

Происхождение и строение Вселенной

Путешествие от Большого взрыва
к современному космосу.

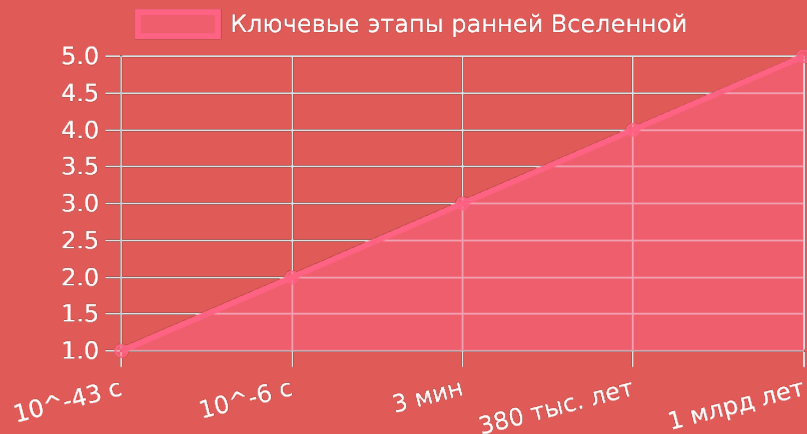


Как космология стала точной наукой

Космология перестала быть только философским размышлением, когда наблюдения показали закономерности движения галактик и реликтового излучения. Сегодня она опирается на измерения, сопоставимые с проверяемыми физическими моделями.



Хронология ранней Вселенной



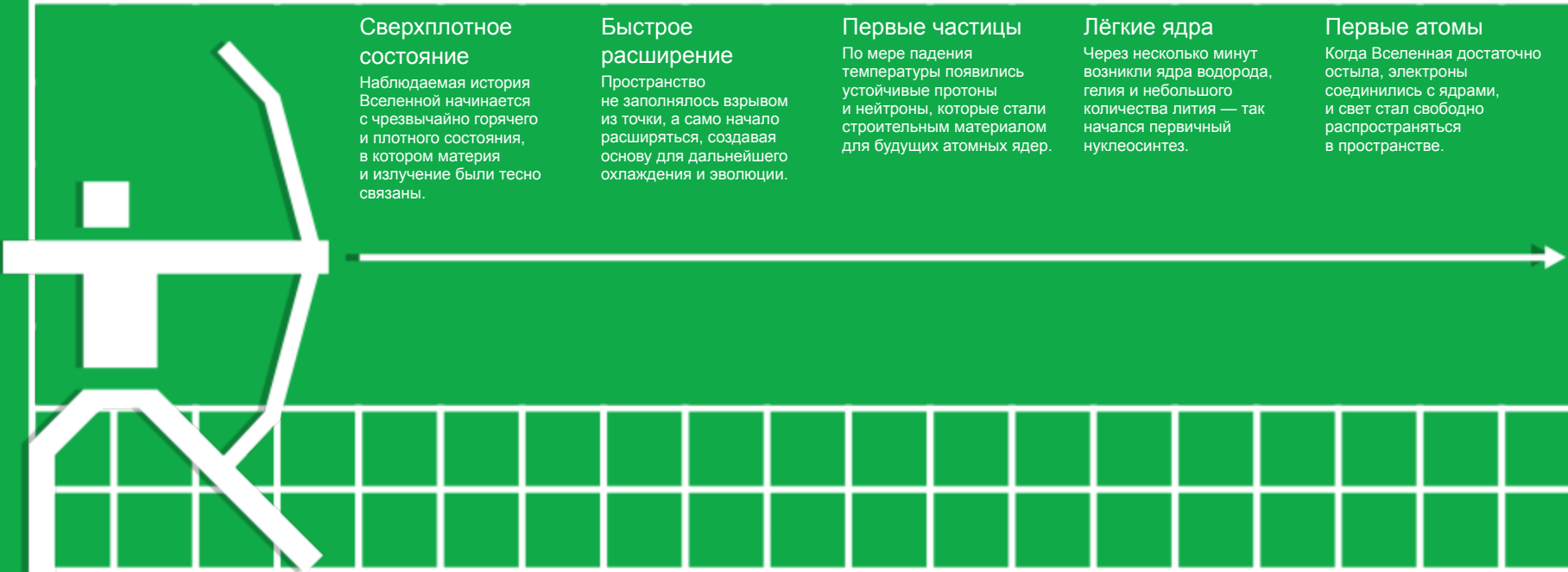
Современная космологическая хронология: стандартная модель Большого взрыва, данные Planck и учебные обзоры по космологии



Эти рубежи показывают, как быстро космос прошёл путь от экстремальных состояний к устойчивой материи и крупным структурам.

Чем позже этап, тем сложнее организация вещества: от элементарных процессов к атомам и галактикам.

Большой взрыв как начало наблюдаемой истории



Состав Вселенной по современным оценкам



Современные измерения показывают, что видимая материя — лишь небольшая часть общей массы-энергии космоса.

Большая часть Вселенной не связана с привычным светящимся веществом; именно это делает космологию задачей о невидимых компонентах.

Компонент	Доля
Тёмная энергия	68,3%
Тёмная материя	26,8%
Обычное вещество	4,9%

Оценки космологической модели Λ CDM; результаты миссии Planck (2018)

Реликтовое излучение — «снимок» ранней Вселенной



Температура фона

Средняя температура реликтового излучения составляет $2,725\text{ K}$, поэтому оно наблюдается как очень холодный микроволновой фон, заполняющий всё небо.

След раннего времени

Почти одинаковая яркость во всех направлениях показывает, какой была Вселенная примерно через 380 тысяч лет после начала расширения.

Небольшие неоднородности

Слабые флуктуации температуры отражают крошечные различия плотности, из которых позже выросли галактики и скопления галактик.

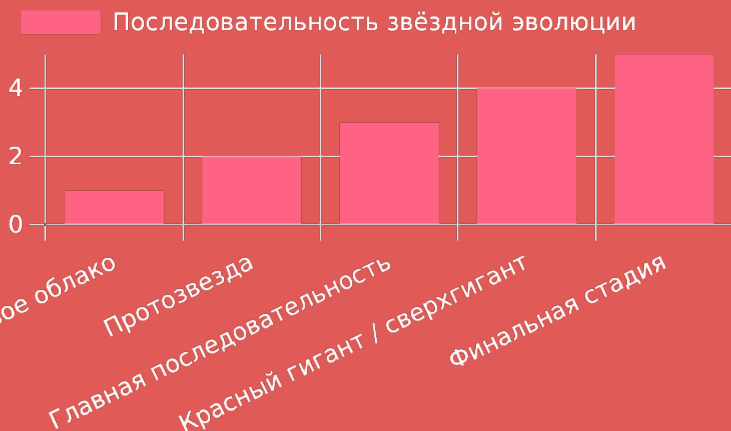
Карта Planck

Цветные пятна на картах спутника Planck позволяют изучать ранние условия с высокой точностью и проверять космологические параметры модели.

Галактики и крупномасштабная структура



Этапы звёздной эволюции



Справочные материалы по звёздной эволюции; астрономические обзоры NASA и ESA



Итоговая судьба звезды зависит прежде всего от её массы, а не только от возраста.

Звезда развивается по общей схеме, но масса определяет скорость изменений и тип конечного остатка.

99,86%

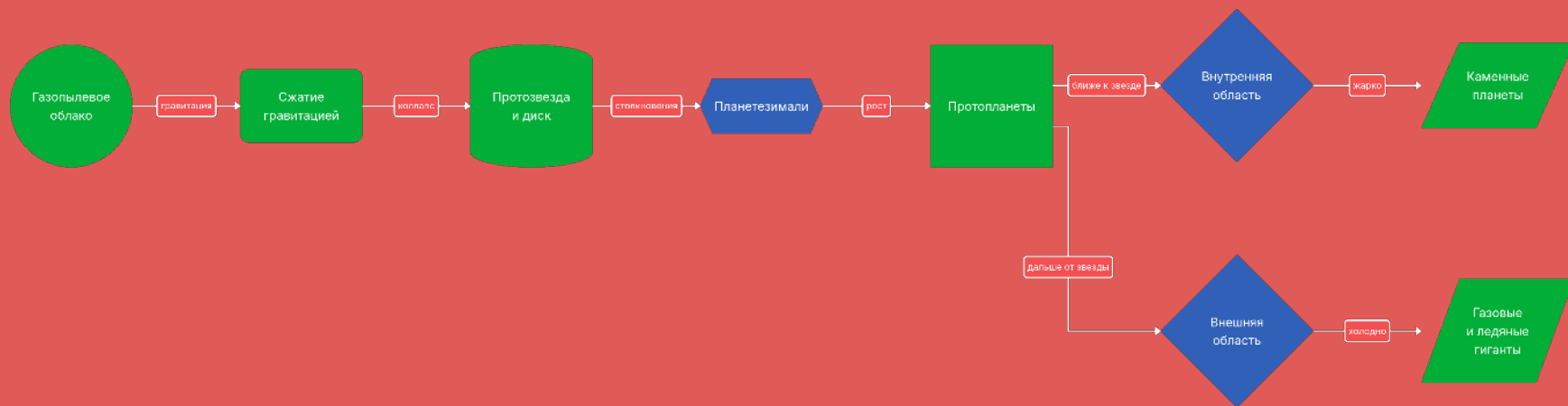
Это показывает, что даже крупные планеты оказывают на общий баланс массы гораздо меньшее влияние, чем центральная звезда.

массы Солнечной системы сосредоточено в Солнце.

Астрономические справочные данные о массе Солнца и планет Солнечной системы

Как формируется планетная система

Схема образования планет из газопылевого диска вокруг молодой звезды



Истории о том, где заканчивается привычная физика

Звезда, которая не удержала себя

Когда у очень массивной звезды заканчивается топливо, давление излучения уже не может противостоять гравитации. Ядро стремительно сжимается, а окружающее вещество нередко образует яркий аккреционный диск, разогретый до огромных температур.



Граница, из-за которой нет возврата

Горизонт событий — это не твёрдая поверхность, а предел пространства-времени вокруг чёрной дыры. Всё, что пересекает его, включая свет, уже не может покинуть область сильнейшей гравитации и исчезает для внешнего наблюдателя.



Сравнение космических масштабов



Объект	Масштаб
Проксима Центавра	4,24 св. года
Млечный Путь	≈ 100 тыс. св. лет
Андромеда	$\approx 2,5$ млн св. лет
Наблюдаемая Вселенная	$\approx 46,5$ млрд св. лет

Одни и те же единицы измерения помогают увидеть, насколько различаются расстояния внутри и за пределами нашей Галактики.

Даже ближайшие звёздные окрестности несравнимо меньше размеров галактик, а размеры Галактики — ничтожная часть наблюдаемой Вселенной.

Астрономические справочники и принятые в космологии оценки расстояний

Невидимая масса, удерживающая галактики



Света нет, гравитация есть

Тёмная материя не излучает и не поглощает свет, поэтому напрямую её не видно. Однако её присутствие выявляют по движению звёзд и газа, которые подчиняются дополнительному гравитационному влиянию.

Скорости в галактиках

Кривые вращения показывают, что внешние области галактик движутся быстрее, чем ожидалось бы по массе видимого вещества. Это одно из самых убедительных свидетельств существования невидимой материи.

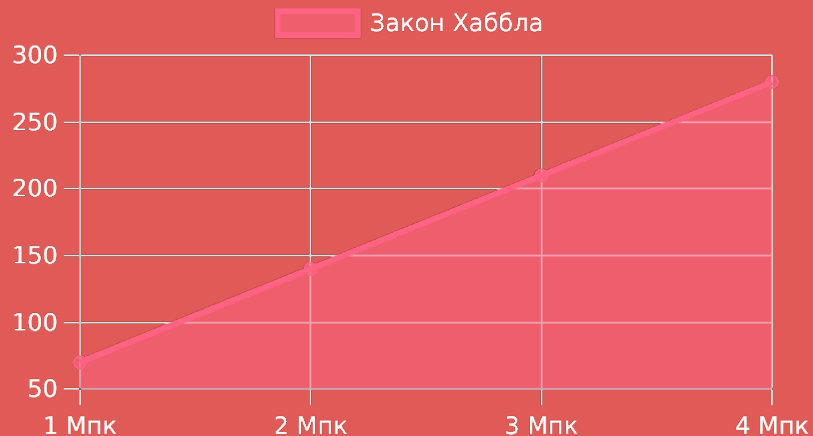
След в гравитационном линзировании

Массивные структуры искривляют траектории света от далёких объектов. По степени этого искривления можно оценить распределение невидимой массы и увидеть то, что невозможно заметить обычным телескопом.

Каркас космической паутины

Тёмная материя помогает формировать крупномасштабную структуру Вселенной: нити, узлы и скопления. Без неё галактики и их объединения были бы значительно менее устойчивыми и слабо связаны гравитацией.

Наблюдаемое расширение Вселенной



Закон Хаббла; учебная иллюстрация на основе типичных значений скорости удаления галактик



Чем дальше объект, тем сильнее сдвиг его спектральных линий в красную область. Это позволяет измерять удаление галактик и проверять космологические модели.

Линейная зависимость подтверждает расширение пространства; наклон линии отражает постоянную Хаббла и задаёт масштаб скорости разбегания галактик.

Почему тёмная энергия стала главной загадкой



Ускорение расширения

Наблюдения далёких сверхновых показали, что Вселенная расширяется не только непрерывно, но и с ускорением. Это открытие изменило представления о будущем космоса.



Связь с самим пространством

Тёмную энергию рассматривают не как обычное вещество, а как свойство пространства-времени. Она действует на крупнейших масштабах и проявляется только через общую динамику Вселенной.



Наибольшая доля состава

По современным оценкам, тёмная энергия составляет около двух третей космического бюджета. При этом её физическая природа остаётся неизвестной и требует новых наблюдений и теорий.



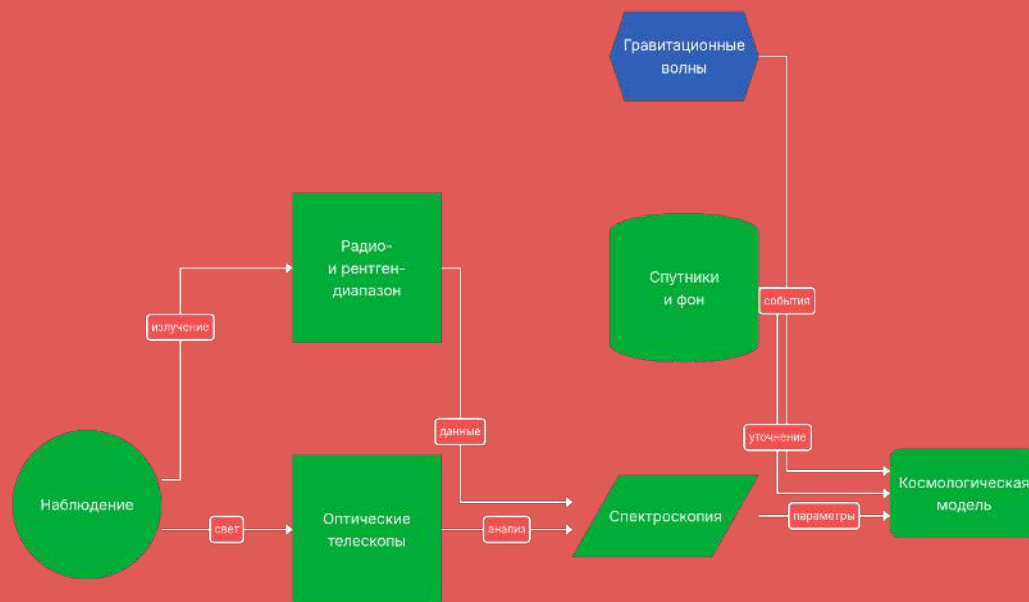
Открытая научная проблема

Объяснить ускоренное расширение можно только частично. Именно поэтому тёмная энергия остаётся одной из центральных задач современной космологии и проверкой для новых фундаментальных моделей.



От сигнала к космологической картине

Разные инструменты собирают данные в разных диапазонах, а затем объединяют их в единую модель Вселенной.



Как звёзды создают вещество для планет и жизни

Внутри звезды

- 1 В недрах звёзд лёгкие ядра сливаются в более тяжёлые. Так постепенно появляются углерод, кислород и многие другие элементы, из которых позже строятся камни, атмосферы и живые системы.

Во взрыве сверхновой

- 2 Когда массивная звезда завершается взрывом, в окружающее пространство выбрасываются уже синтезированные элементы и создаются условия для образования новых тяжёлых ядер, включая железо и более тяжёлые вещества.

Материя для новых миров

- 3 Разбросанное вещество смешивается с межзвёздным газом и входит в состав следующих поколений звёзд и планет. Именно поэтому Солнечная система содержит элементы, возникшие задолго до её рождения.



Наблюдательные подтверждения модели Большого взрыва



Несколько независимых фактов сходятся в одну картину: ранняя Вселенная была горячей, плотной и затем начала расширяться.

Разные типы данных не противоречат друг другу, а взаимно подтверждают сценарий горячего раннего расширения Вселенной.

Признак	Что показывает
Красное смещение	Расширение
Реликтовое излучение	Горячее прошлое
Н и He	Нуклеосинтез
Структура	Рост неоднородностей

Наблюдения галактик, реликтового излучения и химического состава вещества

Вопросы, на которые наука ещё ищет ответ



Что такое тёмная материя

Мы видим её гравитационные эффекты, но не знаем, из каких частиц или объектов она состоит. Поиск продолжается в подземных детекторах, ускорителях и астрономических наблюдениях.

Природа тёмной энергии

Неясно, является ли она свойством вакуума, новой формой поля или признаком неполноты нашей теории гравитации. Именно этот вопрос связан с ускоренным расширением Вселенной.

Самые ранние мгновения

Состояние Вселенной до 10^{-43} секунды пока недоступно прямому описанию. Для этого масштаба нужны объединённые теории, которых современная физика ещё не имеет в завершённом виде.

Долгосрочная судьба космоса

Если ускорение сохранится, будущее Вселенной может быть совсем не таким, как в классических моделях. Учёные обсуждают разные сценарии, но окончательный ответ пока неизвестен.

Космос не стоит на месте

Вселенная прошла путь от горячего начала до сложной системы галактик, звёзд и планет. Мы уже многое понимаем, но именно нерешённые вопросы делают космологию живой и особенно интересной наукой.

