



Как возникают галактики, звезды и планетные системы

Они рождаются в одной цепочке:
вещество собирается, звезды зажигаются,
диски строят планеты.



Космический контекст: от Большого взрыва к первым структурам

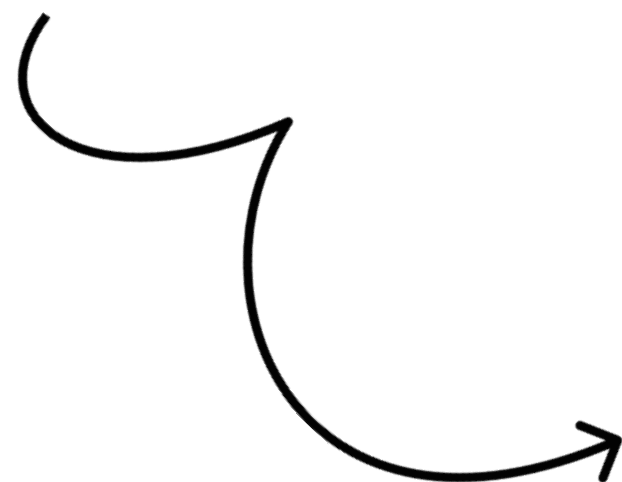


Время Вселенной — около 13,8 млрд лет. Сначала появились частицы и простые атомы, а тяжелые элементы возникли позже в звездах. Первые галактики собирались через сотни миллионов лет, а планетные системы — когда межзвездная среда уже обогатилась веществом.





Обычное вещество составляет примерно 5% космического бюджета, темная материя — около 27%, темная энергия — около 68%. Видимые звезды и планеты отвечают лишь за небольшую долю общей массы и энергии. Темная материя формирует гравитационный каркас, в котором «собирается» газ для рождения галактик.



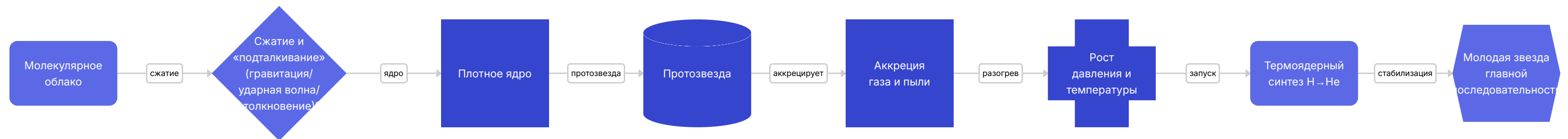
68%

Большая часть космической энергии приходится на темную энергию, а не на привычное вещество.

Планк (ESA), 2018: космологические параметры (приблизительные доли компонентов).

От межзвездного облака к звезде

Типичный сценарий звездного рождения: гравитационное сжатие, формирование протозвезды и запуск термоядерного синтеза.

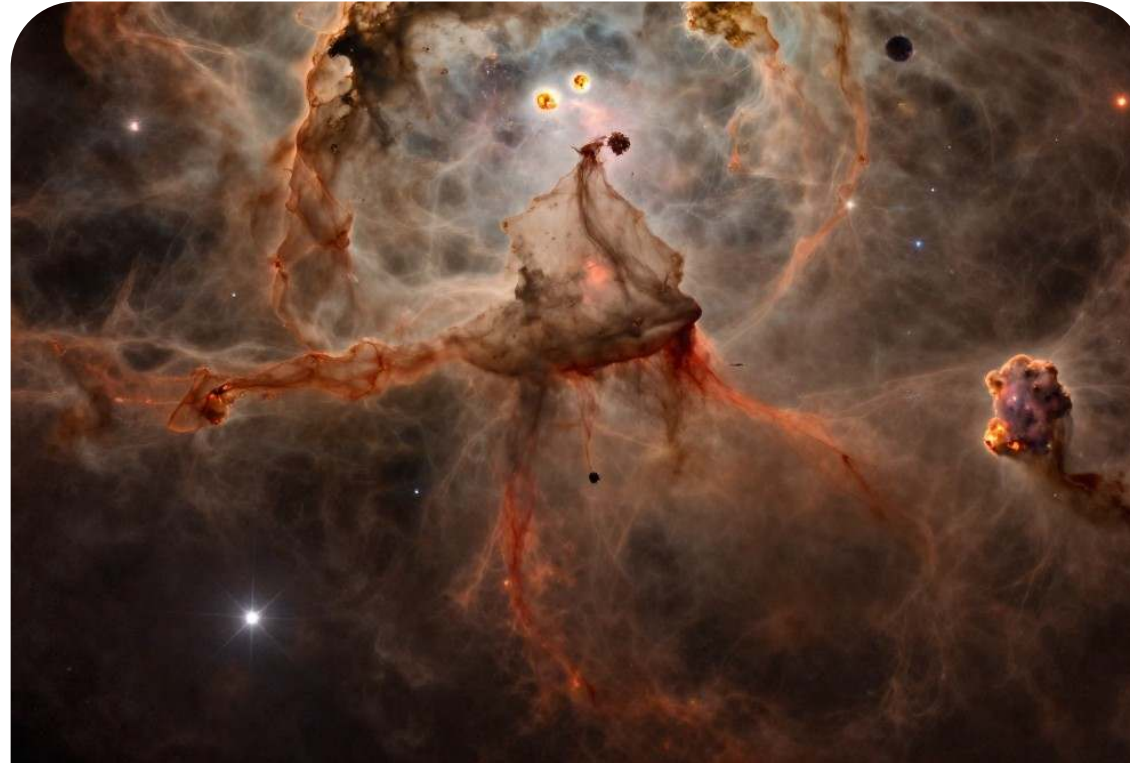


Молекулярные облака — звездные «колыбели»



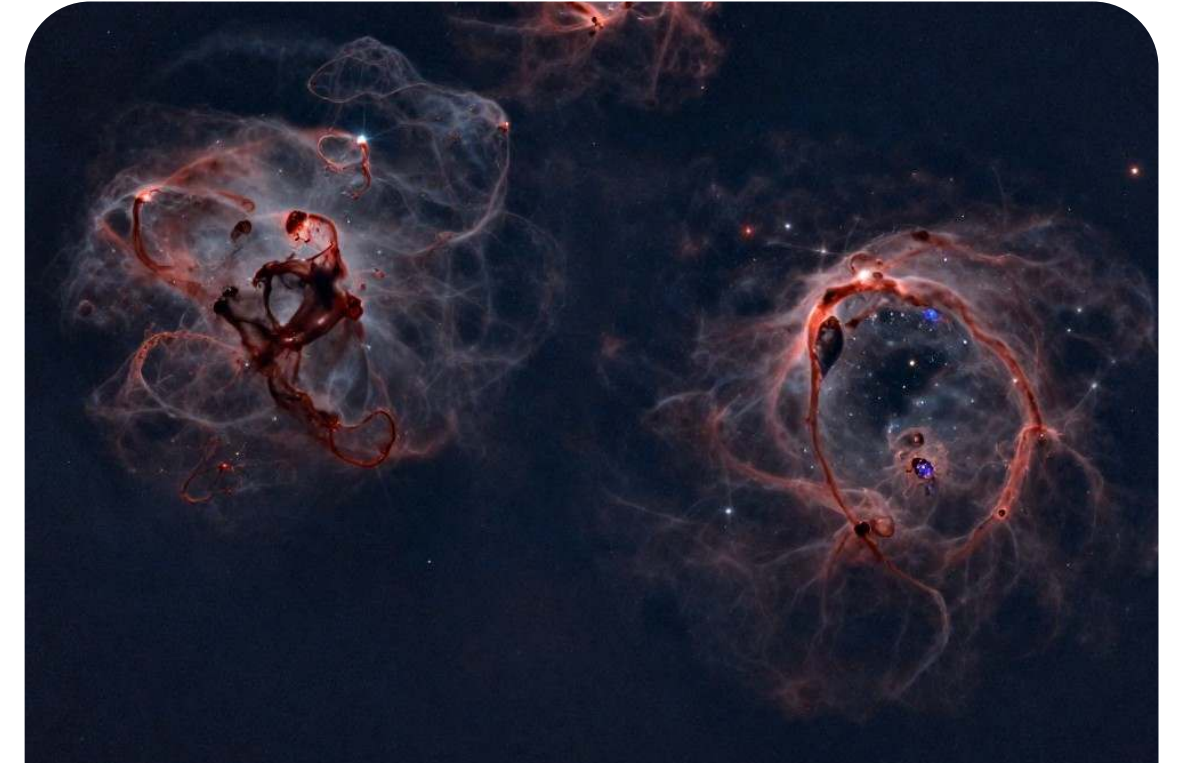
Холодный газ и пыль: стартовая площадка

Молекулярные облака содержат в основном водород и гелий, а также пылевые частицы. Их температура обычно составляет 10–20 K, поэтому они слабо светятся. Чтобы рассмотреть детали, астрономы используют специальные диапазоны наблюдений.



Почему инфракрасный свет помогает увидеть рождение звезд

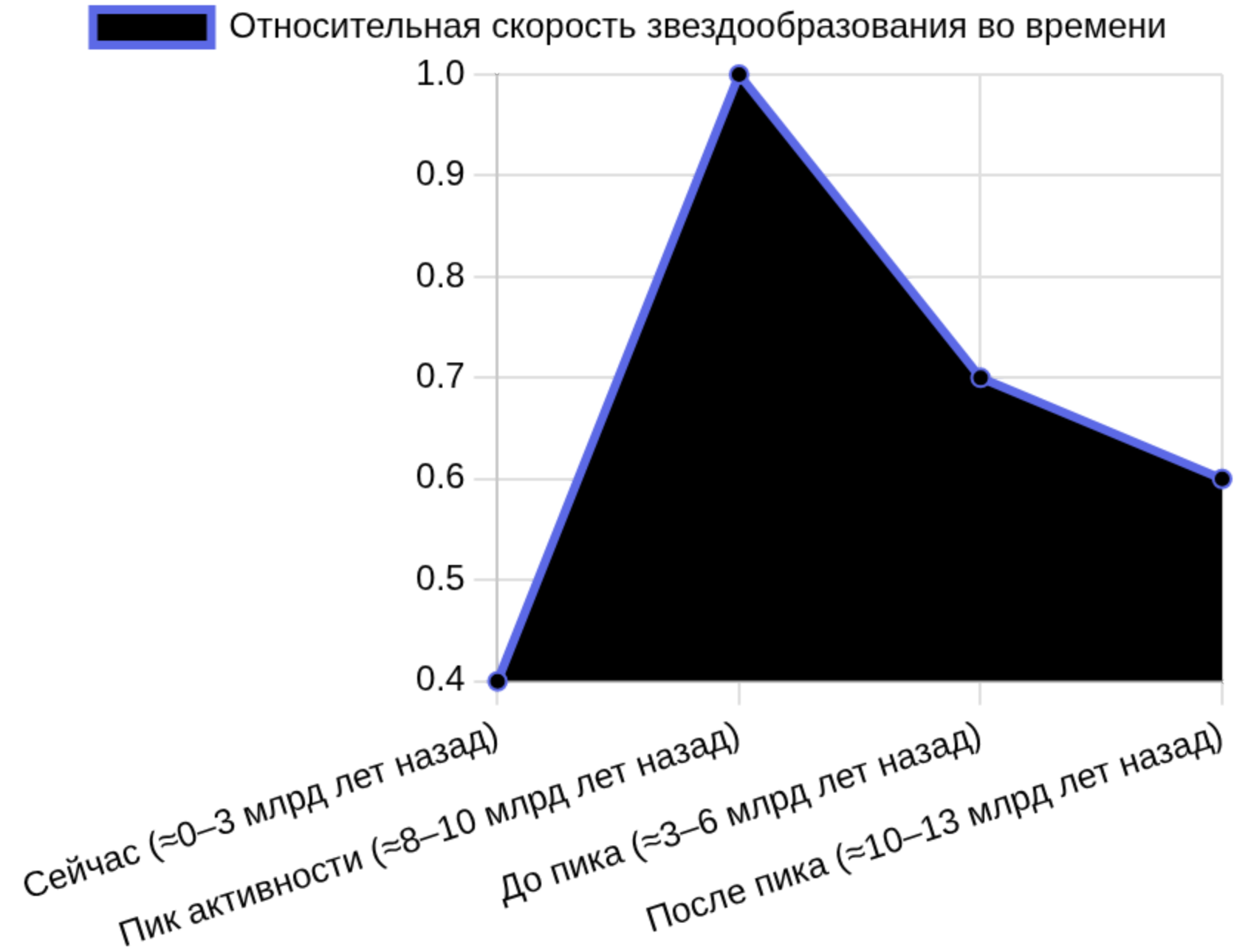
Плотная пыль скрывает свет видимых звезд, но в инфракрасном диапазоне она «пропускает» больше информации. Поэтому именно там отчетливо видны области, где вещество сжимается и начинает формировать новые светила. Это делает инфракрасные снимки особенно наглядными.



Знаменитые объекты: Орион, Столпы Творения, Тарантул

Туманность Ориона, Столпы Творения и туманность Тарантул часто приводят как примеры активных зон звездообразования. На изображениях выделяются пылевые нити, яркие участки ионизированного газа и группы молодых звезд. Такой «пейзаж» помогает связать наблюдение и физику.

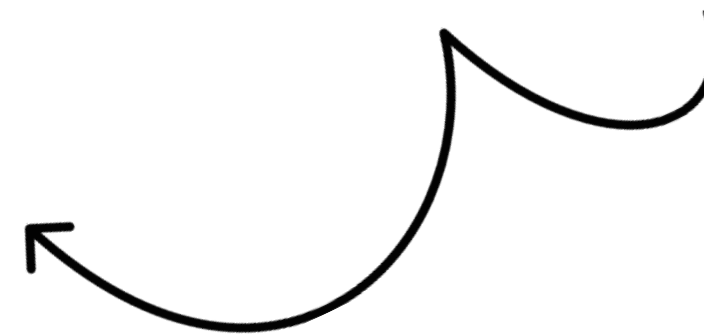
Как меняется интенсивность звездообразования



Максимум приходится на эпоху, когда галактики быстро росли и звезды рождались заметно активнее, чем в современную эпоху.

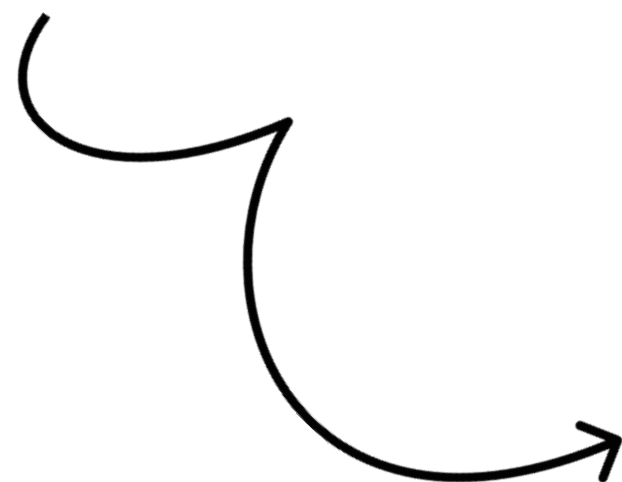
Падение скорости звездообразования показывает, что Вселенная постепенно «успокаивается»: из доступного газа новые звезды образуются реже.

Обобщенные результаты наблюдений и сравнений с моделями: например, обзор Madau & Dickinson (2014) и последующие обновления (точные нормировки зависят от набора данных).





Масса протозвезды задает температуру ядра, светимость и продолжительность жизни. Звезды малой массы живут десятки миллиардов лет, а звезды класса, близкого к Солнцу, — около 10 млрд лет. Массивные звезды расходуют топливо очень быстро и существуют лишь миллионы лет.



**10 млрд
лет**

Астрономические оценки длительности главной последовательности для звезд солнечного типа (стандартные модели звездной эволюции).

Для звезды, похожей на Солнце, главный цикл горения водорода длится порядка 10 млрд лет.

Основные классы звезд и их свойства



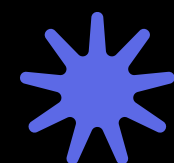
Класс	Температура и цвет	Масса и пример
O	> 30 000 K, голубой	>30 $M_{\odot}$ (масса Солнца)
A	7 500–10 000 K, белый	заметно ярче Солнца
G	≈ 5 800 K, желтый	Солнце: ориентир
M	< 3 700 K, красный	самые холодные и распространенные

Классификация спектральных классов O–B–A–F–G–K–M и типичные диапазоны температур (учебные и справочные данные по звездной спектроскопии).

Вывод: температура, цвет и масса связаны, поэтому спектральный класс многое «говорит» о природе звезды.

Чем выше температура поверхности, тем «раньше» класс и тем массивнее звезда в среднем, а значит — тем чаще проявляется большая светимость.

Солнце как ближайший пример звездной эволюции



Солнце — звезда спектрального класса G2V, её возраст оценивают примерно в 4,6 млрд лет. Это удобный «эталон» для понимания спокойной эволюции звезд среднего размера.

01



В ядре Солнца водород постепенно превращается в гелий, а выделяющаяся энергия поддерживает светимость и тепло. Благодаря этому звезда длительно сохраняет стабильное состояние главной последовательности.

02

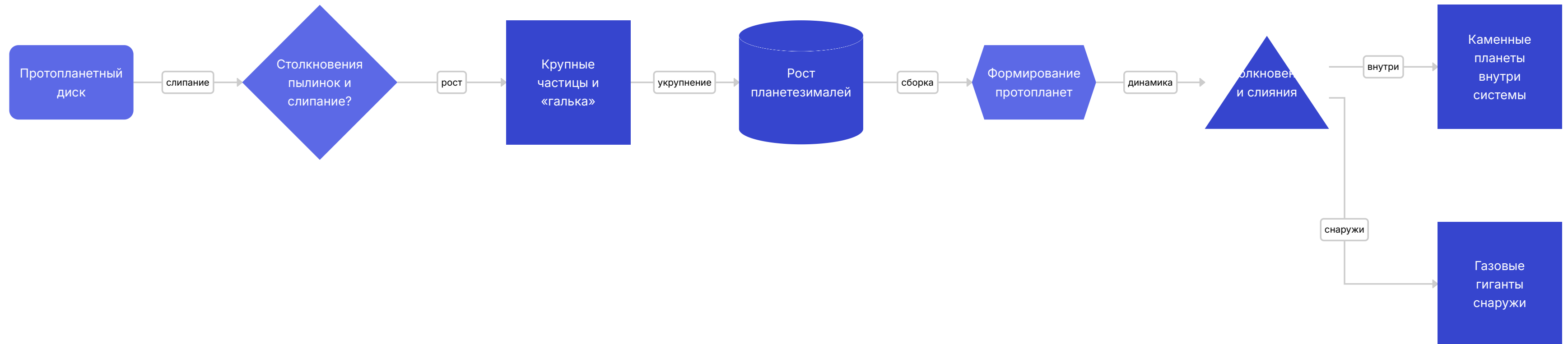


Солнечная система сформировалась из общего облака газа и пыли, поэтому Солнце показывает связь между рождением звезды и появлением планет. Изучение Солнца помогает оценивать прошлое и будущую судьбу подобных звезд.

03

Как из диска рождаются планеты

Сценарий формирования планет в протопланетном диске: рост частиц, сборка тел и разделение на каменные и газовые области.



Протопланетные диски вокруг молодых звезд

- Протопланетный диск — это область вокруг молодой звезды, где газ и пыль постепенно перерабатываются в более крупные тела. Обычно он существует несколько миллионов лет, пока вещество ещё активно «работает» на формирование будущих планет.
- Наблюдения в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне выявляют кольца, щели и спиральные структуры. Эти детали служат косвенными признаками того, что планеты уже взаимодействуют с диском, перераспределяя материал.



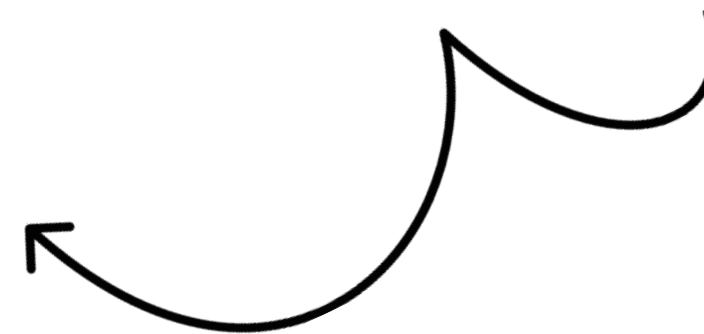
Какие экзопланеты находят чаще всего



На практике видимые «лидеры» открытия зависят от того, насколько легко измерить сигнал планеты. Поэтому среди находок много объектов на близких орбитах.

Диаграмма показывает не столько истинное распределение планет, сколько сочетание смещения наблюдений и чувствительности методов к определённым размерам и расстояниям.

Схема (демонстрация наблюдательных смещений); численные значения условные, без привязки к конкретному каталогу.



Почему химический состав важен для планет



01

Тяжёлые элементы — углерод, кислород, кремний, железо и магний — образуются внутри звёзд и высвобождаются в космос при финальных стадиях их жизни.

02

Когда массивные звёзды взрываются как сверхновые или усиливают выбросы мощными ветрами, обогащённое вещество попадает в межзвёздную среду и становится строительным материалом для новых поколений планет.

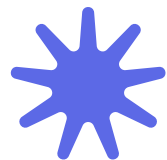
03

Из этого сырья затем формируются твёрдые компоненты: металлические ядра, минералы и соединения. Именно наличие нужных элементов напрямую влияет на структуру планет и на химию их атмосфер и воды.

04

Чем выше доля тяжёлых элементов в облаке, тем больше шансов на рождение каменных планет и сложных химических цепочек. Это повышает вероятность появления условий, необходимых для пригодной для жизни среды.

Сравнение масштабов формирования галактик, звезд и планет



Объект	Масштаб	Время	Основной процесс
Галактики	сотни тыс. св. лет	миллиарды лет	слияния, аккреция
Звезды	млн–сотни млн км	миллионы лет	гравитационное сжатие
Планетные системы	десятки а. е.	неск. млн лет	рост тел в диске

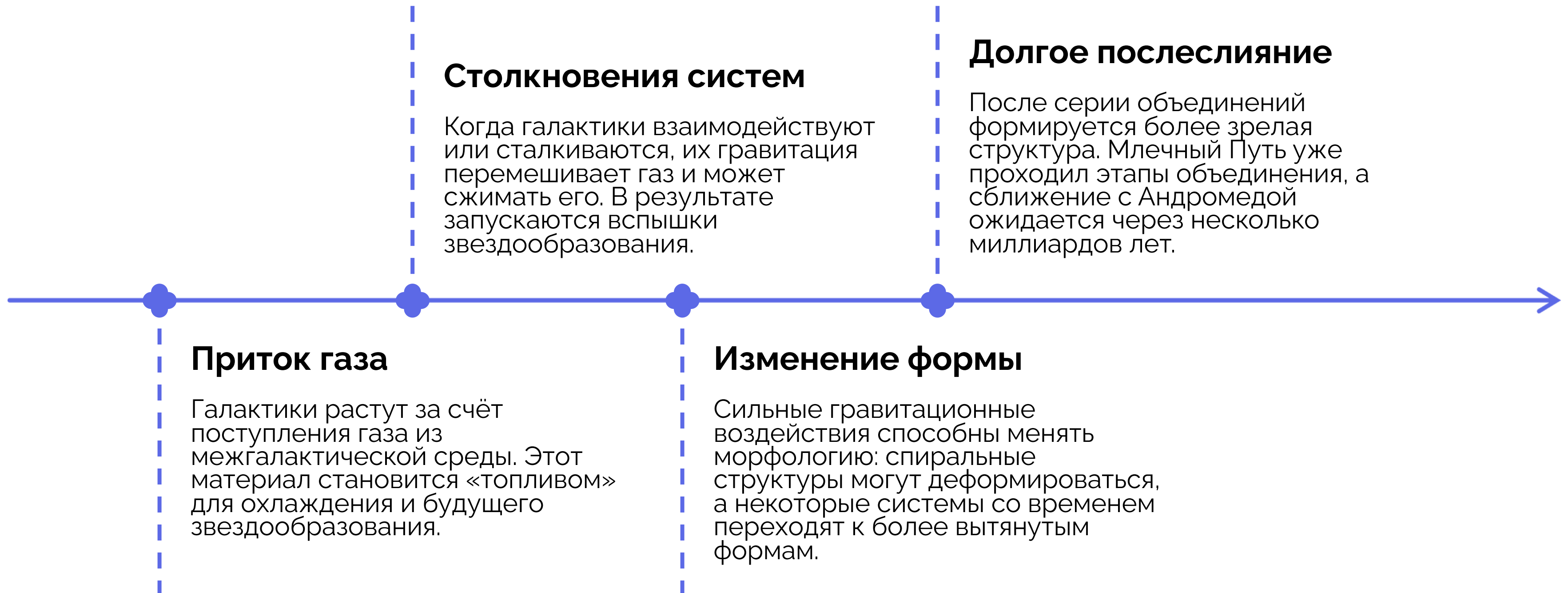
Три уровня космической сборки отличаются характерными размерами, временем и ключевым механизмом. Общее правило простое: чем «меньше объект» по масштабу, тем быстрее идут процессы его образования.

Разные этапы формируются на разных «скоростях»: крупные структуры собираются дольше, а дисковая сборка планетных тел идёт значительно быстрее по космическим меркам.

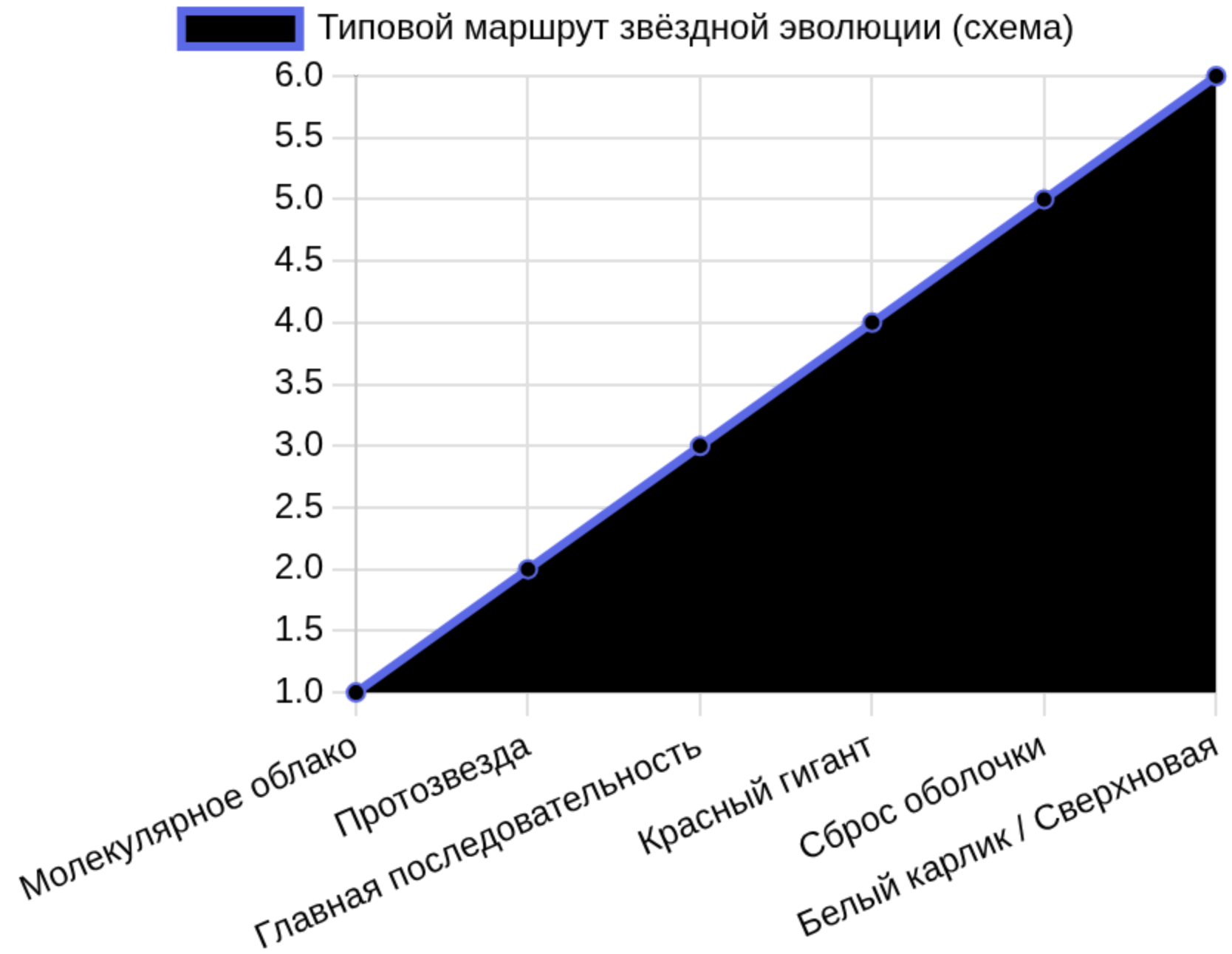
Обобщение по школьному уровню астрономии (качественные порядки величин).



Эволюция галактик через столкновения и слияния



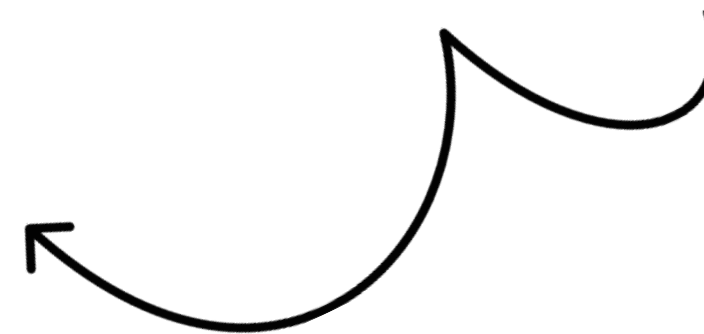
Жизненный цикл звездных систем



Для звёзд малой и средней массы эволюция чаще включает протозвезду, затем главную последовательность и стадию красного гиганта, после чего внешние оболочки сбрасываются.

Наиболее важная развилка — масса: она задаёт скорость ядерных процессов и определяет, завершится ли путь белым карликом или сверхновой с образованием компактного остатка.

Схематическая иллюстрация на основе общих закономерностей звёздной эволюции; без численных данных.



Поиски обитаемых миров и зона жизни



Зона жизни

Зоной жизни называют область вокруг звезды, где при подходящей атмосфере может существовать жидкая вода. Важен баланс тепла: слишком близко — перегрев, слишком далеко — вечная мерзлота.



Атмосфера и магнитное поле

Даже при «правильном» расстоянии планета может терять воду. Состав атмосферы, наличие магнитного поля и защита от ветра светила помогают удерживать летучие вещества и замедляют утечки.



Активность светила

Жесткое излучение и вспышки звезды влияют на химию верхних слоёв атмосферы и на устойчивость воды. Чем стабильнее звезда и чем умереннее её активность, тем реалистичнее длительное сохранение условий.

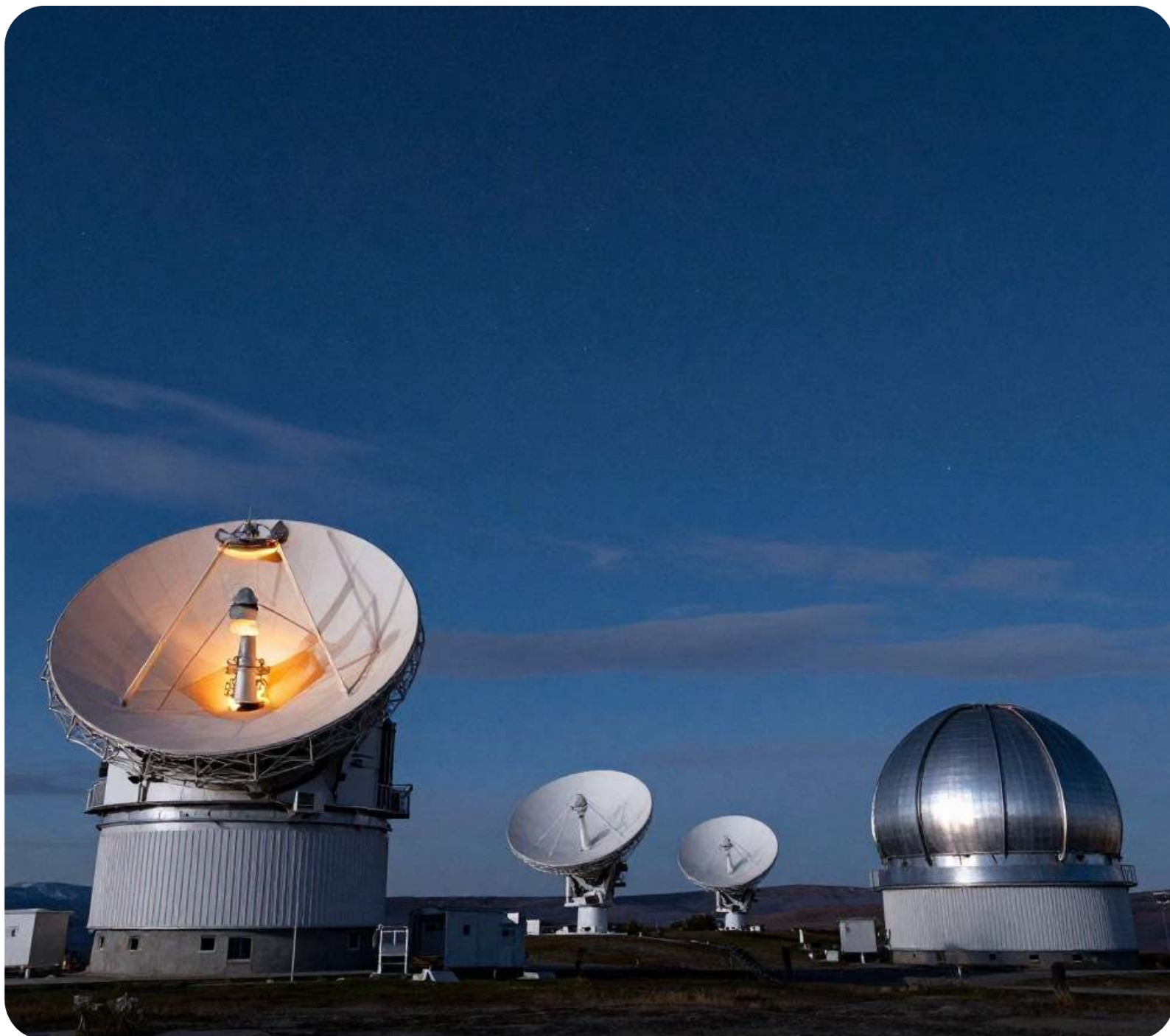


Стабильность орбиты

Сильные колебания орбиты меняют климат и могли бы лишить планету устойчивой гидросферы. Поэтому оценивают стабильность орбитальных параметров, чтобы понять, насколько условия остаются пригодными на длительных периодах времени.



Инструменты, которые изучают рождение космических структур



01

Почему важны разные диапазоны света

Инфракрасные телескопы улавливают тёплую пыль и скрытые звёзды, которые трудно увидеть в видимом диапазоне. Радионаблюдения раскрывают холодный газ и молекулы, формирующие будущие звёзды и диски.

02

Что делают конкретные обсерватории

Спектроскопия помогает определить химический состав и скорости движения вещества. Транзитный метод даёт возможность находить экзопланеты; James Webb особенно полезен для ранней Вселенной и протопланетных дисков, ALMA — для холодной пыли и газа, «Хаббл» — для детальной оптики и ультрафиолета.

Главные факторы образования космических объектов



Фактор

Роль в образовании

Гравитация

собирает вещество в облака и диски

Газ и пыль

задают массу будущих объектов и химию

Вращение

помогает формированию дисков и уплощённых систем

Металличность

повышает вероятность каменных планет

Обратная связь звёзд

ветры, ультрафиолет и сверхновые регулируют звездообразование

Обобщённые выводы современной астрофизики (качественное описание процессов).

Факторы работают одновременно и меняют конечный результат: сколько вещества соберётся, какие объекты появятся и насколько «богатым» окажется будущий мир по химии.

Ключ к разнообразию лежит в химии и динамике: без достаточной концентрации вещества, правильного охлаждения и поддерживающей «подпитки» планеты и звёзды формируются иначе, а иногда и вовсе не успевают сложиться.

Единая история формирования космических структур



Образование галактик, звёзд и планетных систем — это единая цепь: гравитация собирает материю, звёзды создают тяжёлые элементы, а протопланетные диски строят новые миры. Современная астрономия связывает это с переходом от простых элементов к сложным структурам и химией, накопленной за миллиарды лет.

