

Определение жизни как особой формы движения материи, которая возникла на определённом этапе её развития, является всеобщим. Важное следствие, вытекающее из этого определения, состоит в наделении живых объектов специфическими качествами, не сводимыми лишь к физико-химическим закономерностям. Однако сложность жизненных явлений затрудняет формулировку однозначного определения жизни. Многочисленные трактовки её сущности различаются в зависимости от того, какие свойства живого авторы трактовок считают наиболее значимыми. Современному состоянию развития биологии лучше всего соответствует определение жизни, данное отечественным учёным М. В. Волькенштейном: «*Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот*».

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Живые системы проявляют общие свойства, отличающие их от объектов неживой природы.
- Нуклеиновые кислоты обеспечивают хранение, передачу и реализацию наследственной информации во всех клетках.
- В основе процессов метаболизма лежат взаимодействия органических молекул друг с другом.
- Обменные процессы в живом веществе биосферы обеспечивают гомеостаз — постоянство структурно-функциональной организации системы.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Перечислите и охарактеризуйте общие свойства живых систем.
- 2 Какие метаболические процессы протекают на уровне биосферы? В чём их принципиальное значение для живых организмов, обитающих на нашей планете?
- 3 Как проявляются различные свойства живого на различных уровнях организации?

Обзор пройденного материала главы 1

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выделение уровней организации живой материи позволяет наиболее полно характеризовать отдельные проявления жизнедеятельности, являющиеся основой выработки обобщённых представлений о жизни.

Основа всех явлений жизни — процессы межмолекулярного взаимодействия органических соединений.

Метаболические процессы локализованы в определённых отделах клетки — элементарной структурно-функциональной единицы жизни.

В многоклеточных организмах клетки образуют ткани — совокупности клеток различных клеточных типов и межклеточного вещества, связанных выполнением общих функций. Из них формируются органы и системы органов, составляющие тело особи.

Организм, или особь, представляет собой самостоятельную, свободно существующую в сообществе себе подобных и других организмов биологическую систему, обладающую определённым генотипом.

Вид представляет собой систему надорганизменного уровня. Видом принято считать совокупность особей, сходных по структурно-функциональной организации, единых по происхождению, сходных в своих поведенческих реакциях, имеющих одинаковый кариотип, занимающих определённый ареал обитания, свободно скрещивающихся между собой и дающих плодовитое потомство, а также взаимодействующих определённым образом с факторами среды и представителями других видов. Большинство видов, включая эндемичные — занимающие небольшие и ограниченные ареалы, представлены разнообразными популяциями. Популяция — совокупность организмов одного и того же вида, занимающих ареал внутри обширного местообитания вида, реально скрещивающихся между собой и дающих плодовитое потомство, которое наследует признаки, адаптивные для обитателей данной территории. Популяции изолированы друг от друга различными географическими, экологическими или биологическими механизмами.

Виды живых организмов интегрированы в сообщества живых организмов — биоценозы, в которых виды связаны пищевыми и многими другими взаимодействиями.

Совокупность биогеоценозов формирует биосферу в целом. В биосфере живые организмы благодаря обмену веществ осуществляют непрерывный круговорот элементов и молекул.

Все живые системы различного иерархического уровня организации проявляют принципиально одинаковые свойства, качественно и количественно отличающие живое от объектов неживой природы.

ВАША БУДУЩАЯ ПРОФЕССИЯ

Специальность — биолог. Биология (от греч. *bios* — жизнь и *logos* — наука) изучает жизнь во всех её проявлениях. Современная биология уходит корнями в древность и берёт начало в странах Средиземноморья (Древний Египет, Древняя Греция). В XIX в. резко возросло число изучаемых биологами объектов, поэтому ботаника, зоология тоже стали дробиться на разделы, которые впоследствии сформировались в самостоятельные отрасли биологии (эмбриология, гистология, микробиология и т. д.) в соответствии с уровнем организации. В настоящее время работа биологов приобретает огромное практическое значение для медицины, сельского хозяйства, промышленности, разумного использования природных ресурсов и охраны природы. Проводится много интересных исследований, особенно в таких областях, как биотехнология, генная инженерия, и многих других.

ПРОБЛЕМНЫЕ ОБЛАСТИ

1. Каковы критерии выделения отдельных уровней организации живой материи?
2. В чём принципиальные различия свойств живой и неживой материи?
3. В чём заключается необходимость качественной характеристики свойств живого?

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

1. Какое значение для развития биологических наук имеет выделение различных уровней организации?
2. Как на молекулярно-генетическом уровне проявляется целостность организма?

ЗАДАНИЯ

1. Охарактеризуйте признаки и свойства человека на различных уровнях организации.
2. Сравните сущность процессов обмена веществ в неживой природе и метаболизма.
3. Сформулируйте определение понятия «жизнь».

Возникновение жизни на Земле

Часто утверждают, что в настоящее время имеются все условия для возникновения примитивных живых существ, которые имелись когда-то. Но если бы сейчас в каком-либо тёплом маленьком водоёме, содержащем все необходимые соли аммония и фосфаты и доступном воздействию света, тепла, электричества и т. п., химически образовался белок, способный к дальнейшим всё более сложным превращениям, то этот белок немедленно был бы разрушен или поглощён, что было невозможно в период до возникновения живых существ.

Чарлз Дарвин

Из этой главы вы узнаете, что вопрос о происхождении жизни на Земле, а также, вероятно, и на других планетах иных звёздных систем волновал человека с той поры, как он начал осознавать себя Человеком, стал познавать свой организм и окружающий мир. Первые попытки теоретического разрешения вопроса о происхождении жизни на Земле восходят к глубокой древности и носят отпечаток тех общих воззрений на живую природу, которые свойственны каждой эпохе. В этой главе вы познакомитесь с современными представлениями о возникновении жизни; узнаете, какие вопросы остаются неразрешёнными до настоящего времени.



2.1. История представлений о возникновении жизни

Многотысячелетняя история Homo sapiens знала не одну гипотезу о путях возникновения жизни и о месте человека в системе живых существ.

В этом вопросе с древности существуют две противоположные точки зрения. В соответствии с первой утверждается возможность происхожде-

теория биогенеза отрицают самопроизвольное зарождение жизни. Последнее воззрение при дальнейшем развитии приводит к выводу, что жизнь столь же стара, как и неживая материя. Вокруг этих двух направлений и происходил спор о возникновении жизни на всём протяжении истории человечества.

Современные воззрения позволяют только поставить этот спор на строго научную почву и тем самым обосновать правильность теории биогенеза. Они дают возможность наметить те факторы, которые привели к превращению неживой материи в живую, и те пути эволюции веществ, которые могли привести к возникновению живого.

2.1.1. Представления древних и средневековых философов

Общий уровень знаний в древнем мире был невысок, и господствовавшие в то время представления отличались своей фантастичностью. Особенно это относится к такому явлению, как размножение. Так, греческий философ Эмпедокл (V в. до н. э.) приписывал деревьям способность нести яйца. Поэтому неудивительно, что даже такой крупный учёный, как Аристотель (IV в. до н. э.), высказывал аналогичные, нелепые, с нашей точки зрения, взгляды. Незнание способов размножения многих животных и растений служило, по-видимому, причиной того, что для них считалось возможным возникновение живых существ или из мёртвых останков, или из неорганических веществ. Например, вшам Аристотель приписывал происхождение из мяса, клопам — из соков тела животных, а дождевым червям — из ила прудов.

Следует отметить, что вопрос о происхождении жизни на Земле в церковной среде не стоял. Вся наука того времени была церковной. Взгляды на происхождение жизни в Средние века следует также расценивать как следствие невежества, которое по мере накопления знаний уступало место более прогрессивным представлениям. Однако, поскольку авторитет Аристотеля поддерживался средневековой церковью, идея самопроизвольного зарождения господствовала в умах длительное время и направляла средневековых алхимиков на поиски рецепта искусственного превращения неживого вещества в живую материю. Сюда относятся рецепты приготовления мышей из пшеницы при помощи «фермента», исходящего от грязной одежды; приготовление человека из гниющих жидкостей человеческого тела — мочи и крови, а также многие другие.

В более позднее время открытие микроскопа расширило представления о строении организма и показало сложность строения таких, например, существ, как насекомые, которые до того причислялись к простейшим организмам. В соответствии с этим была взята под сомнение и сама возможность их зарождения из неживого вещества.

Первые опыты в этом направлении принадлежат итальянскому учёному Ф. Реди (середина XVII в.). Он накрыл мясо кисеей, не ограничивающей до-

ступ воздуха, и показал, что при этом на мясе не появляются мухи, а мухи, которая обычно откладывает оплодотворённые яйца на гниющем мясе, и в нём появляются червеобразные личинки. Таким образом, и для этих насекомых оказался справедливым принцип «Всё живое из живого».

Чрезвычайно важны в этом отношении взгляды английского учёного У. Гарвея (XVII в.). Ему принадлежит большой научный труд, в котором он провозгласил принцип «Всё живое — из яйца». Правда, и Гарвей отдал дань представлениям своей эпохи, допуская возможность самозарождения для таких животных, как насекомые или черви.

С другой стороны, благодаря микроскопу было открыто существование огромного числа мельчайших живых существ, организованных ещё проще, чем насекомые, черви и другие из ранее известных животных. К этому следует добавить ещё и микроорганизмы, в огромных количествах заселяющие растворы органических веществ, объяснить появление которых в этих средах в то время было невозможно. Подобные обстоятельства благоприятствовали тому, что идея самозарождения получила кажущееся подтверждение.

Среди работ данного направления следует отметить первые по времени экспериментальные исследования ирландского священника Д. Нидгема (1748), который наполненные питательным раствором колбы подвергал нагреванию на тлеющих углях. Высокая температура, по его мнению, должна была убить все зародыши, которые могли бы проникнуть в колбу извне. Тем не менее спустя несколько дней в сосудах вновь появлялись микроорганизмы, что служило для Нидгема неопровержимым доказательством их зарождения из неживой материи.

Взгляды и исследования Нидгема нашли широкий отклик среди учёных того времени и долго ещё служили опорой теории самозарождения. Многие учёные повторяли и модифицировали опыты ирландского священника, но не всегда получали одинаковые результаты.

2.1.2. Работы Л. Пастера

Окончательно опровергли воззрения о самозарождении блестящие исследования французского микробиолога Луи Пастера, проведённые в 70-х гг. XIX в. Успех этих работ был подготовлен рядом предшествующих экспериментов.

Благодаря прекрасно задуманным и осуществлённым им экспериментам Пастер смог придать своим заключениям исключительную убедительность. Последние имели целью не только доказать правильность положений автора, но и выявить ошибки его противников и вскрыть причины отдельных неудач его предшественников.

Пастер заполнял колбу питательной средой, а горлышку придавал S-образную форму (рис. 2.1). Кипячением из колбы выгонялся воздух, который при остывании жидкости возвращался обратно. Микроорганизмы из воздуха при этом оседали на изгибе шейки, и жидкость в сосуде оставалась

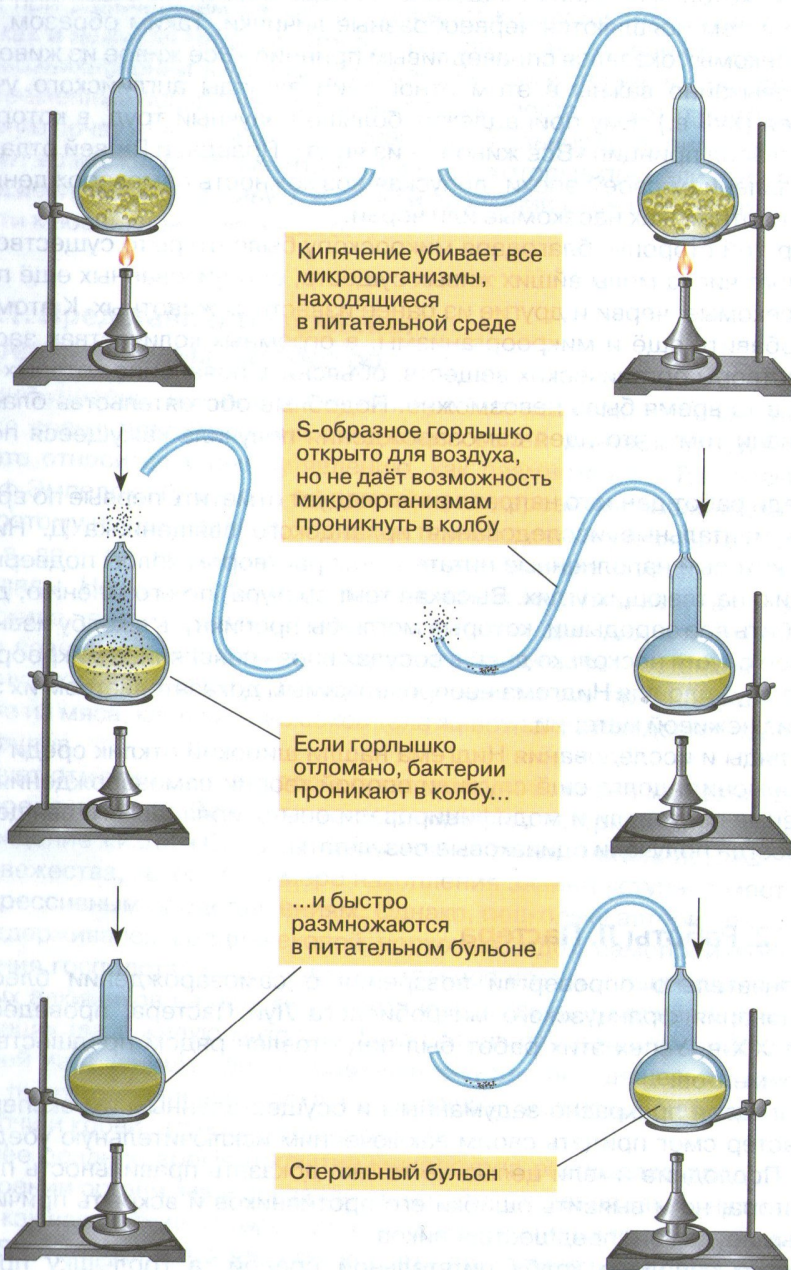


Рис. 2.1. Опыты Л. Пастера

стерильной неопределённо долго. Стоило только отрезать шейку колбы, как через несколько дней в жидкости появлялись бактерии. Появления их можно было также добиться, наклоня баллон и смывая микроорганизмы, осевшие в изгибе трубки.

Работы Пастера явились переломным моментом в истории учения о происхождении жизни. Вопрос о самозарождении в том виде, в каком он был поставлен в XVII и XVIII вв., разрешился в отрицательном смысле, а принцип «Всё живое — из живого» для всех известных существ стал по праву считаться справедливым и не знающим ни одного исключения.

Вопрос о происхождении жизни, однако, не был разрешён опытами Пастера — он был только заново переформулирован, но на этот раз вполне научно: как возникли живые организмы? Этому способствовало углубление представлений о жизни, особенно учение о клетке как основе строения организмов, и развитие физико-химических наук. После Пастера в учении о происхождении жизни ни микроорганизмы вообще, ни известные нам даже наиболее просто устроенные их представители не рассматриваются больше как источники появления в современных условиях более сложных живых существ. Вопрос этот переносится на клетку с её сложным химическим составом и строением. Проблема получает более конкретную формулировку, ибо ставится вопрос не только о происхождении простейших клеток, но и о возможности их искусственного создания из неорганических веществ.

Наряду с этим вновь появились старые представления о непрерывности и вечности жизни, также вооружённые новейшими достижениями в области биологии, астрономии и физики.

2.1.3. Теории вечности жизни

Теории вечности жизни возникли почти одновременно с появлением работ Л. Пастера и на первый взгляд являются логическим выводом из последних.

Одной из первых подобных теорий следует признать *теорию панспермии*, в основной своей форме провозглашённую немецким учёным Г. Рихтером в 1865 г. Согласно Рихтеру, жизнь на Земле не возникала из неорганических веществ, а была занесена с других планет. В связи с этим естественно возникал вопрос о том, насколько возможно такое перенесение жизни с одной планеты на другую через разделяющие их огромные пространства. Доводы в пользу возможности такого хода событий черпались в области физики, ведь защитниками данной теории являлись в первую очередь представители этой науки — выдающиеся учёные Г. Гельмгольц, Г. Томсон, С. Аррениус, П. Лазарев и др. Вопрос сводился к двум основным пунктам: при помощи каких сил может происходить перенос зародышей жизни с одной планеты на другую и могут ли эти зародыши сохранять жизнеспособность во время путешествия по космическому пространству?

Исходя из представлений Томсона и Гельмгольца, споры бактерий и других микроорганизмов могли быть занесены на Землю с метеоритами.

Уместно заметить: современные сторонники теории панспермии полагают, что основная масса органических веществ, явившихся материалом, из которого возникали живые существа, доставлена на планету метеоритами. Лабораторные исследования вскоре продемонстрировали высокую устойчивость живых организмов к неблагоприятным воздействиям. Например, длительное выдерживание спор и семян растений в жидком кислороде или азоте не сопровождалось нарушением их жизнеспособности.

Теория панспермии не может, однако, помочь разрешить вопрос о происхождении жизни. Она лишь пытается объяснить появление жизни на Земле, но не её изначальное возникновение. В этом смысле она только отодвигает проблему, не разрешая её. Развитием подобных представлений можно считать *теорию вечности жизни*, которую выдвинул немецкий учёный В. Прейер в 1880 г., нашедшую положительный отклик со стороны академика В. И. Вернадского. По Прейеру, проблемы происхождения жизни вообще не существует. Учёный рассматривает жизнь как существующую вечно. Более того, он ставит вопрос о происхождении неживого из живого, предшествовавшего ему во времени. В соответствии с этим исследователь рассматривал раскалённые массы формировавшегося земного шара как гигантские живые организмы со своим особым обменом веществ. По мере остывания Земли такие массы распадались на части, которые не могли вновь слиться и поэтому выпадали из жизненного круговорота. Они-то и составили неорганическую природу, остальные же сформировали живую материю, существующую поныне.

2.1.4. Материалистические теории происхождения жизни

Проблемы происхождения жизни для теорий вечности жизни не существует по той простой причине, что эти теории стирают различия, существующие между живым и неживым. Поскольку они исходят из единства комплекса «живое — неживое», для них не существует и вопроса о происхождении одного от другого. Совсем иначе обстоит дело, если принять в качестве основного постулата наличие специфических различий между живой и неживой материей. В этом случае сам собой возникает вопрос о возникновении и механизме появления этих различий. Разрешение настоящего вопроса неразрывно связано с теми представлениями, которые существуют о природе различий между неживой материей и живыми организмами.

Правильная постановка этого вопроса стала возможной лишь после исследований Л. Пастера и в связи с расширением и углублением самого понятия живого. Особенное значение в истории проблемы имела теория немецкого учёного Э. Пфлюгера (1875).

Вопрос о происхождении жизни для Пфлюгера, как и для современных учёных, сводился к вопросу о происхождении белковых веществ и о той внутренней их организации, которая составляет характерное отличие бел-

ков живой «протоплазмы». Автор соответственно разбирает различия между «живым» и «мёртвым» белком, основное из которых заключается в неустойчивости «живого» белка, его способности к изменениям в отличие от инертного «мёртвого» белка. Эти свойства «живого» белка Пфлюгера приписывали наличию в его молекуле кислорода. Это воззрение в настоящее время оставлено. Из других представлений о различиях между «живым» и «мёртвым» белком учёный останавливается на содержании в молекуле «живого» белка цианогруппы ($—CN$) и соответственно этому пытается создать представление о происхождении этого основного для белковой молекулы радикала. Исходя из этого, исследователь считает, что цианиды возникли ещё в то время, когда Земля представляла собой расплавленную или раскалённую массу. Именно при этих температурах в лаборатории удаётся получить указанные соединения искусственным путём. Впоследствии, при охлаждении земной поверхности, соединения циана с водой и с другими химическими веществами привели к образованию белковых веществ, наделённых «жизненными» свойствами.

В теории Пфлюгера, в настоящее время устаревшей, ценным является материалистический подход к проблеме происхождения жизни и выделение белка как важнейшей составной части протоплазмы. Происхождение белковых веществ можно представить себе и иначе. И действительно, вскоре после Пфлюгера появились другие попытки подойти к разрешению этого вопроса с биохимической стороны. Одной из них является теория английского учёного Дж. Эллена (1899).

Первое появление азотистых соединений на Земле Эллен, в противоположность Пфлюгеру, приурочивает к тому периоду, когда пары воды вследствие охлаждения конденсировались в воду и покрыли поверхность Земли. В воде были растворены соли металлов, имеющие первостепенное значение для образования и деятельности белка. В ней же содержалось известное количество углекислоты, которая вступала в соединение с оксидами азота и с аммиаком. Последние могли образоваться при электрических разрядах, имевших место в атмосфере, содержащей азот.

Уже эти теории, относящиеся к концу XIX столетия, ясно намечают основное направление, по которому и в настоящее время идёт разрешение спора о возникновении живого.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Представления древних людей о возникновении жизни на Земле носили вначале стихийно-материалистический характер.
- В процессе развития цивилизации в вопросе возникновения жизни на Земле сменяли друг друга материалистические и идеалистические воззрения.
- Первые попытки объяснить возникновение жизни на Земле были известны ещё в древнем мире.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Каковы основы и сущность жизни, по мнению древнегреческих философов?
- 2 В чём заключается смысл опытов Ф. Реди?
- 3 Опишите опыты Л. Пастера, доказывающие невозможность самозарождения жизни в современных условиях.
- 4 В чём состоит сущность теорий вечности жизни?
- 5 Какие материалистические теории возникновения жизни вам известны?

2.2. Современные представления о возникновении жизни

Вопрос о происхождении живого не может быть разрешён, если неизвестны основные признаки или свойства жизни. Только имея в распоряжении данные о составе, строении и процессах, протекающих в живых системах, можно попытаться создать представление о тех условиях, при которых могла бы возникнуть жизнь, и тех путях, которые могли привести к её появлению. Это, бесспорно, самый сложный вопрос современной биологии, особенно если учесть, что возникновение жизни восходит к отдалённым периодам истории Земли, мало доступным изучению.

Попробуем представить себе место биологической эволюции в общем процессе развития материального мира. Для этого необходимо проследить пути преобразования вещества с самого начала — с образования неорганических веществ в космическом пространстве и формирования планетных систем.

2.2.1. Эволюция химических элементов в космическом пространстве

Что собой представляет межзвёздное пространство? Какие процессы протекают в нём? Ответ на эти и многие другие вопросы лежит на стыке нескольких наук — химии, физики и астрономии.

Спектроскопия — физический метод исследования, являющийся важнейшей точкой соприкосновения астрономии и химии. Анализ света, излучаемого звёздами, даёт богатые сведения об их химическом составе. Исследование спектров позволяет не только идентифицировать химические элементы, но даёт также и другую информацию. Например, сравнивая яркость линий одного и того же элемента, можно измерить температуру источника, а содержание в звезде каждого элемента можно узнать, измеряя относительную интенсивность его главных спектральных линий.

Таблица 2.1

Сохранение во Вселенной некоторых наиболее распространённых элементов

Атомы	Относительное содержание, число атомов	Атомы	Относительное содержание, число атомов
Водород	10 000 000	Аргон	42
Гелий	1 400 000	Алюминий	19
Кислород	6800	Кальций	17
Углерод	3000	Натрий	17
Железо	2800	Фосфор	3
Азот	910	Калий	0,8
Магний	290	Литий	0,003
Кремний	80		

С конца XIX в. было зарегистрировано более 2 млн спектров примерно 10 тыс. звёзд и Солнца. На основе их изучения был сделан вывод, что всюду во Вселенной существуют одни и те же химические элементы и выполняют одни и те же физические законы (табл. 2.1).

Водород — наиболее часто встречающийся и самый простой элемент во Вселенной. Его атом состоит из одного протона и одного электрона. Если первичное вещество Вселенной составлял исключительно водород, то можно объяснить не только наличие, но и распространённость всех остальных элементов в настоящее время. В такой первичной Вселенной, состоящей из чистого водорода, образовались звёзды. Они являются довольно крупными гравитационно-связанными скоплениями вещества, в ходе образования которых температура повышается настолько, что начинают протекать ядерные реакции. Основной ядерной реакцией является слияние ядер атомов водорода. В этой реакции водород превращается в гелий с выделением энергии (рис. 2.2). Масса ядра атома гелия, состоящего из двух протонов и двух нейтронов, точно измерена и составляет 4,0026 атомной единицы массы (а. е. м.). При давлении и температуре, достаточно высоких для того, чтобы началась реакция слияния водородных атомов, четыре атома водорода сливаются в один атом гелия. Но масса одного атома водорода равна 1,0079 а. е. м., следовательно, четыре его атома имеют массу 4,0316 а. е. м. Разность между массой четырёх атомов водорода и массой одного атома гелия равна 0,029 а. е. м. — это очень небольшое число, но именно оно движет Вселенной. По закону сохранения массы и энергии эта разность масс превращается в энергию излучения.

Согласно уравнению А. Эйнштейна, энергия равна массе, умноженной на квадрат скорости света. Превращение водорода в гелий сопровождается небольшой потерей массы — 0,7% на каждый атом гелия — и высвобождением колоссальных количеств энергии.

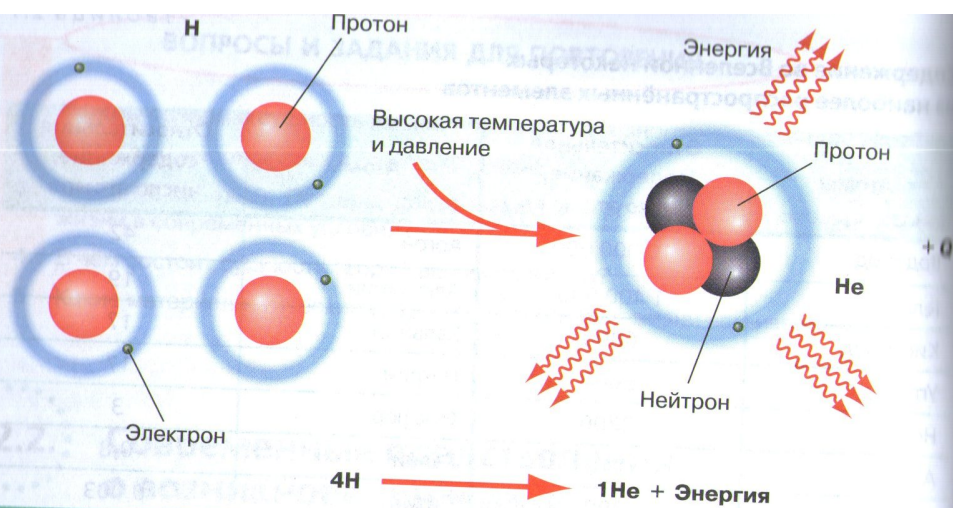


Рис. 2.2. Реакция ядерного синтеза

Дальнейшее взаимодействие элементов приводит к возникновению других элементов. Очевидно, что реакции последних между собой приводят к образованию более сложных молекул и их комплексов — пылевых частиц. Газы и пылевые частицы образуют в космическом пространстве скопления газовой-пылевой материи — туманности. Примером такого скопления может служить гигантская туманность в созвездии Ориона (рис. 2.3). Эту туманность в районе «меча» Ориона можно видеть в бинокль. Она имеет около 15 световых лет в диаметре и содержит такое количество газа и пыли,



Рис. 2.3. Туманность — скопление газа и пыли, из которого формируются звёзды и окружающие их планеты

второго достаточно для образования 100 тыс. звёзд размером с наше Солнце. Туманность Ориона, отстоящая от нас на расстояние около 1500 световых лет, является ближайшей к нам туманностью.

2.2.2. Образование планетных систем

Учёные полагают, что туманности являются этапом формирования галактик, или крупных звёздных систем. В моделях теорий такого типа планеты представляют собой побочный продукт образования звёзд. Эта точка зрения, впервые высказанная в XVIII в. И. Кантом и позднее развитая П. Лапласом, Д. Койпером, Д. Альвенем и Р. Камероном, подтверждается целым рядом научных исследований.

Молодые звёзды обнаруживаются внутри туманностей — области относительно концентрированного межзвёздного газа и пыли, размеры которых составляют несколько световых лет. Туманности встречаются по всей нашей Галактике. Полагают, что звёзды и связанные с ними планетные системы образуются внутри этих громадных облаков материи.

С помощью спектроскопии было показано, что межзвёздное вещество состоит из газов — водорода, гелия и неона — и пылевых частиц, имеющих размеры порядка нескольких микрон и состоящих из металлов и других простых молекул. Поскольку температура межзвёздного пространства очень низка (10—20 К), всё космическое вещество, кроме упомянутых газов, находится в замёрзшем состоянии на пылевых частицах. Более тяжёлые элементы и некоторое количество водорода ведут своё происхождение от звёзд предшествующих поколений. Некоторые из этих звёзд взорвались как сверхновые, вернув в межзвёздную среду оставшийся водород и обогатив её образованными в их недрах более тяжёлыми элементами.

Учёными-астрофизиками установлено, что средняя концентрация газа в межзвёздном пространстве — всего 0,1 атома $\text{H}/\text{см}^3$, тогда как концентрация газа в туманностях приблизительно 1000 атомов $\text{H}/\text{см}^3$, т. е. в 10 000 раз больше. (Для сравнения: в 1 см^3 атмосферного воздуха содержится примерно $2,7 \times 10^{19}$ молекул в пересчёте на водород.)

Когда газовой-пылевое облако становится достаточно большим в результате медленного оседания и слипания (аккреции) межзвёздного газа и пыли под действием гравитации, оно становится неустойчивым — в нём нарушается близкое к равновесию соотношение между давлением и гравитационными силами. Гравитационные силы преобладают, и поэтому облако сжимается. В ходе ранних фаз сжатия тепло, высвобождающееся при превращении гравитационной энергии в энергию излучения, легко покидает облако, поскольку относительная плотность вещества мала. По мере возрастания плотности вещества начинаются новые важные изменения. Вследствие гравитационных и других флуктуаций, а также преобладания центробежных сил над центростремительными крупное облако дробится на облака меньшего размера, которые, в свою очередь, образуют ещё более мелкие фрагменты, в конечном счёте по своей массе и размерам в несколько раз пре-

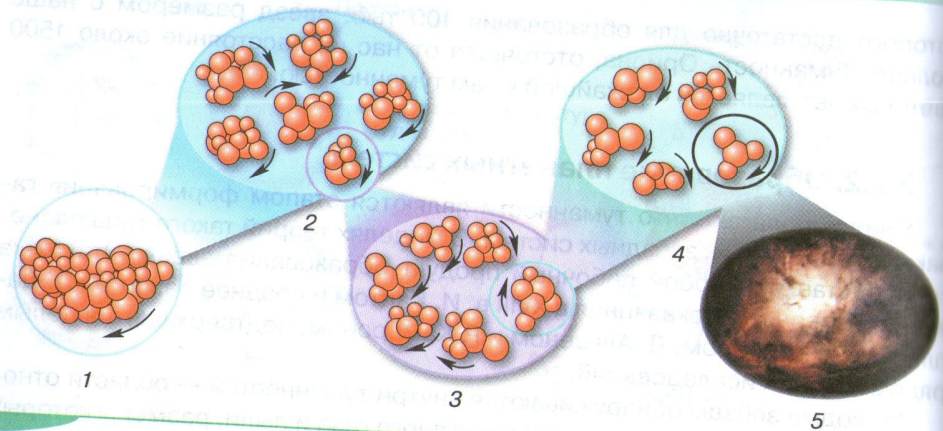


Рис. 2.4. Фрагментация туманности (1—4) и образование протозвёздного диска (5)

вышающие нашу Солнечную систему (рис. 2.4). Фрагментация туманности происходит до тех пор, пока в скоплении газовой-пылевой материи его масса и скорость вращения не обусловят преобладания центробежных сил над центробежными. Эти облака называют протозвёздами. Конечно, некоторые протозвёзды массивнее, чем наша Солнечная система, они образуют более крупные и более горячие звёзды, тогда как менее массивные протозвёзды образуют меньшие и более холодные звёзды, эволюционирующие медленнее, чем первые. Размеры протозвёзд ограничены верхним пределом, выше которого произошла бы дальнейшая фрагментация, и нижним пределом, определяемым той минимальной массой, которая требуется для поддержания ядерных реакций.

Сначала потенциальная гравитационная энергия, превращаясь в тепло (энергию излучения), в ходе гравитационного сжатия просто излучается наружу. Но по мере того как плотность вещества возрастает, поглощается всё большее количество энергии излучения и в результате возрастает температура. Летучие соединения, первоначально замёрзшие на частицах пыли, начинают испаряться. Теперь к H_2 , He и Ne примешиваются такие газы, как аммиак (NH_3), метан (CH_4), пары воды (H_2O) и цианистый водород (HCN). Эти газы поглощают последующие порции энергии излучения, диссоциируют и подвергаются ионизации.

Гравитационное сжатие протекает до тех пор, пока выделяющаяся энергия излучения рассеивается при испарении и ионизации молекул в частицах пыли. Когда молекулы полностью ионизируются, температура быстро возрастает, сжатие почти прекращается, так как давление газа начинает уравновешивать силы тяготения. Таким образом заканчивается фаза быстрого гравитационного сжатия (коллапса).

В этот момент своего развития протозвезда, соответствующая по размерам нашей системе, представляет собой диск с утолщением в центре

и температурой приблизительно 1000 К на уровне орбиты Юпитера. Такой протозвёздный диск продолжает эволюционировать: в нём происходит перестройка, и он медленно сжимается. Сама протозвезда постепенно становится всё более компактной, массивной и горячей, так как теперь тепло может излучаться только с её поверхности. Передача тепла из глубины протозвезды к её поверхности осуществляется с помощью конвекционных токов. Область от поверхности протозвезды до расстояния, эквивалентного орбите Плутона, заполнена газовой-пылевой туманом.

В ходе этого сложного ряда сжатий, который, как полагают учёные, потребовал около 10 млн лет, момент количества движения системы должен сохраниться. Вся Галактика вращается, совершая 1 оборот за 100 млн лет. Но мере сжатия пылевых облаков их момент количества движения не может измениться — чем сильнее они сжимаются, тем быстрее вращаются. Благодаря сохранению момента количества движения форма сжимающегося пылевого облака изменяется от сферической к дискообразной. По мере сжатия оставшегося вещества протозвезды его температура становится достаточно высокой для начала реакции слияния атомов водорода и образования из них других элементов.

Планеты формировались из оставшихся газов и пыли на периферии протозвёздного диска (рис. 2.5). Агломерация межзвёздной пыли под действием гравитационного притяжения приводит к образованию звезды и планет примерно за 10 млн лет (1—4). Звезда входит на главную последовательность.

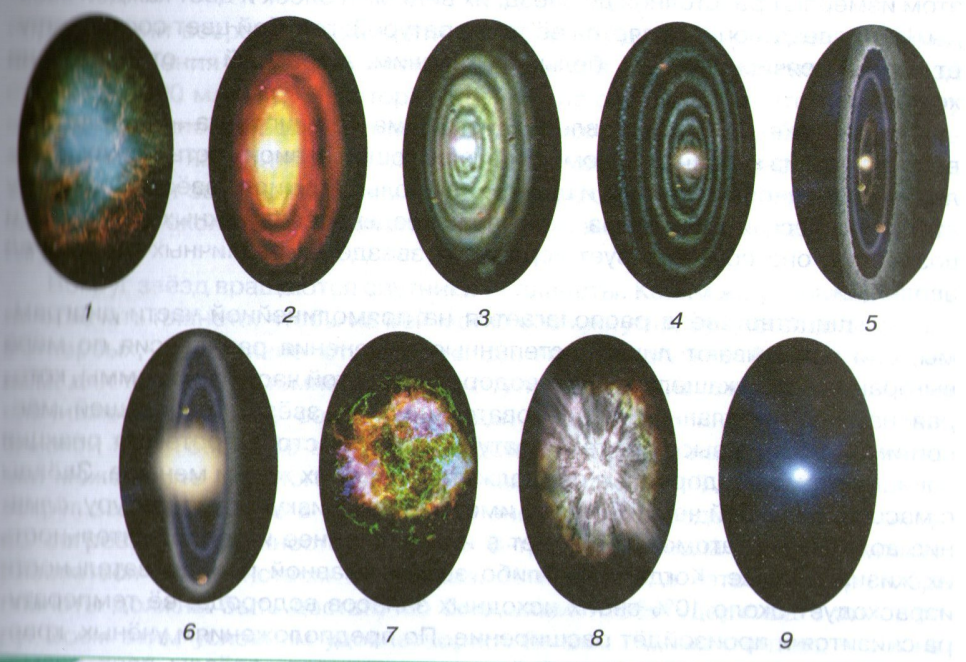


Рис. 2.5. Эволюция планетной системы (объяснения в тексте)

тельность (4) и остаётся в устойчивом состоянии примерно в течение 8000 млн лет, постепенно перерабатывая водород. Затем звезда покидает главную последовательность, расширяется до красного гиганта (5 и 6) и «поглощает» свои планеты в течение последующих 100 млн лет. После нескольких тысяч лет пульсирования в качестве переменной звезды (7) она взрывается как сверхновая (8) и, наконец, сжимается до белого карлика (9). Хотя обычно планеты Солнечной системы считают массивными объектами, общая масса всех планет составляет всего лишь 0,135%.

Наши планеты и, как предполагают астрономы, планеты, образующиеся в любом протозвёздном диске, располагаются в двух главных зонах. Внутренняя зона, которая в Солнечной системе простирается от Меркурия до пояса астероидов, представляет собой зону мелких планет земного типа. Здесь, в фазе медленного сжатия протозвезды, температуры настолько высоки, что испаряются даже металлы. Внешняя холодная зона содержит такие газы, как H_2O (пары), He и Ne , и частицы, покрытые замёрзшими летучими веществами типа H_2O , NH_3 и CH_4 . Эта внешняя зона с планетами типа Юпитера содержит гораздо больше вещества, чем внутренняя, поскольку она имеет огромные размеры и значительная часть летучих веществ, первоначально находившихся во внутренней зоне, выталкивается наружу в результате деятельности протозвезды.

Один из способов построения картины эволюции звезды и вычисления её возраста заключается в анализе большой случайной выборки звёзд. При этом измеряют расстояния до звёзд, их видимый блеск и цвет каждой звезды. Цвет звезды определяется её температурой: голубой цвет соответствует очень горячим звёздам, белый — горячим, а красный — относительно холодным.

На рисунке 2.6 представлена диаграмма Герцшпрунга—Рассела, известная вам из курса астрономии и отражающая зависимость между абсолютной звёздной величиной и цветом для большого числа звёзд. Поскольку эта классическая диаграмма включает звёзды всевозможных размеров и возрастов, она соответствует «средней» звезде на различных стадиях её эволюции.

Большинство звёзд располагается на прямолинейной части диаграммы; они испытывают лишь постепенные изменения равновесия по мере выгорания содержащегося в них водорода. На этой части диаграммы, которая называется главной последовательностью, звёзды с большей массой имеют более высокую температуру. В них быстрее протекает реакция слияния атомов водорода, а продолжительность их жизни меньше. Звёзды с меньшей массой, меньшей чем у Солнца, имеют более низкую температуру, слияние водородных атомов протекает в них медленнее и продолжительность их жизни больше. Когда какая-либо звезда главной последовательности израсходует около 10% своих исходных запасов водорода, её температура снизится и произойдёт расширение. По предположениям учёных, красные гиганты представляют собой «состарившиеся» звёзды всех размеров, принадлежавшие ранее главной последовательности. При точном

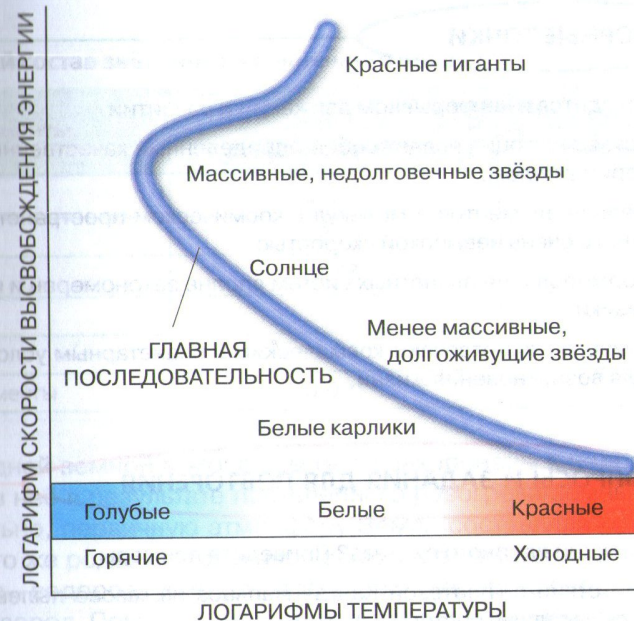


Рис. 2.6. Диаграмма Герцшпрунга—Рассела

определении возраста звезды эти факторы следует принимать во внимание. Вычисления с их учётом показывают, что в нашей Галактике нет звёзд старше 11 000 млн лет. Некоторые маленькие звёзды соответствуют этому возрасту, а многие более крупные — гораздо моложе. Самые массивные звёзды могут находиться на главной последовательности не более 1 млн лет. Солнце и звёзды подобных размеров находятся на главной последовательности около 10 000 млн лет, прежде чем достигают стадии красных гигантов.

Вокруг звёзд вращаются спутники — планеты. Каким же условиям должна отвечать планета, чтобы на ней могла возникнуть и существовать жизнь? Во-первых, расстояние от планеты до звезды должно быть оптимальным, для того чтобы температура на спутнике находилась в пределах, обеспечивающих жидкое состояние воды, а орбита планеты должна быть близкой к круговой. Во-вторых, скорость вращения планеты вокруг своей оси может быть во много раз выше, чем та, с которой планета движется вокруг звезды. Только в этом случае энергия от звезды будет равномерно согревать поверхность планеты. В-третьих, звезда должна характеризоваться постоянством излучения. И наконец, в-четвёртых, размеры планеты должны быть достаточно большими, чтобы удерживать атмосферу. Всем этим условиям удовлетворяет Земля. Учёные считают, что в нашей Галактике — Млечном Пути имеется около 10 тыс. планет земного типа.

ОПОРНЫЕ ТОЧКИ

- Материя находится в непрерывном движении и развитии.
- Биологическая эволюция является собой определённый качественный этап эволюции материи в целом.
- Преобразования элементов и молекул в космическом пространстве происходят постоянно с очень невысокой скоростью.
- Процесс формирования планетных систем вполне закономерен и подчиняется законам физики.
- Планеты земного типа отвечают космическим и планетарным условиям, необходимым для возникновения жизни.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

- 1 Что такое реакции ядерного синтеза? Приведите примеры.
- 2 Как в соответствии с гипотезой Канта—Лапласа из газовой-пылевой материи формируются звёздные системы?
- 3 Есть ли различия в химическом составе планет одной и той же звёздной системы?
- 4 Какие физические законы лежат в основе формирования звёзд и планет?
- 5 Перечислите космические и планетарные предпосылки возникновения жизни на Земле.

2.2.3. Первичная атмосфера Земли

и химические предпосылки возникновения жизни

Придерживаясь изложенной в предыдущем параграфе точки зрения на происхождение планетных систем, можно сделать достаточно обоснованные оценки элементного состава первичной атмосферы Земли. Частично современные взгляды основываются, конечно, на огромном преобладании в космосе водорода; он обнаруживается также и в Солнце. В таблице 2.2 приведён элементный состав звёздного и солнечного вещества.

Предполагается, что атмосфера первичной Земли, имевшей большую среднюю температуру, была примерно такова: до гравитационной потери водород составлял большую её часть, а главными молекулярными составляющими были метан, вода и аммиак.

Начальная атмосфера Земли могла изменяться в результате самых различных процессов, в первую очередь в результате диффузионного ускользания водорода и гелия, составлявших значительную её часть. Эти элементы — самые лёгкие, и они должны были утрачиваться из атмосферы, ибо гравитационное поле нашей планеты мало в сравнении с полем планет-гигантов. Большая часть начальной атмосферы Земли должна была быть утрачена за очень короткое время; поэтому предполагается, что многие газы

Таблица 2.2

Элементный состав звёздного и солнечного вещества

Элементы	Содержание, %	
	Звёздное вещество	Солнечное вещество
H	81,76	87,0
He	18,17	12,9
H, C, Mg	0,38	0,33
O	0,03	0,25
Si, S, Fe	0,01	0,004
Другие элементы	0,001	0,04

более поздней земной атмосферы были захоронены в недрах Земли и выделялись в неё в результате постепенного разогрева земных пород. Предположительно, первичную атмосферу Земли составляли органические вещества того же рода, которые наблюдаются в кометах: молекулы со связями углерод—водород, углерод—азот, азот—водород, сера—водород и кислород—водород. Помимо них, при гравитационном разогреве земных недр, вероятно, появлялись также водород, метан, окись углерода, аммиак, вода и т. д. Таковы те вещества, с которыми проведено большинство экспериментов по моделированию первичной атмосферы.

Что же могло в действительности происходить в условиях первичной Земли? Для того чтобы разрешить этот вопрос, необходимо знать, какие виды энергии, вероятнее всего, воздействовали на её атмосферу.

2.2.4. Источники энергии и возраст Земли

Развитие и преобразование материи без притока энергии невозможно. Рассмотрим те источники энергии, которые обуславливают дальнейшую эволюцию веществ уже не в космосе, а на нашей планете.

Оценить роль источников энергии нелегко; ведь при этом необходимо учитывать неравновесность условий, охлаждение продуктов реакции и степень их экранирования от источников энергии.

По-видимому, любые источники энергии оказывали значительное влияние на преобразование веществ на нашей планете (табл. 2.3). Как это происходило? Конечно, свидетельств объективного характера просто не существует. Однако процессы, протекавшие на нашей Земле в глубокой древности, можно смоделировать в эксперименте. Во-первых, необходимо определить временные границы, а во-вторых, воспроизвести с возможной точностью условия в каждой из эпох существования планеты.

Для обсуждения вопросов о происхождении жизни на Земле, помимо знания источников энергии, необходимых для преобразования материи, нужно иметь и достаточно чёткое представление о времени этих преобразований.

Таблица 2.4
Возможные источники энергии для первичной химической эволюции

Источник энергии	Среднее количество энергии на всю поверхность Земли ($\times 10^{20}$ кал/год)
Распад ^{40}K (в настоящее время)	0,3
Распад ^{40}K ($2,6 \times 10^9$ лет назад)	1,2
Ультрафиолетовое излучение с длиной волны < 150 нм	0,08
Ультрафиолетовое излучение с длиной волны $150-200$ нм	4,5
Вулканизм (лава при 1000°C)	0,04
Удары метеоритов	0,05 (вероятно)
Молнии	0,05

Развитие физических наук в настоящее время предоставило биологам несколько эффективных методов определения возраста тех или иных пород земной коры. Сущность этих способов заключается в анализе соотношения различных изотопов и конечных продуктов ядерного распада в образцах и соотнесении результатов исследования со временем расщепления исходных элементов (табл. 2.4).

Использование подобных методов позволило учёным построить временную шкалу истории Земли с момента её остывания, 4500 млн лет назад, и до настоящего времени (табл. 2.5). Теперь наша задача состоит в том, чтобы внутри этой шкалы установить, каковы были условия на примитивной Земле, какого рода атмосферу имела Земля, каковы были температура и давление, когда образовались океаны и как сформировалась сама планета.

Таблица 2.4
Периоды полураспада и другие данные о некоторых элементах, используемых при определении возраста Земли

Исходный элемент	Конечный элемент	Вид распада	Период полураспада, годы
^{14}C	^{14}N	β -распад	$5,7 \times 10^3$
^{40}K	^{40}Ar	Электронный захват	$1,3 \times 10^9$
	^{40}Ca	β -распад	
^{232}Th	^{208}Pb и 6 β -частиц	α -распад	$1,39 \times 10^{10}$
^{235}U	^{207}Pb и 7 β -частиц	То же	$7,13 \times 10^8$
^{238}U	^{206}Pb и 8 β -частиц	То же	$4,51 \times 10^{10}$

Таблица 2.5

Биологическая шкала

Эра	Возраст, млн лет	Эффективные методы датировки	Главные особенности Земли
Современная	0-1	^{14}C	Обилие ископаемых
Кайнозой	1-62	То же	То же
Мезозой	62-230	То же	То же
Палеозой	230-570	Радиометрические методы: U/Pb, K/Ar, Rb/Sr	То же
Прокариотной	570-2600	То же	Микроископаемые, впервые свободный кислород
Архей	2600-3600	То же	Протобионты
Доархейская	3600-4500	То же	Химическая эволюция

2.2.5. Условия среды на древней Земле

Сегодня воссоздание условий, в которых возникли первые «зародыши жизни», имеет принципиальное значение для науки. В этом деле велика заслуга А. И. Опарина, предложившего в 1924 г. первую концепцию химической эволюции. Согласно ей, в качестве отправной точки в лабораторных экспериментах по воспроизведению условий первичной Земли предлагалась бескислородная атмосфера.

В 1953 г. американские учёные Г. Юри и С. Миллер подвергли смесь метана, аммиака, водорода и воды действию электрических разрядов (рис. 2.7). Впервые с помощью такого эксперимента среди полученных продуктов были идентифицированы аминокислоты — глицин, аланин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты.

Опыты Миллера и Юри стимулировали исследования молекулярной эволюции и происхождения жизни во многих лабораториях по всему миру, в том числе и в нашей стране А. Г. Пасынским и Т. Е. Павловской. Они привели к систематическому изучению проблемы, в ходе чего были синтезированы биологически важные соединения. Основные условия на первобытной Земле, принятые во внимание исследователями, приведены в таблице 2.6.

Расчёты, в которых учитывался парниковый эффект, а также приблизительно интенсивность солнечной радиации в абиотическую эру, привели к значениям на несколько десятков градусов выше температуры замерзания. Почти все эксперименты по воссозданию условий первичной Земли выполнены при температурах от 20 до 200°C . Эти пределы установили не путём расчётов или экстраполяции некоторых геологических данных, а скорее всего с учётом температурных границ устойчивости органических соединений.

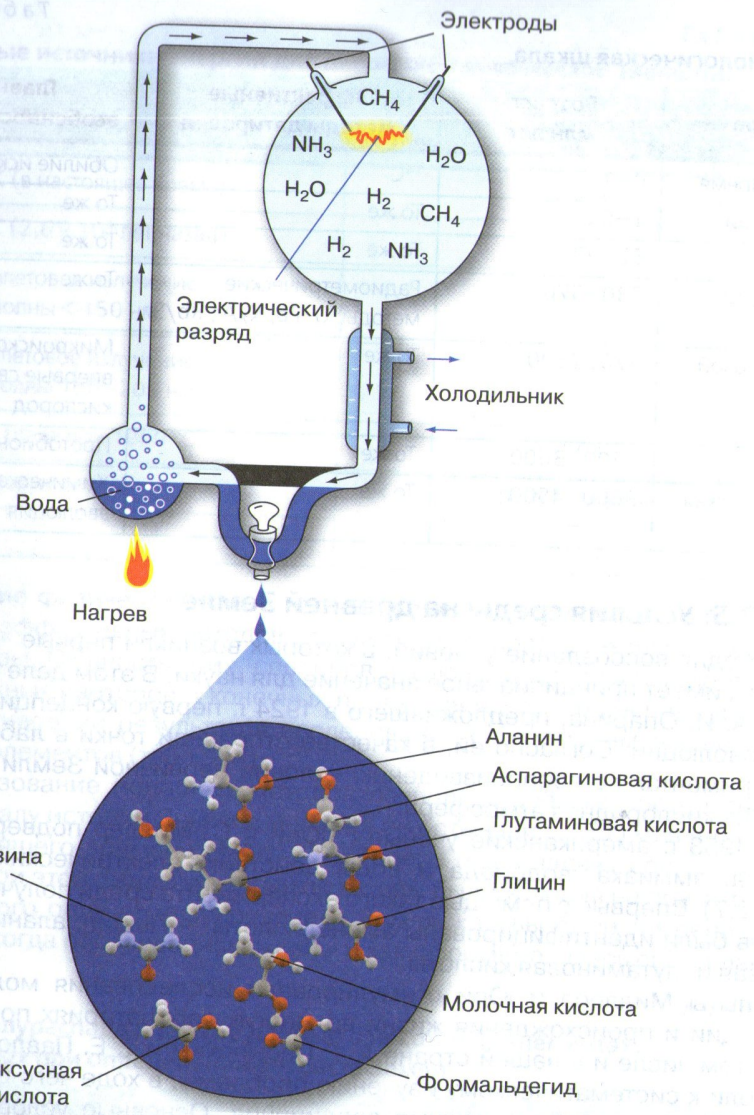


Рис. 2.7. Аппарат С. Миллера (вверху) и органические молекулы, полученные абиогенным путём (внизу)

Использование смесей газов, подобных газам первичной атмосферы, различных видов энергии, которые были характерны для нашей планеты 4—4,5 × 10⁹ лет тому назад, и учёт климатических, геологических и гидрографических условий того периода позволили во многих научных центрах, занимающихся изучением возникновения жизни, найти доказательства путей абиотического возникновения таких органических молекул, как альде-

Условия на первобытной Земле

Первичная литосфера

В молекулярной эволюции только кора Земли сыграла важную роль. Состав коры: Al, Ca, Fe, Mg, Na, K и др. Уровень геологических знаний не позволяет сделать убедительных выводов об изменении состава земной коры во времени.

Первичная гидросфера

На поверхности первичной Земли находилось менее 10% объёма воды современных океанов. Среда первичного океана — слабощелочная (pH = 8—9).

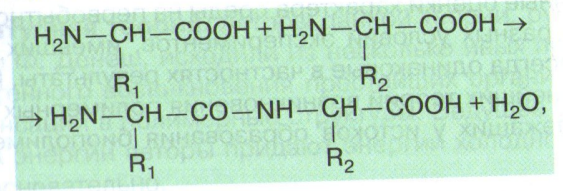
Первичная атмосфера

Первая атмосфера Земли состояла из водорода, который «ушёл» в космическое пространство; вторая (известная как первичная) образовалась из вулканических газов. Было предложено три варианта состава первичной атмосферы:
 а) восстановительная: CH₄, NH₃, H₂O, H₂ (с высоким содержанием NH₃);
 б) нейтральная: CH₄, N₂, H₂O;
 в) слабоокислительная: CO₂, CH₄, NH₃, N₂, H₂O (с низким содержанием NH₃).

гидры, нитриты, аминокислоты, моносахариды, пурины, пиримидины, порфирины, нуклеотиды и т. д.

Следующим этапом химической эволюции является возникновение более сложных соединений из простых органических молекул. Поэтому возникновение протобиополимеров представляет собой более сложную проблему. Необходимость их существования во всех живых системах очевидна. Они ответственны за протоферментативные процессы (например, гидролиз, декарбоксилирование, аминирование, дезаминирование, перекисное окисление и т. д.), некоторые весьма простые процессы (например, брожение) и другие, более сложные (например, фотохимические реакции, фотофосфорилирование, фотосинтез).

Наличие воды на нашей планете (первичный океан) и необходимость её присутствия во всех живых организмах обусловили термодинамический барьер на пути возникновения протобиополимеров в процессе поликонденсации. Так, для образования пептидной связи, согласно реакции



необходимы затраты энергии 2—4 ккал. Этот термодинамический барьер ещё выше при получении белковых молекул в водных растворах. Следовательно, для синтеза макромолекул из «биомономеров» требуется привлечение специфических методов удаления воды.