



Введение в физику элементарных частиц

лекция **2/2**

В.Т. Ким

Петербургский Институт Ядерной Физики РАН, Гатчина



План лекций

Лекция 1

Удивительный мир элементарных частиц
Единицы измерений и масштабы
Кинематика реакций
Зоопарк частиц Стандартной Модели
Кварки и конфайнмент

Лекция 2

Стандартная Модель электрослабых
взаимодействий
Спонтанное нарушение симметрии
Бозон Хиггса
За пределами Стандартной Модели



ЕЩЕ РАЗ про КОЛЛАЙДЕРЫ и массы



Встречные пучки или один пучок?

Фермилаб: 1 ТэВ x 1 ТэВ

БАК: 3.5 ТэВ x 3.5 ТэВ

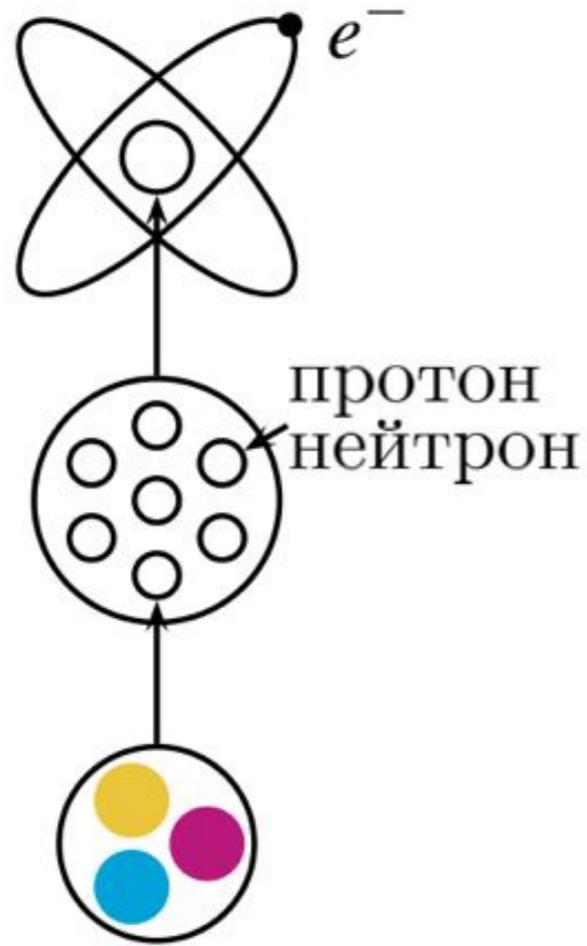
БАК: 7 ТэВ x 7 ТэВ

EL = 105 ТэВ 1.4·10⁴

два ускорителя по 7 ТэВ или один на 100 000 ТэВ

$$\begin{aligned} &\rightarrow E^L \approx 2 (E)^2 / m \\ &\rightarrow E^L = 2 \cdot 10^3 \text{ ТэВ} \quad 2 \cdot 10^3 \\ &\rightarrow E = 2 \cdot 10^4 \text{ ТэВ} \quad 6 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

зоопарк частиц СМ



ЛЕПТОНЫ

$$\begin{pmatrix} e \\ \nu_e \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \mu \\ \nu_\mu \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} \tau \\ \nu_\tau \end{pmatrix}$$

три семейства частиц

кварки

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}, \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$$

+ АНТИЧАСТИЦЫ

e^+ : позитрон, ...

$\bar{\nu}_e$: антинейтрино, ...

\bar{u} : антикварки, ...

+ частицы, ответственные за взаимодействия: фотон, глюоны, W , Z , гравитон + бозон Хиггса (еще не открыт)

кварки

кварки (адроны) - электрослабые и сильные взаимодействия

адроны: барионы (три кварка)
мезоны (кварк-антикварк)

кварки: 6 флейворов (ароматов)
три цвета (сильный заряд)
дробные электрические заряды
слабые (гипер-)заряды

глюоны(переносчики сильных взаимодействий):
8 цветов (сильные заряды)
электрически нейтральны

ЛЕПТОНЫ

лептоны - электрослабые взаимодействия

заряженные лептоны: электрон, мюон, т-лептон

нейтральные лептоны:

электронное нейтрино

мюонное нейтрино

т-нейтрино

переносчики взаимодействий:

фотон (электромагнитные): нейтральный

Z-бозон: слабый заряд

электрически нейтральный

W^{\pm} -бозоны: электрический и слабый заряды

Стандартная Модель Элементарных частиц

Квантовая Хромодинамика (сильные взаимодействия)

Стандартная Модель

Стандартная Модель электрослабых взаимодействий

Электромагнитные
взаимодействия

Слабые взаимодействия

Электричество

Магнетизм



Симметрии



красота физики \Leftrightarrow мощь математики

Симметрия в математике

Э. Галуа - теория групп

Н.Абель, С. Ли, Э. Нёттер

Симметрии в физике

А. Пуанкаре - группы Лоренца и Пуанкаре

Ю. Вигнер - квантовая механика: спин,

Калибровочная инвариантность

Г. Вейль, В.А. Фок

дополнительный параметер в потенциале

\Rightarrow калибровочная симметрия



Симметрии в физике частиц



зарядовое сопряжение (зарядовая С-четность)

СРТ-четность

Слабые взаимодействия: странные частицы

Нарушение пространственной Р-четности

Нарушение СР-четности:

ассиметрия между частицами и античастицами

ассиметрия между веществом и антивеществом во
Вселенной: А.Д. Сахаров



Калибровочные поля



Квантовая электродинамика: $U(1)$

Слабые взаимодействия: $SU(2)$

Квантовая хромодинамика: $SU(3)$

Калибровочная симметрия \Rightarrow безмассовые бозоны

Электрослабые взаимодействия: спонтанно-
нарушенная $U(1) \times SU(2)$

Ш.Глэшоу, С. Вайнберг, А. Салам

Спонтанное нарушение симметрии в электрослабых
взаимодействиях:

Энглер, Броут, Хиггс (1964)

механизм Хиггса \Rightarrow массы: Z, W^{\pm} , бозон Хиггса



Спонтанное нарушение симметрии:

Н.Н. Боголюбов

Спонтанное нарушение симметрии в физике

частиц: Й. Намбу

Спонтанное нарушение симметрии в

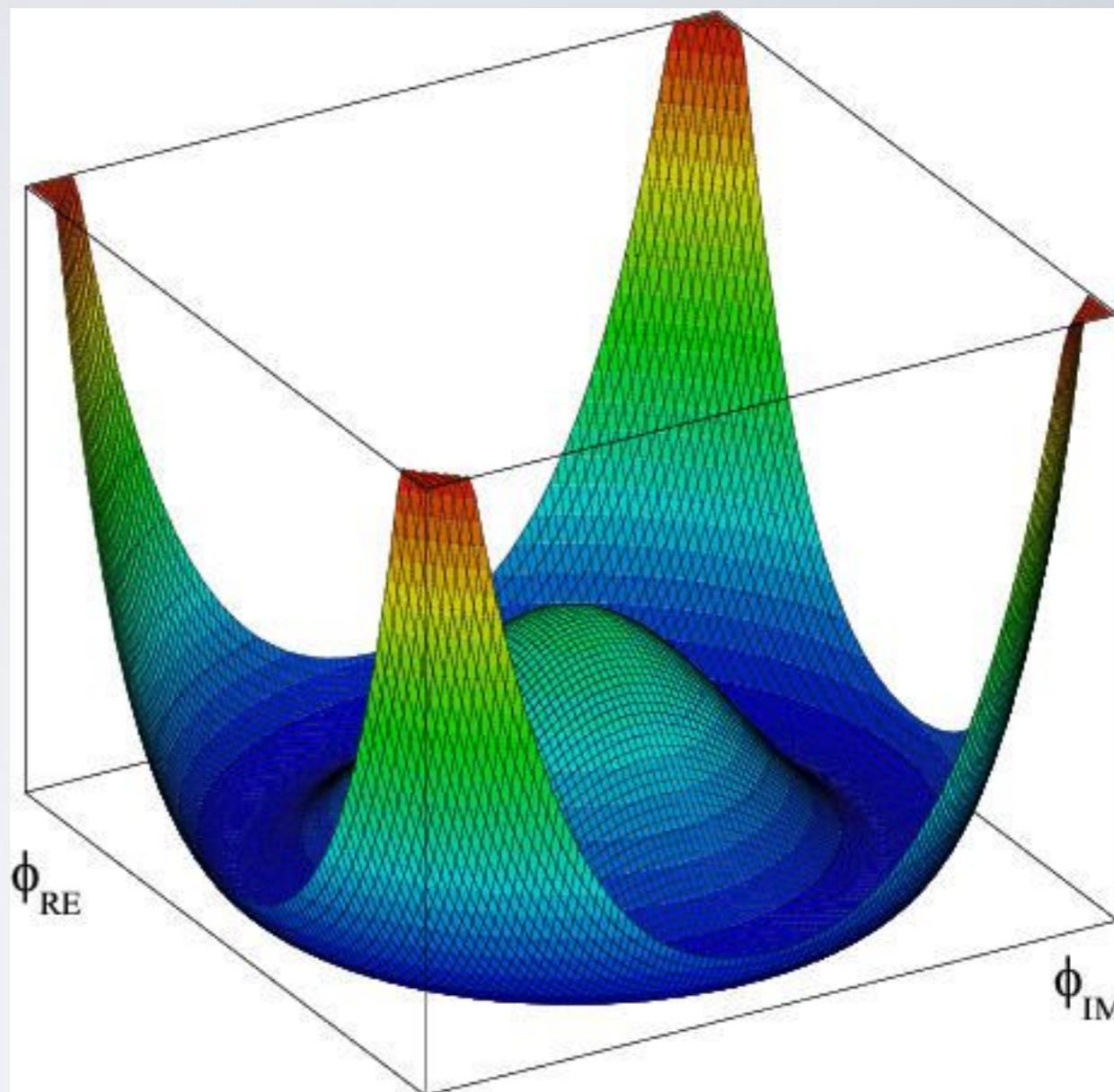
электрослабых взаимодействиях:

Энглер, Броут, Хиггс (1964)



Селебрити (VIP) - Z- бозон
толпа - бозоны Хиггса
изгой - фотоны

Спонтанное
нарушение симметрии
в электрослабых
взаимодействиях:
Энглер, Броут, Хиггс
(1964)

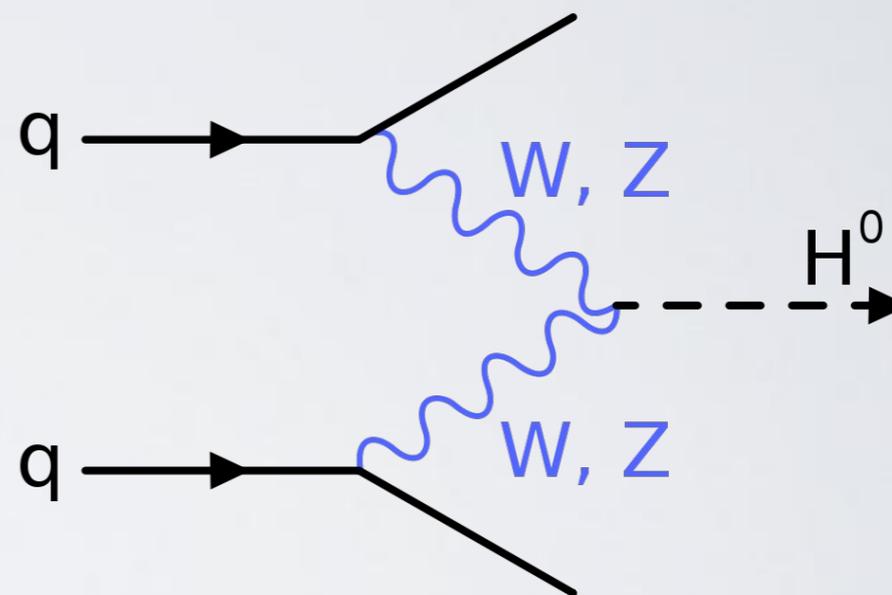
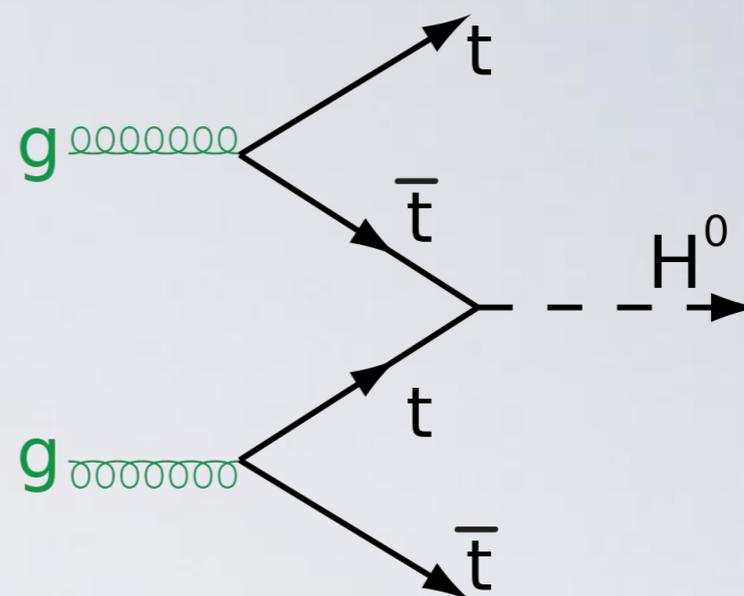




Вычисление
взаимодействий частиц:

сечений

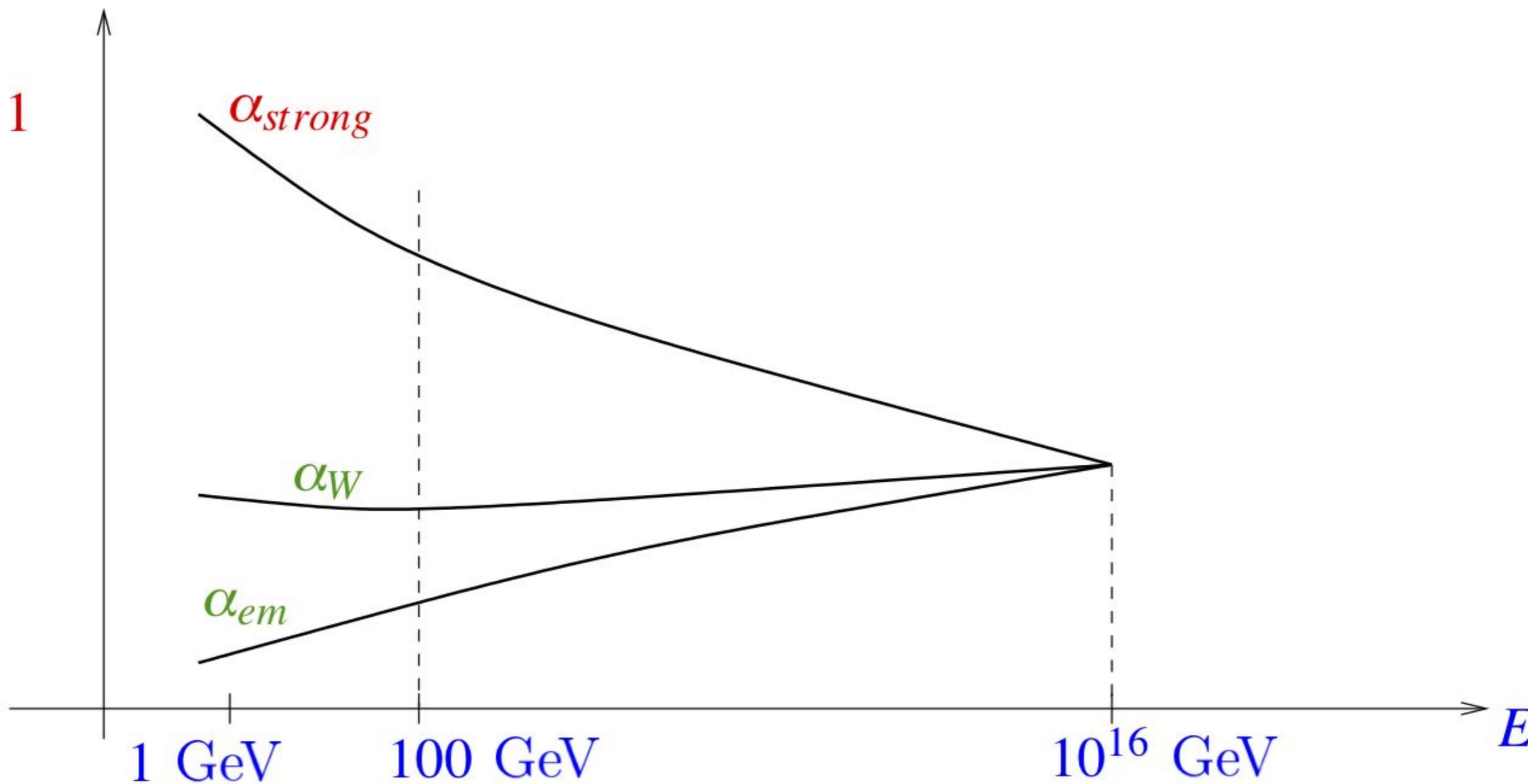
$$\text{сечение} = |\text{амплитуда процесса}|^2$$



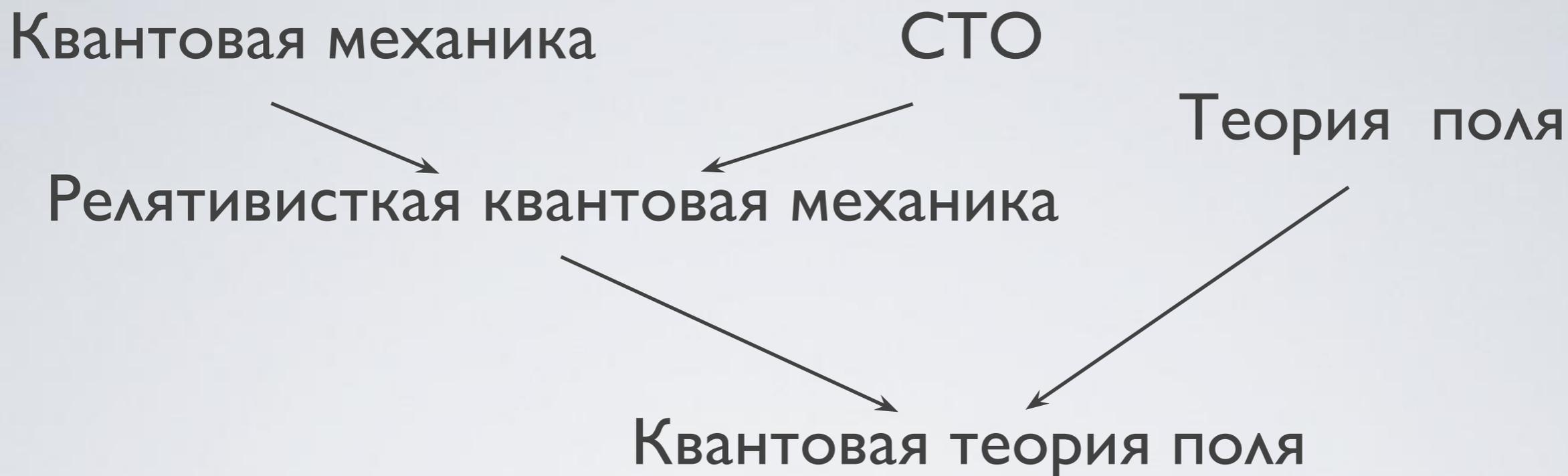
Амплитуды вероятностей процесса \Leftrightarrow диаграммы Фейнмана

Масштаб энергий Стандартной Модели

$\alpha \sim 1$



Удивительный мир Элементарных частиц



Физика элементарных частиц - мир квантовых объектов и околосветовых скоростей

Ответы на вопрос: Из чего сделан и как устроен мир?



продолжение следует ...



Лекция

“Обзор Физики на Большом адронном коллайдере”

Проверка Стандартной Модели

Поиски бозона Хиггса

Поиски новой физики пределами Стандартной Модели

на БАК: поиски дополнительных размерностей,

гравитона, черных дыр ...