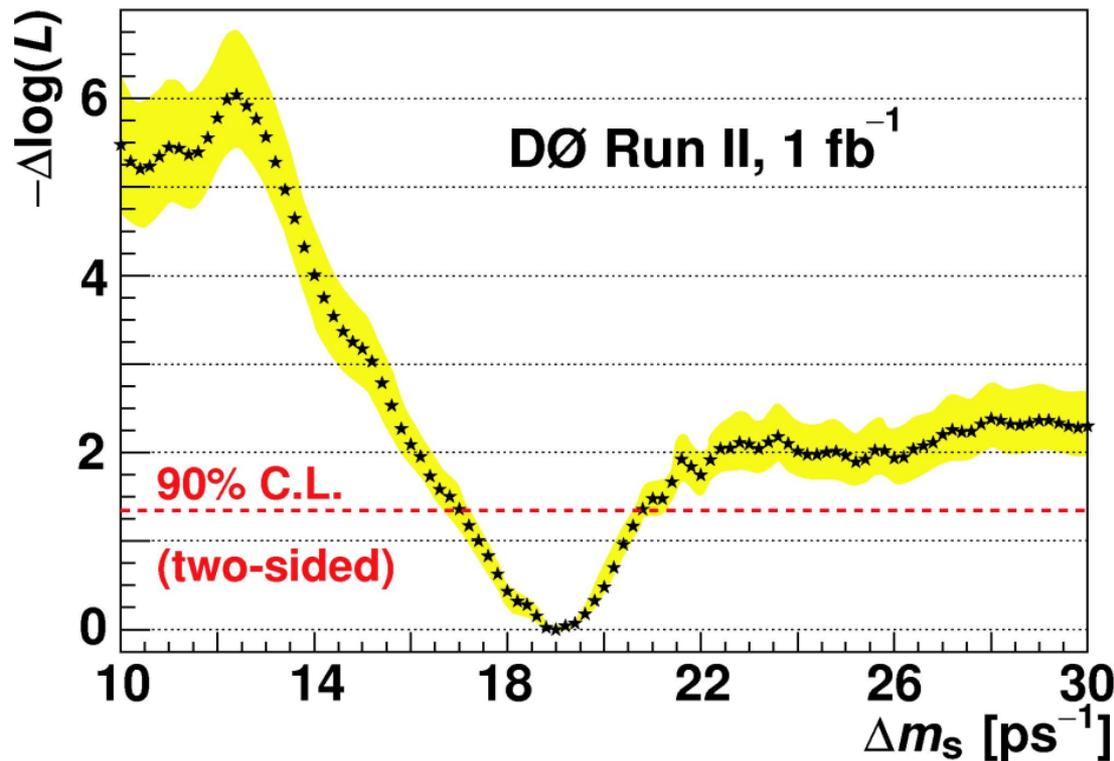


17.8 ± 4.9 (стат.) ± 0.8 (сист.) Ω_b^- событий
 $m = 6.165 \pm 0.010$ (стат.) ± 0.013 (сист.) ГэВ

В-физика

Прямые ограничения на частоту осцилляций B_s^0 мезона

- Связь треугольника унитарности СКМ и источника CP нарушений
- Не были обнаружены в предыдущих экспериментах установлена нижняя граница $\Delta m_s = 16.6 \text{ ps}^{-1}$
- Исследовался полуплептонный канал $B_s^0 \rightarrow \mu D_s^- X$ на 1 fb^{-1} данных



$$16 < \Delta m_s < 22 \text{ ps}^{-1}$$

**Впервые установлена
двусторонняя граница!**

Новая физика

- **Большое число поисковых направлений:**

- суперсимметрия

- лептокварки

- дополнительные измерения

- новые тяжелые бозоны

- новые тяжелые кварки

- RS-гравитоны

- возбужденные лептоны

- долгоживущие частицы

≈ 90 публикаций

- *Несмотря на то, что новых физических явлений не открыто, эти исследования крайне важны:*

- **всесторонне тестируется Стандартная Модель**

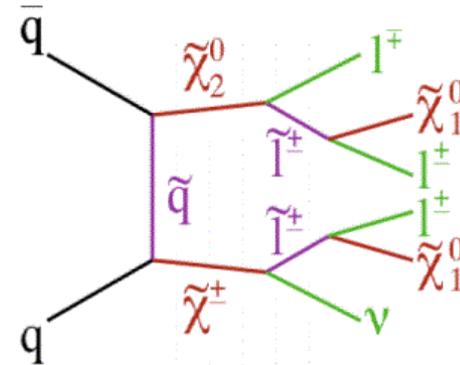
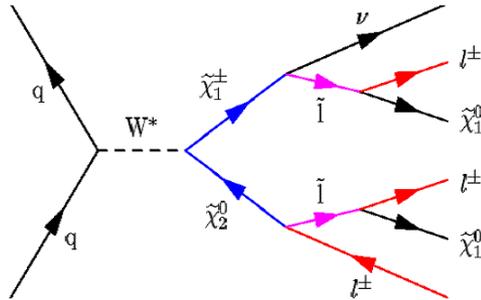
- **устанавливаются новые ограничения на процессы**

- **новые методологические разработки**

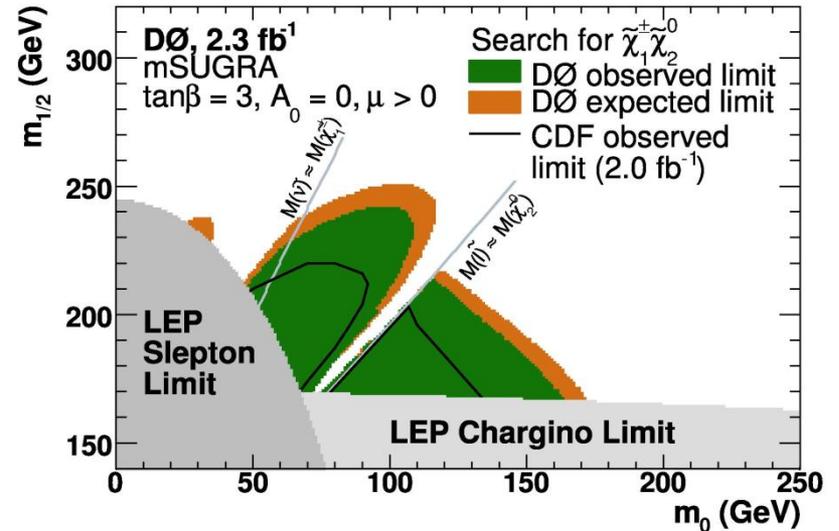
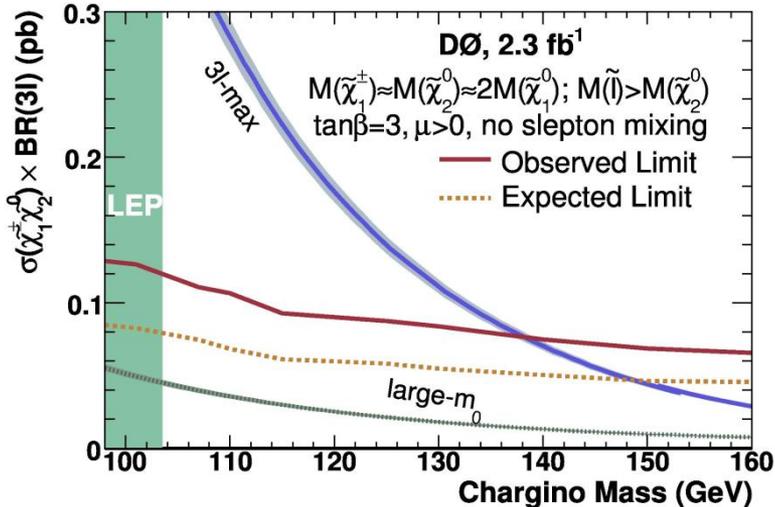
Новая физика

Поиск совместного рождения чарджино и нейтралино в трехлептонном конечном состоянии

• 2.3 fb^{-1}



- Конечное состояние: 3 лептона и недостающая поперечная энергия
- Исследовались различные комбинации из e, μ, τ



“Search for associated production of charginos and neutralinos in the trilepton final state”

Phys.Lett.B680:34-43,2009

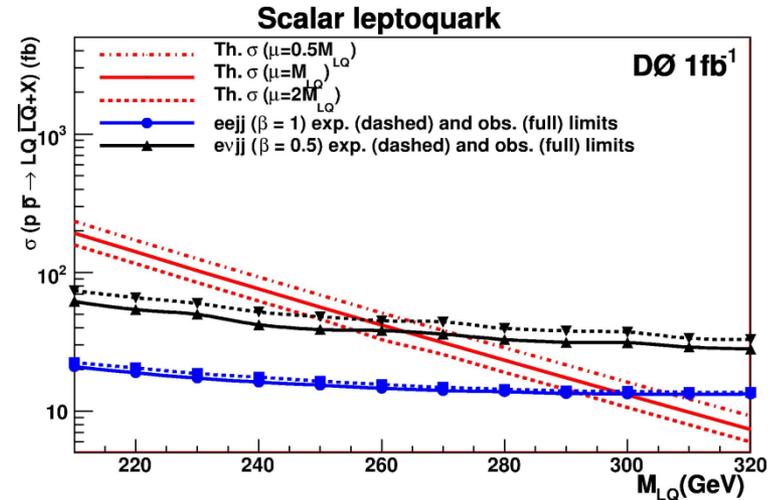
Новая физика

Поиск парного рождения лептокварков первого поколения

$$LQ\bar{L}\bar{Q} \rightarrow eeq\bar{q},$$

$$LQ\bar{L}\bar{Q} \rightarrow evq\bar{q}$$

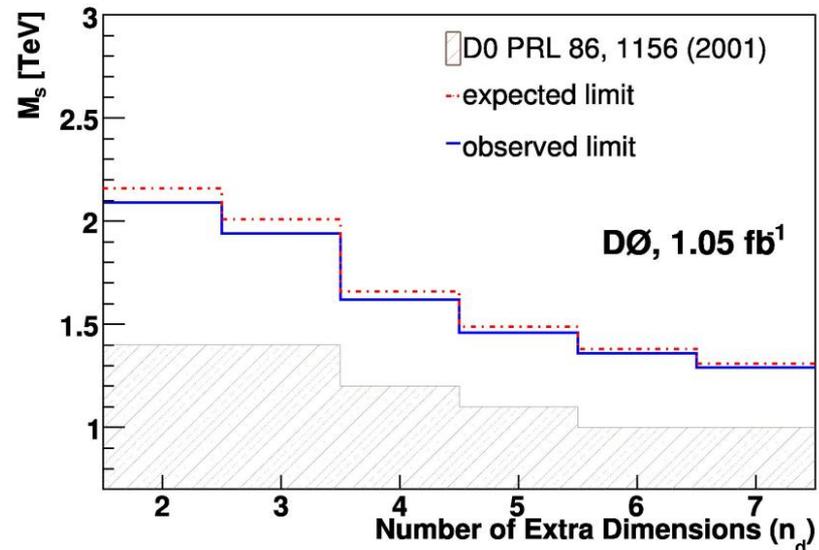
Phys. Lett. B 681, 224 (2009)



Поиск больших дополнительных измерений в ee и $\gamma\gamma$ каналах

Предполагается, что дополнительные измерения проявляют себя в существовании гравитонов Калуза-Кляйна и что $BR(G_{KK} \rightarrow \gamma\gamma)/BR(G_{KK} \rightarrow ee)=2$

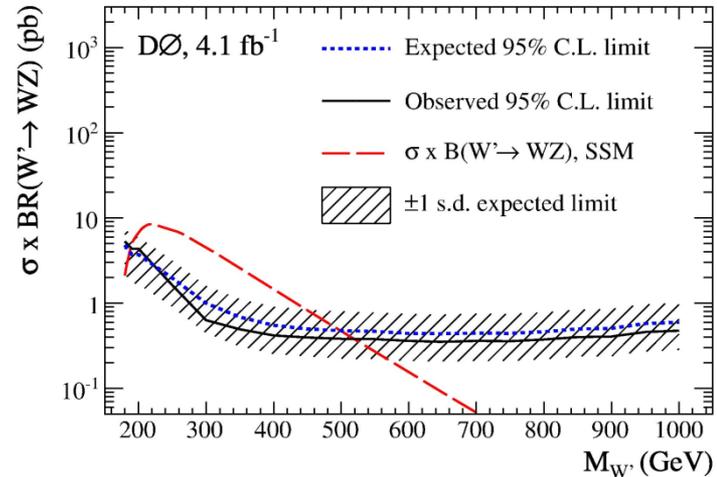
Phys. Rev. Lett. **102**, 051601 (2009)



Новая физика

Поиск резонанса, распадающегося на WZ пары

Различные расширения СМ (SSM, technicolor, дополнительные измерения) предсказывают существование W' , распадающегося на WZ

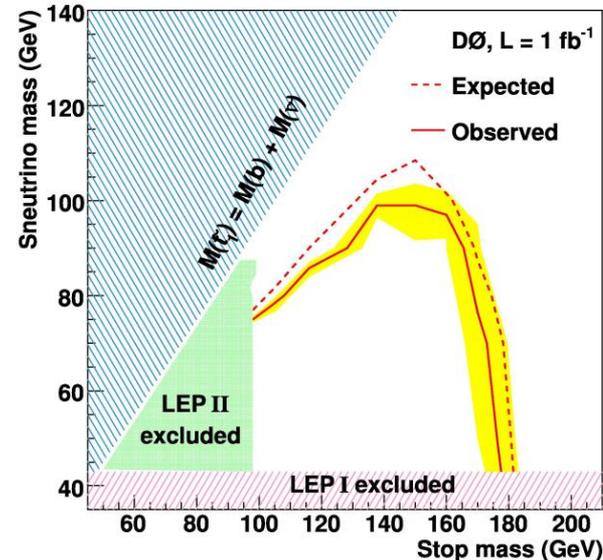


Phys. Rev. Lett. **104**, 061801 (2010)

Поиск легкого скалярного t-кварка в событиях с двумя лептонами

Легчайший суперсимметричный партнер t-кварка может оказаться достаточно легким, чтобы образоваться на Tevatron'e

$$\tilde{t}_1 \tilde{t}_1^* \rightarrow b \bar{b} l l' \tilde{\nu} \tilde{\nu}^*$$



Phys. Lett. B **675**, 289 (2009)

Заключение

- На установке D0 получены важнейшие физические результаты (прямые ограничения на массу бозона Хиггса, осцилляции B_s^0 , одиночное рождение t -кварка, дважды странный b барион и др.)
- Накопленная интегральная светимость сейчас достигла 8.1 фб^{-1} и продолжает расти
- Эксперимент продолжит работу до конца 2011
- После 2011 обработка данных будет продолжаться до тех пор, пока они будут оставаться конкурентноспособными (с LHC)

- Список результатов и публикаций D0:

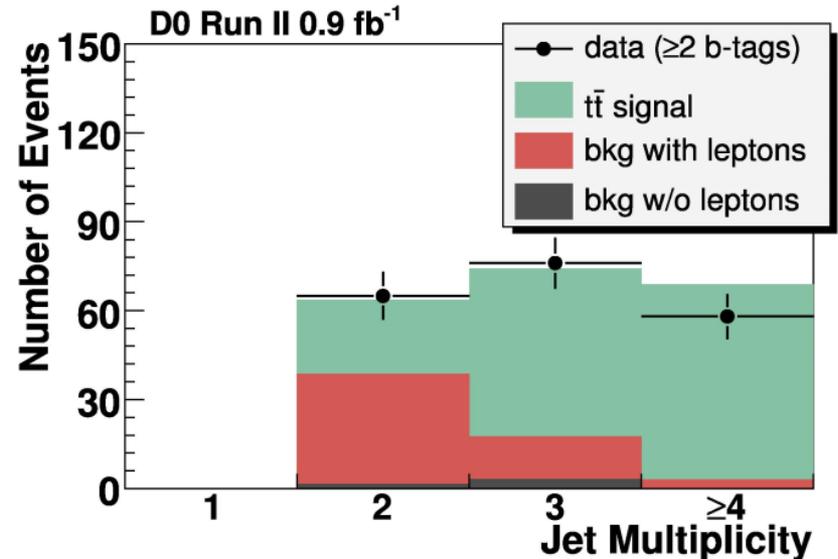
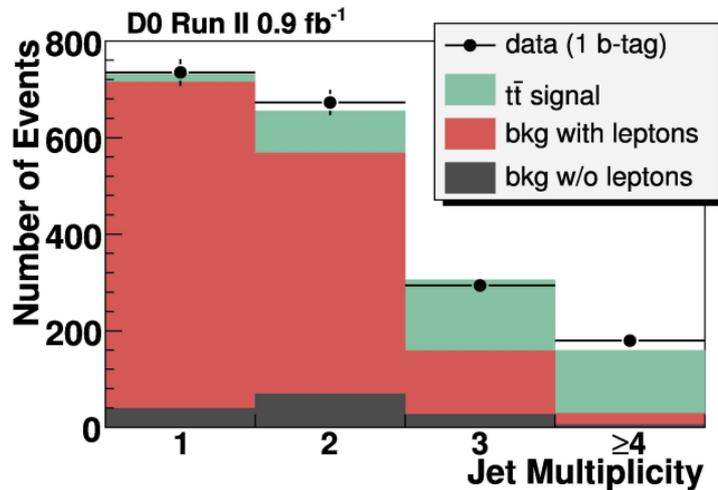
<http://www-d0.fnal.gov/Run2Physics/WWW/results.htm>

Backup

t-кварк

Измерение сечения образования $t\bar{t}$.

- 0.9 fb^{-1}
- конечное состояние: лептон+струи
- b-tagging



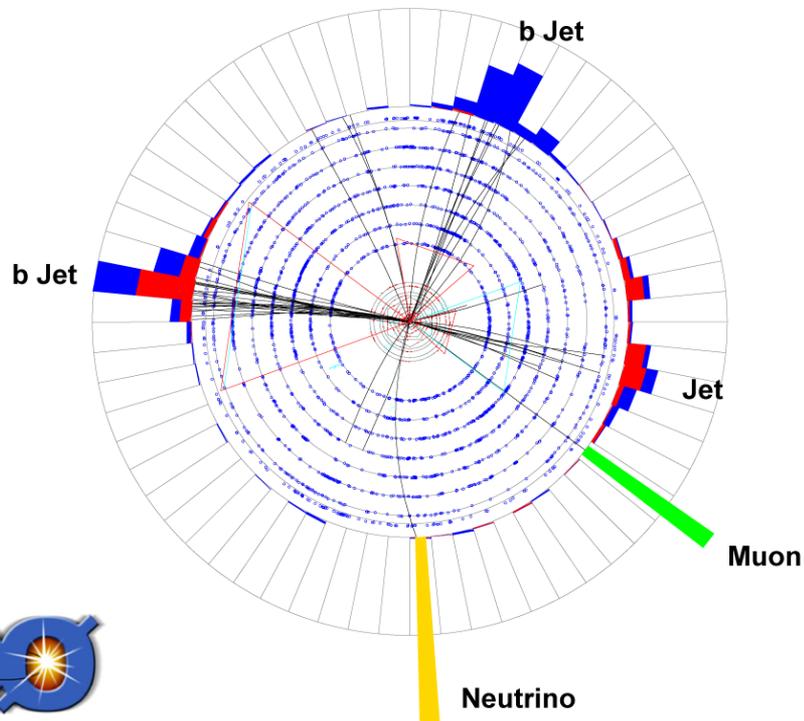
$$\sigma_{t\bar{t}} = 7.62 \pm 0.85 \text{ nb} \quad (\text{при } m_t = 172.6 \text{ ГэВ})$$

Наблюдение одиночного рождения t -кварка

DØ Experiment Event Display Single Top Quark Candidate Event, 2.3 fb^{-1} Analysis

Run 223473 Evt 27278544 Sun Jul 23 19:21:41 2006

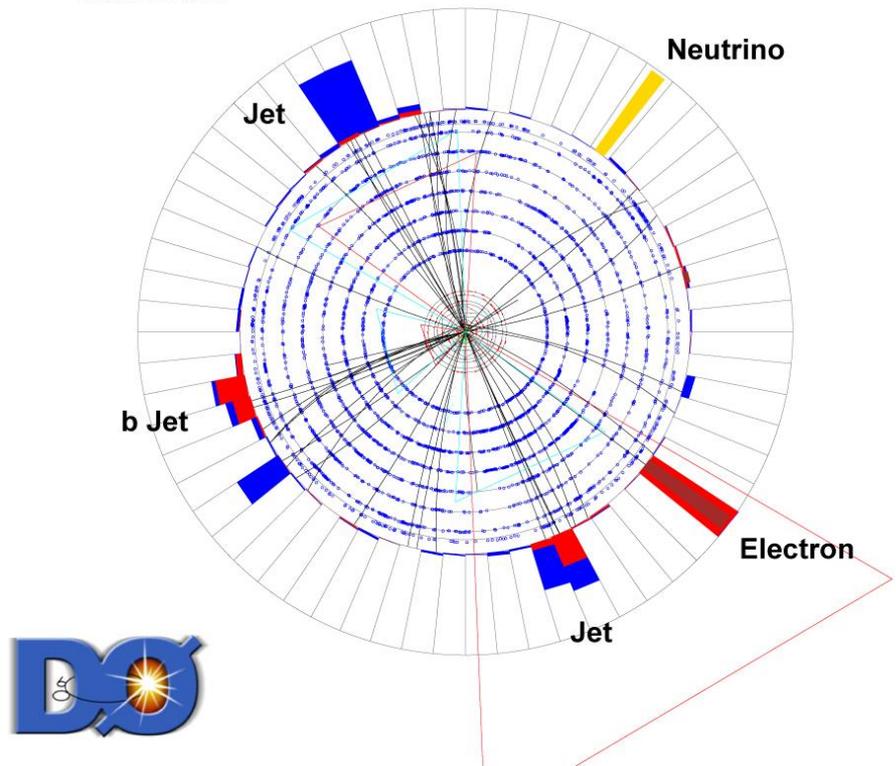
ET scale: 28 GeV



DØ Experiment Event Display Single Top Quark Candidate Event, 2.3 fb^{-1} Analysis

Run 229388 Evt 13339887 Wed Jan 3 21:05:14 2007

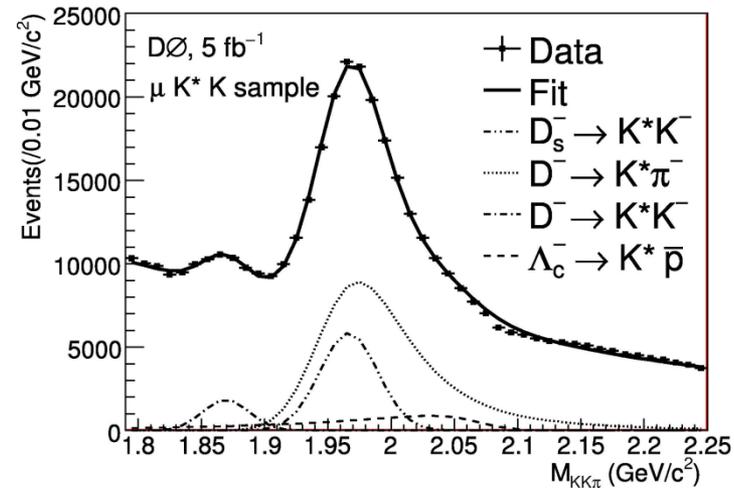
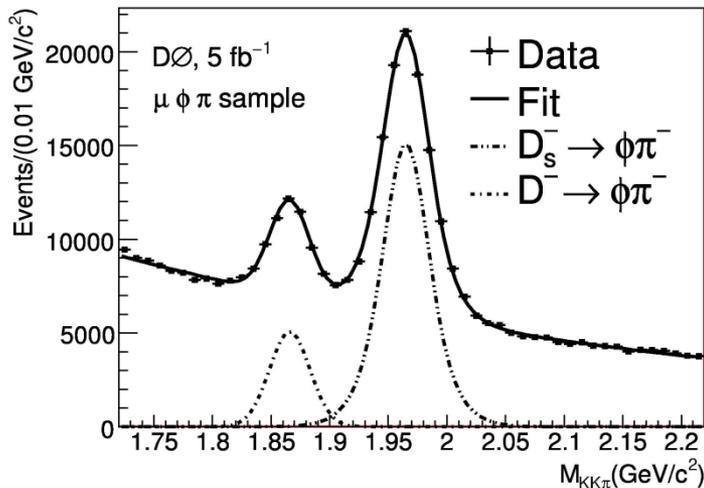
ET scale: 39 GeV



В-физика

Поиск CP-нарушения в полуплептонных распадах B_s^0 мезона

- Обнаружение CP-нарушения в системе $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ может служить прямым указанием на наличие новой физики
- Измерялся параметр $a_{fs}^s = \frac{\Delta\Gamma_s}{\Delta m_s} \tan \phi_s$ - предсказания СМ $(0.0206 \pm 0.0057) \times 10^{-3}$
- На 5 fb^{-1} исследовался канал $B_s^0 \rightarrow \mu D_s^- X$



$$a_{fs}^s = \left[-1.7 \pm 9.1 (\text{stat.})_{-1.3}^{+1.2} (\text{syst.}) \right] \times 10^{-3}$$