

**Мемориальный семинар  
В.Г.Шевченко  
НИИЯФ МГУ, 14.06.2013**

**Международное сотрудничество в ИТЭФ  
(избранные темы)**

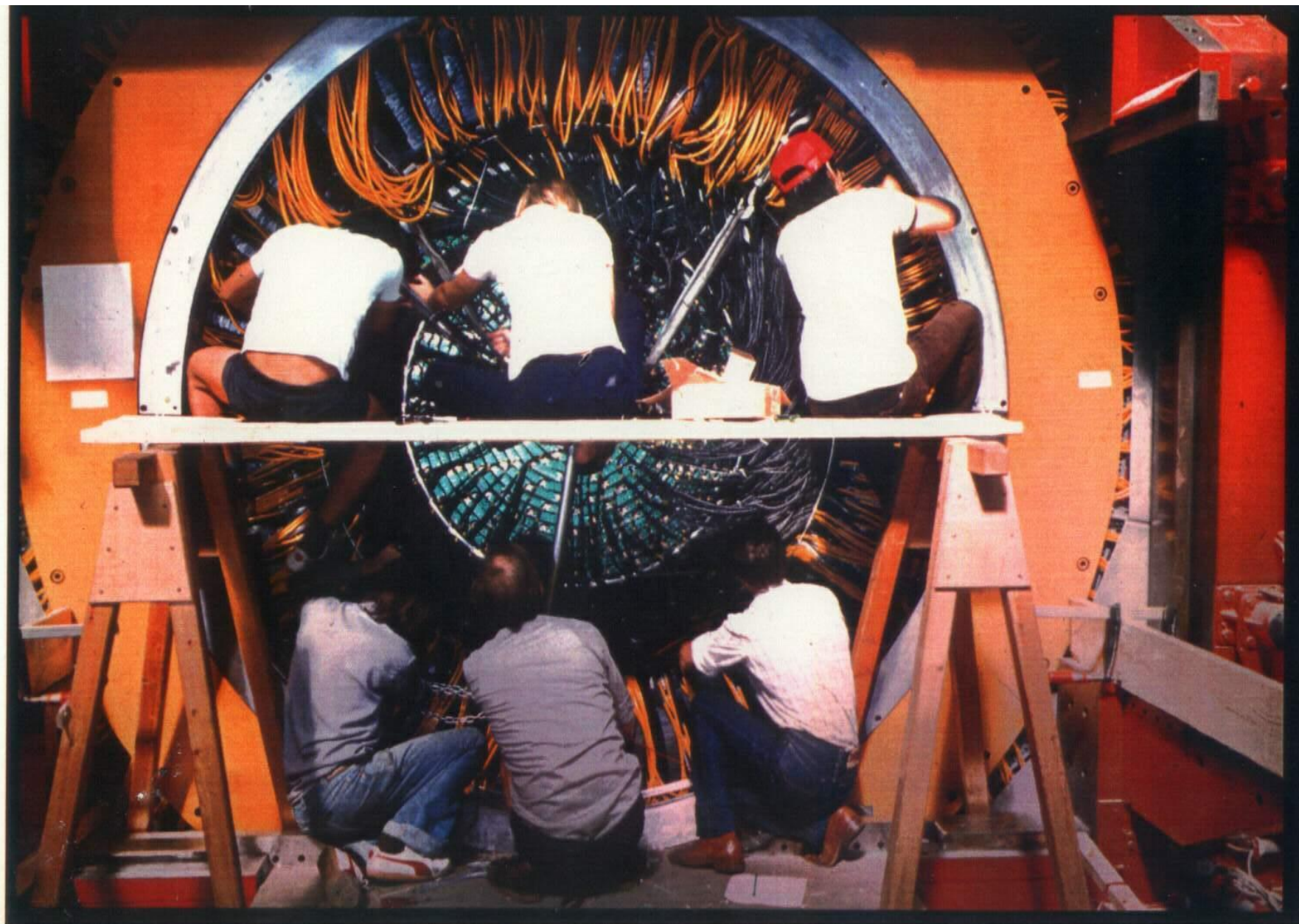
**М.Данилов  
ИТЭФ**

# Эксперимент ARGUS

## Вклад:

1. Разработка и руководство созданием дрейфовой камеры
2. Разработка и создание мюонной системы
3. Изготовление элементов калориметра
4. Участие в разработке вершинной камеры

# Сборка дрейфовой камеры



# Эксперимент ARGUS получил целый ряд важных результатов

Впервые измерена константа связи **t** и **d** кварков, оценена масса **t**-кварка  
Впервые (одновременно с CLEO) измерена константа связи **b** и **u** кварков  
Наиболее точно измерена константа связи **b** и **s** кварков  
Эти константы являются фундаментальными параметрами СМ  
Их измерение открыло путь к поиску СР-нарушения на В-фабриках

Сделан ключевой вклад в спектроскопию частиц содержащих **b** и **s** кварки,  
детально изучены их распады

Детально изучены свойства **τ**-лептона ( $M$ ,  $\tau$ ,  $\rho$ ,  $Br$ 's) и  $V_{\tau}$  ( $M$ , спиральность)  
Много других важных результатов

Роль группы ИТЭФ признана в мире (по гамбургскому счету)

Пленарные доклады на крупнейших конференциях: ICHEP-1, LP-2

Международные премии В.Панофского (Ю.Зайцев), М.Планка (М.Данилов) и  
А.Карпинского (М.Данилов)

# Эксперимент H1

## Вклад:

Передний тороид

Участие в создании жидкоаргонового калориметра

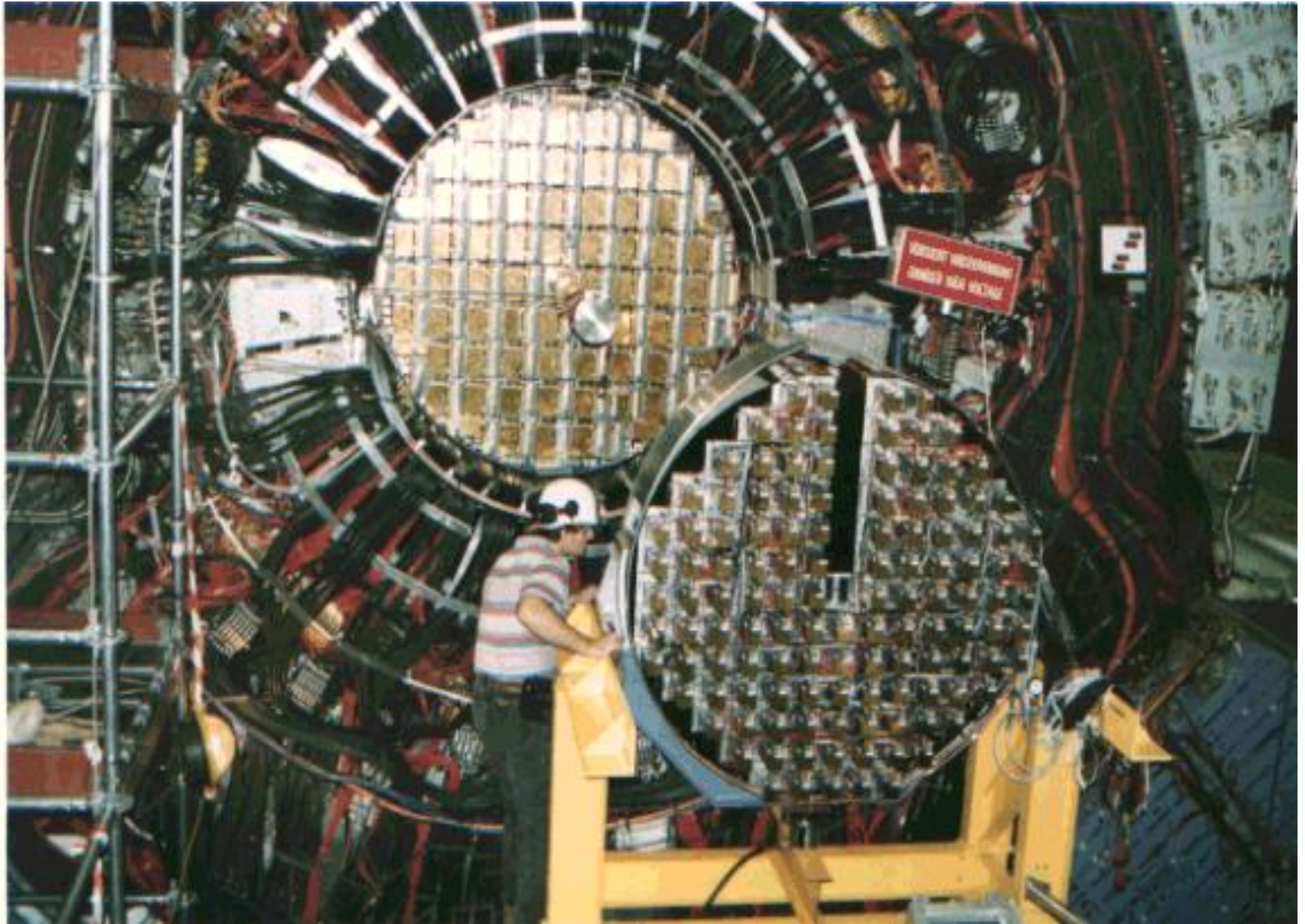
Адронный калориметр SPACAL

Международное признание

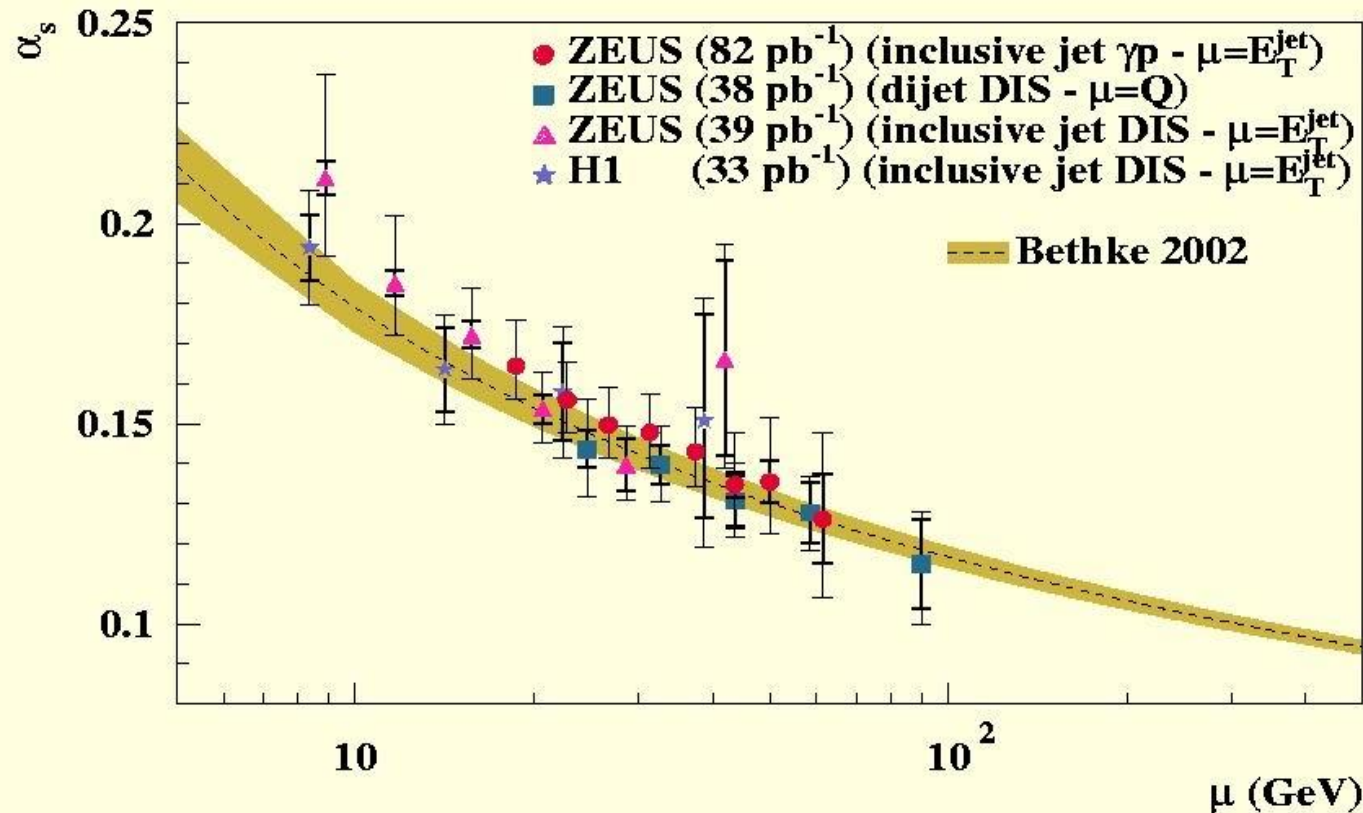
Два пленарных доклада на LP



# Установка сделанного в ИТЭФ калориметра в детектор N1 для изучения структуры протона



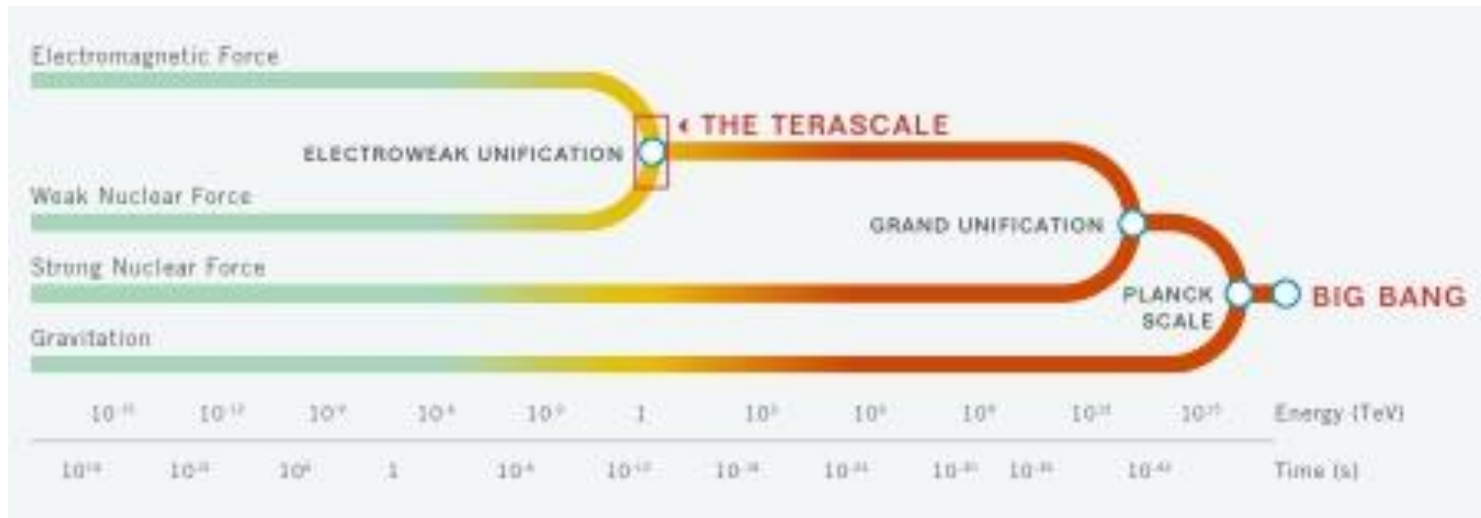
# Константа сильного взаимодействия уменьшается с ростом энергии из-за поляризации вакуума



- Энергетическая зависимость константы сильного взаимодействия (эти данные были использованы в 2004 г. Нобелевским Комитетом для иллюстрации асимптотической свободы)

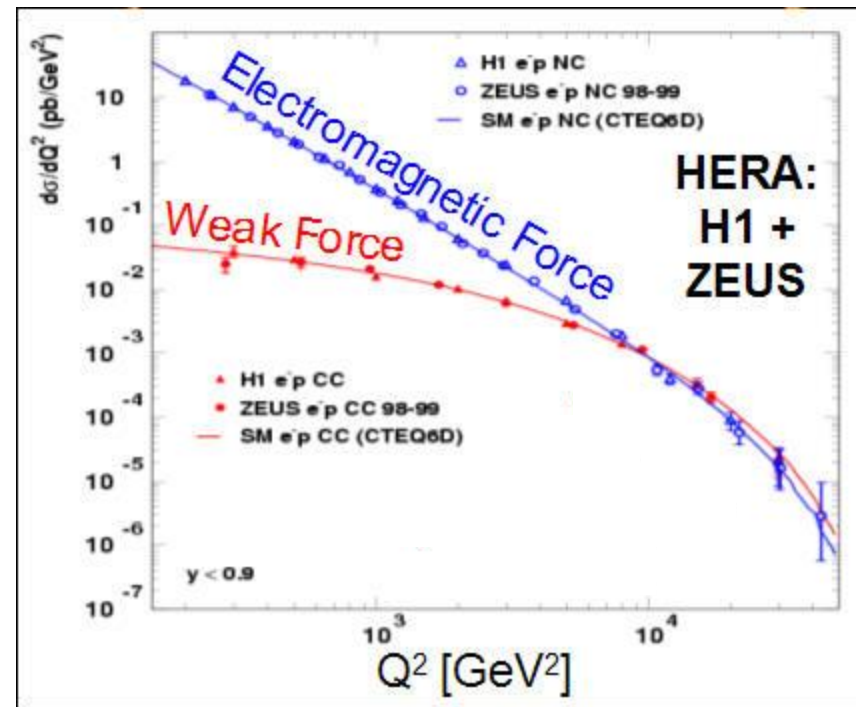


# Объединение Взаимодействий



Константы слабого и электромагнитного взаимодействий сравниваются при больших энергиях (данные ер коллайдера ГЕРА)

⇒ Электро-слабая теория!





# Эксперимент HERA-B

## Вклад

Электромагнитный калориметр

Мюонные камеры

Уникальные газовые пиксельные камеры

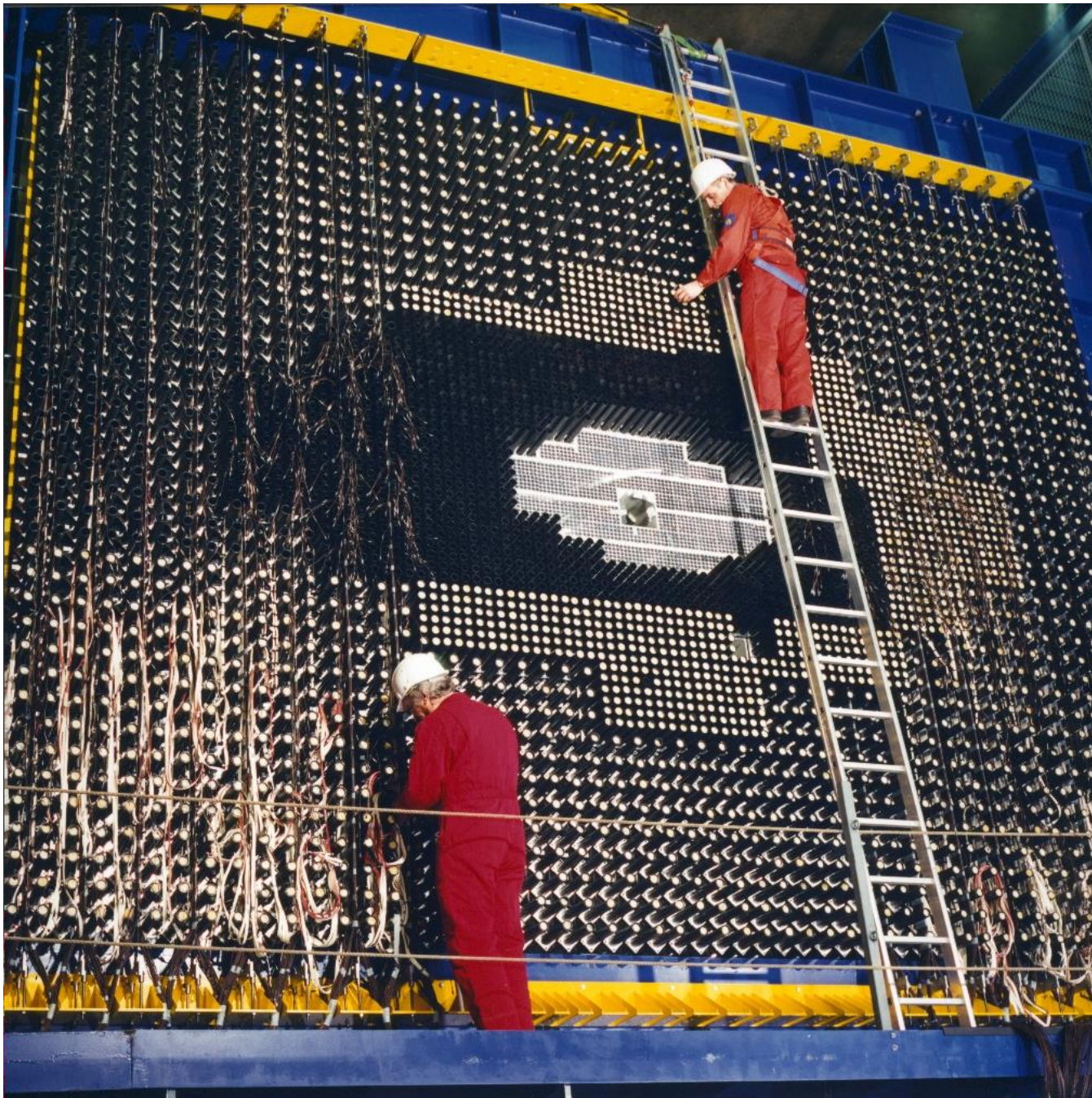
## Цели

1. Наблюдение CP-нарушения в B-мезонах
2. Подготовка проекта LHCb для изучения CP-нарушения в B-мезонах

## Результаты

Первая амбициозная цель не достигнута, но получено много интересных результатов по рождению тяжелых кварков на ядрах.

Вторая задача перевыполнена – не только LHCb, но и CMS широко использовали опыт HERA-B



**Электромагнитный калориметр HERA-B**





**Сборка мюонных камер HERA-B**

# Эксперименты BELLE и BELLE-2

## Вклад

Громадный (1200 м<sup>2</sup> и 16 тыс. каналов) мюонный детектор  
Развитие программного обеспечения

## Признание роли ИТЭФ

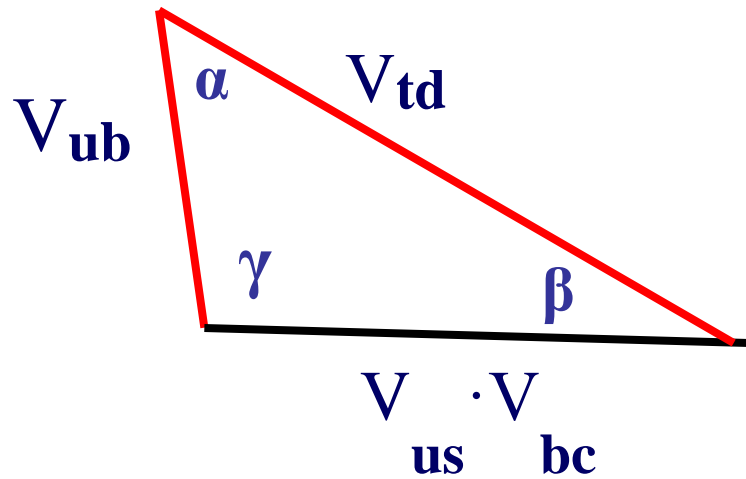
2 пленарных доклада на ICHEP

2 пленарных доклада на LP

Руководство 4-мя рабочими группами  
(рекорд для одного института)



# Константы связи кварков образуют треугольник на комплексной плоскости



Измерение сторон в эксперименте ARGUS показало, что углы большие

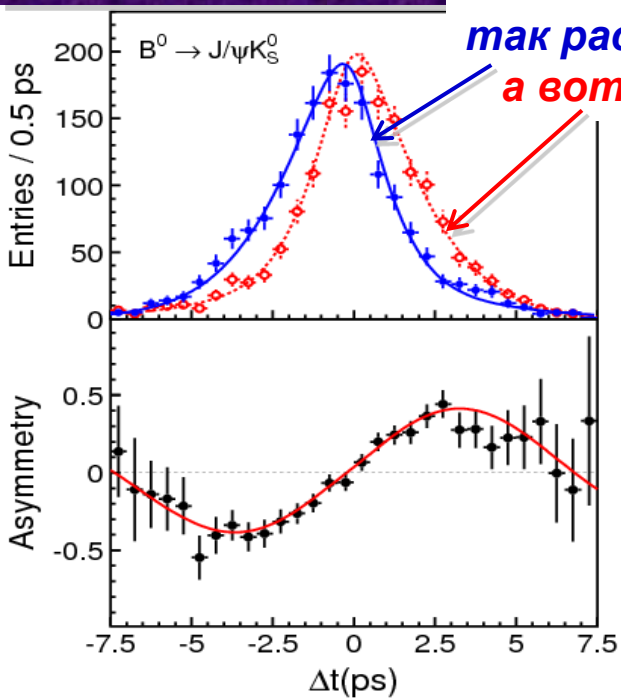
Углы этого треугольника определяют различие в распадах частиц и античастиц

$$\frac{\Gamma(t)(B^0 \rightarrow J/\Psi K^0_s) - \Gamma(\bar{t})(\bar{B}^0 \rightarrow J/\Psi K^0_s)}{\Gamma(t)(B^0 \rightarrow J/\Psi K^0_s) + \Gamma(\bar{t})(\bar{B}^0 \rightarrow J/\Psi K^0_s)} \sim \sin 2\beta \cdot \sin \Delta M \cdot t$$

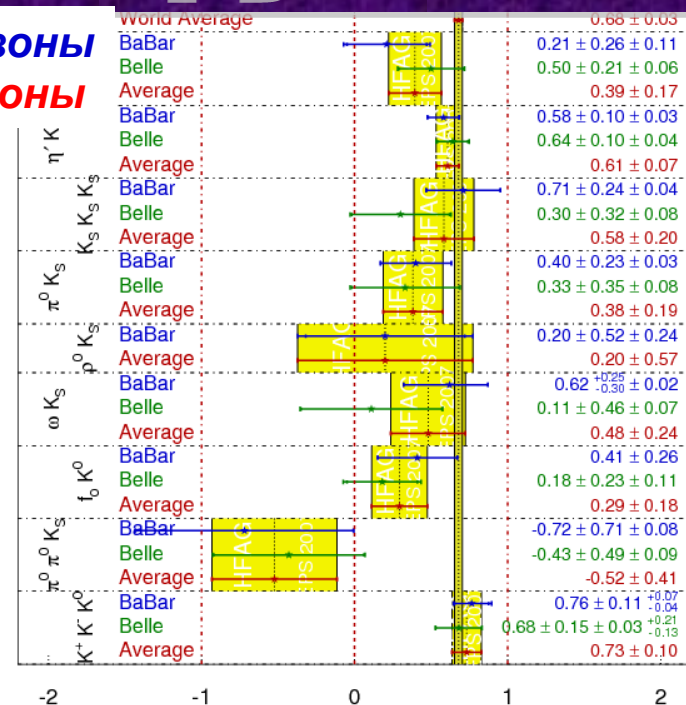
Кобаяши и Маскава предложили свою теорию, когда третье поколение еще не было открыто!



# Различие свойств материи и антиматерии — CP нарушение



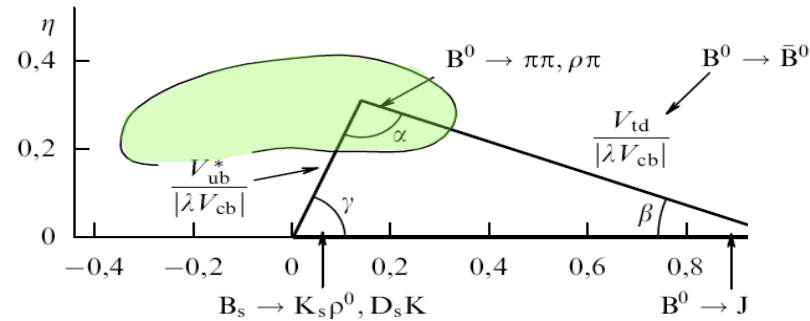
так распадается прелестные мезоны  
а вот так антипрелестные мезоны



CP нарушение в распадах прелестных мезонов открыто Belle (с участием БИЯФ и ИТЭФ) в 2001 году в распаде  $B^0 \rightarrow J/\psi K^0$ . Практически одновременно такой же результат получен BaBar. Сегодня сотрудничество Belle измерило параметр нарушения с точностью 3%, а также исследовало десятки других распадов...

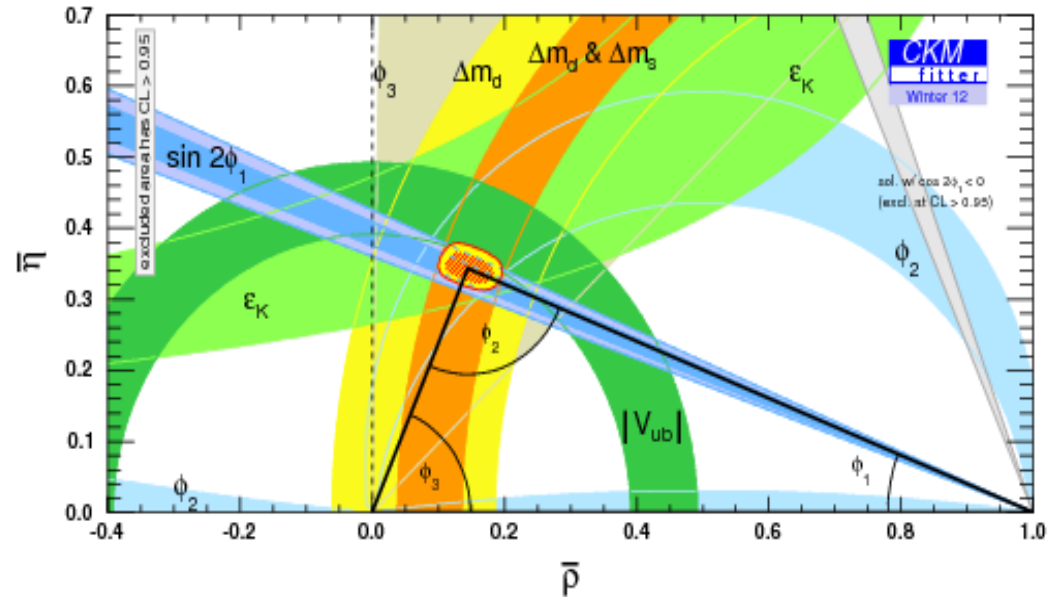
# Precision of Unitarity Triangle measurements improved dramatically

## ARGUS & CLEO era



Belle precise measurement  
 $\sin 2\phi_1 = 0.667 \pm 0.023 \pm 0.012$

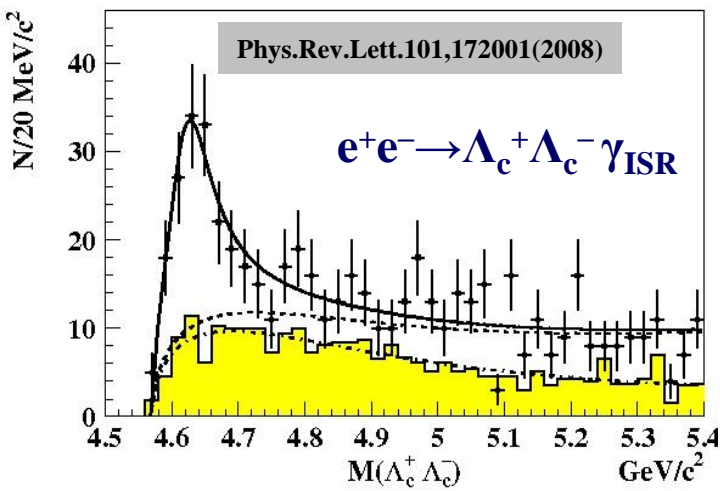
## Belle & BaBar era



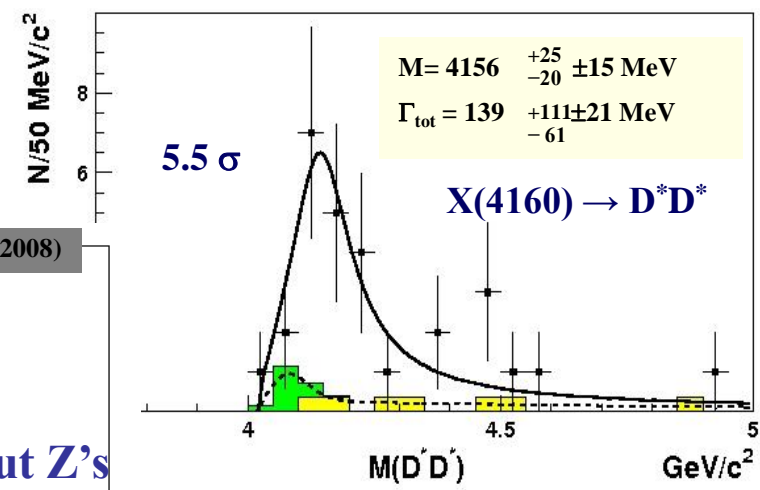
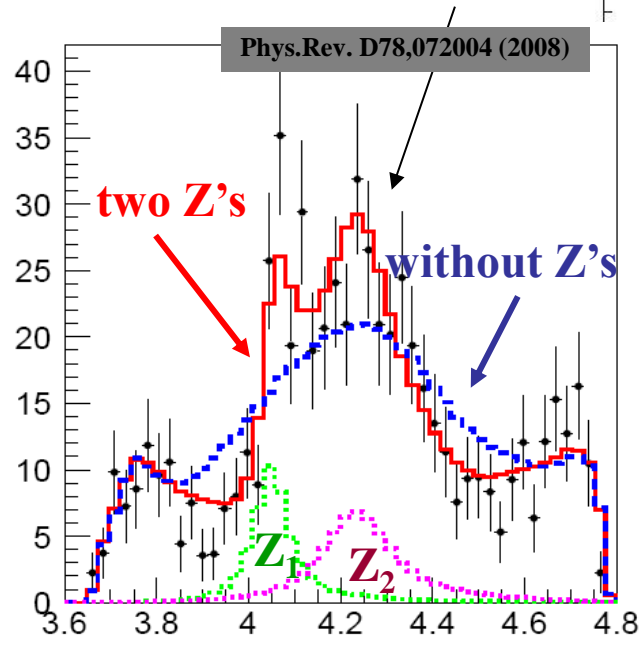
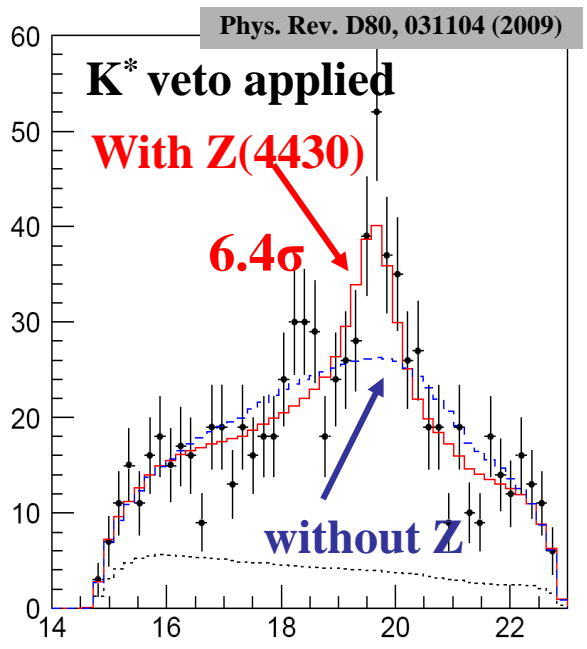
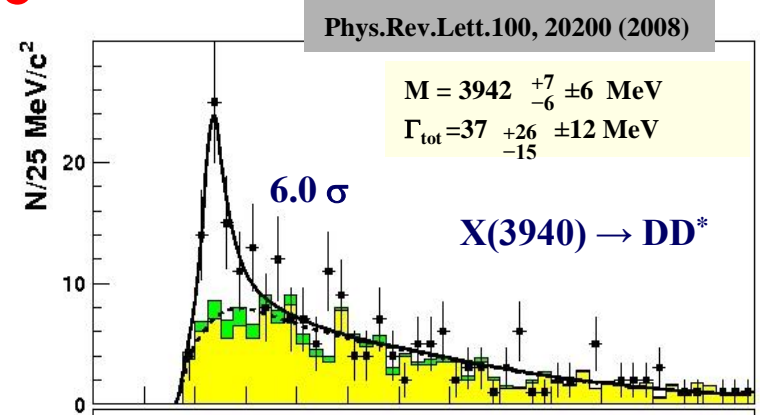
CKM Fitter 2012:

Precise measurements of UT are still highly important !!!

# Эксперимент BELLE обнаружил множество чармониеподобных состояний



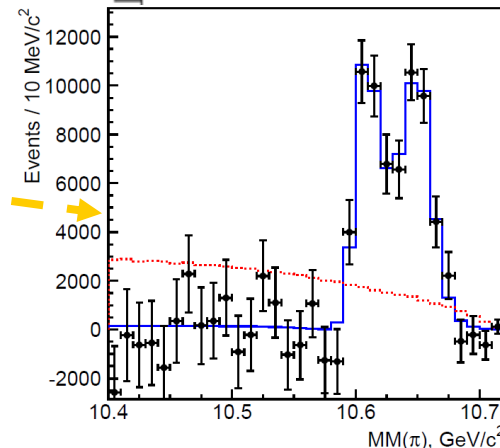
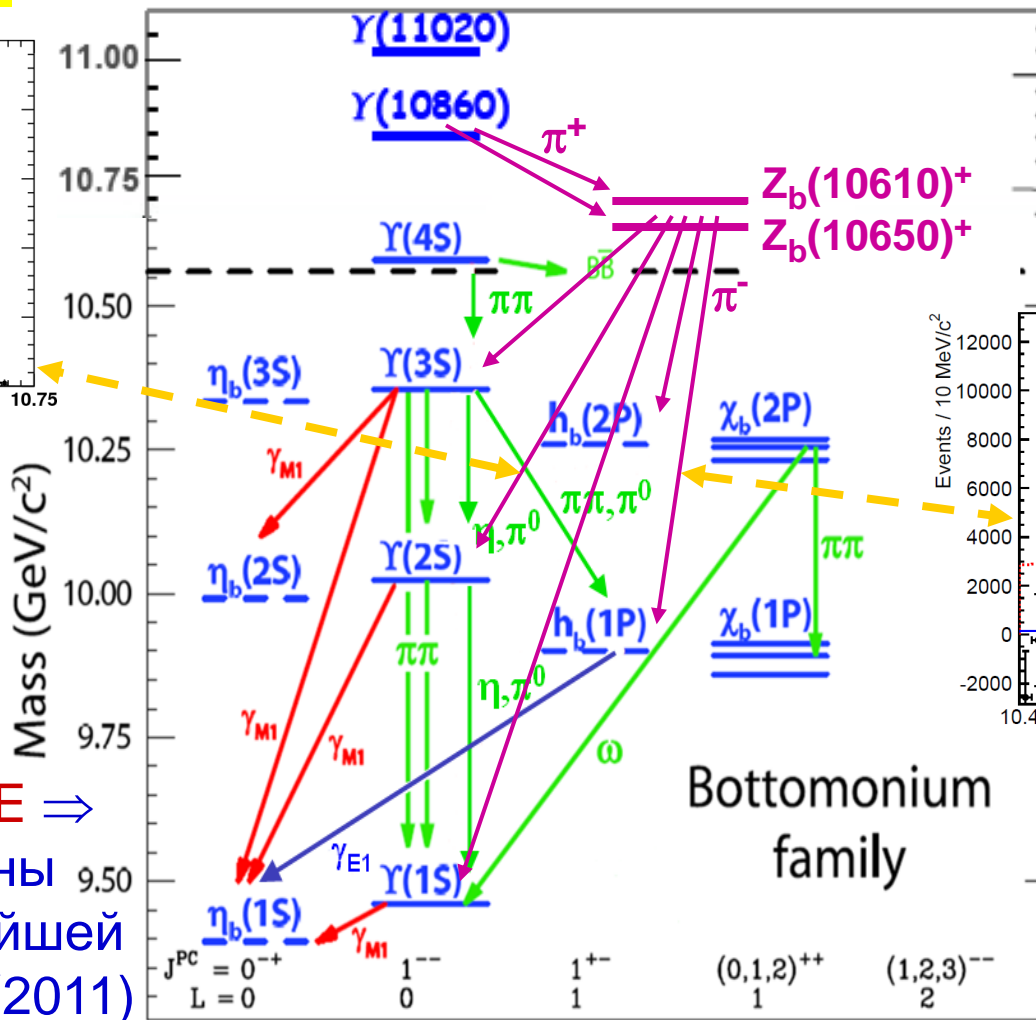
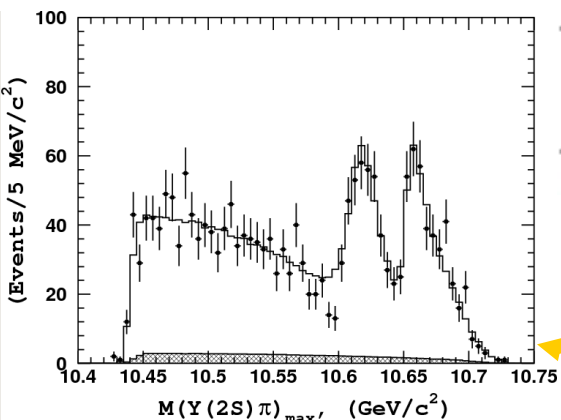
... часть из них группа ИТЭФ...



... часть из них кандидаты в не Q-Qbar состояния



# Обнаружение нового типа адронов $b\bar{b}ud$



Эксперимент BELLE ⇒  
впервые обнаружены  
адроны вне простейшей  
кварковой модели (2011)

Минимальный кварковый состав резонансов – два кварка и два анти-кварка.

Близость измеренных масс к порогам  $B\bar{B}^*$  и  $B^*B^*$  предлагает

# Key results

Fit over 5 channels

$$I_1 = 10607.2 \pm 2.0 \text{ MeV}$$

$$\Gamma_1 = 18.4 \pm 2.4 \text{ MeV}$$

$$(M_B + M_{B^*}) = + 2.6 \pm 2.1 \text{ MeV}$$

$$I_2 = 10652.2 \pm 1.5 \text{ MeV}$$

$$\Gamma_2 = 11.5 \pm 2.2 \text{ MeV}$$

$$- 2M_{B^*} = + 1.8 \pm 1.7 \text{ MeV}$$

$$Y(1S)\pi^+\pi^-$$

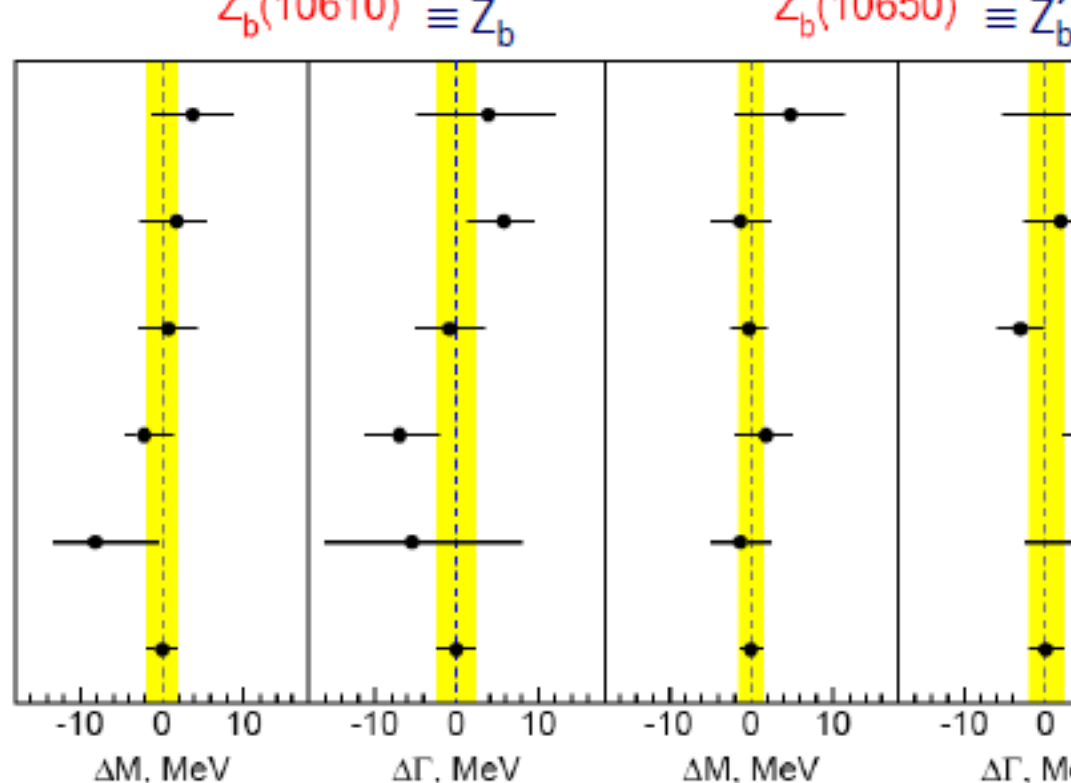
$$Y(2S)\pi^+\pi^-$$

$$Y(3S)\pi^+\pi^-$$

$$h_b(1P)\pi^+\pi^-$$

$$h_b(2P)\pi^+\pi^-$$

Average



Angular analysis  $\Rightarrow$  both states are  $J^P = 1^+$  Decays  $\Rightarrow I^G = 1^+$  ( $C = -$  for  $Z_b^0$ )

Proximity to thresholds

Resonance molecule

or tetraquark

$$Z_b \sim |B B^*\rangle = \left| \begin{array}{c} \bar{b}b \\ \uparrow\uparrow \end{array} \right\rangle + \left| \begin{array}{c} \bar{b}b \\ \uparrow\downarrow \end{array} \right\rangle$$

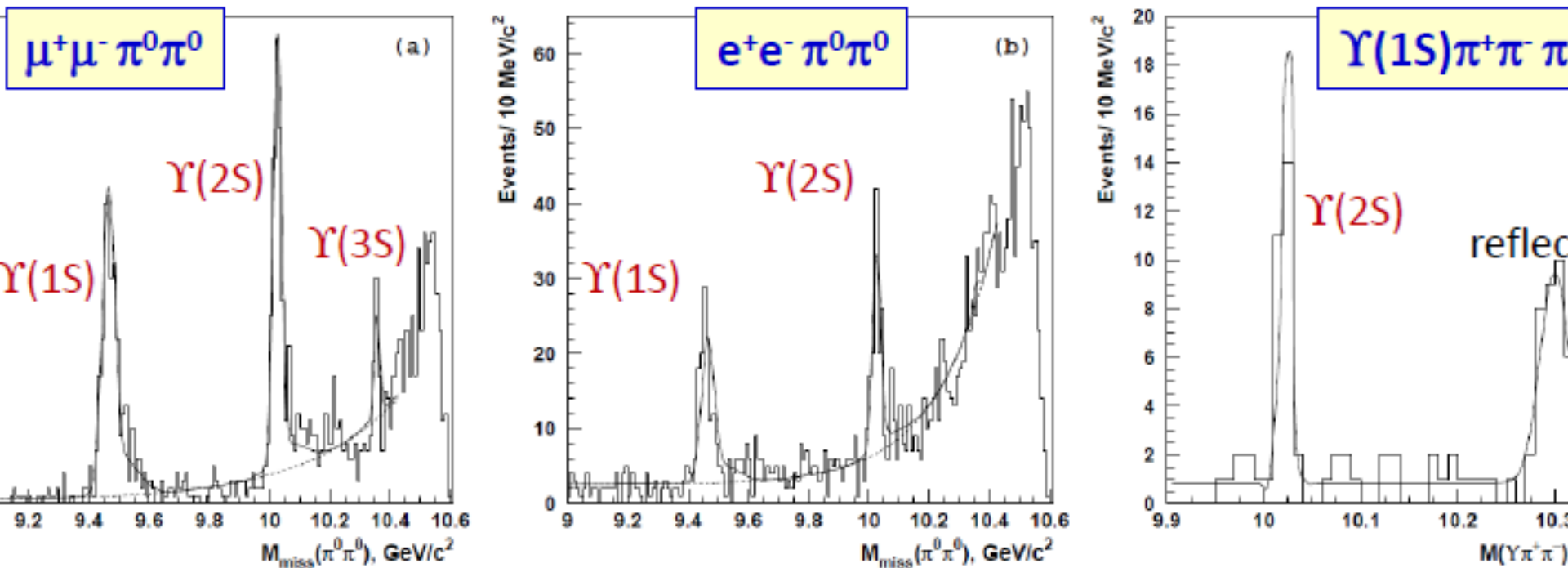
S-wave

$$Z_b' \sim |B^* B^*\rangle = \left| \begin{array}{c} \bar{b}b \\ \uparrow\uparrow \end{array} \right\rangle - \left| \begin{array}{c} \bar{b}b \\ \uparrow\downarrow \end{array} \right\rangle$$

Bondar et al, PRD84,054010  
 $h_b(mP)\pi$   
 not suppressed

Phase btw  $Z_b$  and  $Z_b'$  amplitudes is  $\sim 0^\circ$  for  $Y(nS)\pi\pi$  and  $\sim 180^\circ$  for  $h_b(mP)\pi\pi$

# Observation of $\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(nS)\pi^0\pi^0$



## First observations

$$\left. \begin{aligned} \text{BF}[\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^0\pi^0] &= (2.25 \pm 0.11 \pm 0.20) \times 10^{-3} \\ \text{BF}[\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(2S)\pi^0\pi^0] &= (3.79 \pm 0.24 \pm 0.49) \times 10^{-3} \\ \text{BF}[\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(3S)\pi^0\pi^0] &= (2.09 \pm 0.51 \pm 0.34) \times 10^{-3} \end{aligned} \right\} \text{arxiv:1207.4345} \quad \begin{array}{l} 380 \text{ ev} \\ 370 \text{ ev} \\ 50 \text{ ev} \end{array}$$

**NEW**

C.f.  $\text{BF}[\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(1S)\pi^+\pi^-] = (4.45 \pm 0.16 \pm 0.35) \times 10^{-3}$

$\text{BF}[\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(2S)\pi^+\pi^-] = (7.97 \pm 0.31 \pm 0.96) \times 10^{-3}$

$\text{BF}[\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(3S)\pi^+\pi^-] = (2.88 \pm 0.19 \pm 0.36) \times 10^{-3}$



# Results of Dalitz plot analysis



Fit fractions

	$\Upsilon(1S)$	$\Upsilon(2S)$		$\Upsilon(3S)$
		solution A	solution B	
$Z_b(10610)^0$	$< 3.5$	$13.5 \pm 4.0 \pm 1.8$	$30.0 \pm 6.1 \pm 3.6$	$44 \pm 11 \pm 3$
$Z_b(10650)^0$	$< 3.5$	$< 7$	$< 13$	$< 4.2$ (90% C.L.)

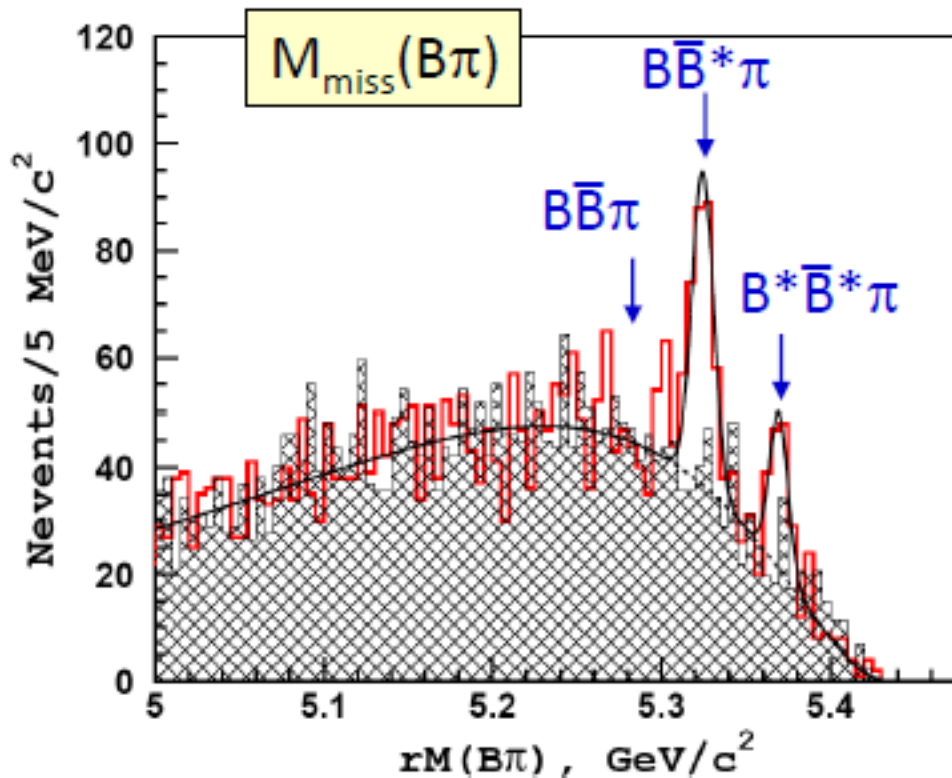
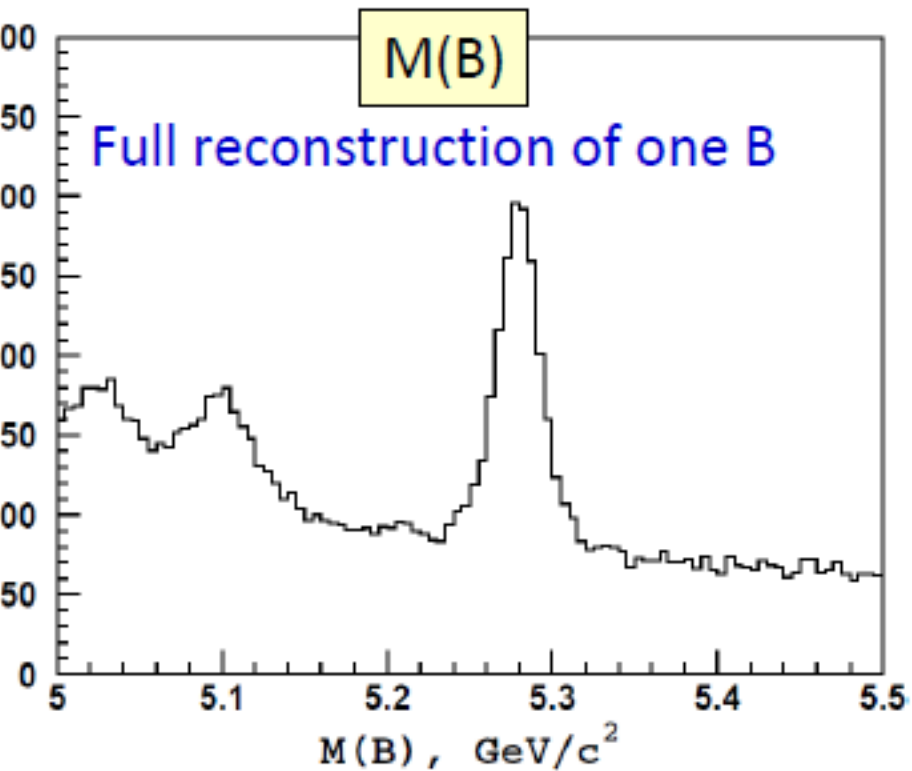
C.f. arxiv:1207.4345

$Z_b(10610)^+$	$2.54^{+0.87}_{-0.75}$	$19.6^{+4.0}_{-3.2}$	$26.8^{+6.8}_{-4.2}$
$Z_b(10650)^+$	$1.04^{+0.65}_{-0.33}$	$5.8^{+1.5}_{-1.8}$	$11.0^{+4.3}_{-2.4}$

Fit fractions of neutral and charged  $Z_b$ s are consistent

	$\Upsilon(2S)\pi^0$	$\Upsilon(3S)\pi^0$	Combined
Significance of $Z_b(10610)$ (including systematics)	$4.9\sigma$	$4.3\sigma$	$6.5\sigma$
			observation of $Z_b(10610)^0$





$\Upsilon(5S) \rightarrow B^{(*)}\bar{B}^{(*)}\pi$

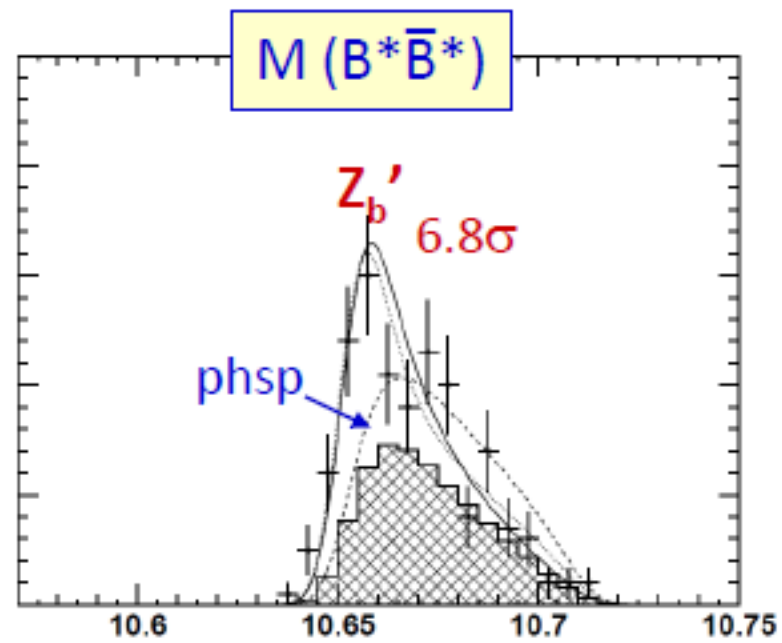
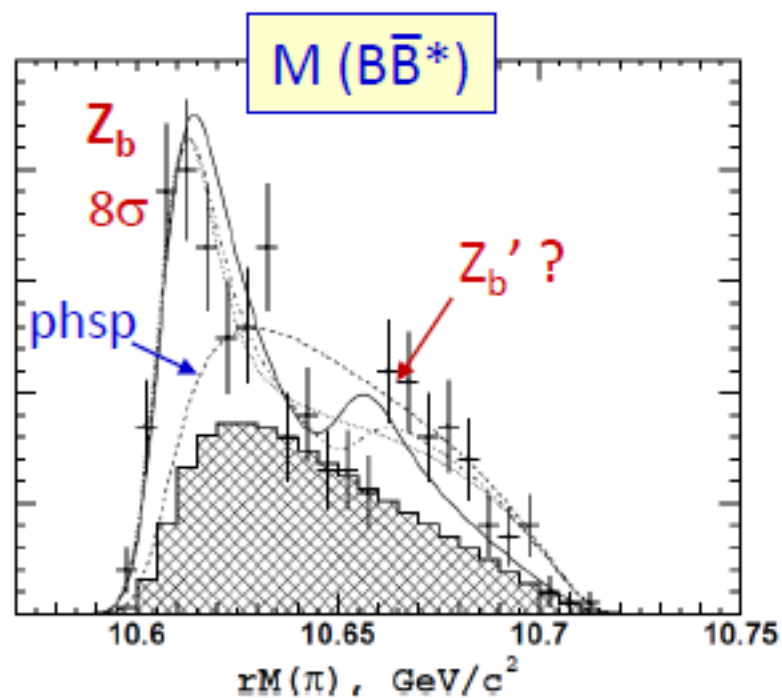
Belle  $121.4 \text{ fb}^{-1}$

significance

PRD81,112003(2010)

Belle  $23.6 \text{ fb}^{-1}$

$B\bar{B}$	$<0.60\%$ at 90% C.L.		$(0 \pm 1.2)\%$
$B\bar{B}^* + B\bar{B}^*$	$(4.25 \pm 0.44 \pm 0.69)\%$	$9.3\sigma$	$(7.3 \pm 2.3)\%$
$B^*\bar{B}^*$	$(2.12 \pm 0.29 \pm 0.36)\%$	$5.7\sigma$	$(1.0 \pm 1.4)\%$



Channel	Fraction, %	
	$Z_b(10610)$	$Z_b(10650)$
$\Upsilon(1S)\pi^+$	$0.32 \pm 0.09$	$0.24 \pm 0.07$
$\Upsilon(2S)\pi^+$	$4.38 \pm 1.21$	$2.40 \pm 0.63$
$\Upsilon(3S)\pi^+$	$2.15 \pm 0.56$	$1.64 \pm 0.40$
$h_b(1P)\pi^+$	$2.81 \pm 1.10$	$7.43 \pm 2.70$
$h_b(2P)\pi^+$	$4.34 \pm 2.07$	$14.8 \pm 6.22$
$B^+\bar{B}^{*0} + \bar{B}^0B^{*+}$	$86.0 \pm 3.6$	—
$B^{*+}\bar{B}^{*0}$	—	$73.4 \pm 7.0$

**BF[ $Z_b' \rightarrow B\bar{B}^*$ ] =  $(25 \pm 10)\%$  insignificant**

If included, other fractions of  $Z_b'$  are reduced by 1

$Z_b' \rightarrow B\bar{B}^*$  is suppressed w.r.t.  $B^*\bar{B}^*$   
despite much larger PHSP.

Explanations:

Molecule  $\Rightarrow$  admixture of  $B\bar{B}^*$  in  $Z_b'$  is small

# Summary

$Z_b(10610)$  and  $Z_b(10650)$  states observed in 5 decay modes:

$\Upsilon(1S)\pi^+$ ,  $\Upsilon(2S)\pi^+$ ,  $\Upsilon(3S)\pi^+$ ,  $h_b(1P)\pi^+$ ,  $h_b(2P)\pi^+$

Masses close to  $BB^*$  and  $B^*B^*$  thresholds.

Observation of  $Z_b(10610)^\pm \rightarrow BB^*$ ,  $Z_b(10650)^\pm \rightarrow B^*B^*$  Dominant modes:  $BF \sim 8$

$Z_b(10650)^\pm \rightarrow B\bar{B}^*$  is suppressed “smoking gun” of  
molecular structure?

Dalitz plot analysis of  $\Upsilon(nS)\pi^0\pi^0$  consistent with  $\Upsilon(nS)\pi^+\pi^-$ , observation of  
 $Z_b(10610)^0$

6D amplitude analysis  $Z_b$  spin-parity is unambiguously **1+**

All experimental data point to molecular structure of  $Z_b$ .

Fit to data with various predictions is crucial to discriminate dynamical mode

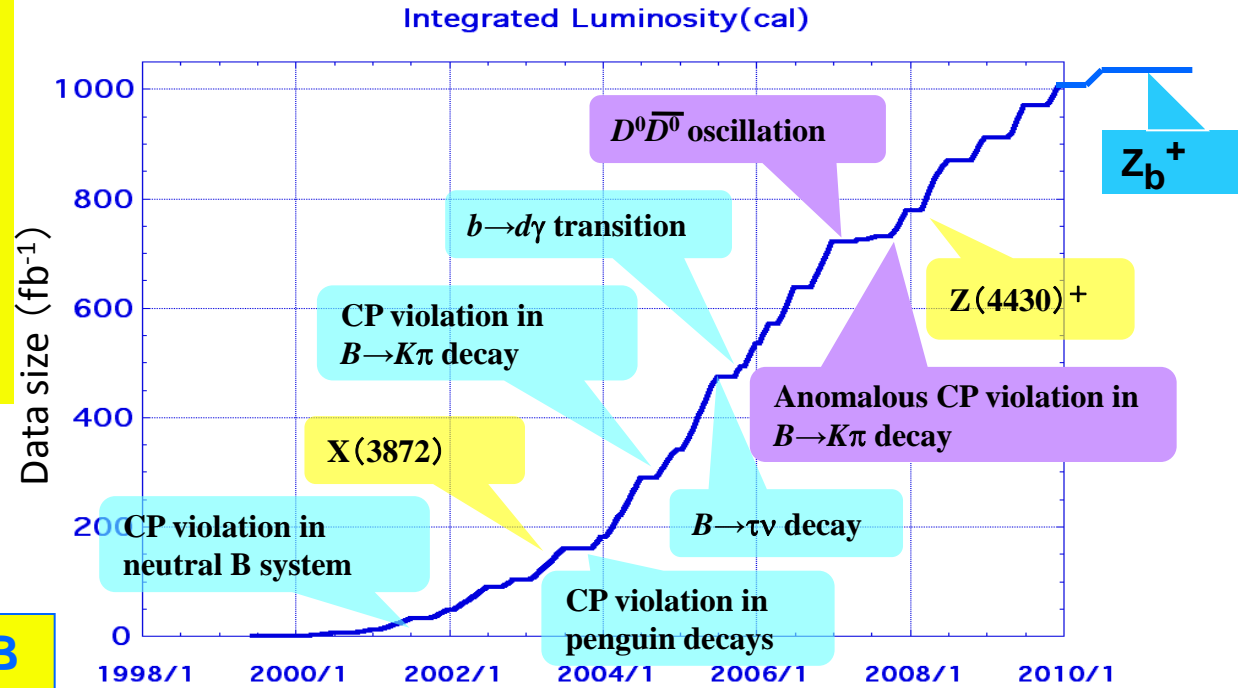
*Collaboration btw. theory and experiment.*

very rich phenomenological objects can help to understand highly excited states

Excellent KEKB performance allowed BELLE experiment to obtain many exciting results

Discoveries are still coming!

Next step is SuperKEKB



Ground breaking ceremony for SuperKEKB on November 11, 2011





# Detector upgrade

Critical issues at  $L = 8 \times 10^{35}/\text{cm}^2/\text{sec}$

## ❖ Higher event rate

❖ higher rate trigger, DAQ and computing

## ❖ Improve performance

❖ try better PID options

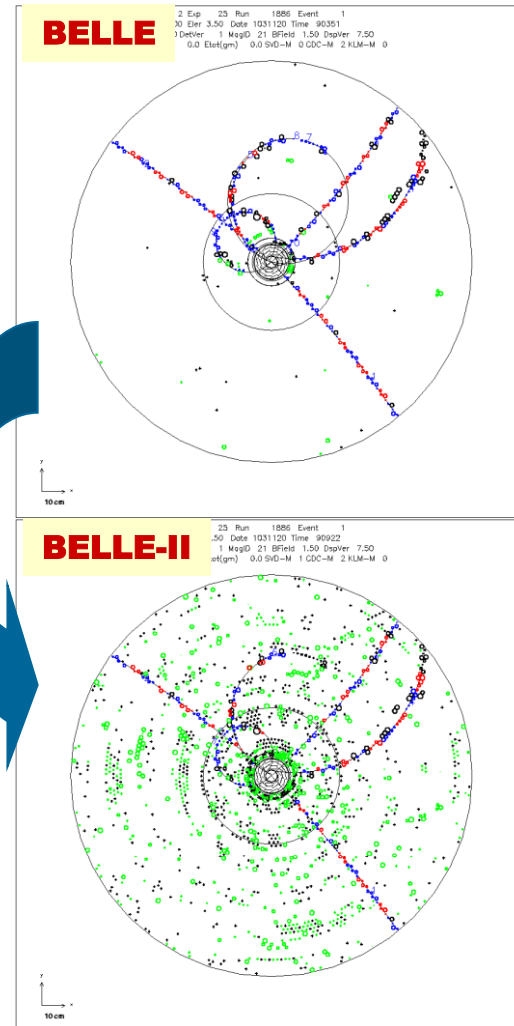
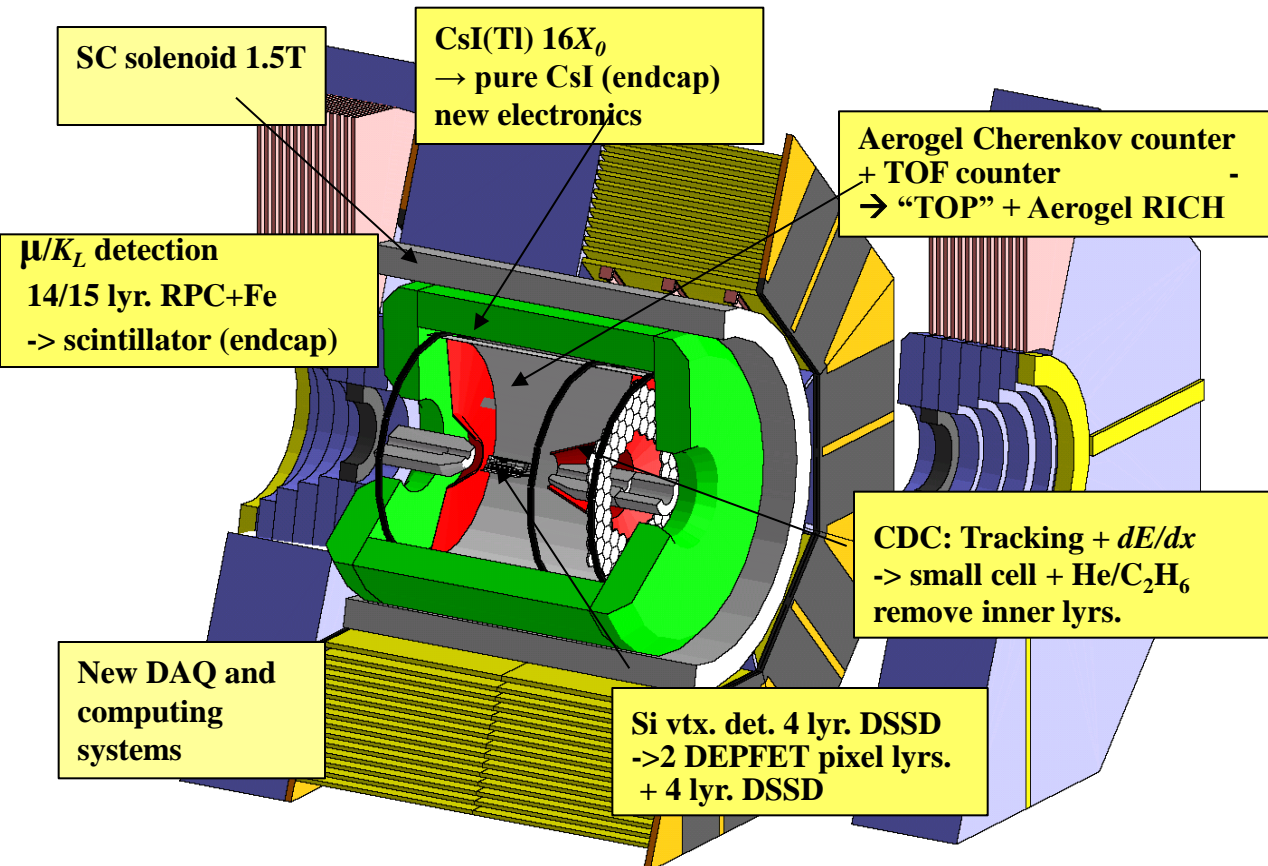
❖ low  $p_\mu$  identification for  $b \rightarrow s\mu\mu$  efficiency

❖ hermeticity  $\rightarrow$  missing E “reconstruction”

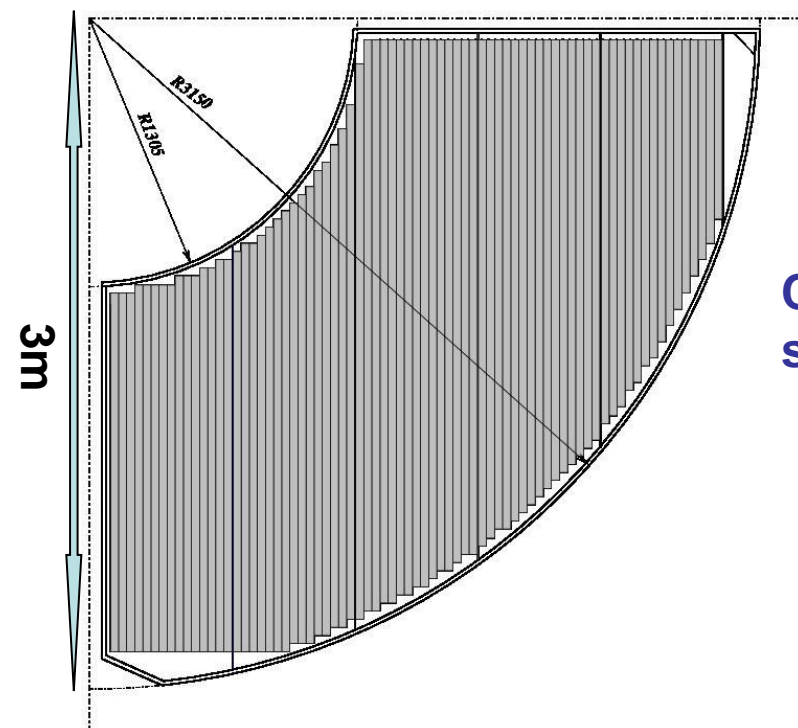
## ❖ Higher background (factor $\sim 20$ )

❖ radiation damage and occupancies

❖ fake hits and pile-up noise in the ECL

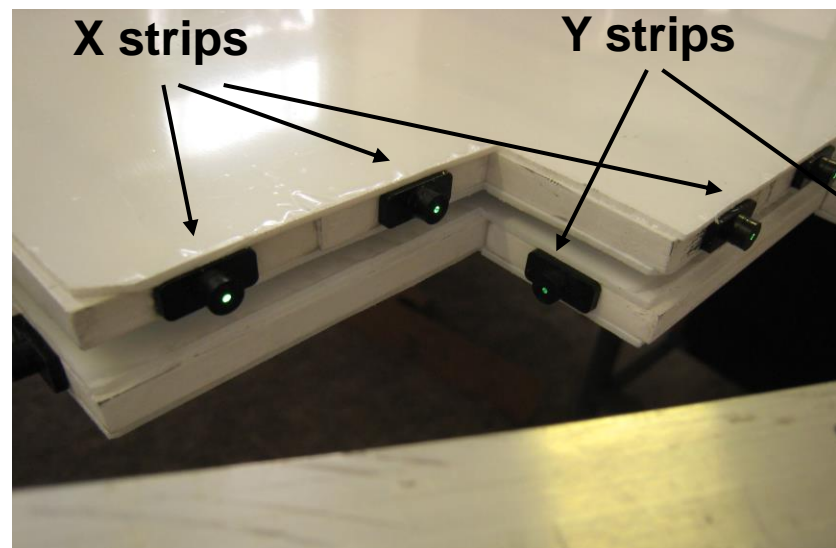
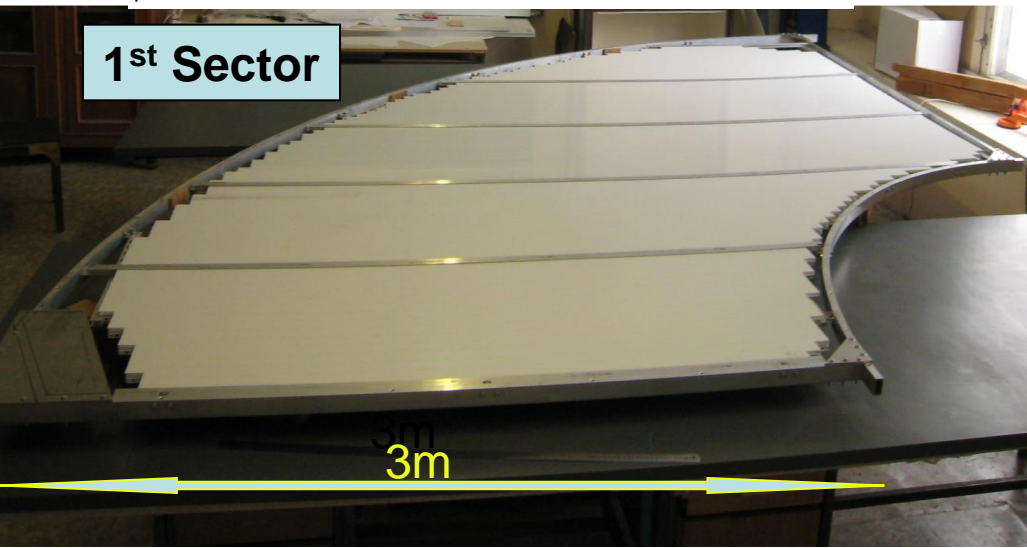
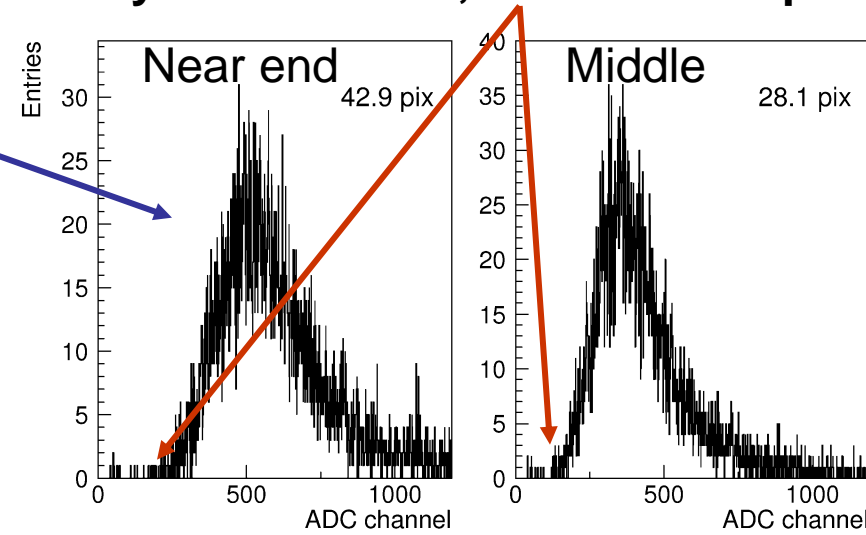


## ENDCAP KLM SECTOR



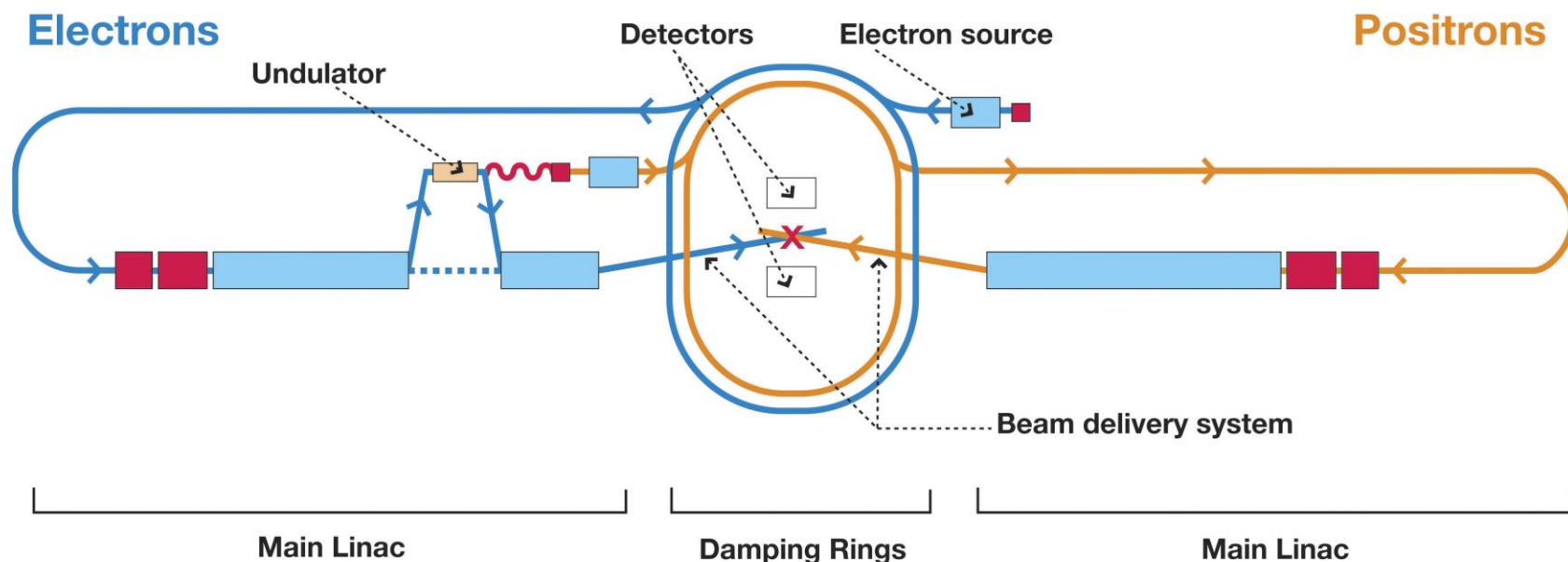
- 75 strips (4 cm width)/sector
- 2 orthogonal sectors/gap
- 16800 strips for F&B endcap KLM
- Efficiency for MIP > 99%, threshold 7.5pix

Cosmics spectra



# Международный $e^+e^-$ линейный коллайдер (ILC)

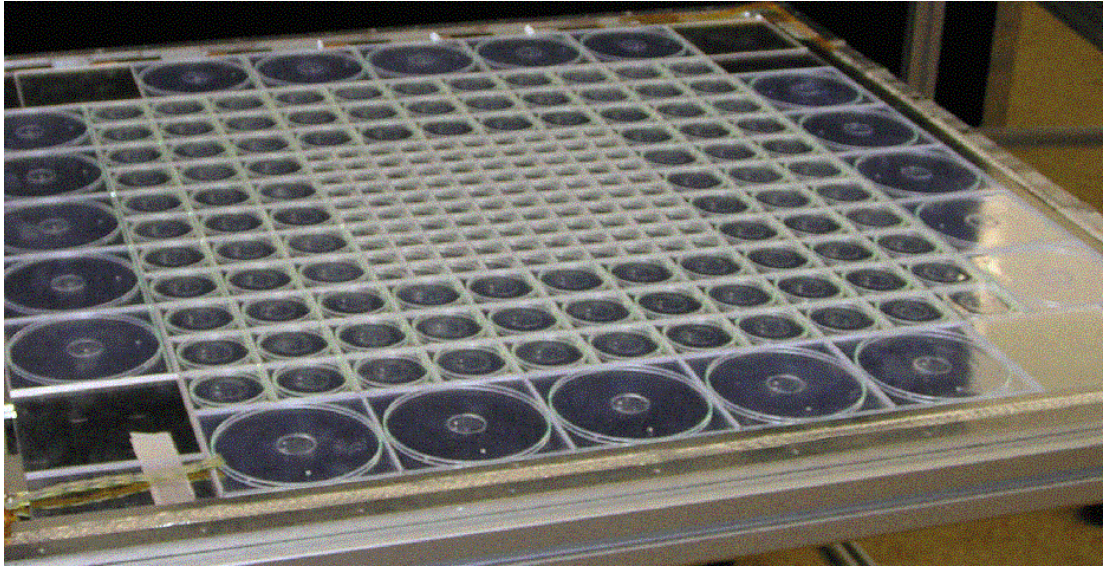
*Обсуждается возможность его строительства в Дубне*



**ИТЭФ, МИФИ и МГУ участвуют в создании калоримера для ILC на основе Российских технологий**



# Калориметр ILC на основе российских технологий

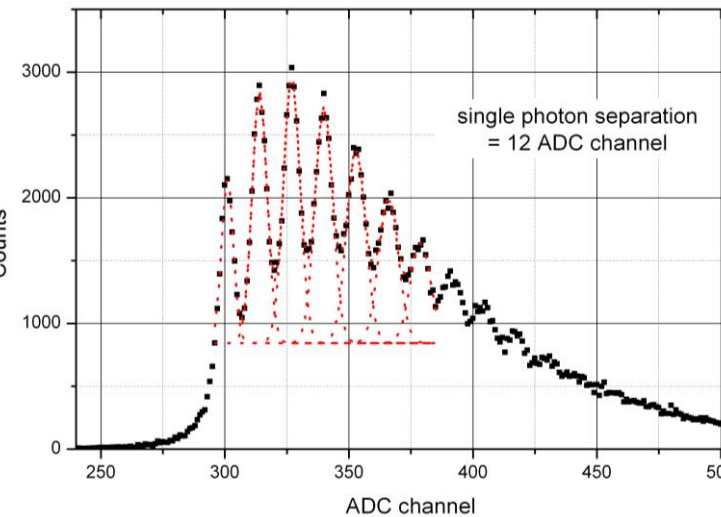
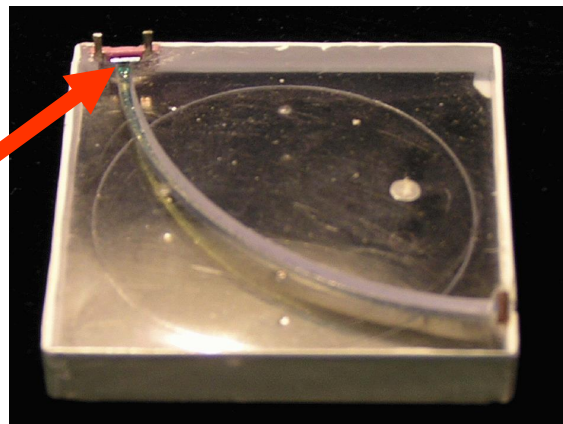
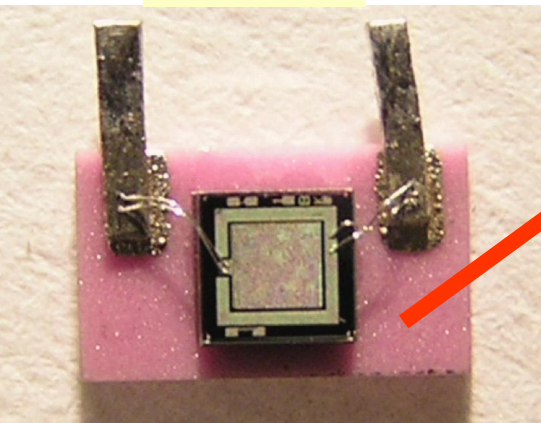


Электронный чип

Свет собирает спектросмещающее волокно и SiPM

SiPM

3x3 см<sup>2</sup> счетчик с SiPM





# International Linear Collider

## Вклад

8 тысяч сцинтилляционных счетчиков с SiPM для калориметра CALICE

Ключевой вклад в анализ данных (доказательство применимости метода PFA)

## Признание

Пленарный доклад на LP

Участие в международных комитетах, организующих подготовку проекта  
(WWS OC, IDAG, GDE)

## **Заключение**

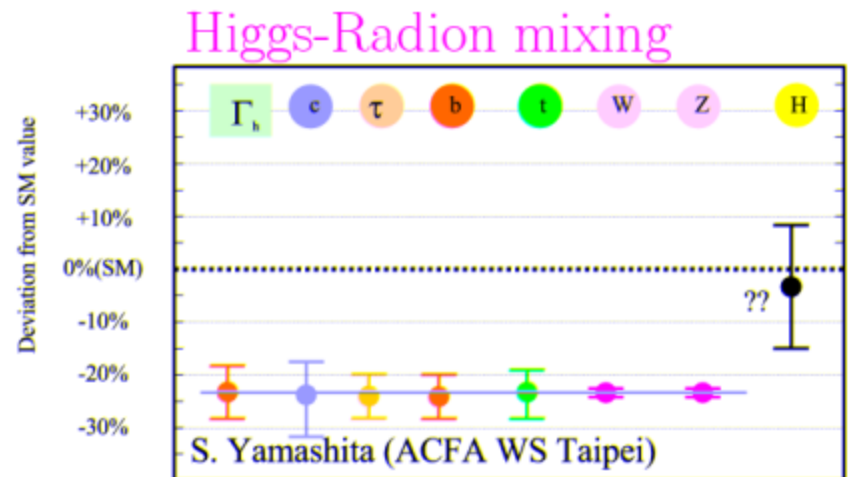
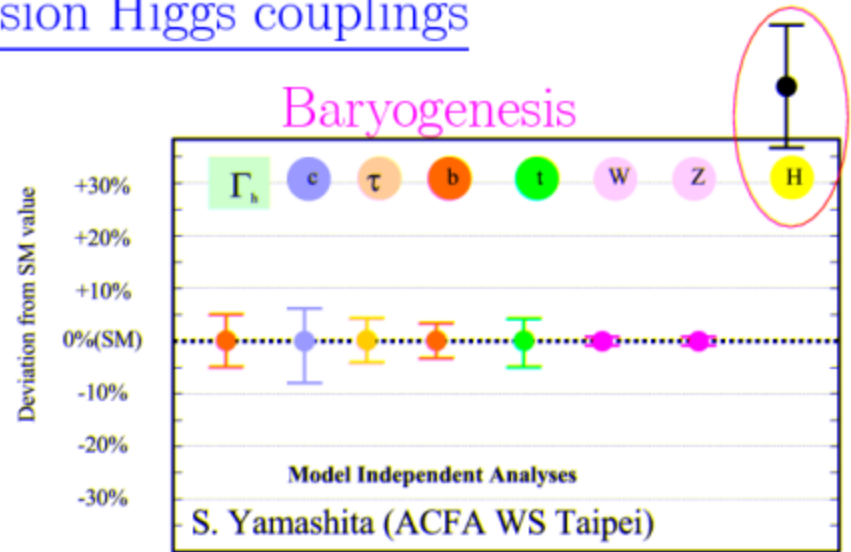
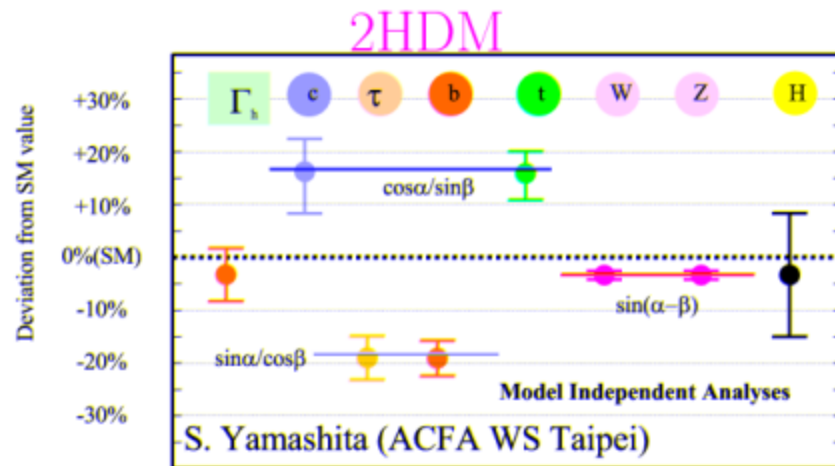
**Организованное В.Г.Шевченко сотрудничество с DESY оказалось очень плодотворным и развилось в целое направление исследований в котором уже получено множество первоклассных результатов и ожидаются новые.**

**Роль ИТЭФ в этом направлении получила мировое признание по Гамбургскому счету. 10 пленарных докладов на крупнейших конференциях это более 1% докладов в мире в нашей области**

**Молодой энергичный коллектив ученых образовался благодаря этим исследованиям. Он продолжает работу в России и активно готовит себе пополнение.**

# Applications of precision Higgs couplings

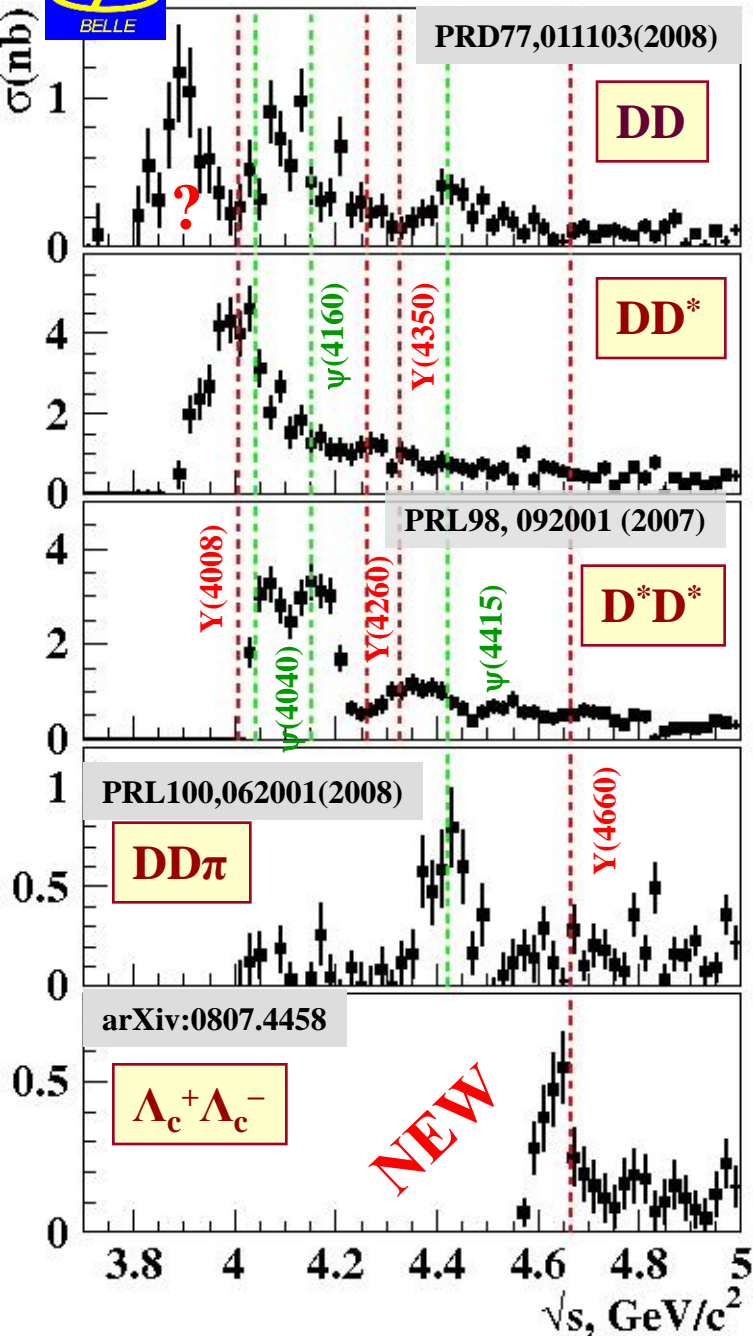
The Higgs-coupling measurements allow for a powerful distinction between models





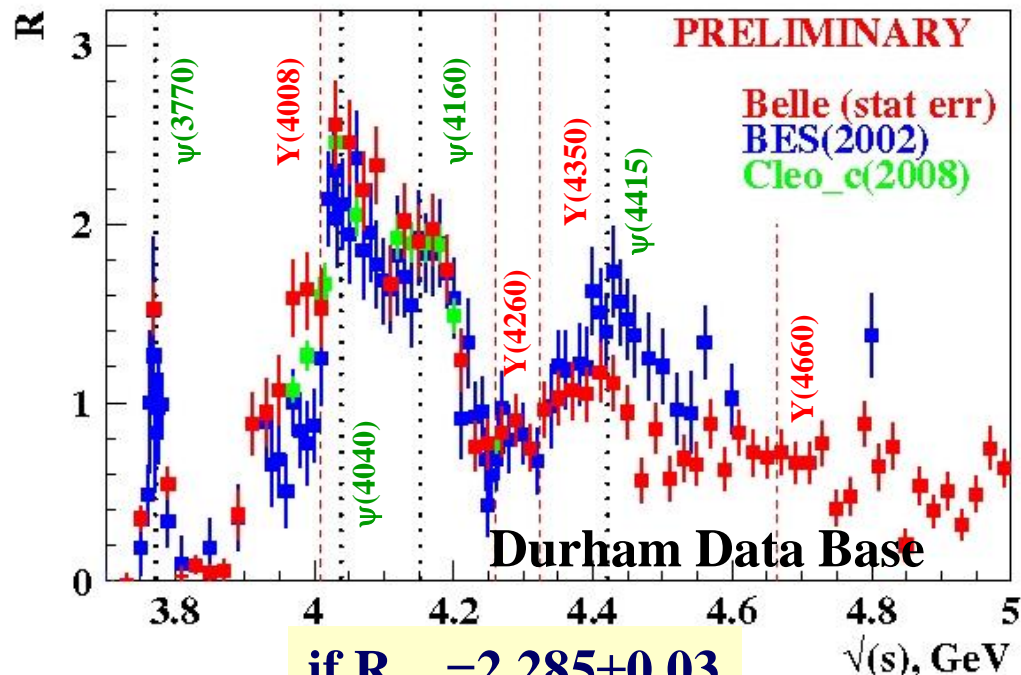
# $\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{open charm})$ via ISR

## Are Y states threshold effects?



- Peak positions for  $M(J/\psi\pi\pi)$  &  $M(\psi(2S)\pi\pi)$  significantly different
- **Y(4008)** mass coincides with **DD\*** peak
- **Y(4260)** mass corresponds to dip in **D\*D\*** cross sect.
- **Y(4350)** ...
- **Y(4660)** mass is close to  $\Lambda_c^+\Lambda_c^-$  peak
- **Enhancement near 3.9 GeV** in  $ee \rightarrow DD$   
coupled channel effect?

**Belle: Sum of all measured exclusive contributions**



if  $R_{uds} = 2.285 \pm 0.03$

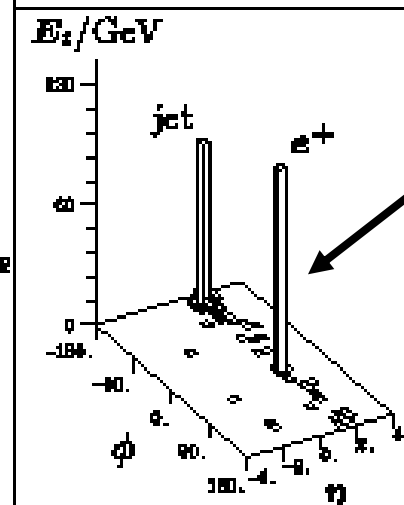
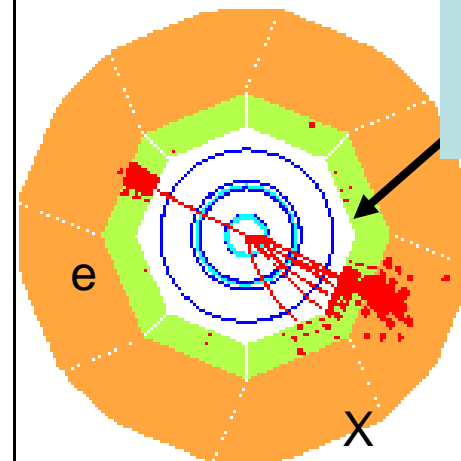
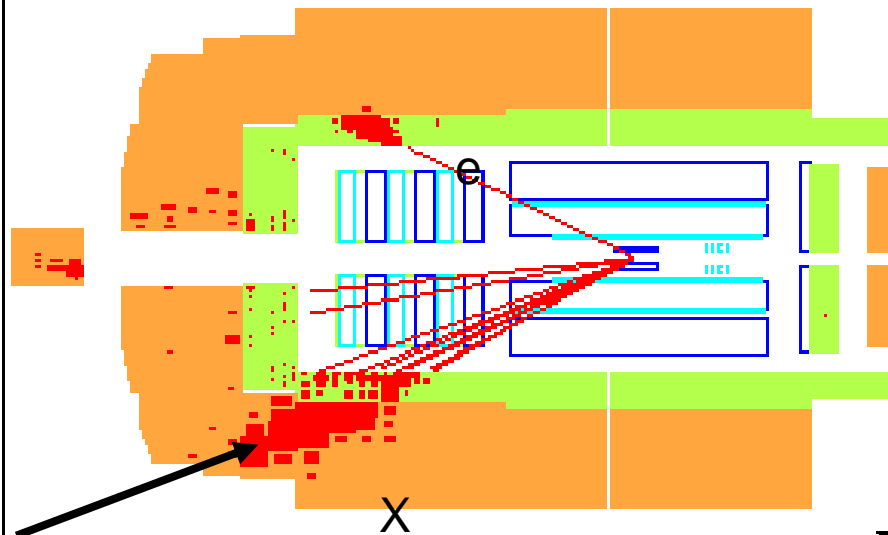


# Рассеяние электрона на кварке

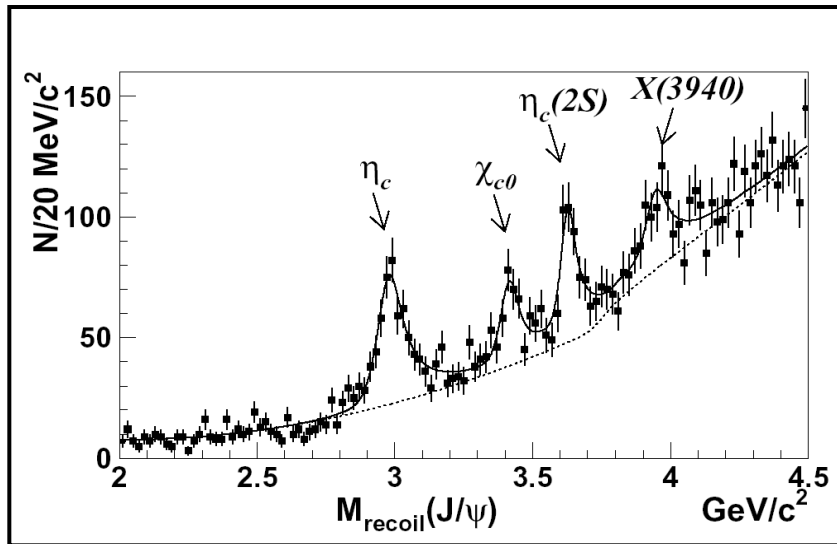
H1 Run 122145 Event 69506

Date 19/09/1995

$Q^2 = 25030 \text{ GeV}^2$ ,  $y = 0.50$ ,  $M = 211 \text{ GeV}$



Кварк “наблюдается” как пучок частиц



**X-section for  $J/\psi$   $(cc)_{\text{res}}$  is measured**  
 **$10 \times$  NRQCD predictions**