

# ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ 2008

М.И. Высоцкий, ИТЭФ

СТО ( $c$ ) + Квантовая Механика ( $\hbar$ ) =  
Квантовая Теория Поля  $\equiv$

Физика Элементарных Частиц

# СТО

$x, y, z$  - ЗАВИСЯТ ОТ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ;

$(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2$  - ИНВАРИАНТ

$$(t_1 - t_2)^2 - (x_1 - x_2)^2/c^2 = inv = (\tau_1 - \tau_2)^2$$

$$(\Delta t)^2(1 - (v/c)^2) = (\Delta \tau)^2$$

$$\Delta t = \Delta \tau / \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

$\Delta t \gg \Delta \tau$  если  $v \rightarrow c$

$$c = 3 \cdot 10^{10} \text{ см/сек} = 300\,000 \text{ км/сек}$$

Феррари: 300 км/час

# ЕЩЁ СТО

$(t, x/c)$  - 4-вектор в псевдоевклидовом пространстве

$(E, p * c)$  - ещё один четырехвектор

$E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4$  – инвариант; масса (элементарной частицы)

$$E^2(1 - v^2/c^2) = m^2 c^4; \quad E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

$\pi^+$  - мезон,  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$   $\tau = 10^{-8}$  секунд,  
 $L = c * \tau = 3$  метра

$m_\pi = 140$  МэВ,  $E = 100$  ГэВ,  $L = 2$  километра

# Осцилляции нейтрино

Рожденное в покое мюонное нейтрино является суперпозицией массовых состояний. Поэтому за время

$$\tau = \frac{\hbar}{c^2 \Delta m}$$

оно перейдет в  $\nu_\tau$  —  $\tau$ -нейтрино.

$\hbar = 1.05 \cdot 10^{-34}$  дж·сек — постоянная Планка; появляется в формулах Квантовой Механики.

$$[\hbar] = [E][t] = [p][x].$$

$\hbar$  — квант действия.

Легкое ультрарелятивистское нейтрино осциллирует в лаб. системе за время

$$t = \frac{\hbar}{c^2 \Delta m} \frac{E}{mc^2}$$

“Ускорительные” мюонные нейтрино имеют  $E \sim 10$  ГэВ; массы и разности масс нейтрино  $\sim 0.1$  эВ.

Получаем

$$L = \frac{\hbar c}{\Delta m c^2} \frac{E}{mc^2} \sim 10^{-4} \text{ см} \frac{10 \text{ ГэВ}}{0.1 \text{ эВ}} \sim 10^7 \text{ см} \sim 100 \text{ км}$$

# CNGS, OPERA

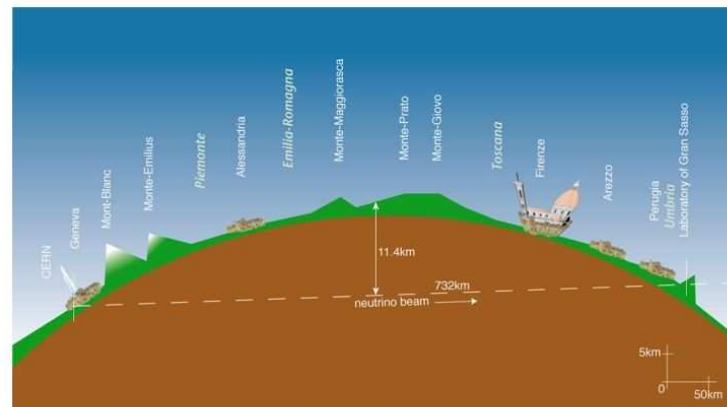
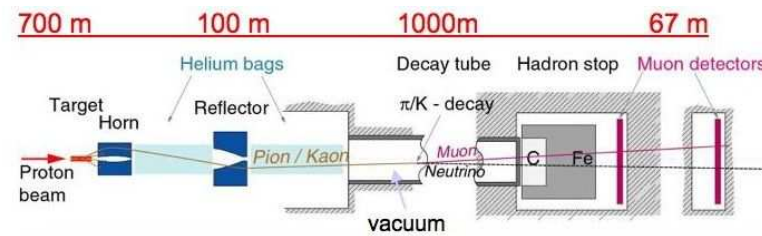


Figure 1: Top: The main components of the CNGS neutrino beam at CERN. Bottom: Sketch of the 730 km neutrino trajectory from CERN to Gran Sasso.

W

Электродинамика: фотоны

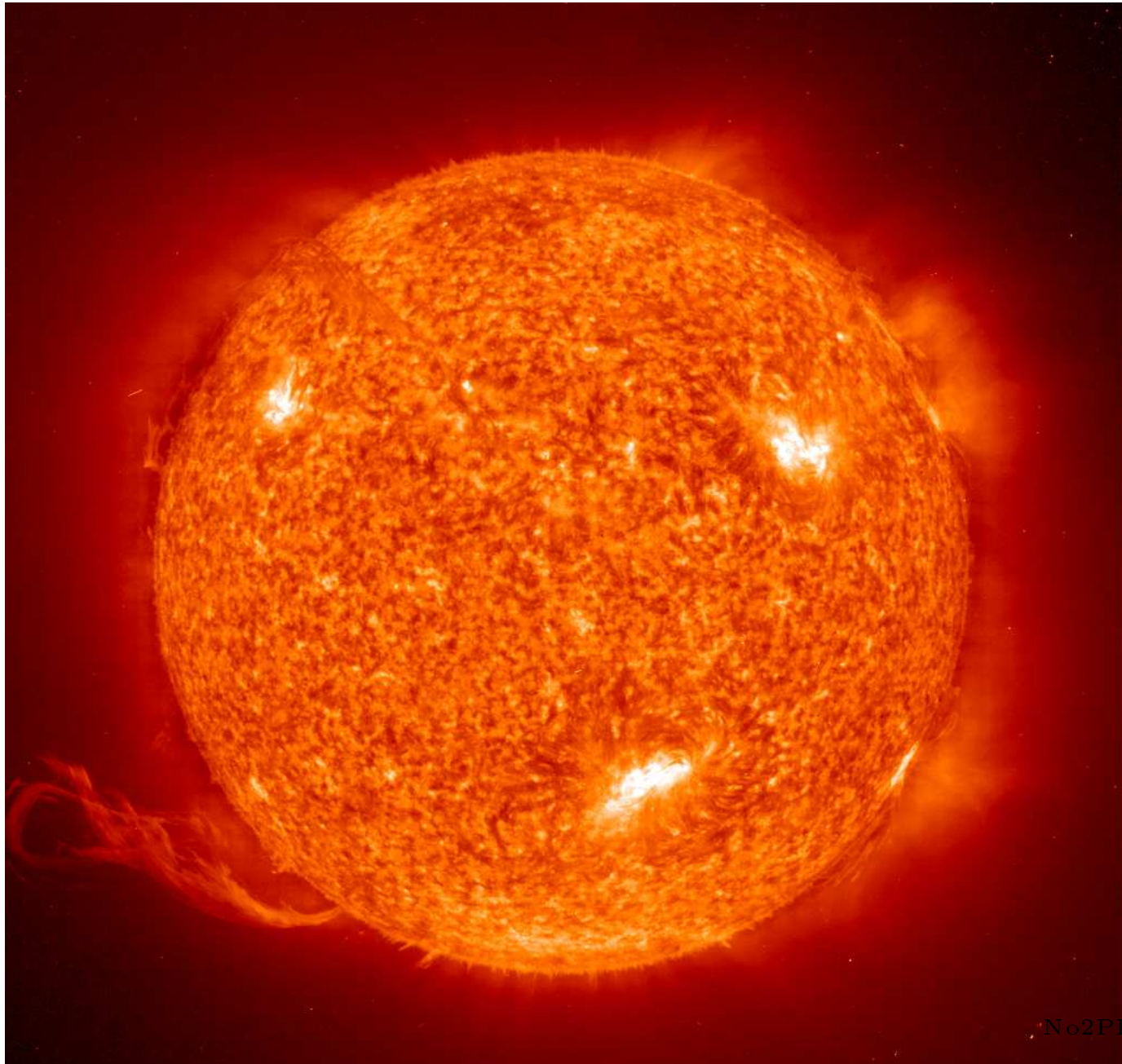
Слабые взаимодействия:  $W$ -бозоны

Многообразие слабых взаимодействий:

распад пиона в CERN;

рождение  $\tau$ -лептона  $\tau$ -нейтрино в Гран Сассо

# Солнце





# Фотон и $W$ -бозон – братья

$$p + p \rightarrow DW^{+*} \rightarrow De^+ \nu_e$$

И, будь  $W$ -бозон безмассовым,  
Солнце светило бы  
 $W$ -бозонами!!!

Как дать массу  $W$ -бозону?

А так же, как получает массу фотон в  
сверхпроводнике  
(эффект Мейснера; выталкивание магнитного  
поля из сверхпроводника).

# Бог Любит Теоретиков

В металле за это ответственны пары электронов (куперовские пары; спаривание за счет взаимодействия с решеткой).

Как “вытолкнуть”  $W$ -бозоны из вакуума?  
Разлить по вакууму хиггсовский конденсат.

Это единственный способ получить теорию слабых взаимодействий, в которой можно делать вычисления.

# Эффект Хиггса, бозон Хиггса

Массы  $W$ -бозонов, электронов, мюонов,  $\tau$ -лептонов, кварков возникают благодаря хиггсовскому конденсату.

Окончательное подтверждение электрослабой теории:  
открытие бозона Хиггса.

Его масса предсказана теоретически:  
 $M_H = 90 \pm 40$  ГэВ

# Коллайдеры ЦЕРНа

В CERN на  $e^+e^-$ -коллайдере LEP II получено нижнее ограничение:  $M_H > 114$  ГэВ.

$pp$ -коллайдер LHC, расположенный в том же туннеле, где был LEP, начнет работать в этом году.

На нем будет открыт бозон Хиггса.