

Как сделать ОТКРЫТИЕ

Алексей Дзюба

Петербургский Институт Ядерной Физики, НИЦ КИ

17 декабря 2016, ИЦАЭ Санкт-Петербург

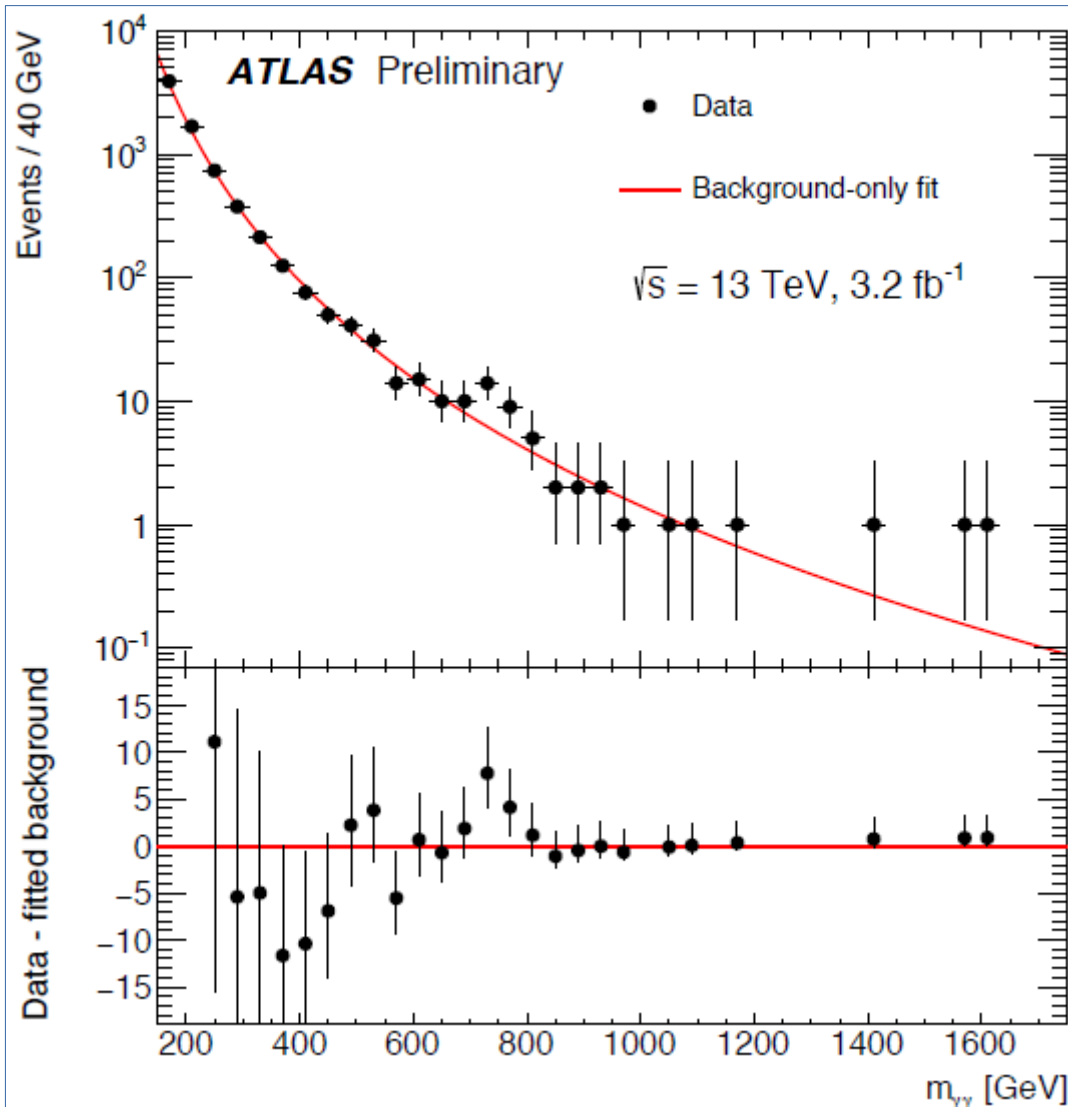


Breaking News from LHC

– Специальный семинар в ЦЕРНе (15 декабря 2015 г.)

Слайды: <http://indico.cern.ch/event/442432/>

Запись: <http://cds.cern.ch/record/2114858?ln=en> (скоро появится)



- ATLAS: $M = 750$ ГэВ, 3.63σ (локальная значимость)
- Эксперимент CMS тоже видит указание / намек на сигнал в спектре такого типа с $M = 750$ ГэВ и локальной значимостью 3σ
- Look elsewhere effect!
- Если да \rightarrow 2й бозон Хиггса (?)
- Заинтригованы и ждем новые данные 2016 года.



Дмитрий Игоревич Дьяконов



Владимир Петрович Коптев

О чем я хочу сегодня рассказать:

- **Кварки** – элементарные частицы, к которым мы неизбежно приходим, рассматривая вещество при все меньших расстояниях (больших энергиях, $\hbar=c=1$, $p \sim 1/\lambda$, $p^2+m^2=E^2$)
- **Сильное взаимодействие** – часть Стандартной Модели, которую очень сложно количественно описать при низких энергиях (но очень хочется).
- **Экзотические сильно взаимодействующие частицы** в том числе и **пентакварки** – замечательный полигон для проверки теории сильного взаимодействия при $E \sim \Lambda_{\text{кхд}}$.
- Как устроен современный эксперимент (Бонус: пара жизненных историй)
- Как же мы открыли пентакварки (История открытия)

Как же всё-таки устроено вещество:

Характерная энергия связи электронов в атоме $10^{-18} - 10^{-19}$ Джоулей

$1 \text{ эВ} = 1.602\ 176\ 6208(98) \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$$

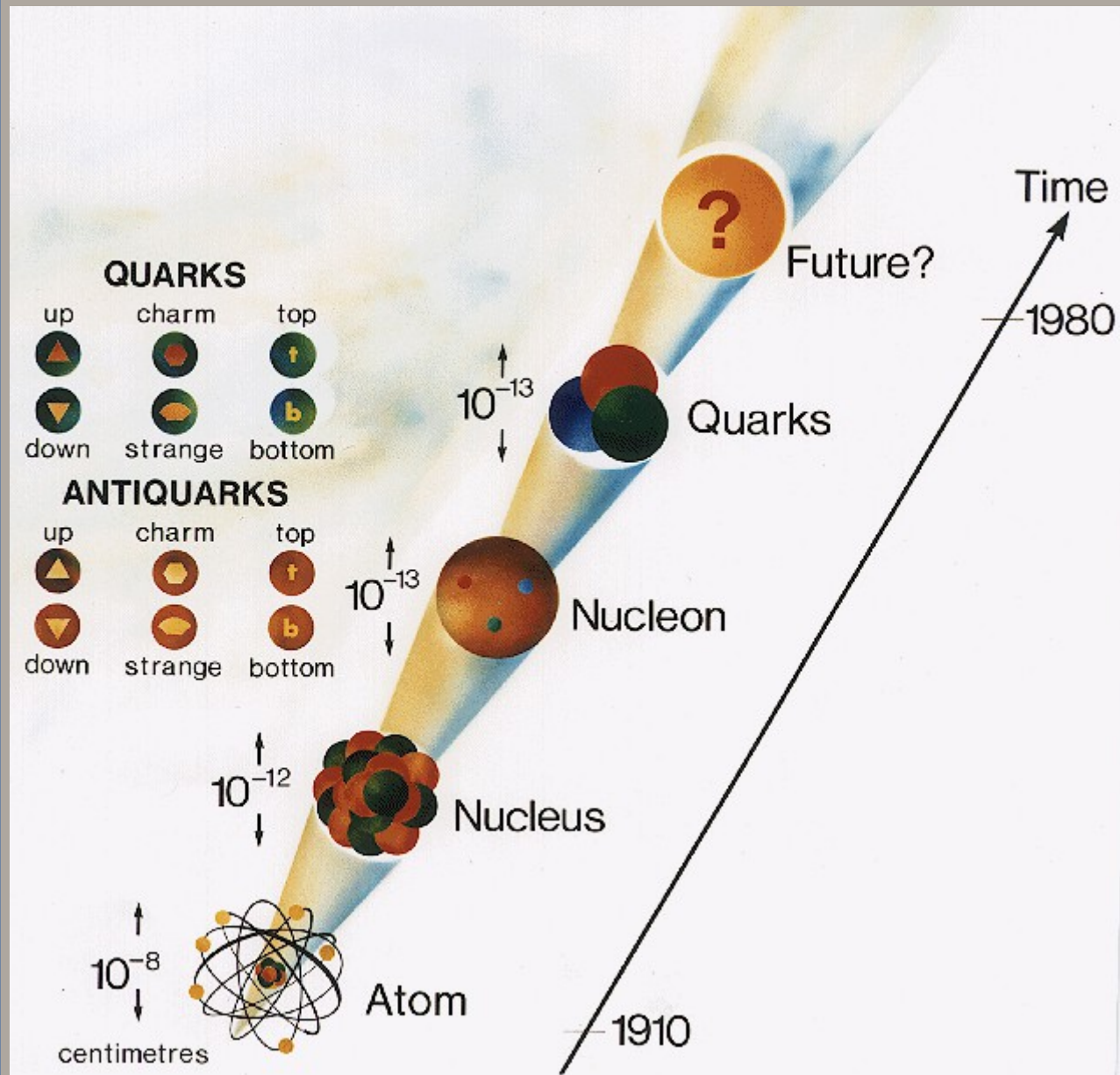
$m_e = 511 \text{ кэВ}$, $m_p = 938.27 \text{ МэВ}$

Атом – квантовая механика, (электромагнитное взаимодействие)

Атомное ядро – связанная система протонов и нейтронов (сильное взаимодействие)

α -распады – сильное
 β -распады – слабое
 γ -распады – эл.-магн.

Как же устроен протон?



Как устроен протон

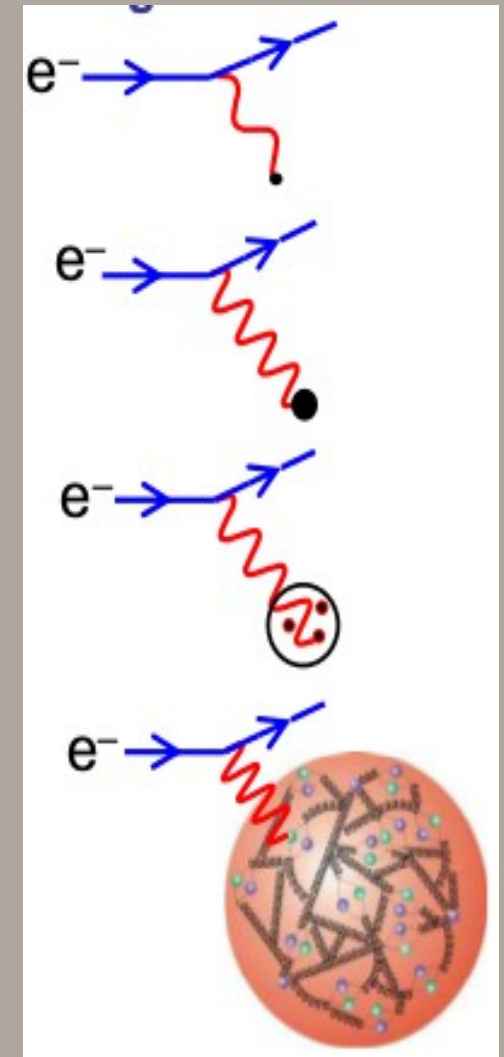
Изучать электромагнитную структуру протона можно, рассеивая на протонах электроны

В зависимости от энергии электрона (а следовательно от его длины волны) мы последовательно будем наблюдать протон как точечный объект, объект с распределенным зарядом. Почувствуем его спиновую структуру. Найдем сначала «валентные», а потом «морские» кварки!

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2}{4E_1^2 \sin^4 \theta/2} \frac{E_3}{E_1} \left(\underbrace{\cos^2 \frac{\theta}{2}}_{\text{Rutherford}} - \underbrace{\frac{q^2}{2M^2} \sin^2 \frac{\theta}{2}}_{\text{Proton recoil}} \right) \underbrace{\left(\cos^2 \frac{\theta}{2} - \frac{q^2}{2M^2} \sin^2 \frac{\theta}{2} \right)}_{\text{Electric/Magnetic scattering}} \underbrace{\left(\cos^2 \frac{\theta}{2} - \frac{q^2}{2M^2} \sin^2 \frac{\theta}{2} \right)}_{\text{Magnetic term due to spin}}$$

$$\frac{d\sigma}{dQ^2} = \frac{4\pi\alpha^2}{Q^4} \left[\frac{G_E^2 + \tau G_M^2}{(1+\tau)} \left(1 - y - \frac{M^2 y^2}{Q^2} \right) + \frac{1}{2} y^2 G_M^2 \right]$$

$$\frac{d^2\sigma}{dx dQ^2} = \frac{4\pi\alpha^2}{Q^4} \left[\left(1 - y - \frac{M^2 y^2}{Q^2} \right) \frac{F_2(x, Q^2)}{x} + y^2 F_1(x, Q^2) \right]$$



Сильное взаимодействие

Удерживает между собой протоны и нейтроны в атомном ядре.

Связывает между собой **кварки** в **адроны**

Описывается **квантовой хромодинамикой (КХД)**

Переносчики взаимодействия – **глюоны**

При небольших энергиях нелинейная теория, численные расчеты в рамках которой чрезвычайно затруднены.

При высоких энергиях эффективная константа связи падает – начинают работать методы теории возмущений (довольно точные расчеты).



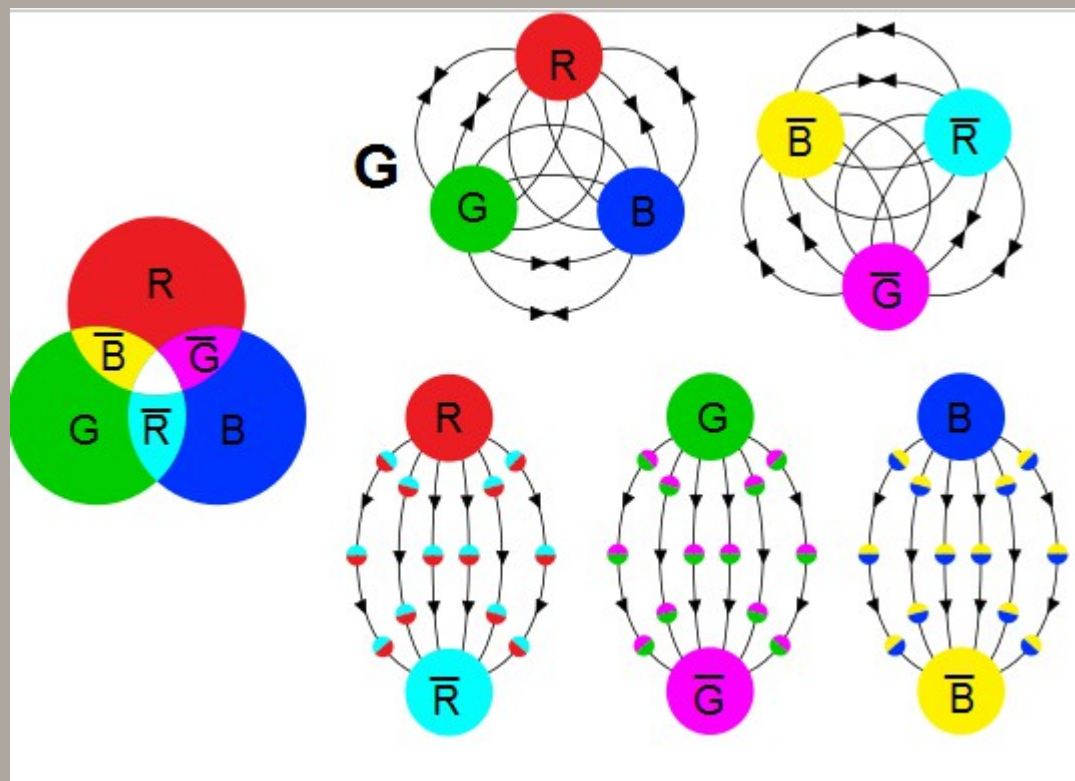
Лев Борисович Окунь

КХД – теория сильного взаимодействия

КЭД : электрический заряд (+ антизаряд) и обмен нейтральными фотонами

КХД : три «цветовых» заряда (+ три антизаряда) и обмен глюонами, которые сами являются цветными объектами!

“The idiot physicists, unable to come up with any wonderful Greek words anymore, call this type of polarization by the unfortunate name of 'color,' which has nothing to do with color in the normal sense.” (Ричард Фейнман)



Как устроены адроны

Элементарные частицы

Масса	Заряд	Спин	Кварки	Лептоны	Бозоны - переносчики взаимодействия
$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$	u up		g gluon
$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$	c charm		
$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	$2/3$	$1/2$	t top		
					H Higgs boson
$\approx 4.8 \text{ MeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$	d down		γ photon
$\approx 95 \text{ MeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$	s strange		
$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$	$-1/3$	$1/2$	b bottom		
$0.511 \text{ MeV}/c^2$	-1	$1/2$	e electron		Z Z boson
$105.7 \text{ MeV}/c^2$	-1	$1/2$	μ muon		
$1.777 \text{ GeV}/c^2$	-1	$1/2$	τ tau		
					W W boson
$< 2.2 \text{ eV}/c^2$	0	$1/2$	ν_e electron neutrino		
$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$	0	$1/2$	ν_μ muon neutrino		
$< 15.5 \text{ MeV}/c^2$	0	$1/2$	ν_τ tau neutrino		

Адроны – частицы, участвующие в сильном взаимодействии

Типы адронов



Барионы



Мезоны



Пентакварк



Тетракварк



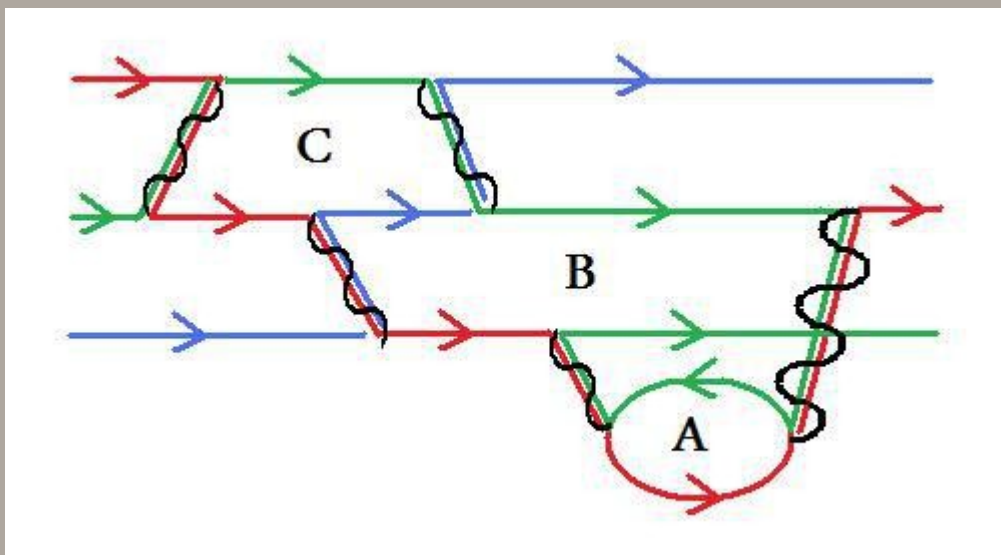
Глюбол



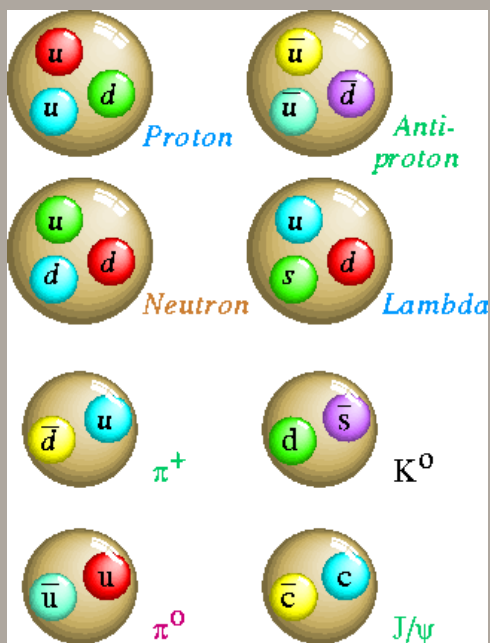
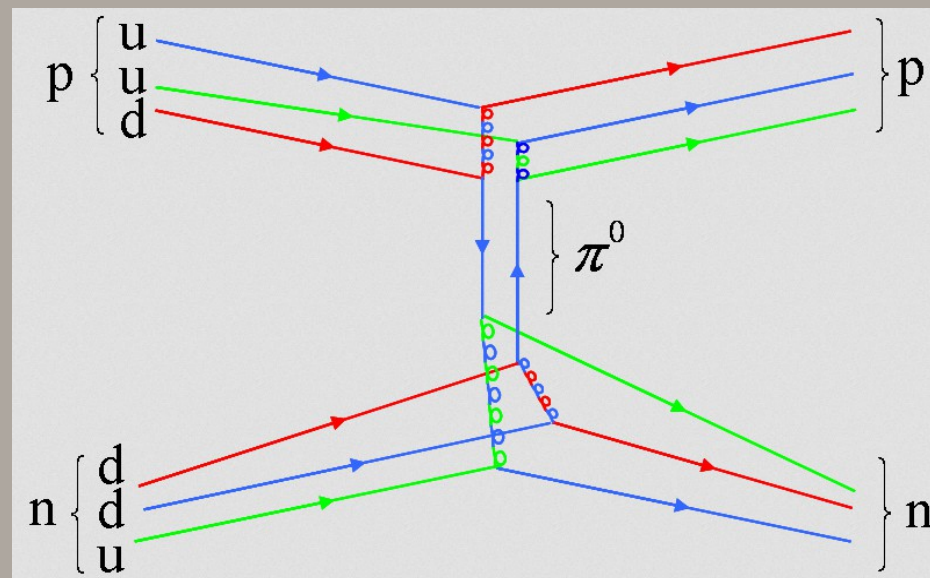
Гибридный мезон

КХД – теория сильного взаимодействия

Сильное взаимодействие внутри нуклона



Сильное взаимодействие между нуклонами (ядерные силы)



Кварковое пленение (конфайнмент) – все наблюдаемые адроны бесцветны, хотя внутри их есть цветные кварки и глюоны. Цветовой заряд, а значит и его носитель кварк или глюон нельзя выдрать из адрона.

Конфайнмент подтверждён расчётами решёточной КХД, но математически не доказан. Посторение теории конфайнментв – задача тысячелетия

Массы кварков из которых состоит протон на два порядка меньше массы самого протона. Как такое может быть?!

Как устроены адроны

Volume 8, number 3

PHYSICS LETTERS

1 February 1964

A SCHEMATIC MODEL OF BARYONS AND MESONS *

M. GELL-MANN

California Institute of Technology, Pasadena, California

Received 4 January 1964

...
A simpler and more elegant scheme can be constructed if we allow non-integral values for the charges. We can dispense entirely with the basic baryon b if we assign to the triplet t the following properties: spin $\frac{1}{2}$, $z = -\frac{1}{3}$, and baryon number $\frac{1}{3}$. We then refer to the members $u^{\frac{2}{3}}$, $d^{-\frac{1}{3}}$, and $s^{-\frac{1}{3}}$ of the triplet as "quarks" q and the members of the anti-triplet as anti-quarks \bar{q} . Baryons can now be constructed from quarks by using the combinations (qqq) , $(qqq\bar{q})$, etc., while mesons are made out of $(q\bar{q})$, $(q\bar{q}\bar{q})$, etc. It is assumed that the lowest baryon configuration (qqq) gives just the representations **1**, **8**, and **10** that have been observed, while



8419/TH.412

21 February 1964

AN SU_3 MODEL FOR STRONG INTERACTION SYMMETRY AND ITS BREAKING

II *)

G. Zweig

CERN---Geneva

*) Version I is CERN preprint 8182/TH.401, Jan. 17, 1964.

- ...
- 6) In general, we would expect that baryons are built not only from the product of three aces, AAA , but also from $\bar{A}AAAA$, $\bar{A}AAAAA$, etc., where \bar{A} denotes an anti-ace. Similarly, mesons could be formed from $\bar{A}A$, $\bar{A}AA$ etc. For the low mass mesons and baryons we will assume the simplest possibilities, $\bar{A}A$ and AAA , that is, "deuces and treys".



Пентакварк: $\Theta^+(1540)$

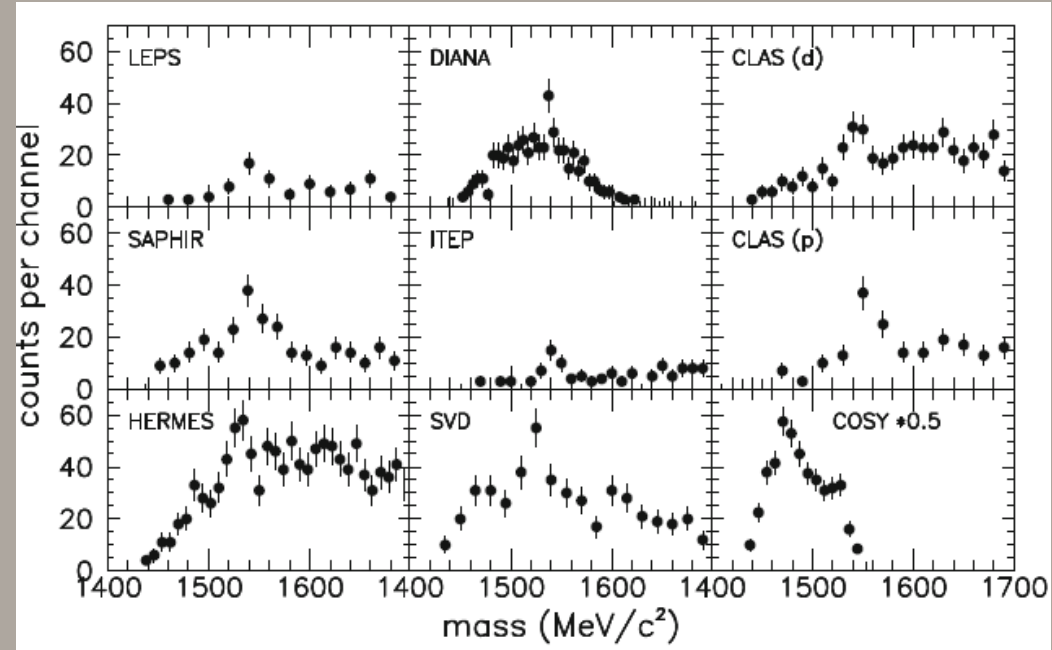
Физики-теоретики ПИЯФ, предсказавшие узкое пентакварковое состояние с массой ~ 1530 МэВ



Дмитрий
Дьяконов

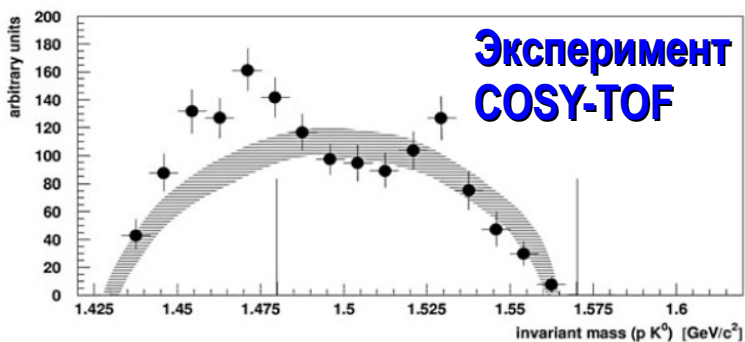
Виктор
Петров

Максим
Поляков

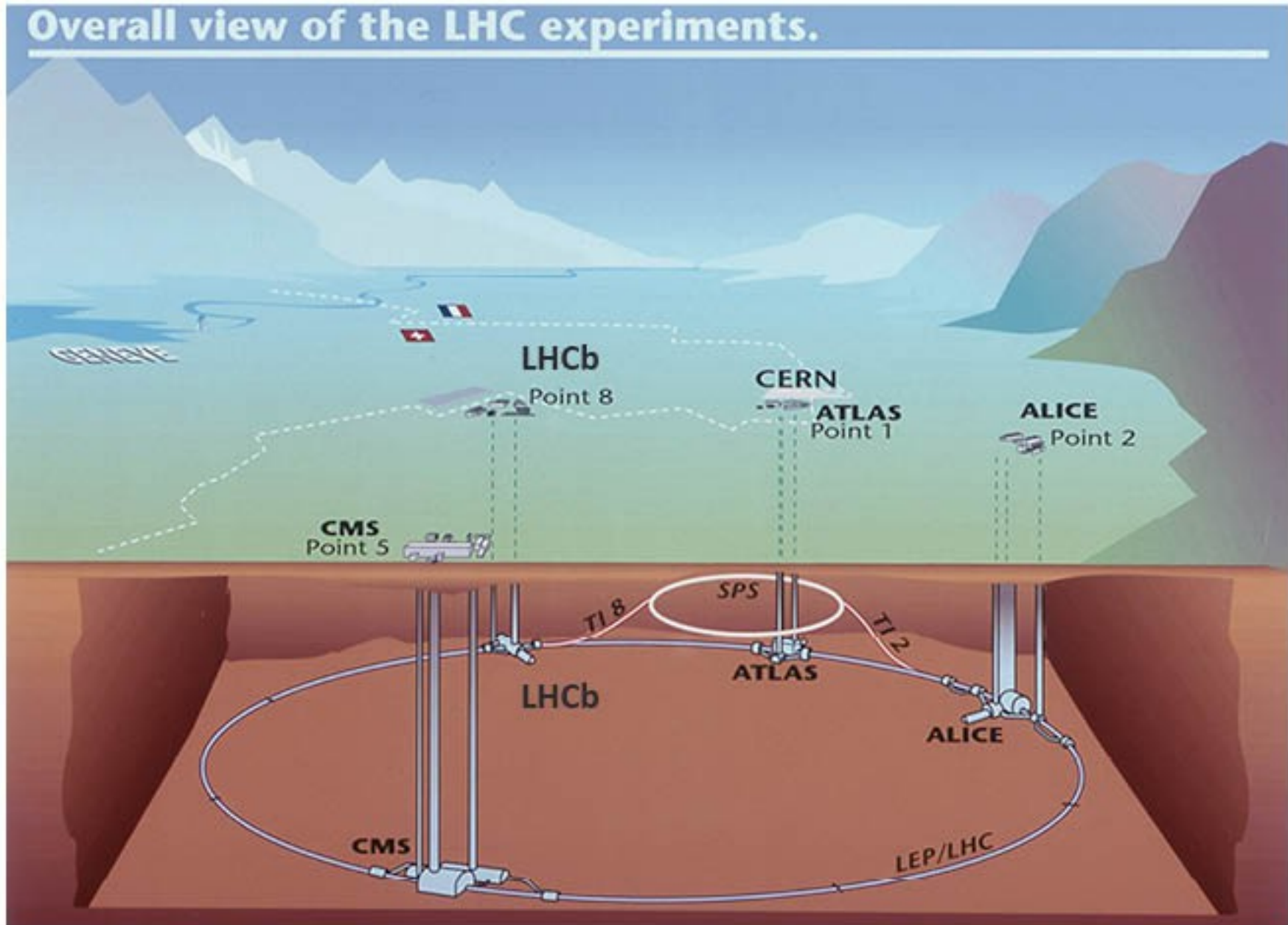


- 1997 г. : Предсказания Дьяконова-Петрова-Полякова
- 2003 г. : Эксперимент LEPs (Япония) объявляет о наблюдении резонанса с массой 1540 МэВ
- Несколько подтверждений. Локальная значимость 4-5 σ
- Множество высокостатистических опровергающих экспериментов.
- Некоторые отказываются от «своих показаний» [CLAS, TOF]
- **PDG исключило этот резонанс из своих таблиц!**
- **Сомнительно, но окончательно не закрыт!** (на мой взгляд)

Эксперимент
COSY-TOF



Большой Адронный Коллайдер



Детектор LHCb



Эксперимент LHCb

813 members

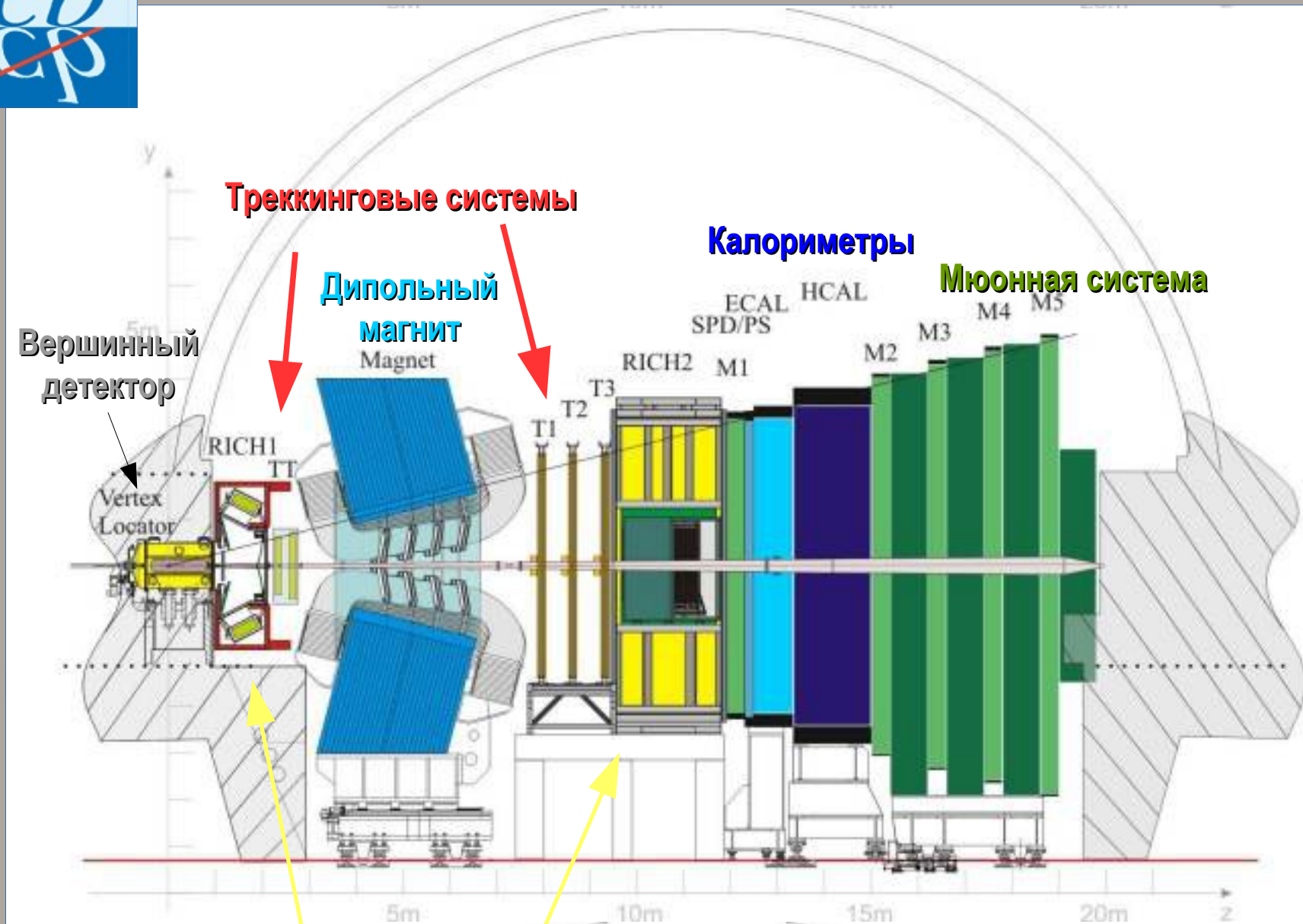
16 countries

59 institutes

(July 1, 2012)



Схема детектора ЛНСб



Детекторы черенковского излучения

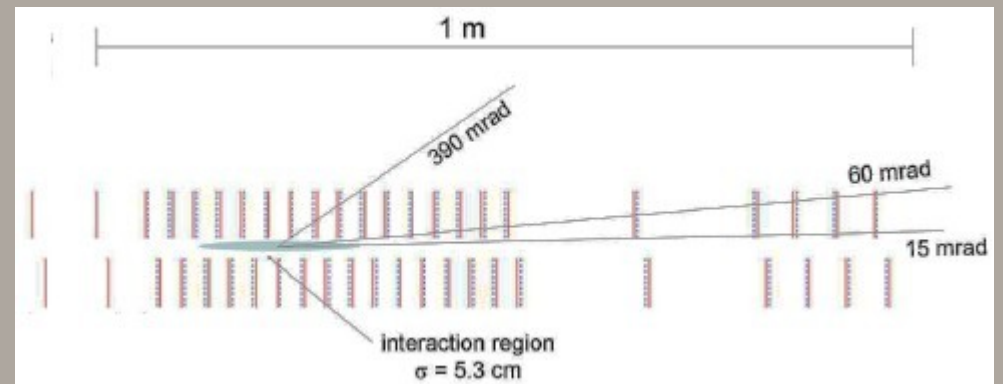
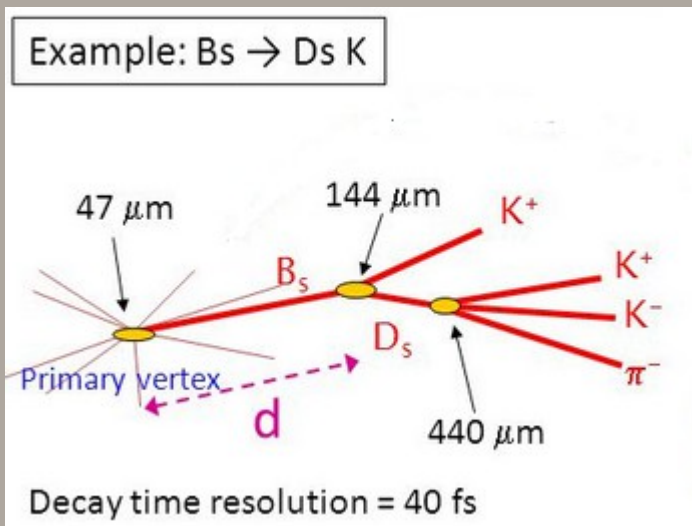
Вершинный LHCb: VELO

– VELO = VERtex LOCator

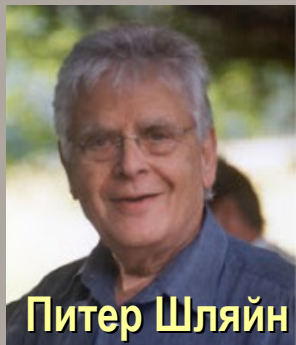
– Позволяет выделять сигнал соответствующий c - и b -адронам из огромного фона.

Некоторые понятия:

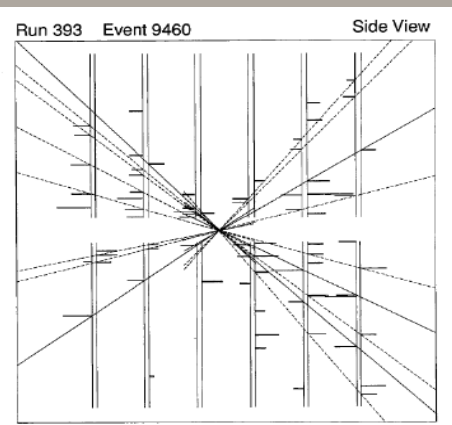
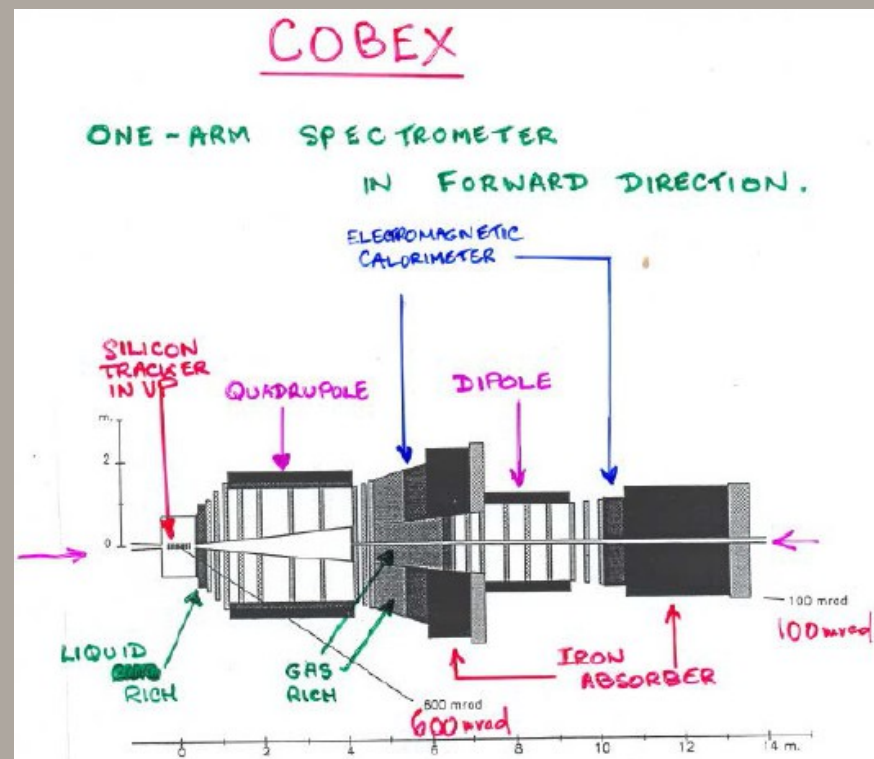
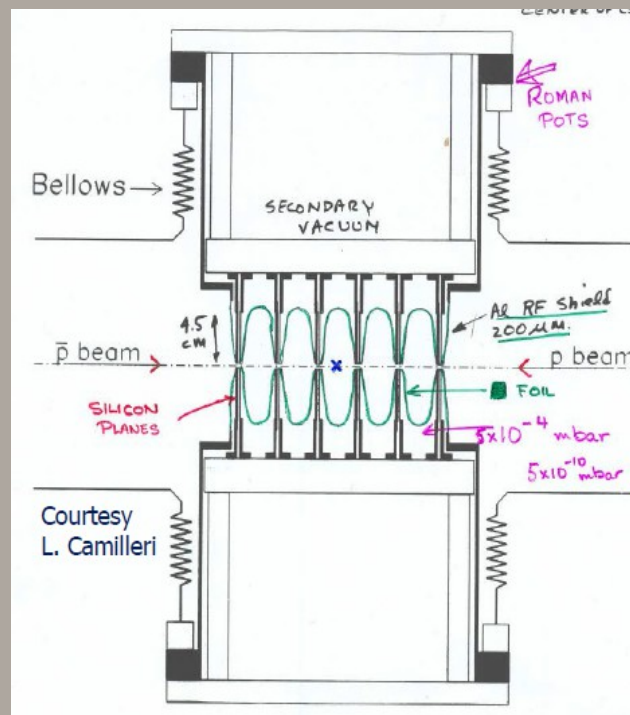
- Первичная вершина
- Вторичные вершины
- Прицельный параметр



Немного истории



Питер Шляйн



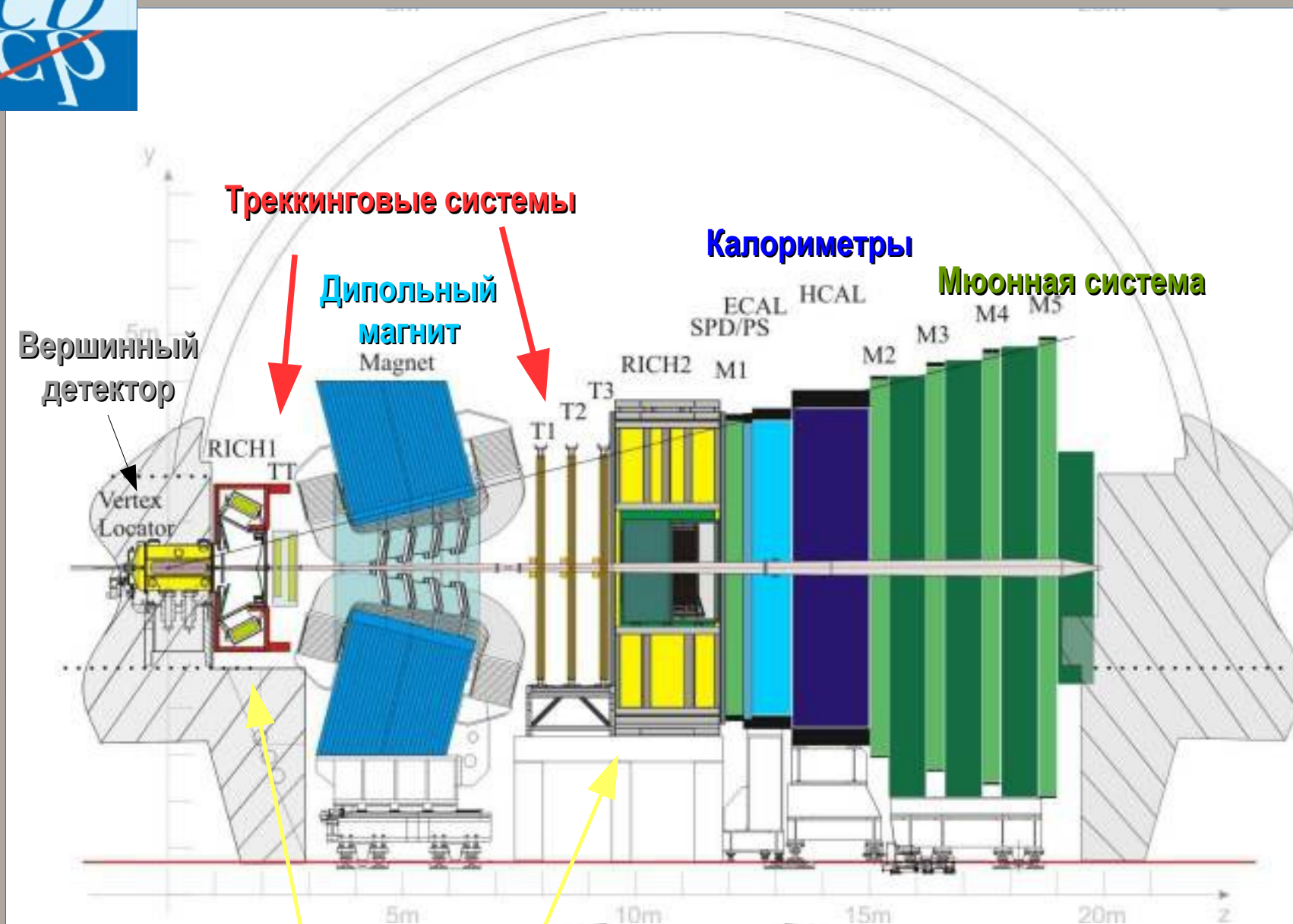
- Полупроводниковые детекторы около сталкивающихся пучков. Проверено. Предложение эксперимента COBEX
- Альтернативные предложения GAJET и LHB.
- LHCC: «Совместный проект на базе 3-х предложений»
- Так появился проект LHCb



Алексей Алексеевич Воробьев



Схема детектора ЛНСб



Детекторы черенковского излучения

Трассировка частиц в LHCb



VELO

Event 251784647

Run 125013

Thu, 09 Aug 2012 05:53:58

Λ_b
decay point

Λ_b

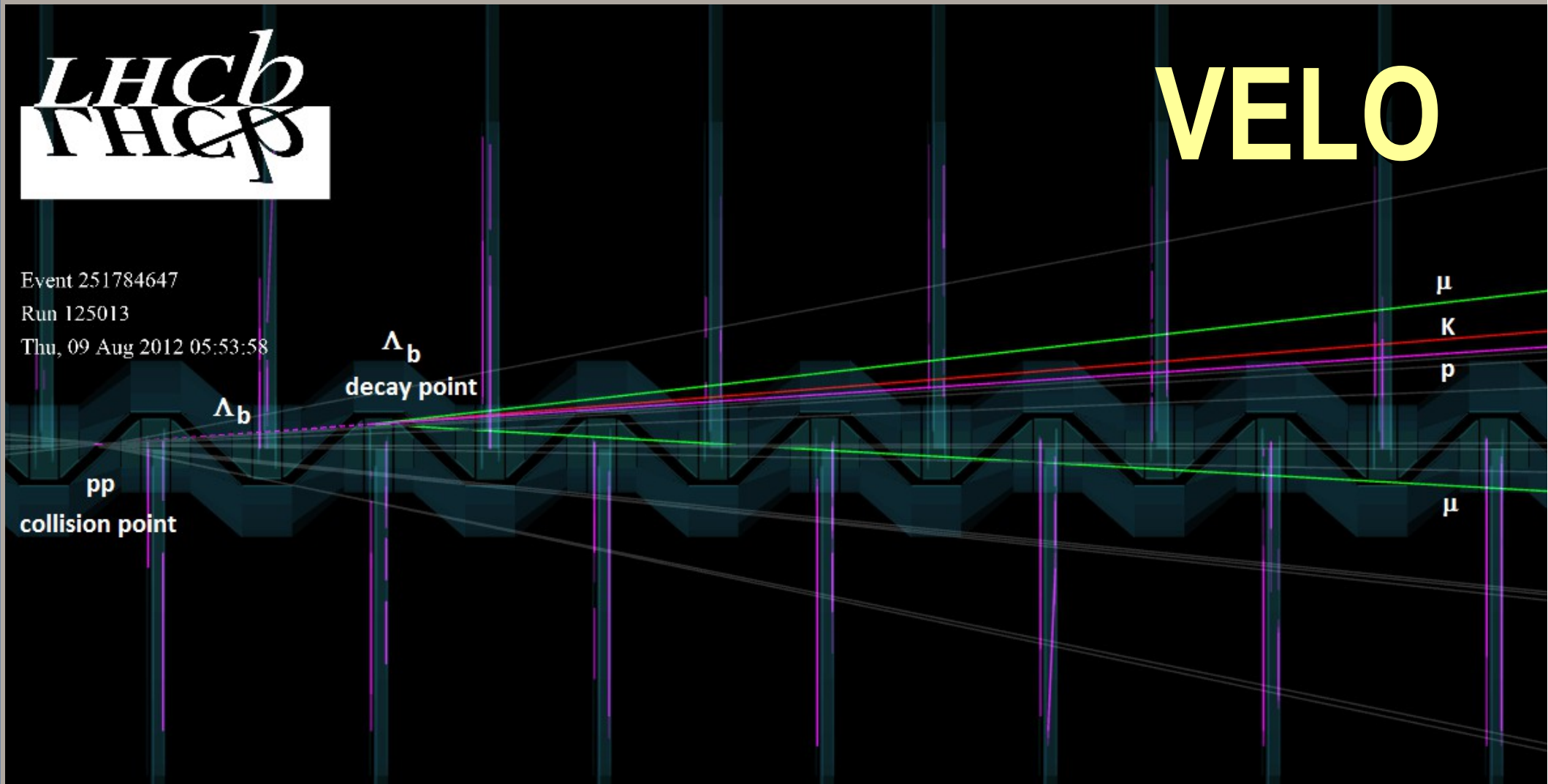
pp
collision point

μ

K

p

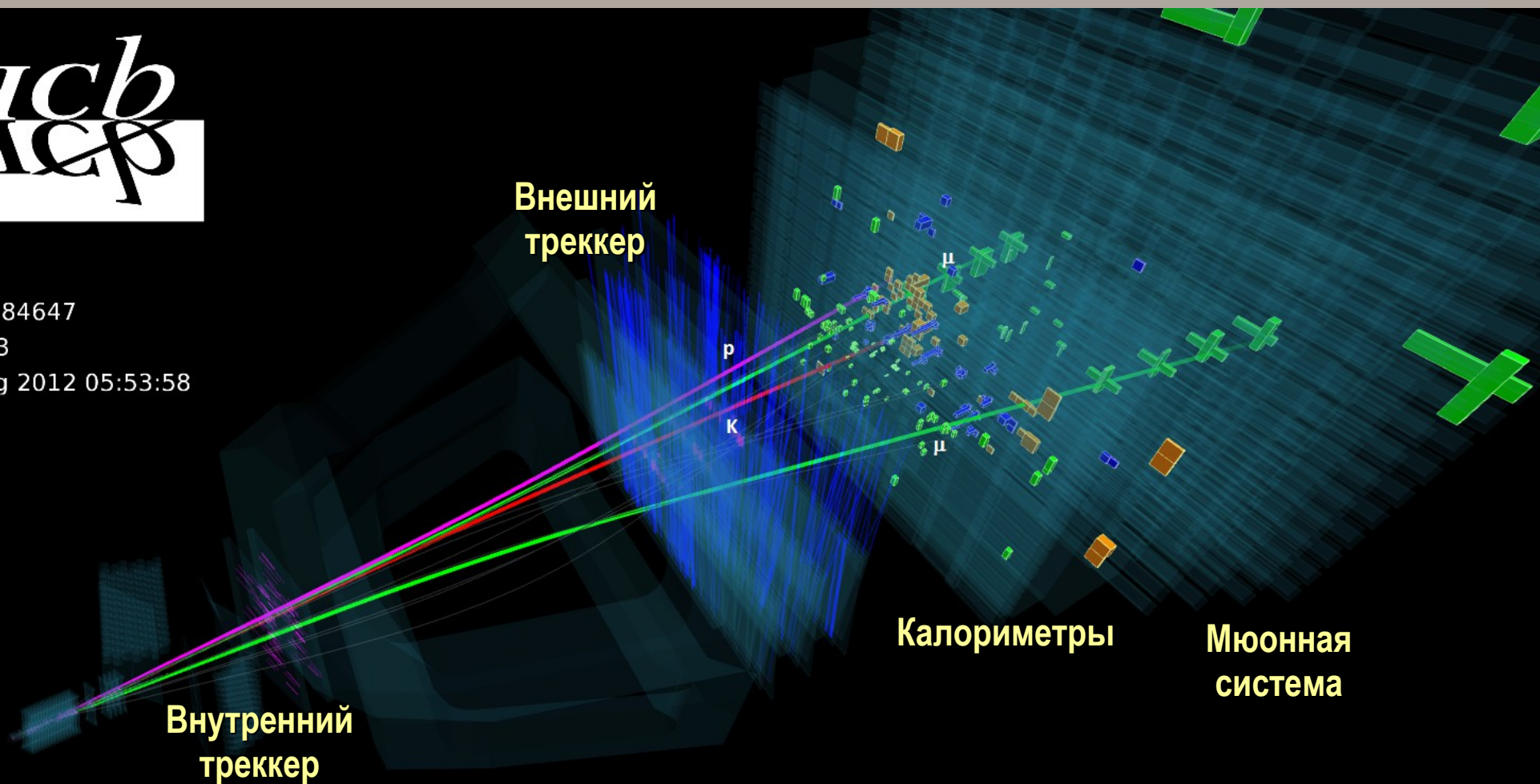
μ



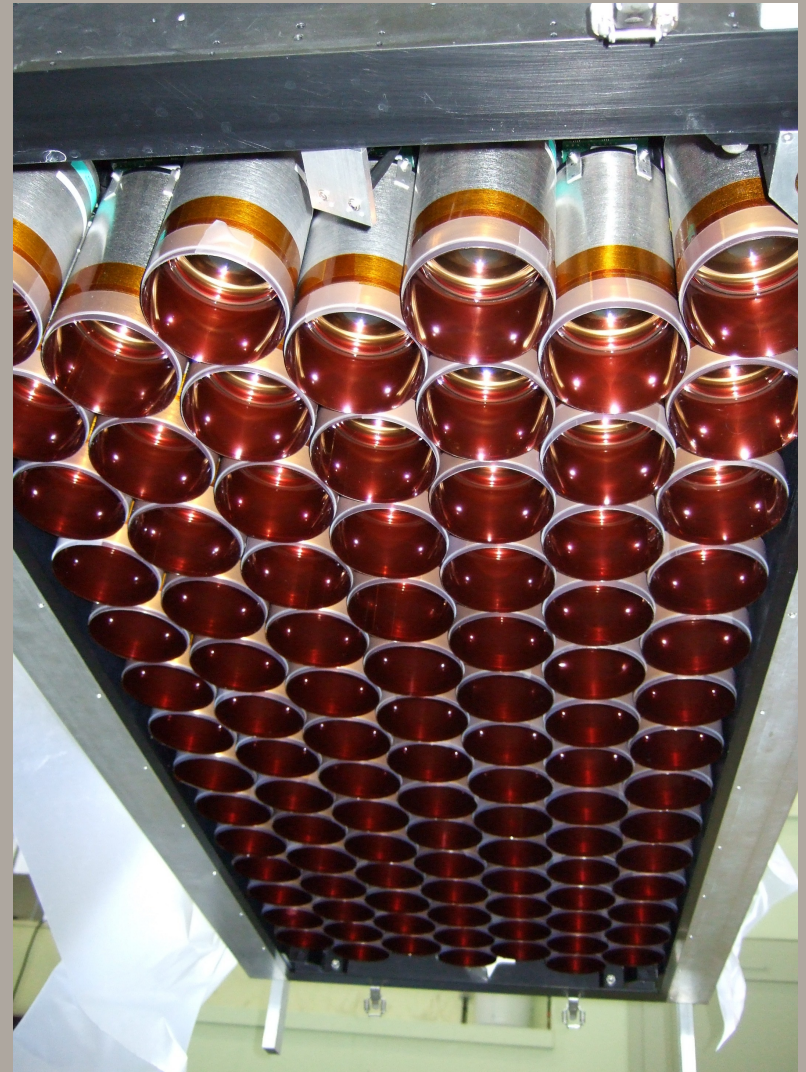
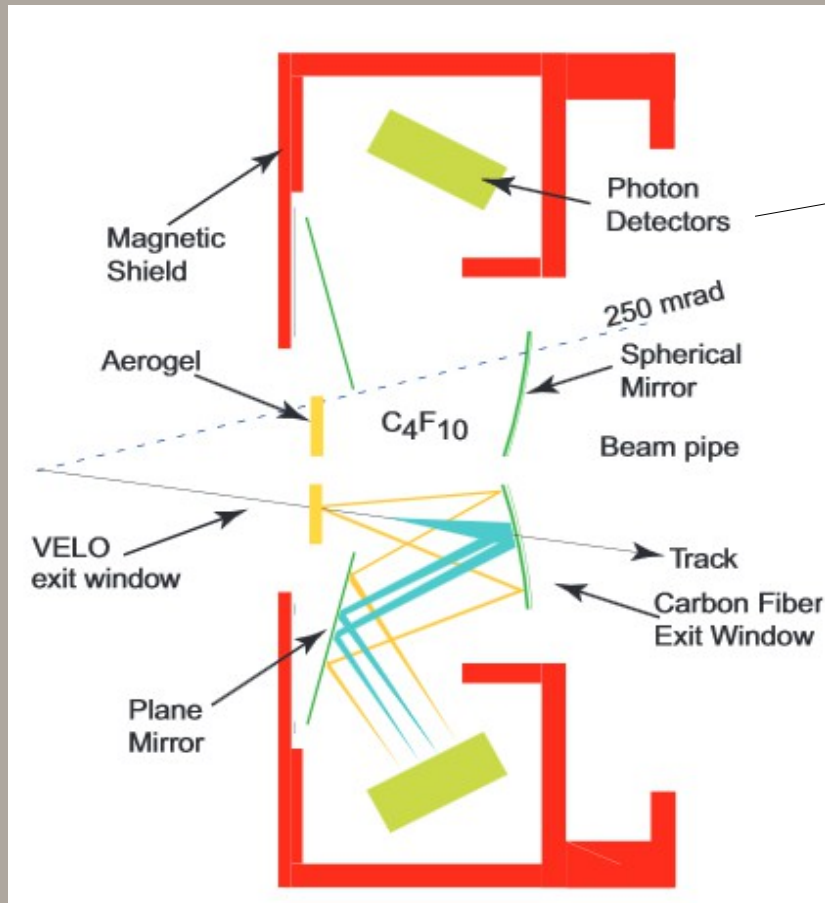
Трассировка частиц в LHCb



Event 251784647
Run 125013
Thu, 09 Aug 2012 05:53:58



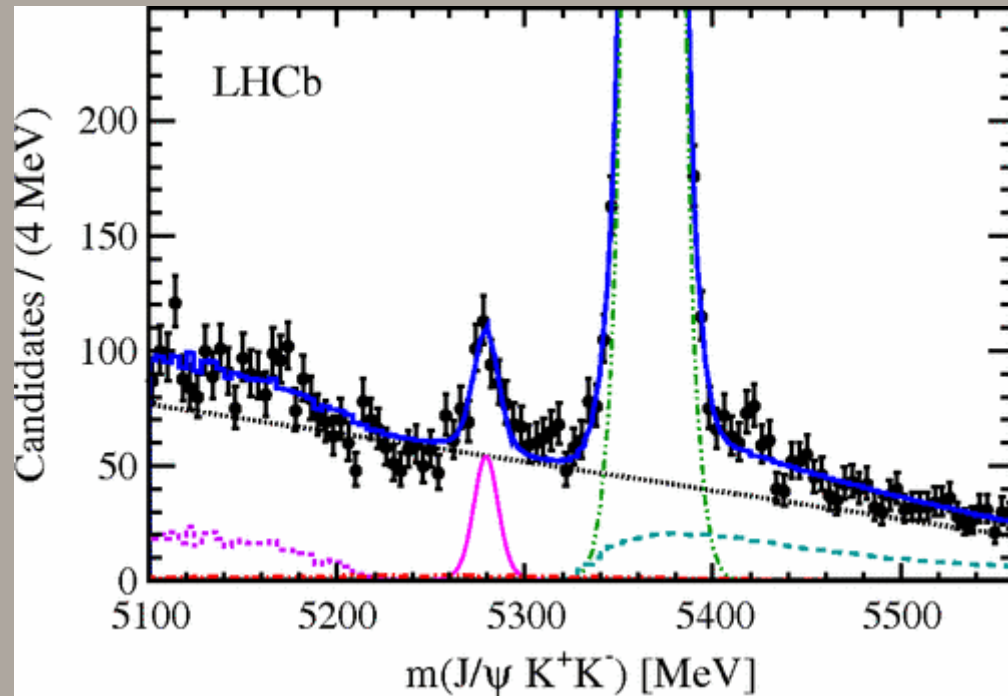
Идентификация частиц LHCb



Принцип работы основан на эффекте Вавилова-Черенкова

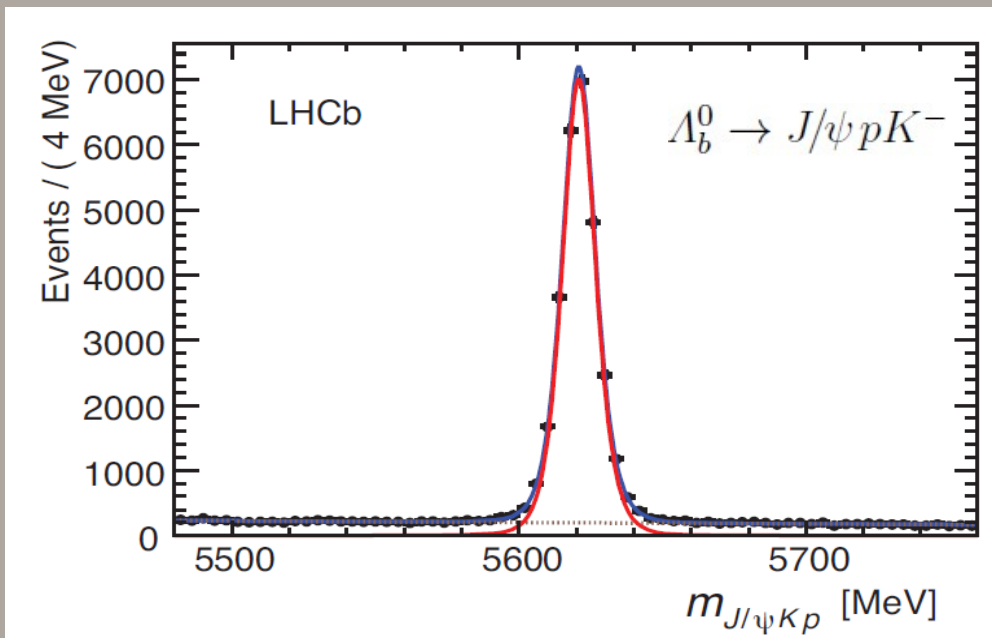
Анализируется всё событие целиком

Открытие пентакварка на LHCb



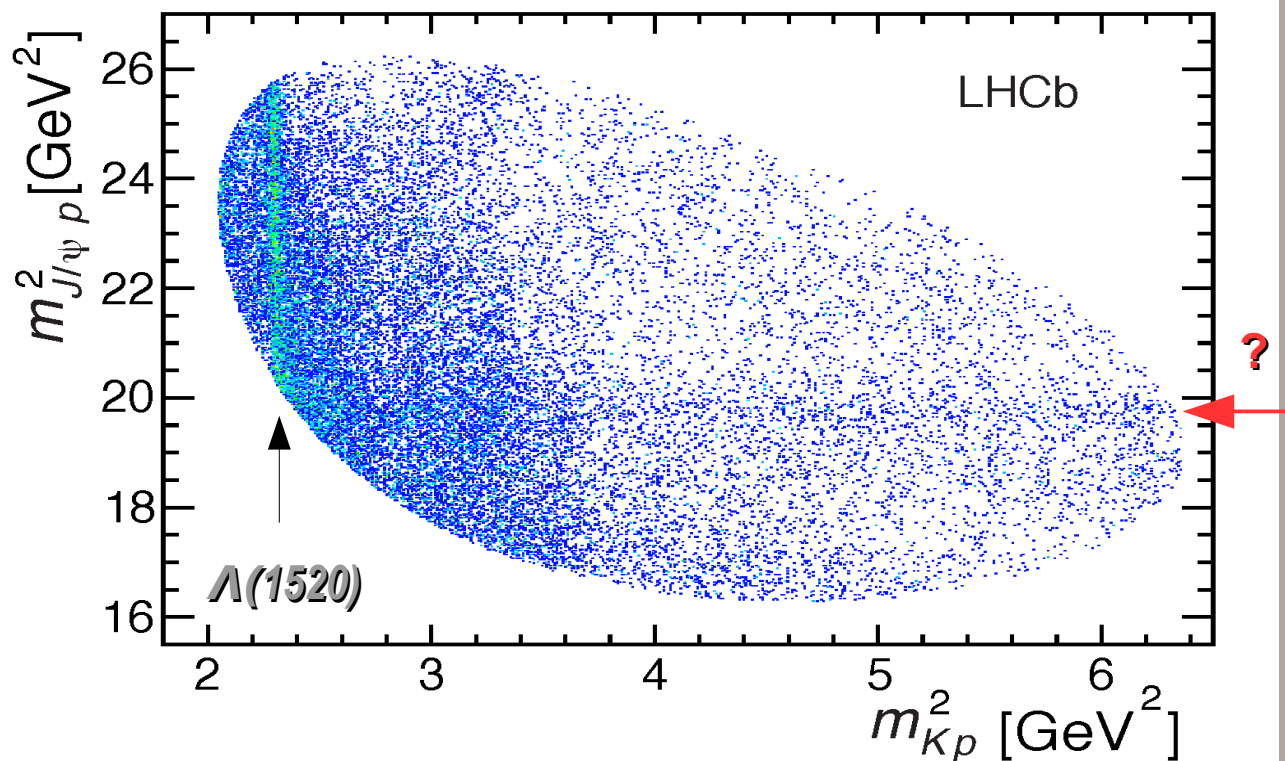
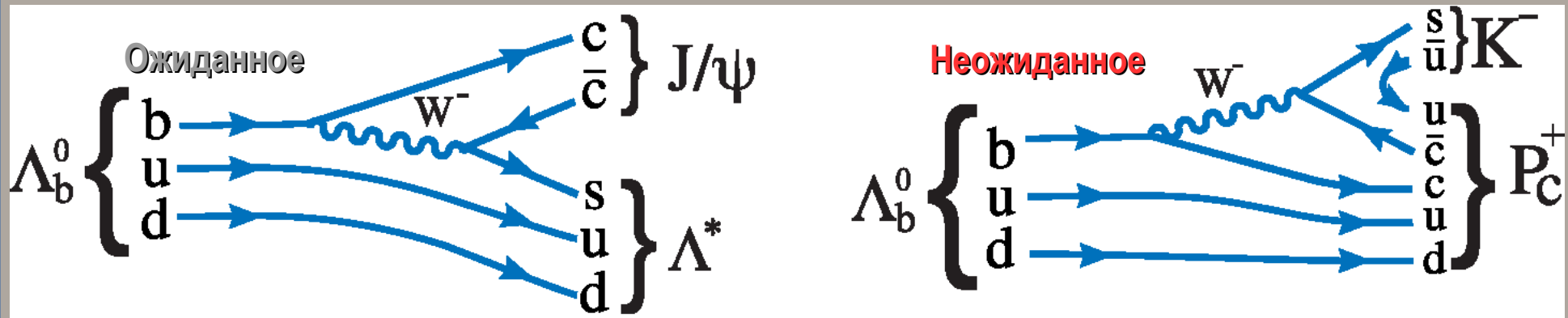
Группа Шелдона Стоуна изначально должна была участвовать в конкурирующем эксперименте BTeV...

Канал распада в котором обнаружили пентакварк изначально рассматривался как фоновый для другого интересного распада



Оказалось что этот распад Λ_b^0 очень чистенький и его можно использовать для определения времени жизни данного состояния.

Открытие пентакварка на LHCb



– Диаграмма Далица

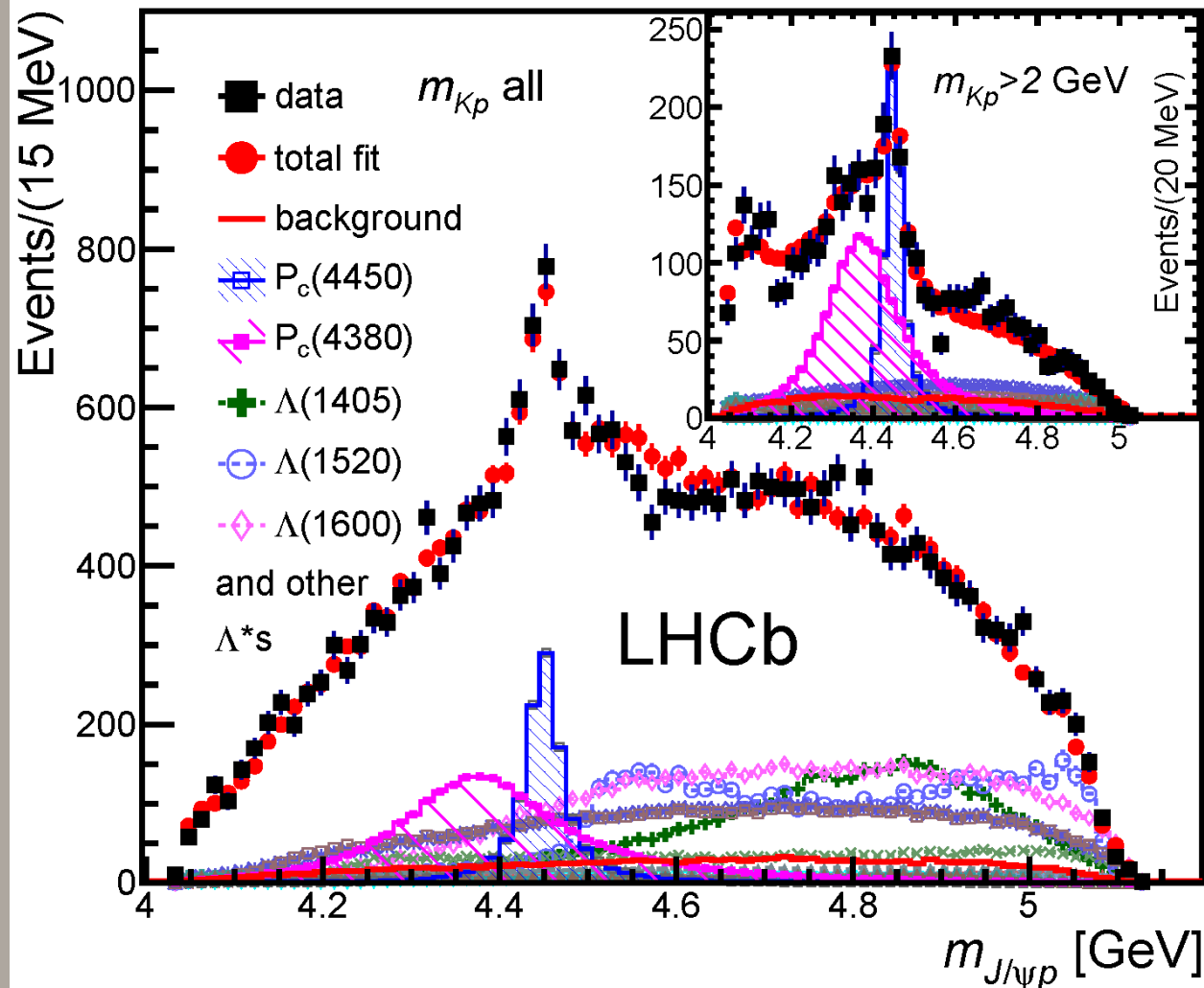
– Резонансы – полосы на этой диаграмме

– Ожидалось, что основной вклад вносят Λ -резонансы

– Неожиданно на диаграмме «прорезалась» горизонтальная полоса.

– pJ/ψ -резонансов не ждали!

Открытие пентакварка на LHCb



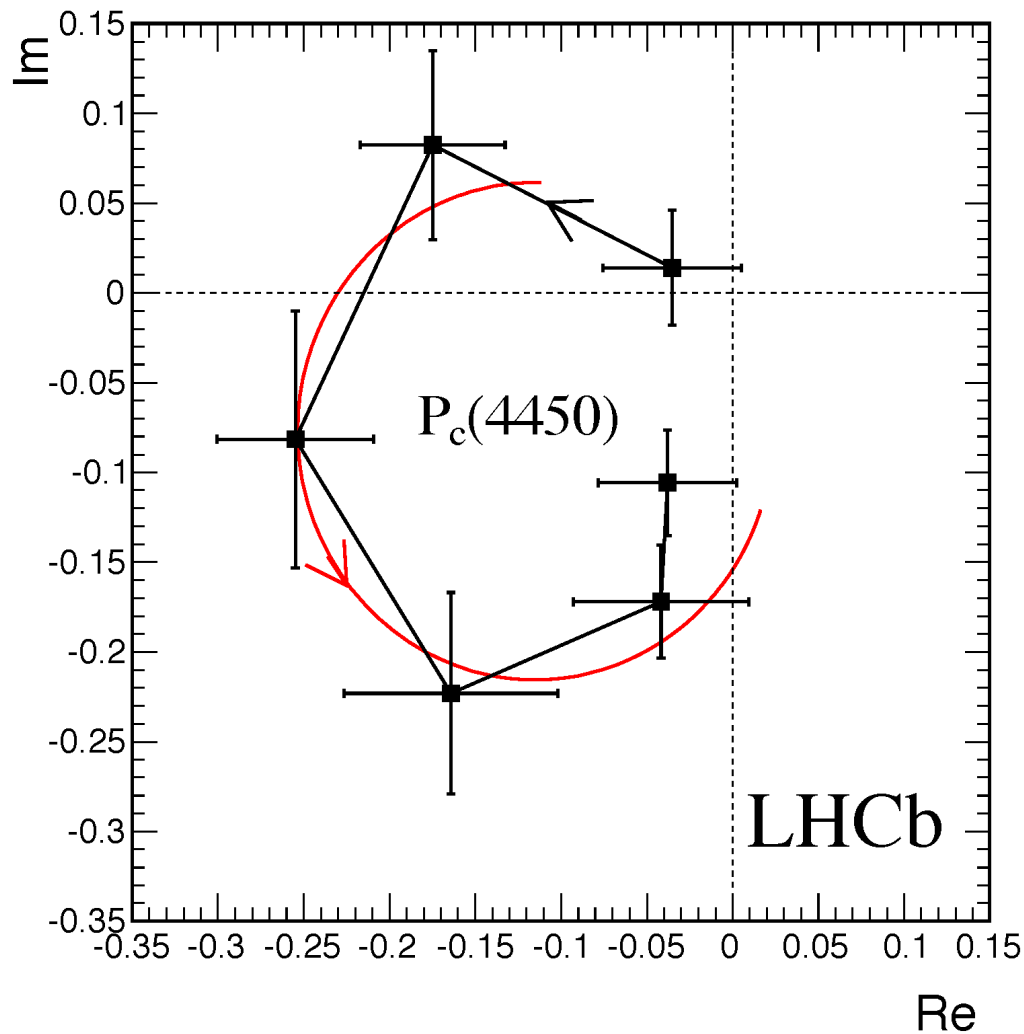
Распределение частиц оказалось невозможно описать при помощи известных резонансов.

Для описания распределения понадобилась не одно, а **два пентакварковых состояния** с противоположной четностью.

$M = 4380$ МэВ, $\Gamma = 205$ МэВ

$M = 4450$ МэВ, $\Gamma = 39$ МэВ

Почему мы думаем, что это пентакварки:



Они очень тяжелый для
обычного бариона

Они слишком узкие – долго живут

Амплитуда узкого состояния
описывает окружность в
комплексной плоскости, так себя
должны вести резонансные
состояния

У физиков-теоретиков есть
множество предположений о
структуре данного состояния и
поэтому необходимы
проверочные эксперименты.

ВЫВОДЫ

- Теперь необходимо найти другие распады этой частицы и понять, что же такое мы открыли.
- Такие открытия – это круто! Думаю, мы чуть-чуть приблизились к разрешению загадки конфайнмента.
- Современный физический эксперимент, ориентированный на высокую точность очень сложно устроен и требует огромных усилий и квалификации ученых.
- Путь к открытию может быть тернист, и не все по нему могут дойти до конца. Неудачи случаются.
- Физику делают люди!

