

Основные темы и обзор: Расширяющаяся Вселенная

Погружение в ключевые аспекты
расширения Вселенной и его значение
для космологии.

Поворотный момент в понимании космоса



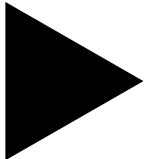
В начале XX века считалось, что Вселенная статична. Открытие Хабблом в 1929 году радикально изменило это представление: галактики удаляются друг от друга, что указывает на расширение космоса.



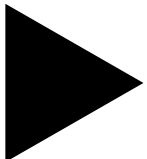
Природа и значение красного смещения



Красное смещение — увеличение длины волны света от удаляющихся объектов, что говорит о движении этих объектов прочь от наблюдателя.



Повсеместное наблюдение красного смещения в спектрах галактик всех направлений подтверждает, что само пространство расширяется.



Степень смещения пропорциональна скорости удаления, что позволяет измерять расстояния и скорость движения далеких галактик.

Зависимость скорости удаления галактик от расстояния (закон Хаббла)

График иллюстрирует прямую связь, подтверждающую однородное расширение пространства на больших масштабах.

Наклон линии соответствует значению постоянной Хаббла, отражая скорость расширения Вселенной.



Хаббл, 1929; обновлено современной астрономией, 2020

67–74 км/с/ Мпк

**это диапазон современных
оценок скорости расширения
Вселенной по разным методам.**

Вариации в измерениях влияют на расчёт
возраста и модели развития Вселенной,
подчеркивая необходимость точных
наблюдений.

Сравнение основных методов измерения постоянной Хаббла

Различные подходы дают близкие, но разные значения постоянной Хаббла, что стимулирует активные научные дебаты.

Наблюдается разрыв между методами, возможно из-за новых физических явлений или систематических ошибок.

Метод	Значение (км/с/Мпк)
Сверхновые типа Ia	~73
Космическое микроволновое излучение (Planck)	~67.4
Гравитационные линзы (H0LiCOW)	72-74

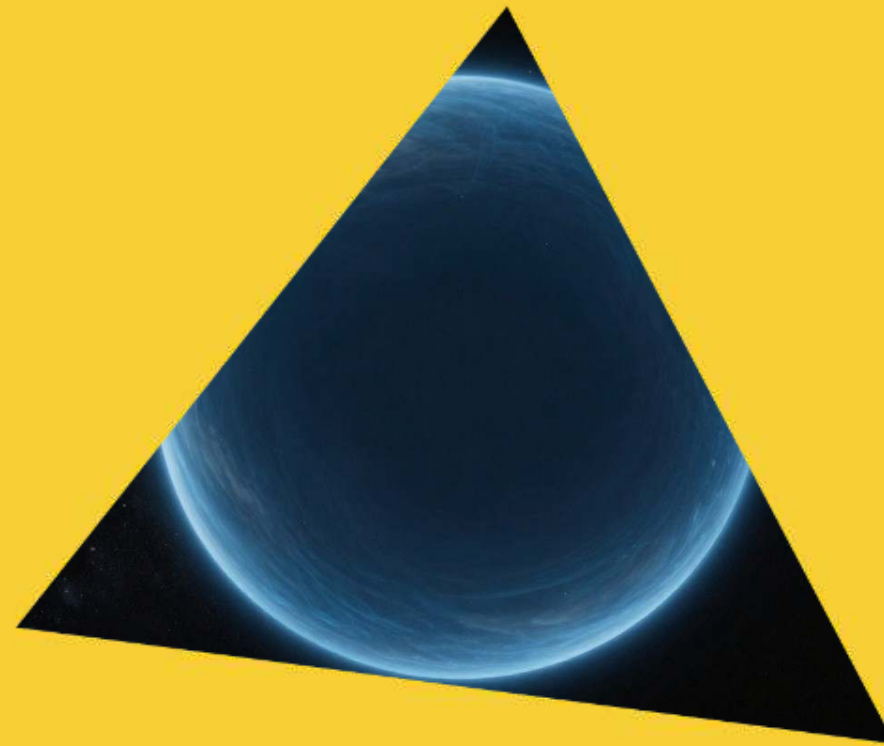
Проекты SH0ES, Planck, H0LiCOW

Реликтовое излучение — ключ к истории Вселенной



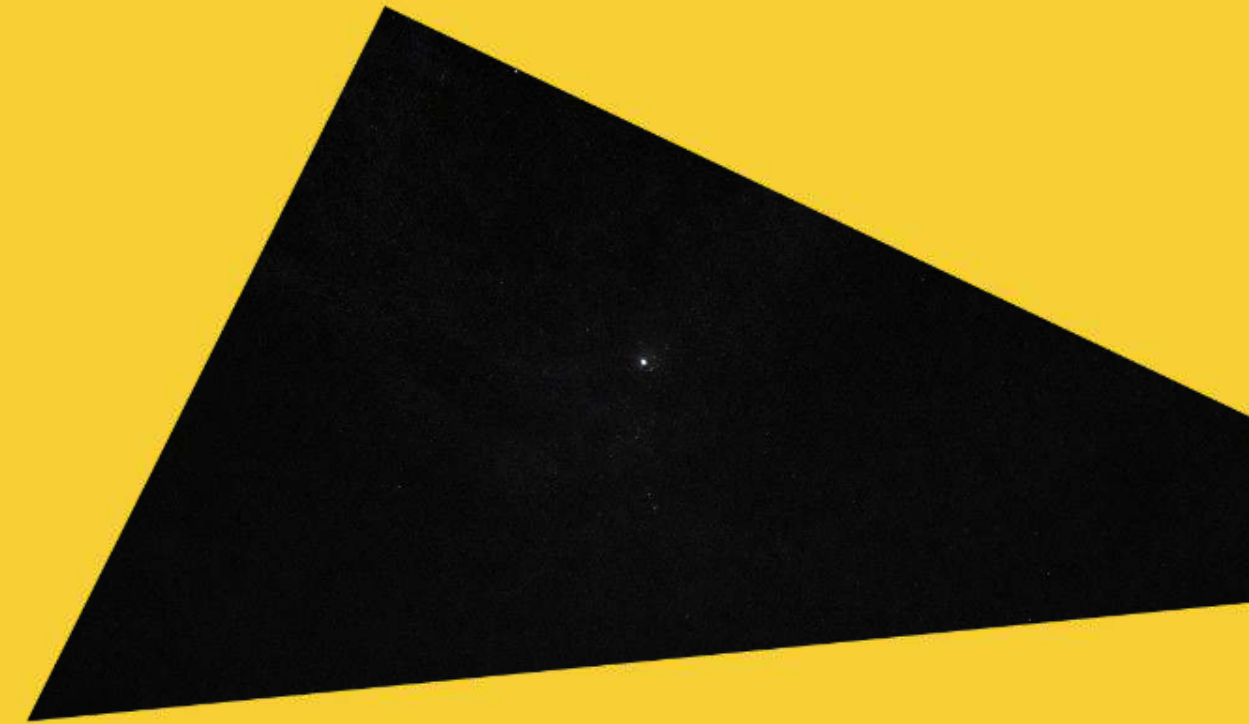
Открытие космического микроволнового фонового излучения

В 1965 году Пензиас и Вилсон обнаружили фон, равномерно заполняющий космос, что стало прямым доказательством горячей, расширяющейся Вселенной.



Спектр чёрного тела реликтового излучения

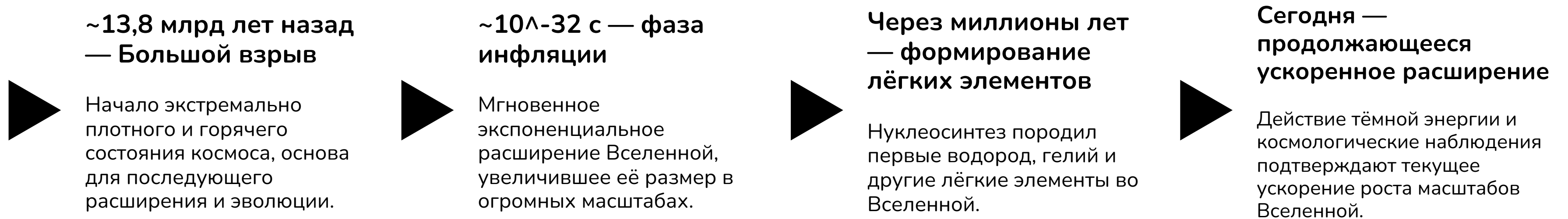
Измерения показали, что фон обладает идеальным спектром абсолютно чёрного тела при температуре 2,73 К, подтверждая теорию Большого взрыва.



Анизотропии реликтового излучения и их значение

Малые температурные флуктуации в реликтовом излучении отражают условия ранней Вселенной и формирование первых структур.

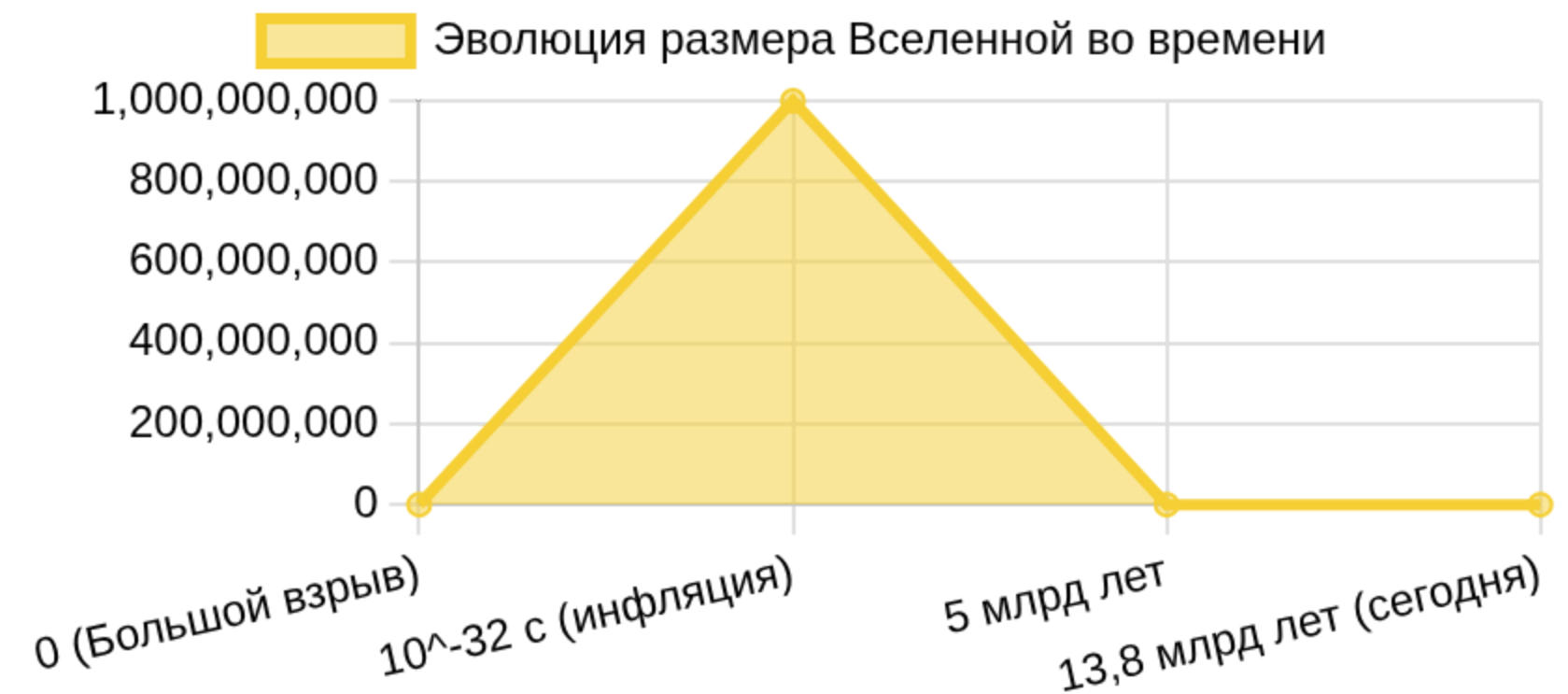
Хронология расширения Вселенной с Большого взрыва



Эволюция размера Вселенной во времени

График отражает три основных этапа расширения — инфляцию, замедленную фазу и недавнее ускорение под влиянием тёмной энергии.

Измерения Planck и WMAP подтверждают модель с фазовым изменением скорости роста Вселенной.



Данные Planck и WMAP, 2018-2023

Значение тёмной материи и тёмной энергии в расширении

- ▶ Тёмная материя составляет около 27% массы-энергии, удерживая галактики и скопления вместе благодаря гравитационному влиянию.
- ▶ Тёмная энергия, примерно 68-70%, вызывает ускоренное расширение космоса, заставляя пространство увеличиваться быстрее с течением времени.
- ▶ Обе формы материи недоступны прямому наблюдению и обнаруживаются лишь косвенно через их влияние на движение и структуру Вселенной.
- ▶ Понимание природы этих компонентов — ключ к разгадке будущего расширения и судьбы космоса.

Астрономические наблюдения ускорения расширения

Открытие ускоренного расширения Вселенной

В 1998 году команды астрономов во главе с С. Перлмуттером, Б. Шмидтом и А. Риисом обнаружили, что Вселенная расширяется с ускорением. Использование сверхновых типа Ia позволило измерить интенсивность света далёких объектов, что показало неожиданный рост скорости расширения.



Нобелевская премия и подтверждение влияния тёмной энергии

За открытие ускорения расширения в 2011 году была присуждена Нобелевская премия по физике. Анализ полученных данных подтверждает наличие тёмной энергии — загадочного компонента, ответственного за этот феномен.



Модели геометрии Вселенной и расширение

▶ Космологические модели предполагают три основных типа геометрии пространства: плоскую, открытую и замкнутую, что влияет на динамику её развития.

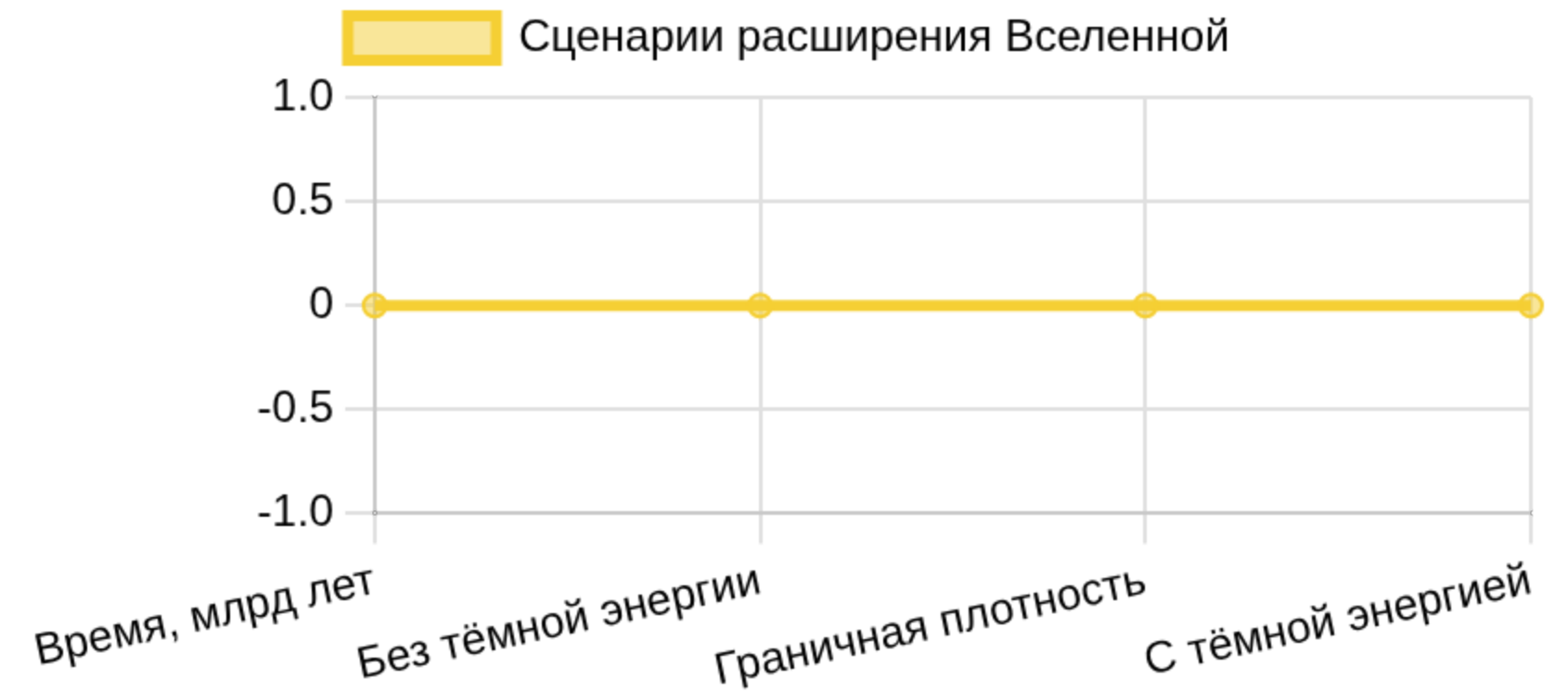
▶ Наблюдения космического микроволнового фонового излучения показывают почти плоскую геометрию с параметром плотности Ω около единицы, поддерживая современную космологию.

▶ От типа геометрии зависит, будет ли расширение Вселенной вечным или в будущем сменится сжатием, что обусловлено общей плотностью материи и энергии.

Динамика расширения: сравнение моделей

График отражает различия между замедляющимся, постоянным и ускоряющимся расширением с учётом влияния тёмной энергии.

Данные подтверждают, что ускоренное расширение, обусловленное тёмной энергией, является наиболее вероятным сценарием развития Вселенной.



Наблюдения сверхновых и космического микроволнового фонового излучения, 1998–2020

Влияние расширения на структуру и эволюцию Вселенной



Увеличение дистанций между галактиками способствует динамическому развитию больших структур, таких как скопления и сверхскопления галактик.



Остывание космического пространства снижает способность к звёздообразованию, что определяет переход Вселенной в более «спокойное» состояние.



Расширение формирует космологический горизонт, ограничивающий наблюдаемую область и влияющий на распределение материи в масштабах свыше миллиардов световых лет.

Местное влияние: расширяется ли Солнечная система?

- ▶ Расширение пространства практически не затрагивает гравитационно связанные системы благодаря локальной силе притяжения, сохраняющей структуру таких объектов.
- ▶ На межгалактических расстояниях приблизительно в 1 мегапарсек и больше расширение становится заметным, влияя на общую динамику космоса.
- ▶ В масштабах Солнечной системы и Млечного Пути гравитация значительно превосходит влияние космологического расширения.
- ▶ Таким образом, для локальных систем расширение Вселенной не оказывает существенного эффекта на их стабильность и структуру.

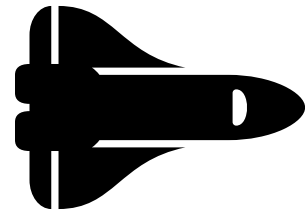
Ключевые наблюдаемые последствия расширения

Наблюдаемое явление	Описание	Влияние
Увеличение расстояния	Галактики удаляются друг от друга	Формирование крупномасштабной структуры
Космологическое красное смещение	Сдвиг спектров к более длинным волнам	Подтверждает расширение пространства
Угасание светимости	Дальние объекты становятся слабее	Ограничивает наблюдаемость
Формирование суперструктур	Объединение галактик в гигантские системы	Определяет крупномасштабную структуру

Таблица иллюстрирует основные наблюдаемые эффекты расширения пространства и их влияние на структуру и видимость объектов во Вселенной.

Расширение пространства формирует структуру Вселенной и влияет на её наблюдаемые свойства.

Наблюдение расширения сегодня: крупные проекты и миссии



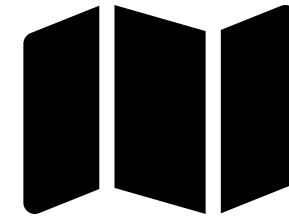
Космический телескоп Хаббла

Измеряет расстояния и скорости удаления галактик, уточняя значение постоянной Хаббла и расширение Вселенной.



Спутник Planck

Анализирует космическое микроволновое излучение, определяя геометрию и композицию космоса.



Исследование SDSS

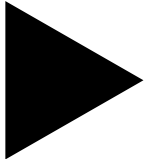
Создаёт карту распределения галактик, выявляя крупномасштабные структуры и плотность материи.



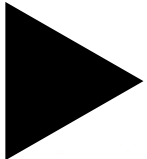
Телескоп Euclid

Изучает тёмную энергию, помогает раскрыть причины ускоренного расширения Вселенной.

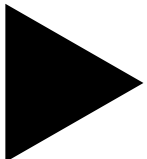
Спорные вопросы и научные дебаты



Расхождения в значениях постоянной Хаббла («Hubble tension») вызывают споры о точности измерений и физике ранней Вселенной.



Природа тёмной энергии остаётся невыясненной, что стимулирует разработку альтернативных теорий и моделей расширения космоса.



Обсуждаются систематические ошибки наблюдений и возможности модификации гравитационной теории для объяснения текущих данных.

Будущее расширяющейся Вселенной: гипотезы и сценарии



Тепловая смерть и Большой разрыв

Продолжение ускоренного расширения приведёт к рассеиванию энергии и тепловой смерти. Вариант «Большого разрыва» предполагает, что расширение уничтожит все структуры при изменении параметров тёмной энергии.

Возможности стабилизации и неопределённости

Альтернативные гипотезы допускают замедление или остановку расширения. Их реализация зависит от точных свойств тёмной энергии, что остаётся предметом активных исследований.

Заключение: значение расширения Вселенной в современной КОСМОЛОГИИ

Расширение Вселенной трансформировало научное понимание космоса, опираясь на множество наблюдений и теорий. Исследование тёмной материи и энергии остаётся ключевым вызовом и перспективой для будущих открытий.