



Изучение СР нарушения в эксперименте DØ



Г. Борисов

Ланкастерский университет,
Великобритания

The DØ Collaboration

AZ U. of Arizona
 CA U. of California, Berkeley
 U. of California, Riverside
 Cal. State U., Fresno
 Lawrence Berkeley Nat. Lab.
 FL Florida State U.
 IL Fermilab
 U. of Illinois, Chicago
 Northern Illinois U.
 Northwestern U.
 IN Indiana U.
 U. of Notre Dame
 Purdue U. Calumet
 IA Iowa State U.
 KS U. of Kansas
 Kansas State U.
 LA Louisiana Tech U.
 MD U. of Maryland
 MA Boston U.
 Northeastern U.
 MI U. of Michigan
 Michigan State U.
 MS U. of Mississippi
 NE U. of Nebraska
 NJ Princeton U.
 NY Columbia U.
 U. of Rochester
 SUNY Buffalo
 SUNY Stony Brook
 Brookhaven Nat. Lab.
 OK Langston U.
 U. of Oklahoma
 Oklahoma State U.
 RI Brown U.
 TX Southern Methodist U.
 U. of Texas at Arlington
 Rice U.
 VA U. of Virginia
 WA U. of Washington

U. de Buenos Aires
 LAFEX, CBPF, Rio de Janeiro
 State U. Paulista, São Paulo
 U. of Alberta
 McGill U.
 Simon Fraser U.
 York U.
 U. of Science and Technology
 of China, Hefei
 U. de los Andes, Bogotá
 U. of Aachen
 Bonn U.
 U. of Freiburg
 U. of Mainz
 Ludwig-Maximilians U., Munich
 U. of Wuppertal
 Punjab U. Chandigarh
 Delhi U., Delhi
 Tata Institute, Mumbai
 U. of Aachen
 Bonn U.
 U. of Freiburg
 U. of Mainz
 Ludwig-Maximilians U., Munich
 U. of Wuppertal

LFC, Clermont-Ferrand
 ISN, IN2P3, Grenoble
 CPPM, IN2P3, Marseille
 LAL, IN2P3, Orsay
 LPNÉ, IN2P3, Paris
 DAPNIA/SF; CEA, Saclay
 IReS, Strasbourg
 IPN, IN2P3, Villeurbanne
 U. San Francisco de Quito
 U. of Aachen
 Bonn U.
 U. of Freiburg
 U. of Mainz
 Ludwig-Maximilians U., Munich
 U. of Wuppertal

University College, Dublin
 KDI, Korea U., Seoul
 SungKyunKwan U., Suwon
 CINVESTAV, Mexico City
 FOM/NIKHEF, Amsterdam
 U. of Amsterdam / NIKHEF
 U. of Nijmegen / NIKHEF
 JINR, Dubna
 ITEP, Moscow
 Mexico State U.
 IHEP, Peking
 PNPI, St. Petersburg

Lund U.
 RIT, Stockholm
 Stockholm U.
 Uppsala U.
 PI of the U. of Zurich
 Lancaster U.
 Imperial College, London
 U. of Manchester
 HCP, Hochsch. City

Ann Helman, UC Riverside



Асимметрия между материей и анти-материей

- Превышение числа барионов над анти-барионами – одна из самых больших загадок связанных с образованием нашей вселенной;
- Не описывается существующими теориями;
- CP нарушение, приводящее к различным свойствам частиц и анти-частиц обеспечивает механизм генерации наблюдаемого превышения числа барионов над анти-барионами, за счет более быстрого распада анти-барионов;



CP нарушение и Стандартная Модель



- Единственный источник CP нарушения в Стандартной Модели – комплексная матрица смешивания кварков (CKM matrix):

$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ b' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ b \end{pmatrix}$$

$$V_{ub} \neq V_{ub}^*; V_{td} \neq V_{td}^* \Rightarrow \text{CPV}$$



CP нарушение и Стандартная Модель



- Условие унитарности ($V^\dagger V=1$), и возможность переопределить фазы кварковых состояний приводит к тому что СКМ матрица определяется тремя действительными параметрами и одним комплексным:

$V_{\text{СКМ}} =$

$$\begin{pmatrix} 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 - \frac{1}{8}\lambda^4 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda + \frac{1}{2}A^2\lambda^5[1 - 2(\rho + i\eta)] & 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 - \frac{1}{8}\lambda^4(1 + 4A^2) & A\lambda^2 \\ A\lambda^3[1 - (1 - \frac{1}{2}\lambda^2)(\rho + i\eta)] & -A\lambda^2 + \frac{1}{2}A\lambda^4[1 - 2(\rho + i\eta)] & 1 - \frac{1}{2}A^2\lambda^4 \end{pmatrix}$$

- Этот единственный комплексный параметер достаточен для описания все известные явления связанные с CP нарушением.

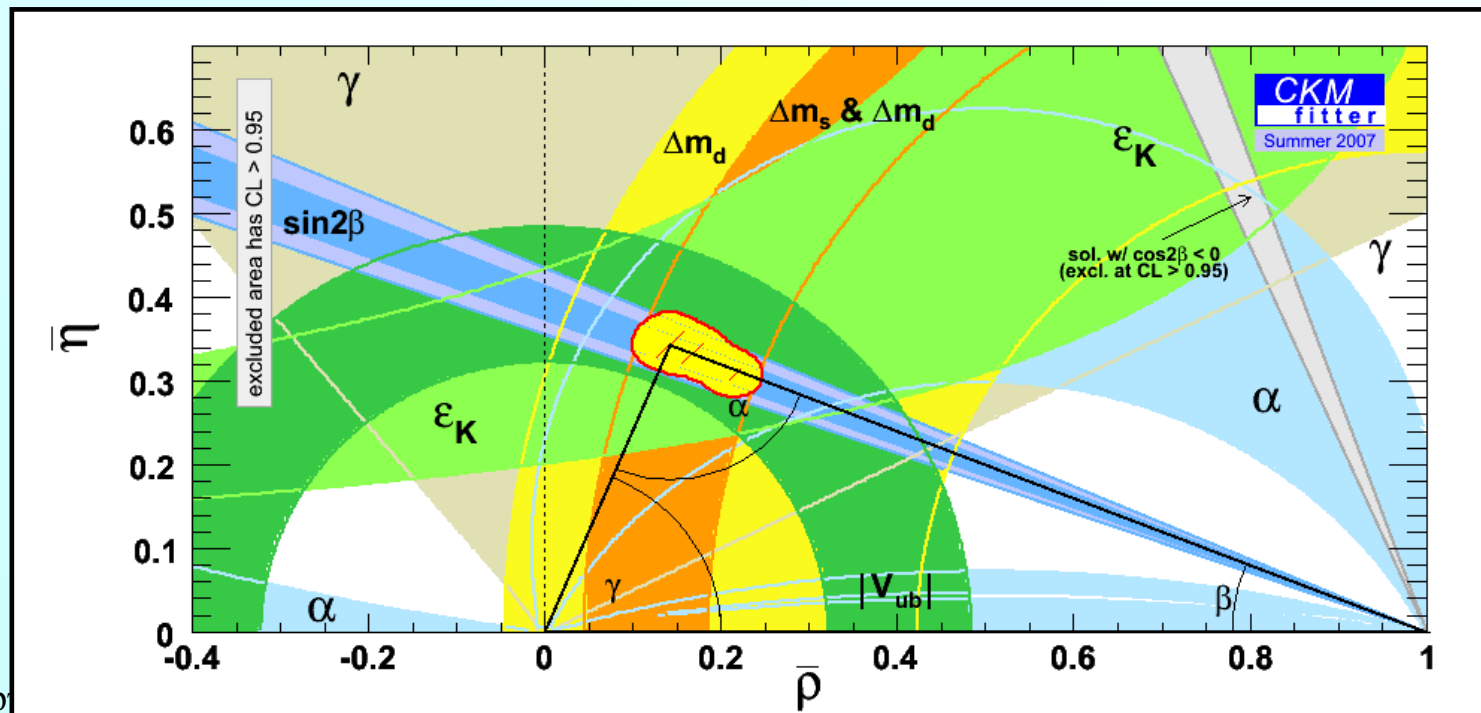


Унитарный треугольник

- Один из недавних триумфов Стандартной Модели – проверка одного из условий унитарности ("Унитарный треугольник"):

$$V_{ud}V_{ub}^* + V_{cd}V_{cb}^* + V_{td}V_{tb}^* = 0$$

- Все CP-сохраняющие и CP-нарушающие измерения подтверждают это соотношение;





Необходимость новой физики



- Несмотря на весь успех СМ в описании СР явлений, величина СР нарушения предсказываемого стандартной моделью гораздо меньше (~ 15 порядков), чем необходимо для объяснения наблюдаемой асимметрии между материей и анти-материей;
- Сам факт нашего существования требует дополнительных источников СР нарушения выходящих за рамки СМ;
- Поиск этих источников является одной из главных задач текущих и будущих экспериментов;



Стратегия поиска

- Наиболее перспективной стратегией поиска новых явлений является изучение процессов, в которых СМ предсказывает маленькие СР эффекты, в то время как расширения СМ могут приводить к значительной величине СР нарушения;
- Наблюдение отклонения от нулевого уровня гораздо легче заметить и измерить;

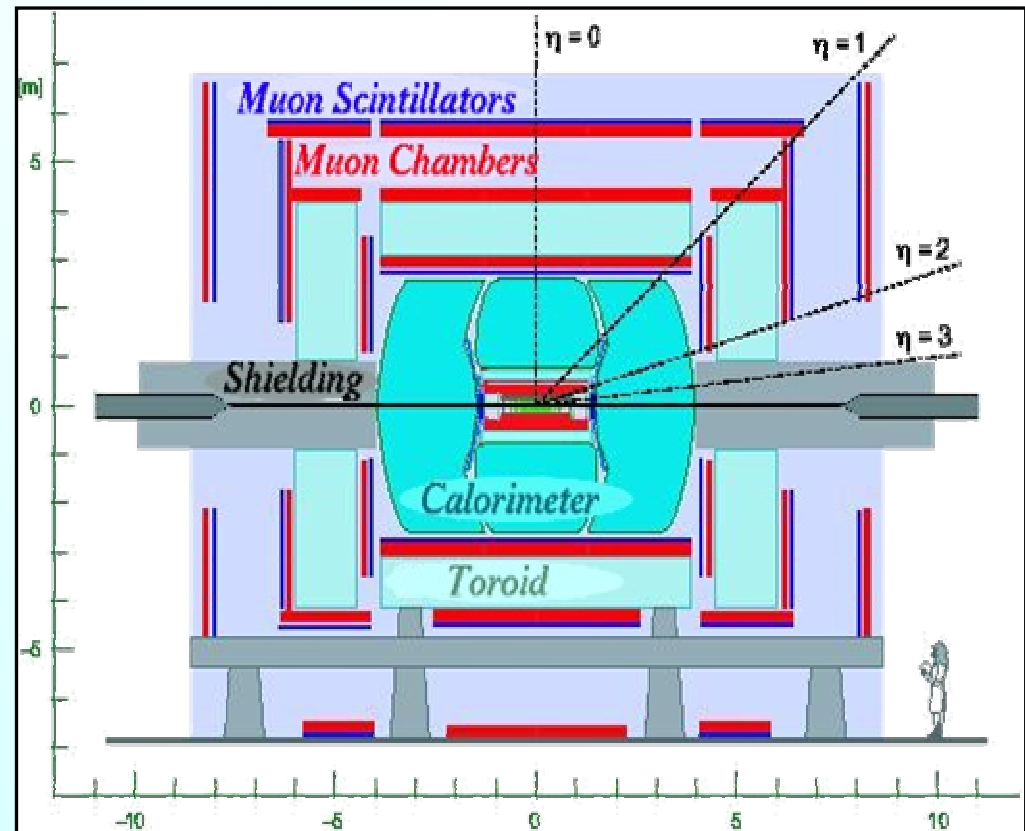
**Эта стратегия поиска осуществляется в
DØ эксперименте**



DØ Детектор

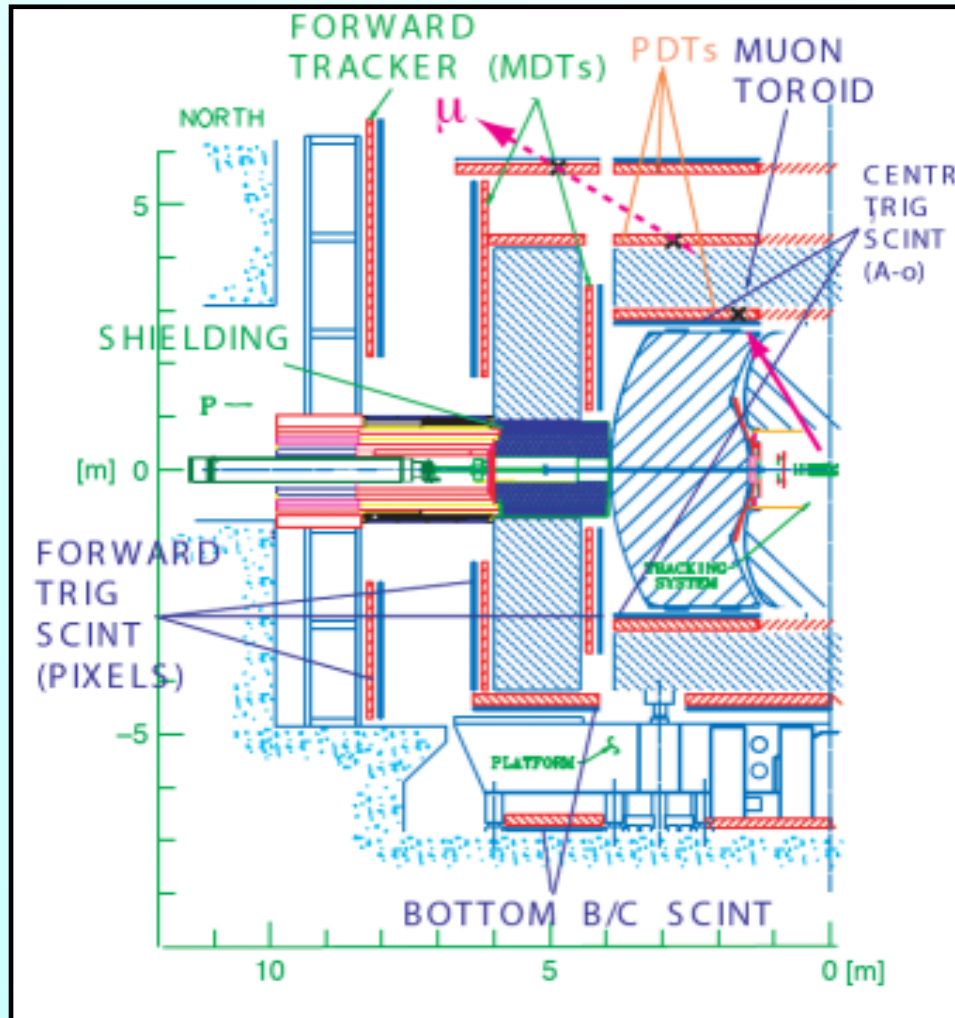
Основные элементы для В-физики:

- Мюонная система;
- Мюонный триггер;
- Соленоид + тороид;
- Полярности магнитов регулярно меняются;
- Трековые детекторы включая высокоточный силиконовый детектор;
- Большой аксептанс вплоть до $|\eta| \sim 2$;





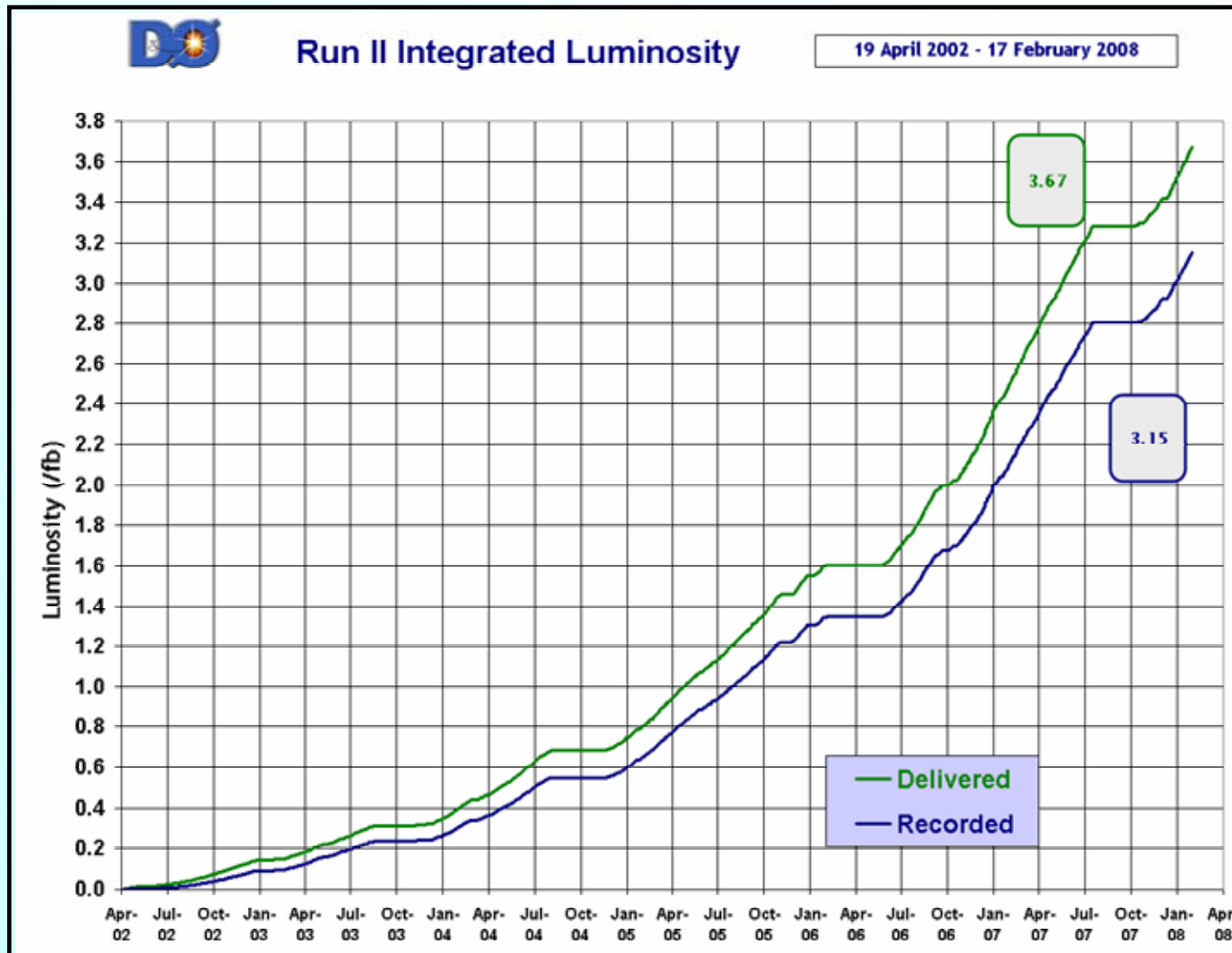
DØ Мюонная система



- Большой аксептанс $|\eta| < 2.2$;
- Отличный триггер;
- Подавление космических мюонов;
- Сильное подавление фона;
- Локальное измерение заряда и импульса мюона;
- Высокая чистота мюонной идентификации;



СВЕТИМОСТЬ



Полученные результаты соответствуют набранной светимости 2.8 fb^{-1}



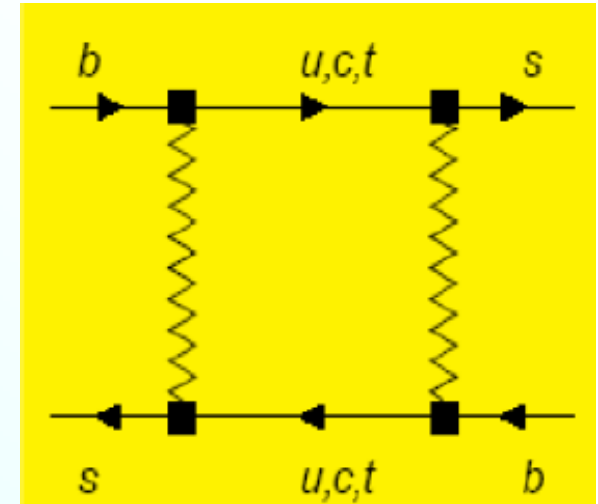
Анализ $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ распада

Внимание: много букв "φ", "ϕ" употребляется в различном контексте



Система B_s мезона

- В отличие от других систем нейтральных мезонов, B_s сильно смешана;
- Два физических состояния B_s^H (тяжелый) and B_s^L (легкий) имеют различные массы и времена жизни:



$$\Delta M_s = M_H - M_L \approx 2|M_{12}|$$

$$\Delta \Gamma_s = \Gamma_L - \Gamma_H \approx 2|\Gamma_{12}| \cos \phi_s$$

$$\phi_s = \arg\left(-\frac{M_{12}}{\Gamma_{12}}\right)$$

$$\bar{\Gamma}_s = \frac{1}{2}(\Gamma_L + \Gamma_H)$$

M_{12} и Γ_{12} – элементы комплексной массовой матрицы $(M - i \Gamma/2) B_s$ системы;

ϕ_s - CP нарушающая фаза;

$\Gamma_s, \Delta \Gamma_s, \Delta M_s$ и ϕ_s – 4 параметра описывающие B_s систему



Распад $B_s \rightarrow J/\psi \varphi$



- Смесь CP-четного и CP-нечетного конечных состояний;
- Описывается 3 комплексными амплитудами: A_0 , A_{\parallel} , A_{\perp} ;
- Каждой амплитуде соответствует различное угловое распределение продуктов распада;
- CP-четный B_s распадается через A_0 , A_{\parallel} амплитуды; CP-нечетное B_s состояние распадается через A_{\perp} ;
- Эволюция амплитуд во времени различна, если B_s^L и B_s^H имеют различное время жизни;
- В случае CP нарушения, эволюция амплитуд во времени для $B_s(0)$ и $\bar{B}_s(0)$ также различается;
- Мы можем измерить время жизни B_s^L и B_s^H по-отдельности, и CP-нарушающую фазу изучая эволюцию во времени амплитуд распада $B_s \rightarrow J/\psi \varphi$ для $B_s(0)$ и $\bar{B}_s(0)$;



CP нарушающая фаза ϕ_s



- В Стандартной Модели CP нарушение должно быть очень маленьким для $B_s \rightarrow J/\psi \varphi$:

$$\phi_s^{SM} = -2\beta_s = 2 \arg\left(-\frac{V_{tb}V_{ts}^*}{V_{cb}V_{cs}^*}\right) = -0.04 \pm 0.01$$

- Вклад новой физики может существенно изменить его величину. В общем виде:

$$\phi_s = \phi_s^{SM} + \phi_s^\Delta$$

- Ненулевая величина ϕ_s будет четким и недвусмысленным указанием вклада новой физики;



Составные части анализа



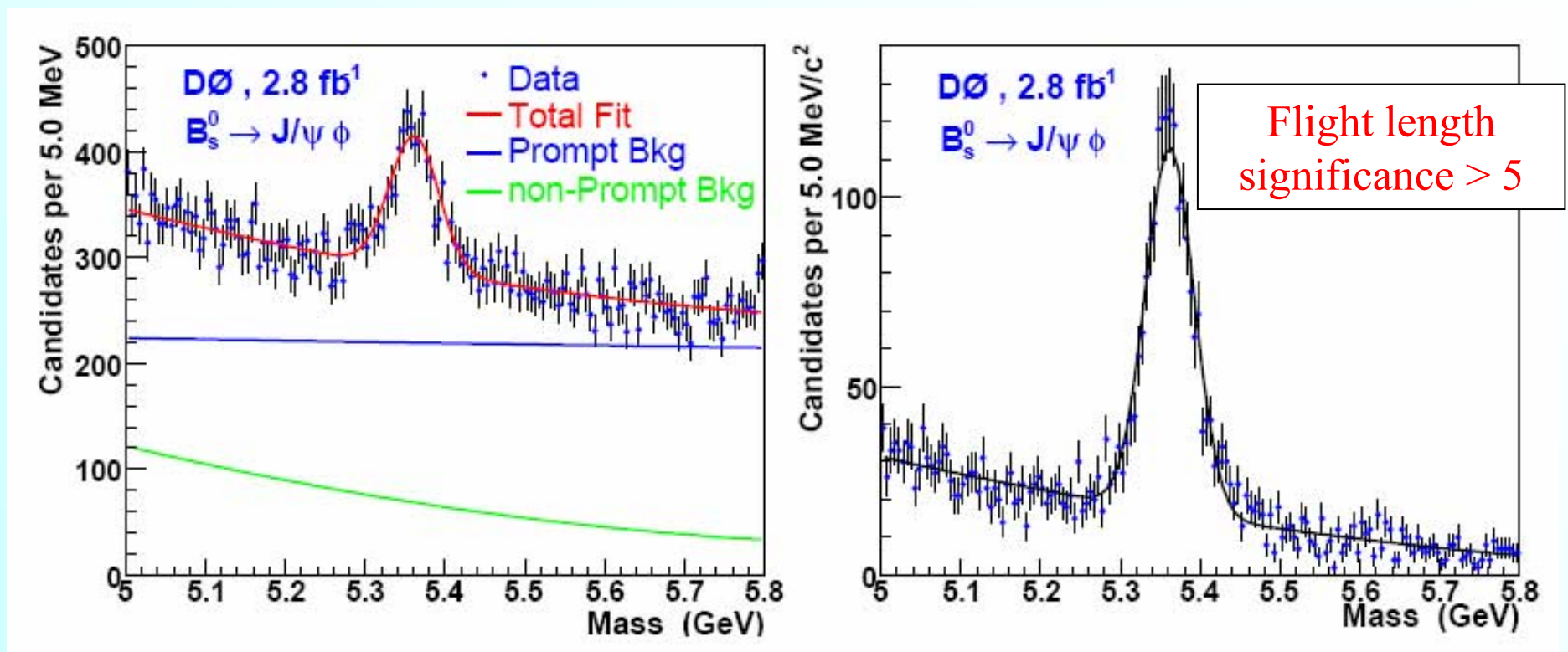
- Эксклюзивное выделение распада $B_s \rightarrow J/\psi \phi$;
- Точное измерение времени жизни B_s ;
- Угловые распределения;
- Определение начального состояния B_s ;
- Функция правдоподобия включающая угловые переменные, массу B_s и его время жизни;



Выделение $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ распада



- Используются распады $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ и $\phi \rightarrow K^+ K^-$;



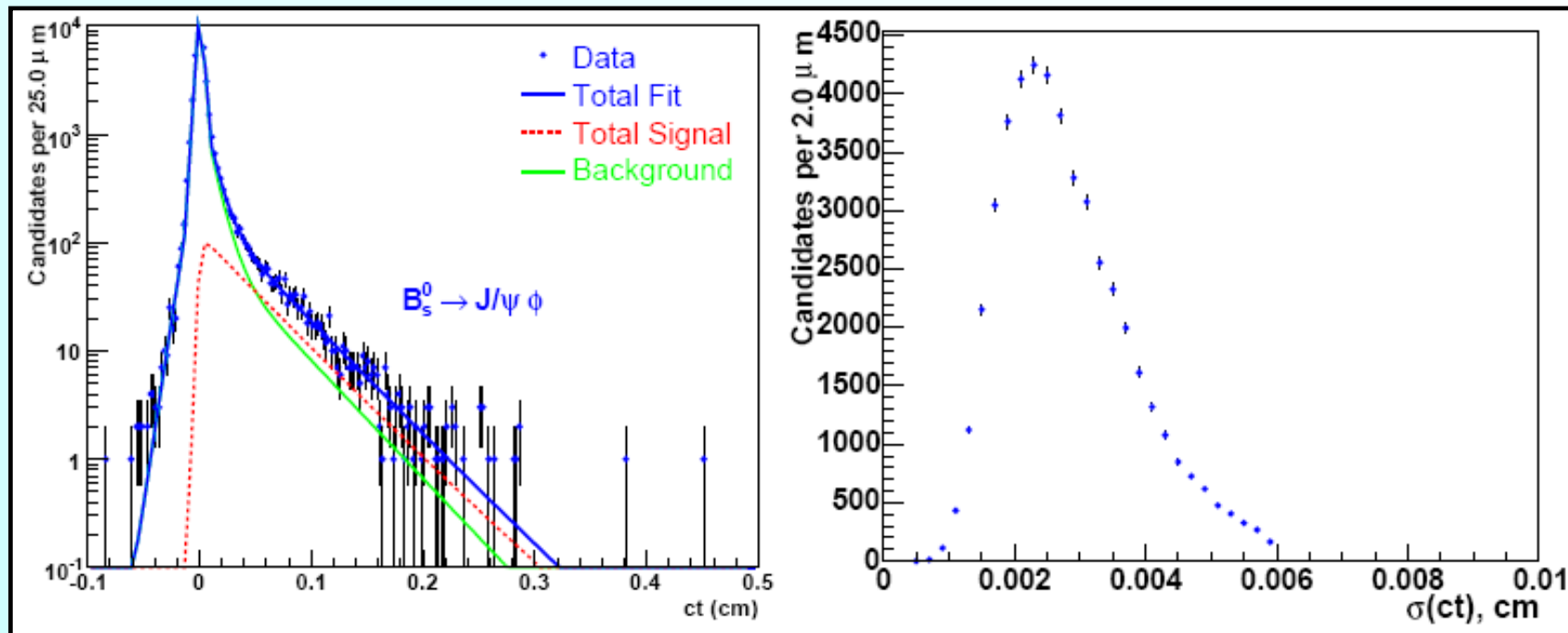
$1967 \pm 65 B_s$ кандидатов



Измерение времени жизни B_s



- Так как мы используем эксклюзивный распад, разрешение по времени жизни очень хорошее: $\sigma(ct) \approx 25 \mu\text{m}$;





Угловые распределения



- Для начального $B_s(0)$ состояния, распределение по углам и времени может быть представлено как:

$$\frac{d^4 \Gamma(B_s(t) \rightarrow J / \psi (\rightarrow \mu^+ \mu^-) \phi (\rightarrow K^+ K^-))}{dt \cdot d \cos \theta \cdot d \cos \psi \cdot d \varphi} \propto \sum_k O^{(k)}(t) g^{(k)}(\theta, \psi, \varphi)$$

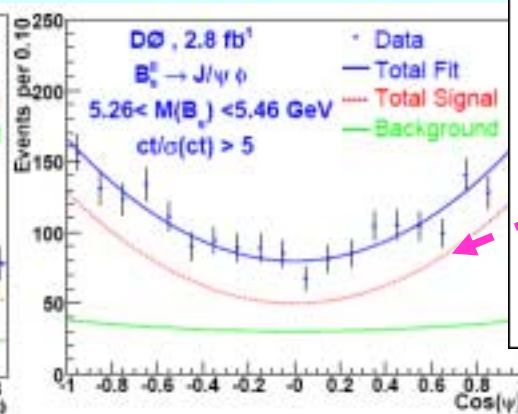
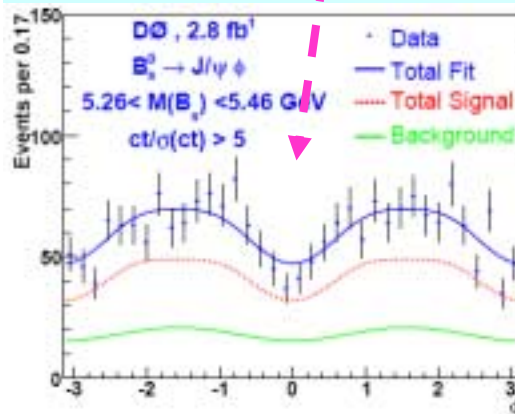
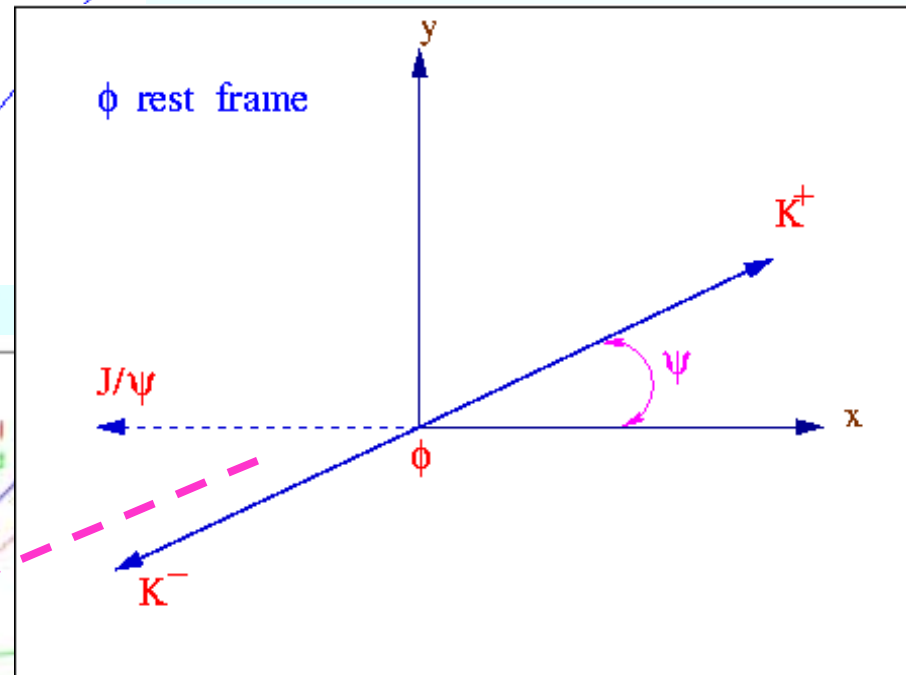
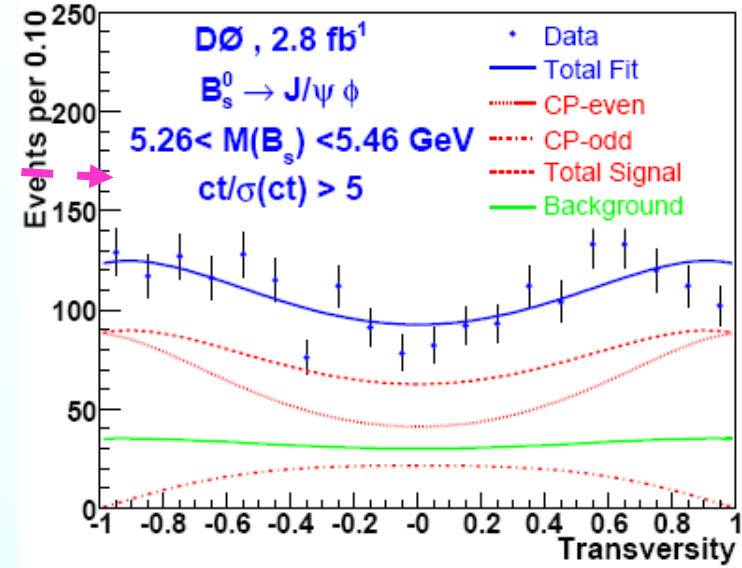
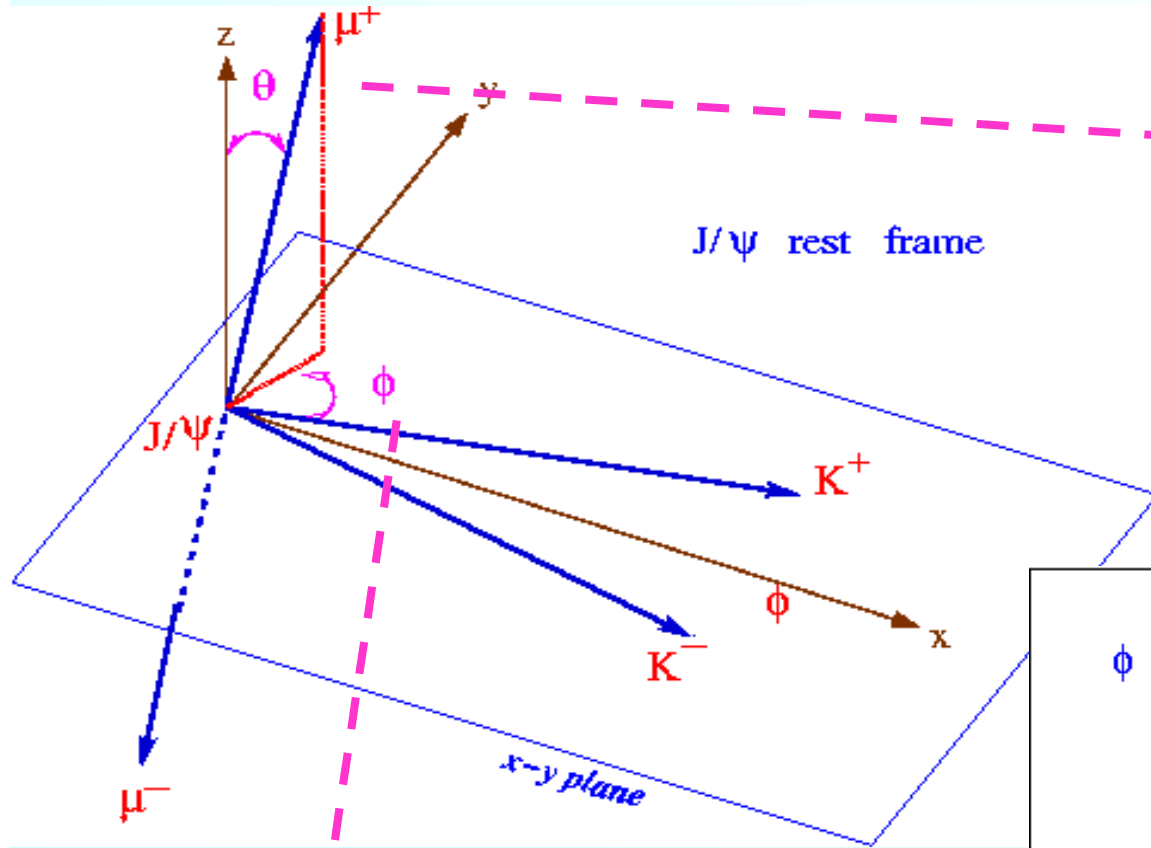
- Для начального $\bar{B}_s(0)$ состояния, распределение по углам и времени может быть представлено как:

$$\frac{d^4 \Gamma(\bar{B}_s(t) \rightarrow J / \psi (\rightarrow \mu^+ \mu^-) \phi (\rightarrow K^+ K^-))}{dt \cdot d \cos \theta \cdot d \cos \psi \cdot d \varphi} \propto \sum_k \bar{O}^{(k)}(t) g^{(k)}(\theta, \psi, \varphi)$$

- Угловые функции $g^{(k)}(\theta, \psi, \varphi)$ не отличаются для $B_s(0)$ и $\bar{B}_s(0)$



3 угла





Угловые распределения



$$\frac{d^4 \Gamma(B_s(t) \rightarrow J/\psi(\rightarrow \mu^+ \mu^-) \phi(\rightarrow K^+ K^-))}{dt \cdot d \cos \theta \cdot d \cos \psi \cdot d \varphi} \propto$$
$$2 \cos^2 \psi (1 - \sin^2 \theta \cos^2 \varphi) \cdot |A_0(t)|^2$$
$$+ \sin^2 \psi (1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi) \cdot |A_{\parallel}(t)|^2$$
$$+ \sin^2 \psi \sin^2 \theta \cdot |A_{\perp}(t)|^2$$
$$+ (1/\sqrt{2}) \sin 2\psi \sin^2 \theta \sin 2\varphi \cdot \Re(A_0^*(t) A_{\parallel}(t))$$
$$+ (1/\sqrt{2}) \sin 2\psi \sin 2\theta \cos \varphi \cdot \Im(A_0^*(t) A_{\perp}(t))$$
$$- \sin^2 \psi \sin 2\theta \sin \varphi \cdot \Im(A_{\parallel}^*(t) A_{\perp}(t)).$$



- Эволюция амплитуд во времени для $V_s(0)$ (верхний знак) и для $\bar{V}_s(0)$ (нижний знак):

$$\begin{aligned} |A_0(t)|^2 &= |A_0(0)|^2 \left[\mathcal{T}_+ \pm e^{-\bar{\Gamma}t} \sin \phi_s \sin(\Delta M_s t) \right], \\ |A_{\parallel}(t)|^2 &= |A_{\parallel}(0)|^2 \left[\mathcal{T}_+ \pm e^{-\bar{\Gamma}t} \sin \phi_s \sin(\Delta M_s t) \right], \\ |A_{\perp}(t)|^2 &= |A_{\perp}(0)|^2 \left[\mathcal{T}_- \mp e^{-\bar{\Gamma}t} \sin \phi_s \sin(\Delta M_s t) \right], \\ \text{where} \\ \mathcal{T}_{\pm} &= (1/2) \left[(1 \pm \cos \phi_s) e^{-\Gamma_L t} + (1 \mp \cos \phi_s) e^{-\Gamma_H t} \right]. \end{aligned}$$

- CP-нарушающая фаза ϕ_s входит с коэффициентом $\sin(\Delta M_s \cdot t)$, поэтому точное измерение времени жизни очень важно для этого анализа;



Эволюция амплитуд во времени (продолжение)

$$\Re(A_0^*(t)A_{\parallel}(t)) = |A_0(0)||A_{\parallel}(0)| \cos(\delta_2 - \delta_1) [T_+ \pm e^{-\bar{\Gamma}t} \sin \phi_s \sin(\Delta M_{st})],$$

$$\Im(A_0^*(t)A_{\perp}(t)) = |A_0(0)||A_{\perp}(0)| [e^{-\bar{\Gamma}t} (\pm \sin \delta_2 \cos(\Delta M_{st}) \mp \cos \delta_2 \sin(\Delta M_{st}) \cos \phi_s) - (1/2) (e^{-\Gamma_H t} - e^{-\Gamma_L t}) \sin \phi_s \cos \delta_2],$$

$$\Im(A_{\parallel}^*(t)A_{\perp}(t)) = |A_{\parallel}(0)||A_{\perp}(0)| [e^{-\bar{\Gamma}t} (\pm \sin \delta_1 \cos(\Delta M_{st}) \mp \cos \delta_1 \sin(\Delta M_{st}) \cos \phi_s) - (1/2) (e^{-\Gamma_H t} - e^{-\Gamma_L t}) \sin \phi_s \cos \delta_1],$$

- **Здесь: $\delta_1 \equiv \arg\{A_{\parallel}^*(0)A_{\perp}(0)\}$; $\delta_2 \equiv \arg\{A_0^*(0)A_{\perp}(0)\}$ - CP сохраняющие сильные фазы;**
- **Нормализация при $t=0$: $|A_0(0)|^2 + |A_{\parallel}(0)|^2 + |A_{\perp}(0)|^2 = 1$**



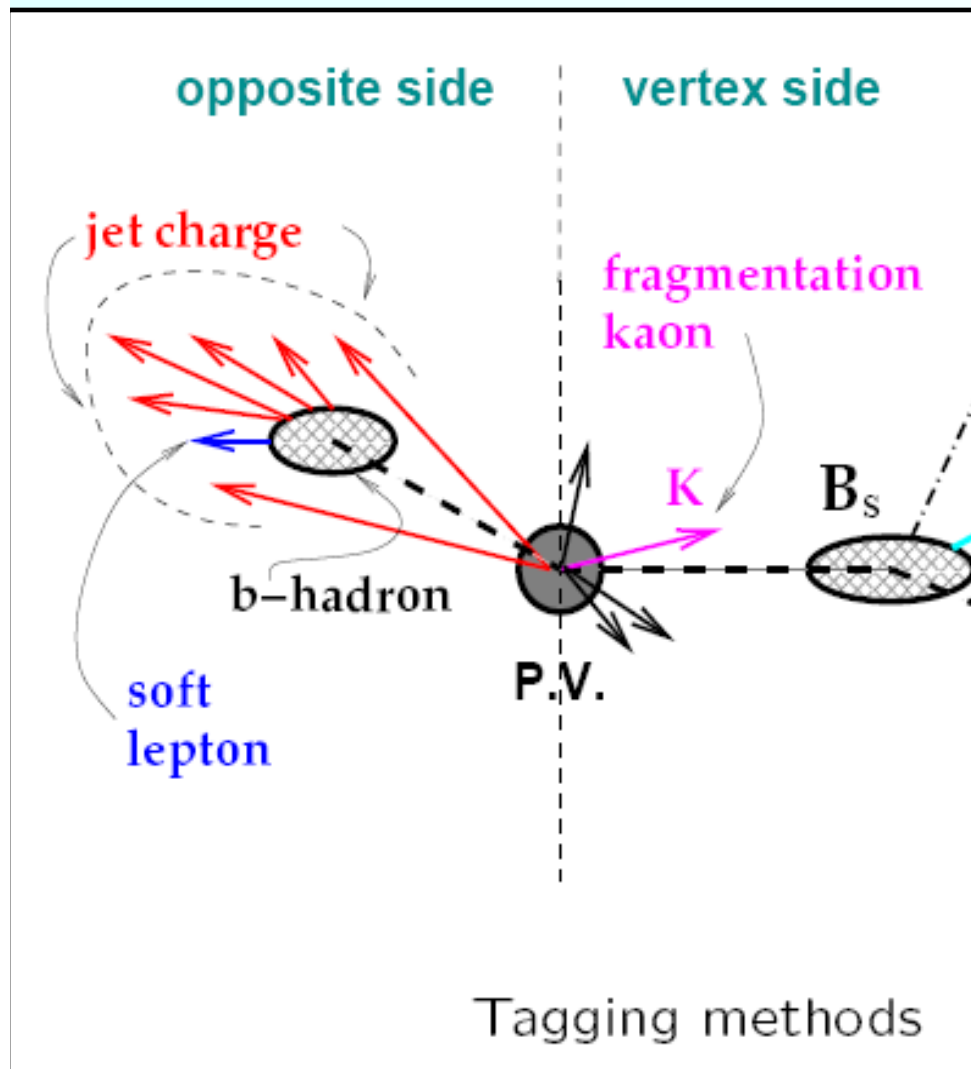
Определение начального состояния



- Эволюция амплитуд различна для $B_s(0)$ и $\bar{B}_s(0)$
- Начальное состояние B_s мезона определяется при помощи техники **flavour tagging**;
- Для этого, выбираются различные характеристики события со стороны противоположной изучаемому B_s мезону (**opposite-side tagging**), или с той же стороны что и изучаемый B_s meson (**same-side tagging**);
- Важно, чтобы эти характеристики отличались для $B_s(0)$ и $\bar{B}_s(0)$.



Свойства события для flavor tagging



С противоположной стороны:

- Заряд вторичного лептона (мюон или электрон);
- Заряд вторичной вершины;
- P_T - взвешенный заряд всех треков с противоположной стороны;

С той же стороны:

- Заряд трека наиболее близкого к направлению B_s ;
- P_T - взвешенный заряд всех треков из первичной вершины;

Все свойства комбинируются в одну переменную "d";

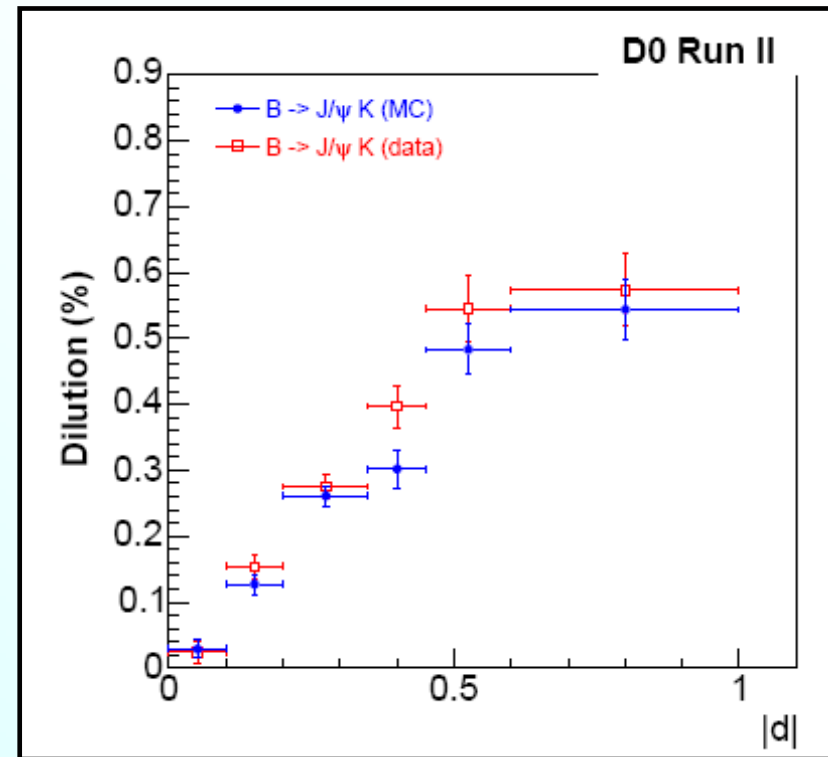


Качество таггинга

- Качество таггинга описывается переменной "dilution":

$$D = \frac{N_{cor} - N_{wr}}{N_{cor} + N_{wr}}$$

- N_{cor} – Число правильных тагов;
- N_{wr} – Число неправильных тагов;
- Калибровка $D(d)$ осуществляется при помощи МС событий;
- Согласие между данными и МС проверяется при помощи $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$ событий, где начальное состояние известно;
- Эквивалентная мощность таггинга: $P = \varepsilon \cdot D^2 = (4.68 \pm 0.54)\%$



Dilution в зависимости от переменной таггинга $|d|$ для $B^\pm \rightarrow J/\psi K^\pm$ событий в данных и МС



Функция правдоподобия



- Мы осуществляем фитирование функции правдоподобия, которая зависит от времени жизни, массы ($J/\psi \phi$), и 3 углов распада;
- В целом фитирование осуществляется по 32 параметрам, описывающим сигнал, фон, разрешение по массе и по времени жизни:

$$L = \prod_{i=1}^N [f_{sig} \cdot F_{sig}^i + (1 - f_{sig}) \cdot F_{bck}^i]$$

- f_{sig} – доля сигнала в отобранных событиях;
- F_{sig} (F_{bck}) – распределение сигнала (фона) по массе, времени жизни и 3 углам распада;



Дополнительные условия



- Мы используем $\Delta M_s = 17.77 \pm 0.12 \text{ ps}^{-1}$ (CDF)
- Правдоподобие имеет двухкратную неопределенность:
 - $\Delta\Gamma > 0, \cos(\phi_s) > 0, \cos(\delta_1) > 0, \cos(\delta_2) < 0$;
 - $\Delta\Gamma < 0, \cos(\phi_s) < 0, \cos(\delta_1) < 0, \cos(\delta_2) > 0$;
- Фазы δ_1 δ_2 измерены в эксперименте BaBar в аналогичном распаде $B_d \rightarrow J/\psi K^*$ (hep-ex/0704.0522). Решение $\delta_1 < 0, \delta_2 > 0$ более предпочтительно как экспериментально, так и теоретически;
- Предполагая приблизительную SU(2) симметрию между d и s кварками, мы ограничиваем δ_1, δ_2 Гауссианами со средними: $\delta_1 = -0.46$; $\delta_2 = 2.92$ измеренными в распаде $B_d \rightarrow J/\psi K^*$, и с шириной Гауссиан $\pi/5$, учитывающей возможное нарушение SU(2) симметрии;



Результаты фитирования



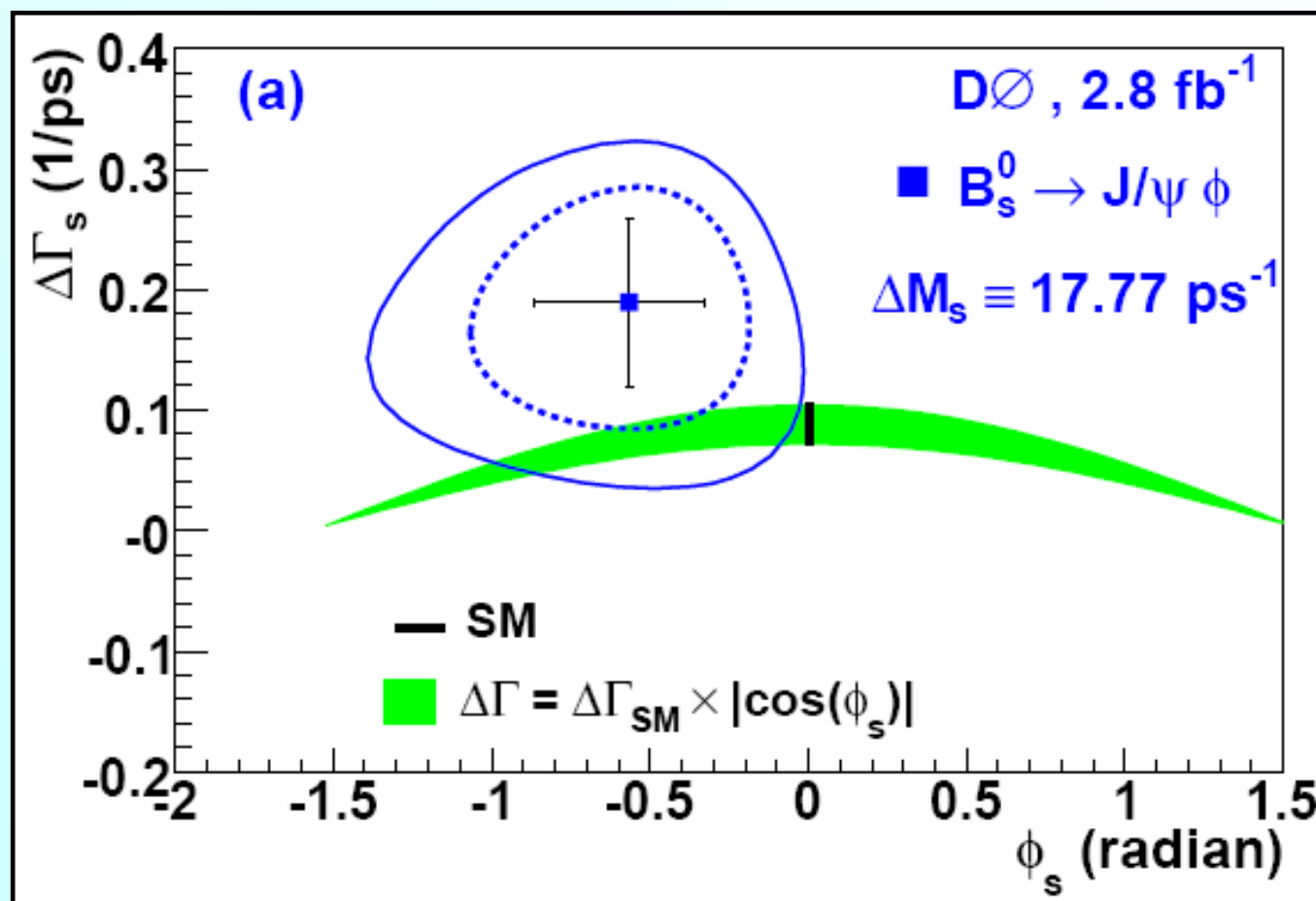
- Три возможных сценария:
 - CP нарушающая фаза ϕ_s – свободный параметр;
 - $\phi_s \equiv -0.04$ (предсказание SM);
 - $\Delta\Gamma_s = \Delta\Gamma_s^{SM} |\cos \phi_s|$;

	free ϕ_s	$\phi_s \equiv \phi_s^{SM}$	$\Delta\Gamma_s^{th}$
$\bar{\tau}_s$ (ps)	1.52 ± 0.06	1.53 ± 0.06	1.49 ± 0.05
$\Delta\Gamma_s$ (ps ⁻¹)	0.19 ± 0.07	0.14 ± 0.07	0.083 ± 0.018
$ A_{\perp}(0) $	0.41 ± 0.04	0.44 ± 0.04	0.45 ± 0.03
$ A_0 ^2 - A_{\parallel} ^2$	0.34 ± 0.05	0.35 ± 0.04	0.33 ± 0.04
δ_1	-0.52 ± 0.42	-0.48 ± 0.45	-0.47 ± 0.42
δ_2	3.17 ± 0.39	3.19 ± 0.43	3.21 ± 0.40
ϕ_s	$-0.57^{+0.24}_{-0.30}$	$\equiv -0.04$	-0.46 ± 0.28
ΔM_s (ps ⁻¹)	$\equiv 17.77$	$\equiv 17.77$	$\equiv 17.77$



Контурный плот

- Контуры соответствуют $\delta(-2 \ln L) = 2.30$ (CL = 0.683) и 4.61 (CL = 0.90);
- Размер креста соответствует $\delta(-2 \ln L) = 1$.

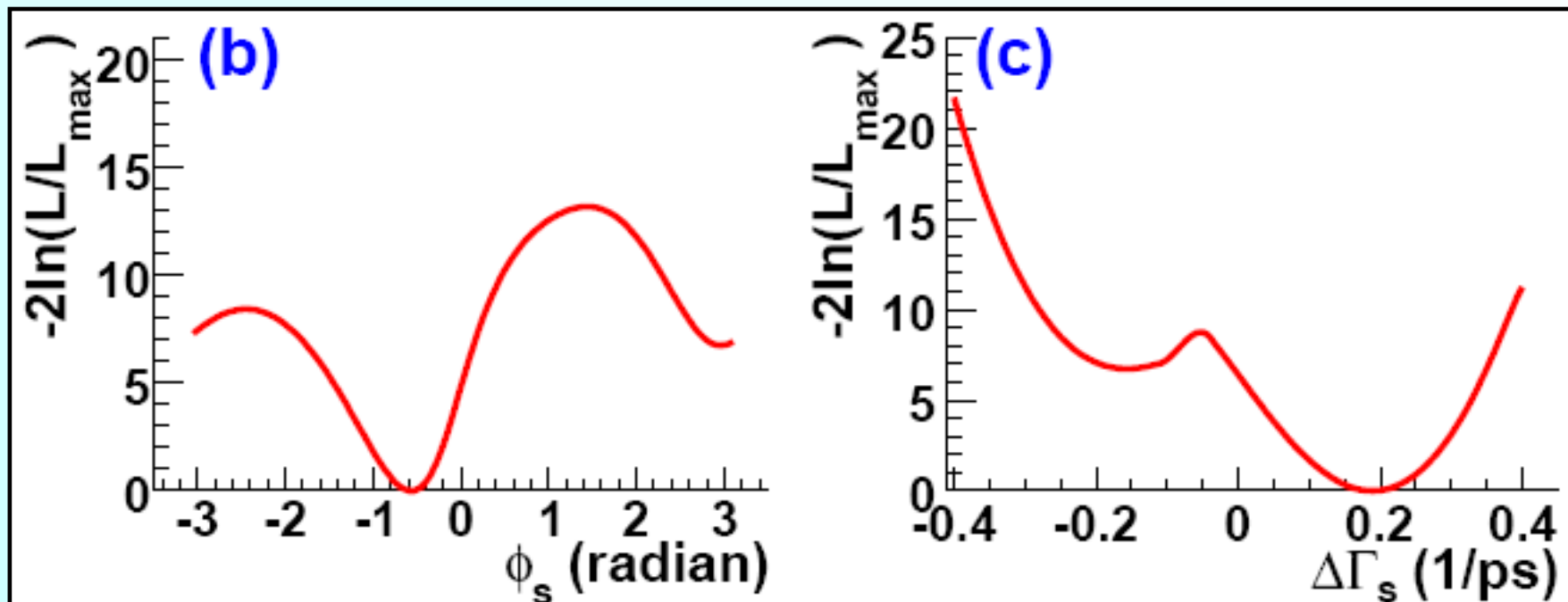




Сканирование правдоподобия



- Сканирование правдоподобия показывает четкие минимумы со значимостью $> 2.5\sigma$ как для ϕ_s так и для $\Delta\Gamma_s$:

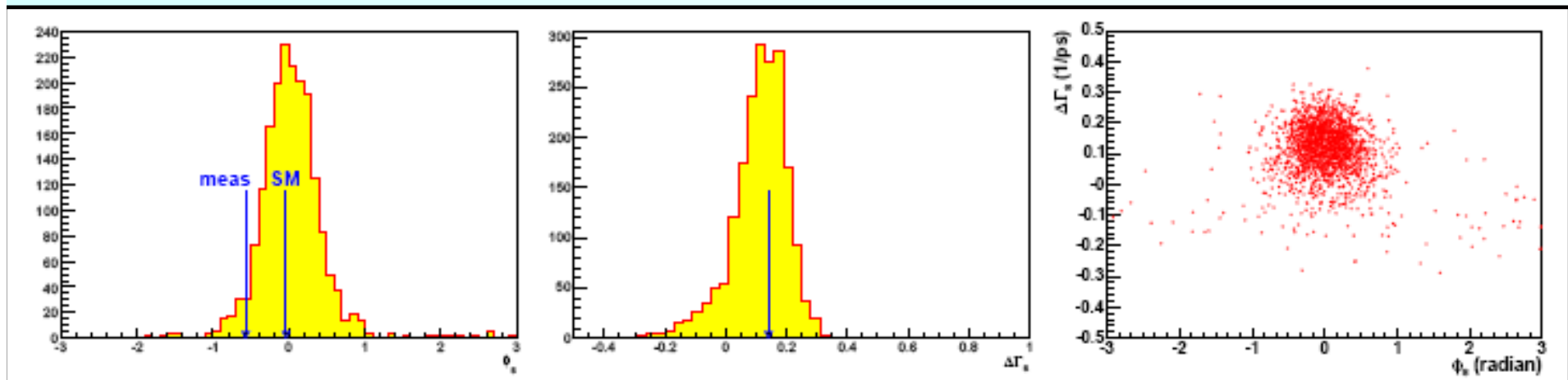




Совместимость со СМ



- Для проверки совместимости со стандартной моделью, мы осуществили 2000 МС псевдо-эксперимента с исходным значением $\phi_s = -0.04$ (предсказание СМ);
- Вероятность наблюдать $\phi_s \leq -0.57$ составляет 6.6%





Систематические неопределенности



Source	$\bar{\tau}_s$ (ps)	$\Delta\Gamma_s$ (ps ⁻¹)
Acceptance	± 0.003	± 0.003
Signal mass model	-0.01	$+0.006$
Flavor purity estimate	± 0.001	± 0.001
Background model	$+0.003$	$+0.02$
ΔM_s input	± 0.01	± 0.001
Total	± 0.01	$+0.02, -0.01$

Source	$ A_{\perp}(0) $	$ A_0(0) ^2 - A_{\parallel}(0) ^2$	ϕ_s
Acceptance	± 0.005	± 0.03	± 0.005
Signal mass model	-0.003	-0.001	-0.006
Flavor purity estimate	± 0.001	± 0.001	± 0.01
Background model	-0.02	-0.01	$+0.02$
ΔM_s input	± 0.001	± 0.001	$+0.06, -0.01$
Total	$+0.01, -0.02$	± 0.03	$+0.07, -0.02$



Результаты

- Мы получили:

$$\begin{aligned}\phi_s &= -0.57_{-0.30}^{+0.24} \text{ (stat)}_{-0.02}^{+0.07} \text{ (syst)} \\ \Delta\Gamma_s &= 0.19 \pm 0.07 \text{ (stat)}_{-0.01}^{+0.02} \text{ (syst)} \text{ ps}^{-1} \\ \bar{\tau}(B_s^0) &= 1.52 \pm 0.05 \pm 0.01 \text{ ps}\end{aligned}$$

$$-1.20 < \phi_s < 0.06, \quad 0.06 < \Delta\Gamma_s < 0.30 \text{ ps}^{-1} \text{ at 90\% C.L.}$$

- Вероятность наблюдения такой величины ϕ_s в СМ составляет 6.6%;
- Для СМ величины $\phi_s \equiv -2\beta_s = -0.04$ мы получили:

$$\begin{aligned}\Delta\Gamma_s &= 0.14 \pm 0.07 \text{ (stat)}_{-0.01}^{+0.02} \text{ (syst)} \text{ ps}^{-1} \\ \bar{\tau}(B_s^0) &= 1.53 \pm 0.06 \pm 0.01 \text{ ps}\end{aligned}$$



Результаты (продолжение)



- Для случая $\Delta\Gamma_s^{\text{th}} = \Delta\Gamma_s^{\text{SM}} \cdot |\cos \phi_s|$:

$$\phi_s = -0.46 \pm 0.28 \text{ (stat)}_{-0.02}^{+0.07} \text{ (syst)}$$
$$\bar{\tau}(B_s^0) = 1.53 \pm 0.06 \pm 0.01 \text{ ps}$$



Сравнение с другими измерениями



- Предыдущий результат DØ, являющийся комбинацией различных измерений:

$$\phi_s = -0.70^{+0.47}_{-0.39}$$

(с четырех-кратной неопределенностью);

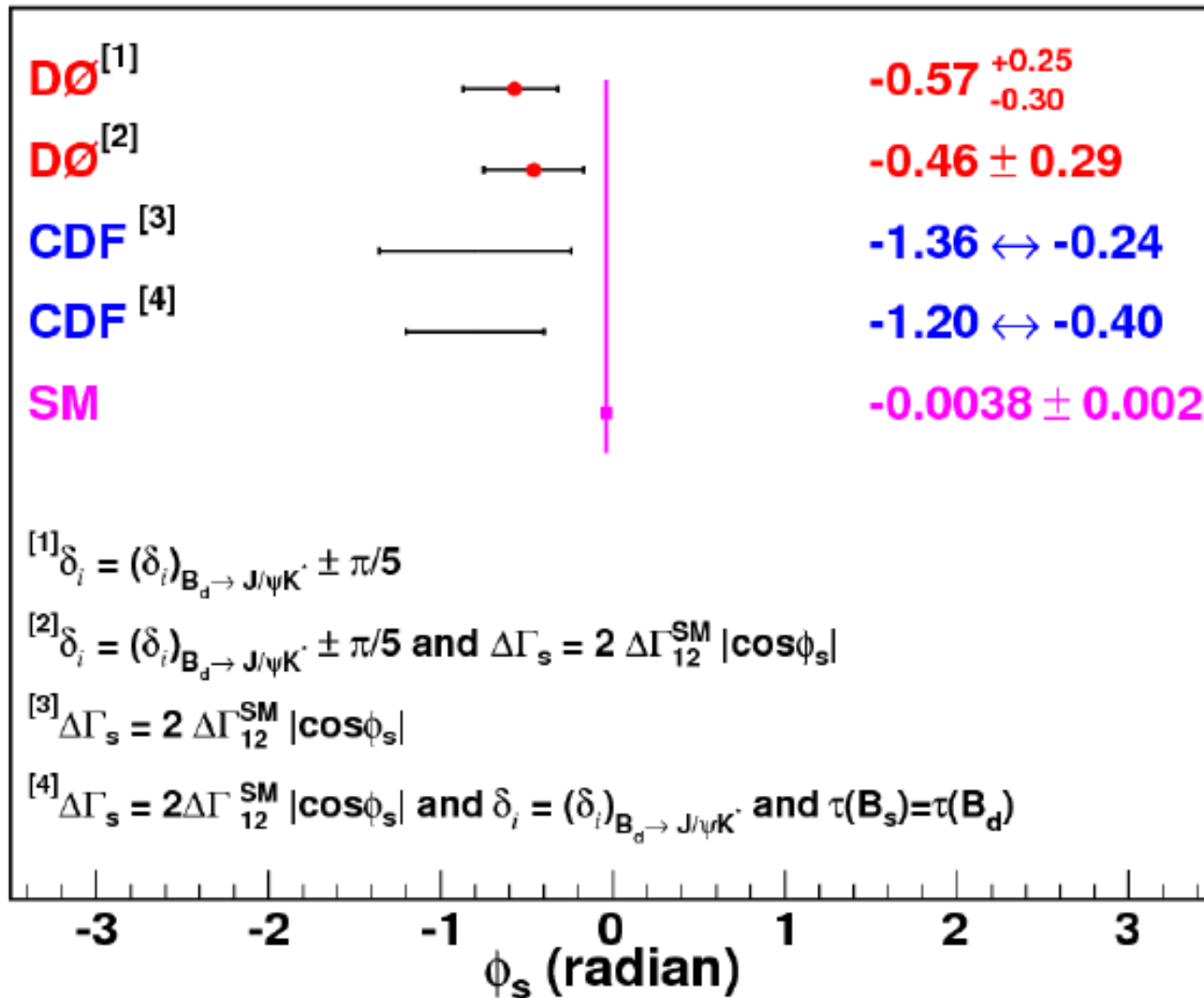
– Phys. Rev. D76, 057101 (2007)

- Недавний результат CDF в том же распаде $B_s \rightarrow J/\psi \varphi$:

$$-1.20 < \phi_s < -0.40 \text{ at } 68\% \text{ CL}$$

– результат представлен в DØ конвенции знаков, которая противоположна конвенции CDF;

– arXiv: hep-ex/0712.2397;





Заключение



- Эксперименты на Теватроне дают интересные результаты по CP нарушению;
- Эти результаты дополнены измерениям на В-фабриках и связаны с сектором B_s мезона, который не доступен на В-фабриках;
- Мы ожидаем существенного увеличения статистики к концу RunII Теватрона;
- Будущие измерения CP нарушения на Теватроне могут принести неожиданные и яркие результаты;



BACKUP SLIDES



CPV and B Mesons



- **B mesons - ideal place to study CPV:**
 - Direct access to small elements of mixing matrix;
 - Can be sensitive to the new physics;
 - Neutral B mesons continuously transforming between matter and antimatter state (oscillate);
- **B mesons with u and d quark are extensively studied at b-factories (BaBar and Belle experiments);**
- **B_s meson (bound state of b and s quarks) can currently be studied only at Tevatron;**



Experimental Observables



Standard Model predicts the following values of experimental observables for B_s system (A. Lenz, U. Nierste, hep-ph/0612167):

- **Mass difference:** $\Delta M_s^{SM} = (19.30 \pm 6.74) \text{ ps}^{-1}$
- **Lifetime difference:** $\Delta \Gamma_s^{SM} = (0.096 \pm 0.039) \text{ ps}^{-1}$
- **Ratio:** $\Delta \Gamma_s^{SM} / \Delta M_s^{SM} = (49.7 \pm 9.4) \times 10^{-4}$
- **CP violating phase:** $\phi_s^{SM} = (4.2 \pm 1.4) \times 10^{-3}$
- **CP violating phase in $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ decay:** $-2\beta_s = -0.04 \pm 0.01$

Notice that the CP violating phases for B_s system is predicted to be very small in the Standard Model



New Physics Contribution



- The SM prediction can be significantly modified in the presence of new physics;
- It changes the M_{12} element of mass matrix:

$$M_{12} = M_{12}^{SM} \cdot \Delta_s; \quad \Delta_s = |\Delta_s| e^{i\phi_s^{\Delta}}$$

- The Γ_{12} element is determined by the tree diagrams and is not modified by the new physics;



New Physics Contribution



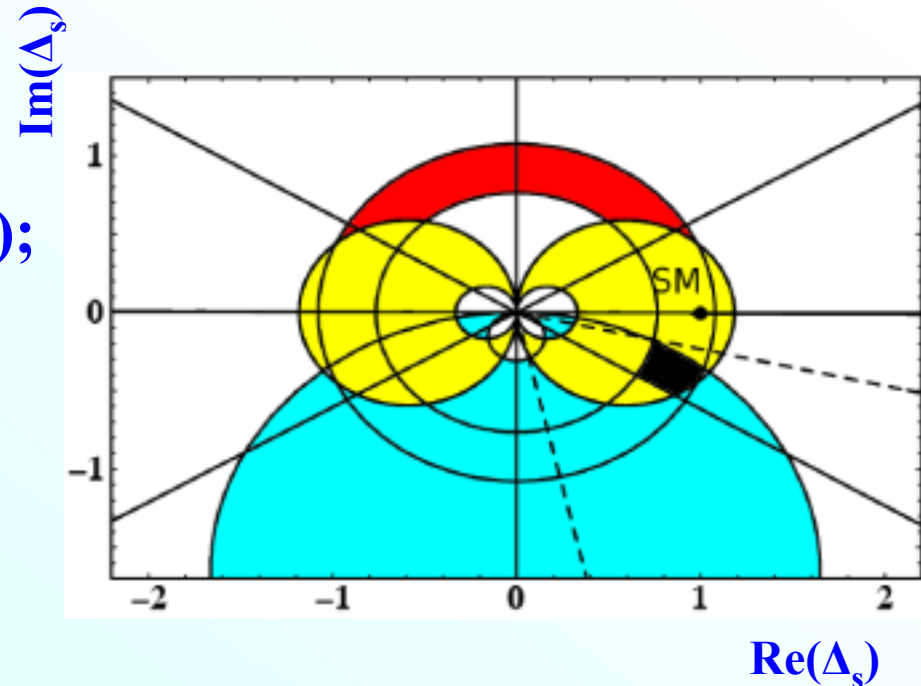
- In the presence of new physics, the experimental observables are modified as:
- **Mass difference:** $\Delta M_s = \Delta M_s^{SM} |\Delta_s|$
- **Lifetime difference:** $\Delta \Gamma_s = (0.096 \pm 0.039) \text{ ps}^{-1} \cdot \cos \phi_s$
- **Ratio:** $\Delta \Gamma_s / \Delta M_s = (49.7 \pm 9.4) \times 10^{-4} \cdot \cos \phi_s / |\Delta_s|$
- **CP violating phase:** $\phi_s = \phi_s^{SM} + \phi_s^\Delta$
- **CP violating phase in $B_s \rightarrow J/\psi \phi$ decay:** $-2\beta_s + \phi_s^\Delta$

The CP violating phases for B_s system can be significantly modified by the contribution of the new physics, since the SM prediction is expected to be small



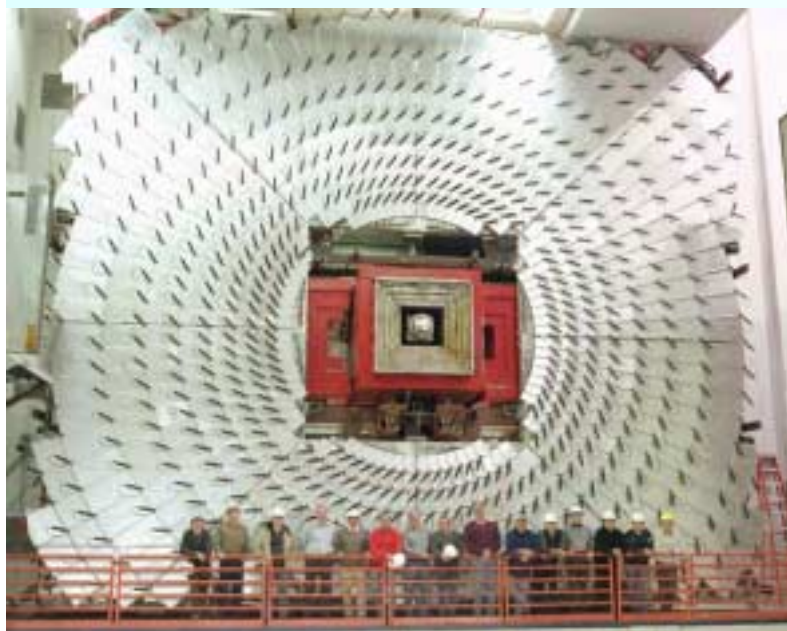
Experimental constraints

- $\Delta_s=1$ – Standard Model;
- Red: $\Delta M_s=17.77\pm 0.12 \text{ ps}^{-1}$ (CDF);
- Yellow: $\Delta\Gamma_s=0.17\pm 0.1 \text{ ps}^{-1}$ (DØ);
- Blue: $A_{SL}^s = (-8.8\pm 7.3)\times 10^{-3}$
(combination of DØ results with $A_{SL}^d = \text{SM value}$);
- Forward and backward solid wedges – constraint on φ_s from $\Delta\Gamma_s$ measurement;



A. Lenz, U. Nierste, hep-ph/0612167

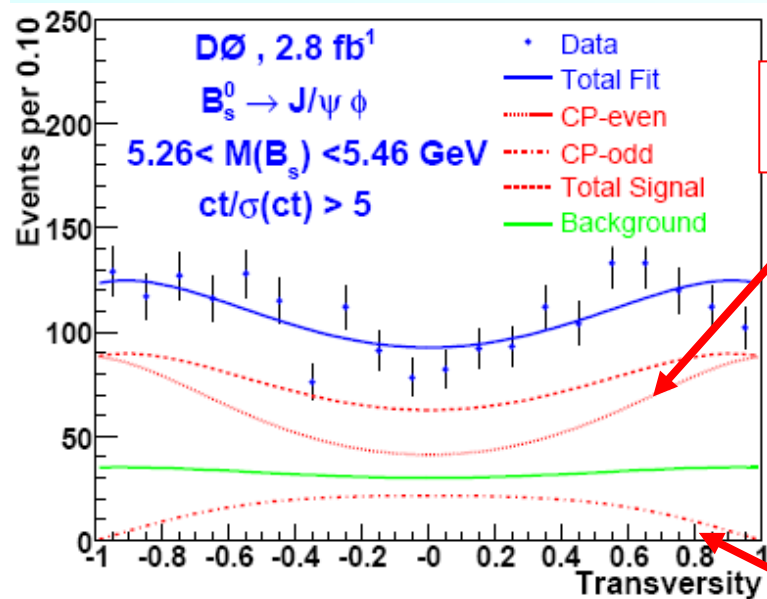
Muon Triggers



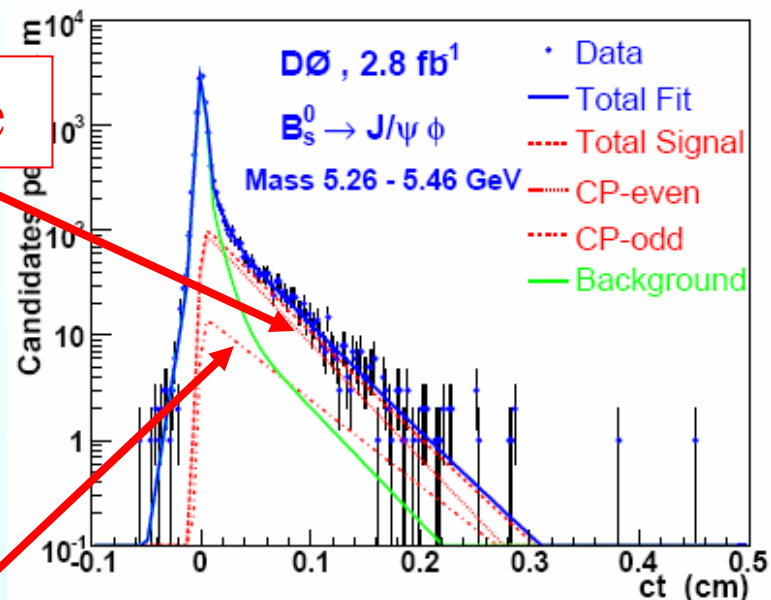
- **Single inclusive muons**
 - $|\eta| < 2.0, p_T > 3, 4, 5 \text{ GeV}$
 - **Muon + track match at Level 1**
 - **No direct lifetime bias**
 - Still could give a bias to measured lifetime if cuts on decay length are imposed offline
 - **Prescaled or turned off depending on inst. lumi.**
 - **B physics triggers at all lumi's**
 - Extra tracks at medium lumi's
 - Impact parameter requirements
 - Associated invariant mass
 - Track selections at Level 3
- **Dimuons: other muon for flavor tagging**
- **e.g. at $50 \cdot 10^{-30} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$**
 - **20 Hz of unbiased single μ**
 - **1.5 Hz of IP+ μ**
 - **2 Hz of dimuons**
- **No rate problem at L1/L2**



Результаты фитирования



CP-четное



CP-нечетное