



КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ КОРОТКО О ГЛАВНОМ

А.В. Ковтун. Кафедра фундаментальных взаимодействий и космологии. МФТИ.



План

- Место
- Цели, задачи и методы
- Главные компоненты квантовой теории поля:
- Квантовая механика +
- + Фундаментальные симметрии пространства-времени +
- + Принцип экстремального действия =
- = Квантовая теория поля
- Заключение

Дополнение

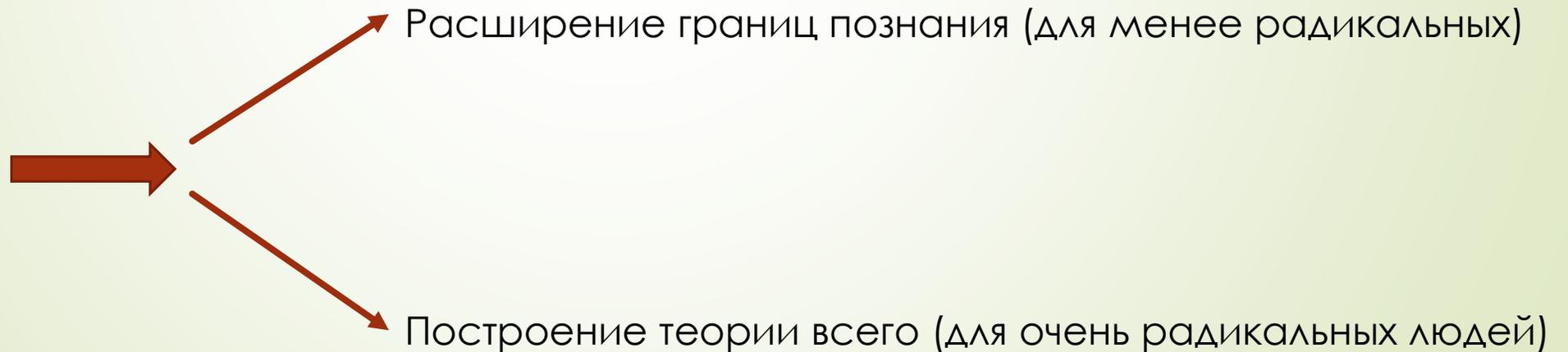
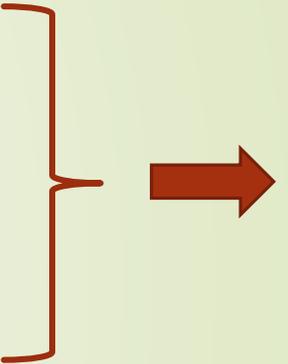
- Внутренние симметрии пространства частиц
- Калибровочная инвариантность

Место КТП



Цели фундаментальной физики

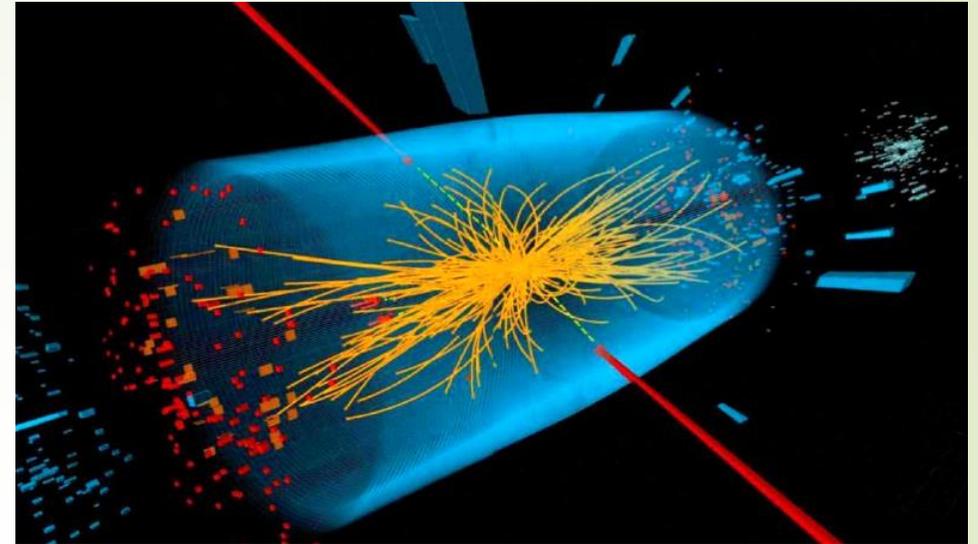
- Объяснить устройство мира на микроуровне (выполнено за маленькими исключениями)
- Связать законы микро и макромира.
- Продвинуться до предела в понимании устройства природы на сверхмалых масштабах (или сверхвысоких энергиях)



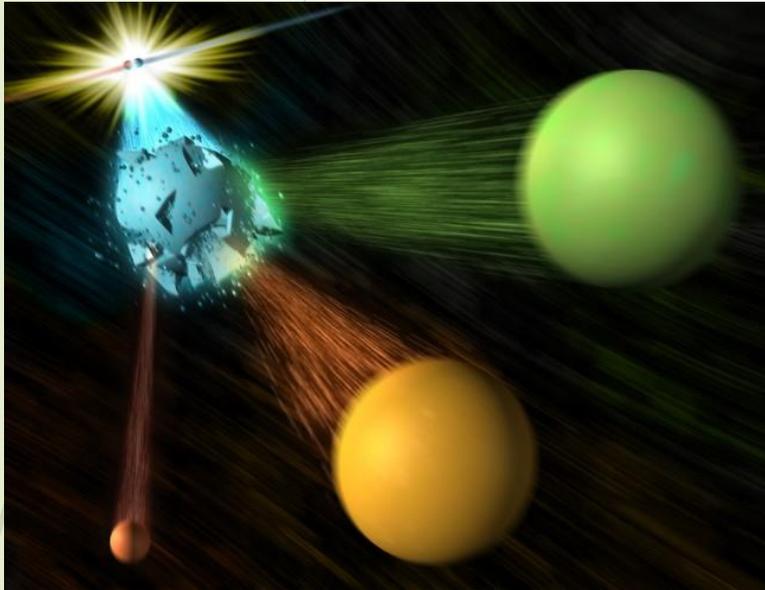
Какую задачу решает КТП и какими методами



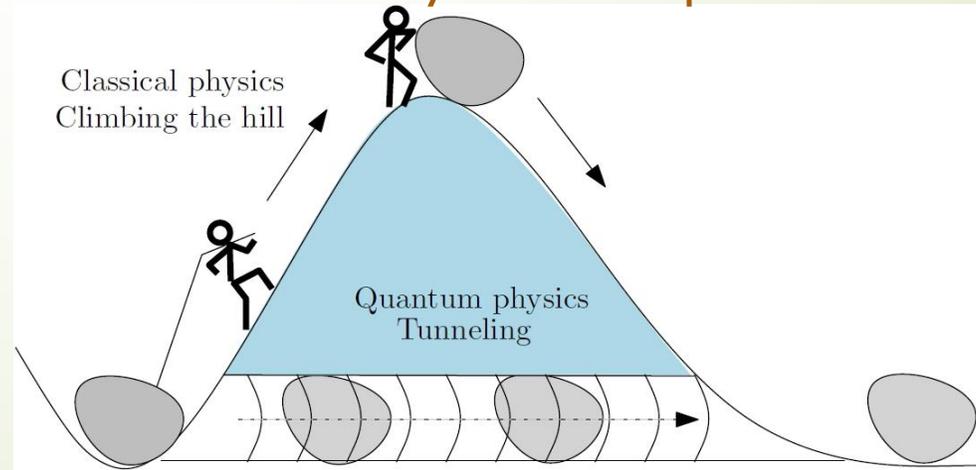
Рассеяние



Распад

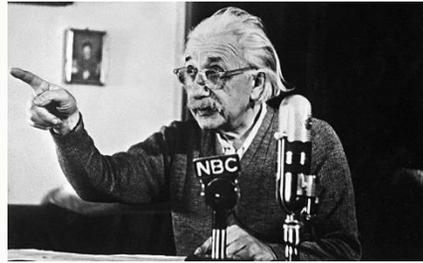


Квантовое туннелирование



Столпы квантовой теории поля

- Фундаментальные симметрии пространства-времени



- Квантовая механика



- Классическая теория поля



Квантовая теория поля =
= Квантовая механика +
+ Классическая теория поля +
+ Теория групп

Основные понятия квантовой механики

~~Классическая система: координаты, скорости~~

Квантовая система

Вектор состояния = $|e^- \rangle$; $|\text{шизофрения} \rangle$; $|\text{бабушка на скамейке} \rangle$

Вектор состояния – кладезь информации о системе

Оператор = \hat{x} ; \hat{p} ; $\widehat{\text{Цветы}}$; $\widehat{\text{Лещ}}$

Оператор - Связующее звено между векторами состояний

Принцип работы операторов: $\hat{O} |x\rangle = |y\rangle$

Задачи квантовой механики

Стационарная

- ▶ Определить наблюдаемые физические величины
- ▶ Определить соотношения между ними
- ▶ Среди них выделить полный набор наблюдаемых
- ▶ Найти их собственные вектора состояния

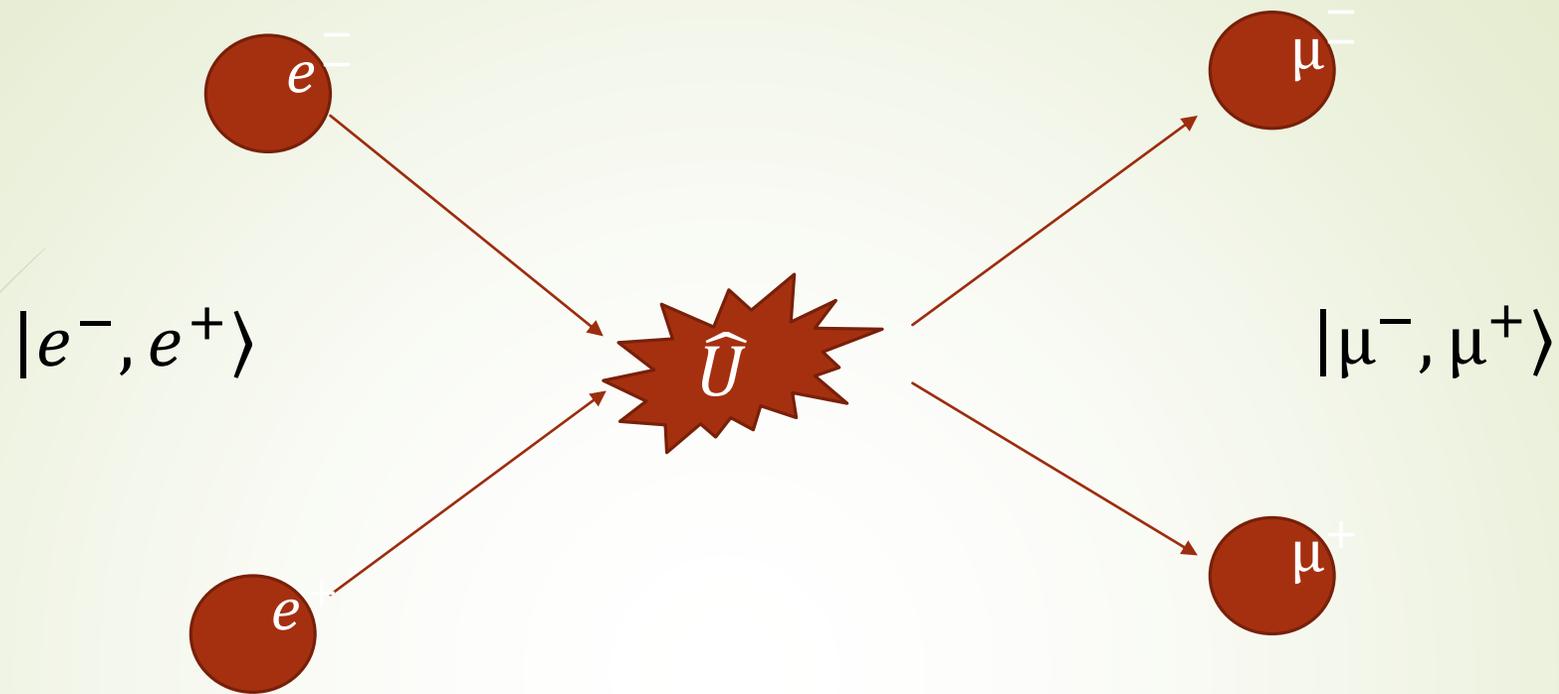
$$\hat{H} |\text{сост. с фикс. энергией}\rangle = \text{Энерг. сост.} |\text{сост. с фикс. энергией}\rangle$$

Эволюционная

- ▶ Выделить известное начальное состояние системы
- ▶ Определить конечное состояние системы
- ▶ Вычислить вероятность перехода из начального состояния в конечное.

$$|\text{состояние 2(через час)}\rangle = \hat{U} |\text{состояние 1(сейчас)}\rangle$$

\hat{U} – оператор эволюции



$$|e^-, e^+\rangle \xrightarrow{\hat{U}} |\mu^-, \mu^+\rangle$$

$$\hat{U} |e^-, e^+\rangle = |\text{новое состояние}\rangle$$

Амплитуда вероятности = $\langle \mu^-, \mu^+ | \cdot |\text{новое состояние}\rangle$

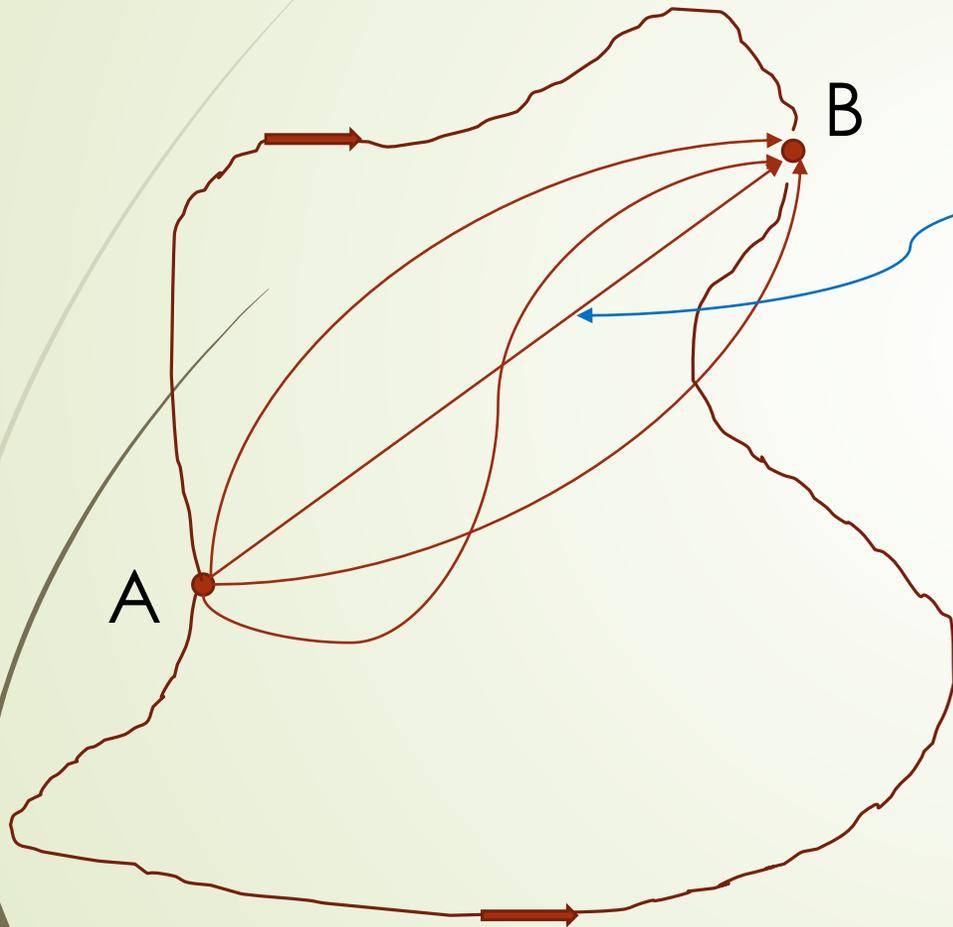
Вероятность = $|\text{Амплитуда}|^2$ — Интерпретация

Способы решения задач

- ▶ Каноническое квантование
- ▶ Релятивистское квантование
- ▶ Суммирование по траекториям



Траектории и их значение

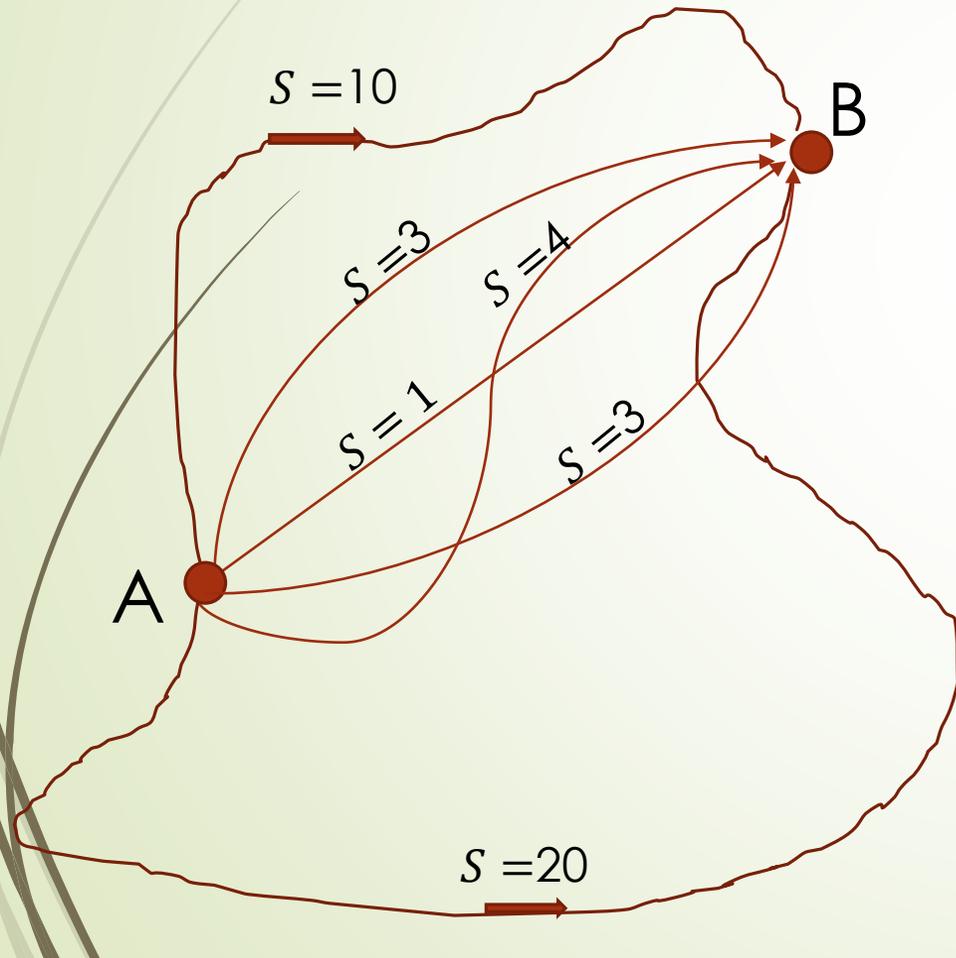


Классическая механика

Квантовая механика

- Система переходит из A в B по всем траекториям
- Каждой траектории приписывает по определённому правилу амплитуда вероятности
- Амплитуда перехода = сумма амплитуд переходов по всем траекториям

Как определить, какой вклад вносит каждая траектория в общее дело?



Принцип наименьшего действия

Классическая механика

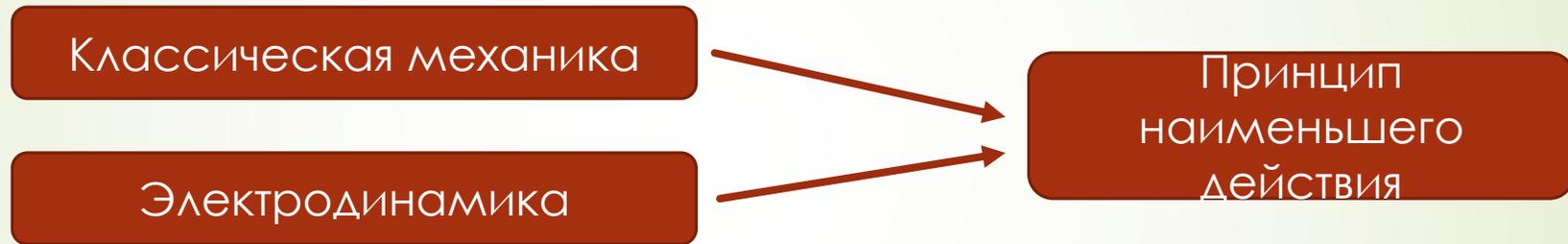
1. Вычислить действие (S) для каждой траектории
2. Выбрать траекторию с самым маленьким действием

Квантовая механика

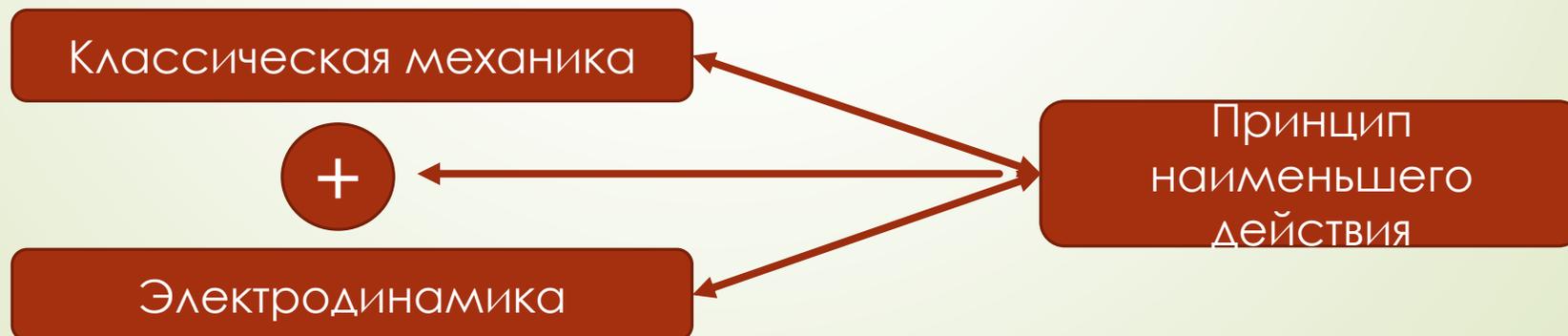
1. Вычислить действие (S) для каждой траектории
2. С помощью действия посчитать амплитуду каждой траектории
3. Сложить все амплитуды
4. Получить вероятность перехода

История принципа наименьшего действия

Исторический процесс



Математическое соответствие





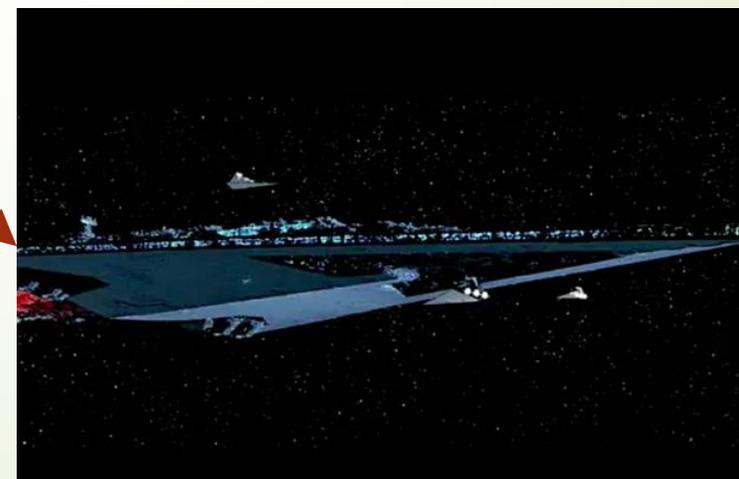
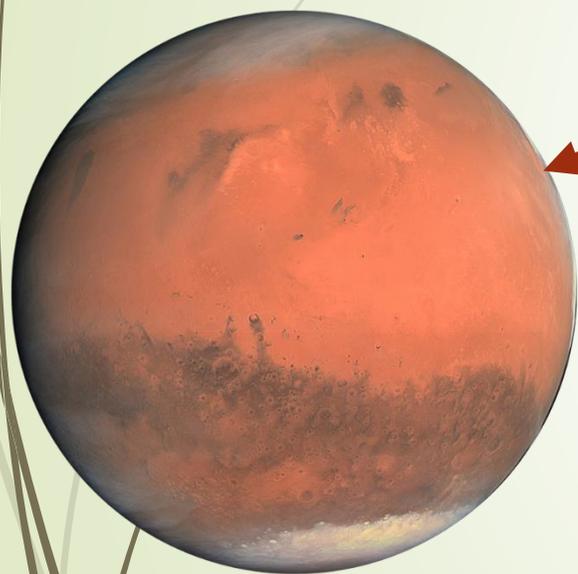
Как и для кого сформулировать принцип наименьшего действия физической системы?

Как? Ответ: свойства пространства-времени

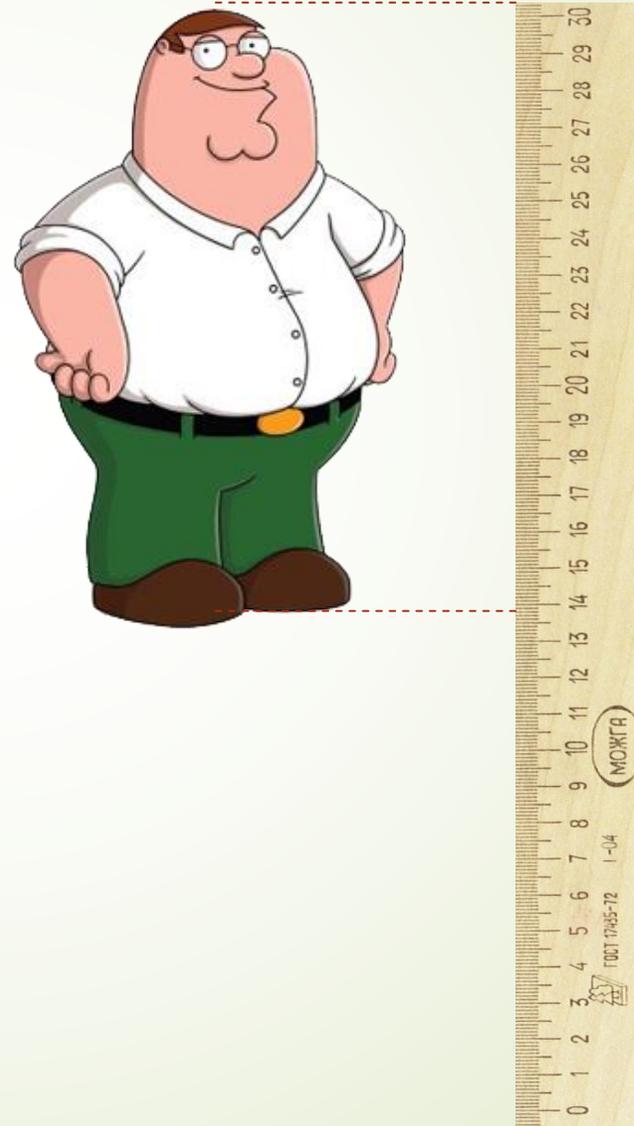
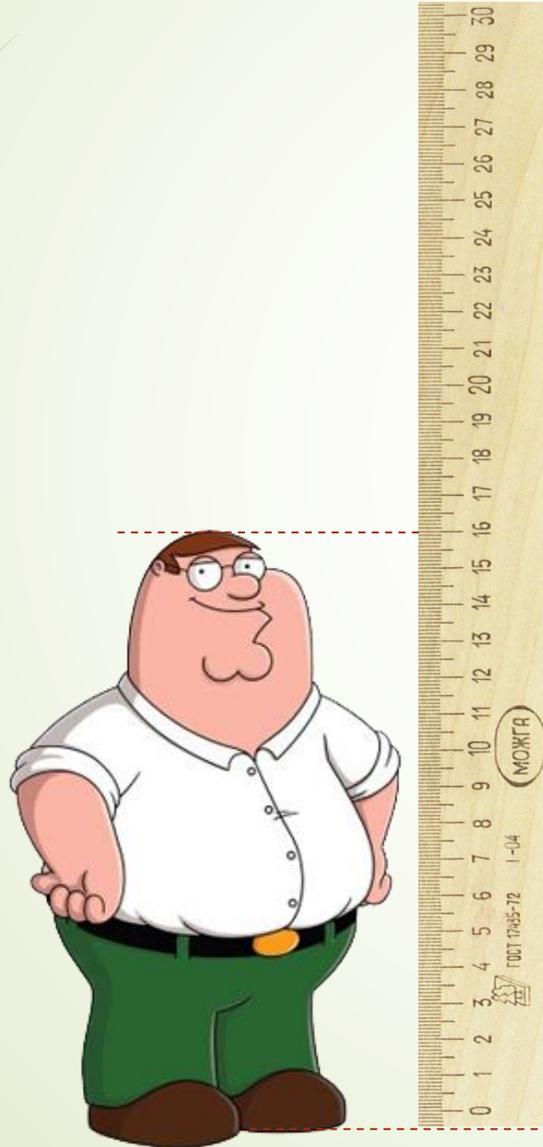
- Эквивалентность инерциальных систем отсчета (инвариантность законов физики относительно смены системы отсчета)
- Симметрия относительно вращений трехмерного пространства
- Симметрии относительно трансляции пространства и времени

Для кого? Ответ: для полей

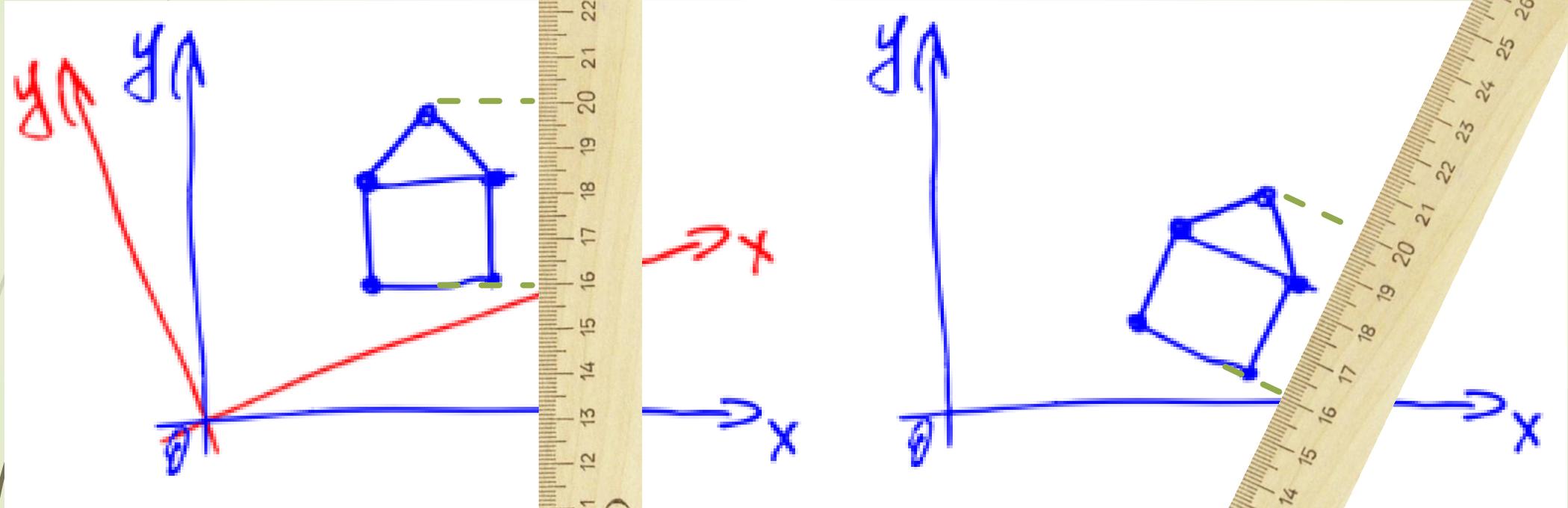
Эквивалентность инерциальных систем отсчета



Трансляционная симметрия



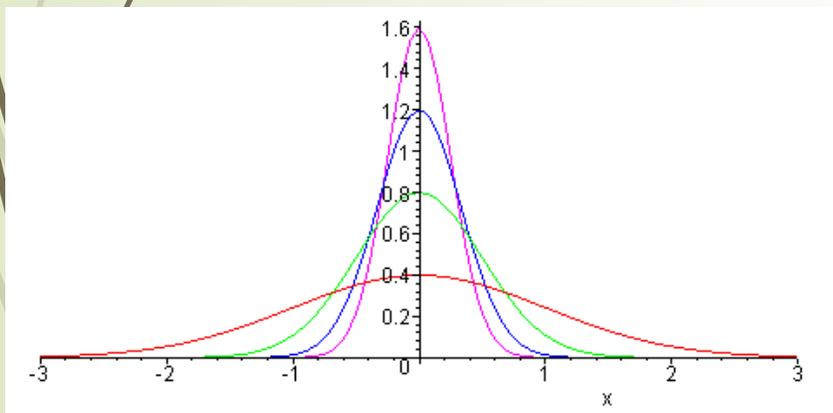
Вращательная симметрия



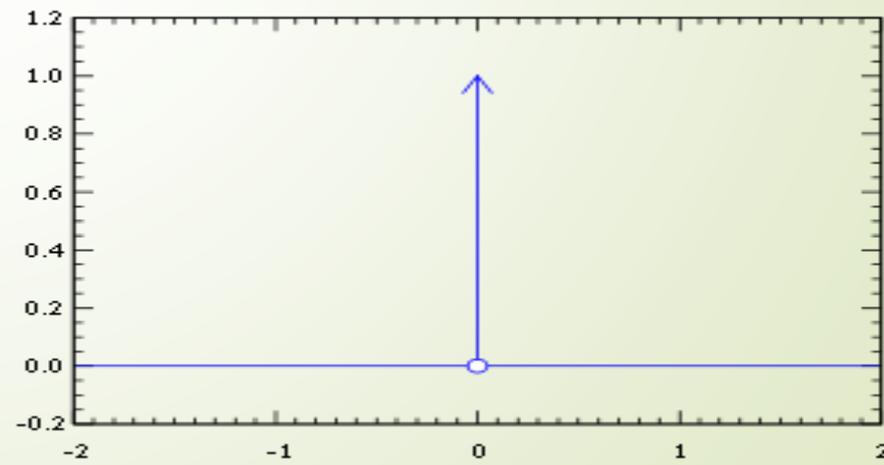
Поля



Поле



Частица



Поля

Поле – математическая функция или их совокупность.

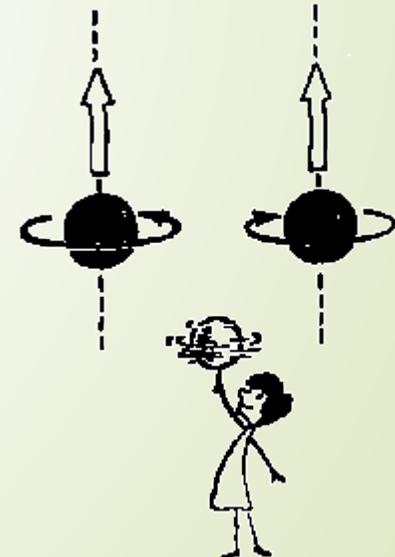
По отношению к преобразованиям симметрии можно провести классификацию полей

Поля

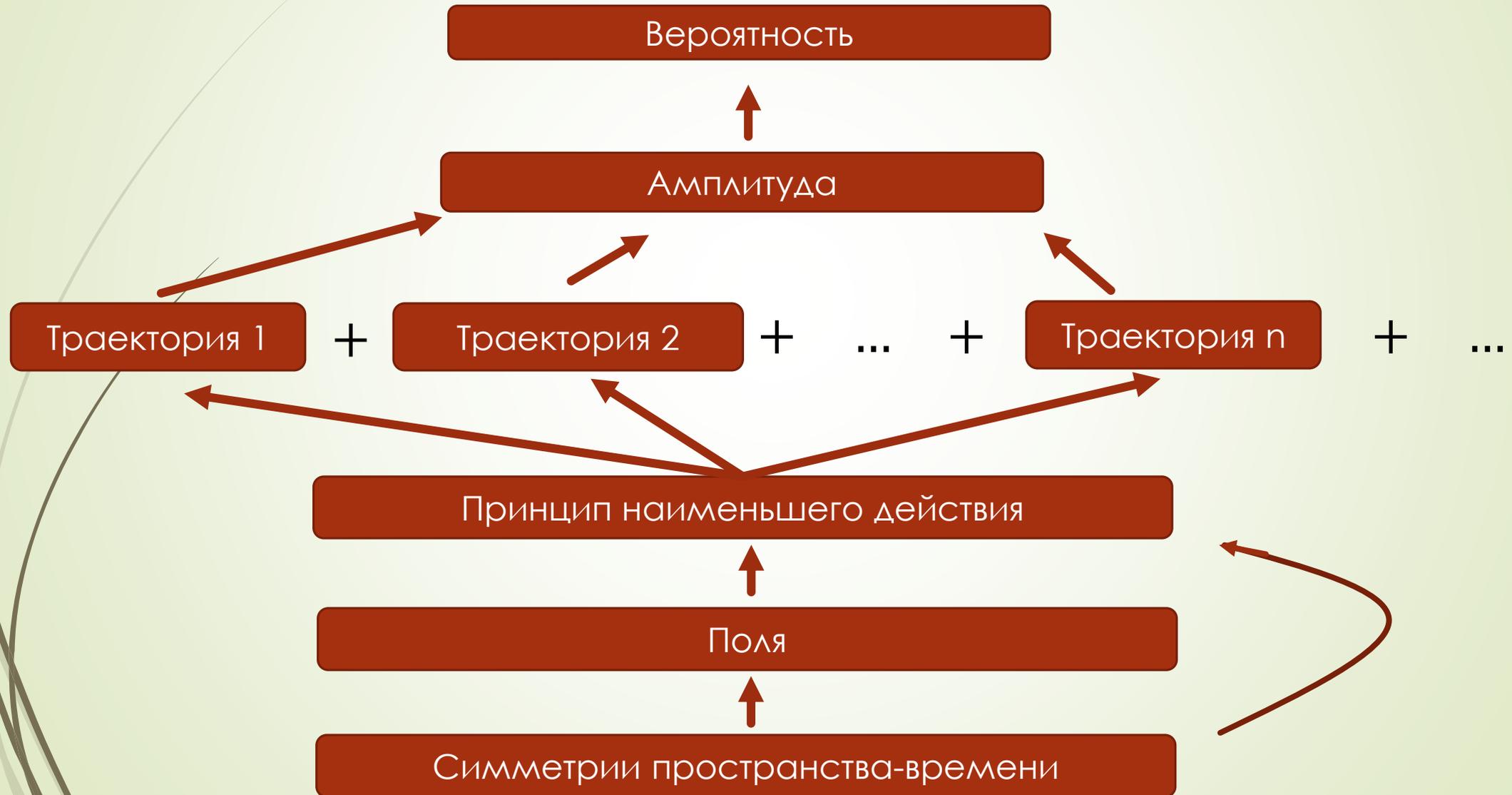
- Скалярные
- Тензорные (Векторы, поливекторы)
- Спинорные

Частицы

- Массивные
- Безмассовые



Что мы в итоге получили





Спасибо за внимание!