

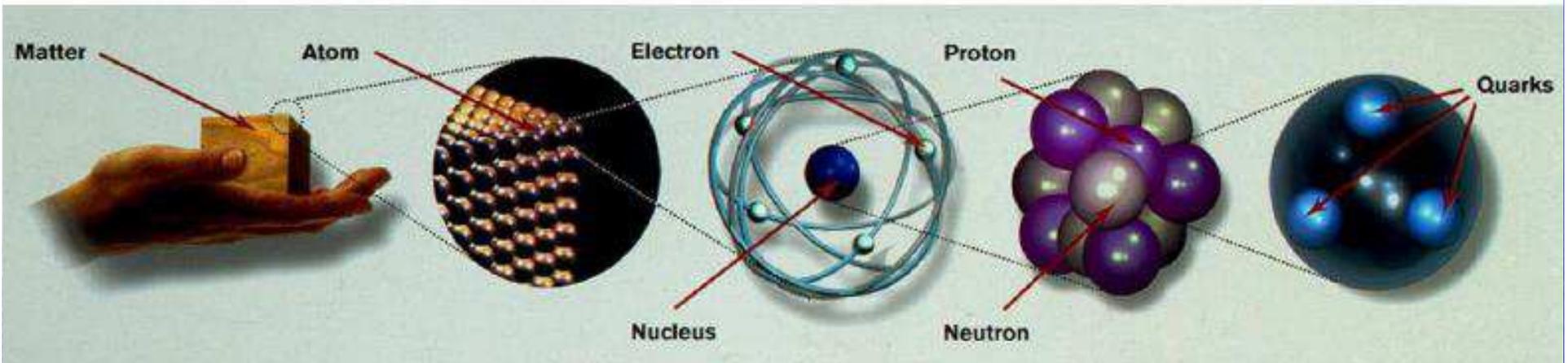
**ПРОТОНЫ, ЭЛЕКТРОНЫ,  
НЕЙТРИНО, КВАРКИ,**

**...**

**ВСЕЛЕННАЯ**

**А.П.Кобушкин**

*Институт теоретической физики  
им. Н.Н.Боголюбова  
НАН Украины*



# Открытие атомного ядра (1914 г.)



Э.Резерфорд

Атом имеет планетарную структуру: заряженное ядро окружено электронами.

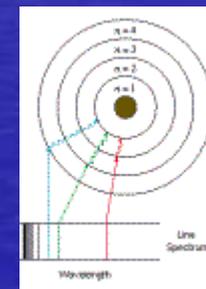
Размер атома порядка

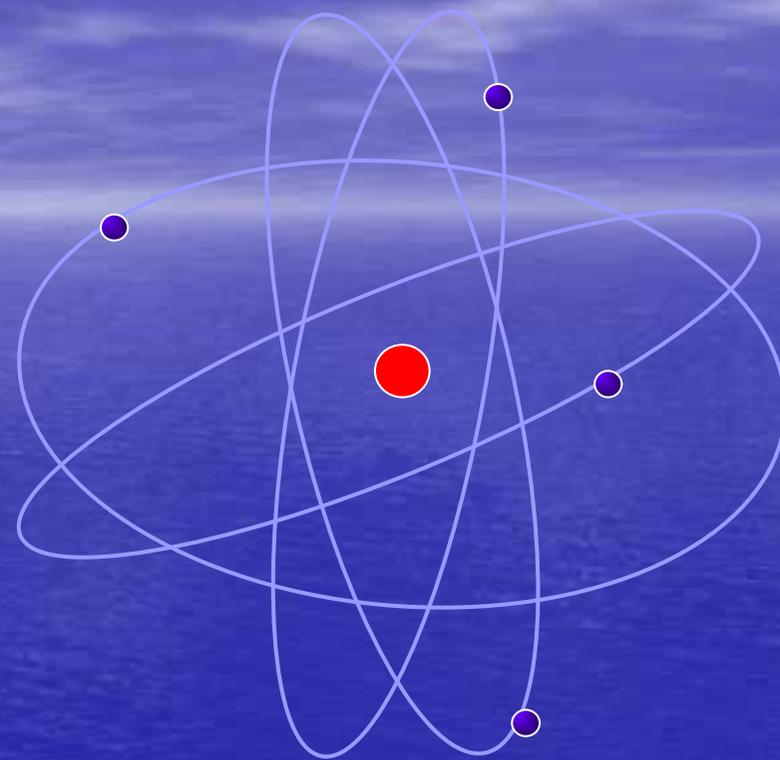
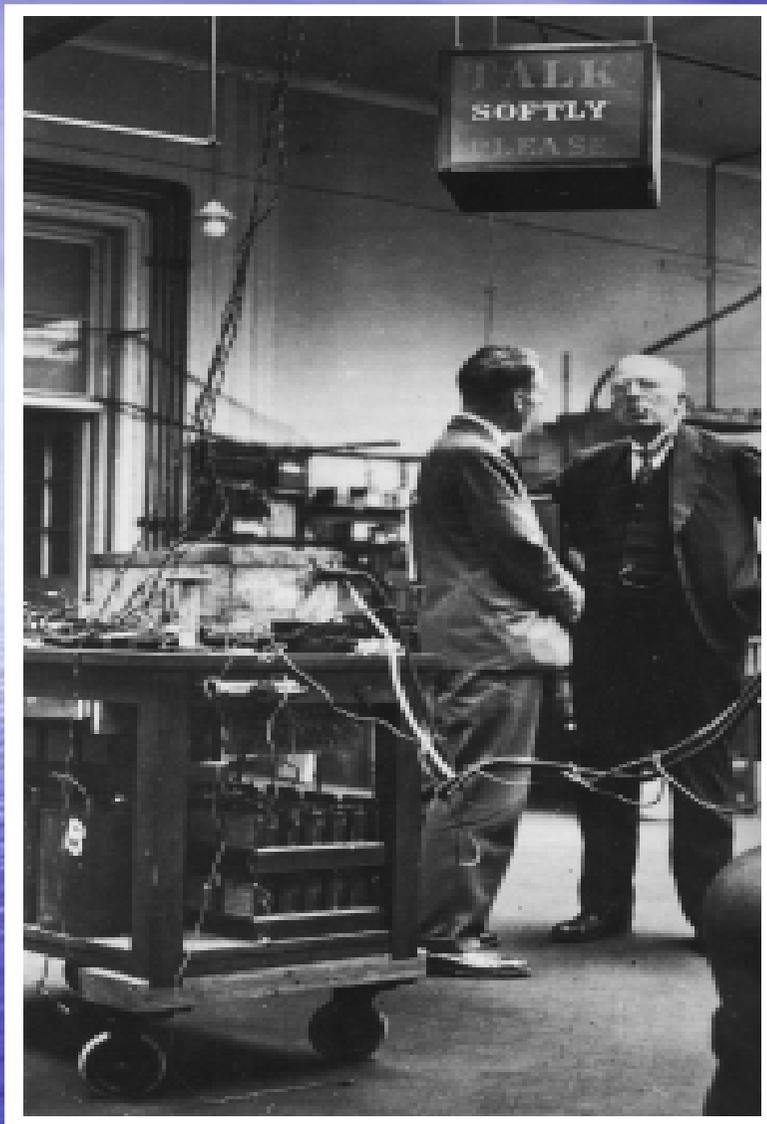


Н.Бор

Структура атома не описывается классической физикой.

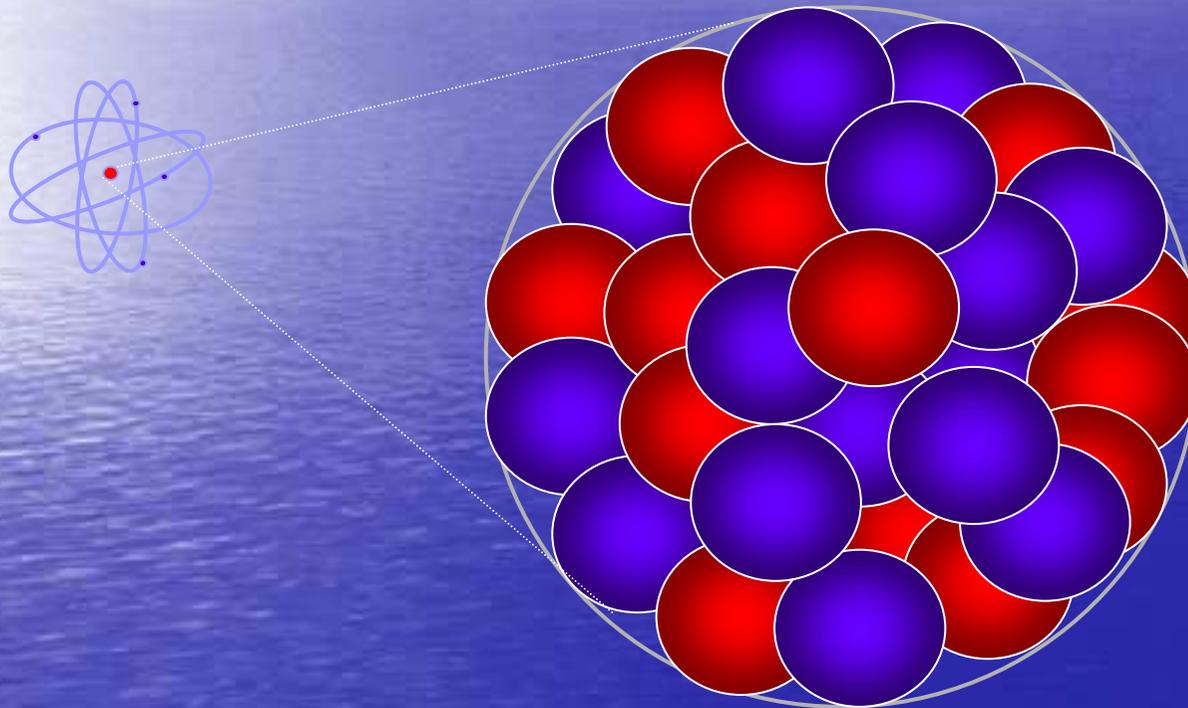
Необходимо переходить на квантовое описание.





$10^{-10}$  m

# Структура ядер



$10^{-14}$  m

Ядра состоят из  
протонов с зарядом  
+e и незаряженных  
нейтронов

# Космические лучи



В.Гесс

- Космические лучи представляют собой частицы, которые образовались в результате эволюции Вселенной.
- Первичная и вторичная компоненты КЛ.
- Частицы имеют очень широкий диапазон энергий.
- КЛ можно использовать как источник частиц высокой энергии.

# Вещество и антивещество



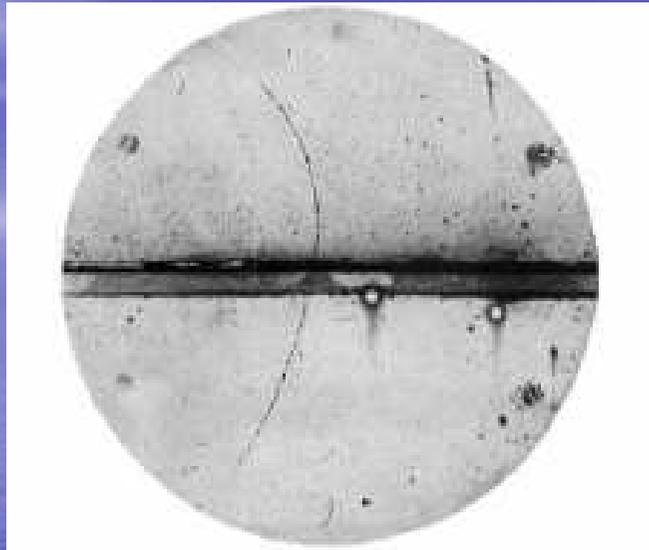
П.Дирак

Написал релятивистское уравнение для электрона из которого следовало существование антиэлектрона.

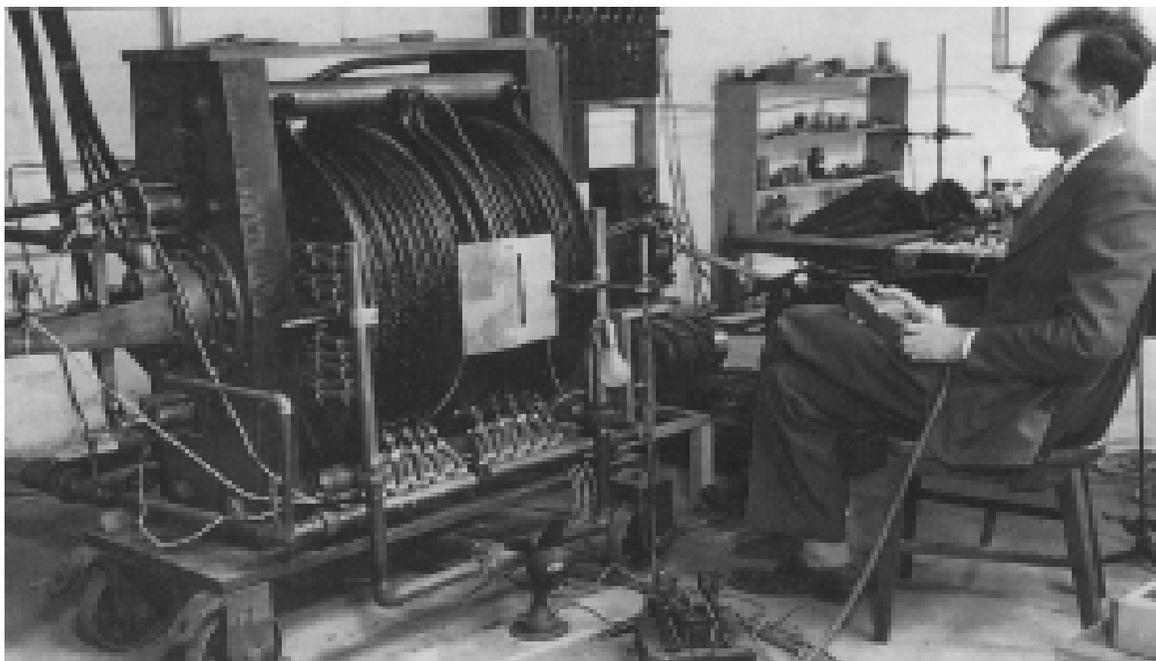
# Первая в мире фотография позитрона



К.Андерсон



Андерсон впервые наблюдал в КЛ антиэлектрон, который он назвал позитроном.



# ПЕРВАЯ ЗАГАДКА

Почему Вселенная не содержит  
антивещества?

# «Тяжелый электрон»

## МЮОН

Мюон обладает свойствами электрона, но в 200 раз тяжелее его



С.Неддермеер



К.Андерсон

# Ядро состоит из протонов и нейтронов



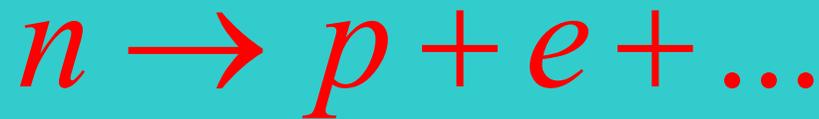
Существование нейтронов было экспериментально доказано Чедвигом в 1932 г. Он же измерил его массу.

**Масса нейтрона оказалась на 0,1% больше массы протона.**

Это имеет принципиальное значение, т.к. нейтрон оказывается не стабильным

Время жизни нейтрона 856 сек.

# Бета-распад



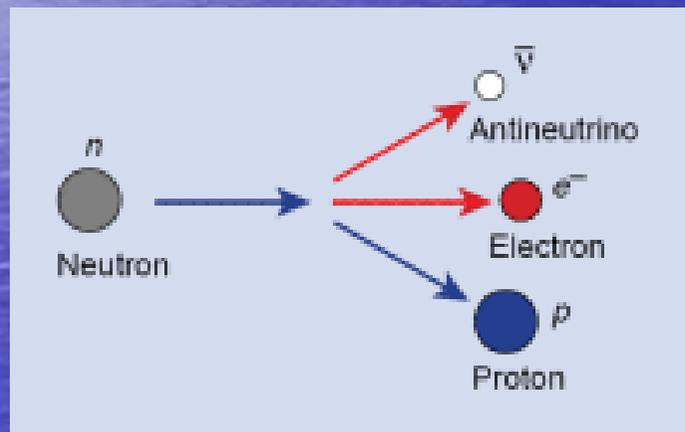
За распад нейтрона (бета-распад) ответственны особые взаимодействия, которые называют **СЛАБЫМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ**

Характерной особенностью слабых взаимодействий по сравнению с э.м. является то, что они короткодействующие. Их радиус взаимодействия намного превышает размер протона.

# Нейтрино

Исследование законов сохранения в бета-распаде показало на нарушение законов сохранения энергии и импульса!

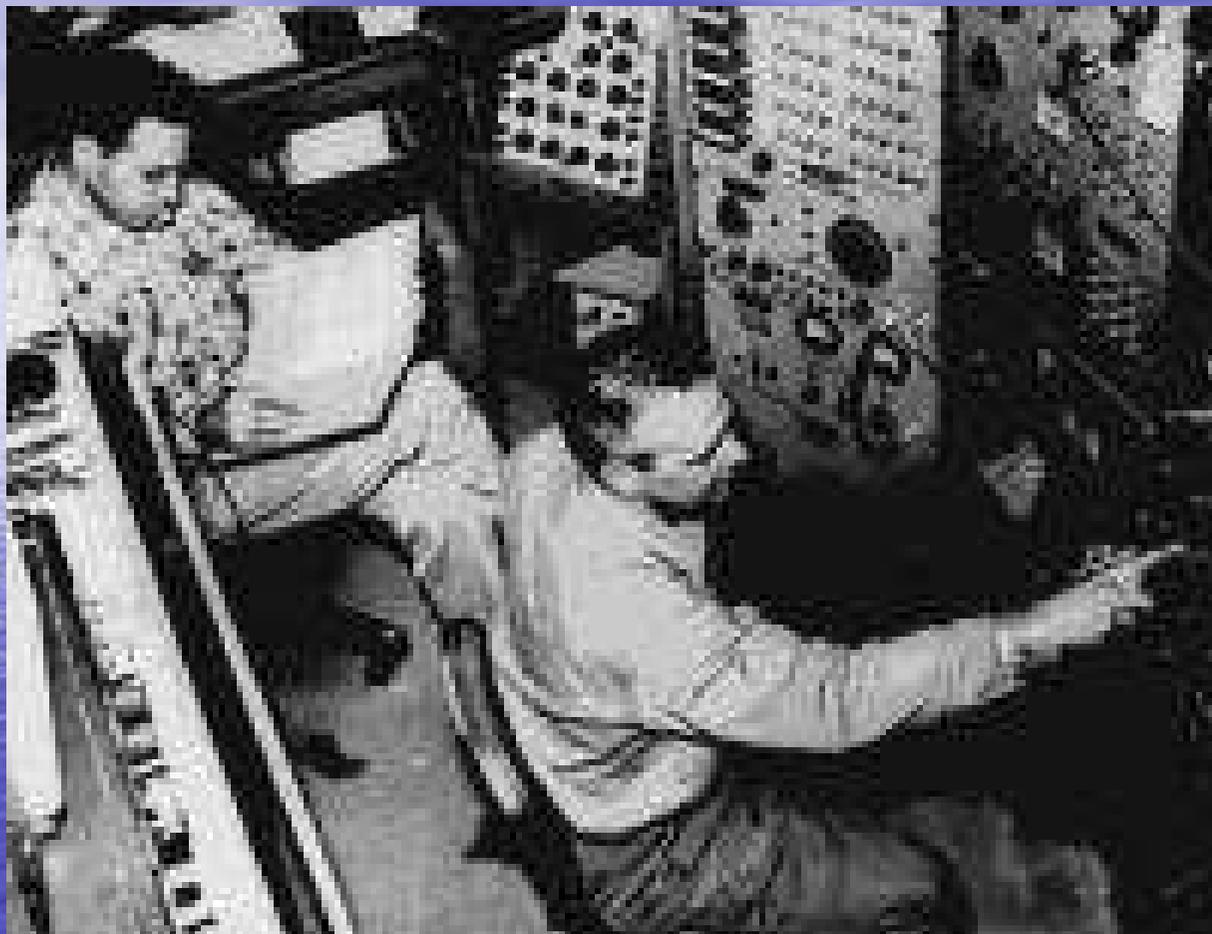
Для того, чтобы они выполнялись можно допустить существование новой невидимой частицы, **нейтрино**.



В.Паули. Предсказал существование нейтрино.



Только через 25 лет после предсказания Паули  
нейтрино было открыто экспериментально



Райнес и Коэн а  
лаборатории. Они  
впервые  
наблюдали  
антинейтрино  
экспериментально.

1956 г.

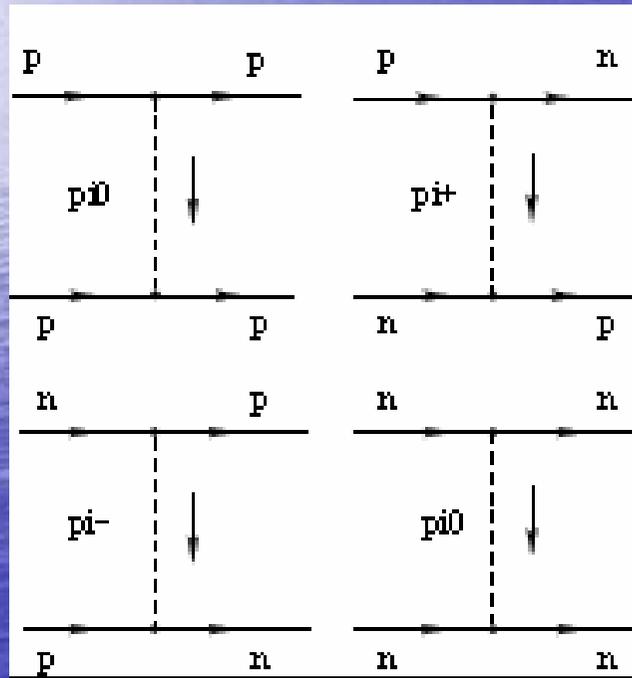
# Ядерные силы (сильные взаимодействия)

## Что удерживает протоны и нейтроны в ядре?

- Эти силы не могут быть э.м.
- Радиус действия этих сил порядка размера ядра
- Новые взаимодействия должны быть на много порядков сильнее, когда расстояние между составляющими ядра порядка размера ядра
- Они не должны зависеть от электрического заряда



Х.Юкава. Предложил теорию ядерных сил, на основании которой предсказал существование новой частицы пи-мезона.

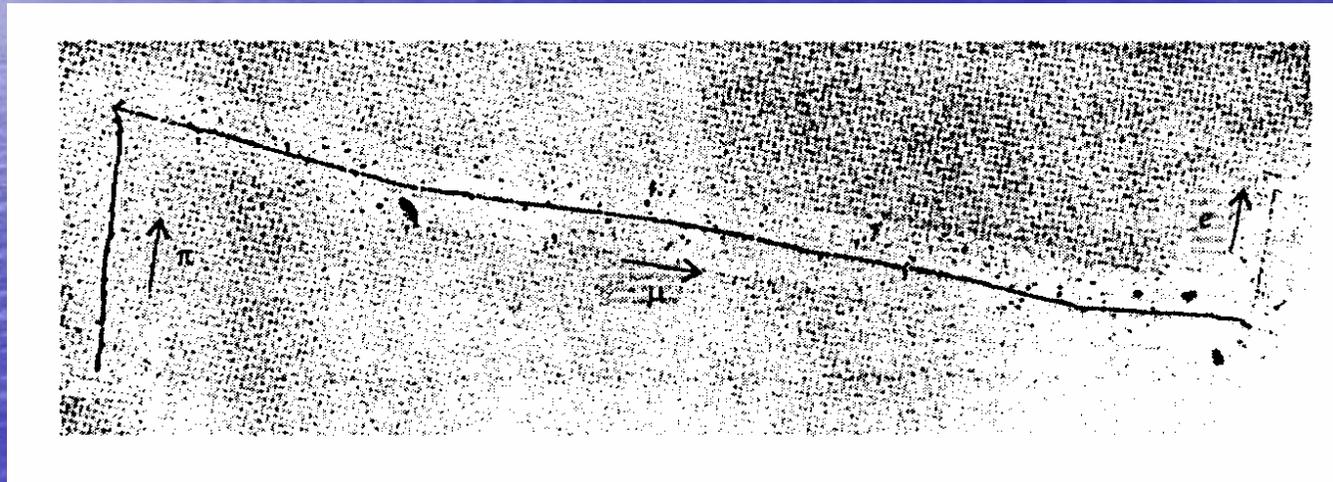


Из теории Юкавы следовало, что:

- масса пи-мезона должна быть равной 300 массам электрона.
- должно существовать три пи-мезона с зарядами +, - и 0.



В 1947 г. в фотоэмульсиях облученных косм. лучами С.Пауэлл нашел следы от заряженных пи-мезонов.



# Открытие странности

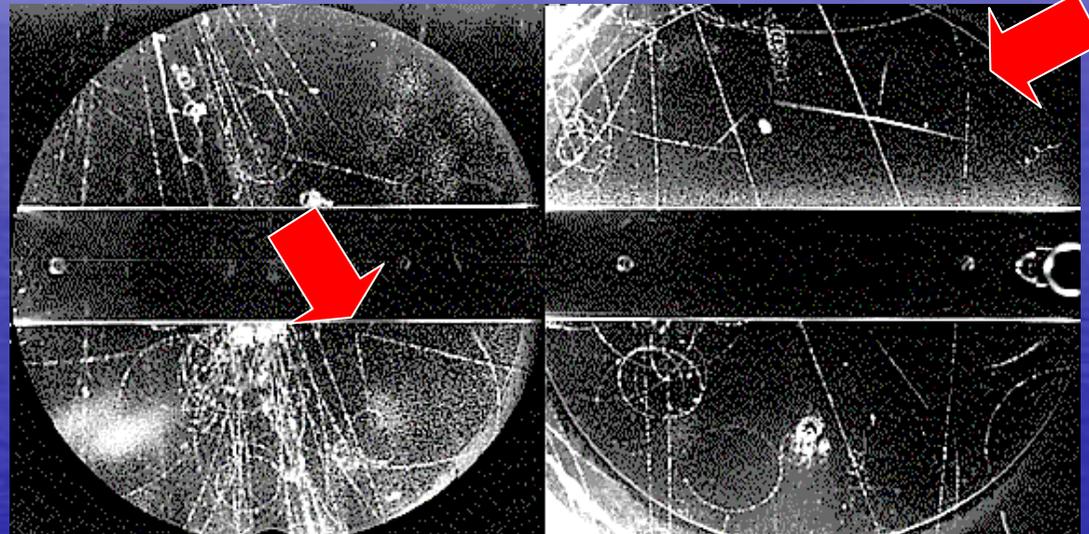


БАТЛЕР

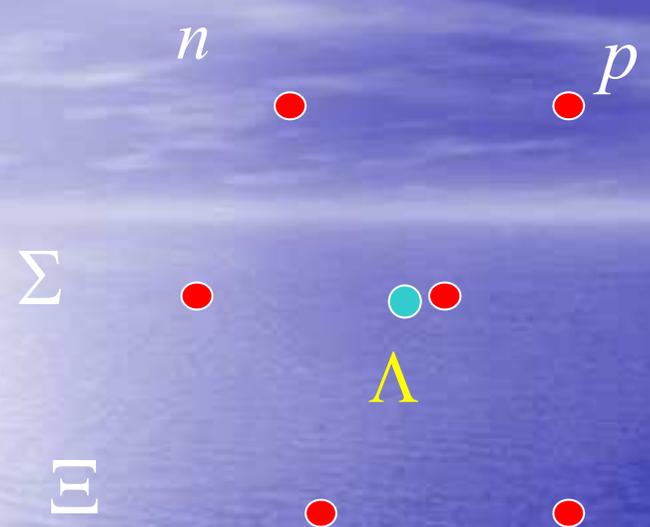


РОЧЕСТЕР

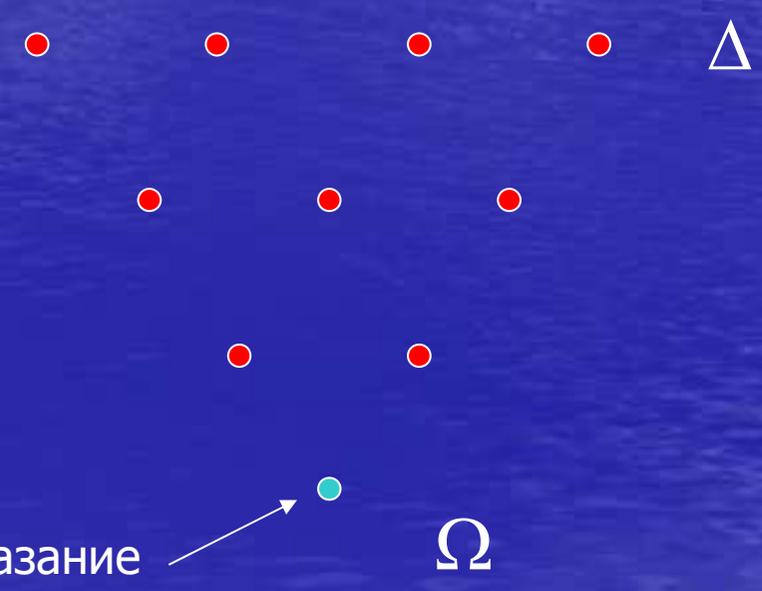
1949 г.



Позже были открыты и другие странные частицы



Частицы группируются в группы  
Их свойства можно предсказать  
теоретически



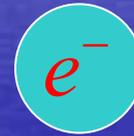
# Фундаментальные частицы (1963)

$$Q = +\frac{2}{3}q_0$$




$$Q = 0$$

$$Q = -\frac{1}{3}q_0$$

$$Q = -q_0$$

**КВАРКИ**

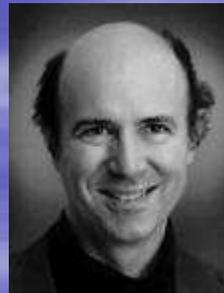
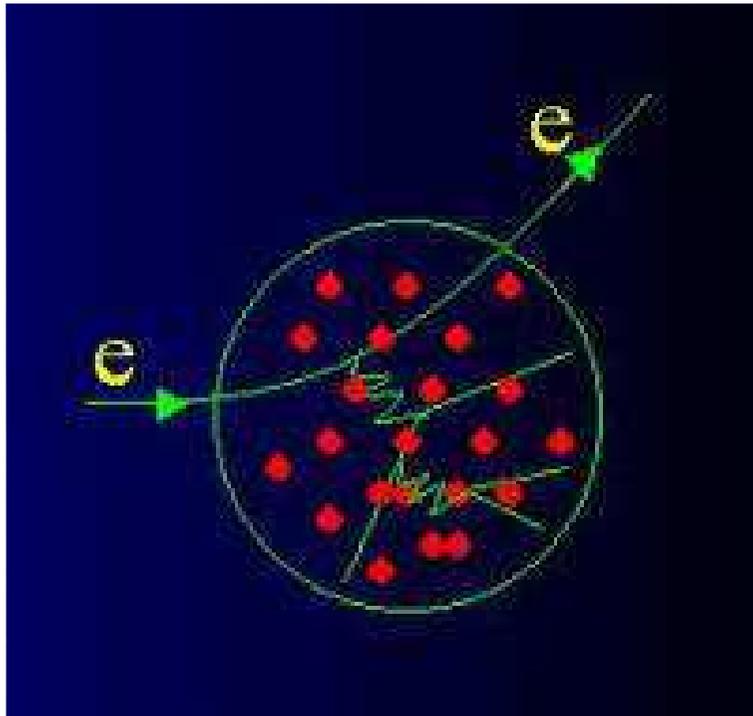
**ЛЕПТОНЫ**



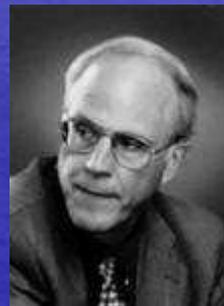
Гелл-Манн



Цвейг



Вилчек



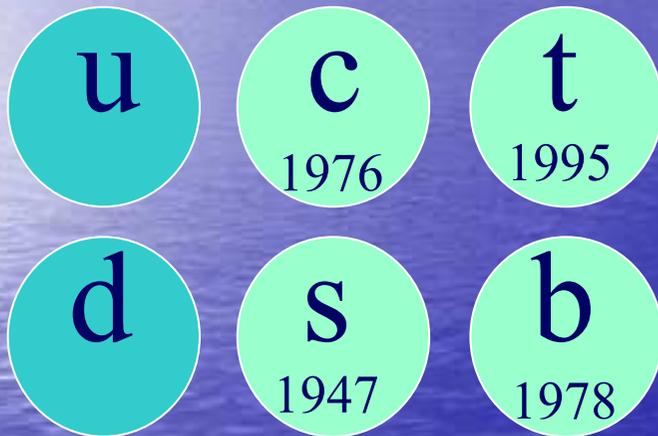
Гросс



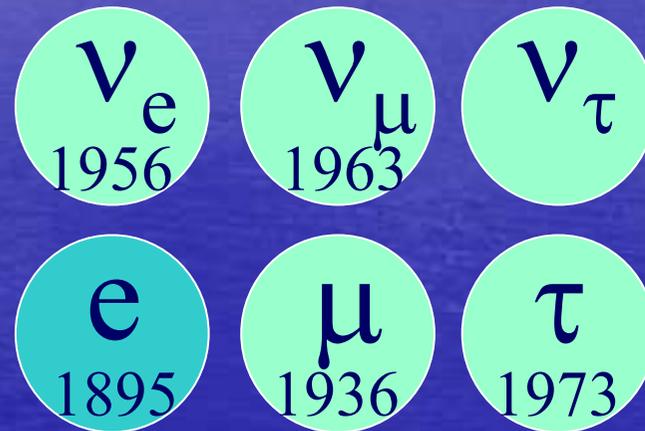
Полицер



# "Зоопарк" постепенно разрастался



Шесть  
кварков



Шесть лептонов

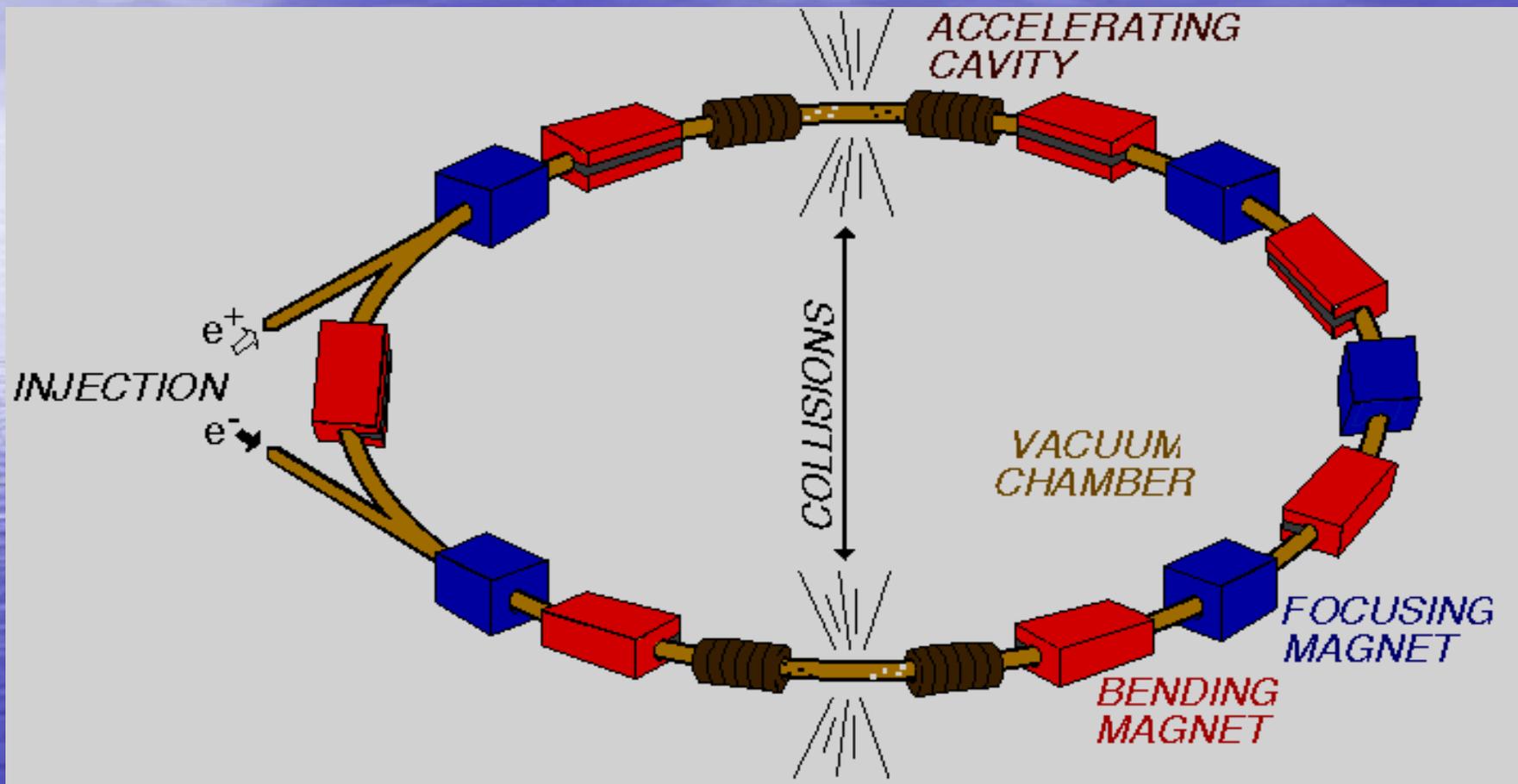
# ВТОРАЯ ЗАГАДКА

Из-за чего возникает симметрия между  
кварками и лептонами?

# Третья загадка

Почему существует три поколения кварков и лептонов?

# The LEP accelerator



Energy of electrons and positrons is about 100GeV

# CERN

Europe's research laboratory for particle physics in Geneva.



# Inside the LEP tunnel

LEP is 27km in circumference

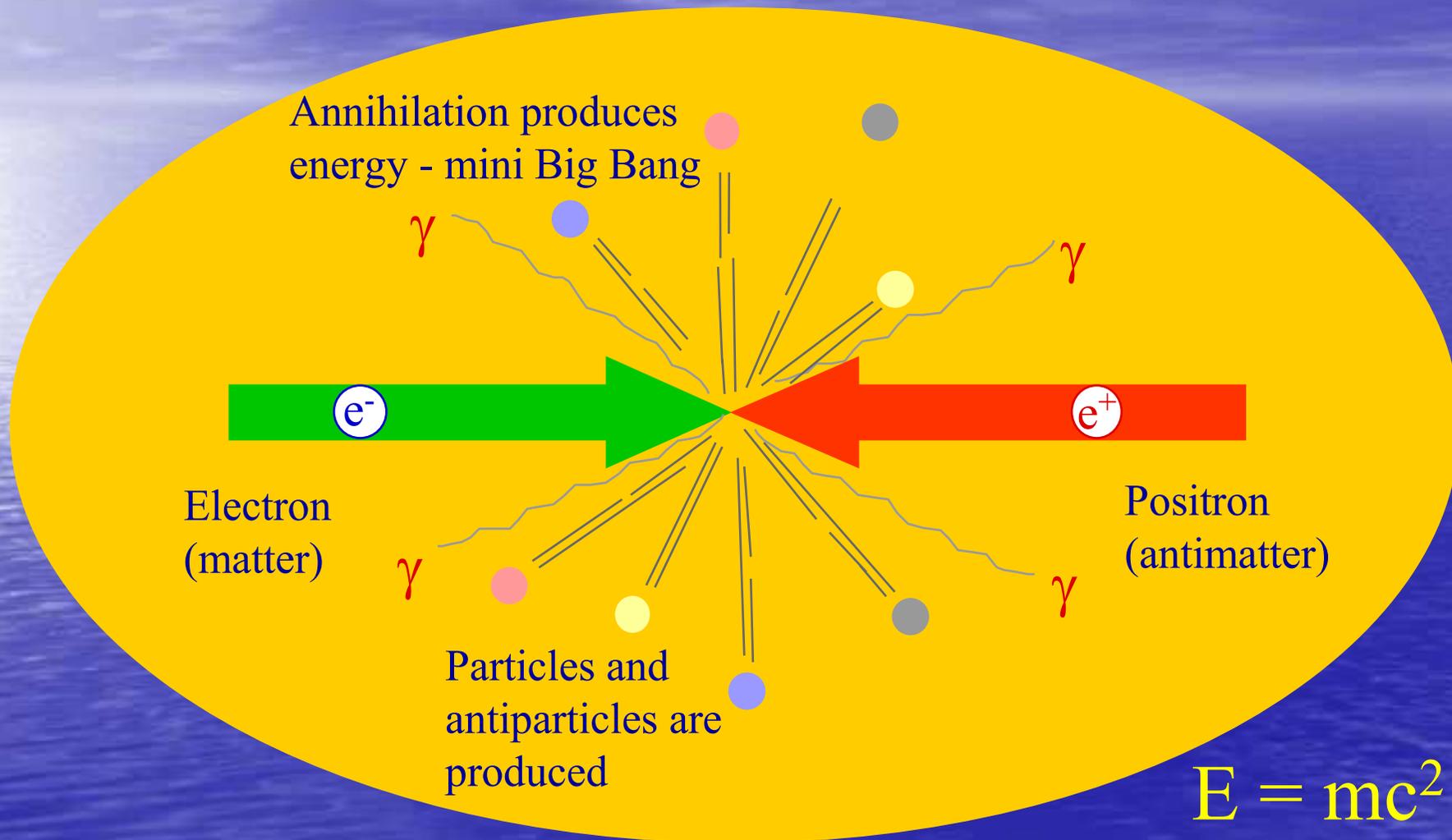
Four bunches of electrons and positrons circulate inside the vacuum pipe

100 $\mu$ s for a complete circuit

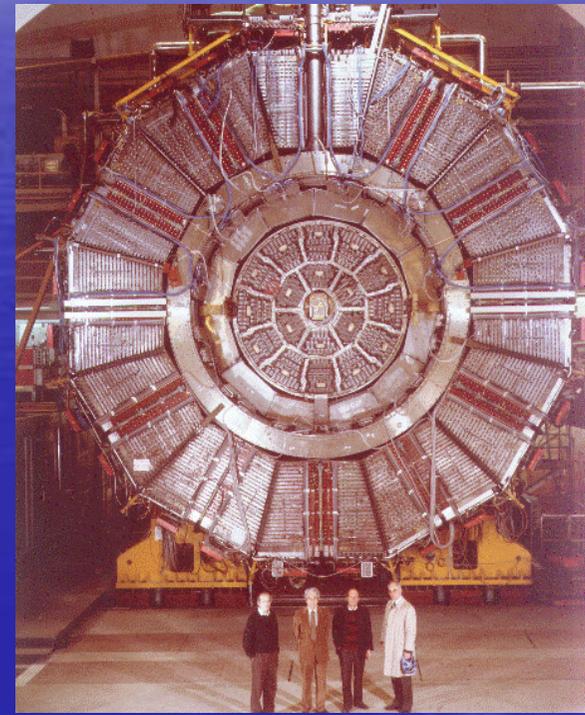
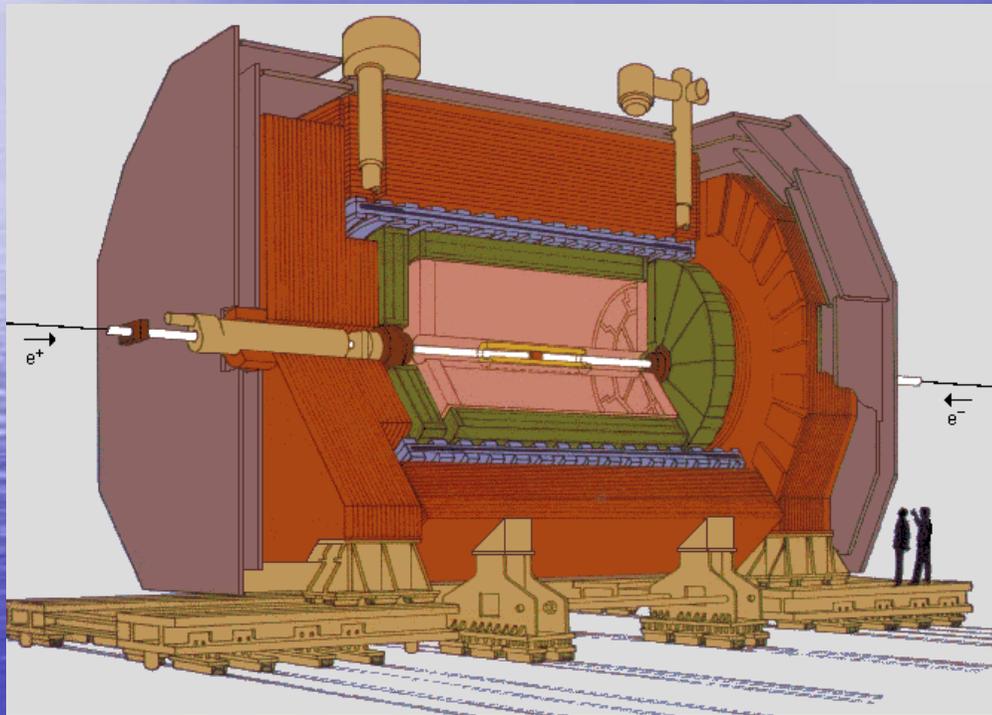
About one electron-positron collision per second



# Электрон-позитронные соударения

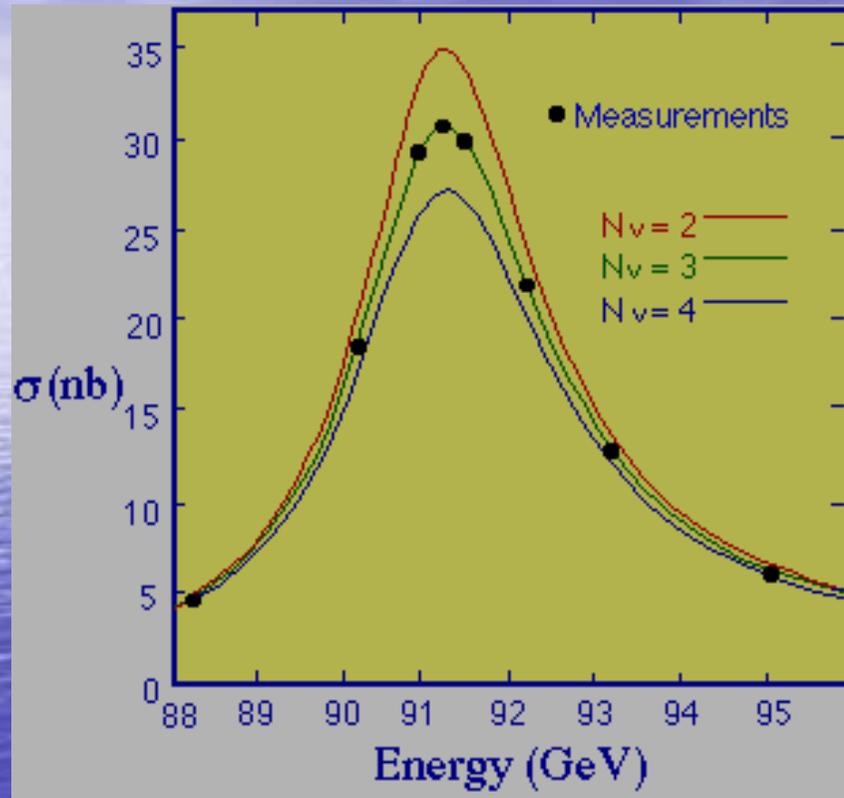


# Детектор ALEPH



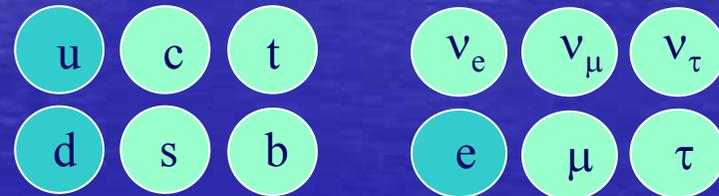
End view

# Три нейтрино ...

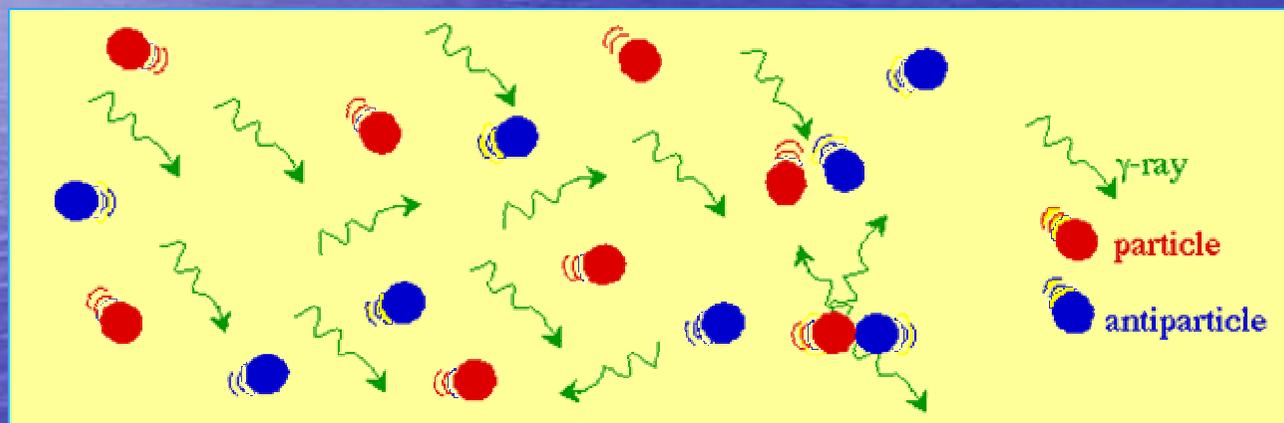


$\sigma$  measures rate at which  
 $e^+e^-$  collisions occur

Число различных  
нейтрино =  $2.984 \pm 0.008$



# Эволюция материи и антиматерии



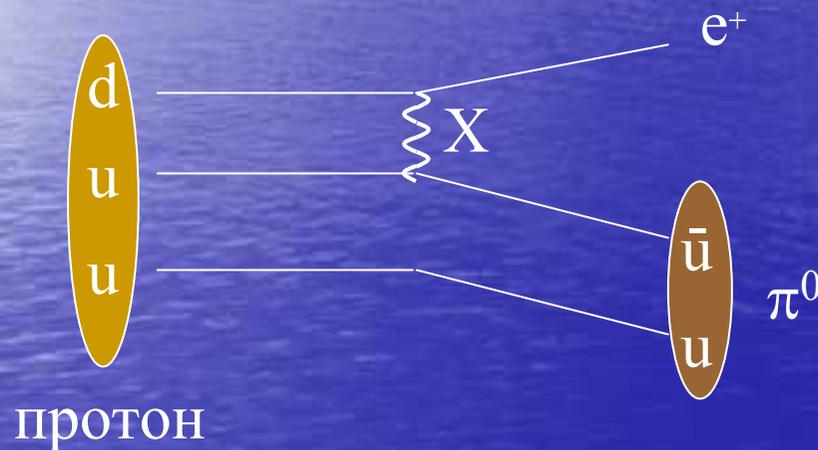
- Нарушение CP-симметрии
- Распад протона
- Ряд других условий

# Распад протона

Время жизни протона

$\tau > 10^{31}$  лет

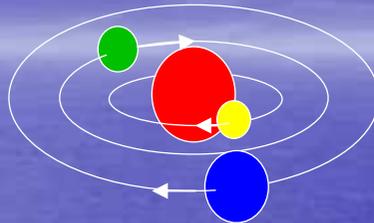
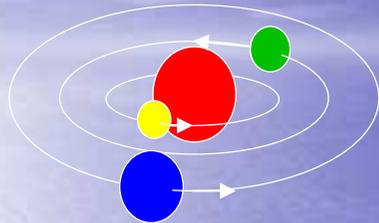
Время жизни Вселенной  $\tau = 13.7$  Гигалет  $\sim 10^{10}$  лет



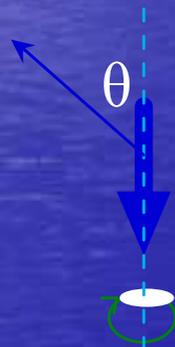
Распадаясь протон превращается в лептон и кварк-антикварковые пары. Этот процесс существенен на начальных этапах Великого Взрыва

Однако антипротоны распадаются подобным образом

# Нарушение четности



Макросистемы обладают симметрией “правый-левый” (сохранение четности)



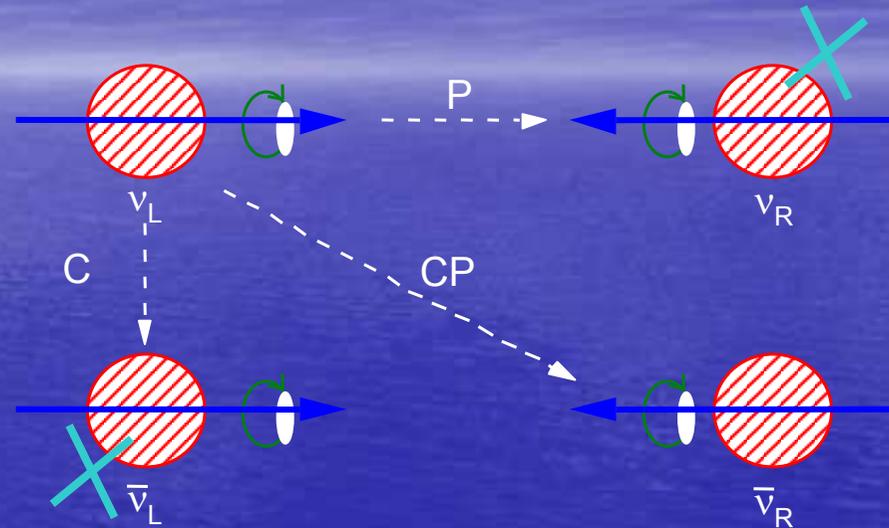
$\beta$ -распад не сохраняет четность (симметрия “правый-левый” нарушается)

Открыто в 1956 г. в распадах  $^{60}\text{Co}$ .

$$I(\theta) = 1 - \frac{v}{c} \cos \theta$$

# P нарушение - CP сохранение

Нарушение четности приводит к асимметрии нейтрино, существует только правое нейтрино!

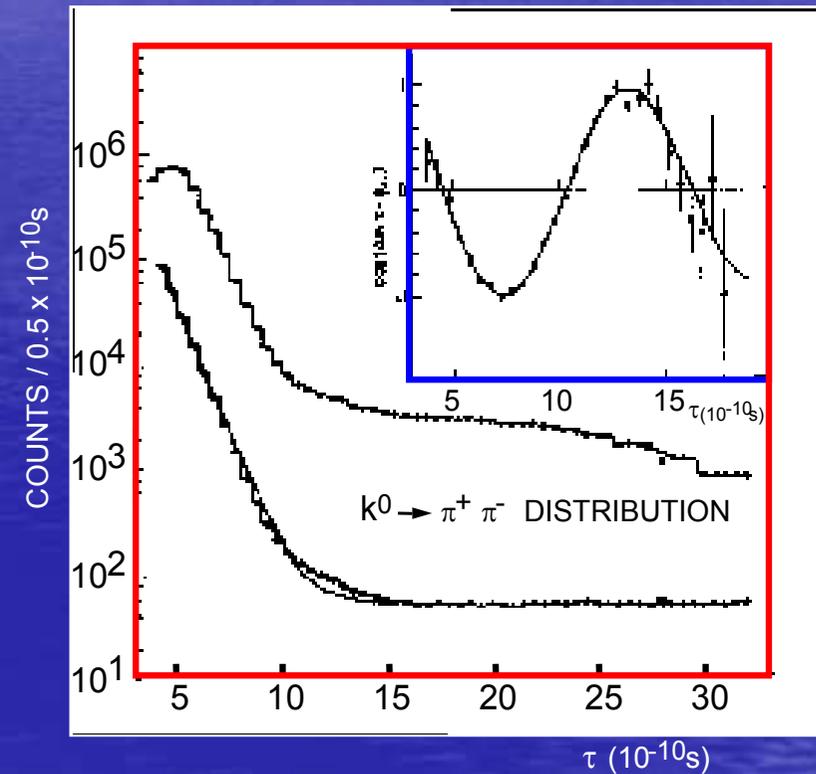
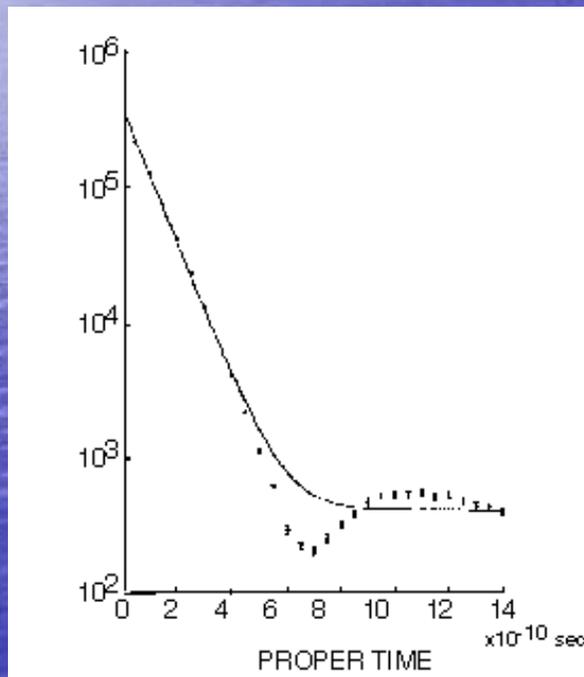


Нарушение P компенсируется за счет дополнительной замены частицы на античастицу (C замена)

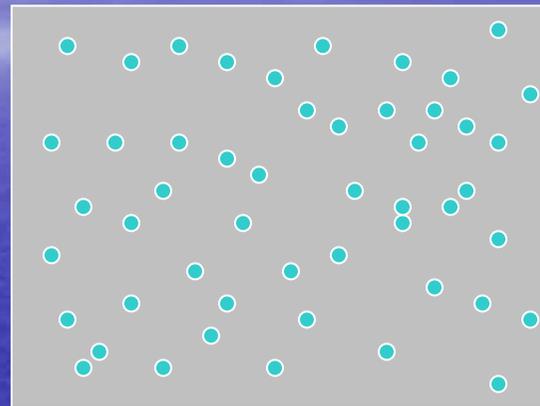
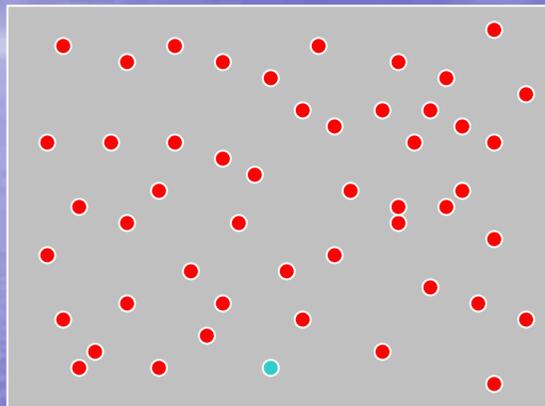
“CP сохранение”

# CP нарушение

Приводит к красивому эффекту  
интерференции в распадах  
нейтральных K-мезонов



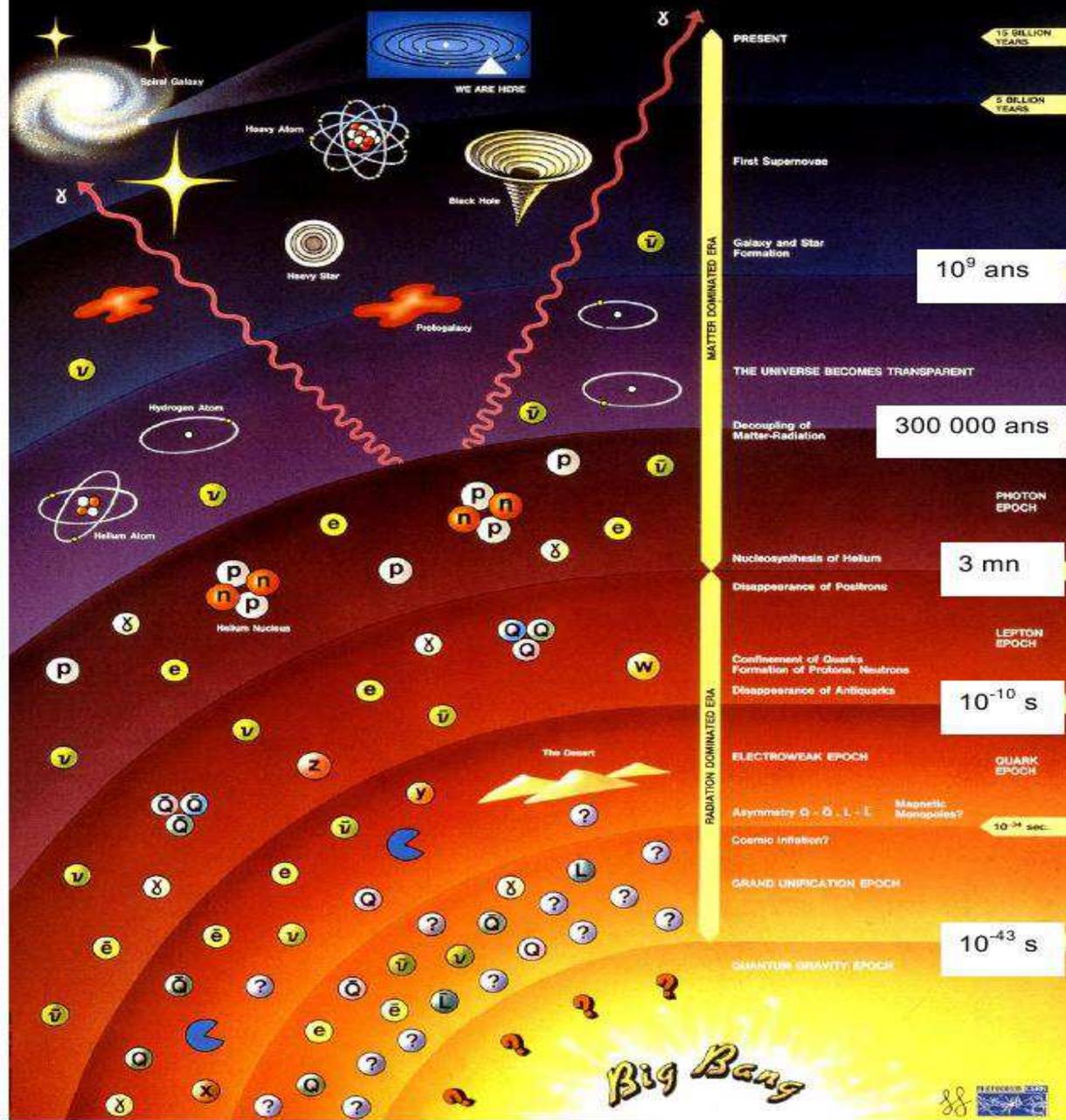
# Вселенная с CP нарушением



Один из  $10^9$  антикварков перейдет в кварк на начальной стадии развития Вселенной

Остальные аннигилируют с кварками. Останется один протон на  $10^9$  фотонов

# History of the Universe





Прибор, на котором  
Андерсон впервые  
увидел античастицу

Детектор ATLAS

