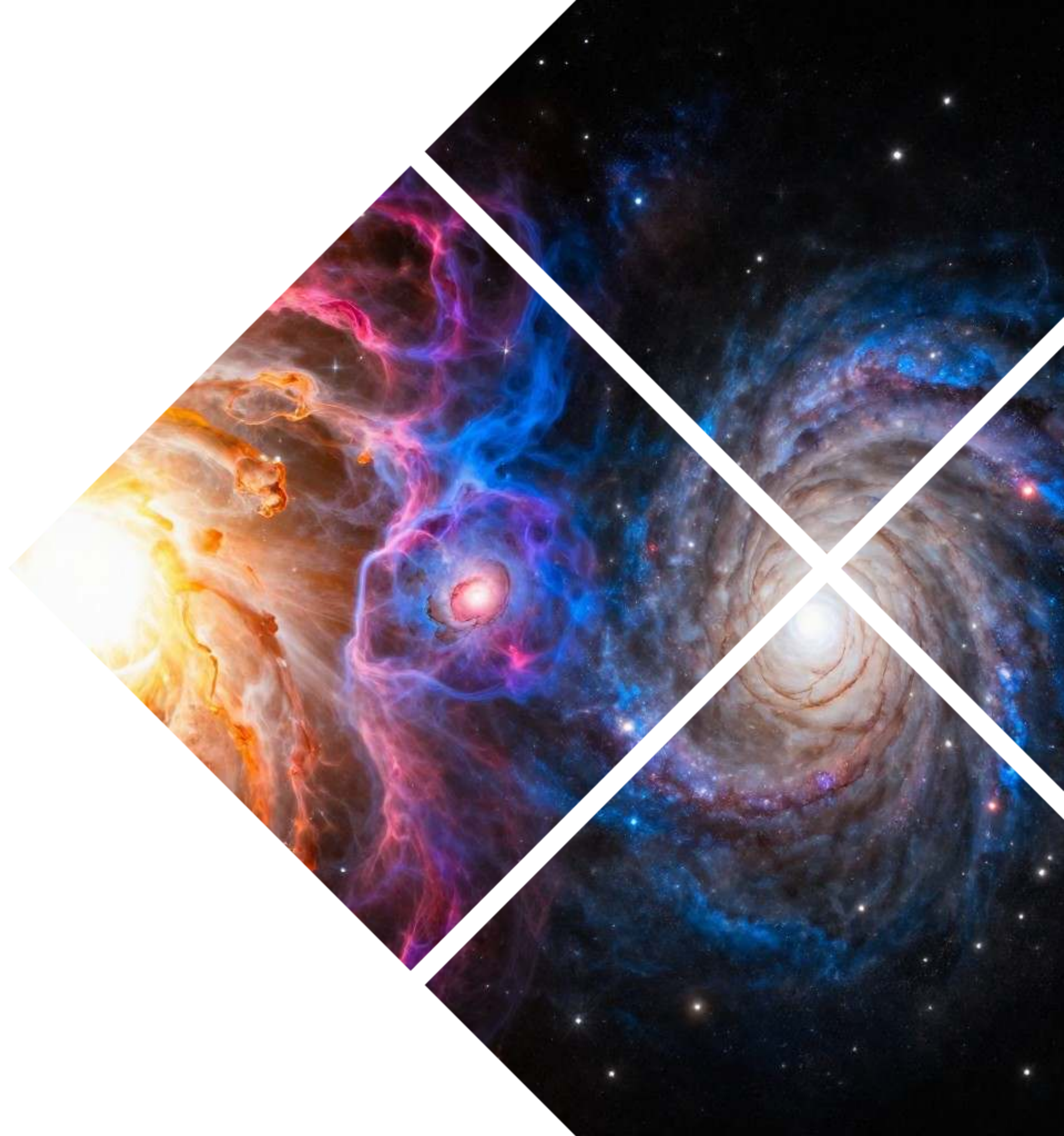


Путешествие от Большого взрыва к галактикам

Исследуем эволюцию Вселенной — от рождения до формирования звёзд и галактик.



Исторический контекст и научные основы

Космология развивается с открытия Хабблом расширения Вселенной в 1929 году. Общая теория относительности позволила моделировать Вселенную, а реликтовое излучение подтвердило теорию Большого взрыва.



Суть теории Большого взрыва

Вселенная возникла из сингулярного состояния с экстремально высокой плотностью и температурой около 13,8 млрд лет назад, что привело к её стремительному расширению.

В ходе расширения формировались и аннигилировали элементарные частицы, задавая основу материи существующей сегодня во Вселенной.

Теория объясняет распределение галактик, космический микроволновый фон и химический состав начального вещества в наблюдаемой Вселенной.

Темпы расширения Вселенной и закон Хаббла

Постоянная Хаббла оценивается в 73 км/с/Мпк, стимулируя исследования вариаций в расширении.

Рост красного смещения пропорционален удалению, подтверждая непрерывное расширение космоса.

Hubble Space Telescope, 2023



Космический микроволновый фон — окно в раннюю Вселенную



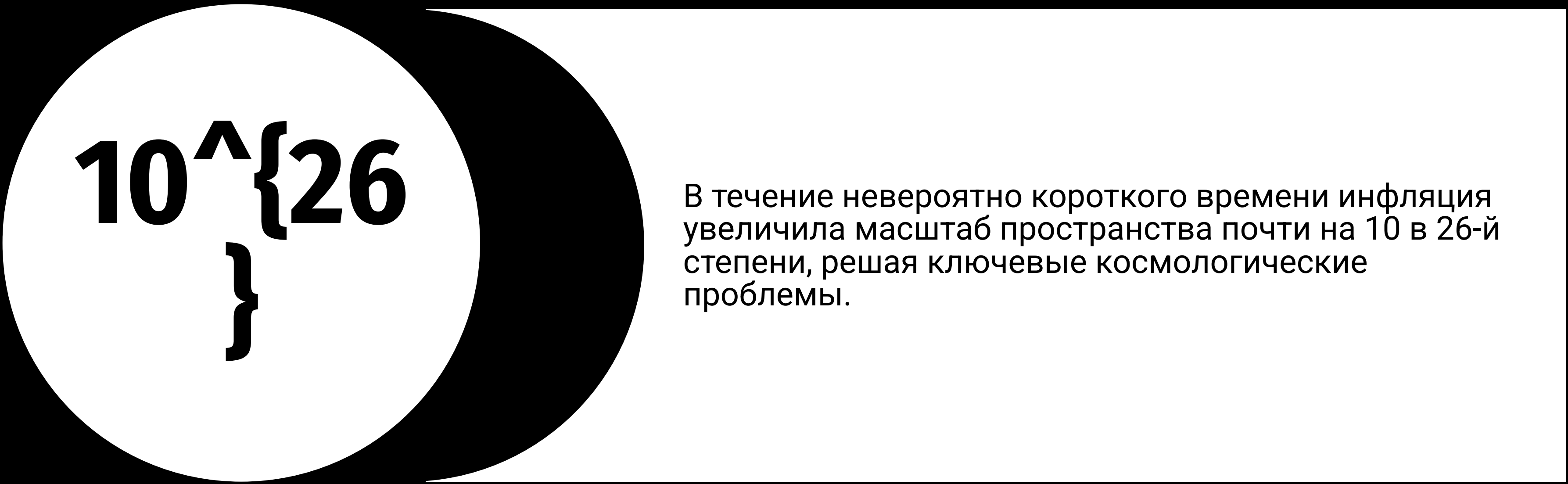
Открытие реликтового излучения

В 1965 году Пензиас и Уилсон зафиксировали фоновое космическое излучение с температурой около 2,73 К. Это стало ключевым подтверждением теории Большого взрыва и горячей Вселенной.



Неоднородности реликтового фона

Данные спутника Planck выявили мельчайшие вариации в плотности реликтового излучения — фундамент для формирования структур, таких как галактики и скопления.


$$10^{\{26\}}$$

В течение невероятно короткого времени инфляция увеличила масштаб пространства почти на 10 в 26-й степени, решая ключевые космологические проблемы.

раз мер
расширилась
Вселенная всего за
доли секунды после
Большого взрыва.

Planck Collaboration, 2018

Ключевые этапы эволюции ранней Вселенной

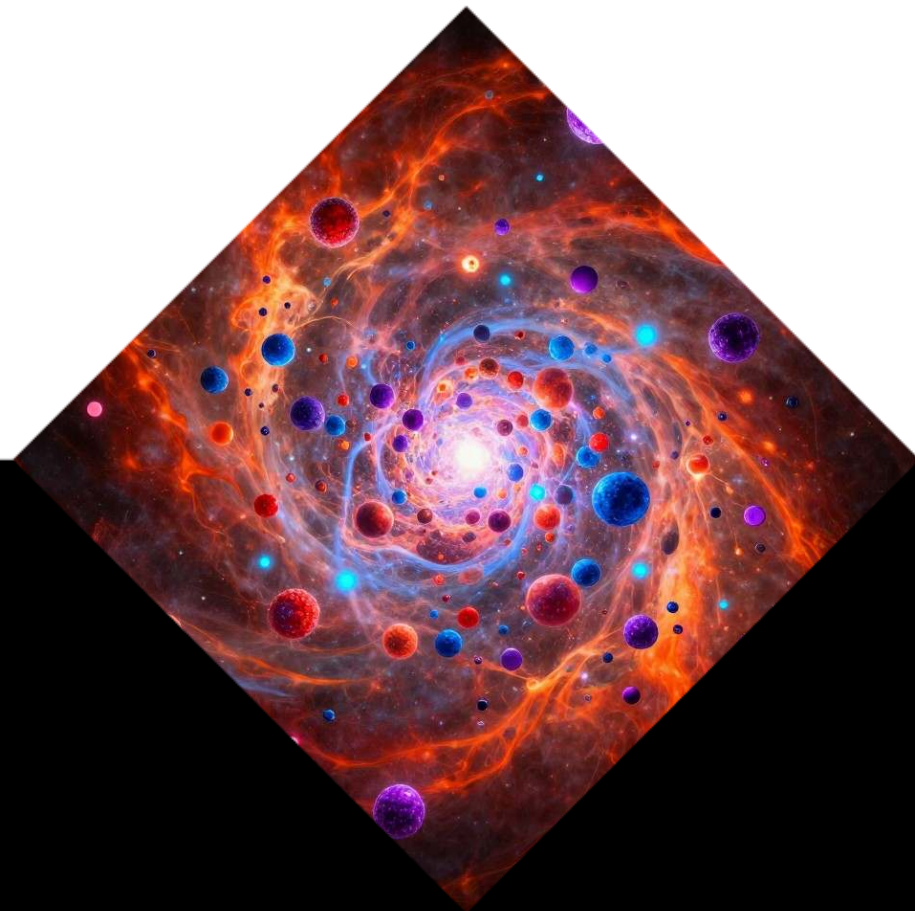
Основные периоды формирования Вселенной и их физические особенности.

Каждый этап создал условия, необходимые для формирования материи и структуры Вселенной.

Этап	Временной диапазон	Особенности
Планковская эпоха	до 10^{-43} с	Квантовая гравитация неизвестна
Инфляция	10^{-36} — 10^{-32} с	Экспоненциальное расширение
Нуклеосинтез	1–3 минуты	Синтез лёгких элементов
Рекомбинация	~380 тыс. лет	Образование нейтральных атомов

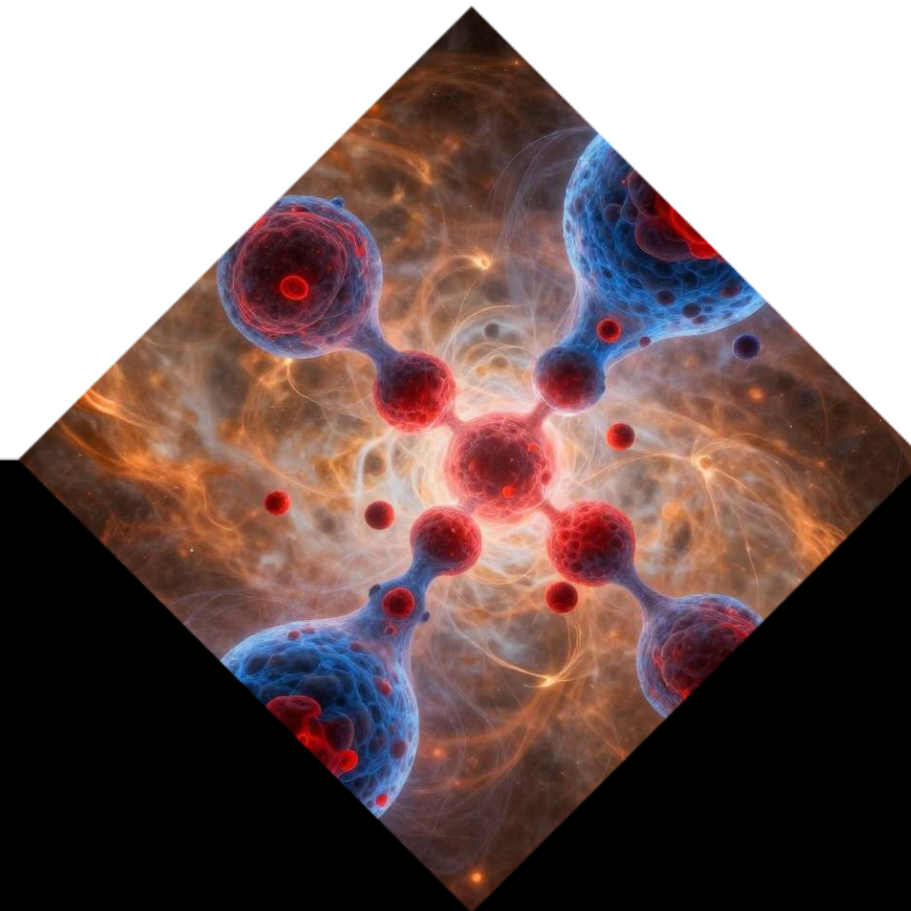
NASA, ESA, Planck Collaboration

Образование элементарных частиц во Вселенной



Рождение кварков и лептонов

В первые микросекунды после начала расширения доминировали кварки, лептоны и глюоны, которые стали фундаментом для будущей материи во Вселенной.



Объединение в протоны и нейтроны

При снижении температуры ниже 10^{12} К кварки связывались, формируя протоны и нейтроны, что подтверждается экспериментами на ускорителях CERN.

Космический нуклеосинтез и первичные элементы

В течение первых трёх минут прошёл синтез водорода (75%) и гелия (25%), а также следовых элементов, включая литий и дейтерий.

Химический состав близок к современному представлению о начальном газовом составе Вселенной и был подтверждён спектроскопией.

Образование ядер в ранней Вселенной определило состав последующих поколений звёзд и галактик.

Эти первичные элементы стали основой для формирования сложной материи и жизни во Вселенной.

Этапы образования атомов в ранней Вселенной

Последовательные процессы после Большого взрыва, ведущие к прозрачности космоса.



Век рекомбинации и возникновение прозрачности Вселенной

На этой стадии фотонная плотность значительно снизилась, взаимодействие с ионизированными частицами прекратилось, что позволило фотонам свободно путешествовать по космосу, формируя космический микроволновый фон.

Завершилась плазменная фаза, и Вселенная стала прозрачной для электромагнитного излучения, что ознаменовало начало эпохи, когда свет впервые мог беспрепятственно покидать область своего происхождения.

Прозрачность Вселенной создала фундамент для наблюдения удалённых космических объектов и заложила основу для формирования структур, видимых в современной Вселенной.

Флуктуации плотности — первые зачатки галактик



Микроскопические неровности ранней Вселенной

Незначительные вариации температуры микроволнового фона отражают минимальные перепады плотности, которые давали начало формированию гравитационных ядер будущих галактик. Эти неоднородности открыты с помощью спутников WMAP и Planck, проложивших карту ранней Вселенной.



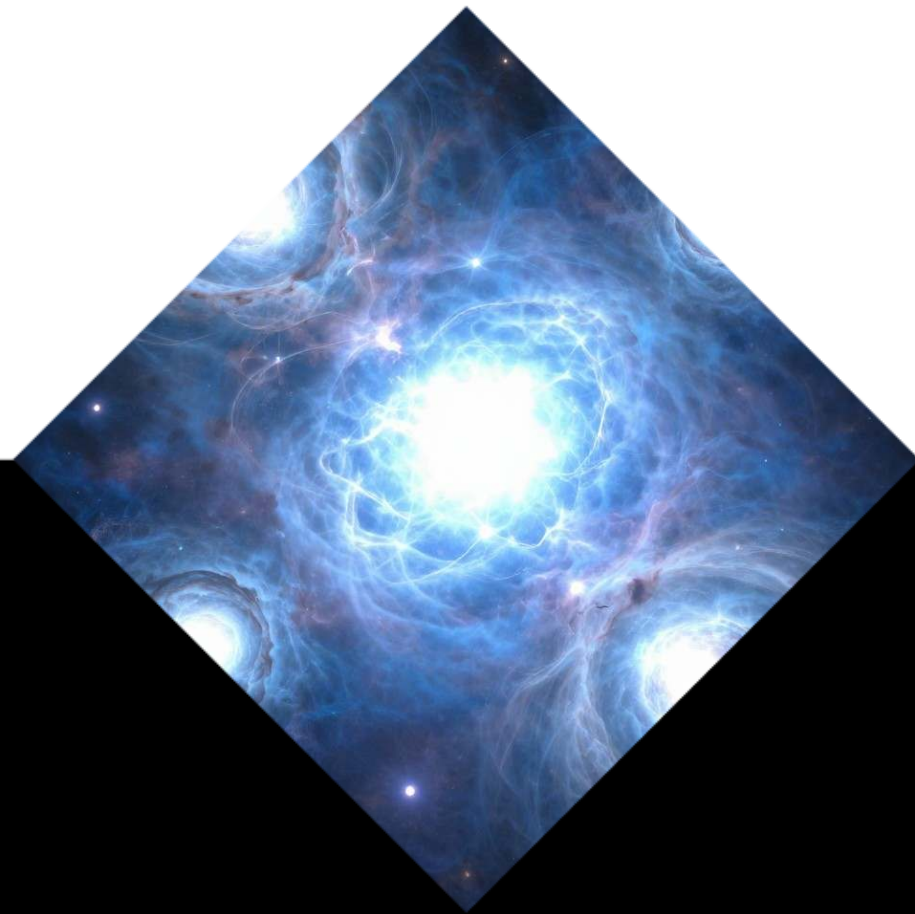
Распределение материи в космосе

Равномерное, но слегка неоднородное распределение первичной материи привело к сложному переплетению плотных областей и пустот. Каждая из флуктуаций стала основой для роста протогалактик и звёздных скоплений, формируя крупномасштабную структуру космоса.

Гравитационное сжатие и рождение протогалактик

- Внутри областей повышенной плотности гравитационные силы сжимали материю, приводя к накоплению газа и частиц, что запускало процесс формирования видимых протогалактических облаков.
- По мере увеличения массы и плотности, эти облака становились всё более устойчивыми, создавая условия для начал звёздообразования и дальнейшего усложнения структур.
- Протогалактики, появившиеся спустя примерно 100 миллионов лет после Большого взрыва, стали краеугольными камнями при рождении современных галактик и крупных космических скоплений.

Рождение первых звёзд Population III



Уникальный состав и масса первичных звёзд

Звёзды Population III формировались из чистого водородно-гелиевого газа без тяжёлых элементов. Благодаря этому их масса значительно превосходила современные звёзды, достигая от 10 до 100 масс Солнца, что определяло их яркость и короткую жизнь.



Жизненный цикл и влияние на эволюцию Вселенной

Из-за массивности эти звёзды быстро исчерпывали топливо, завершая жизнь катастрофическими взрывами. Такие события обогащали пространство тяжёлыми элементами, влияя на химический состав последующих поколений звёзд и создавая предпосылки для появления планет.