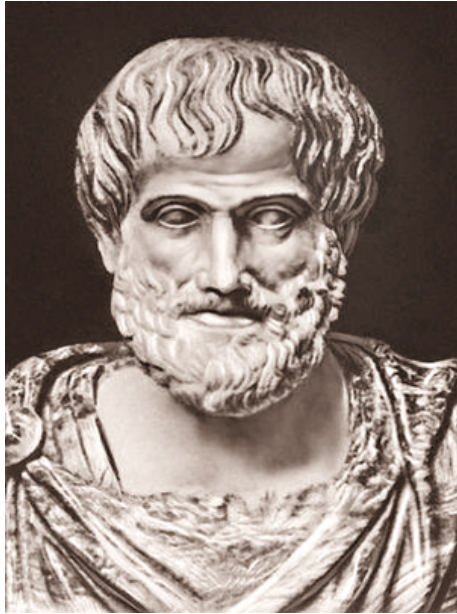




Рождение и жизнь атомных ядер

ЗАКОНЫ ФИЗИКИ

Элементарные частицы вещества. Из чего всё сделано?



Аристотель
384 – 322 гг. до н.э.



Демокрит
460 – 360 до н.э.

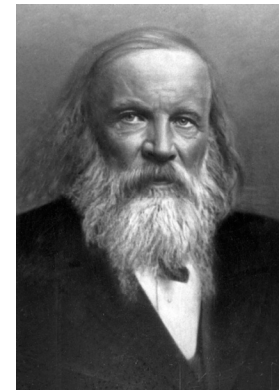


**Атом – неделимая
частица материи**



Антуан Лавуазье
1743 – 1794

Химические элементы



Д. И. Менделеев
1834 – 1907

¹ H							² He		
³ Li	⁴ Be	⁵ B	⁶ C	⁷ N	⁸ O	⁹ F	¹⁰ Ne		
¹¹ Na	¹² Mg	¹³ Al	¹⁴ Si	¹⁵ P	¹⁶ S	¹⁷ Cl	¹⁸ Ar		
¹⁹ K	²⁰ Ca	²¹ Sc	²² Ti	²³ V	²⁴ Cr	²⁵ Mn	²⁶ Fe	²⁷ Co	²⁸ Ni
²⁹ Cu	³⁰ Zn	³¹ Ga	³² Ge	³³ As	³⁴ Se	³⁵ Br	³⁶ Kr		
³⁷ Rb	³⁸ Sr	³⁹ Y	⁴⁰ Zr	⁴¹ Nb	⁴² Mo	⁴³ Tc	⁴⁴ Ru	⁴⁵ Rh	⁴⁶ Pd
⁴⁷ Ag	⁴⁸ Cd	⁴⁹ In	⁵⁰ Sn	⁵¹ Sb	⁵² Te	⁵³ I	⁵⁴ Xe		
⁵⁵ Cs	⁵⁶ Ba	La-Lu	⁷² Hf	⁷³ Ta	⁷⁴ W	⁷⁵ Re	⁷⁶ Os	⁷⁷ Ir	⁷⁸ Pt
⁷⁹ Au	⁸⁰ Hg	⁸¹ Tl	⁸² Pb	⁸³ Bi	⁸⁴ Po	⁸⁵ At	⁸⁶ Rn		
⁸⁷ Fr	⁸⁸ Ra	Ac-Lr	¹⁰⁴ Rf	¹⁰⁵ Db	¹⁰⁶ Sg	¹⁰⁷ Bh	¹⁰⁸ Hs	¹⁰⁹ Mt	¹¹⁰ Ds
¹¹¹ Rg	¹¹² Cn	113	114	115	116	117	118		

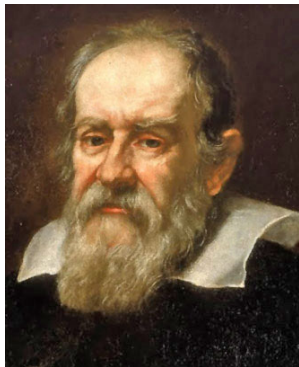
Лантаноиды

⁵⁷ La	⁵⁸ Ce	⁵⁹ Pr	⁶⁰ Nd	⁶¹ Pm	⁶² Sm	⁶³ Eu	⁶⁴ Gd	⁶⁵ Tb	⁶⁶ Dy	⁶⁷ Ho	⁶⁸ Er	⁶⁹ Tm	⁷⁰ Yb	⁷¹ Lu
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

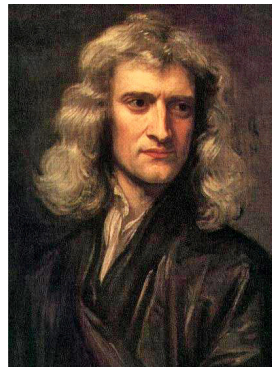
Актиноиды

⁸⁹ Ac	⁹⁰ Th	⁹¹ Pa	⁹² U	⁹³ Np	⁹⁴ Pu	⁹⁵ Am	⁹⁶ Cm	⁹⁷ Bk	⁹⁸ Cf	⁹⁹ Es	¹⁰⁰ Fm	¹⁰¹ Md	¹⁰² No	¹⁰³ Lr
------------------	------------------	------------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

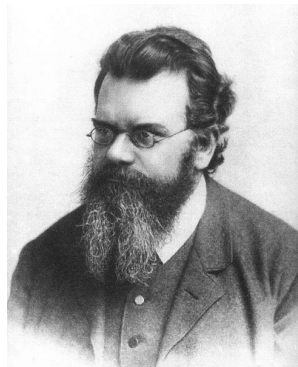
Классическая физика



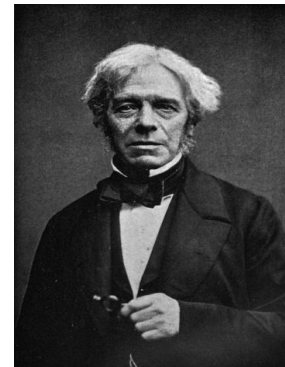
Г. Галилей
1564 – 1642



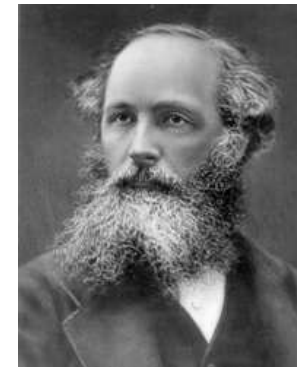
И. Ньютон
1642 – 1727



Л. Больцман
1844 – 1906



М. Фарадей
1791 – 1867



Дж. Максвелл
1831 – 1879

Законы Ньютона

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_{\text{гп}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}$$

Энтропия

$$s = k \lg W$$

Уравнения Максвелла

$$\operatorname{div} E = 4\pi\rho$$

$$\operatorname{div} B = 0$$

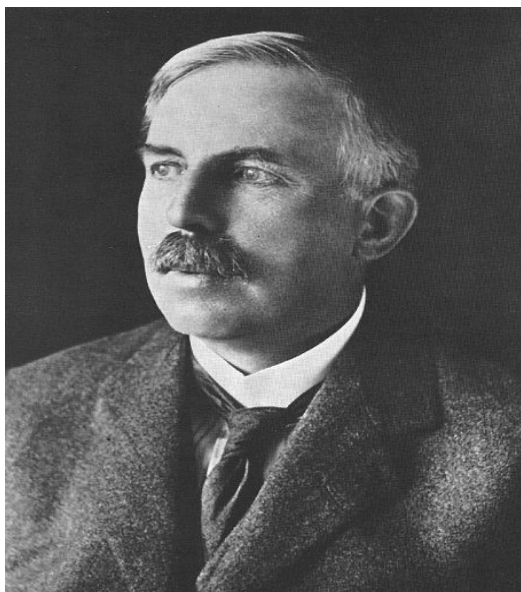
$$\operatorname{rot} E = -\frac{1}{c} \frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} B = \frac{4\pi}{c} j + \frac{1}{c} \frac{\partial E}{\partial t}$$

Строение атома



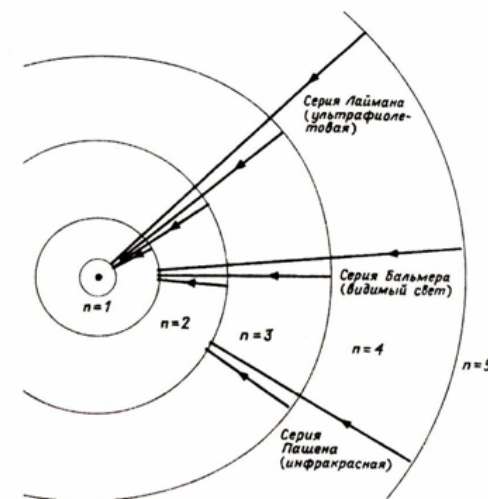
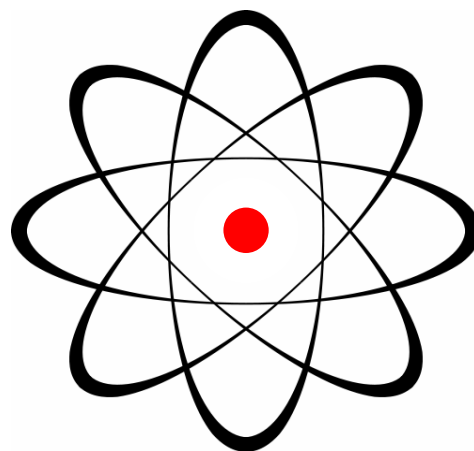
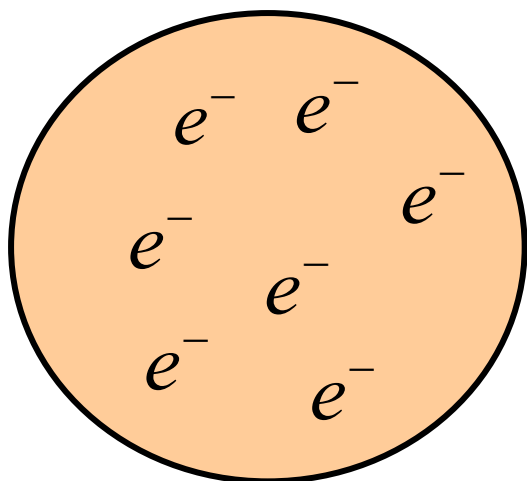
Дж. Дж. Томсон
1856 - 1940



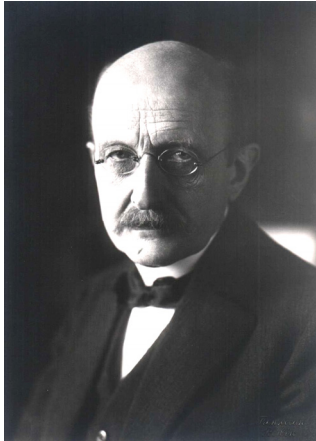
Эрнест Резерфорд
1871 - 1937



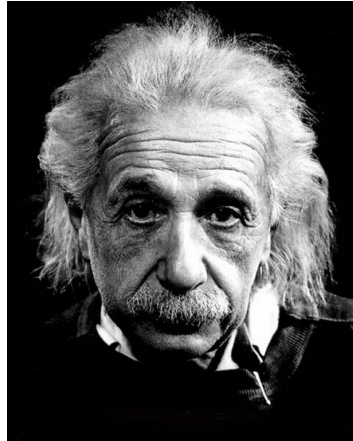
Нильс Бор
1885 - 1962



Квантовое мышление



М. Планк
1858 – 1947



А. Эйнштейн
1879 – 1955



А. Комптон
1892 – 1962



Л. Де Бройль
1892 – 1987

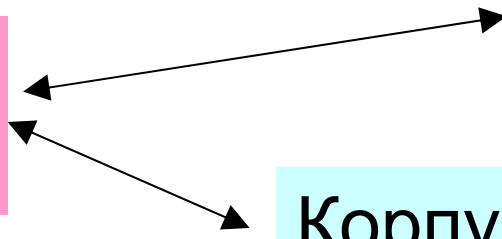
$$E = h\nu$$

$$p = h / \lambda$$

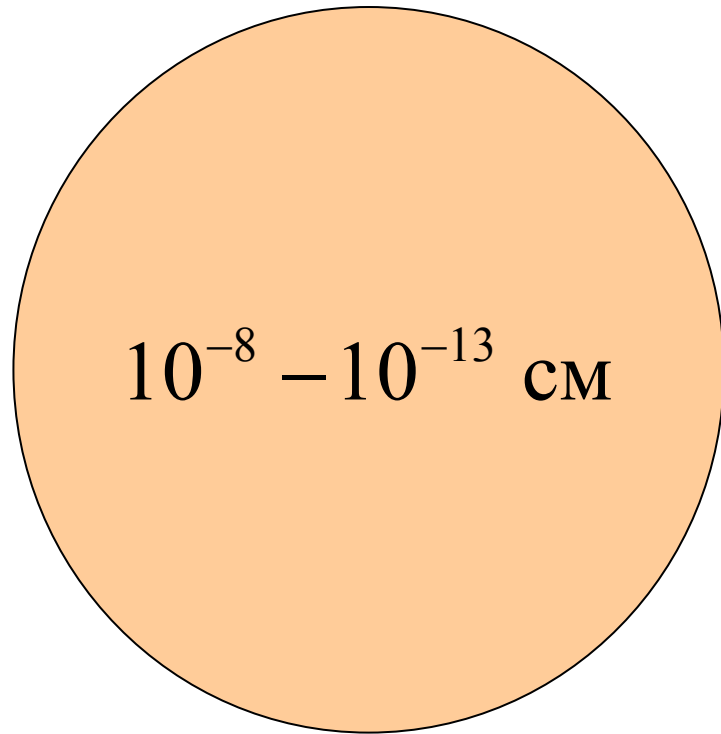
Квантовая
частица

Волновые свойства

Корпускулярные свойства



Человек открыл в атомных ядрах новый мир



4 типа взаимодействий

- Гравитационное
- Электромагнитное
- Сильное
- Слабое

1927 г. – В. Гейзенберг. Принцип неопределенности

Любая физическая система не может находиться в состояниях, в которых координаты её центра инерции и импульс одновременно принимают точные значения.

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \approx \hbar$$

Если система находится в стационарном состоянии, энергию системы в этом состоянии можно измерить с точностью ΔE , не превышающей $\hbar/\Delta t$, где Δt – длительность процесса измерения.

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx \hbar$$

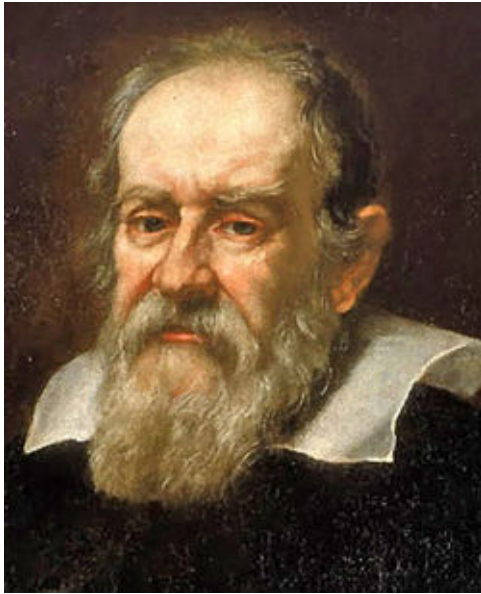


В. Гейзенберг
1901 – 1976

Как устроен Мир. 60-е годы XX века

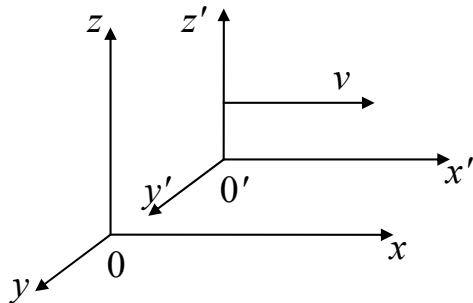
Фермионы $J = 1/2, 3/2, \dots$		Бозоны $J=0, 1, 2 \dots$	
Барионы	Лептоны	Фотон	Мезоны
Нуклоны p, n	Электрон e^-	γ	Пионы π^-, π^+, π^0
Резонансы Δ, N	Мюон μ^-		Странные K -мезоны
Гипероны $\Lambda, \Sigma, \Xi, \Omega^-$	Нейтрино ν_e, ν_μ		Нестранные ρ -, ω - мезон
$B = 1$	$L = 1$		$B = 0$

Г. Галилей



Галилео Галилей
1564 – 1642

- Заложил основы научного подхода в описание физического мира
- Сформулировал понятие движения
- Сформулировал законы движения падающих тел
- 1638 Принцип относительности



$$x' = x - vt,$$

$$y' = y,$$

$$z' = z,$$

$$t' = t$$

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$$

Принцип относительности

Все наблюдатели, движущиеся с постоянной скоростью, испытывают действие одних и тех же физических законов. Поэтому каждый наблюдатель может утверждать, что он находится в покоящейся системе координат.

1905 г. Специальная теория относительности



Альберт Эйнштейн
1879 – 1955

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

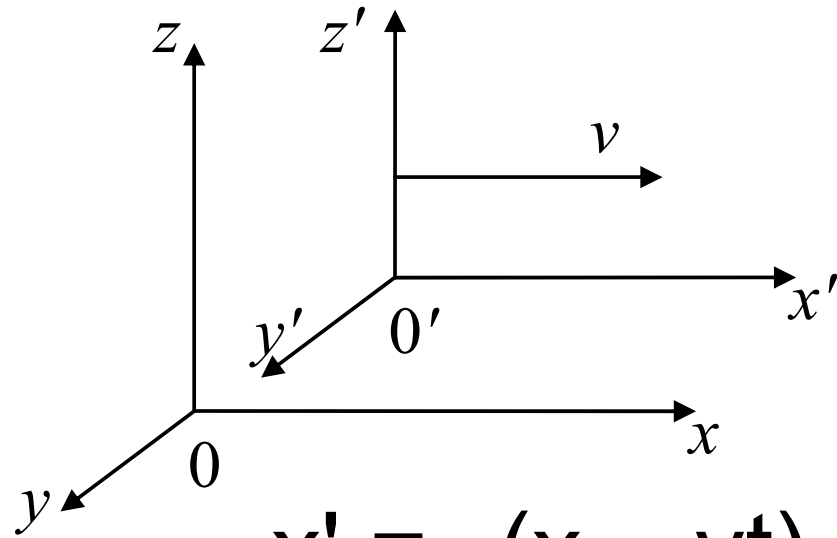
Постулаты Эйнштейна

1. Все физические законы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета, движущихся относительно друг друга поступательно и равномерно.
2. Скорость света в пустоте одинакова с точки зрения всех наблюдателей независимо от движения источника света относительно наблюдателя.

Пространство. Время. Наблюдатель

1638 г. Преобразования Галилея

1904 г. Преобразования Лоренца



$$x' = x - vt,$$

$$y' = y,$$

$$z' = z,$$

$$t' = t$$

$$x' = \gamma(x - vt),$$

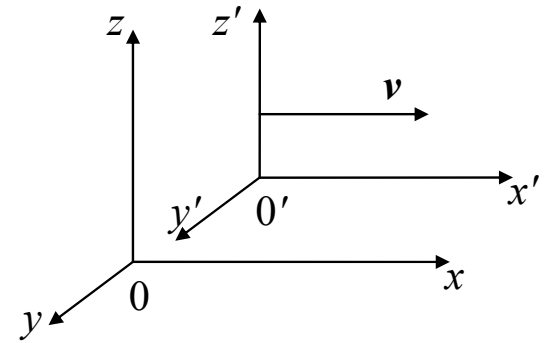
$$y' = y,$$

$$z' = z,$$

$$t' = \gamma(t - \beta x/c)$$

$$\beta = \frac{v}{c}, \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Замедление времени



Интервал времени, измеренный в движущейся системе отсчета S' , длиннее интервала времени в покоящейся системе отсчета S .

$$t' = t \cdot \gamma = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Сокращение длины

Размер линейки, движущейся параллельно своей оси в системе отсчета S' , короче размера линейки в покоящейся системе отсчета S .

$$l' = \frac{l}{\gamma} = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Классическая и релятивистская динамики

$$E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2}$$

$$p = mv$$

τ_0 - время жизни частицы
в системе покоя

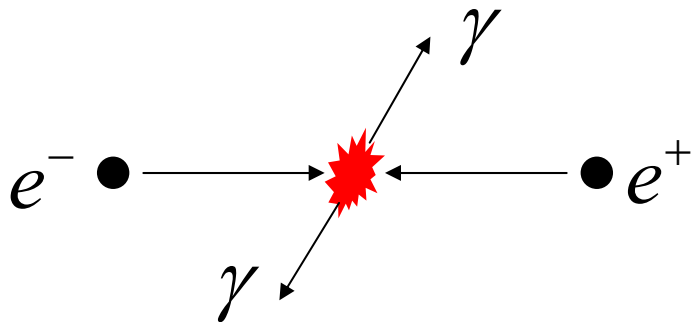
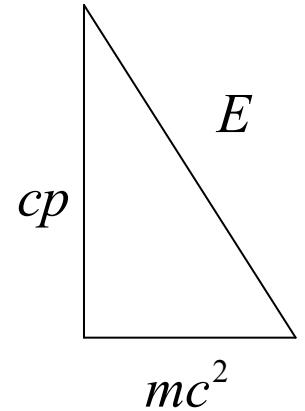
$$E^2 = c^2 p^2 + m^2 c^4$$

$$E_{\text{кин}} = E - mc^2$$

$$p = \frac{mc\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

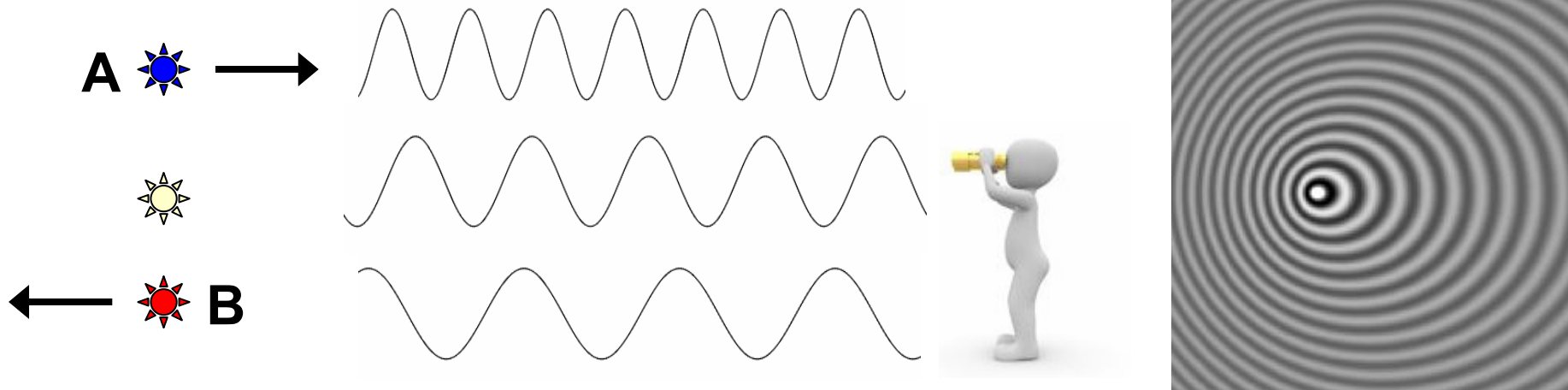
$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

- время жизни частицы,
движущейся со скоростью β .



1842 г. Эффект Доплера

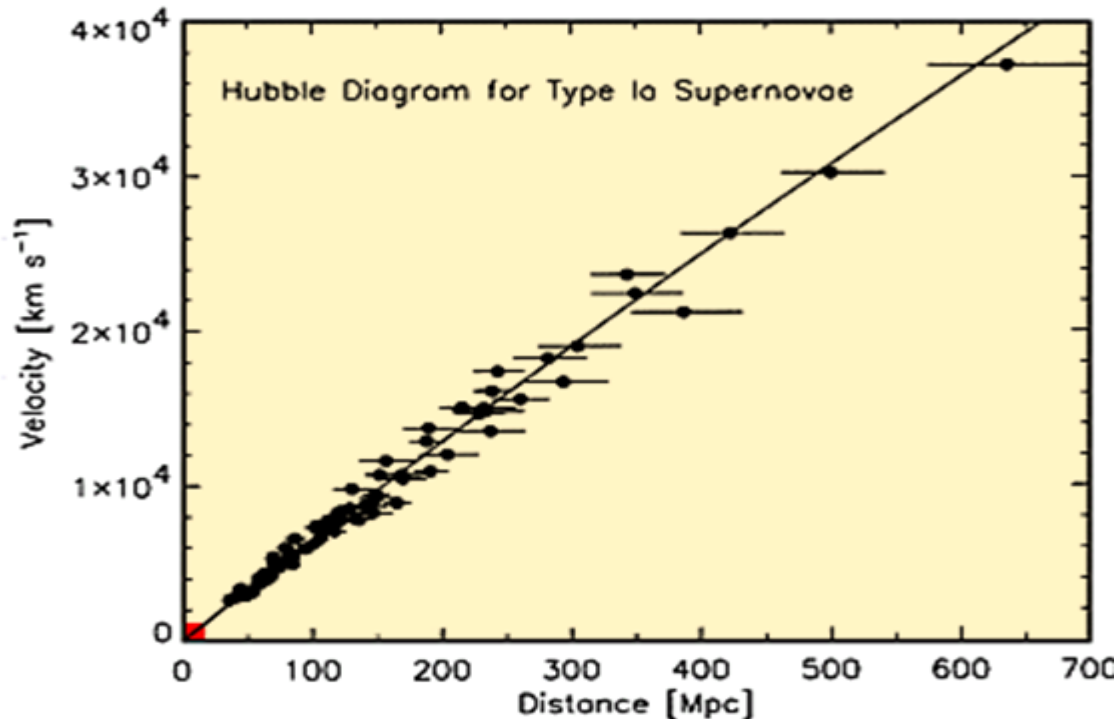
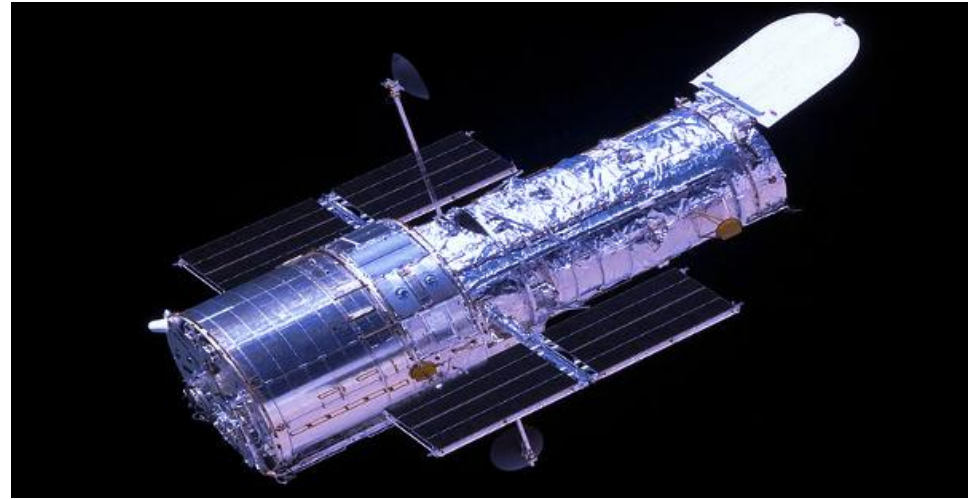
Во всех инерциальных системах отсчета скорость света в вакууме постоянна и равна c . Существует ли различие в световых сигналах от неподвижного и движущегося источников? **Да.** Оно проявляется в эффекте Доплера. Свет, приходящий к наблюдателю от источника **A**, движущегося к наблюдателю, будет приходить с меньшей длиной волны (синее смещение). Свет, приходящий к наблюдателю от источника **B**, удаляющегося от наблюдателя, будет приходить с большей длиной волны (красное смещение).



Другие галактики



Э. Хаббл
1889 – 1953



1924 - туманность Андромеда – другая галактика

1929 - красное смещение, разбегание галактик

1990 - запуск телескопа Хаббл

$$V = H \cdot R$$

Постоянная Хаббла

$$H = 71 \pm 4 \frac{\text{км}}{\text{сек} \cdot \text{мегапарсек}}$$

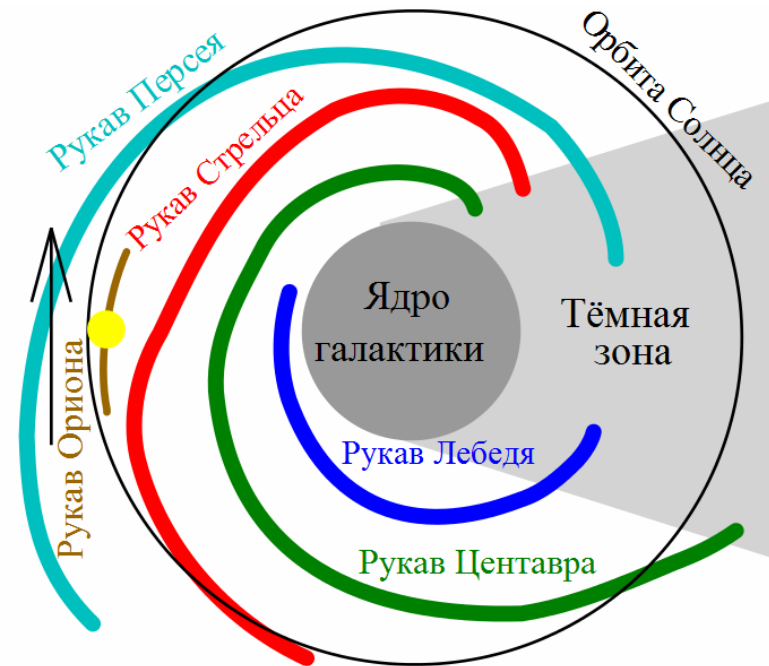
Туманность Андромеды



Галактика Млечный путь

Масса	$\sim 3 \cdot 10^{12} M_{\odot}$
Число звезд	~ 200 млрд. звезд
Диаметр	$\sim 100\,000$ св. лет
Толщина	
балдж	3000 св. лет
диск	1000 св. лет

Скорость относительно реликтового излучения	550 км/сек
Галактический период обращения Солнца	200–250 млн. лет



Модели Вселенной



Жорж Леметр
1894 – 1966

Стационарная модель Вселенной

**Независимость расширения
Вселенной и появления материи.**

Теория панспермии.

Автор термина «Большой Взрыв».

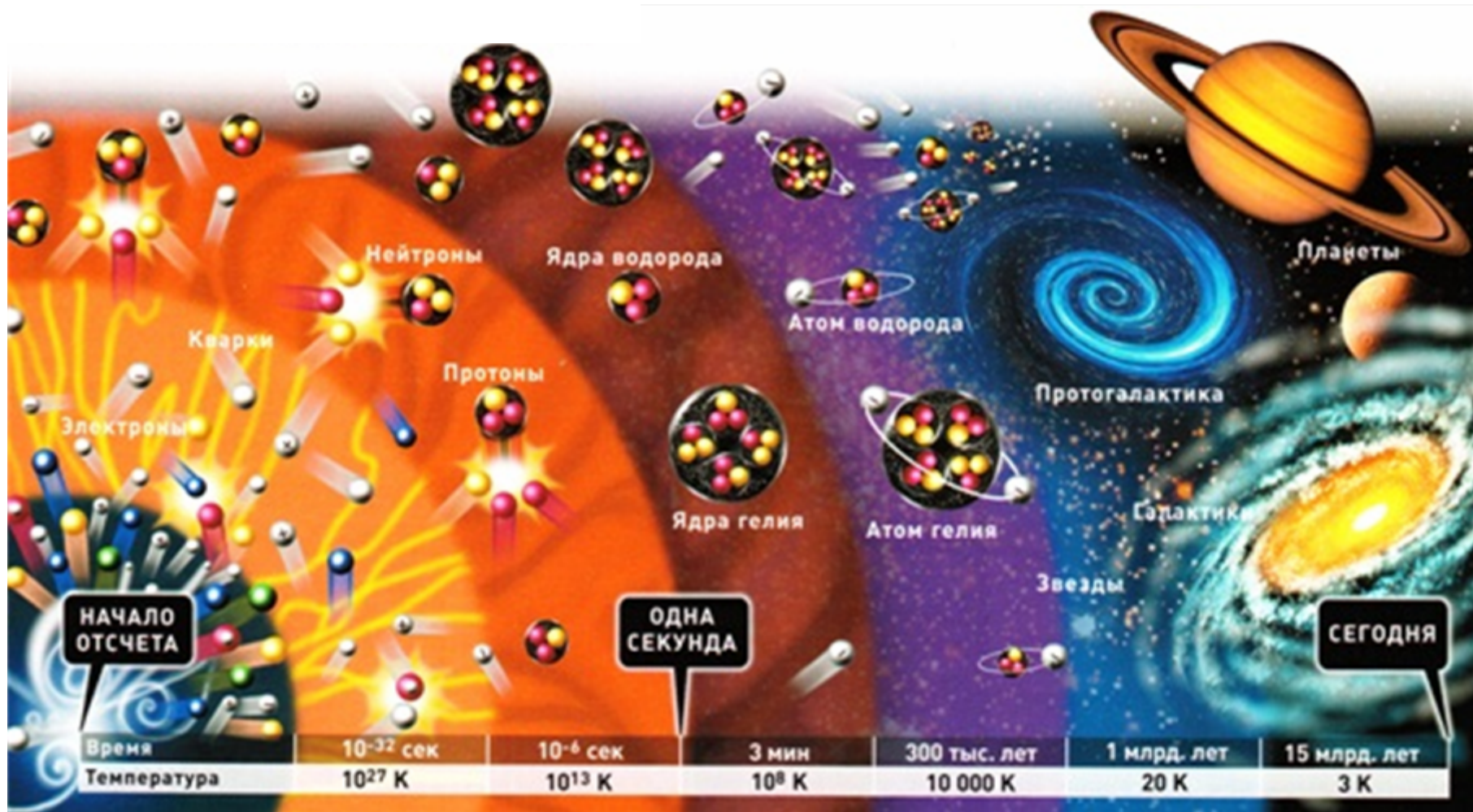


Фред Хойл
1915 – 2001

**Модель расширяющейся
Вселенной, развитая на основе
наблюдаемого красного
смещения галактик.**

**Закономерность между
расстоянием до галактики и её
скоростью.**

История Вселенной



Планковские единицы

Объединение четырёх фундаментальных взаимодействий, включая гравитацию, должно происходить при энергиях $\approx 10^{19}$ ГэВ. Эту энергию называют *планковской*. Она получается комбинацией трёх мировых констант: гравитационной постоянной G , постоянной Планка \hbar и скорости света:

Планковская энергия

$$E_{Pl} = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} \approx 1.2 \cdot 10^{19} \text{ ГэВ}$$

Планковская масса

$$m_{Pl} = \frac{E_{Pl}}{c^2} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 1.2 \cdot 10^{19} \text{ ГэВ} / c^2$$

Планковская длина

$$r_{Pl} = \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \approx 10^{-33} \text{ см}$$

При планковской энергии к трём уже объединённым при более низких энергиях сильному, электромагнитному и слабому взаимодействиям присоединяется гравитационное, образуя единое универсальное взаимодействие.

Первые мгновения жизни Вселенной

Время после Большого Взрыва, с	Характерные температуры, К	Характерные расстояния, см	Этап/Событие
$< 10^{-43}$	$> 10^{32}$	$< 10^{-33}$	Квантовый хаос. Суперсимметрия (объединение всех взаимодействий)
10^{-43}	10^{32}	10^{-33}	Планковский момент. Отделение гравитационного взаимодействия
$10^{-43} - 10^{-36}$	$10^{32} - 10^{28}$	$10^{-33} - 10^{-29}$	Великое объединение электрослабого и сильного взаимодействий
10^{-36}	10^{28}	10^{-29}	Конец Великого объединения. Разделение сильного и электрослабого взаимодействий
10^{-10}	10^{15}	10^{-16}	Конец электрослабого объединения

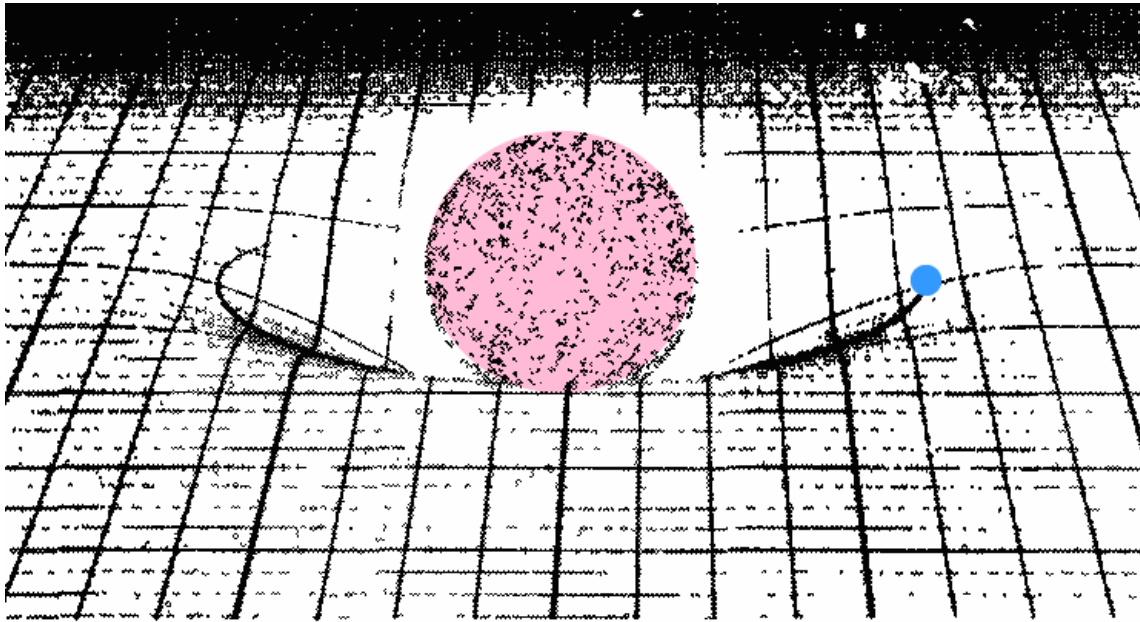
Космическая шкала времени

Время от настоящего момента, млрд. лет	Событие
14	Большой Взрыв
14	Рождение частиц, аннигиляция вещества и антивещества
14	Синтез ^2H , ^4He
13	Образование Галактик
10	Сжатие нашей протогалактики
10	Образование первых звёзд
5	Образование Солнечной системы, планет
4	Образование земных пород
3	Зарождение микроорганизмов
2	Формирование атмосферы Земли
1	Зарождение жизни
0,60	Ранние окаменелости
0,45	Рыбы
0,15	Динозавры
0,05	Первые млекопитающие
2 млн. лет	Человек

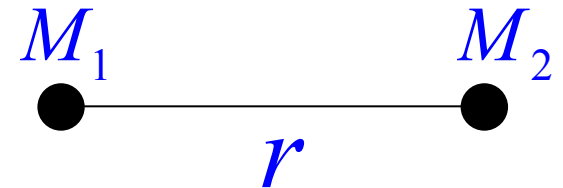
Гравитация.

Общая теория относительности.

Искривление пространства

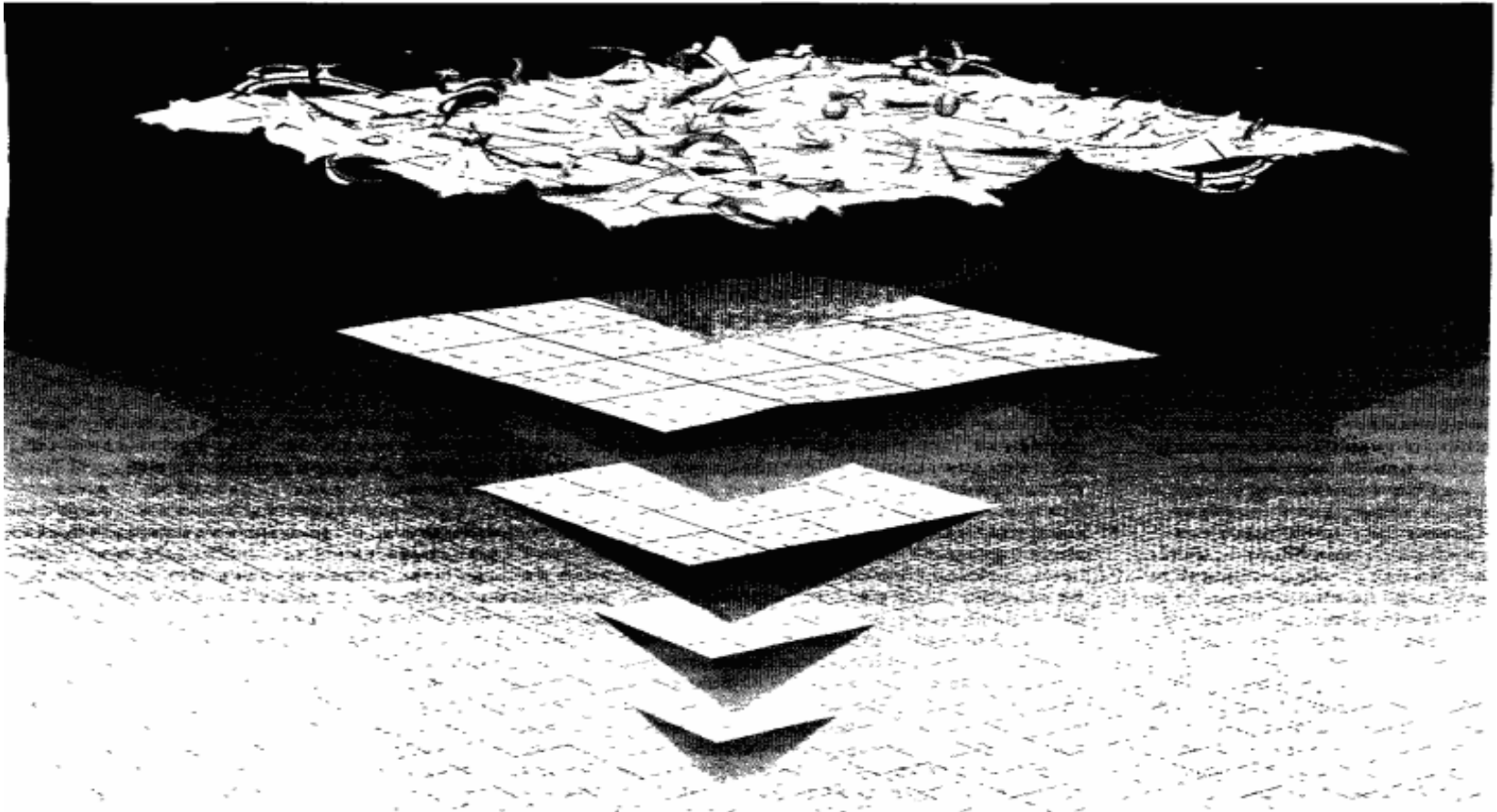


$$F = G \frac{M_1 M_2}{r^2}$$



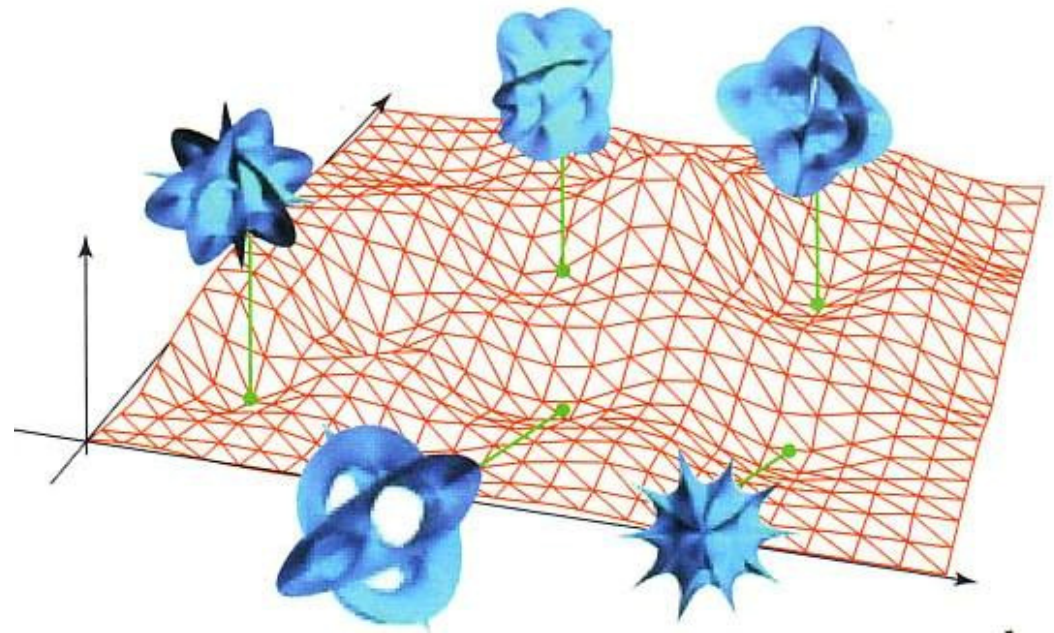
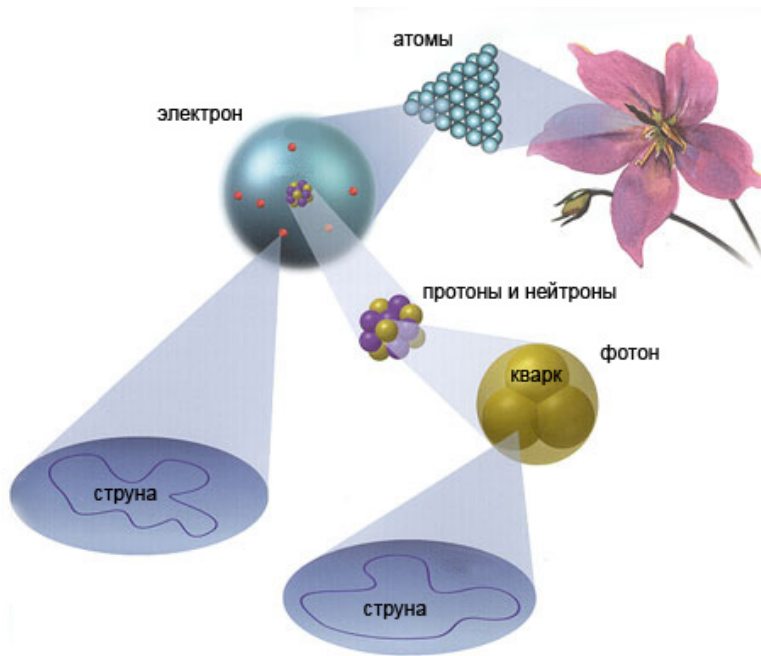
Земля остается на орбите вокруг Солнца потому, что катится по ложбине в искривленной структуре пространства. Говоря более точно, она следует «линии наименьшего сопротивления» в деформированной окрестности Солнца

Квантовая теория. Структура пространства

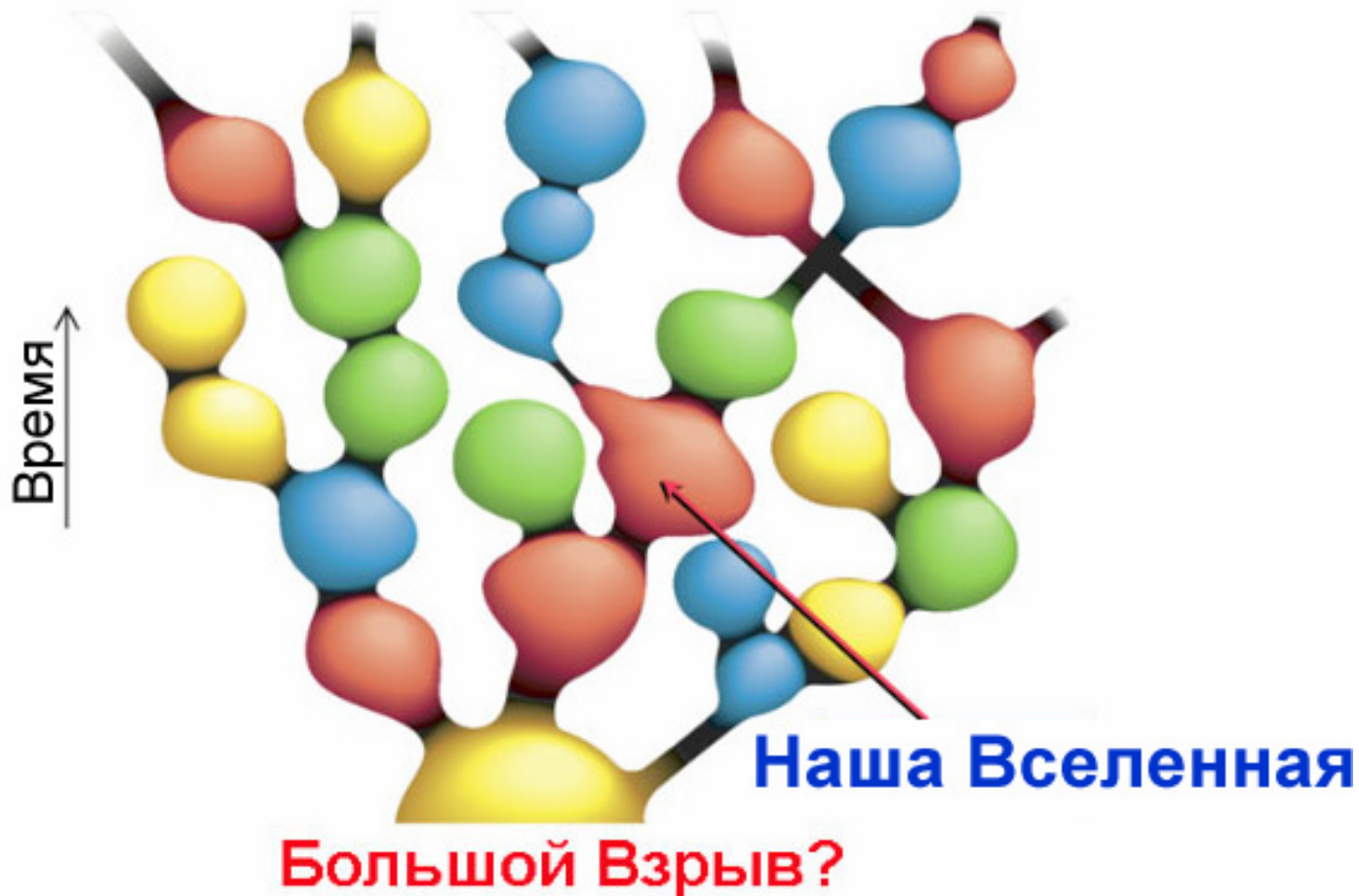


Рассматривая область пространства при все большем увеличении, можно исследовать свойства пространства на ультрамикроскопическом уровне. Попытки объединить общую теорию относительности и квантовую механику наталкиваются на кипящую квантовую пену, проявляющуюся при самом большем увеличении.

Струны. 10 + 1



Параллельные Вселенные



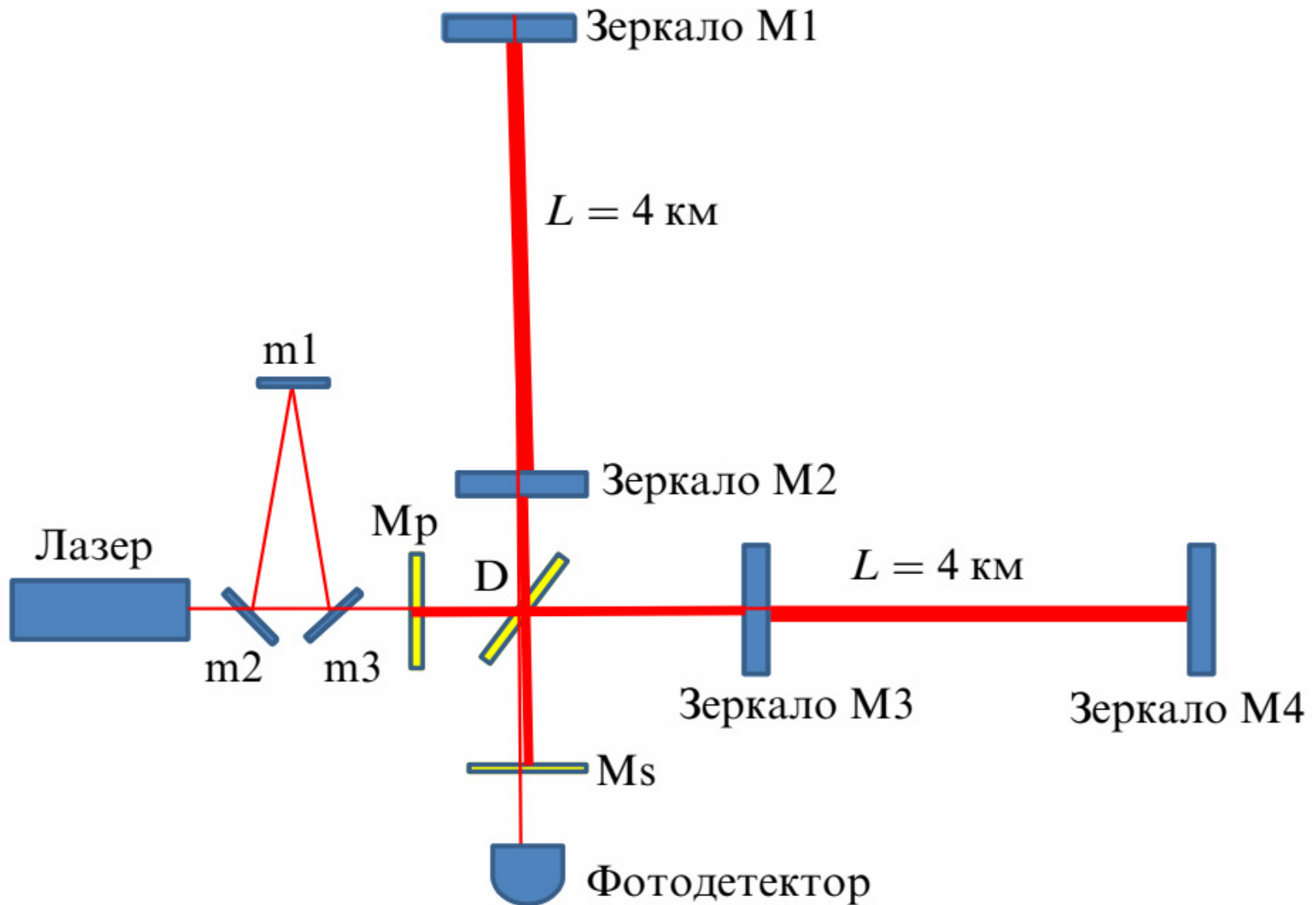
Из принципа неопределенности следует, что Вселенные могут иметь различные истории развития. Мы живём в одной из таких Вселенных.

Лазерные интерферометрические обсерватории

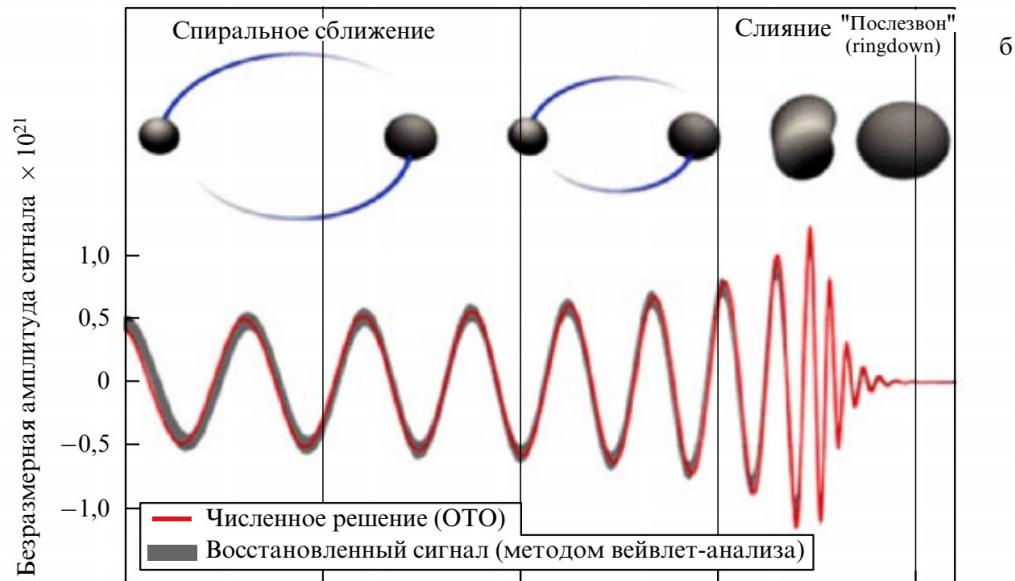
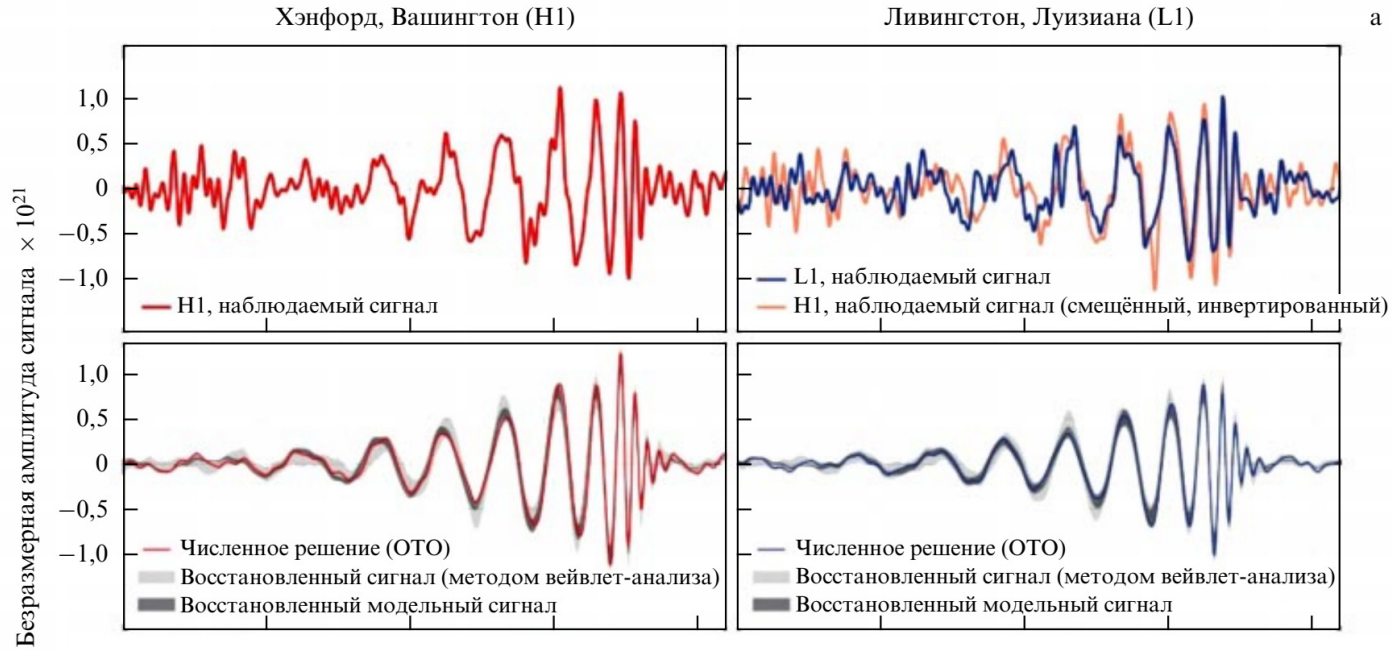


(а) LIGO в Ливингстоне, (б) LIGO в Хэнфорде, (в) Virgo, (г) GEO-600.

Оптическая схема LIGO

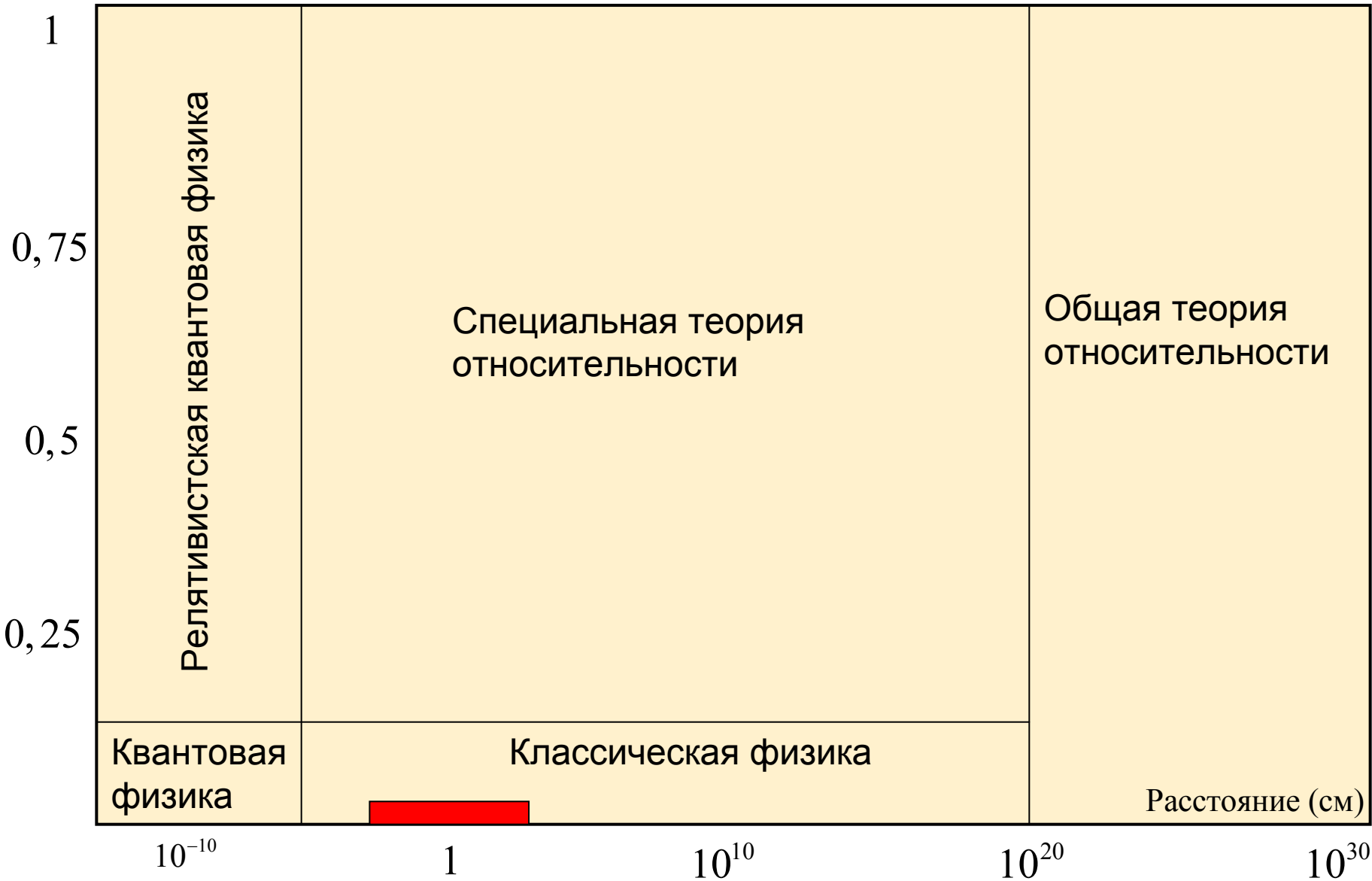


Столкновение черных дыр



Явления повседневной жизни

$$\beta = \frac{v}{c}$$



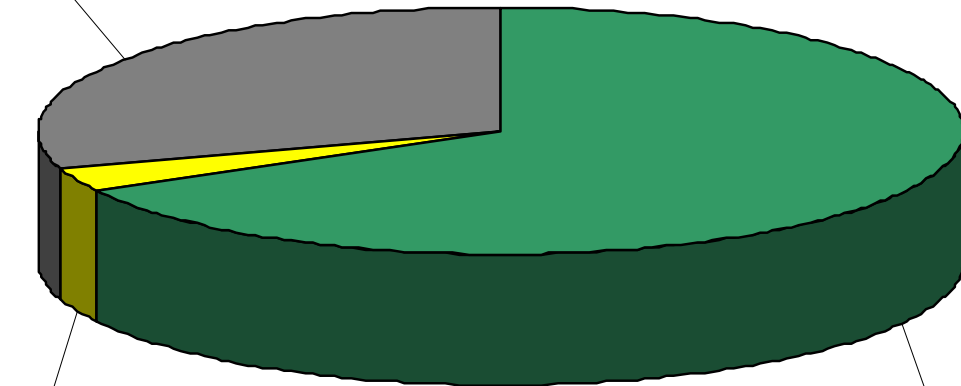
Как устроен Мир.

Характеристики Вселенной

БАРИОНЫ	0.02-0.05
в том числе, ЗВЁЗДЫ:	0.002-0.003
ФОТОНЫ	$4.9 \cdot 10^{-5}$
НЕЙТРИНО	$3.3 \cdot 10^{-5}$
ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ	0.2-0.4
ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ (ВАКУУМ)	0.6-0.8
ПОЛНАЯ ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА-ЭНЕРГИИ	1.02 ± 0.02

Темная
материя

Барионы



Вакуум

Краткая история развития Вселенной

Время	Температура	Состояние Вселенной
10^{-45} – 10^{-37} сек	Более 10^{26} К	Инфляционное расширение
10^{-6} сек	Более 10^{13} К	Появление кварков и электронов
10^{-5} сек	10^{12} К	Образование протонов и нейтронов
10^{-4} сек – 3 мин	10^{11} – 10^9 К	Возникновение ядер дейтерия, гелия и лития
400 тыс. лет	4000 К	Образование атомов
15 млн. лет	300 К	Продолжение расширения газового объема
1 млрд. лет	20 К	Зарождение первых звезд и галактик
3 млрд. лет	10 К	Образование тяжелых ядер при взрывах звезд
10–15 млрд. лет	3 К	Появление планет и разумной жизни
10^{14} лет	10^{-2} К	Прекращение процесса рождения звезд
10^{37} лет	10^{-18} К	Истощение энергии всех звезд
10^{40} лет	10^{-20} К	Испарение черных дыр и рождение элементарных частиц
10^{100} лет	10^{-60} – 10^{-40} К	Завершение испарения всех черных дыр

Вопросы? Вопросы!

Несмотря на впечатляющие успехи Стандартной модели, целый ряд вопросов сегодня не имеет убедительных ответов.

1. Почему существуют три поколения фундаментальных частиц, состоящих из пары кварков и лептонов?
2. Существуют ли четвертое, пятое, ... поколения фундаментальных частиц?
3. Почему существуют кварки и лептоны, и чем вызвано различие между ними?
4. Почему фундаментальными частицами вещества являются фермионы, в то время как фундаментальными переносчиками взаимодействия — бозоны?
5. Почему разные фундаментальные частицы имеют разные массы?
6. Почему различаются пространственная и временная степени свободы?
7. Живем ли мы в четырехмерном пространстве-времени, или оно имеет большее число измерений?
8. Существуют ли кванты пространства и времени?
9. ???????