

Введение в специальность: «Прикладная физика и наноматериалы»

ПРОТОНЫ, ЭЛЕКТРОНЫ, НЕЙТРИНО, КВАРКИ,
...
ВСЕЛЕННАЯ

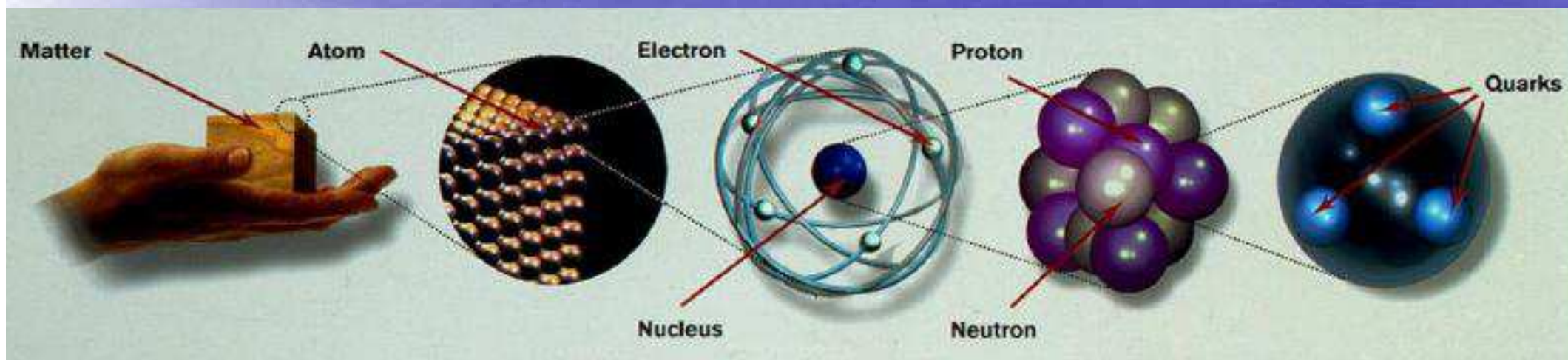
А.П.Кобушкин

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

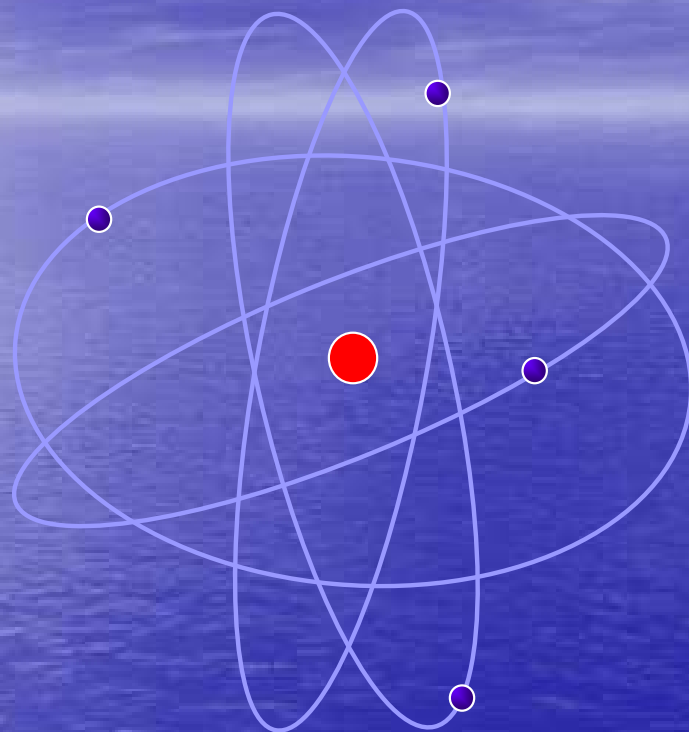
**ПРОТОНЫ, ЭЛЕКТРОНЫ,
НЕЙТРИНО, КВАРКИ,**

...

ВСЕЛЕННАЯ

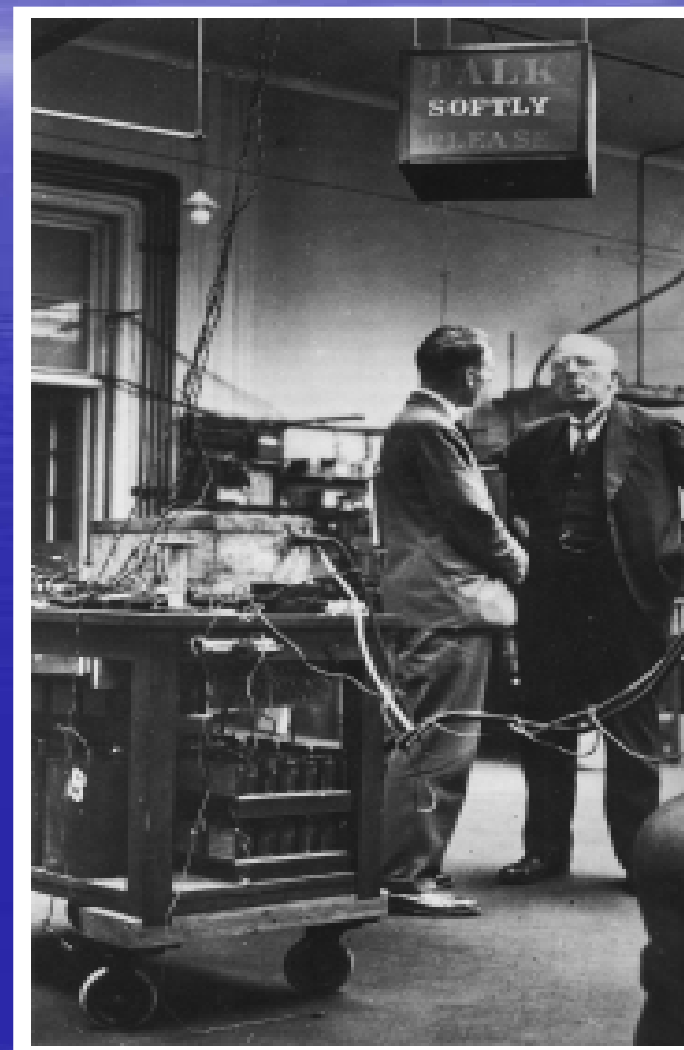


Открытие атомного ядра (1914 г.)



10^{-10} m

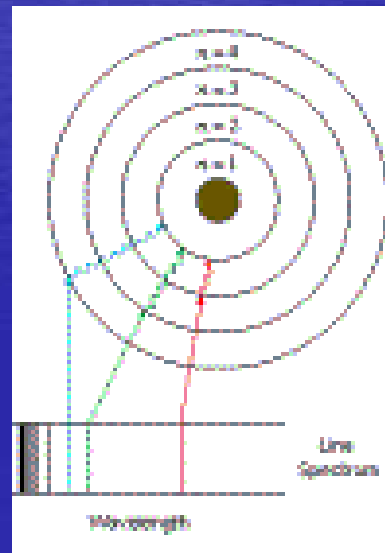
Атом имеет планетарную структуру: заряженное ядро окружено электронами.



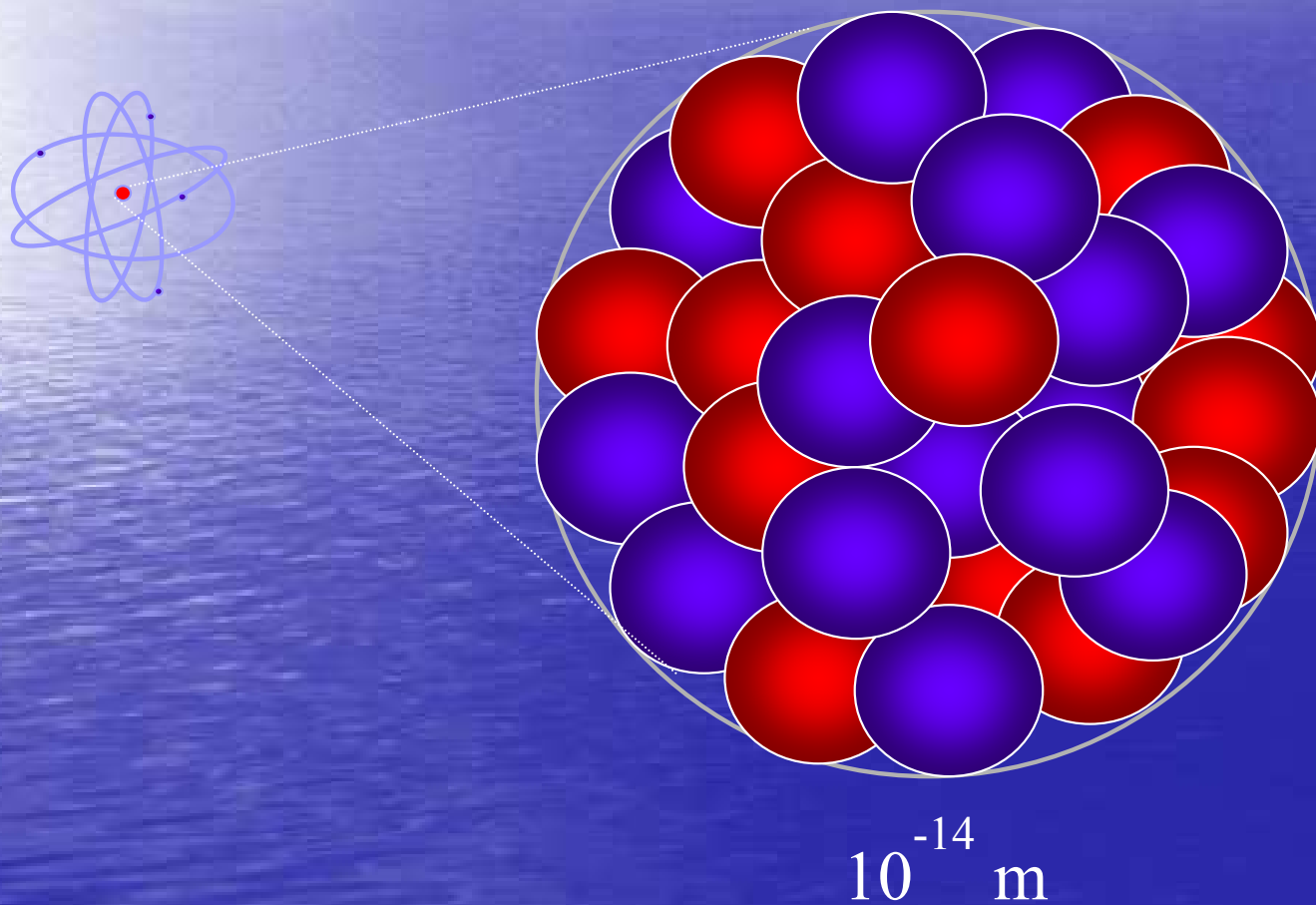


Структура атома не описывается классической физикой.

Необходимо переходить на квантовое описание.



Структура ядер



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

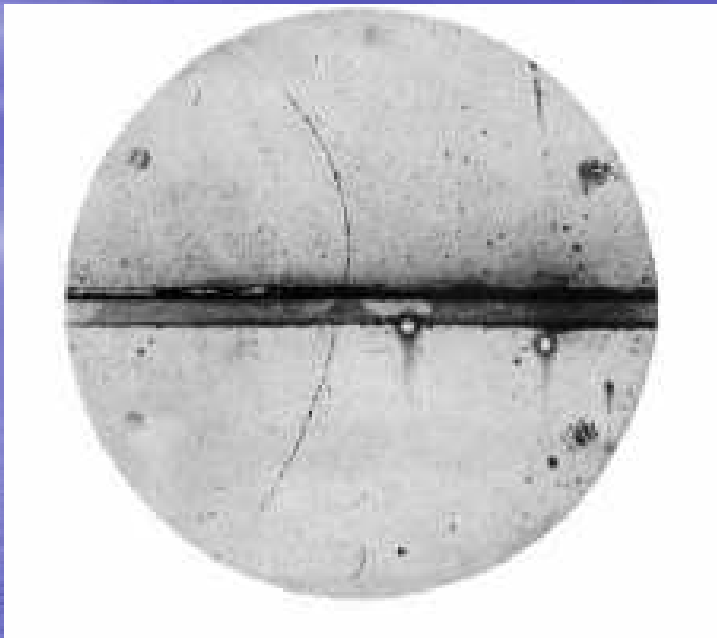
Написал релятивистское уравнение для электрона из которого следовало существование антиэлектрона.

Масса антиэлектрона равна массе электрона, но заряд имеет противоположный знак.

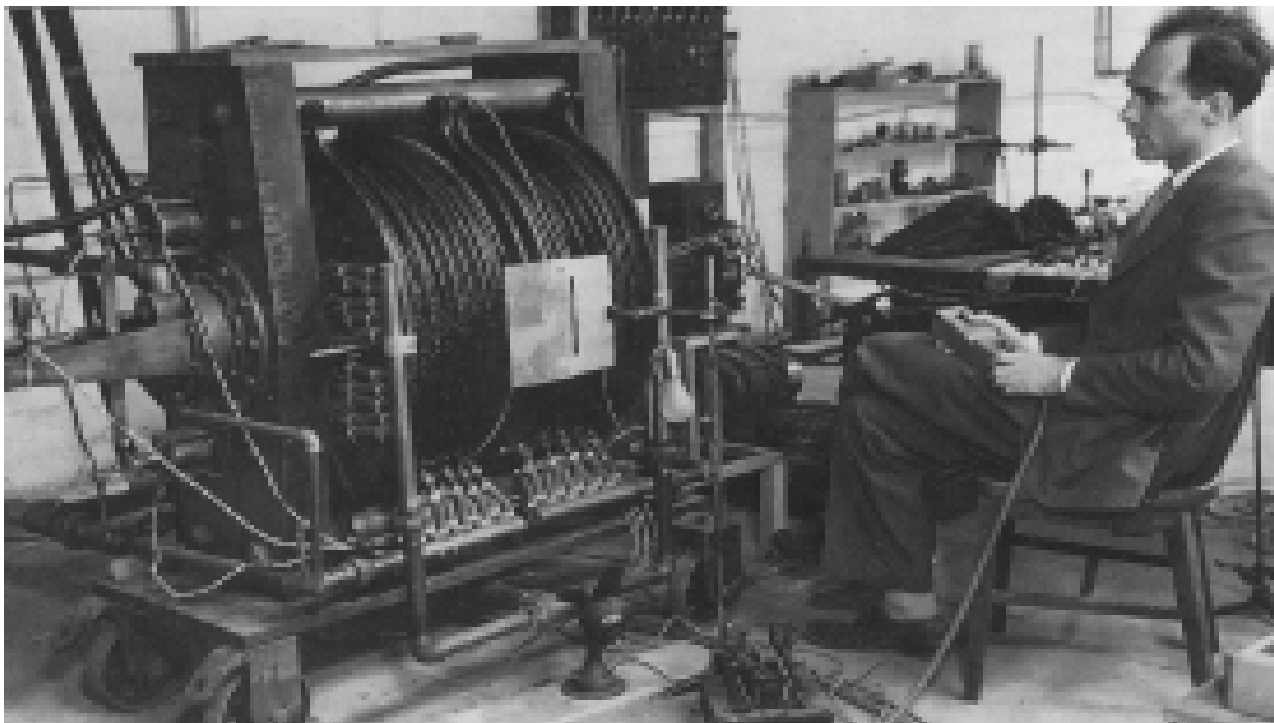
Первая в мире фотография позитрона



К.Андерсон



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



Открытие антипротона

О.Чемберлен с сотр.
1955 г.

Бэватрон, Батавия,
США



$$p + A \rightarrow \tilde{p} + \dots$$

$$T_p = 6,3 \text{ ГэВ}$$

На один рожденный антипротон рождалось
60 000 пи-мезонов

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

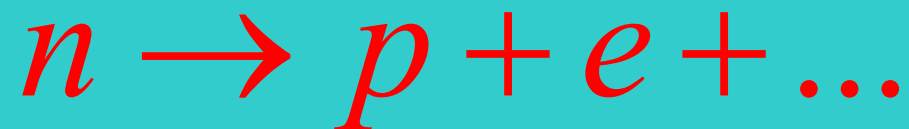


Существование нейтронов было экспериментально доказано Чедвигом в 1932 г. Он же измерил его массу.

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

Это имеет принципиальное значение, т.к.
нейтрон оказывается не стабильным
Время жизни свободного нейтрона 856 сек.

Бета-распад



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

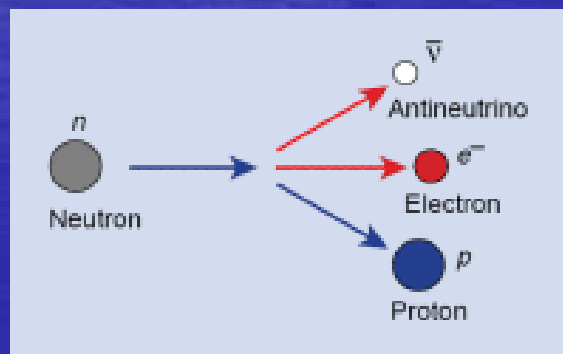
СЛАБЫМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ

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

Нейтрино

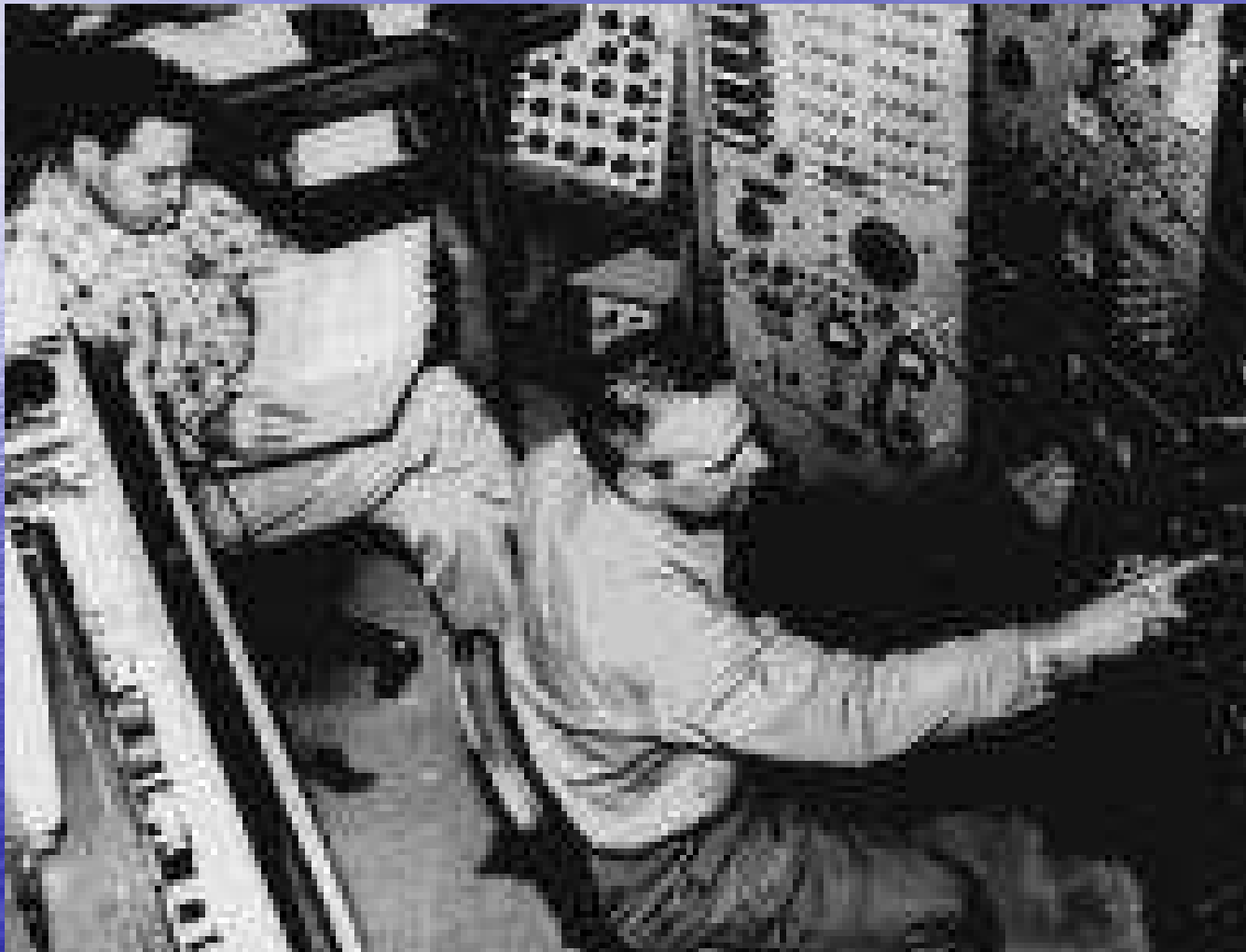
Исследование законов сохранения в бета-распаде указывало на нарушение законов сохранения энергии и импульса!

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 в
лаборатории. Они
впервые
наблюдали
антинейтрино
экспериментально.
1956 г.

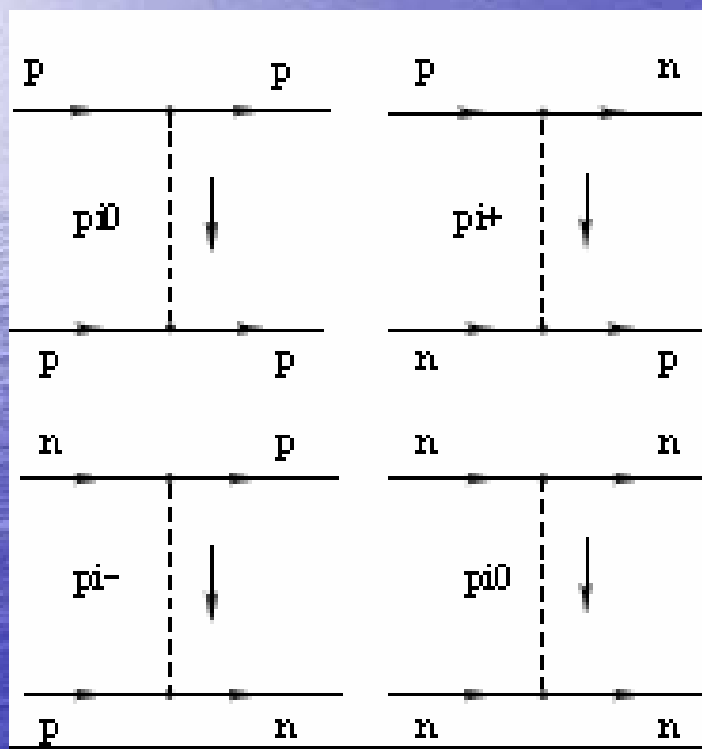
Ядерные силы (сильные взаимодействия)

Что удерживает протоны и нейтроны в ядре?

- Эти силы не могут быть э.м.
- Радиус действия этих сил порядка размера ядра ($\approx 10^{-15} \text{ м}$)
- 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 .

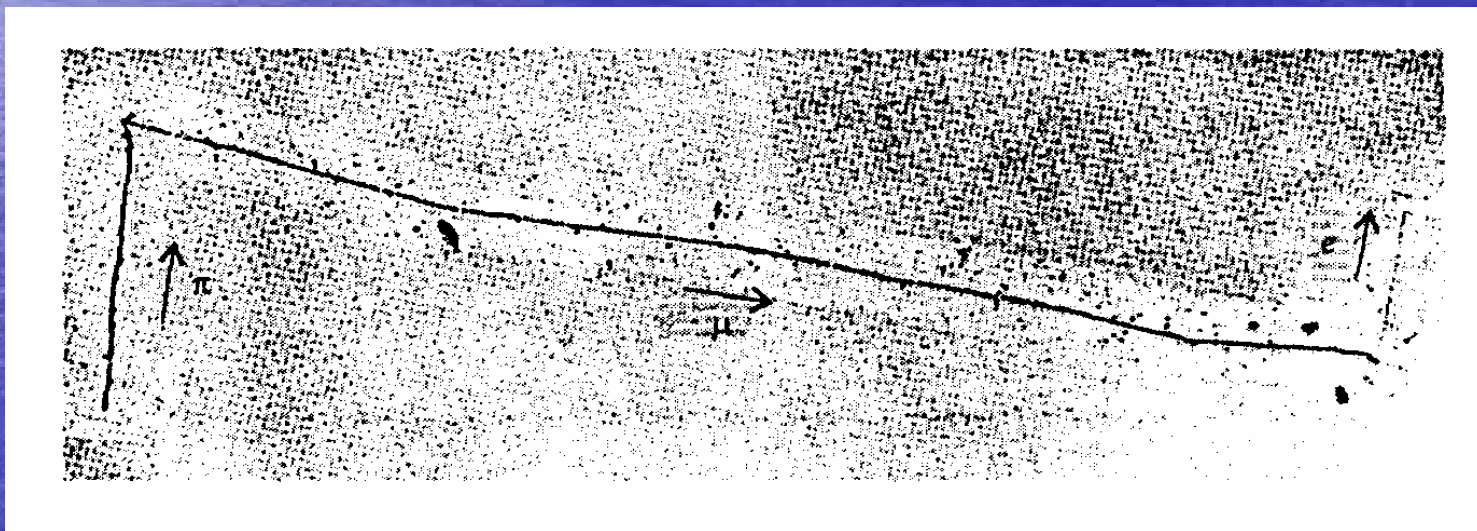


Из теории Юкавы следовало, что:

- 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

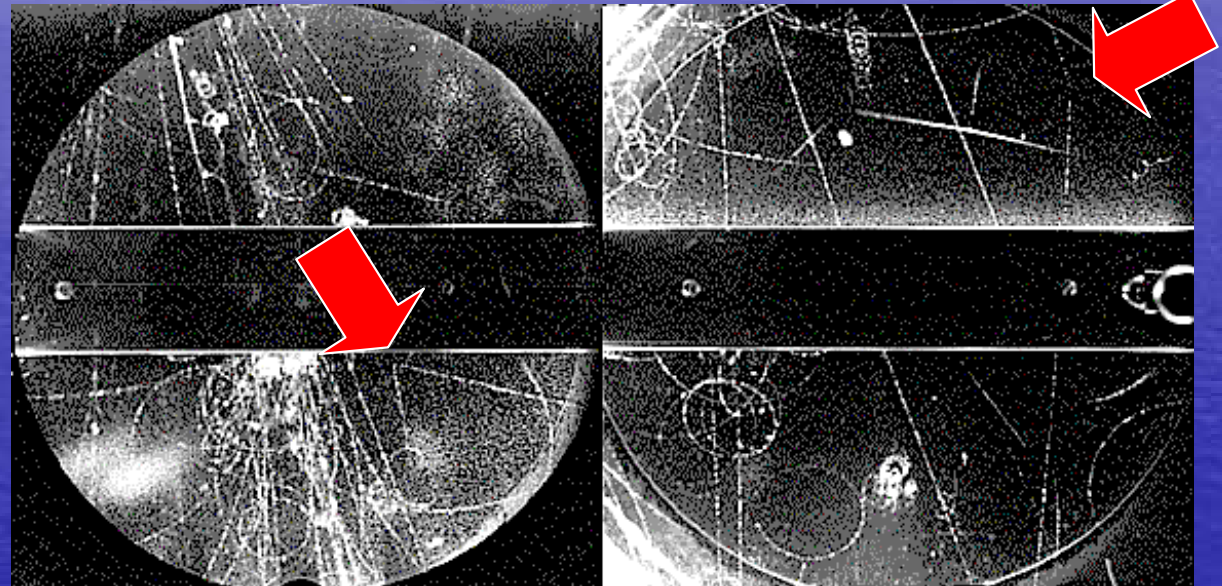


РОЧЕСТЕР

1949 г.

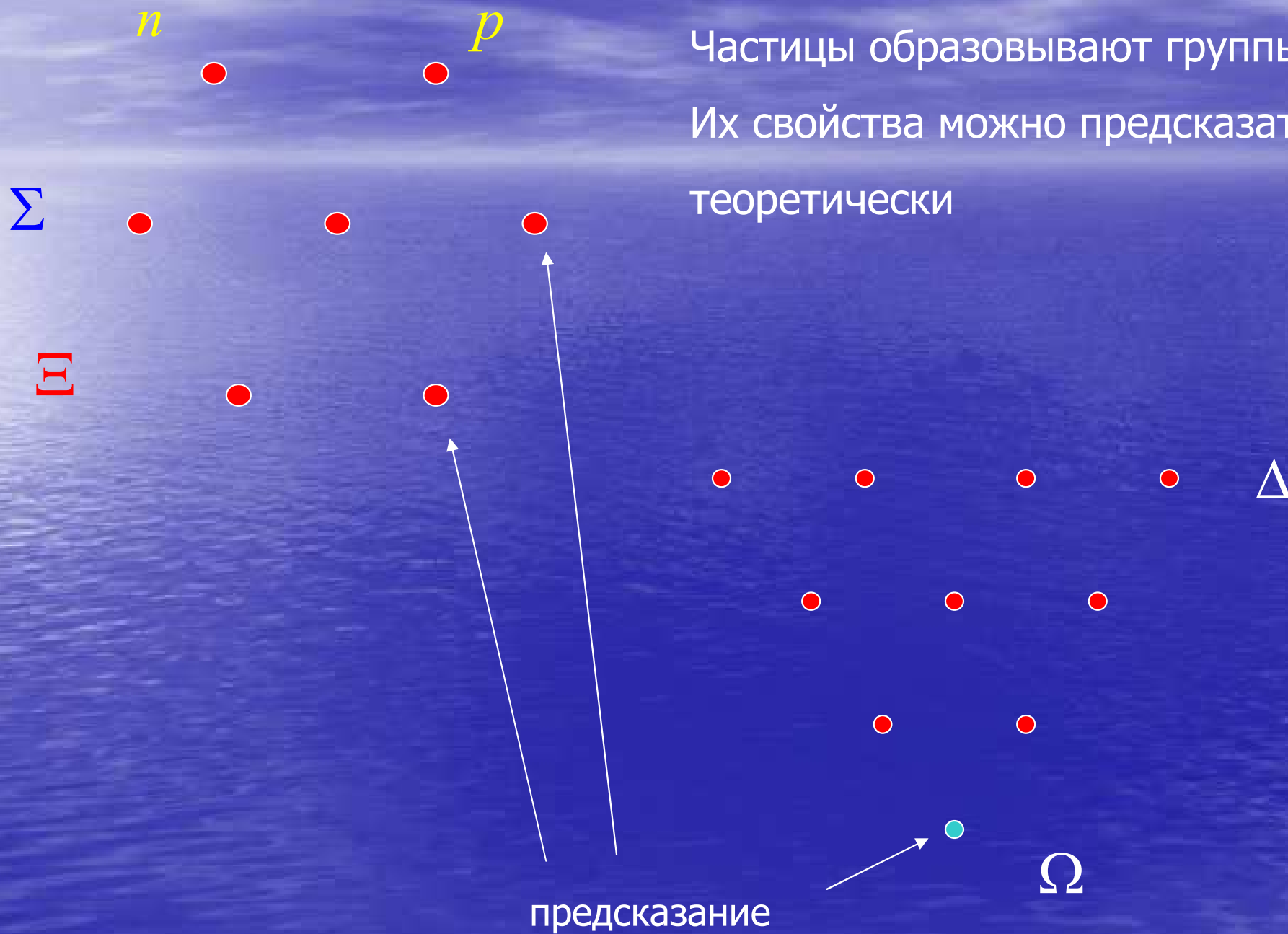
$$K^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$$

$$K^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$$



Позже были открыты и другие странные частицы

Частицы образуют 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

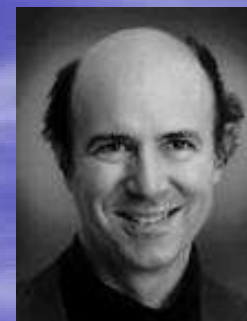
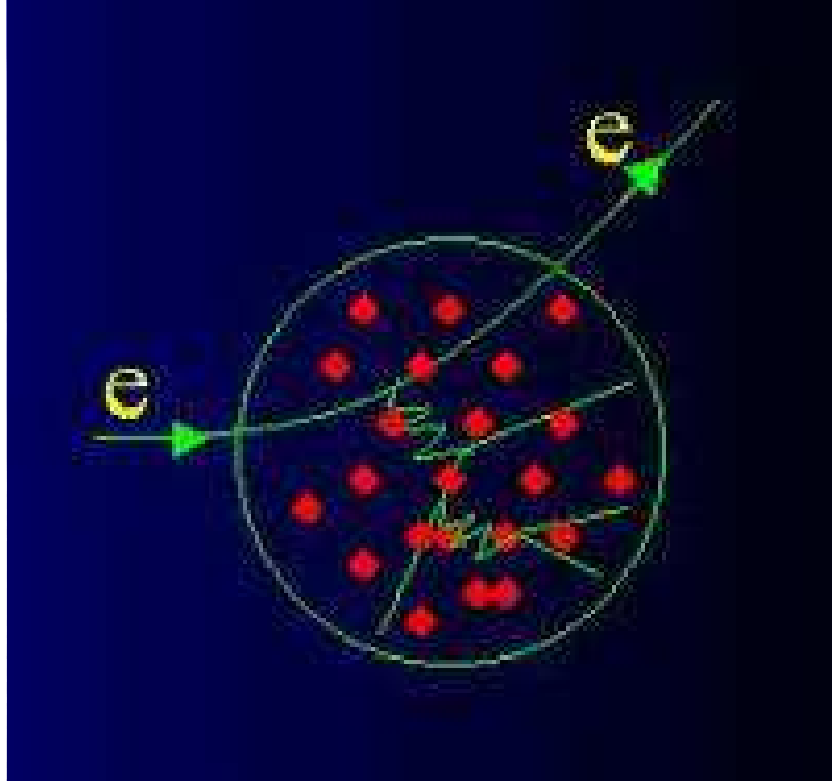
ЛЕПТОНЫ

Гелл-Манн

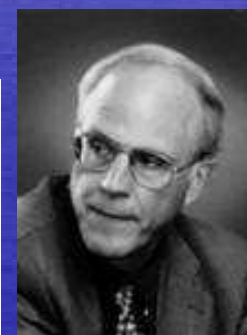


Цвейг





Вилчек



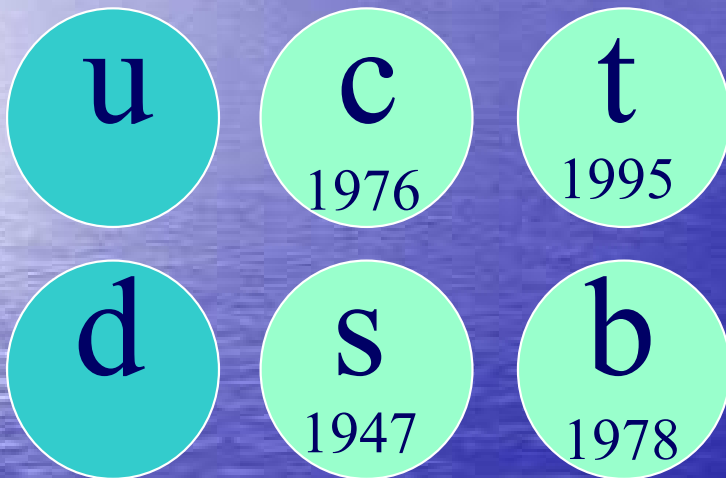
Гросс



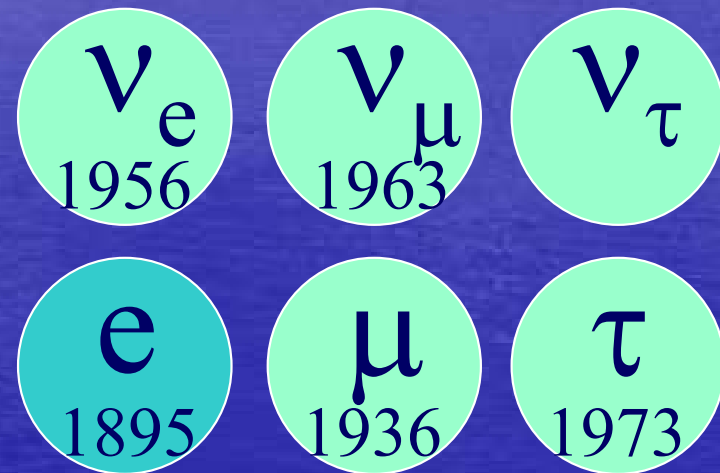
Полицер



"Зоопарк" постепенно разрастался



Шесть кварков



Шесть лептонов

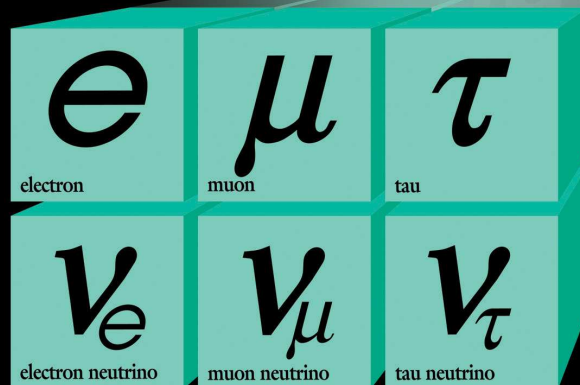
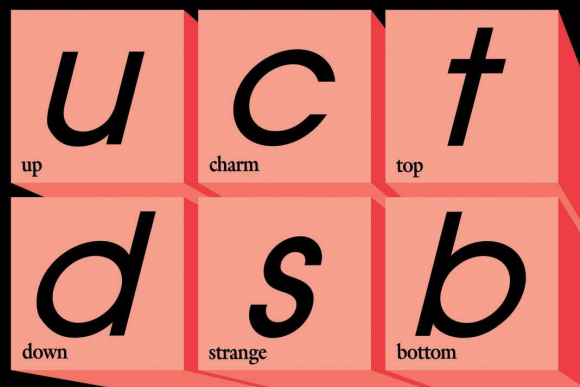
ВТОРАЯ ЗАГАДКА

Из-за чего возникает симметрия между
кварками и лептонами?

Третья загадка

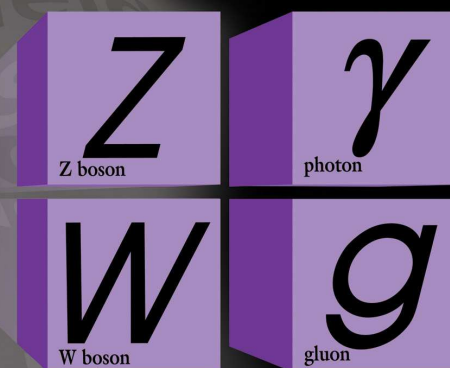
Почему существует три поколения кварков и лептонов?

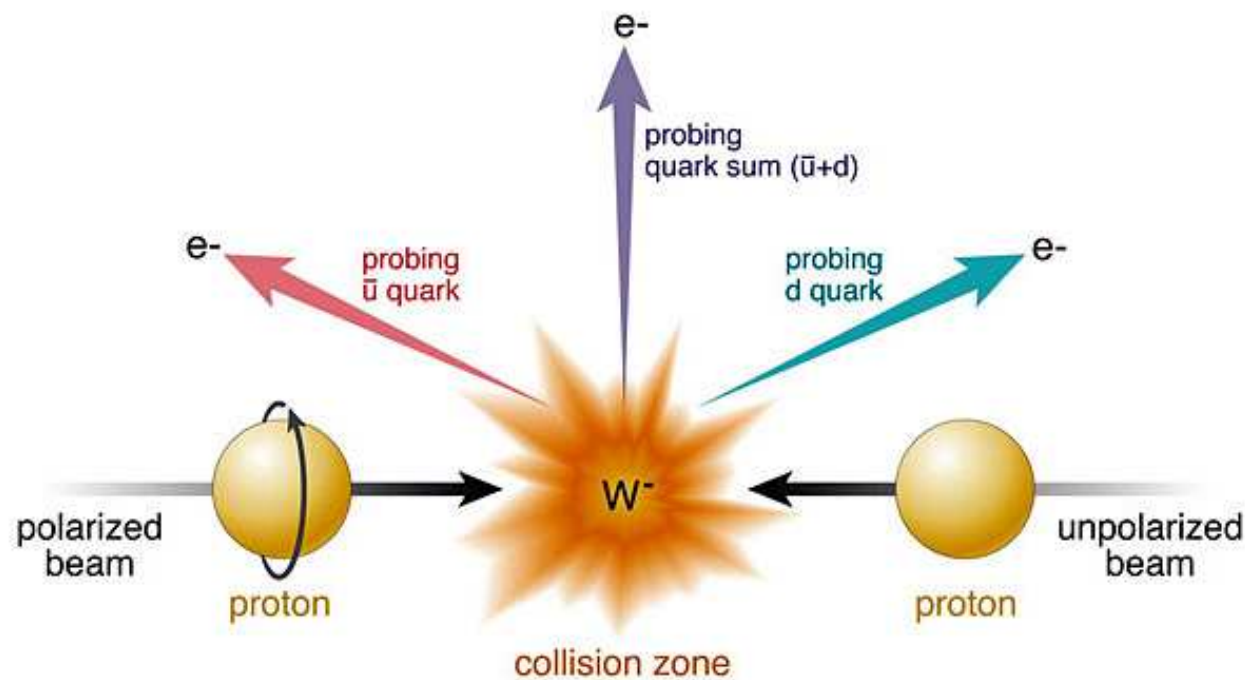
Quarks



Leptons

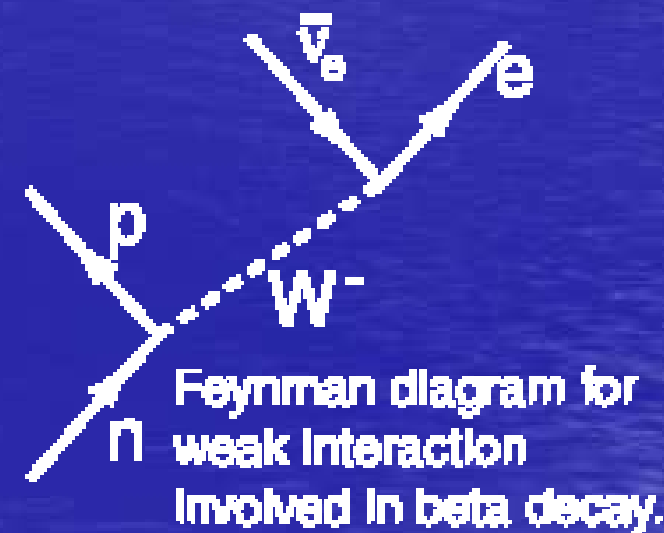
Forces

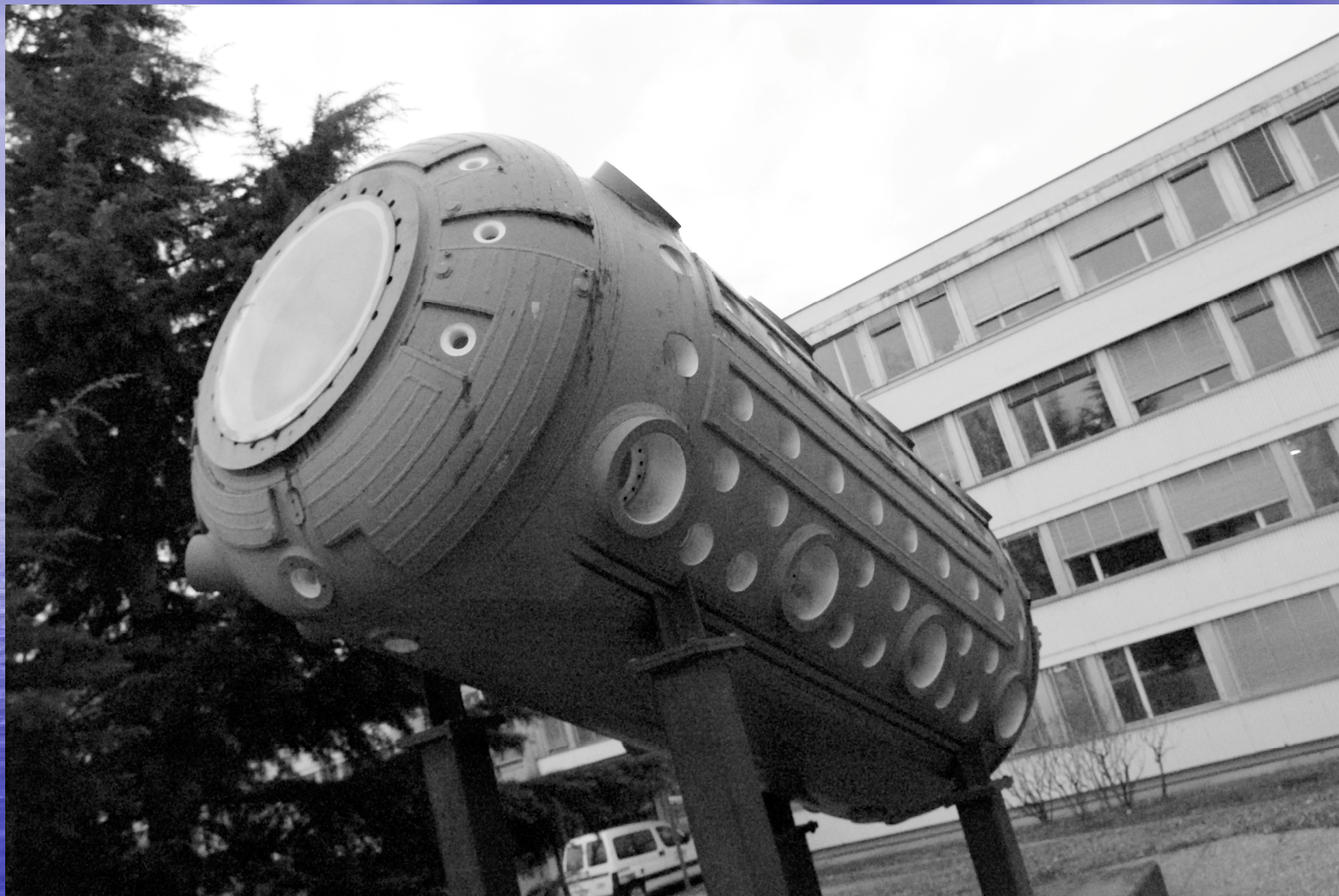


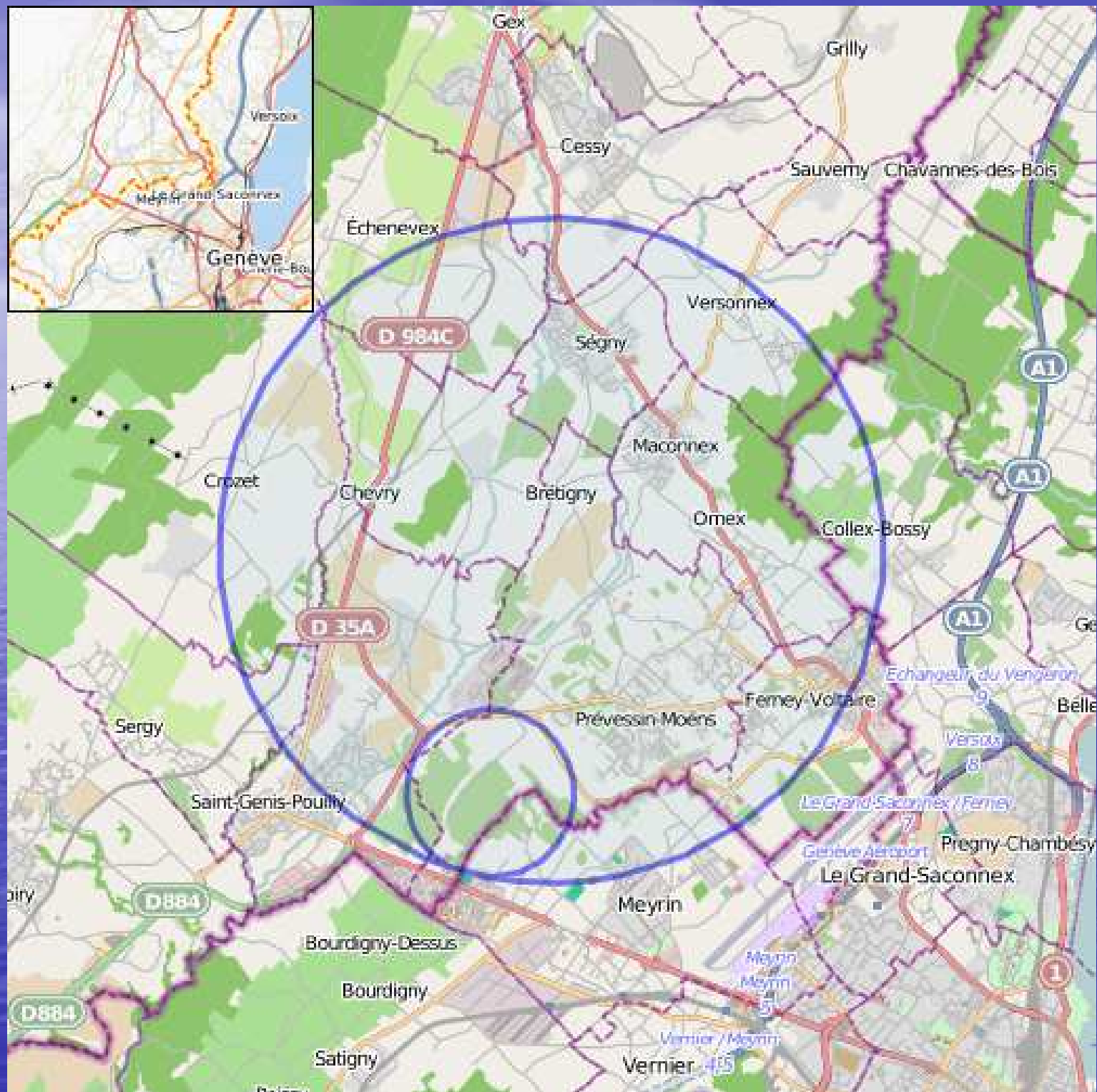


$W^+ W^-$ 80.4 GeV

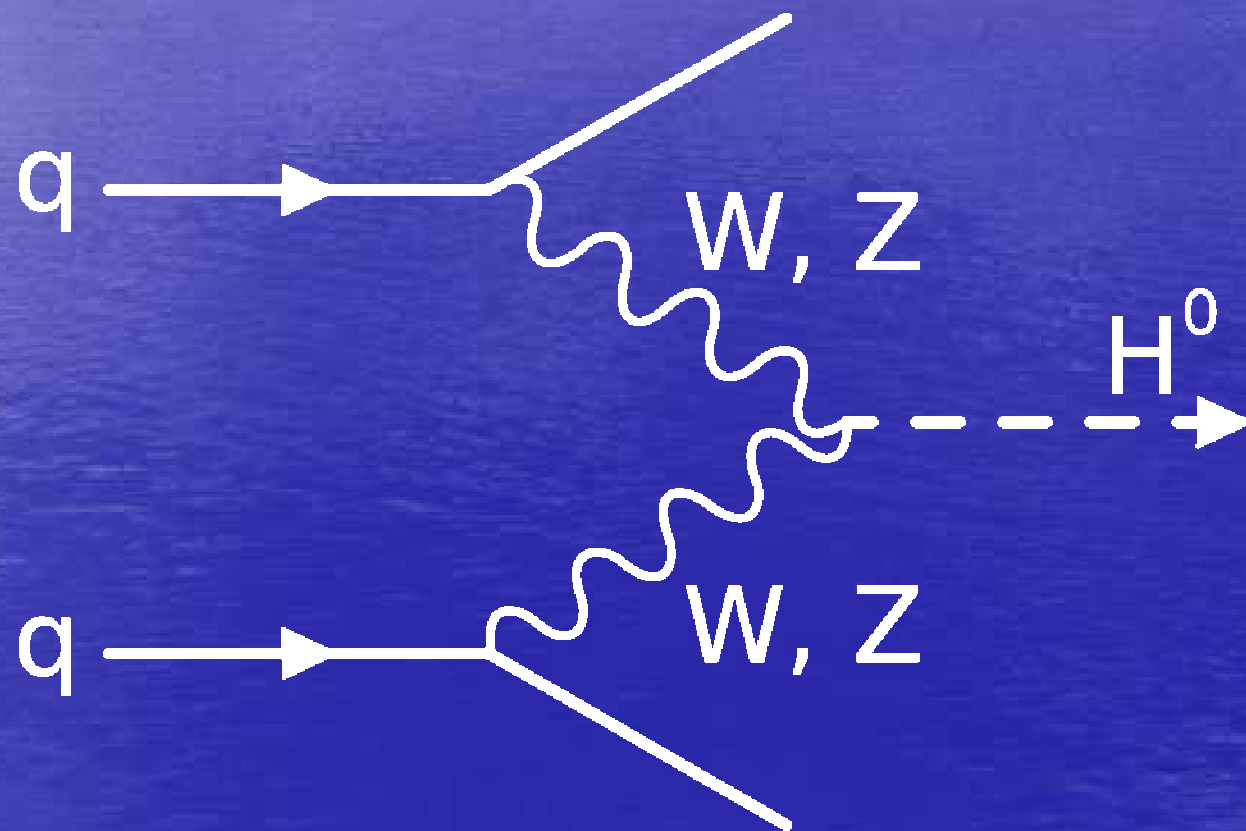
Z^0 91.2 GeV

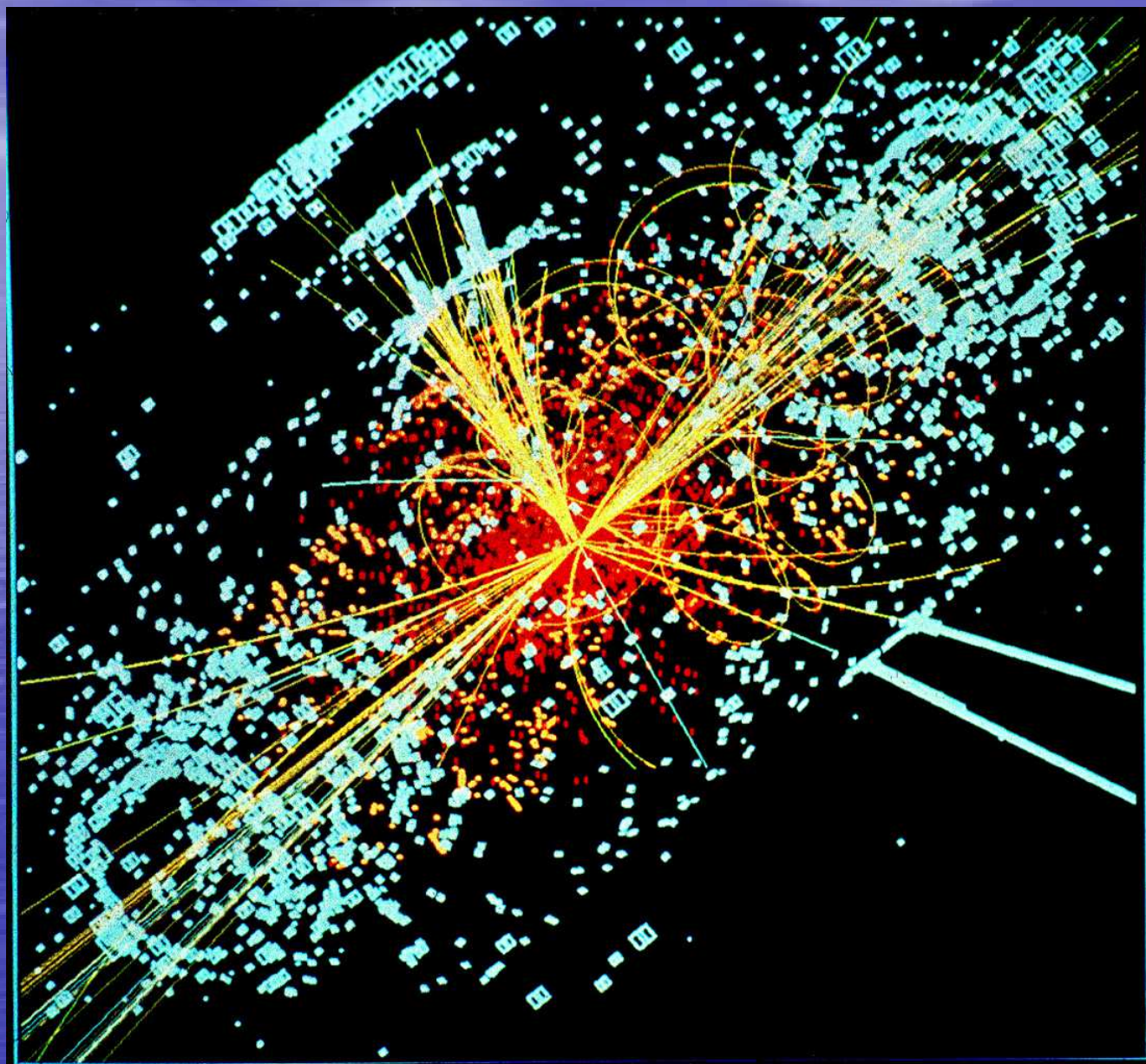












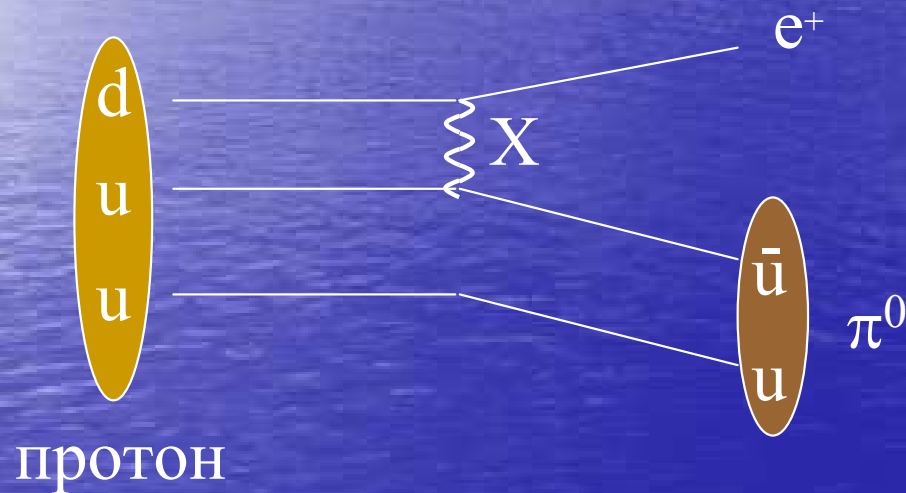
- Нарушение CP-симметрии
- Распад протона
- Ряд других условий

Распад протона

Время жизни протона
Время жизни Вселенной

$$\tau > 10^{31} \text{ лет}$$

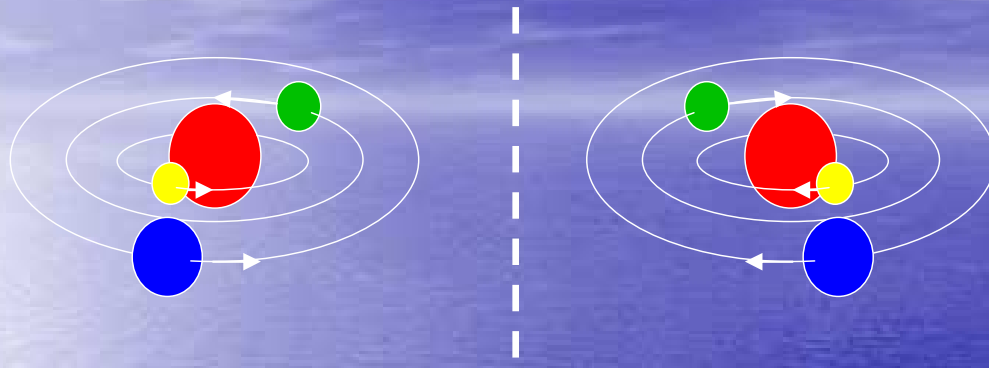
$$\tau = 13.7 \text{ Гигалет} \sim 10^{10} \text{ лет}$$



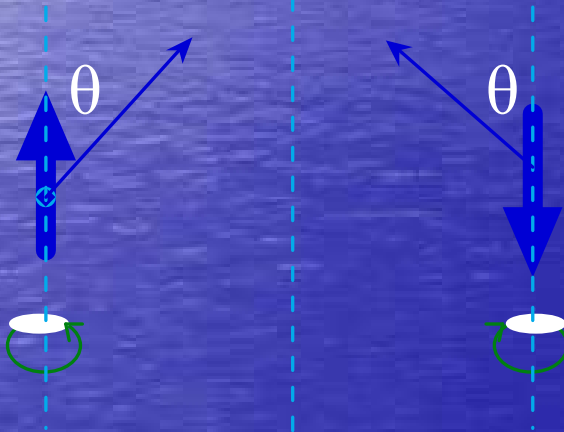
Распадаясь протон превращается в лептон и кварк-антикварковые пары. Этот процесс существенен на начальных этапах Великого Взрыва

Однако антипротоны распадаются подобным образом

Нарушение четности



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



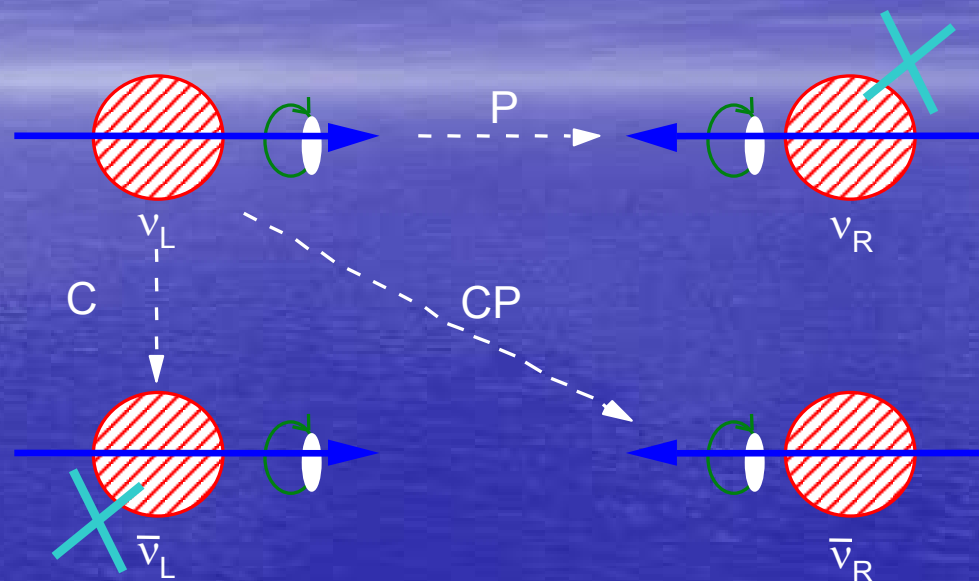
β -распад не сохраняет
четность (симметрия
“правый-левый”
нарушается)

Открыто в 1956 г. В
распадах ^{60}Co .

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

P нарушение - CP сохранение

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

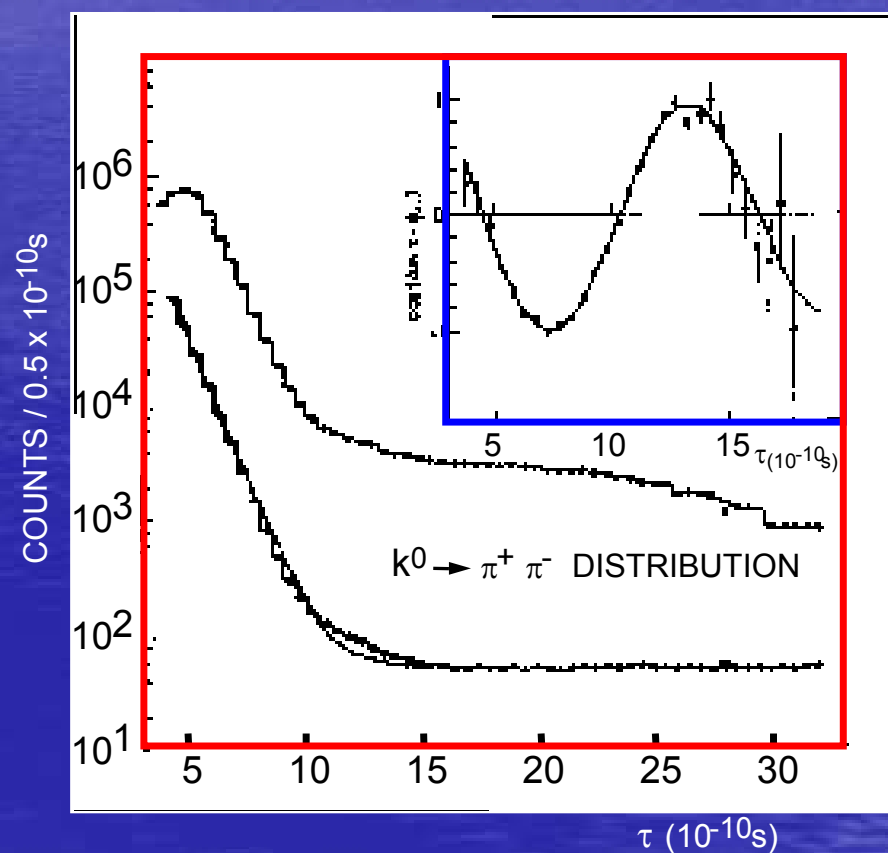
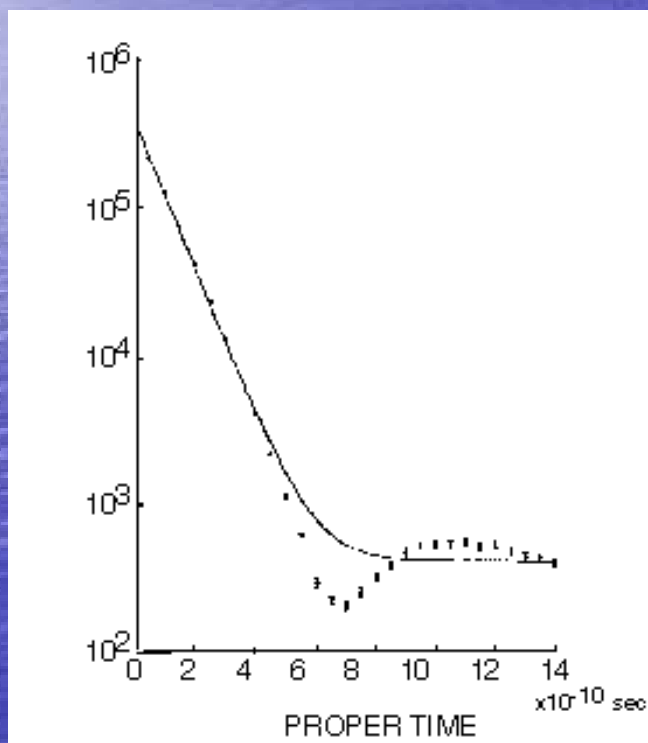


Нарушение P компенсируется за счет
дополнительной замены частицы на
античастицу (C замена)

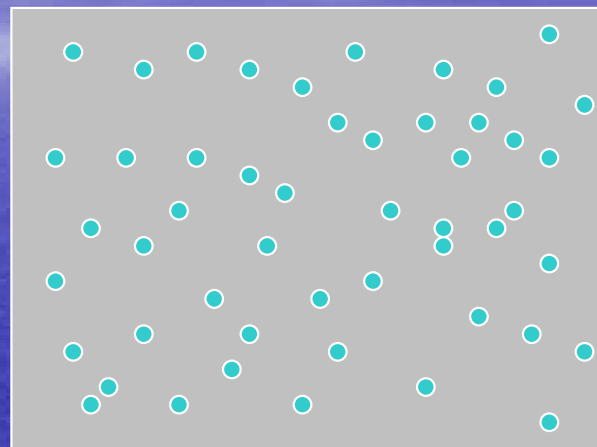
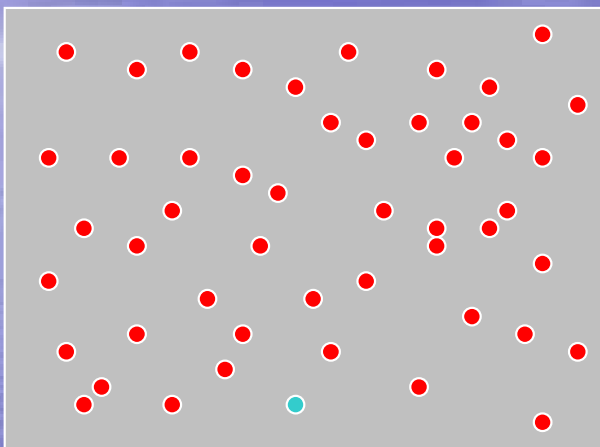
“CP сохранение”

CP нарушение

**Приводит к красивому эффекту
интерференции в распадах
нейтральных K-мезонов**



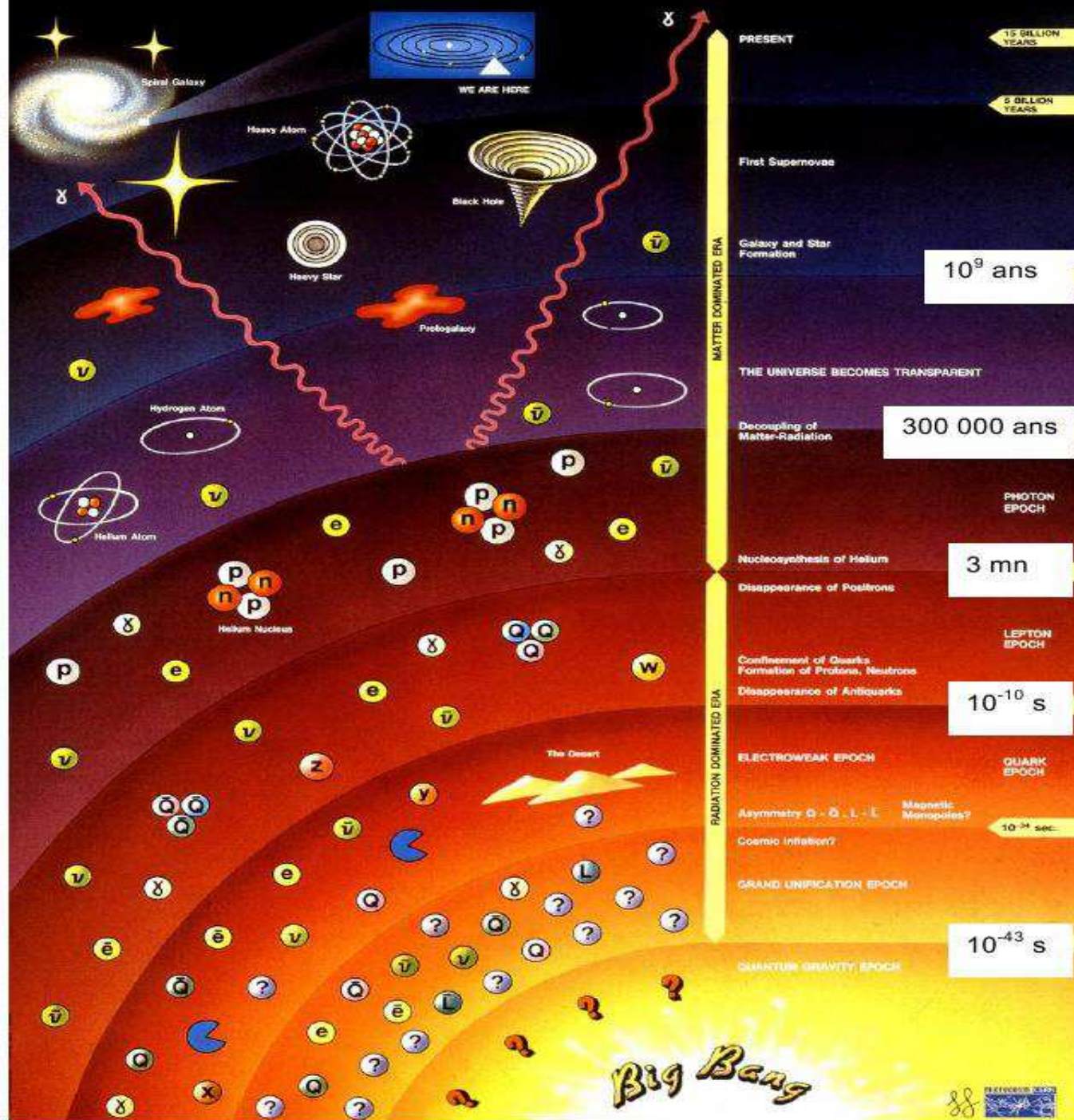
Вселенная с CP нарушением



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

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

History of the Universe





Прибор, на котором
Андерсон впервые
увидел античастицу

Детектор ATLAS

