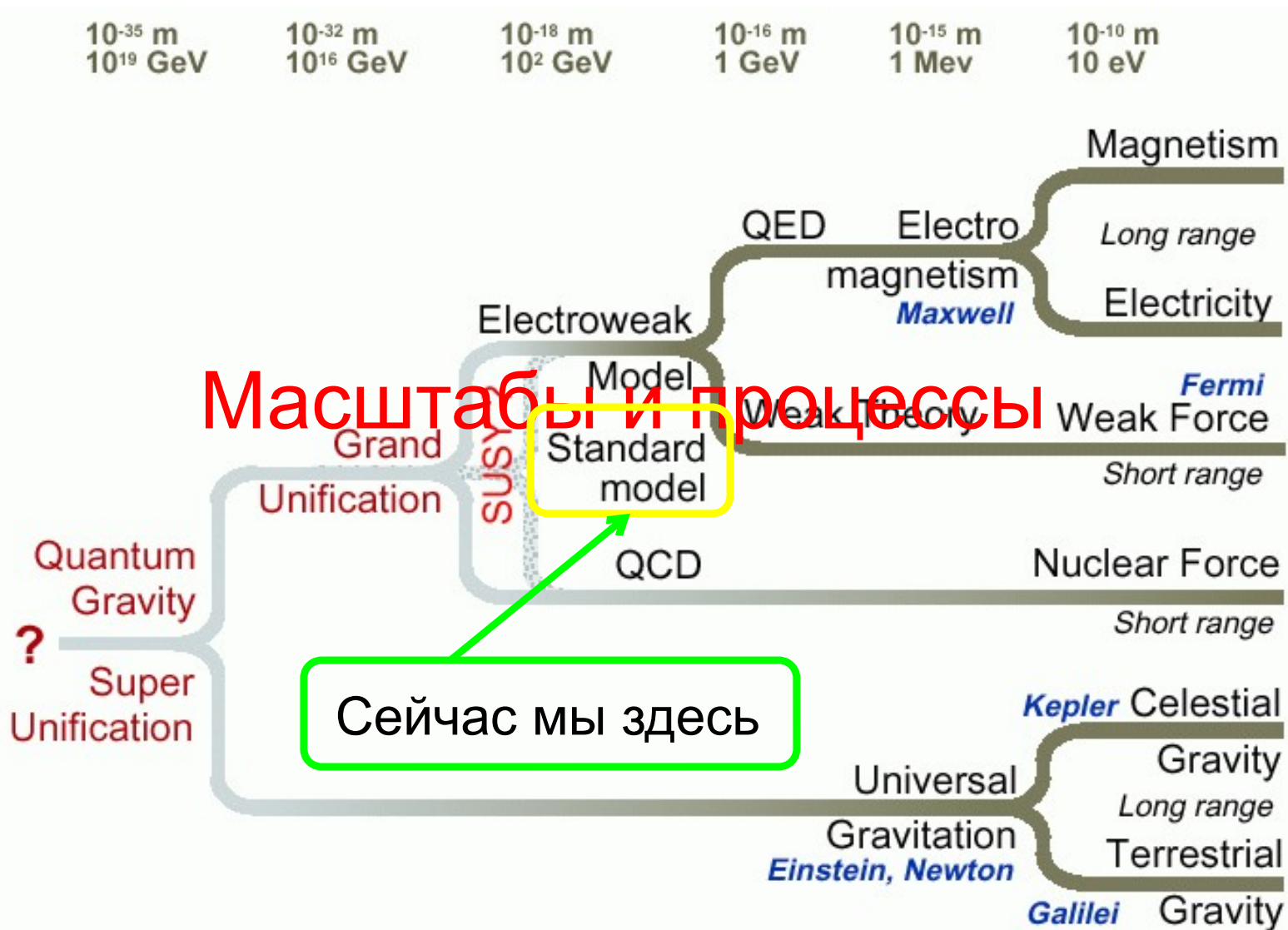




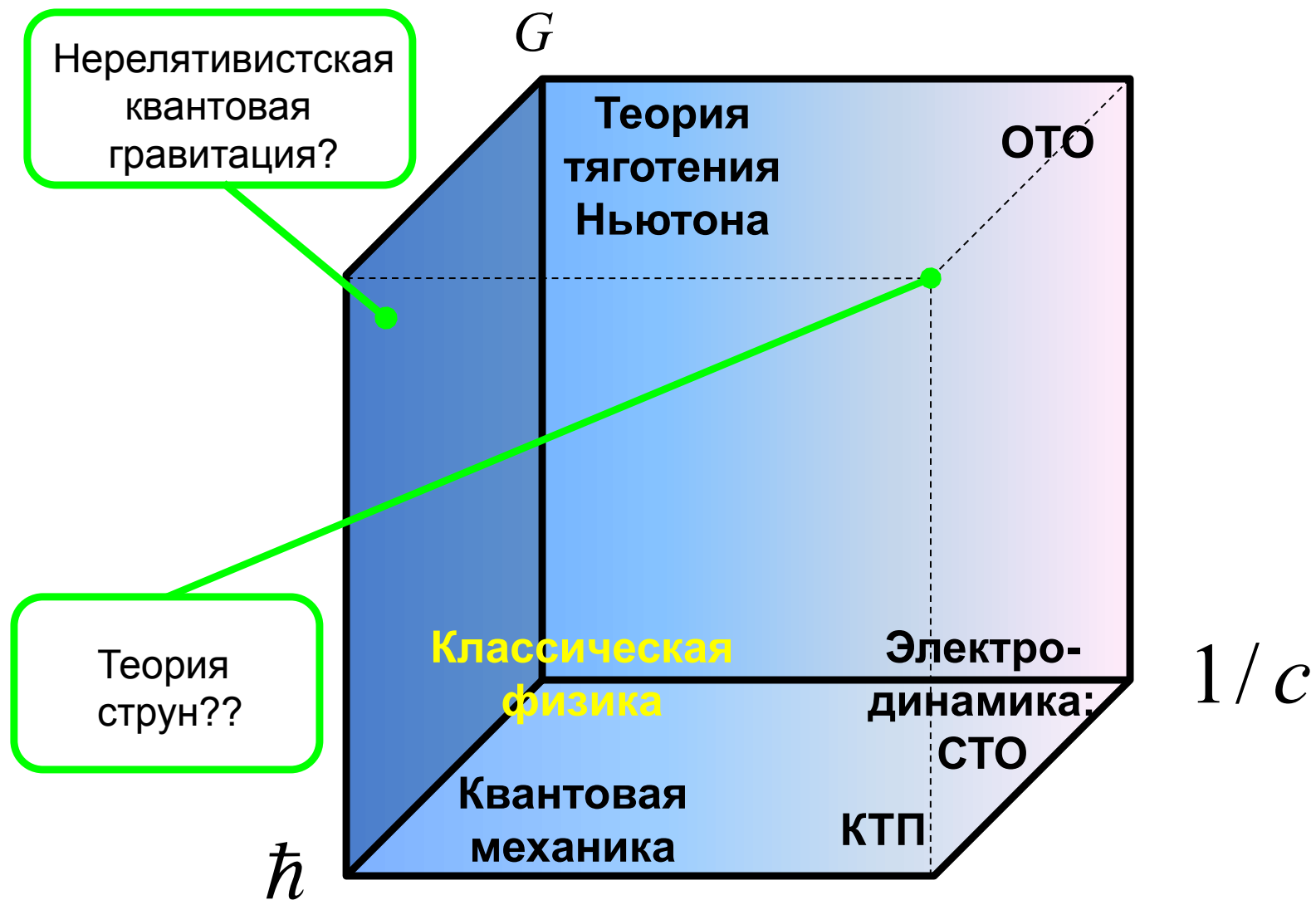
# Физика элементарных частиц на Большом адронном коллайдере

Владимир Шевченко

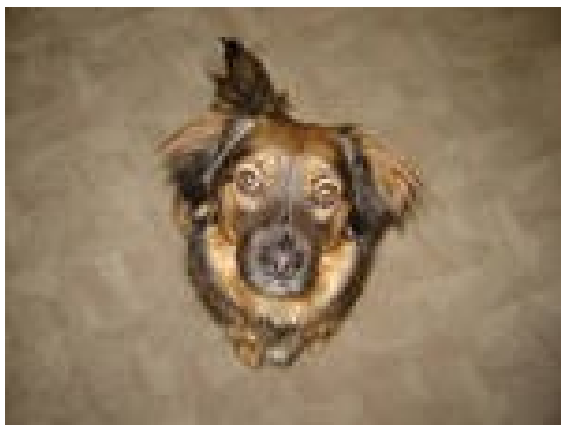
Институт теоретической и экспериментальной физики



# «Куб физических теорий» (М.Бронштейн, '1930)



Открытие и формулировка Стандартной Модели –  
возможно, самый выдающийся результат  
человеческого интеллекта за всю его историю



*Р.Фейнман*

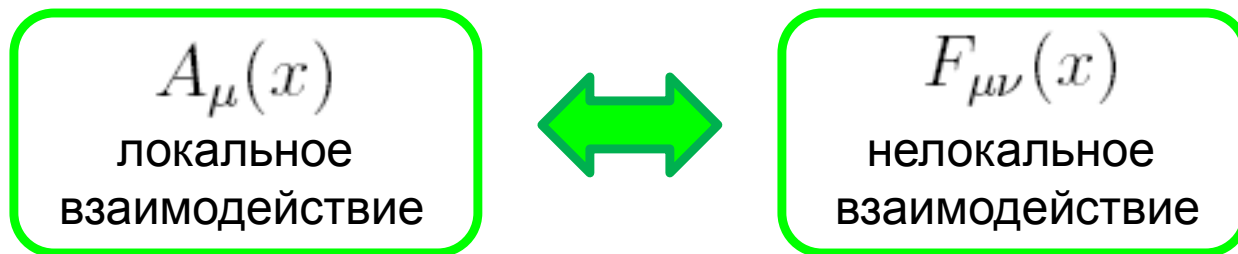
Что же нас восхищает и что не устраивает в  
Стандартной Модели?

# Основные идеи Стандартной Модели

## 1. Калибровочная инвариантность

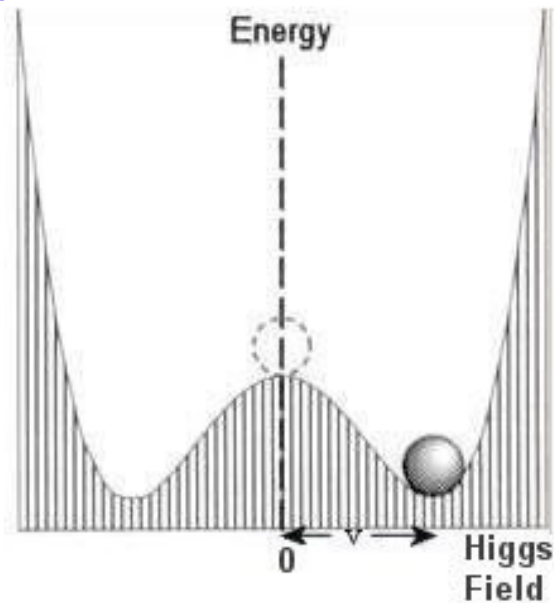
В теории имеется внутренняя симметрия относительно принадлежащих некоторой группе преобразований полей. Различные конфигурации динамических переменных описывают один и тот же набор физических наблюдаемых.

Теория локальна в терминах ненаблюдаемых вектор-потенциалов, и нелокальна в терминах наблюдаемых напряженностей



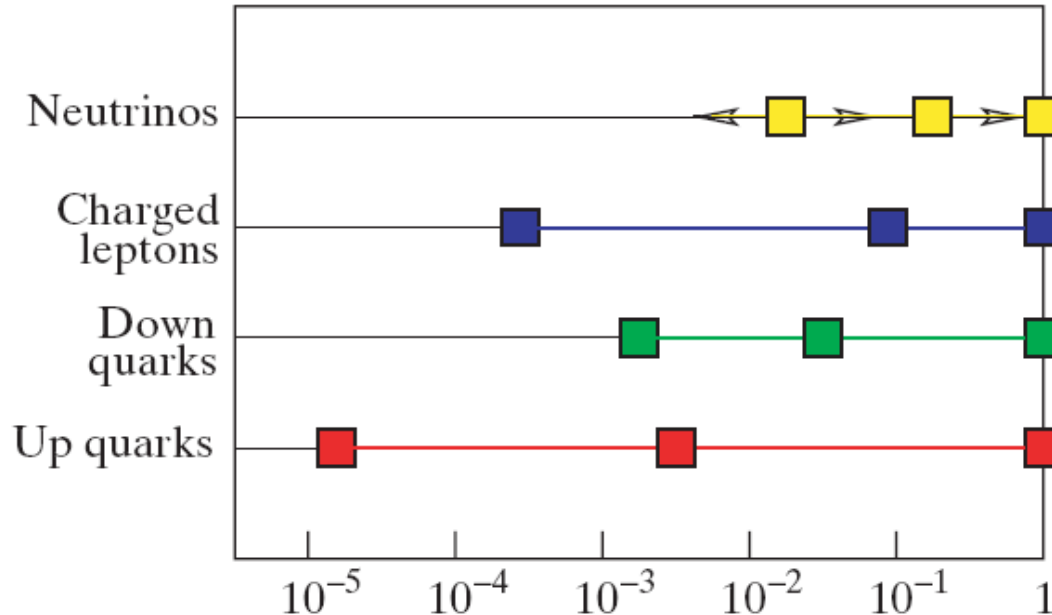
## 2. Спонтанное нарушение симметрии

Симметрия уравнения **не всегда** есть симметрия решения. Если решение реализует экстремум некоторой величины, то этот экстремум может достигаться на конфигурации с нарушенной симметрией.



Й.Намбу (Y.Nambu)

### 3. Структура поколений

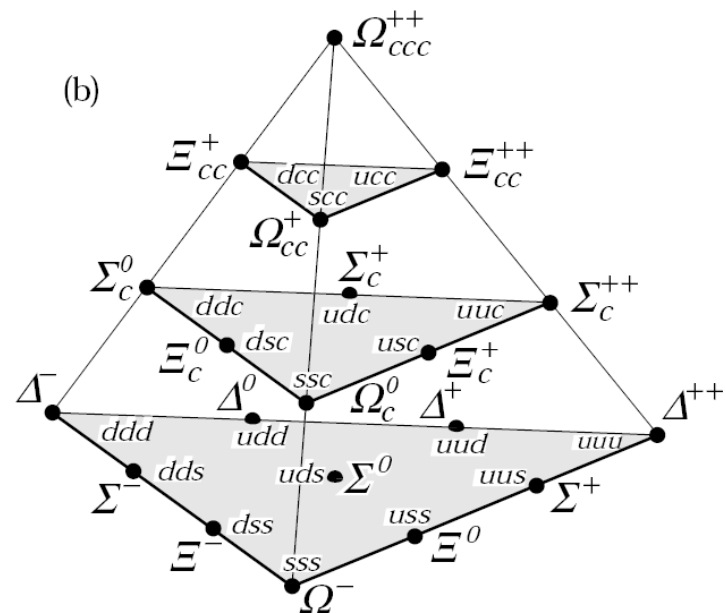
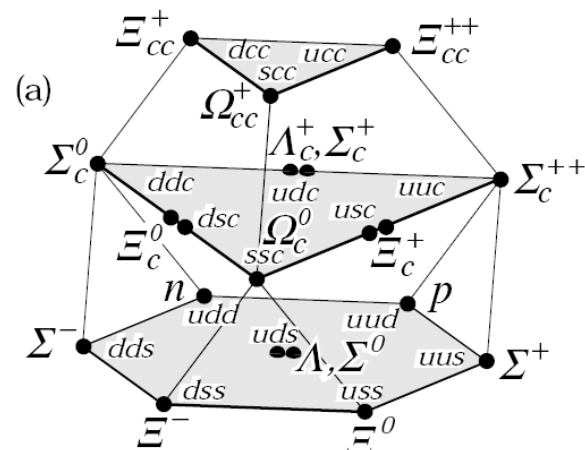
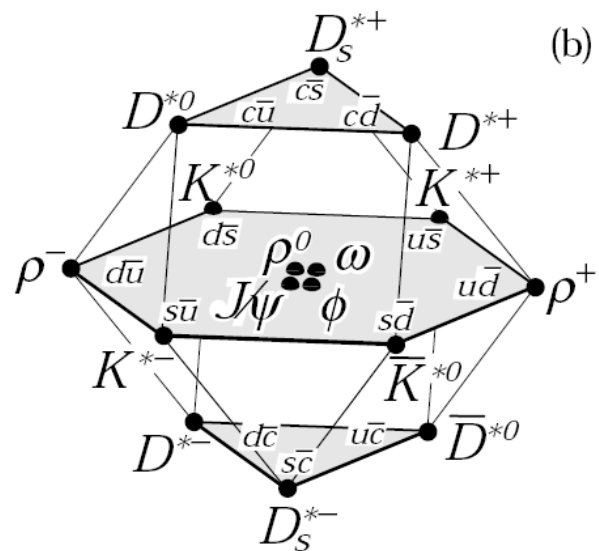
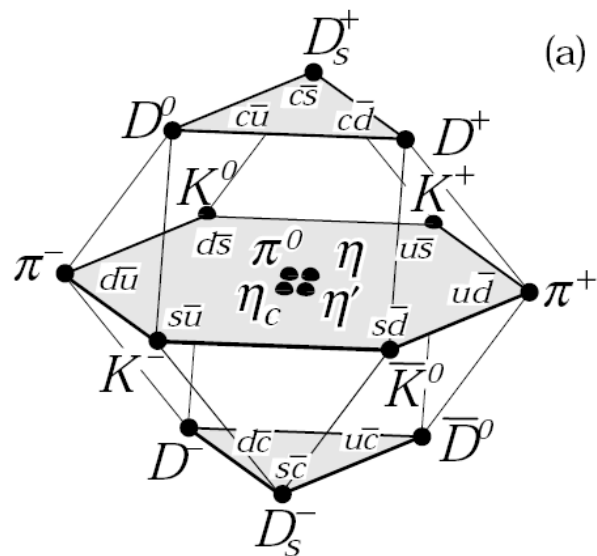


Иерархия масс (из [hep-ph/0603118](https://arxiv.org/abs/hep-ph/0603118)). Масса наиболее тяжелого фермиона данного типа нормирована на единицу.

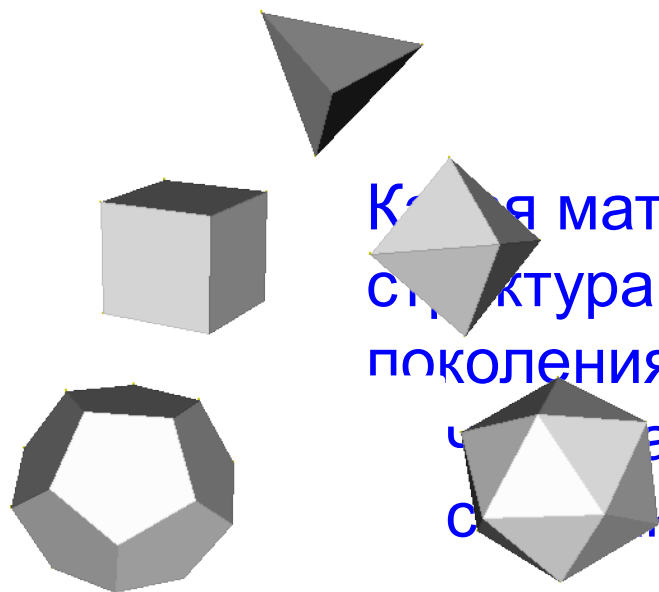
В истории естествознания неоднократно бывало, что периодичность свойств служила указанием на существование глубинной структуры...

Исидор Раби (I.Rabi) о мюоне: «Who ordered that?»

# Кварковая структура мезонов и барионов



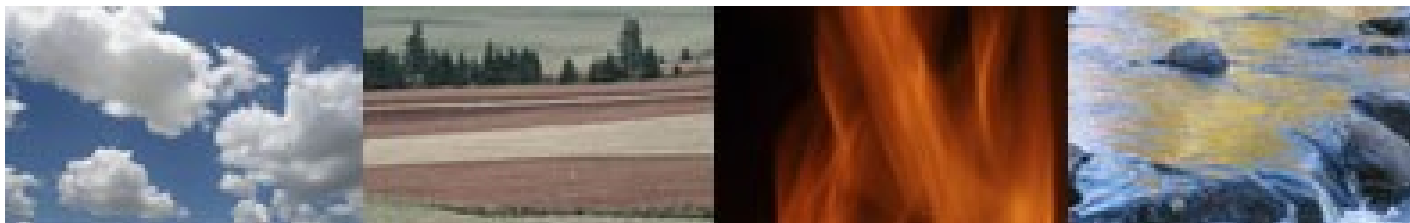
# Геометрия?



Какая математическая  
структура отвечает за  
поколения? Почему три?

Какая иерархия  
сложные смешивания?

Basic elements?



# Wikipedia: Unsolved problems in physics (36)

## Классическая физика

### Turbulence

Is it possible to make a theoretical model to describe the statistics of a turbulent flow (in particular, its internal structures)?<sup>[14]</sup> Also, under what conditions do smooth solutions to the Navier-Stokes equations exist?

## Физика Стандартной модели

### Higgs mechanism

Does the Higgs particle exist? What are the implications if it does not?

### Generations of matter

Are there more than three generations of quarks and leptons? Why are there generations at all?

Физика конденсированного  
состояния  
(condensed matter)

Физика элементарных  
частиц  
(high energy)



Каркас теоретического аппарата  
составляет **квантовая теория поля**



Основное состояние (вакуум) + возбуждения над ним

## Важные вопросы...

- ? Что определяет выбор основного состояния и как он реализуется ?
- ? Что определяет набор возбуждений и взаимодействия между ними ?
- ? Как зависит динамика возбуждений от выбора вакуума ?
- ? Когда имеет смысл рассматривать *обратное* влияние возбуждений на вакуум, а когда им можно пренебречь ?

Обычно правильный выбор вакуума означает, что возбуждения взаимодействуют друг с другом слабо (в некотором смысле)

## Дуальность

В разных областях значений параметров теории могут существовать различные вакуумные состояния, над которыми возможно разложение слабой связи, с уникальной структурой возбуждений над каждым вакуумом (в частности, элементарные возбуждения в одной фазе могут выглядеть сложными составными объектами в другой).

кварки и глюоны в фазе  
деконфайнмента



пионы и тяжелые адроны  
в фазе конфайнмента

# Симметрии и их нарушение

История про *симметрию* – это (почти)  
всегда история про  
*преобразования*  
и  
*неразличимость*

Максимальная симметрия не особенно интересна..



Истинная гармония ↔ слегка нарушенная симметрия



Конечно, нарушение не должно быть *слишком* сильным..



Наш мир

Зазеркалье



90%



10%



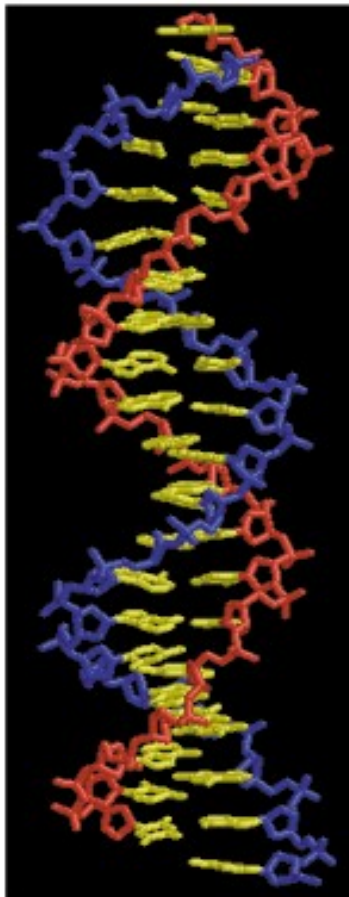
10%



90%

Наш мир  $\neq$  Зазеркалью: P-четность нарушена

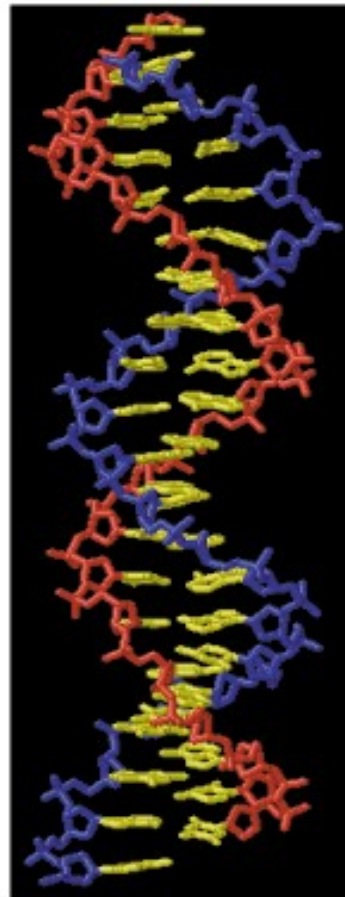
Наш мир



ДНК



Зазеркалье



Р-четность нарушена на 100%

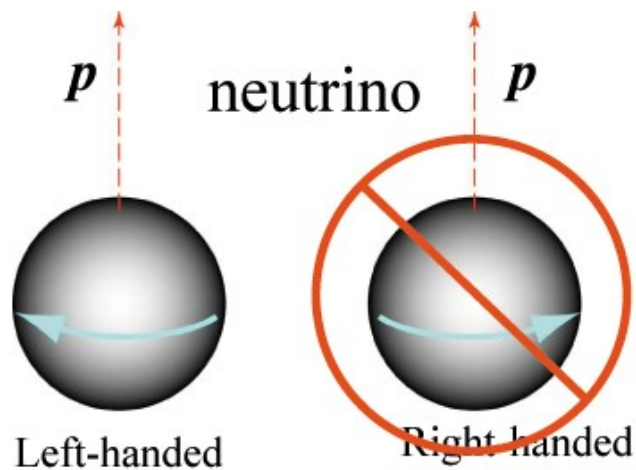
## P-четность в мире элементарных частиц



T.D. Lee, C.N. Yang, 1956

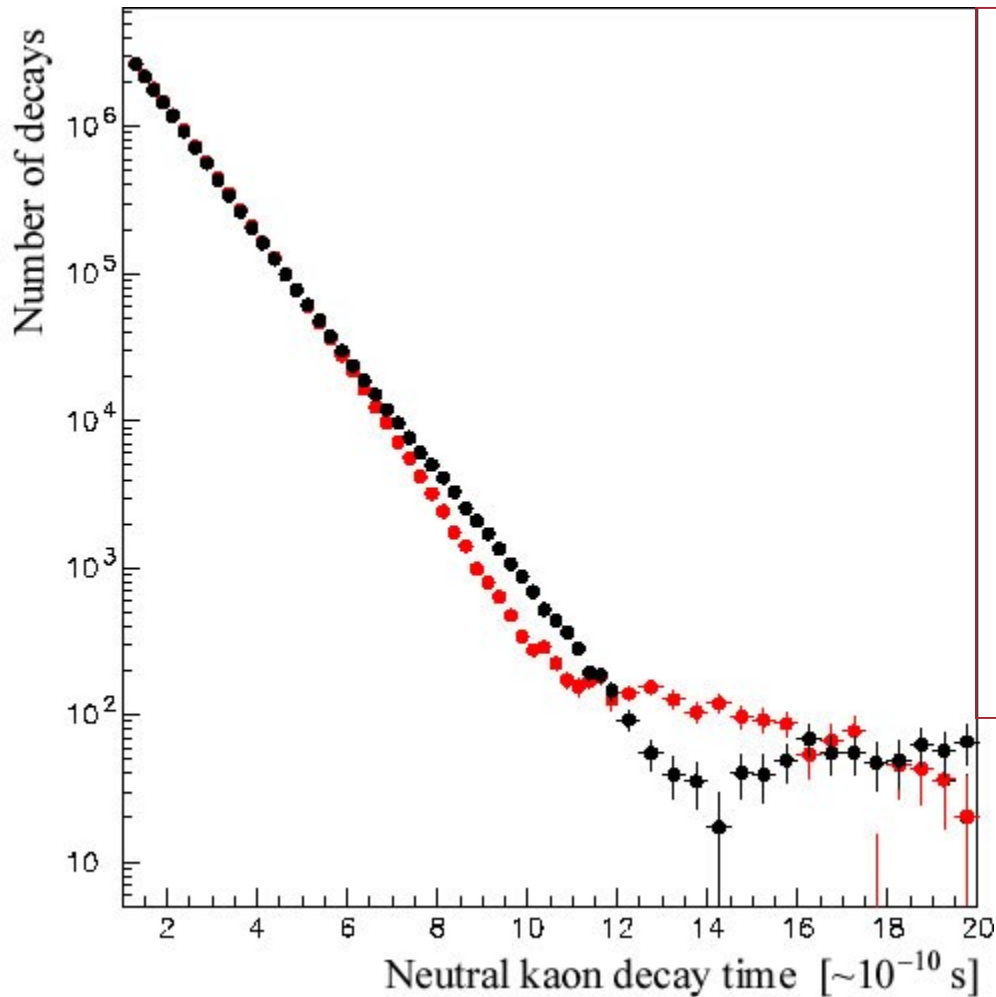


C.S. Wu, 1957



не рождается

# CPLEAR 1999



*распределение  
времен распада  
нейтрального каона*

$\neq$

*распределение  
времен распада  
нейтрального анти-  
каона*

***CP violation***

Ответы на некоторые из тех  
вопросов, которые есть к  
Стандартной модели,  
физики надеются найти на  
Большом адронном коллайдере

LHC

**Jet d' Eau  
140 m**

**Mont Blanc,  
4808 m**

**LHCb**

**CERN**

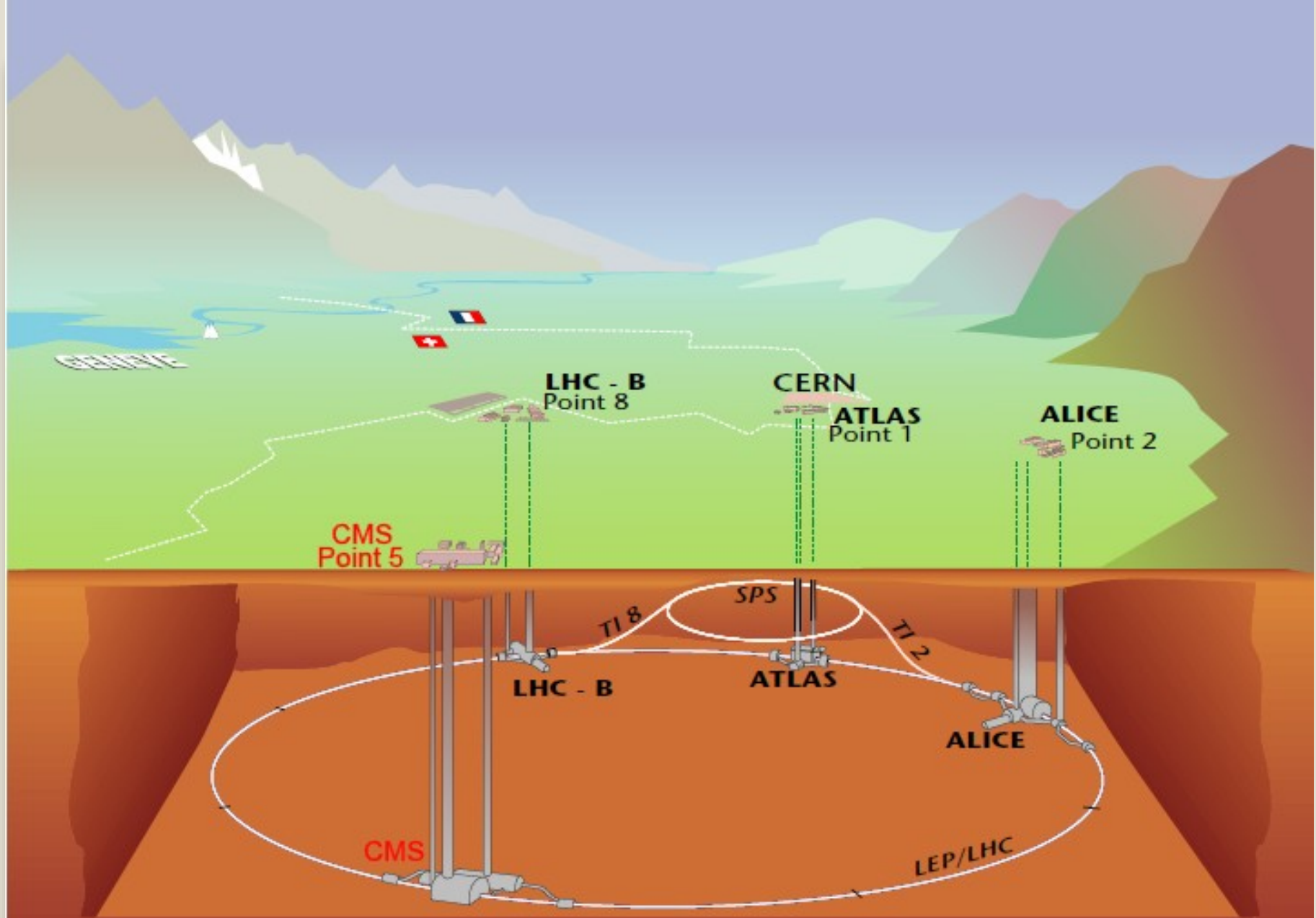
**ATLAS**

**ALICE**

**CMS**



**CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire)**

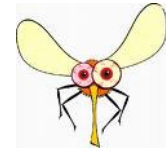


# ABC of LHC

- Длина туннеля - 27 километров
- Глубина залегания - от 50 до 175 метров
- Встречные p-p пучки, 2808 банчей,  $1.15 \times 10^{11}$  p/банч
- $v = 0.999999998$  c
- Энергия = 7 ТэВ + 7 ТэВ, светимость  $\sim 10^{34}$  см<sup>-2</sup> сек<sup>-1</sup>
- Примерно 600 миллионов столкновений в секунду

Энергия протона в пучке = 7 ТэВ =  $10^{-6}$  Джоуля (J).

Это примерно кинетическая энергия комара:



Почему бы не использовать комаров в физике частиц?

Потому, что число Авогадро =  $6.022 \times 10^{23} \text{ (mol)}^{-1}$

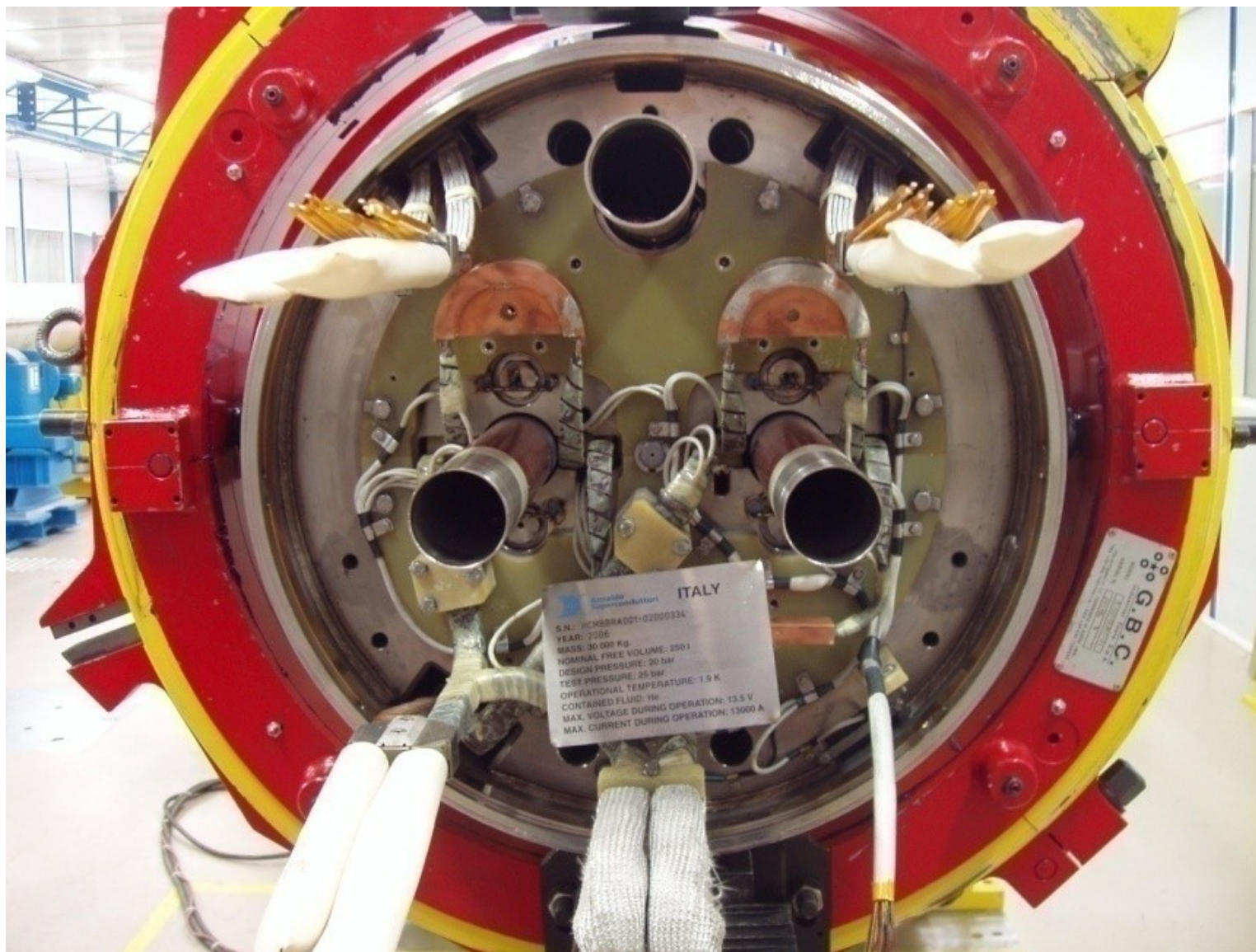
Энергия комара распределена между  $\sim 10^{22}$  нуклонами.

В то же время полная энергия, запасенная в пучке, равна  $2808 \text{ банчей} \times 10^{11} \text{ протонов/банч} \times 7 \text{ ТэВ/протон} \sim 400 \text{ МДж}$

Это энергия взрыва  $\sim 100 \text{ кг}$  тротила или кинетическая энергия тяжелого авианесущего крейсера «Адмирал Кузнецов» на скорости  $8 \text{ узлов}$ .





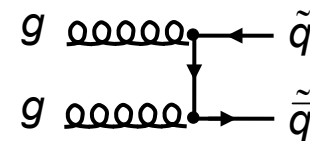
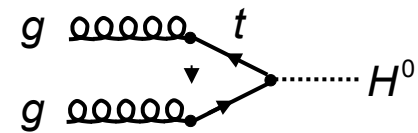
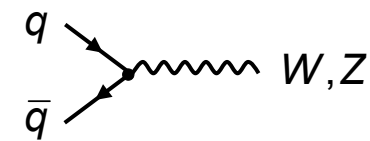
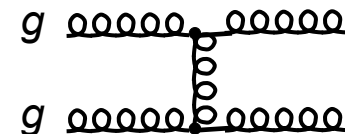
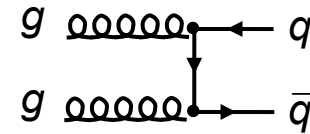
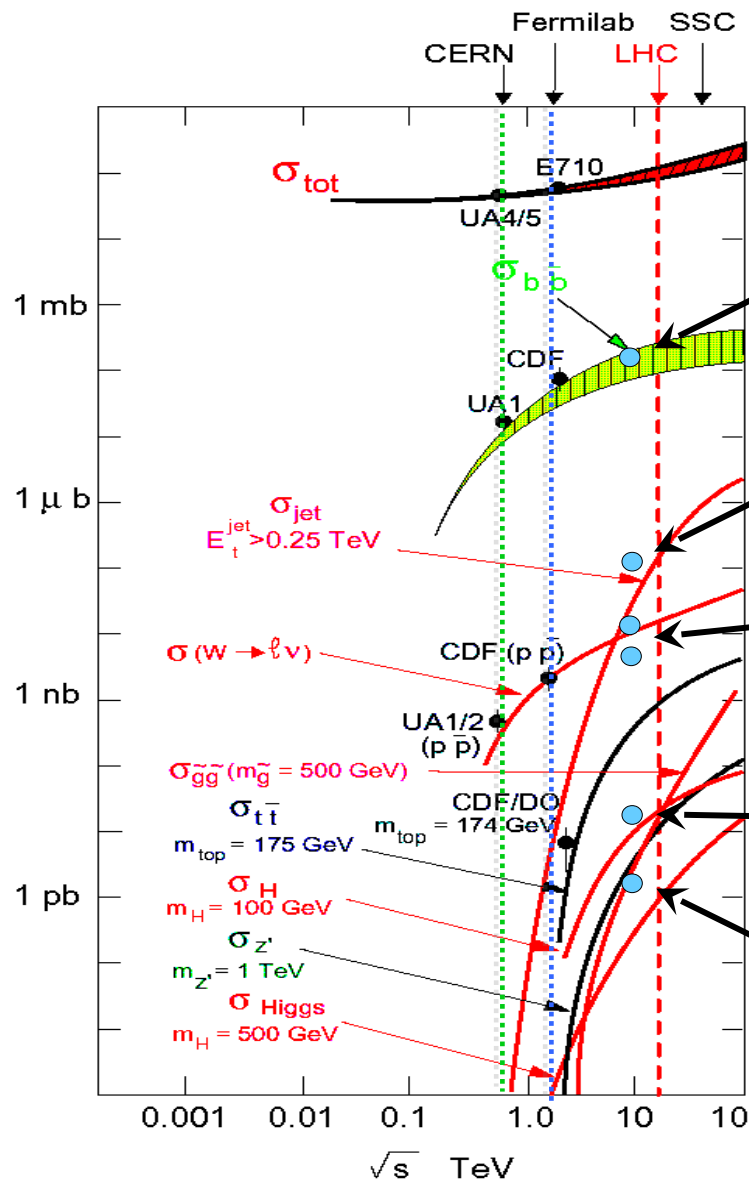


ITALY  
S.N.: HCB8RA001-02000334  
YEAR: 2006  
MASS: 30 000 Kg  
NOMINAL FILL VOLUME: 250 l  
DESIGN PRESSURE: 20 bar  
TEST PRESSURE: 25 bar  
OPERATIONAL TEMPERATURE: 1.9 K  
CONTAINED FLUID: He  
MAX. VOLTAGE DURING OPERATION: 13.5 V  
MAX. CURRENT DURING OPERATION: 13000 A

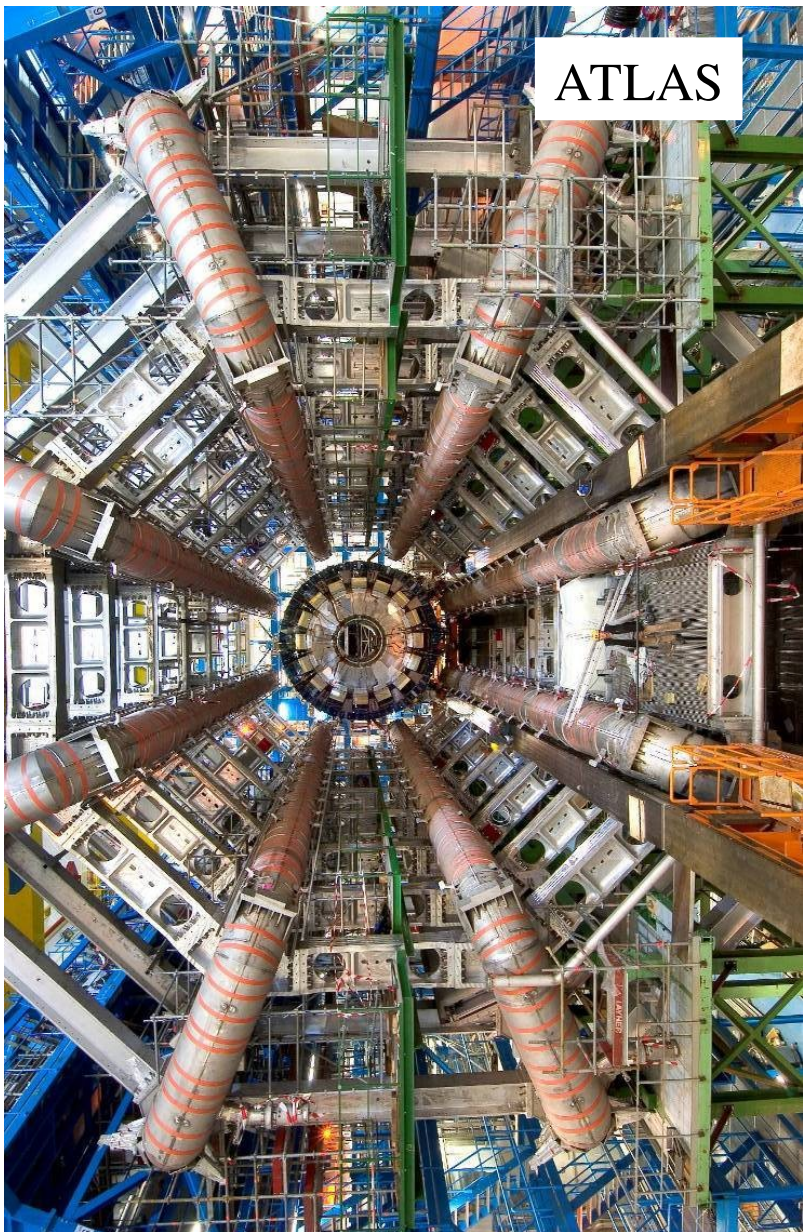
G.B.C.  
G.B.C. S.p.A.  
Via ...  
...  
...

# Эксперименты LHC

- Детекторы установлены в 4 точках столкновений
- Два эксперимента “general-purpose”: **ATLAS** и **CMS**  
Основной их задачей является изучение событий с большими  $p_T$ , поиск бозона Хиггса и новых частиц
- Третий эксперимент – **LHCb** – посвящен В-физике
- Четвертый эксперимент начнет работать позже и будет изучать физику столкновений тяжелых ионов - **ALICE**
- Есть также ряд менее крупных экспериментов, которые будут работать над специфическими задачами в тех же точках столкновений

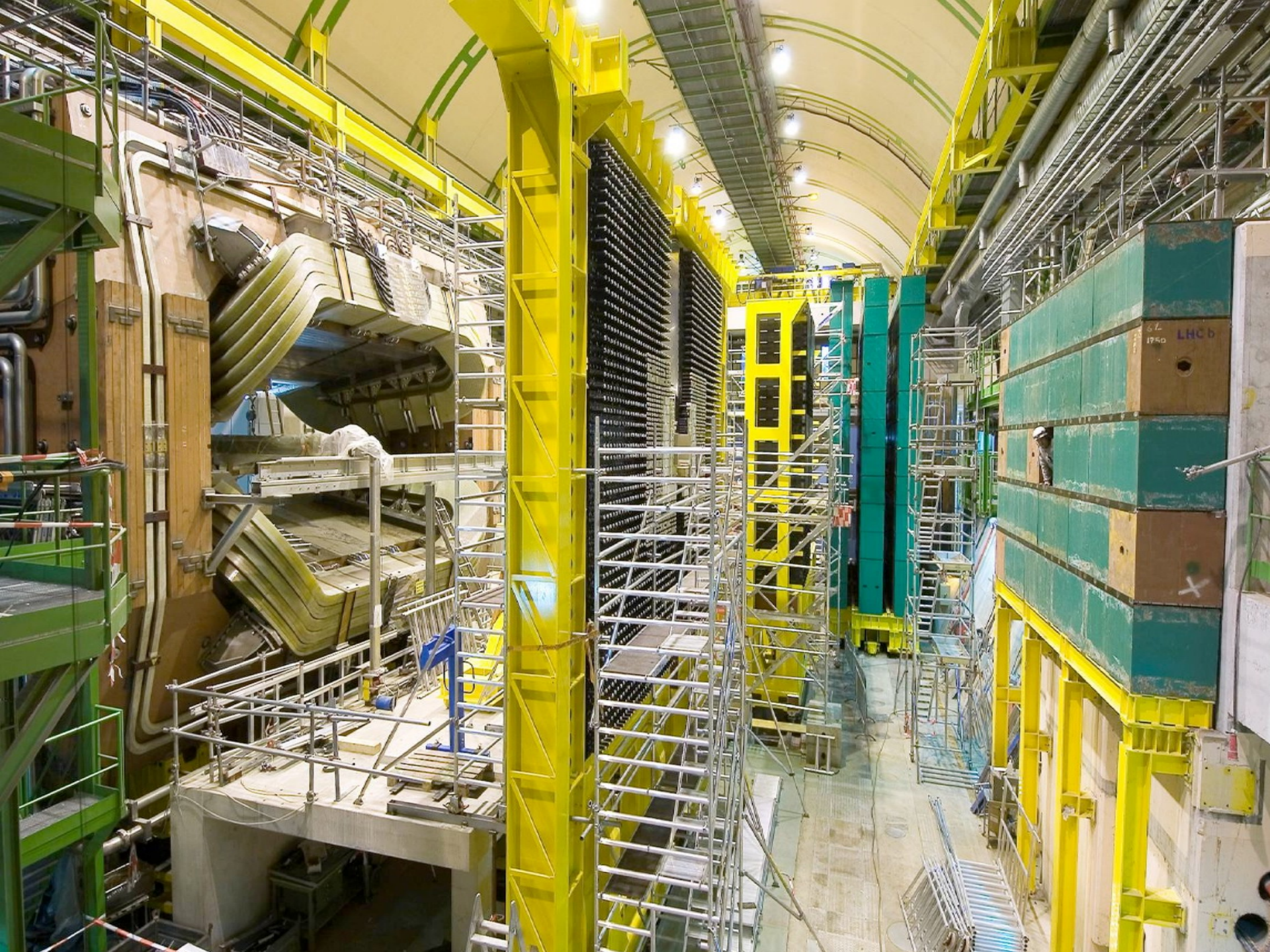


ATLAS

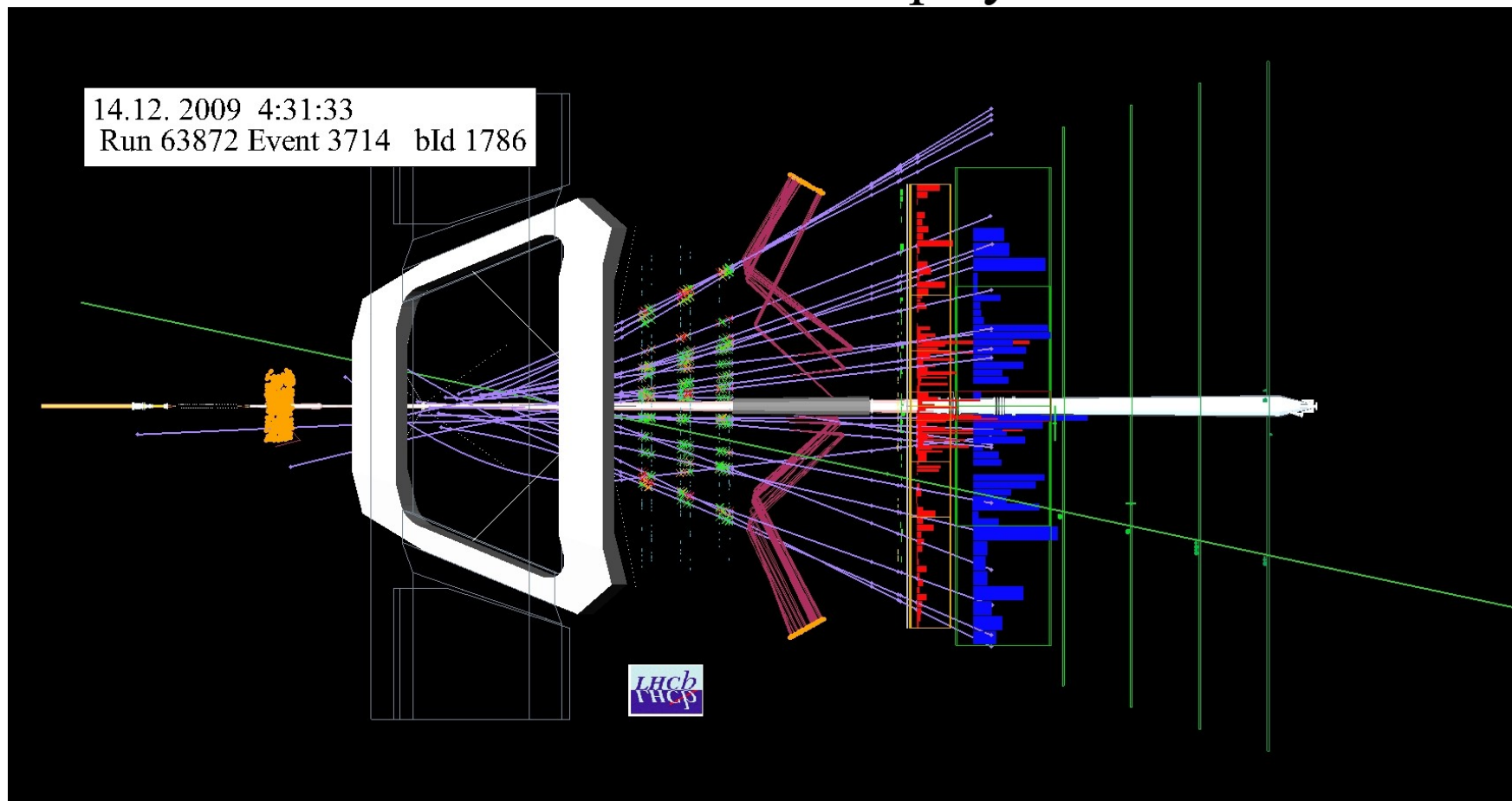


CMS

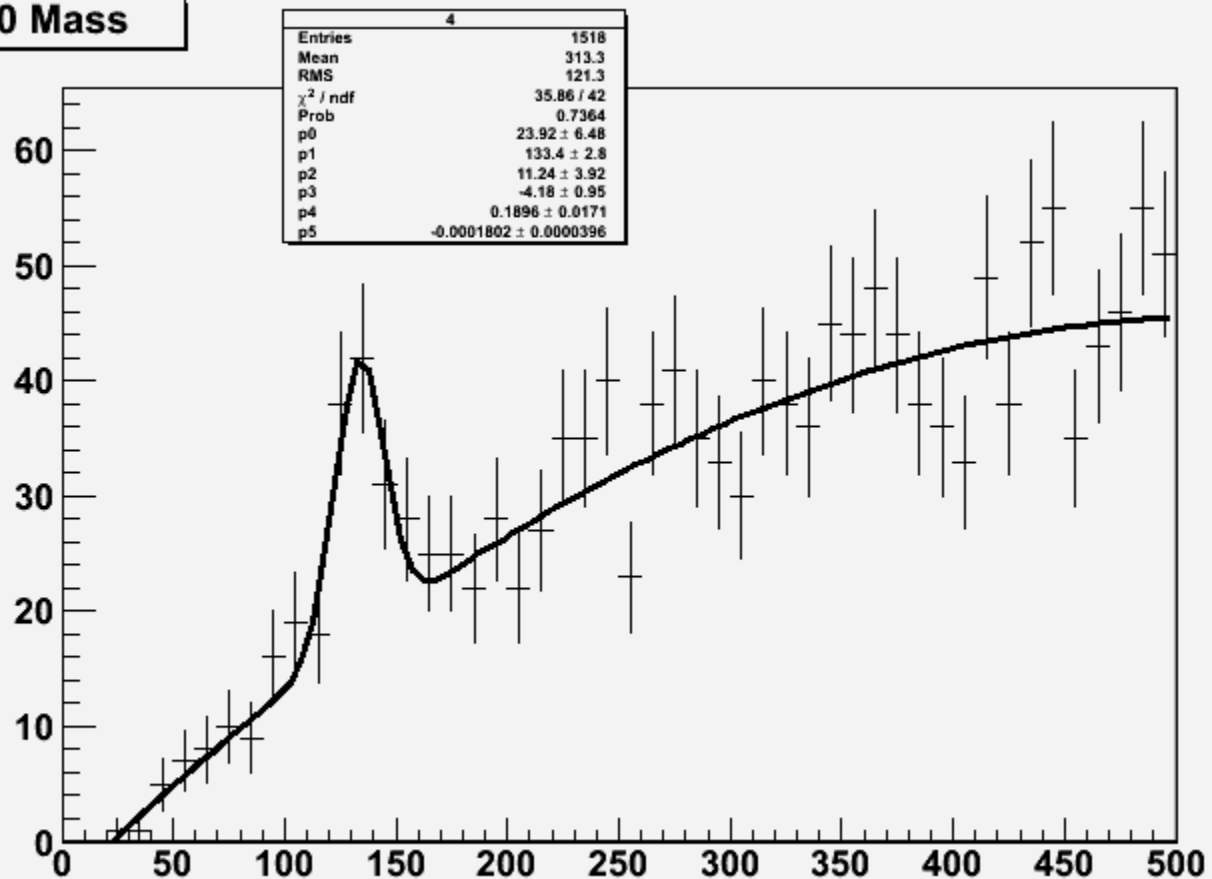


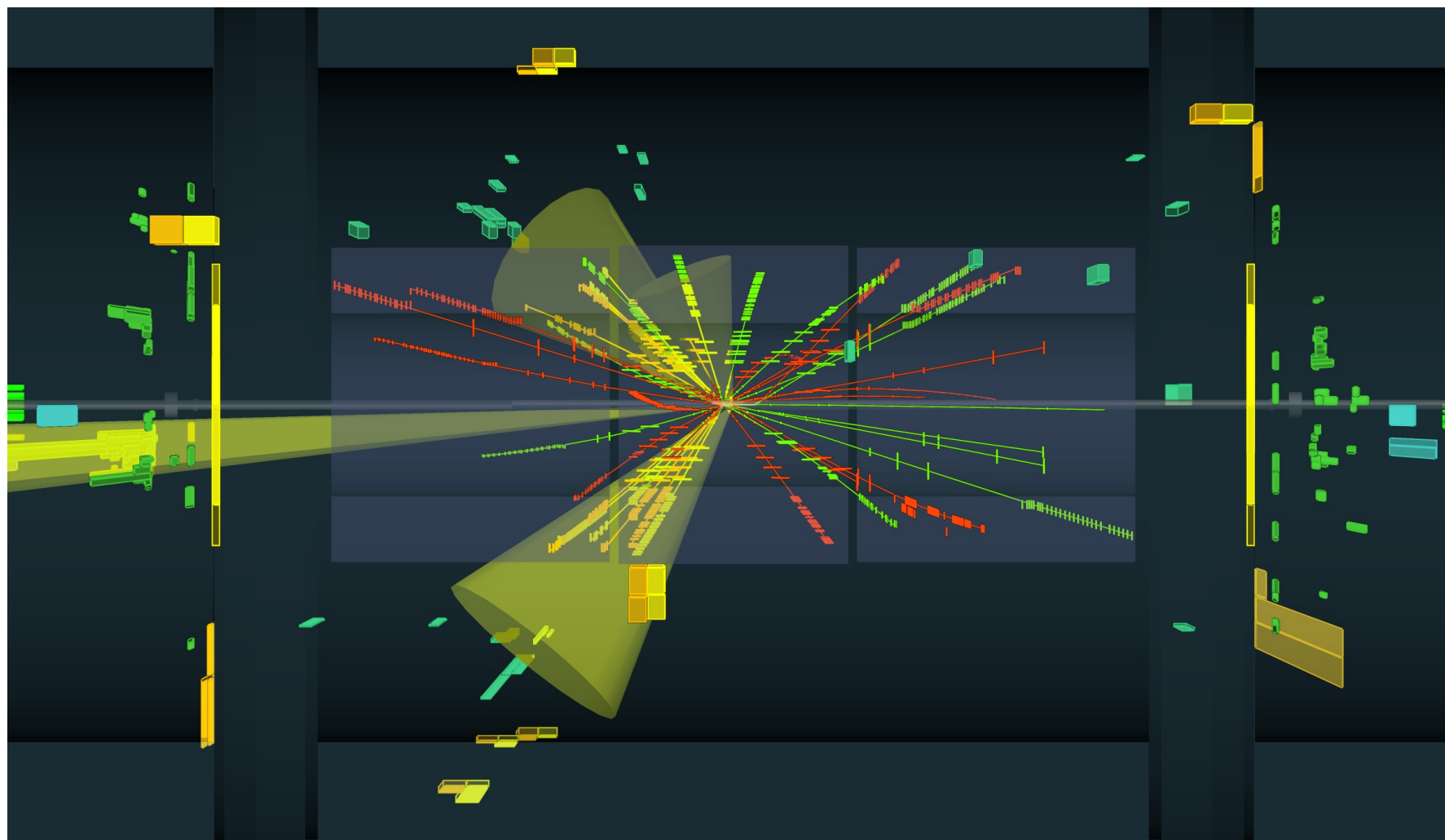


# LHCb Event Display



# pi0 Mass





**ATLAS**  
EXPERIMENT

## Jet Event at 2.36 TeV Collision Energy

2009-12-14, 04:30 CET, Run 142308, Event 482137

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

## Что может быть на LHC:

- 1). ATLAS и CMS открывают Новую физику в high- $p_T$  событиях (например, новые тяжелые частицы), а LHCb — отклонения от предсказаний SM для вероятностей, фаз и редких распадов
- 2). ATLAS и CMS открывают Новую физику, но LHCb не видит отклонений от предсказаний SM (либо наоборот)
- 3). ATLAS и CMS открывают только SM Хиггс, а LHCb не обнаруживает никаких отклонения от предсказаний SM — Nightmare Scenario



...И под личиной вещества бесстрастной  
Везде огонь Божественный горит.

*В.Соловьев*