

Наблюдение Ω_b бариона на установке D0, FNAL

Вертоградов Л.С.

от коллаборации D0

Научная сессия-конференция секции
ядерной физики ОФН РАН
Институт физики высоких энергий
Протвино, 22-25 декабря, 2008.

Наблюдавшиеся b-барионы

До недавнего времени только один барион наблюдался напрямую:

$$\Lambda_b^0 (udb): \Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi + \Lambda^0 \quad \text{UA1: PL B273, 540 (1991)}$$

Однако, за последние два года в Лаборатории Ферми было открыто ещё 4 бариона:

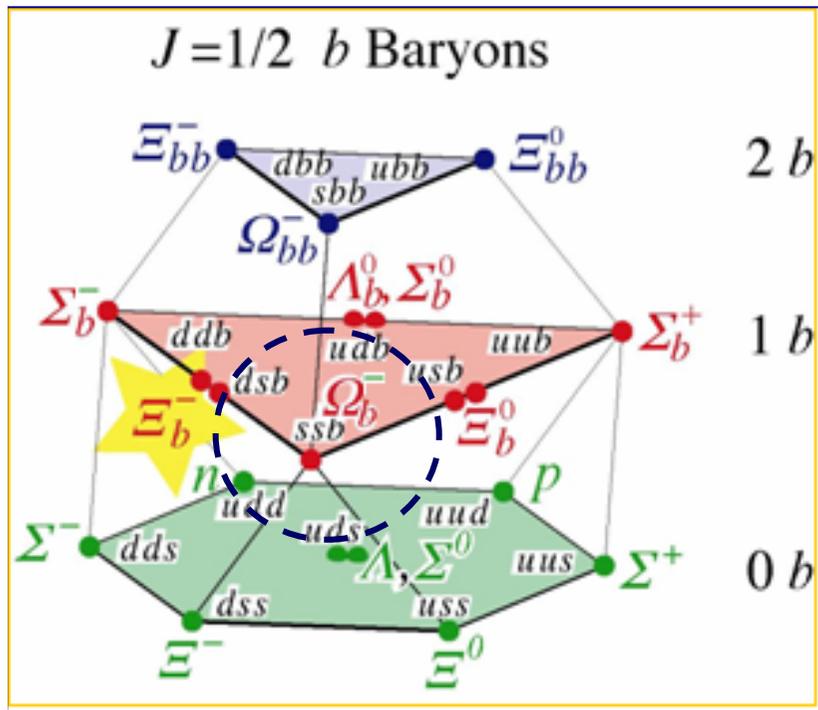
$$\Sigma_b^+(uub), \Sigma_b^-(ddb): \Sigma_b^\pm \rightarrow \Lambda_b^0 \pi^\pm \rightarrow (\Lambda_c^+ \pi^-) \pi^\pm \quad \text{CDF: PRL 99, 202001 (2007)}$$

$$\Xi_b^-(dsb): \Xi_b^- \rightarrow J/\psi + \Xi^- \text{ (D0, CDF); } \Xi_b^- \rightarrow \Xi_c^0 \pi^- \text{ (CDF);}$$

$\text{D0: PRL 99, 052001 (2007); CDF: PRL 99, 052002 (2007)}$

$$\Omega_b^-(ssb): \Omega_b^- \rightarrow J/\psi + \Omega^- \rightarrow J/\psi + (\Lambda^0 K^-) \quad \text{D0: PRL 101, 232002 (2008)}$$

Поиск Ω_b^- , $J=1/2$

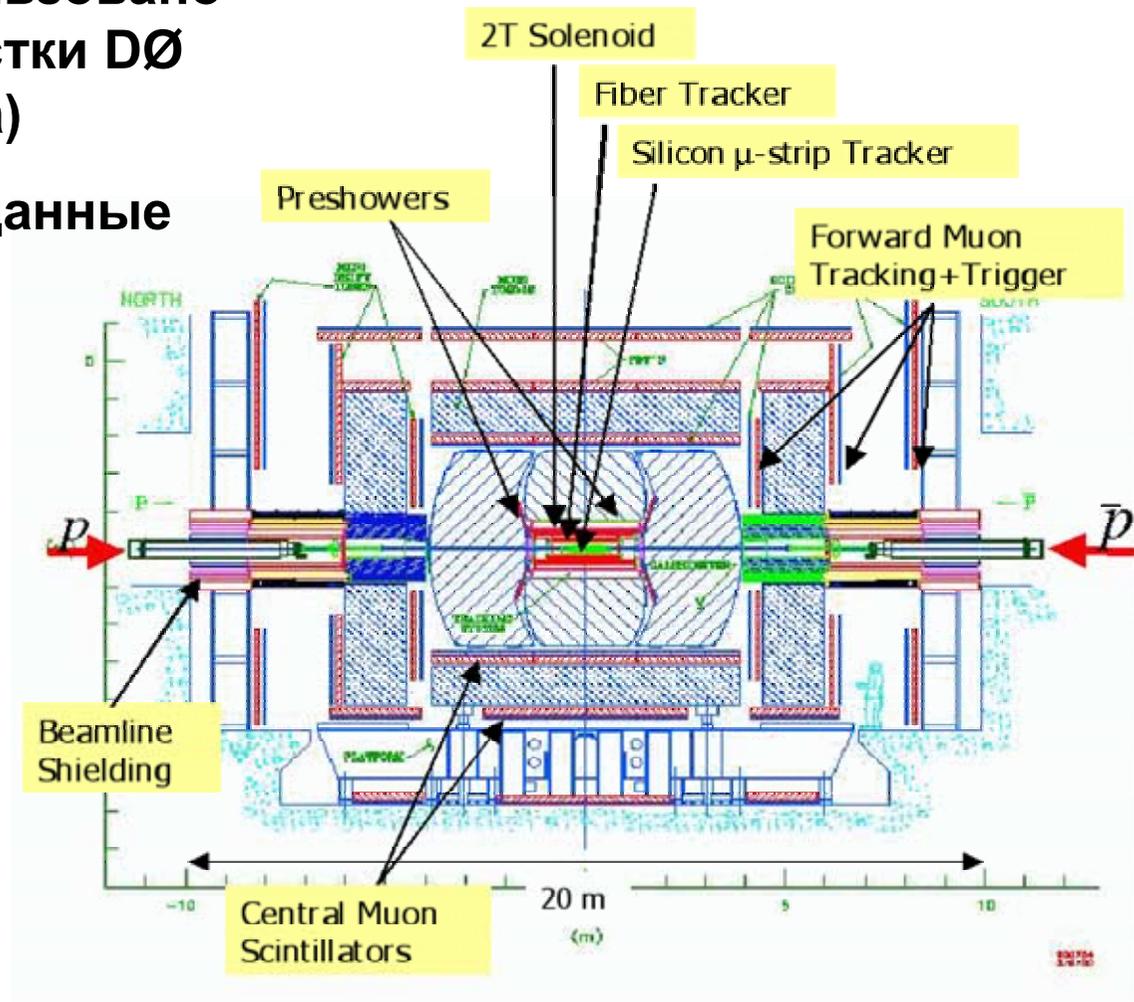


- bss комбинация кварков
- Предсказываемая масса: $5.94 - 6.12 \text{ GeV}/c^2$
- $0.83 < \tau(\Omega_b^-) < 1.67 \text{ ps}$
- $M(\Omega_b^-) > M(\Lambda_b)$

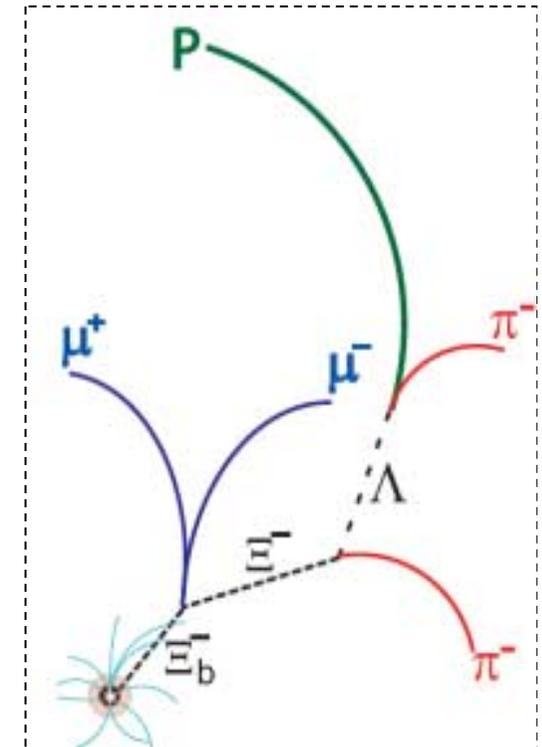
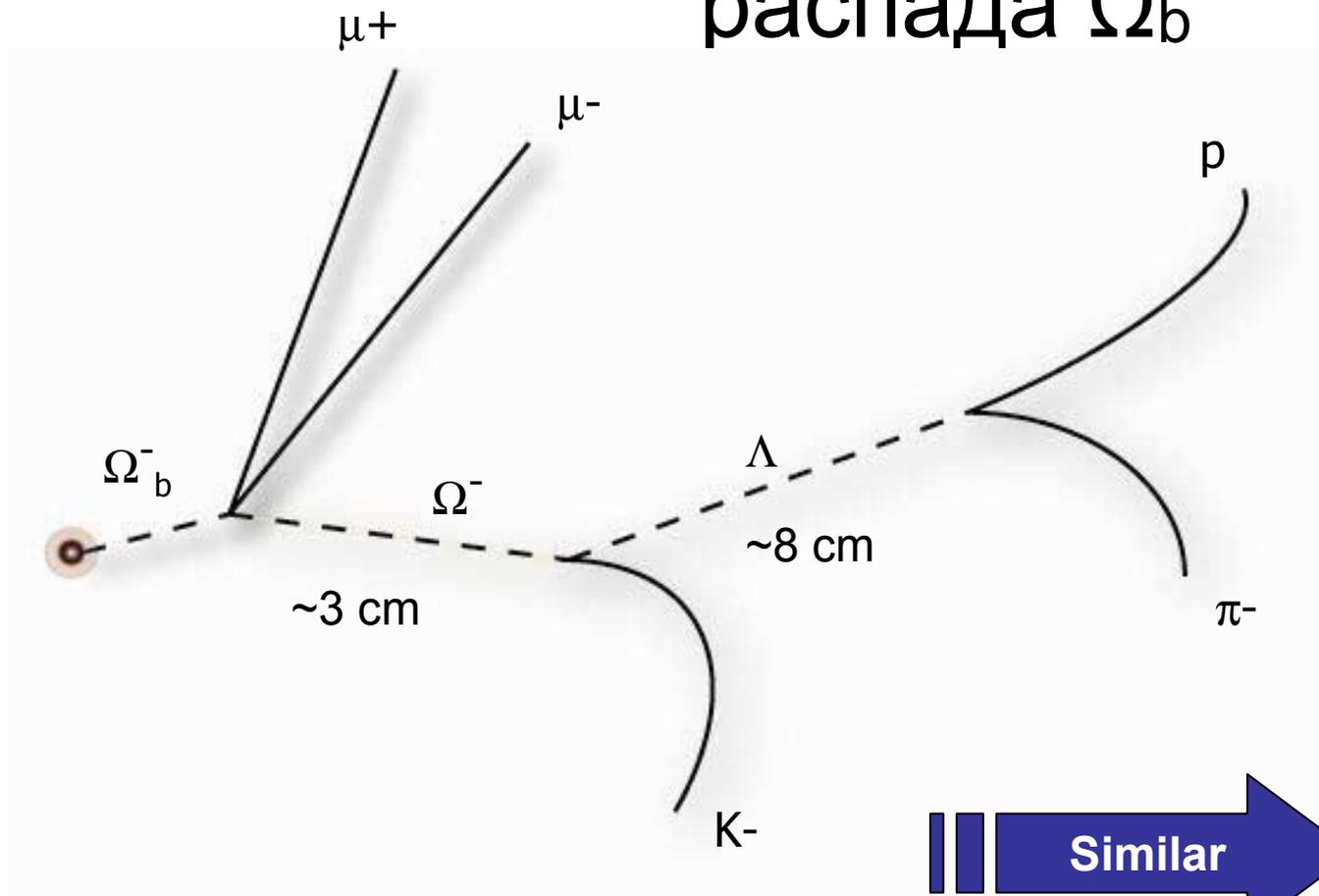
Детектор & Экспериментальные данные

В этом анализе использовано 1.3 fb^{-1} из всей статистики $D\bar{O}$ детектора (RunIIa data)

– главным образом, данные Трекера и Мюонного спектрометра



Топология исследуемых событий распада Ω_b^-



Последовательность анализа

➔ Отбор J/ψ кандидатов

Повторная обработка отобранных данных с целью увеличения эффективности реконструкции дочерних частиц от Λ и Ω .

➔ Выделение $\Lambda \rightarrow p\pi^-$

Оптимизация выхода по критерию «значимость собственной длины распада».

➔ Реконструкция $\Omega^- \rightarrow \Lambda + K^-$

Оптимизация выхода с помощью MVTA (ROOT, MultiVariate Techniques of Analysis)

➔ Комбинирование $J/\psi + \Omega$

Вначале оптимизируется фон, используя заведомо ложные комбинации $J/\psi + (\Lambda K^+)$

$$\text{➔ } M = M_{J/\psi\Omega} - M_{J/\psi} - M_{\Omega} + M_{J/\psi}^{PDG} + M_{\Omega}^{PDG}$$

Улучшение разрешения по массе с 80 MeV до 34 MeV (event-by-event correction)

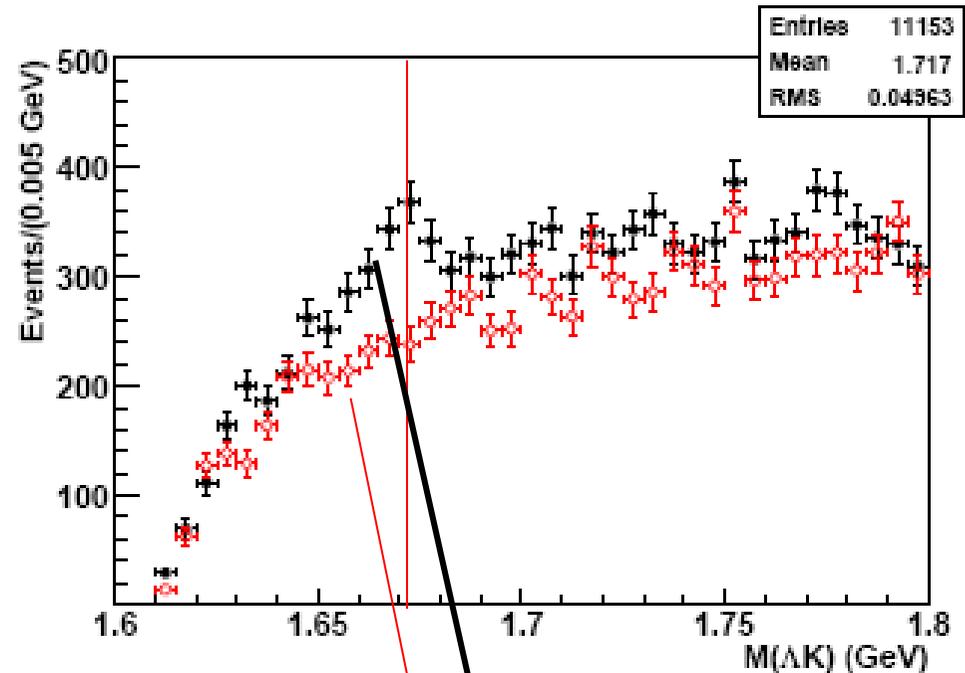
➔ Фиксирование критериев отбора и применение их к $J/\psi + \Omega^-$

Выделение сигнала, контроль возможных вкладов в него от фоновых событий

Реконструкция Ω^-

Минимальный набор критериев:

- Восстановление общей вершины треков Λ и K -кандидата; λ – расстояние до первичной вершины, измеренное в поперечной плоскости детектора
- Значимость предполагаемой длины распада $\lambda/\sigma_\lambda > 4$
- Ошибка длины распада $\sigma_\lambda < 0.5$ см



Ошибочная
зарядовая
комбинация
($\Lambda+K^+$)

Правильная
комбинация
зарядов
($\Lambda+K^-$)

Реконструкция Ω^- (2)

Чтобы подавить комбинаторный фон, применялся много-вариантный анализ (программа MVTA из пакета ROOT, CERN). Одновременно использовалось до 20 входных переменных (BDT, Boosted Decision Trees analysis mode):

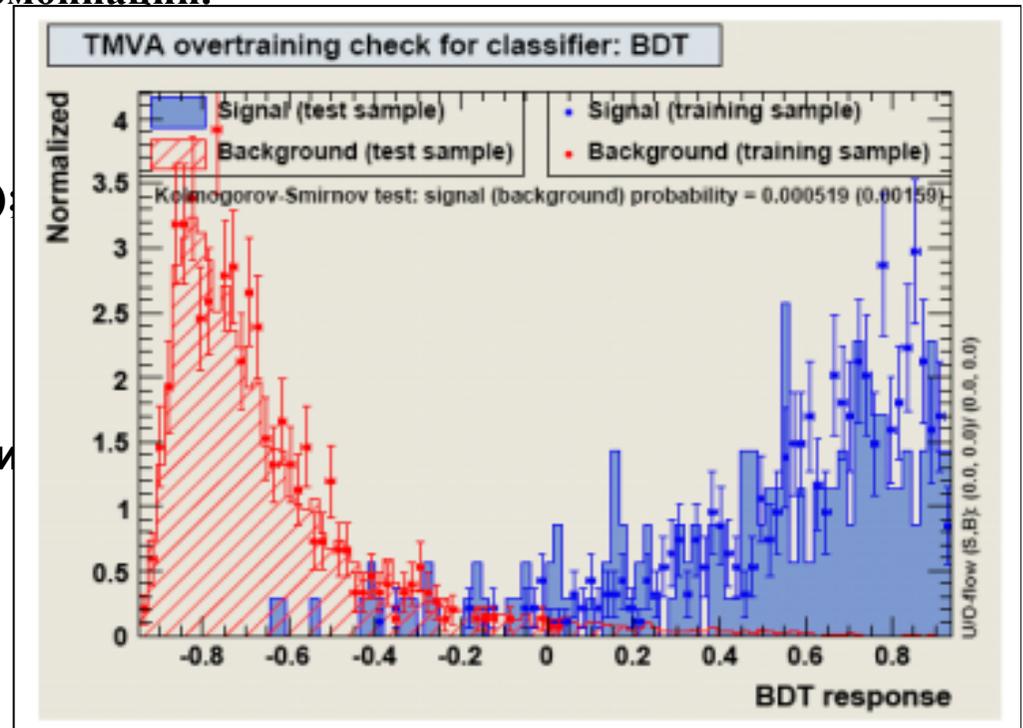
- описывающих кинематику продуктов распада Λ and Ω ;
- характеризующих вершины Λ и Ω , а также их длины распада;
- **но ничего**, касающегося $J/\psi \Omega$ комбинации.

Тренировка и оптимизация:

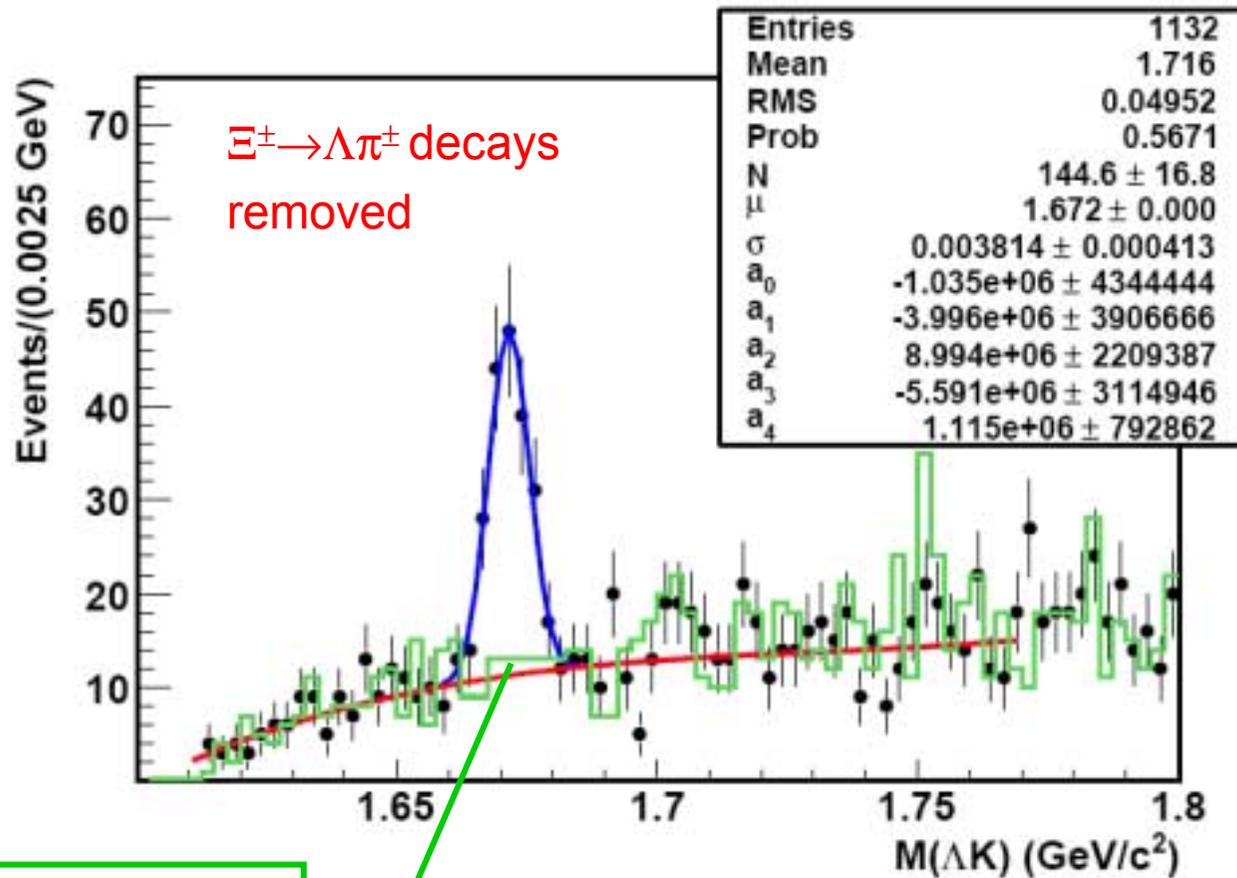
- в качестве «сигнала»: $\Omega^- \rightarrow \Lambda K^-$ MC события (моделирование Ω_b);
- в качестве «фона»: выборка $J/\psi \Lambda K^+$ (т.е., ложная зарядовая комбинация треков).

Наиболее значимыми переменными оказались:

- P_T каона;
- P_T протона;
- P_T пиона;
- длина распада Ω .

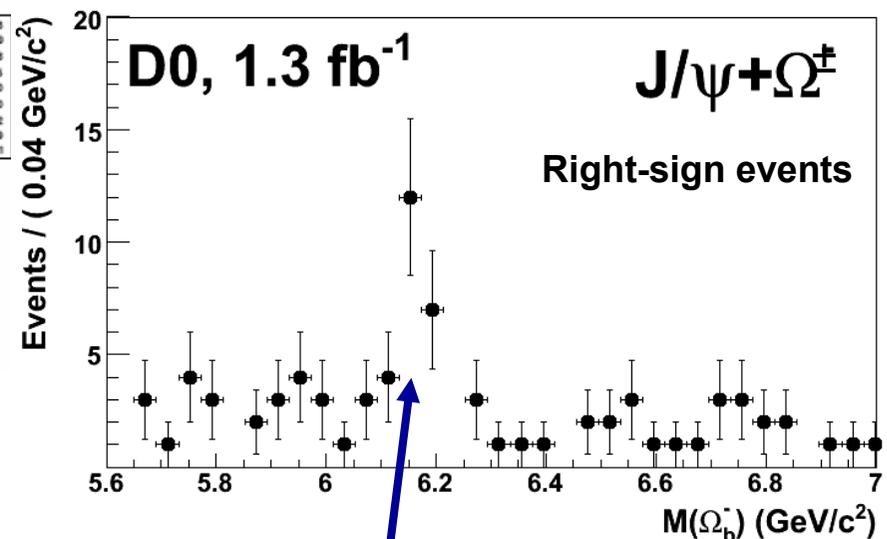
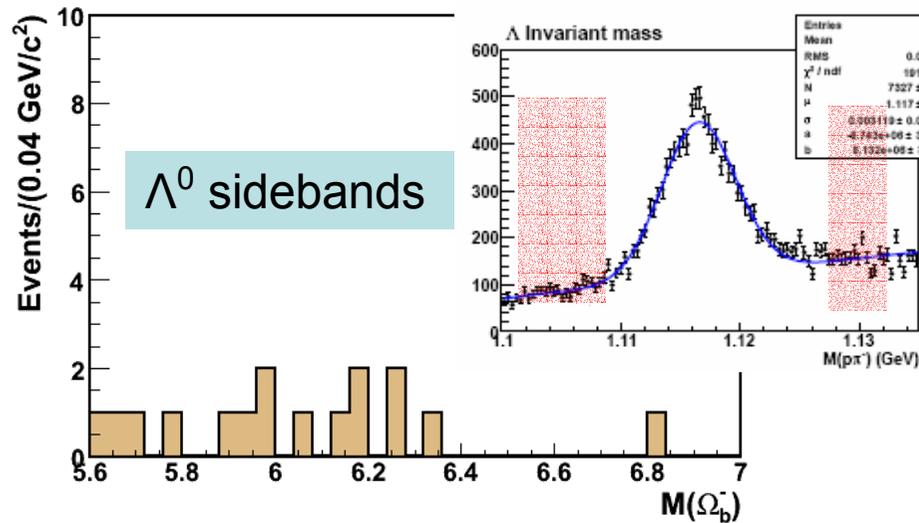
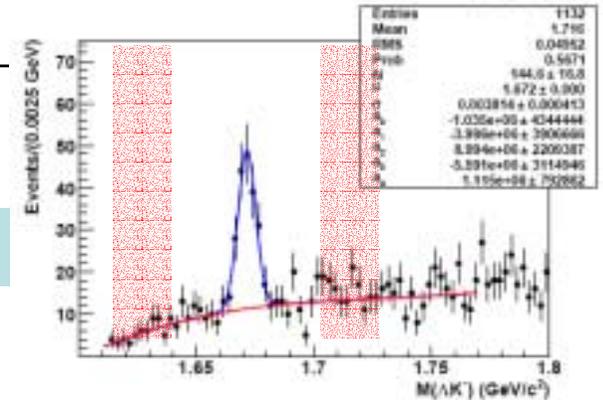
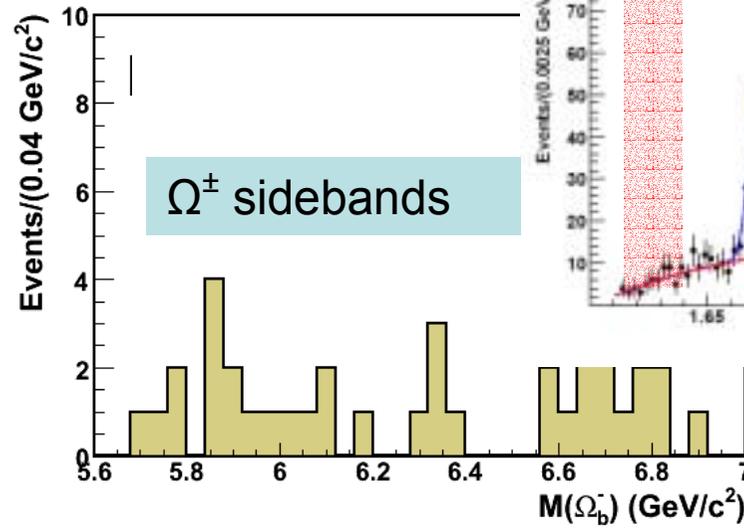
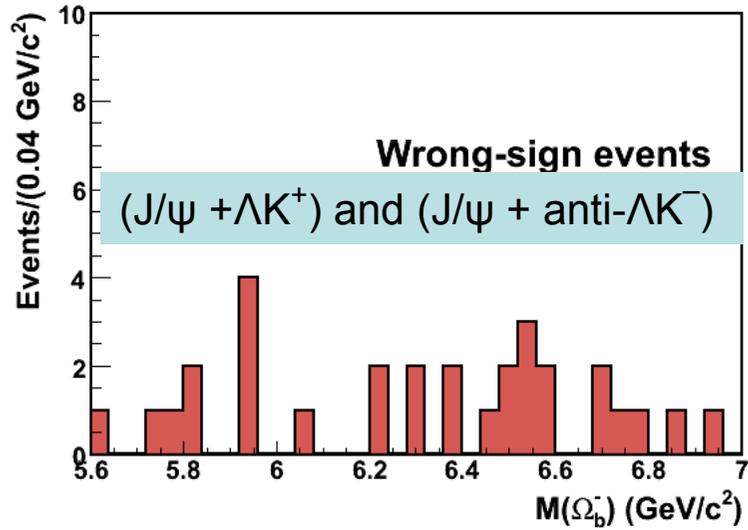


Реконструкция Ω^- (3) after BDT selection



Wrong-sign combination events

Фон & Сигнал



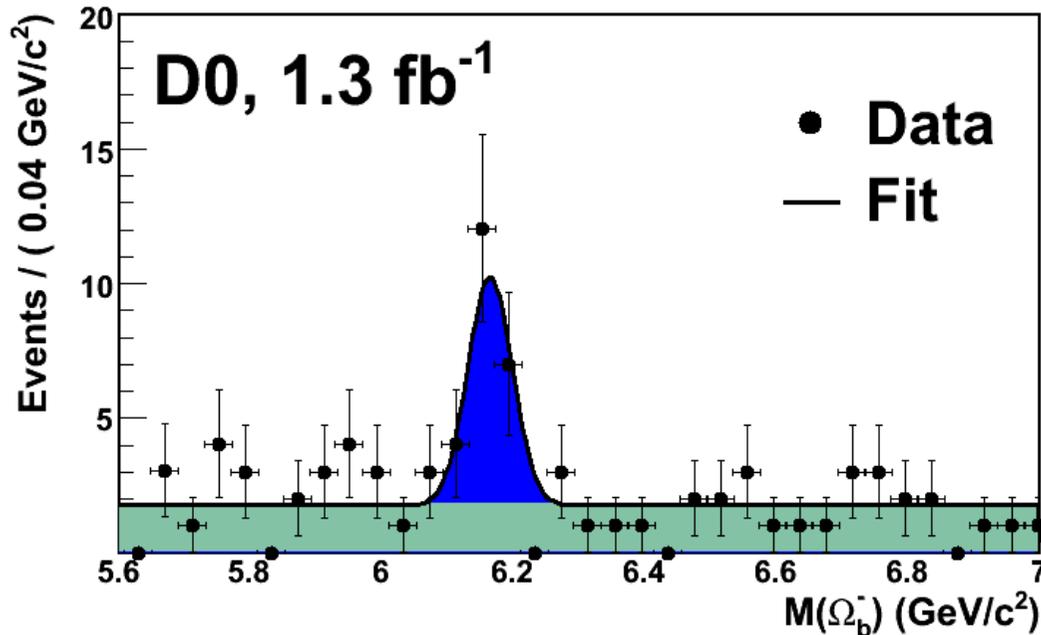
16.02.2009

ОИЯИ, Вертоградов Л.С.

Сигнал !!

10

Результат



Оценка значимости сигнала получена путём сравнения двух значений функции максимального правдоподобия при описании результирующих данных:

1. Гипотезой «сигнал + фон» (L_{S+B})
2. Только «фоновой» гипотезой (L_B)

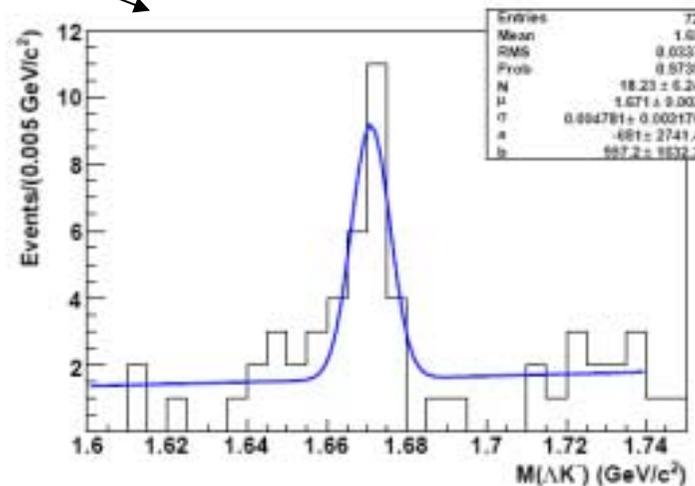
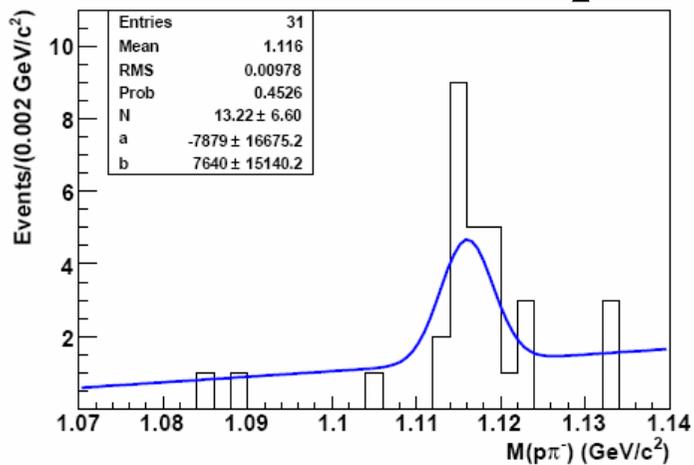
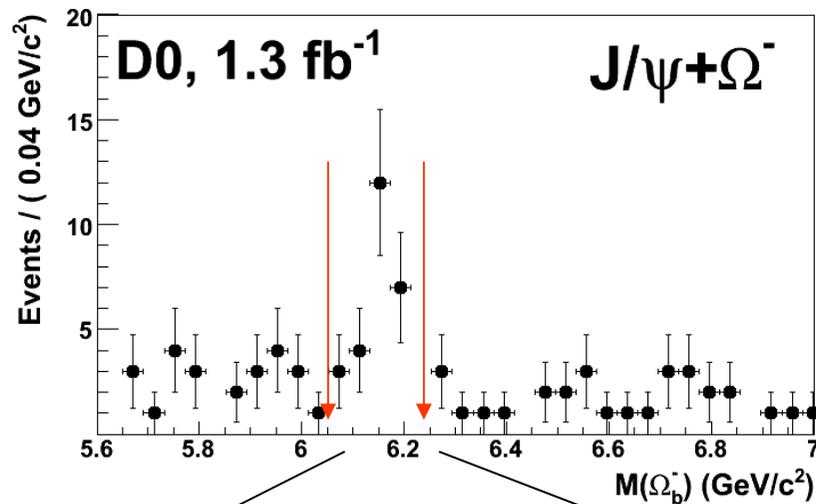
$$\sqrt{-2\Delta \ln L} = \sqrt{-2 \ln \left(\frac{L_B}{L_{S+B}} \right)} = 5.4$$

Число событий под пиком: 17.8 ± 4.9 (stat) ± 0.8 (syst)

Масса: $M = 6.165 \pm 0.010$ (stat) ± 0.013 (syst) GeV; $\Delta M=34$ MeV

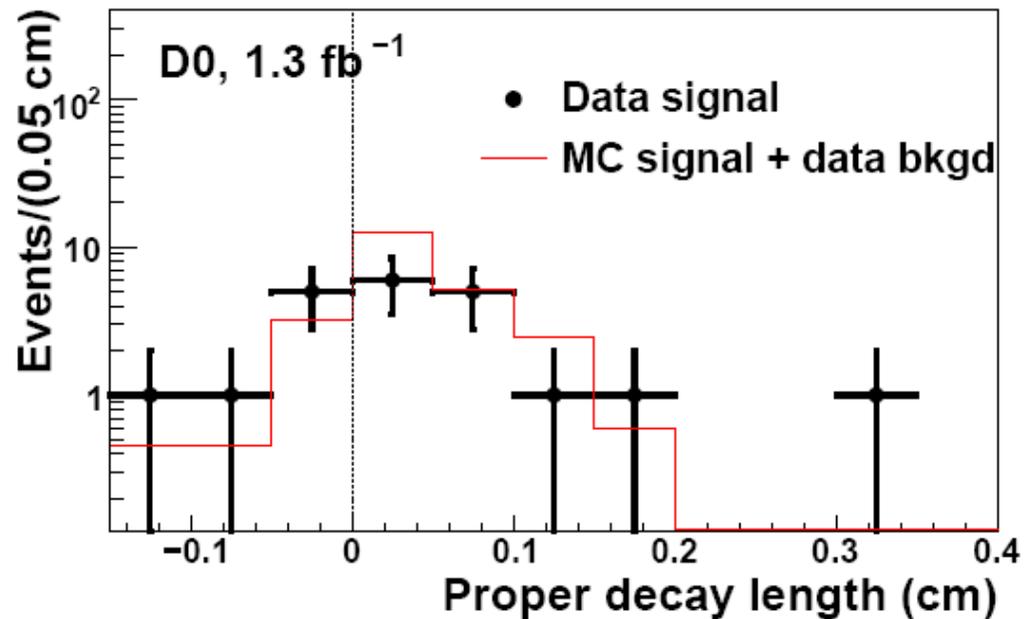
Значимость сигнала= 5.4σ

Проверка наблюдения (1). Состоятельность промежуточных резонансов

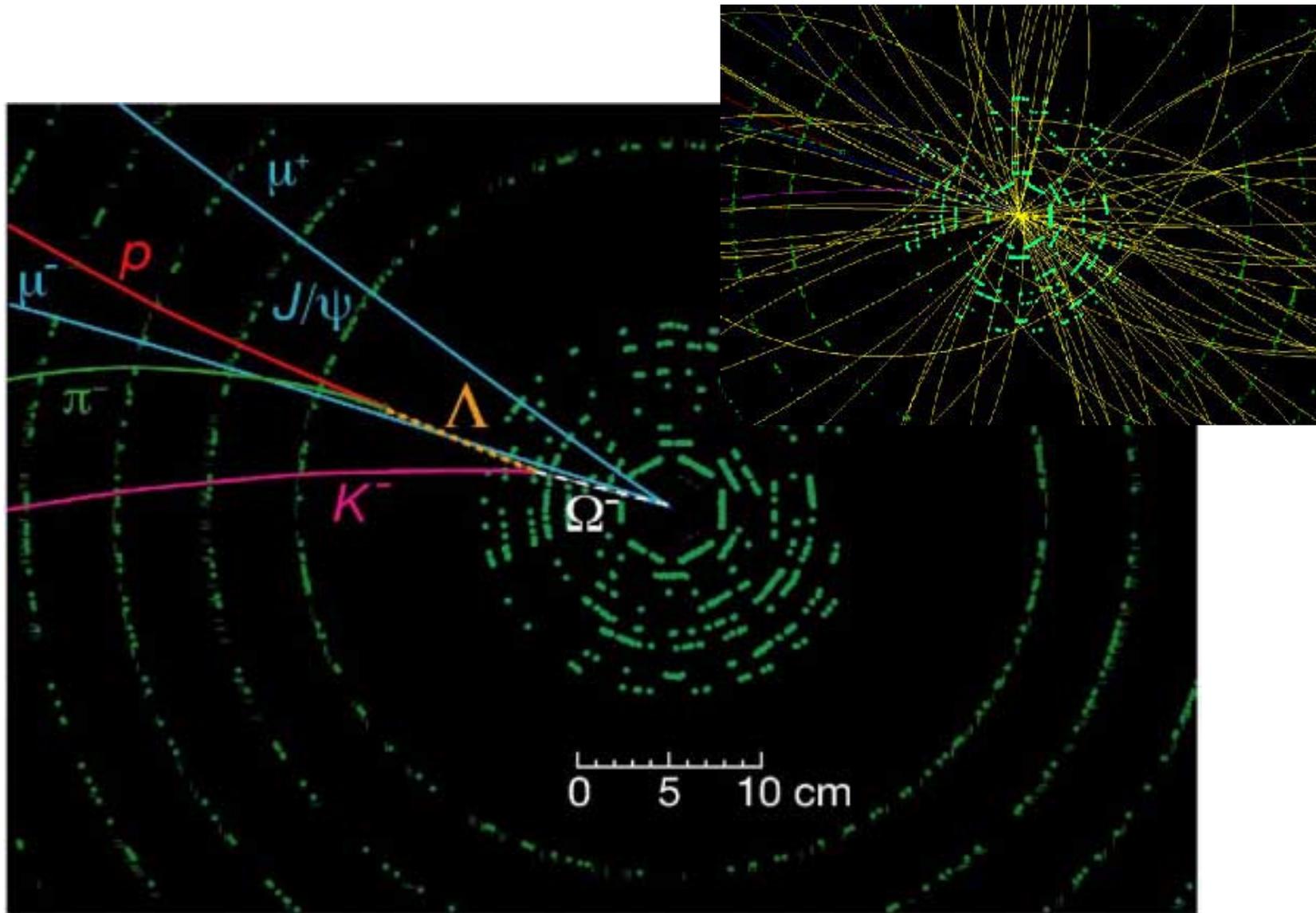


ОИЯИ, Вертоградов Л.С.

Проверка наблюдения (2). Время жизни Ω_b



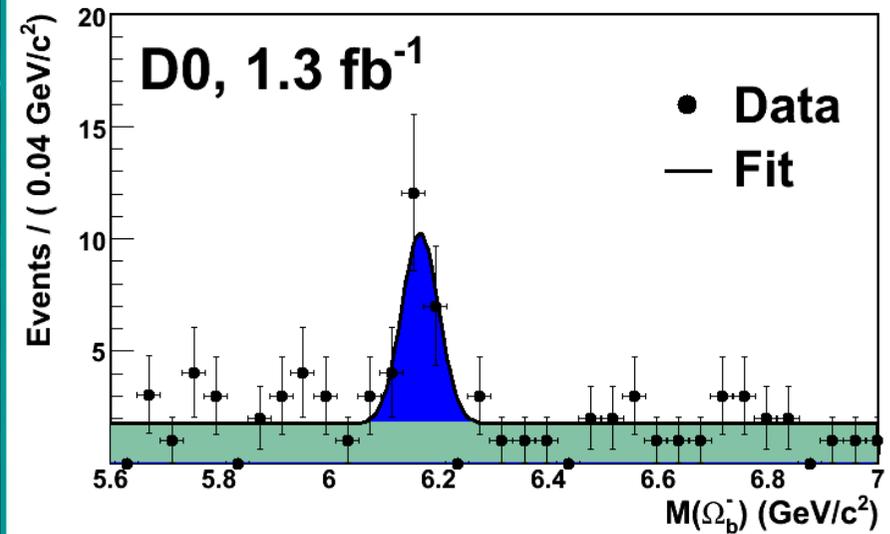
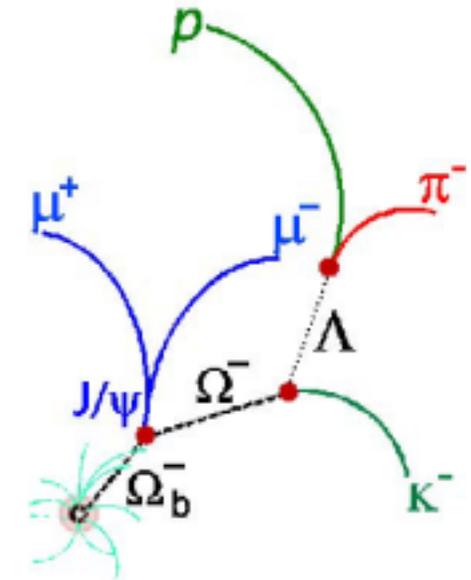
Конечно, статистики недостаточно для измерения этого параметра. Здесь демонстрируется лишь согласие между экспериментальными и MC данными, генерированными для $\tau(\Omega_b) = 1.54 ps$.



Run 203929, Event 22881065, $M(\Omega_b) = 6.158$ GeV

FERMILAB W&C Seminar
August 25th, 2008

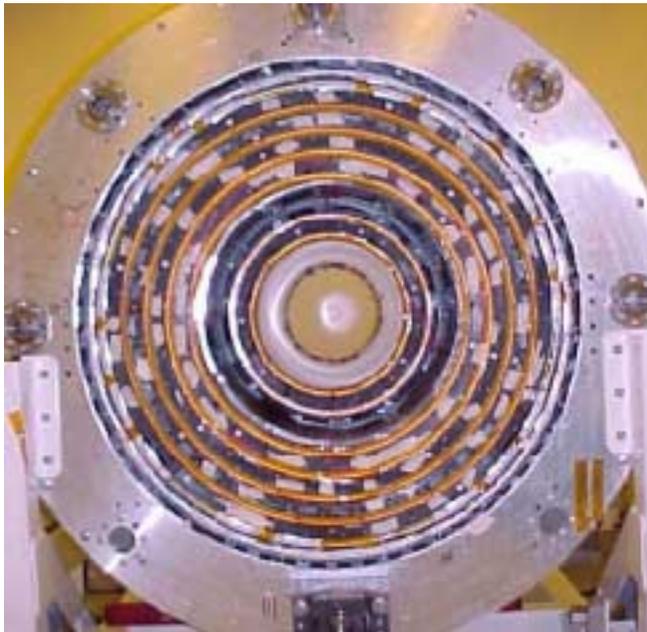
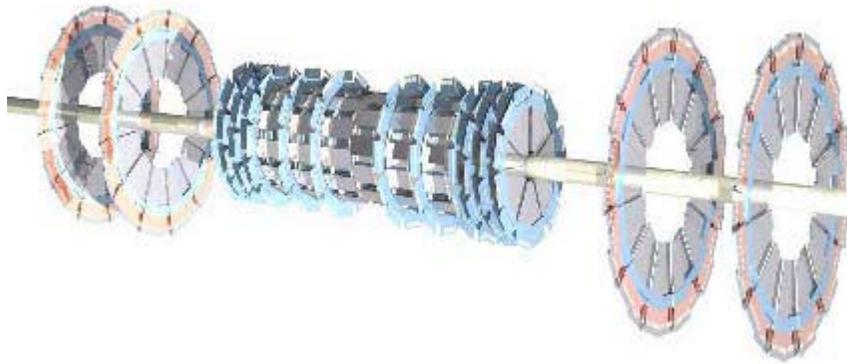
Most recent b-baryon observed at Fermilab

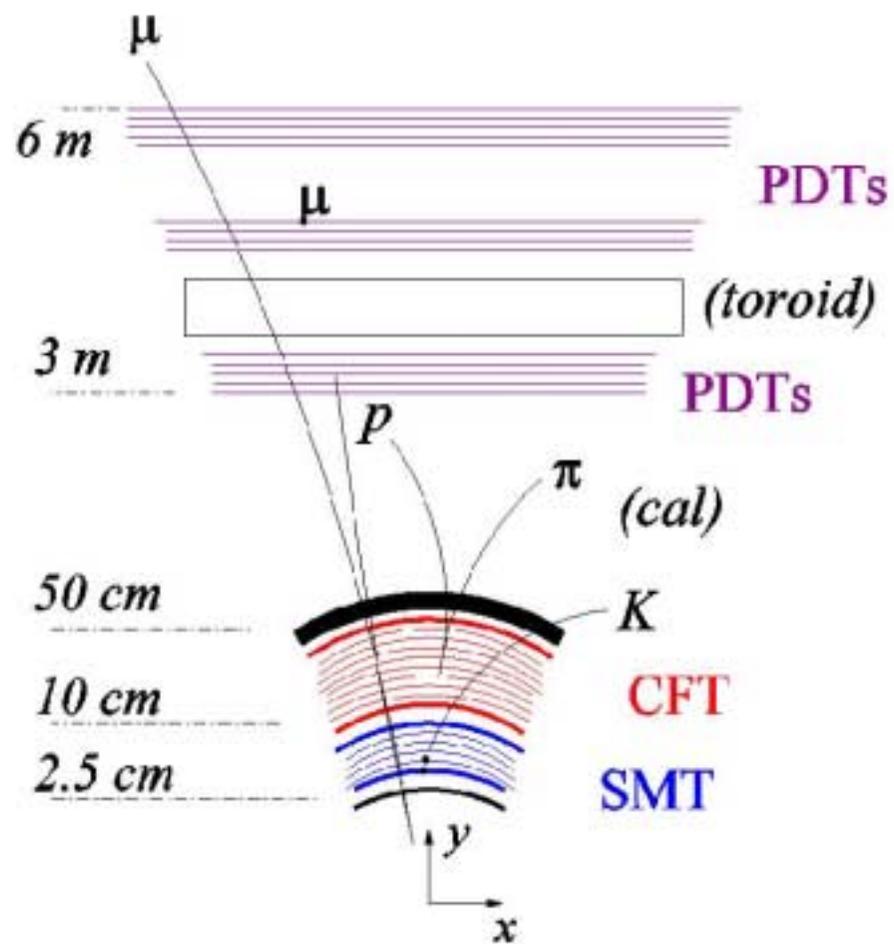


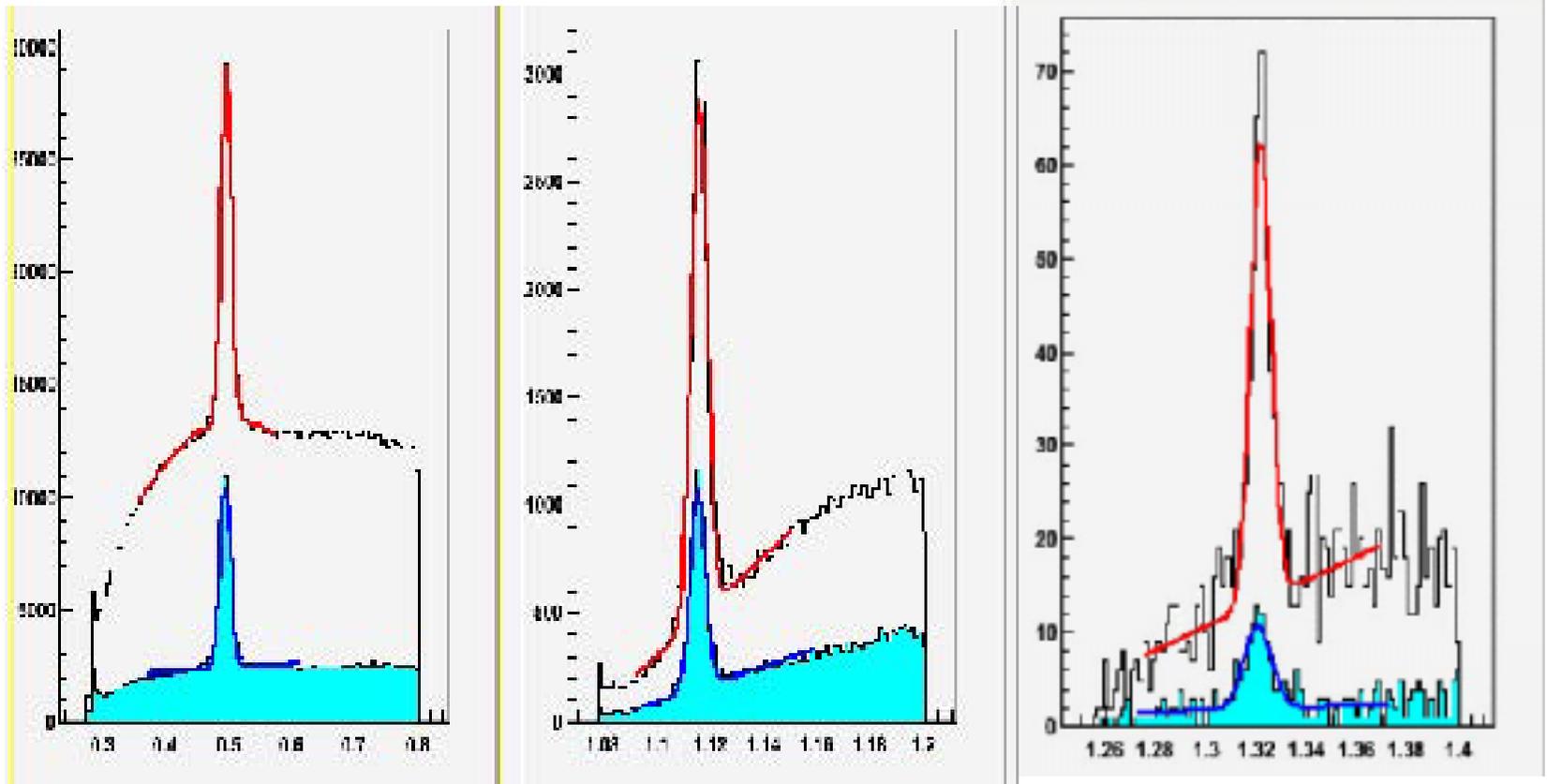
$$M(\Omega_b^-) = 6.165 \pm 0.010(\text{stat}) \pm 0.013(\text{syst}) \text{ GeV}$$

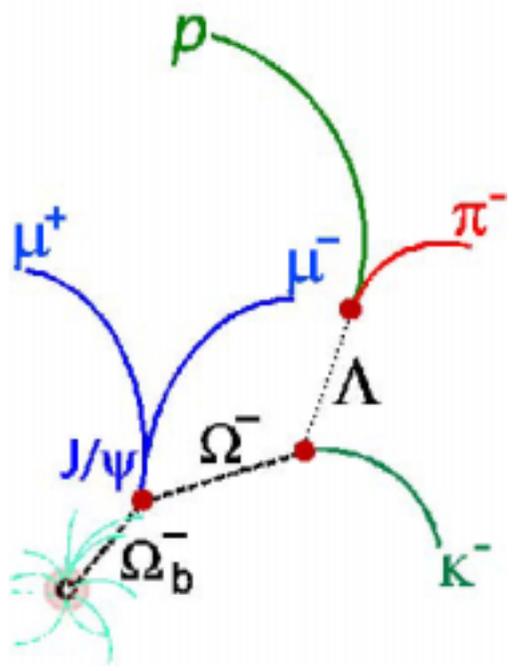
Phys Rev Letters, 101, 232002 (2008)

Дополнительные слайды



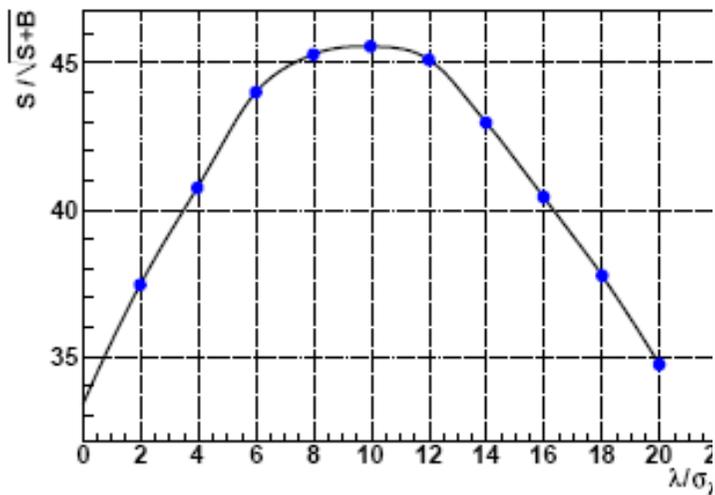




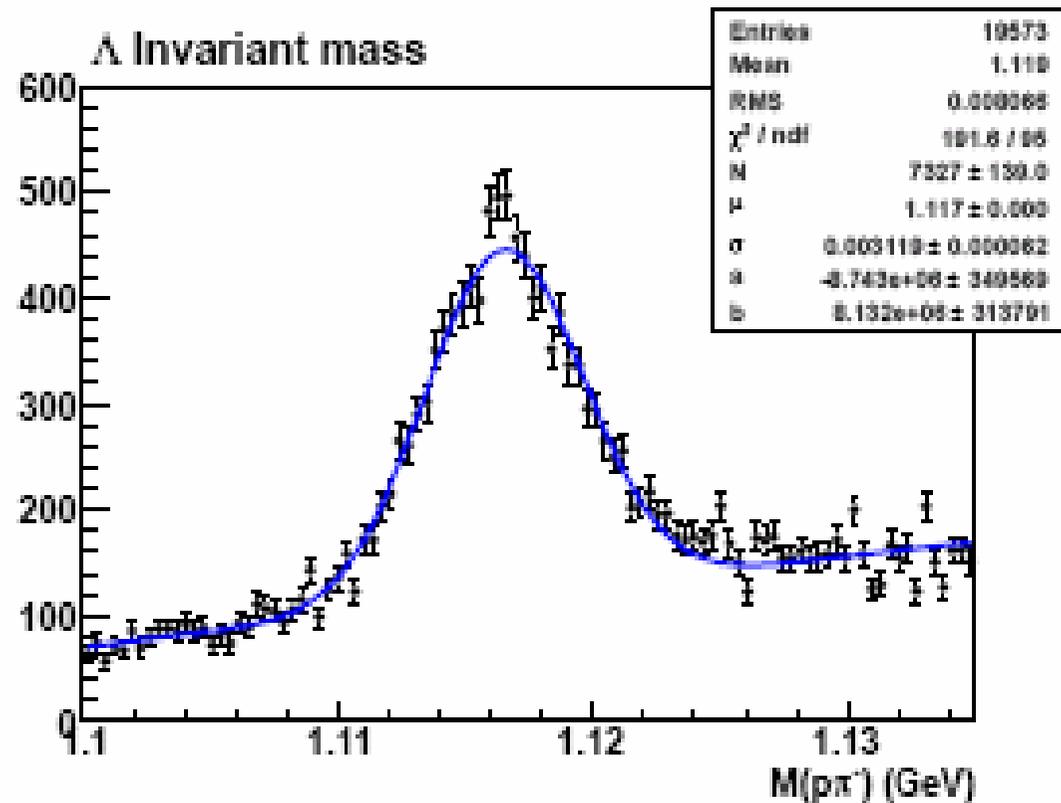


Оптимизация сигнала Λ^0

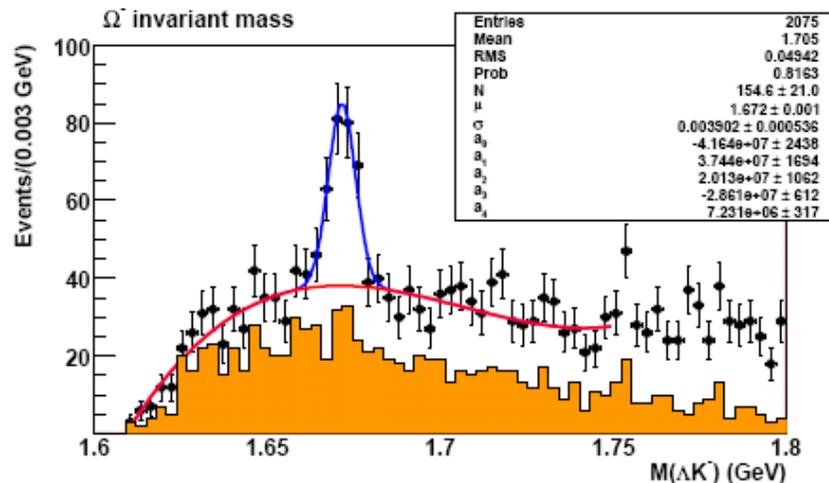
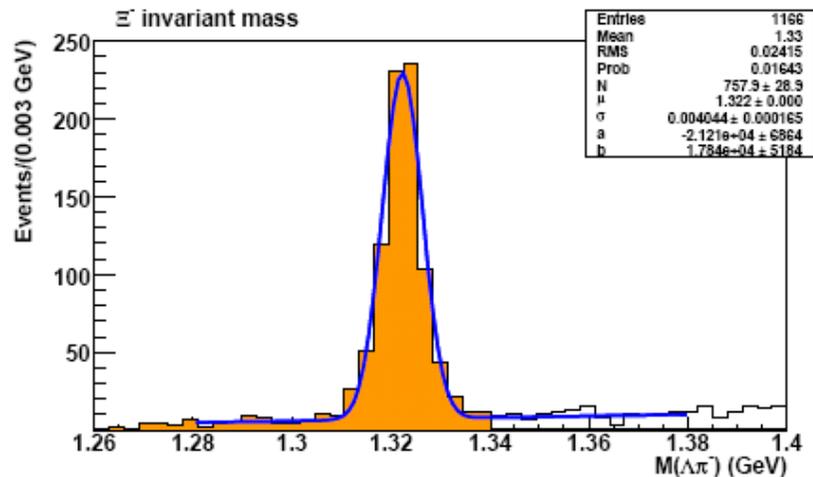
Критерий $\lambda/\sigma_\lambda > 10$ наилучшим образом увеличивает значимость сигнала



λ – собственная распадная
длина Λ ;
 σ_λ – величина её ошибки



$\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-$ вклад в Ω^-

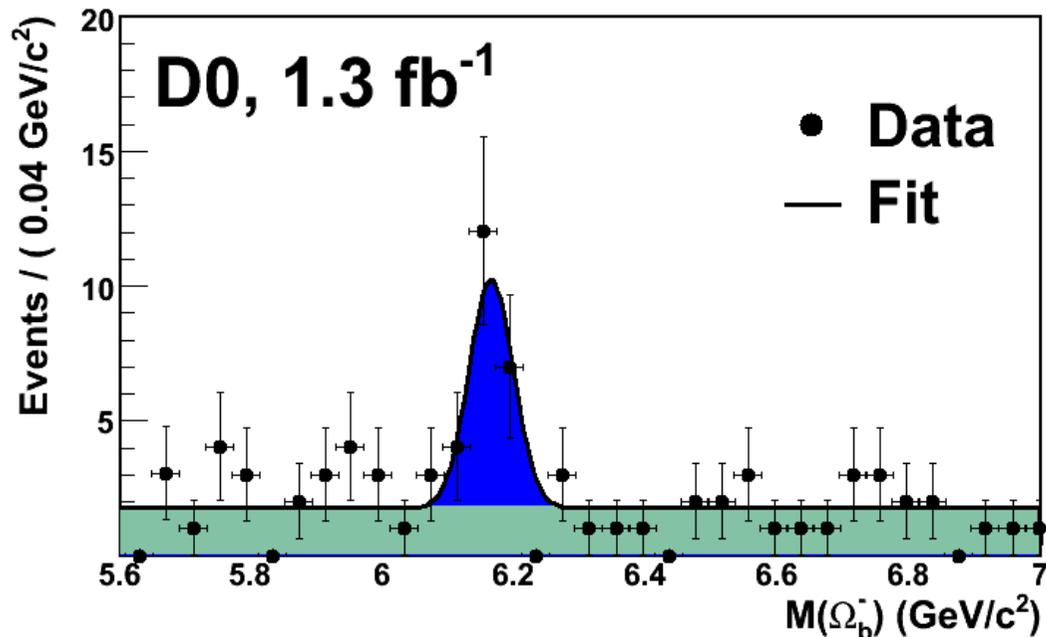


- Эти гистограммы показывают вклад тех случаев, в которых пионы были ошибочно названы каонами.
- Этот фон эффективно отбрасывается дополнительным критерием $M(\Lambda\pi) > 1.34$.

Оценка систематической ошибки массы Ω_b

- Варьирование «фитирующих» функций
 - Линейная ф-ция фона вместо постоянной; незначительный вклад.
 - Стандартное отклонение гауссовой ф-ции в пределах 28 – 40 МэВ; $\rightarrow 3 \text{ МэВ}/c^2$.
- Возможная коррекция шкалы импульсов:
 - Путём «фитирования» имеющегося в данных массового пика Λ_b ; $\rightarrow 4 \text{ МэВ}/c^2$.
- Выборка событий:
 - Варьирование критериев отбора, сравнение двух вариантов анализа Ω -сигнала (cut-based and BDT analysis); $\rightarrow 12 \text{ МэВ}/c^2$.

Mass measurement



Number of signal events: 17.8 ± 4.9

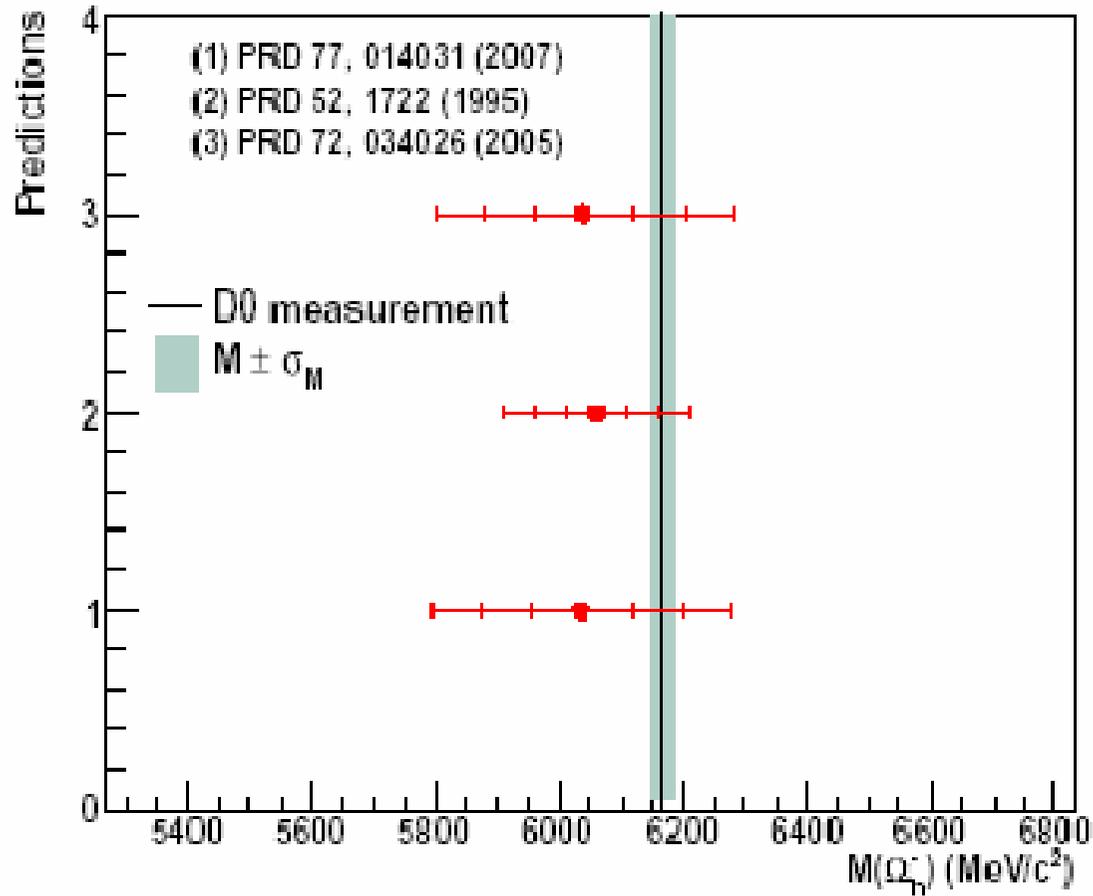
Mean of the Gaussian: $6.165 \pm 0.010(\text{stat})$ GeV

Width of the Gaussian fixed (MC): 0.034 GeV

- Fit:
 - Unbinned extended log-likelihood fit
 - Gaussian signal, flat background
 - Number of background/signal events are floating parameters

Сравнение измеренной массы с оценками теор.моделей

E.E.Jenkins
R.Roncaglia et al.
D.Ebert et al.



Оценка величины относительного выхода (1)

В дополнение мы также измеряем относительный выход Ω_b^- :

$$\frac{f(b \rightarrow \Omega_b^-) Br(\Omega_b^- \rightarrow J / \psi \Omega^-)}{f(b \rightarrow \Xi_b^-) Br(\Omega_b^- \rightarrow J / \psi \Xi^-)} = \frac{\varepsilon(\Xi_b^-) N(\Omega_b^-)}{\varepsilon(\Omega_b^-) N(\Xi_b^-)}$$

$$\frac{\varepsilon(\Omega_b^-)}{\varepsilon(\Xi_b^-)} = 1.6 \pm 0.2 \quad (\text{по данным МонтеКарло моделирования})$$

$$\frac{f(b \rightarrow \Omega_b^-) Br(\Omega_b^- \rightarrow J / \psi \Omega^-)}{f(b \rightarrow \Xi_b^-) Br(\Omega_b^- \rightarrow J / \psi \Xi^-)} = 0.72 \pm 0.29(stat) +_{-0.21}^{+0.14} (syst)$$

Систематическая ошибка включает в себя вклады от неопределённости значений как самого сигнала, так и эффективности критериев отбора событий.

Оценка величины относительного выхода (2)

From Phys. Rev. D 56, 2799 (1997): $\frac{\Gamma(\Omega_b^- \rightarrow J/\psi\Omega^-)}{\Gamma(\Xi_b^- \rightarrow J/\psi\Xi^-)} = 9.8$ ← THEORY
(H.Y.Cheng)

then
$$\frac{Br(\Omega_b^- \rightarrow J/\psi\Omega^-)}{Br(\Xi_b^- \rightarrow J/\psi\Xi^-)} = \frac{\tau(\Omega_b^-) \Gamma(\Omega_b^- \rightarrow J/\psi\Omega^-)}{\tau(\Xi_b^-) \Gamma(\Xi_b^- \rightarrow J/\psi\Xi^-)} = 9.8 \frac{\tau(\Omega_b^-)}{\tau(\Xi_b^-)}$$

$$\frac{f(b \rightarrow \Omega_b^-)}{f(b \rightarrow \Xi_b^-)} = \frac{0.72 \tau(\Xi_b^-)}{9.8 \tau(\Omega_b^-)}$$

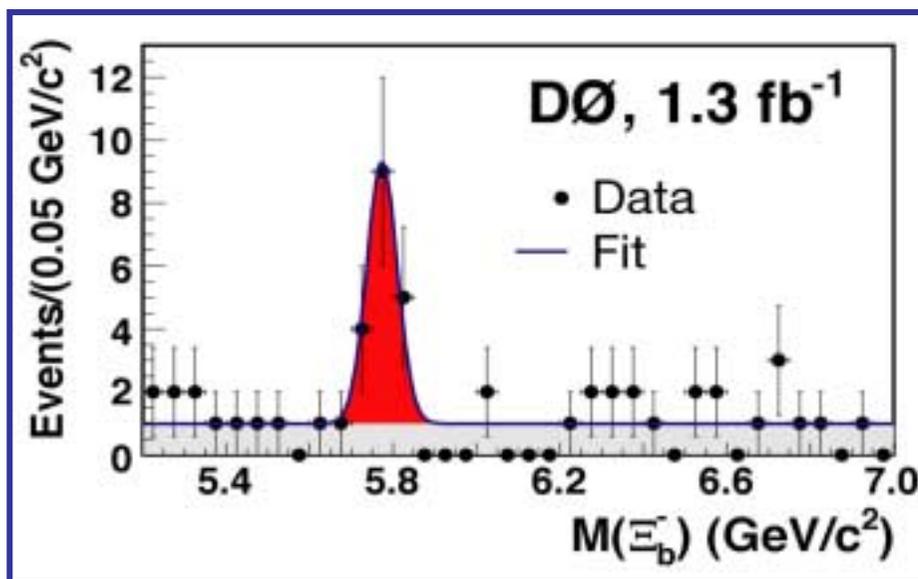
$$\tau(\Xi_b^-) = 1.42^{+0.28}_{-0.24} \text{ ps}$$

$$0.83 < \tau(\Omega_b^-) < 1.67 \text{ ps} \leftarrow \text{THEORY}$$

$$\frac{f(b \rightarrow \Omega_b^-)}{f(b \rightarrow \Xi_b^-)} = \begin{cases} 0.126 & (\tau(\Omega_b^-) = 0.83 \text{ ps}) \\ 0.062 & (\tau(\Omega_b^-) = 1.67 \text{ ps}) \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{f(b \rightarrow \Omega_b^-)}{f(b \rightarrow \Xi_b^-)} \approx 0.06 - 0.13$$

D0 2007 результат: наблюдение Ξ_b^-



Number of events: 15.2 ± 4.4

Mass: $5.774 \pm 0.011(\text{stat}) \text{ GeV}$

Width: $0.037 \pm 0.008 \text{ GeV}$

We also measured:

$$R = \frac{\sigma(\Xi_b^-) BR(\Xi_b^- \rightarrow J/\psi \Xi^-)}{\sigma(\Lambda_b^-) BR(\Lambda_b^- \rightarrow J/\psi \Lambda^-)}$$

$$R = 0.28 \pm 0.09 \text{ (stat)} + {}^{+0.09}_{-0.08} \text{ (syst)}$$

Signal Significance:

$$\sqrt{-2\Delta \ln L} = \sqrt{-2 \ln \left(\frac{L_B}{L_{S+B}} \right)} = 5.5\sigma$$