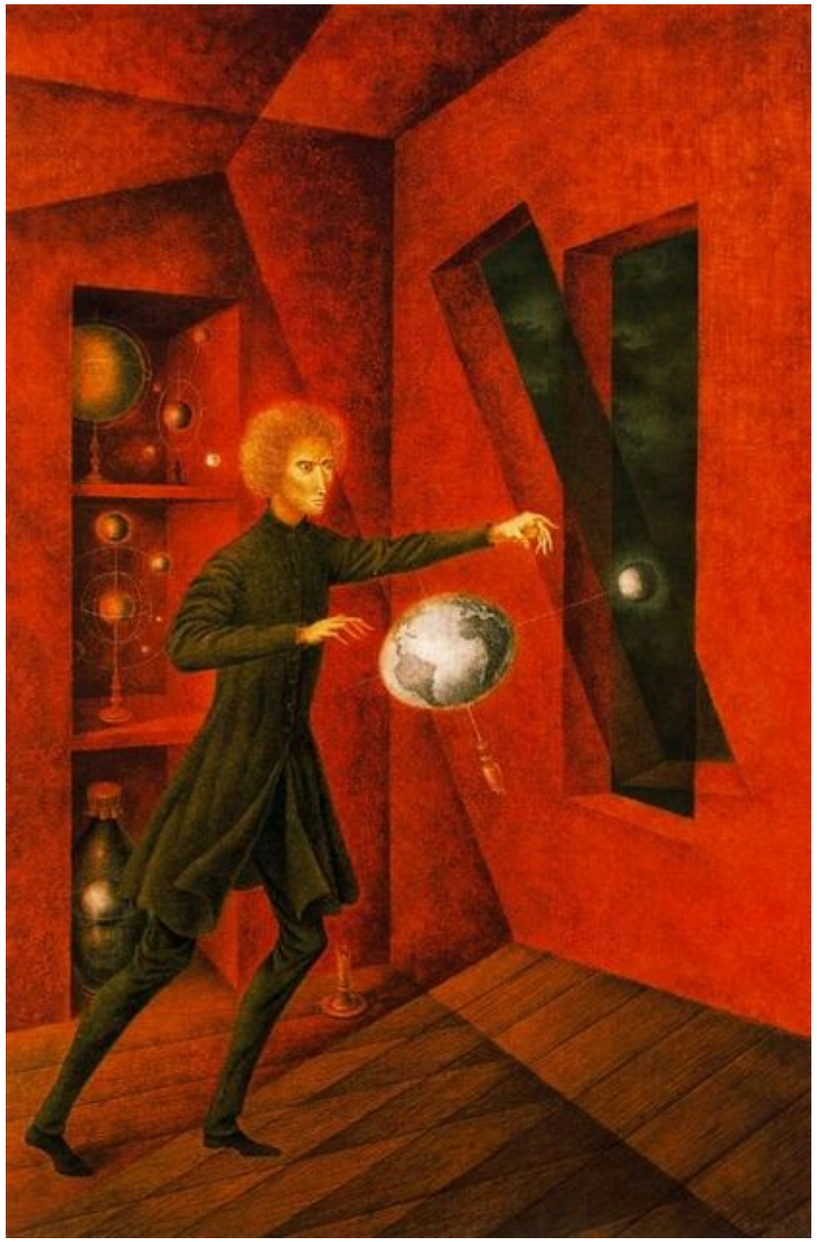


Законы физики

Кечкин О.В.

Природа ничего не делает напрасно

и во всех своих проявлениях избирает кратчайший или легчайший путь (Аристотель)

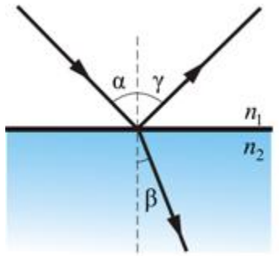
Закон Ферма

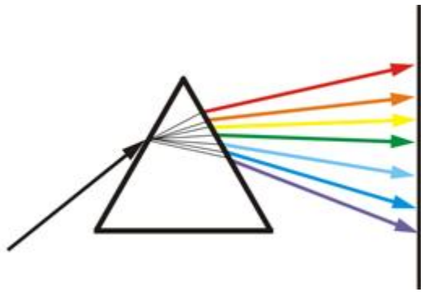
Принцип наименьшего времени

для распространяющегося луча света

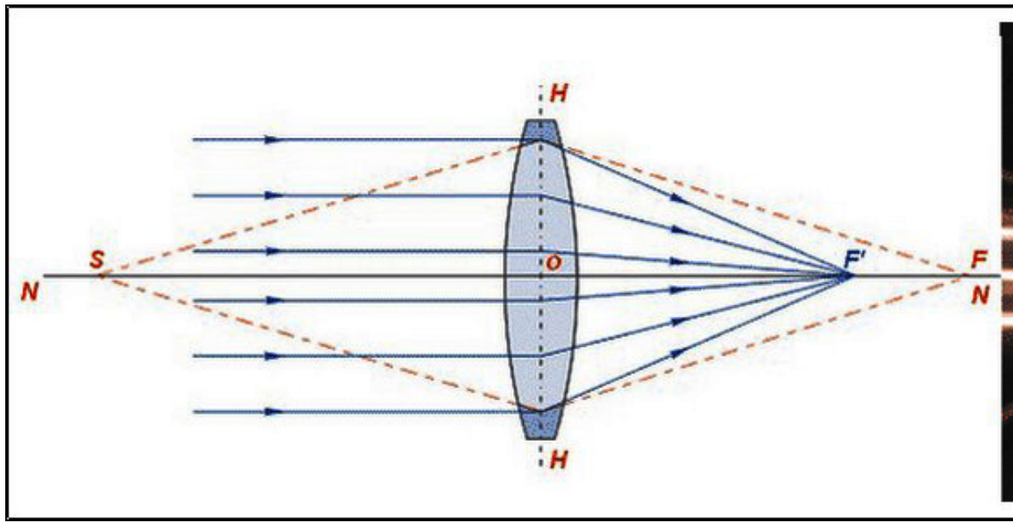
$$T = \int_A^B \frac{dl}{v} = \min$$

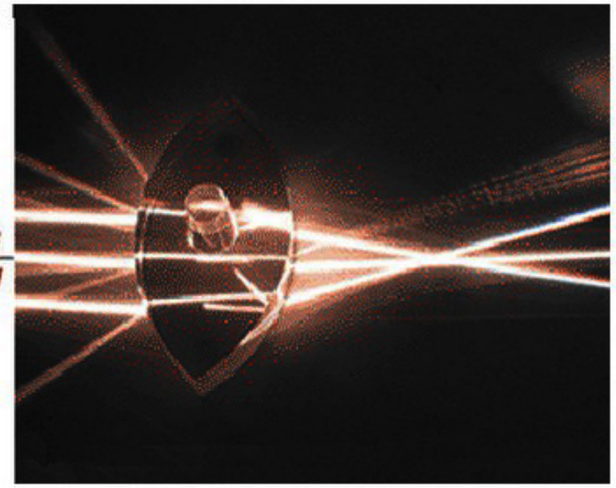
Геометрическая оптика





$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}$$





Современная форма:

$$T[\vec{r}(\lambda)] = \frac{1}{c}\int_{\lambda_A}^{\lambda_B} n(\vec{r})\sqrt{\dot{\vec{r}}^2}\,\mathrm{d}\,\lambda$$

-функционал времени

$$\frac{d}{dl}\left\{n(\vec{r})\,\frac{d\vec{r}(l)}{dl}\right\} = grad\,\{n(\vec{r})\}$$

- вариационное уравнение

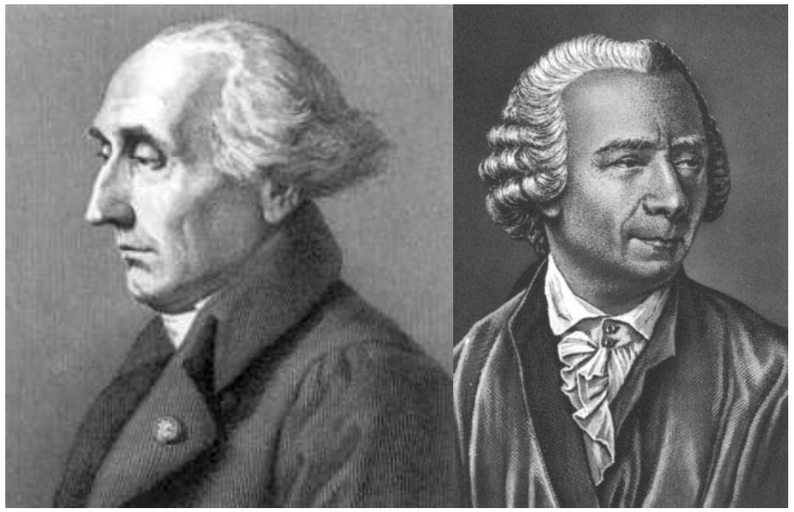
Анизотропная среда:

$n^2(\vec{r})\delta_{ij} \to h_{ij}\left(x^k\right)$ –тензорный коэффициент преломления

$T[x^k(\lambda)] = \frac{1}{c}\int_{\lambda_A}^{\lambda_B} \sqrt{h_{ij}\,\dot{x}^i\dot{x}^j}\,\mathrm{d}\lambda$ – функционал времени

$\frac{D}{dl}\left(\frac{dx^k(l)}{dl}\right)=0$ – уравнение геодезической

Принцип наименьшего действия



$$S[\vec{r}(t)] = \int_{t_1}^{t_2} dt\, L\left(\dot{\vec{r}}, \vec{r}, t\right) = \min$$

- функционал действия

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\vec{r}}}\right) = \frac{\partial L}{\partial \vec{r}}$$ – уравнение Эйлера-Лагранжа

II закон Ньютона:

$$L = \frac{m\dot{\vec{r}}^2}{2} - U\left(\dot{\vec{r}}, \vec{r}, t\right)$$

$$m\ddot{\vec{r}} = \vec{F}\left(\dot{\vec{r}}, \vec{r}, t\right) = -\mathrm{grad}\, U\left(\dot{\vec{r}}, \vec{r}, t\right)$$

Законы Всемирного тяготения и Кулона:

$$U = \frac{\alpha}{r}, \qquad \alpha = \begin{cases} -GmM \\ qQ \end{cases}$$

Классическая динамика: общая схема

a. Физической системе ставится в соответствие функционал действия;
b. На физических состояниях действие достигает экстремума (минимума);
c. Условие минимизации – система дифференциальных уравнений;
d. Фиксация данного состояния – задание начальных условий.

(п.п. c.-d. – задача Коши!)

Концепция теории вероятностей

- В природе реализуются все возможности – с той или иной вероятностью;
- Экстремальный принцип: классическая динамика – это наиболее вероятная динамика (с малой дисперсией);

$$f: \{f_k, p_k\} \qquad \sum_k p_k = 1$$

$$f_{cl}: \quad p_{cl} = max_k \{p_k\}$$

- Основной вопрос: фундаментален ли вероятностный подход?

Квантовая динамика

- Вероятность перехода из состояния 1 в состояние 2: $P_{21} = |\psi_{21}|$, где ψ_{21} – амплитуда вероятности этого перехода;
- В ψ_{21} дают вклад все траектории $q_{21}(t)$, а не только классическая траектория $q_{cl}(t)$;
- Принцип суперпозиции через интеграл по траекториям:
  $\psi_{21} \sim \int dq_{21}(t)\ exp\left\{\frac{i}{\hbar} S[q_{21}(t)]\right\}$, где
  $S[q_{21}(t)]$ действие для траектории $q_{21}(t)$.

Симметрии

- Преобразования, оставляющие инвариантной динамику системы;
- Теорема Нётер: связь между непрерывными симметриями и сохраняющимися величинами.

Роль симметрий

- Идентификация лагранжиана системы:

a. Поиск сохраняющихся величин (зарядов);

b. Отыскание группы симметрий;

c. Построение лагранжиана системы, инвариантного относительно действия найденной группы.

- Интегрирование уравнений динамики:

a. Поиск генераторов группы симметрий;

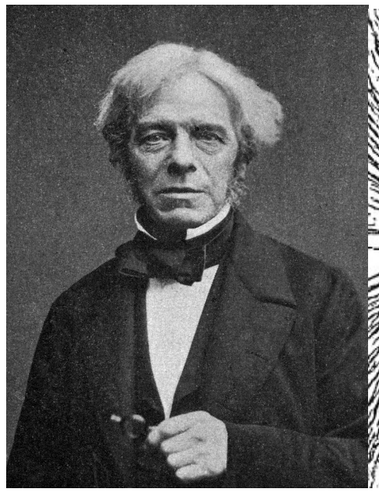
b. Их использование для интегрирования уравнений движения.

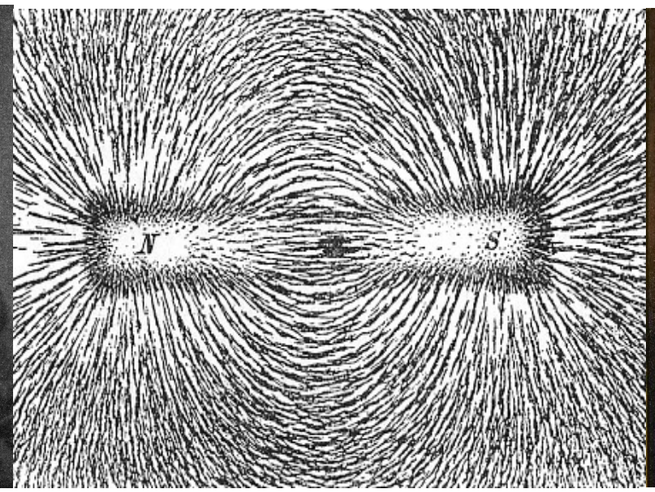
Фундаментальные симметрии физики

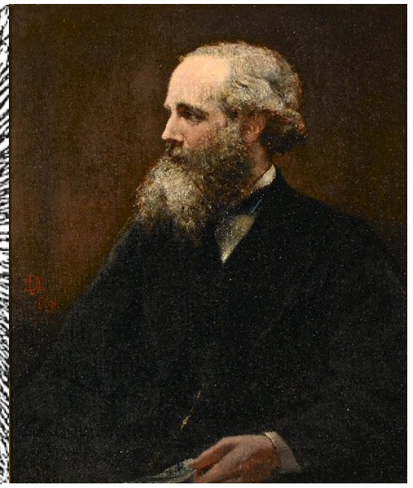
- Группа Пуанкаре – группа симметрий СТО:
  a. закон сохранения энергии-импульса;
  b. закон сохранения момента импульса.
- Калибровочные симметрии – группа симметрий SU(3)×SU(2)×U(1) стандартной модели:
  a. закон сохранения электрического заряда;
  b. сохранение изотопических зарядов слабого и сильного взаимодействий.
- Суперсимметрия – пока не обнаружена!

Калибровочные теории

- Электродинамика







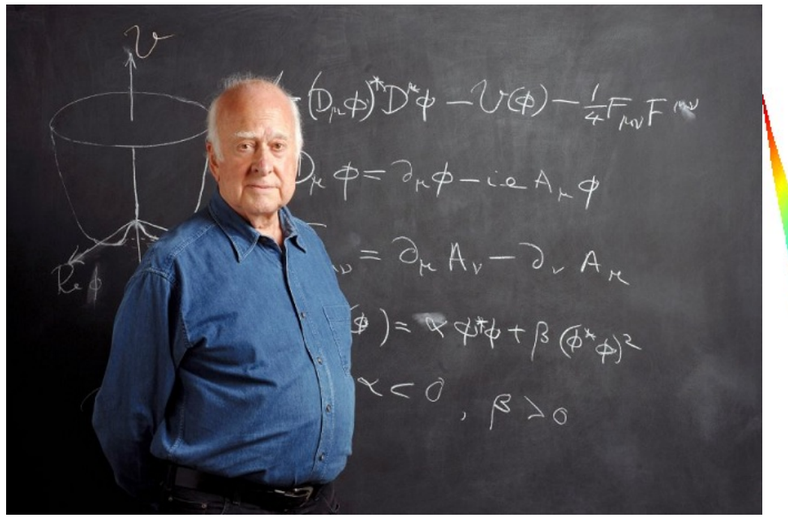
$$F_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu \ - \partial_\nu A_\mu$$

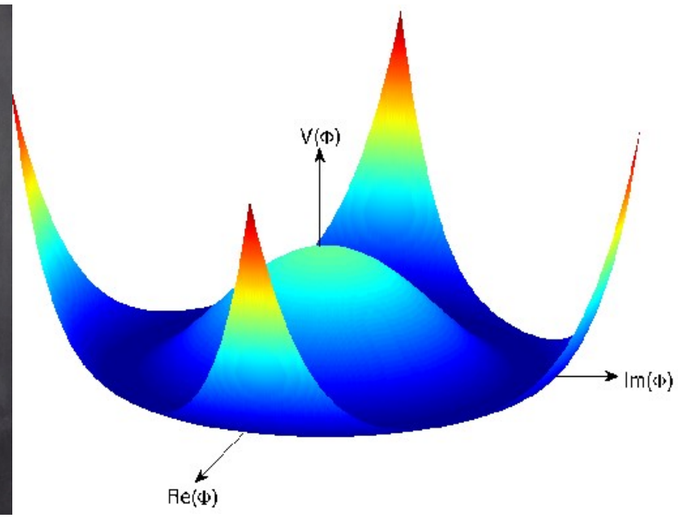
•Теории Янга-Миллса

C. N. Yang (1922 -) and Robert Mills (1927 - 1999)
at Stony Brook in 1999.

$$F^a_{\mu\nu} = \partial_\mu A_\nu{}^a - \partial_\nu A^a_\mu + g f^a_{bc} A^b_\mu A_\nu{}^c$$

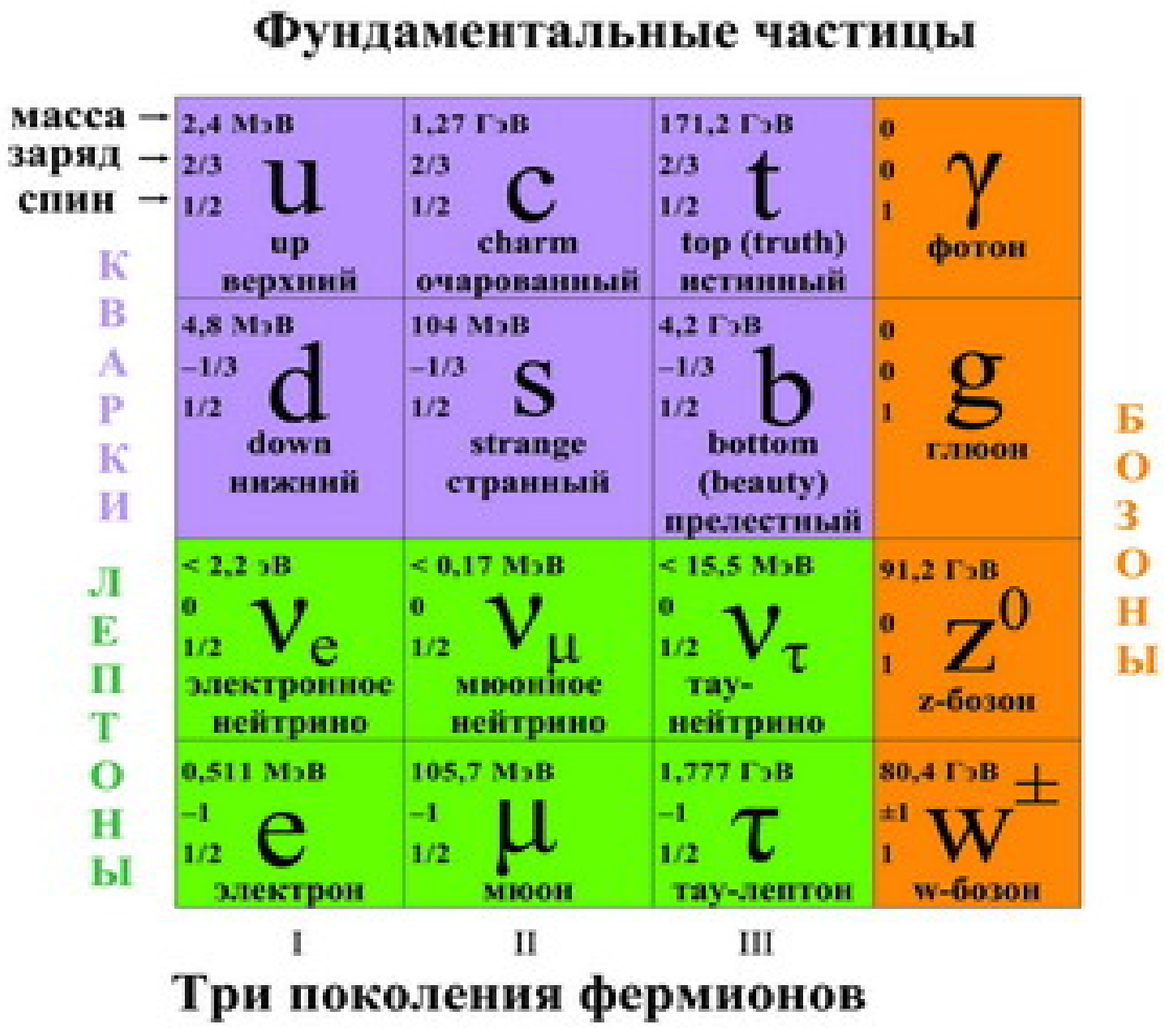
Механизм Хиггса введения масс





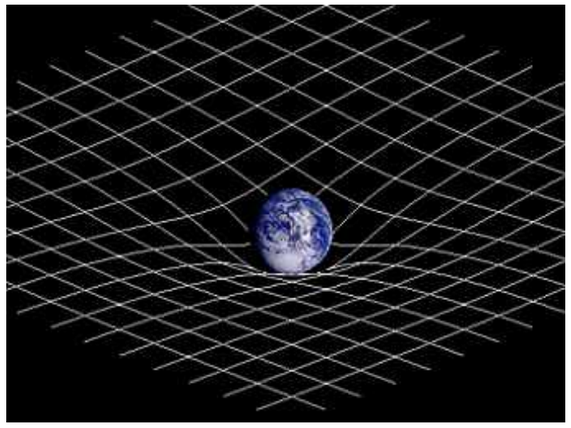
- Тривиальный вакуум – ложный;
- Нетривиальный вакуум – вырожден;
- Спонтанное нарушение симметрии, и «генерация» массового спектра в калибровочно-инвариантной системе.

Фундаментальные частицы материи



Три поколения фермионов

Гравитация

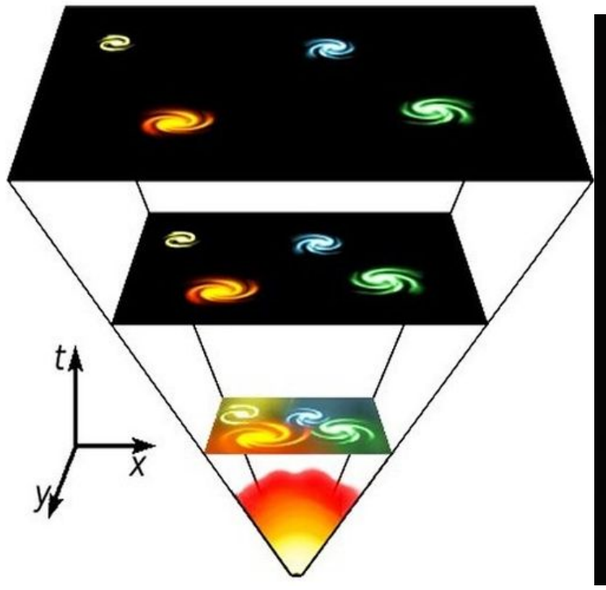


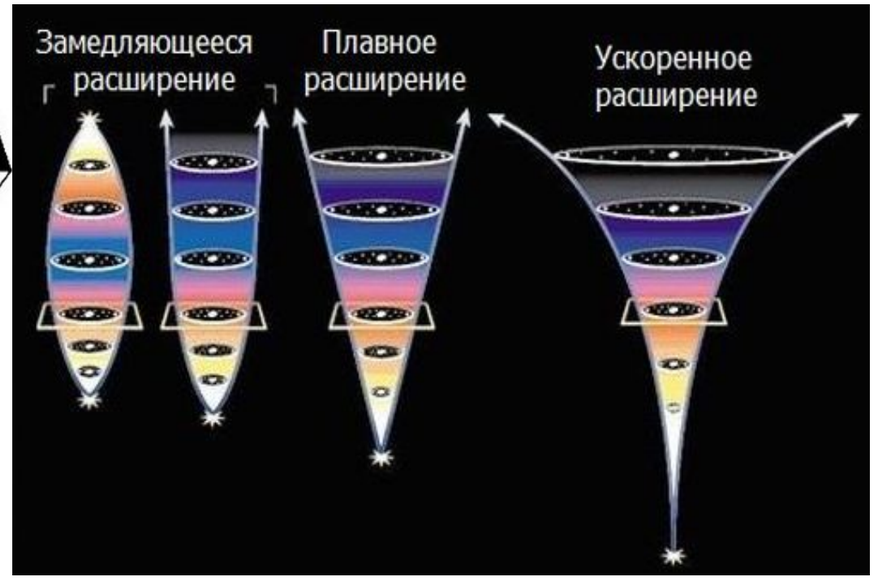
$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

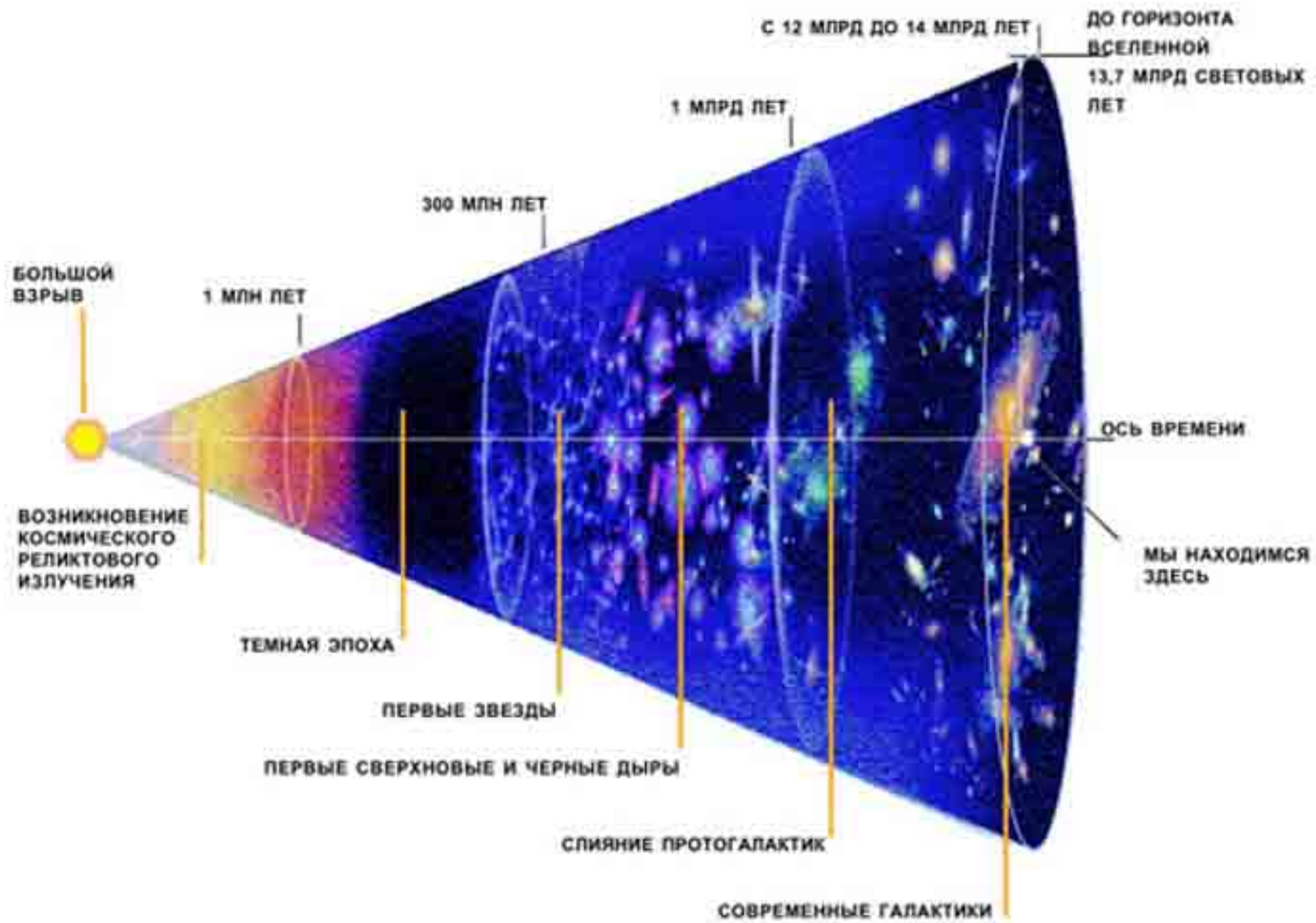
$$\frac{D}{ds}\left(\frac{dx^\mu}{ds}\right) = 0$$

Расширение Вселенной





Эволюция Вселенной



Тёмная энергия и тёмная материя

Спасибо за внимание!