

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ  
ФОНДА  
ПРЕЗИДЕНТСКИХ  
ГРАНТОВ

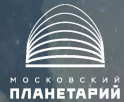


Ассоциация планетариев и лиц, содействующих их развитию

При поддержке Фонда президентских грантов.

При содействии Международного астрономического общества (АстрО),  
Московского планетария, «Детско-юношеского центра «Планетарий»  
имени космонавта Анны Кикиной», Института астрономии РАН, Государственного  
астрономического института имени П.К. Штернберга (ГАИШ МГУ)

# МИР, В КОТОРОМ МЫ ЖИВЕМ



**БОЛЬШОЙ  
ПЛАНЕТАРИЙ**  
ИМЕНИ КОСМОНАВТА АННЫ КИКИНОЙ  
НОВОСИБИРСК



© Ассоциация планетариев, 2024

НАУЧНО-ПРОСВЕТИТЕЛЬСКАЯ  
ПРОГРАММА

С. А. Язев

# МИР, В КОТОРОМ МЫ ЖИВЕМ (ЭЛЕМЕНТЫ КОСМОЛОГИИ)

учебно-методическое пособие  
для преподавателей  
общеобразовательных школ и учреждений  
дополнительного образования

Ярославль, 2024



УДК 2-17  
ББК 22.632  
Я40

Я40 Язев С. А.  
**Мир, в котором мы живем (элементы космологии):** учебно-методическое пособие для преподавателей общеобразовательных школ и учреждений дополнительного образования. – Ярославль: Индиго, 2024. – 52 с.

Печатается по решению Ассоциации планетариев и лиц, содействующих их развитию, при поддержке Фонда президентских грантов.

Пособие адресовано учителям общеобразовательных школ, преподавателям дополнительного образования, лекторам планетариев и всем заинтересованным читателям. Содержит материалы об эволюции представлений об устройстве Вселенной, а также популярное изложение современной космологической картины мира.

УДК 2-17  
ББК 22.632

ISBN 978-5-91722-558-6

© Язев С. А., 2024  
© Ассоциация планетариев и лиц, содействующих их развитию, 2024

## ЗАЧЕМ НУЖНА ЭТА ПРОГРАММА?

В 2023–2024 гг. Ассоциацией планетариев и лиц, содействующих их развитию (далее – Ассоциацией планетариев), при поддержке Фонда президентских грантов была создана полнокупольная программа для планетариев «Мир, в котором мы живем», посвященная космологии.

Космология – раздел астрономии, посвященный Вселенной как объекту изучения.

Космология не исследует отдельные галактики, звезды и другие небесные тела, она рассматривает всю Вселенную как единое целое, включая пространство, которое она занимает, и время, в котором она существует.

На протяжении последнего столетия космология стремительно развивалась. Если в начале XX в. она была сугубо теоретической наукой, то начиная с середины XX в. космология все в большей степени становилась наукой, основанной на данных астрономических наблюдений, и в этом смысле экспериментальной. В современной космологии приходится считаться с фактами, которые постоянно поставляет наблюдательная астрономия, а значит, приходится отбрасывать теоретические построения, которые им противоречат.

Космология – один из наиболее сложных для понимания разделов астрономии. Есть основания полагать, что в рамках среднего школьного образования этот раздел наименее известен в России. Одной из причин этого обстоятельства является специфика преподавания астрономии в советскую эпоху. Поскольку курс школьной астрономии изучался в десятом, а затем, после перехода на одиннадцатилетнее обучение, в одиннадцатом классе, а раздел учебника, посвященный космологии, был заключительным, этот раздел, как правило, изучался на протяжении последних недель учебного года в выпускном классе. К этому времени, собственно, обучение уже завершалось: школьники повторяли изученный материал и готовились к выпускным экзаменам, а начиная с 2000-х гг. XXI в. – к испытаниям в формате единого государственного экзамена. В апреле-мае зачастую отменялись (и отменяются) занятия в связи с проведением пробных контрольных работ и экзаменов. Реальная продолжительность учеб-

ного года в выпускном классе всегда оказывалась меньше, чем требовал учебный план (в мае занятия уже практически не велись). Астрономия как предмет, по которому никогда не сдавались выпускные экзамены, негласно считался не основным. В итоге последние занятия по курсу астрономии во многих школах не проводились: школьники изучали (а в реальности не изучали) последние параграфы учебника самостоятельно. Чаще раздел, посвященный космологии, даже не открывался, учитель ставил итоговую оценку либо по итогам изучения предыдущих разделов курса, либо за выполнение реферата по одному из этих разделов. Таким образом, те, кто оканчивал среднюю школу в советскую эпоху, в большинстве случаев так и не добились до изучения космологии даже в ограниченном школьном варианте.

После отмены курса астрономии в средней школе постсоветской России школьники перестали сталкиваться с космологией в сколько-нибудь систематизированном виде.

Ситуация мало изменилась и в период кратковременного возвращения астрономии в российскую школу в 2018–2022 гг. по инициативе министра образования и науки РФ О. Ю. Васильевой. Школа столкнулась с проблемой слабой подготовки школьных учителей, которые либо очень давно изучали школьную астрономию в описанном выше варианте, либо (молодые учителя) не изучали ее совсем. Во многих педагогических вузах страны астрономию не преподавали. В связи с тем, что курс астрономии был возвращен в 10-й либо 11-й классы, во многом повторилась ситуация, характерная для советского периода: на выходе из школы выпускникам было уже не до астрономии, все усилия направлялись на подготовку к выбранным предметам для сдачи ЕГЭ. Если некоторые разделы курса астрономии (расположенные ближе к началу учебника) еще в какой-то мере изучались, то страницы завершающих разделов (в том числе космология) практически не раскрывались.

В результате сложилась ситуация, когда подавляющее большинство населения страны не сталкивалось в школе с космологией. В то время, когда даже элементарные вопросы астрономии (что вокруг чего вращается — Солнце или Земля, какова причина фаз Луны и времен года, почему Луна не падает на Землю и т. п.) оказываются без правильных ответов, непростой раздел «космология», требующий абстрактного мышления, математической подготовки и способности воспринимать непростую информацию, на первый взгляд противоречащую здравому смыслу, в подавляющем большинстве случаев остается за пределами системы образования (особенно гуманитарного). К сожалению, надо признать, что на протяжении последних тридцати — сорока лет отечественная школа практически не знакомила обучающихся даже с основными понятиями космологии, — в то самое время, когда эта наука стремительно развивалась.

Заметим, что все предыдущие рассуждения касались выпускников средней школы. Те же школьники, которые уходили из школы после девятого класса, вообще не имели понятия об астрономии в целом и ее важном разделе (космологии) в частности.

Таким образом, можно констатировать, что с основными положениями современной космологии знакома лишь крайне незначительная часть населения России.

В то же время космология является важнейшим разделом современной астрономии. Без знаний о том, было ли начало у Вселенной или нет, как во Вселенной появились элементарные частицы и электромагнитное излучение, ныне наполняющие весь объем Вселенной, когда и как возникли тяжелые ядра атомов, из которых состоят, например, планеты и другие твердые тела во Вселенной, невозможно построить самосогласованную физическую картину мира в современных естественных науках (физика, химия, биология). Космология является важной составной частью научного мировоззрения человека. Она определяет его представления о том, как устроен наш мир, откуда он взялся (если он не бесконечен во времени), как он меняется (если он меняется). От указанных представлений в значительной степени зависит общее восприятие человеком устройства мира, в котором он живет, его отношение к науке, религии, мистике и другим концепциям, претендующим на объяснение мира.

Поскольку в ряду упомянутых концепций только современная космология имеет научный характер (основана на научных методологических принципах), незнание космологии неизбежно приводит либо к ненаучному (или даже лженаучному или антинаучному), либо к научному, но принципиально ограниченному (фрагментарному) взгляду на мир, не отражающему важнейшие факты об его устройстве, известные сегодня науке.

Тем не менее школа является не единственным источником информации о космологии. В некоторых вузах, включая педагогические, ознакомление с космологией в разных объемах все-таки осуществляется. Но в гораздо большей степени люди сталкиваются с космологией вне учебных заведений и системы образования, а в рамках деятельности, связанной с просвещением.

О космологии рассказывают научно-популярные книги и научно-популярные лекции в интернете. Отдельные фрагменты космологии, отчасти искаженные, прорываются к людям через фантастические фильмы и через программы в планетариях. Другое дело, что такие широко известные понятия, как, например, Большой взрыв, в большинстве случаев воспринимаются совершенно не адекватно тому смыслу, который закладывается в это понятие космологией.

К сожалению, оказалось, что по состоянию на 2023 г. в репертуарах планетариев России отсутствуют полнокупольные программы, которые были бы посвящены космологии. Отдельные элементы космологии упо-

минаются в некоторых фильмах, но только вскользь. В то же время программ, посвященных космологии полностью, нет.

Отчасти это понятно, поскольку космологическая тематика является достаточно трудной (не развлекательной) и крайне сложной для визуализации. Продюсеры полнокупольных программ для планетариев, подчас знакомые с астрономией на любительском уровне либо совсем с ней не знакомые, похоже, избегали сложной темы, которая не гарантирует массовую продажу билетов в планетариях. Гораздо проще подготовить фильм про планеты и другие тела Солнечной системы или звездное небо (таких фильмов множество).

Настоящая программа нацелена на то, чтобы заполнить лакуну в тематике полнокупольных фильмов на астрономические темы. Российская Ассоциация планетариев и лиц, содействующих их развитию, поставила цель создать серию полнокупольных фильмов, которые «покрыли» бы все основные темы современной астрономии. По состоянию на начало 2024 г. были созданы фильмы, посвященные Солнцу, звездам, малым телам Солнечной системы, звездному небу и небесной сфере, устройству Галактики и космической истории России.

Следующей стала полнокупольная программа, посвященная космологии.

Эта программа была создана при поддержке Фонда президентских грантов России в течение 2023–2024 гг. В ней принимали участие многие специалисты и организации.

## О ЧЕМ ЭТА ПРОГРАММА?

Программа содержит краткое изложение истории космологии.

Первая часть программы (до XX в.) демонстрирует различные умозрительные концепции, которые существовали в древности (плоская Земля на трех китах и так далее).

Вторая, основная часть программы посвящена основным базовым открытиям, которые были сделаны в XX в. методами наблюдательной астрономии с помощью современных научных методов, применяемых в астрофизике (прежде всего спектрального анализа), а также наблюдений во всем диапазоне спектра электромагнитных излучений. Речь идет, во-первых, об открытии факта расширения Вселенной, во-вторых — об открытии реликтового (микроволнового, или фонового) излучения и его анизотропии, и в-третьих — об открытии факта ускоренного расширения Вселенной.

Из первого открытия следует, что у Вселенной было начало (этот момент мы называем не очень удачно Большим взрывом). Второе открытие подтверждает, что в начальном состоянии материя Вселенной была очень плотной и очень горячей. Наконец, третье открытие приводит нас к необходимости признать наличие некой сущности, которую мы называем темной энергией (что бы это ни было).

В программе кратко упомянуты и теоретические построения: теория относительности, включая модель Фридмана, а также теории инфляции. Эти важные теории сыграли огромную роль в развитии космологии. Тем не менее надо подчеркнуть, что эти теории рассматриваются именно как модели, адекватно отражающие реальность (или хотя бы часть реальности). Основное внимание уделено фактам, которые стали известны в результате астрономических наблюдений.

Кроме того, в программе упомянуты ученые, которые внесли большой вклад в развитие космологии. Следует отметить и отечественных ученых, сыгравших большую роль в развитии этой науки: это, например, А. А. Фридман, Г. А. Гамов, Я. Б. Зельдович, А. Д. Линде, В. Ф. Муханов, В. А. Рубаков, А. Д. Сахаров, А. А. Старобинский, М. В. Сажин, Г. В. Чибисов и другие. Хотя Г. А. Гамов, А. Д. Линде и В. Ф. Муханов работали за рубе-

жом, учились, формировали свой талант и начинали работать они в нашей стране.

В программе предпринята попытка визуализировать достаточно сложные сущности, которые описываются космологией.

Настоящее методическое пособие адресовано лекторам планетариев, педагогам дополнительного образования, учителям физики и элективных курсов астрономии, чтобы помочь им разобраться с основными понятиями современной космологии и доступно донести их до любознательных школьников.

## ОСНОВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

(в помощь учителю, педагогу дополнительного образования  
и лектору планетария)

### 1. КАРТИНА МИРА В ДРЕВНОСТИ

В древности люди представляли себе мир таким, каким они его наблюдали. Они видели у себя под ногами огромную плоскую Землю, на которой располагались горы и впадины, реки и озера. Суша была окружена бескрайним океаном.

У очень многих народов, живших на самых разных участках земной суши, складывалась сходная картина мира: плоская Земля, окруженная океаном.

Небо воспринималось в древности как твердый купол. Под этим куполом непостижимым образом передвигались яркие светильники (Солнце и Луна). Когда Солнце уходило за земной горизонт, воцарялась темнота, и на куполе неба вспыхивали яркие точки — звезды.

Они воспринимались либо как светящиеся объекты, закрепленные на куполе неба, либо как отверстия, сквозь которые снаружи поступал свет от какого-то внешнего источника за пределами купола неба.



Рис. 1. Вид земли в представлении древних

Предполагалось, кроме того, что за поверхностью купола находилась вода, которая могла проливаться сверху на Землю, порождая осадки.

Такие представления сохранились, например, в первой книге Библии «Бытие». Так думали люди как минимум на Среднем и Ближнем Востоке. Подобные представления легли в основу зарождавшейся здесь европейской цивилизации.

Многие элементы древних картин мира навсегда ушли, но кое-какие сведения о том, как в древних культурах воспринимался окружающий мир, сохранились — как в письменных источниках, так и на уровне устного фольклора. Этой теме посвящены многочисленные исследования.

Важным элементом картин мира во многих культурах являлось присутствие **одушевленных существей**. В этом ряду и уже упомянутые киты, поддерживающие Землю, и многочисленные духи воды, огня, воздуха, растений и т. д., а позже — боги, управлявшие стихиями мира. Эволюция таких представлений — от духов окружающих предметов к богам и в конечном итоге (но не во всех религиях) к единому Богу — характерна для многих культур земной цивилизации.

Общим свойством многих разнообразных картин мира были их **умозрительность и мифологичность**.

Суть понятия **умозрительность** сводится к тому, что указанные картины мира были выдуманы, и в представлениях людей не требовалось никаких доказательств тому, что картина мира соответствует реальности. Картина мира передавалась от поколения к поколению. Какие-то элементы картины мира соответствовали повседневному опыту людей, какие-то возникали умозрительно (придумывались, додумывались, домысливались), и дальше считалось, что так оно и есть.

**Мифологичность** таких картин мира заключалась в том, что мир наполнялся придуманными умозрительными элементами, наличие которых

не требовало доказательств. Само понятие доказательств изначально отсутствовало в сознании людей. Иногда совершенно случайно возникшие объяснения окружающих явлений, далекие от реальности, считались правильными на протяжении многих поколений.

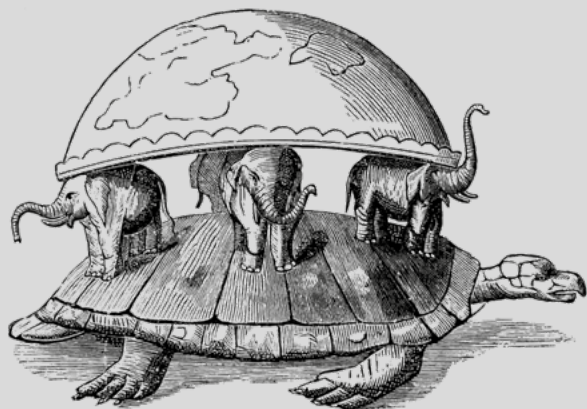


Рис. 2. Мифологическое представление о мире

Единожды появившиеся представления оказывались чрезвычайно консервативными и были почти нечувствительны к фактам, которым они подчас противоречили.

Такой способ мыслить, оперируя (в том числе) умозрительными сущностями, наличие которых никто не требовал доказательств, можно назвать проявлением **докритического мышления**. Докритическое мышление порождает мифологические картины мира, содержащие умозрительные сущности. При таком подходе невозможно доказать, верна или неверна та или иная картина мира, потому что само понятие доказательства отсутствует.

## 2. СТАЦИОНАРНАЯ ВСЕЛЕННАЯ (история развития космологии до XX в.)

### 2.1. ДРЕВНЯЯ ГРЕЦИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ

Несомненно, элементы **критического мышления** (логика, осознание причинно-следственных связей, понятие доказательства) появились давно. Судя по сохранившимся данным, мощные проявления критического мышления, логического метода получили развитие в Древней Греции. Именно здесь был разработан математический подход, в рамках которого создана геометрия в варианте планиметрии (на плоскости), а затем и стереометрии (в объеме). Для этого нужно было обладать критическим мышлением, логикой, ввести и применять на практике доказательства. Применение нового подхода к окружающему миру привело к ряду интеллектуальных прорывов, кардинально изменивших базовые представления о мире.

**Анаксимандр (611–546 гг. до н. э.) и «висящая» Земля.** Самые разные картины мира, основанные на жизненном опыте, предусматривали существование неких подпорок (фундаментов, постаментов) для огромной и массивной Земли. Люди считали (по аналогии с тяжелыми камнями, например), что без подставки тяжелая Земля должна падать вниз, и если она не падает, значит, она должна на чем-то держаться (на умозрительных слонах, черепахе, гигантской рыбе и так далее). Но мало кто продолжал развивать подобные размышления, чтобы понять, на чем в свою очередь держится сама подставка. Для того чтобы не падала подставка, нужно было подвести под нее второй, третий (и так далее) постамент, и при дальнейшем размышлении можно прийти к выводу о том, что потребуются бесконечное множество таких подставок.

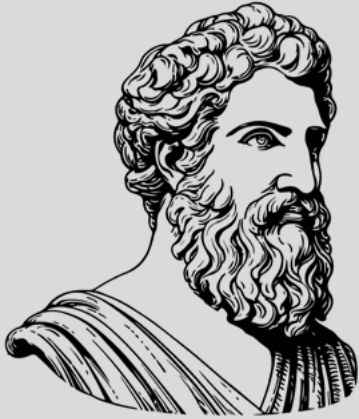


Рис. 3. Анаксимандр (611–546 гг. до н. э.)



Рис. 4. Аристотель (384–322 гг. до н. э.)

Греческий философ Анаксимандр, по-видимому, одним из первых осознал порочность и ограниченность такого подхода. Он разрушил это построение предположением о том, что у Земли вообще нет никаких подставок, — она находится в центре мира и поэтому никуда падать отсюда не может. Это предположение, безусловно, является тоже умозрительным (оставалось неясным, почему падение из центра мира невозможно; видимо, Анаксимандр предположил, что любое падение должно осуществляться не «вниз», а именно и только в «центр мира»). По-видимому, здесь в первоначальном варианте возникало понятие о **законе природы** — некоем всеобщем правиле, управляющем явлениями. Для преодоления нелепой идеи о бесконечности подставок Анаксимандр предложил непривычную гипотезу о том, что тело, находящееся в центре мира, не должно никуда падать. Идея о том, что Земля может обойтись без подставок, безусловно, являлась грандиозным интеллектуальным достижением.

**Аристотель (384–322 гг. до н. э.) и шарообразность Земли.** Великий греческий философ Аристотель доказал, что Земля имеет форму шара. То, что Земля шарообразная, предполагал еще до Аристотеля Пифагор, но у него не было доказательств этому, он просто считал, что

созданная богами Земля не может не иметь идеальную форму, а идеальной формой он полагал сферу (шар). Кроме того, сама природа подсказывала, какую форму могут иметь тела во Вселенной (например, явно сферические Солнце и Луна). Другое дело, что в то время люди предполагали, что Земля имеет особую природу, отличную от природы небесных тел.

Аристотель вывел шарообразность Земли не из умозрительных рассуждений, а из практических наблюдений.

Во-первых, он обратил внимание на то, что у корабля, уходящего в море, исчезает за горизонтом сначала корпус, а уже потом его мачта с парусом. Отсюда можно было сделать вывод, что поверхность моря имеет определенную кривизну. Развивая логически этот тезис, Аристотель пришел к выводу, что кривизной обладает вся Земля, а значит, она имеет форму шара.

Во-вторых, Аристотель отметил, что во время лунного затмения, когда тень Земли падает на Луну, мы можем видеть край этой тени, и этот край круглый. Но круглую тень отбрасывают круглые предметы, и это означает, что Земля круглая.

Конечно, цилиндр и конус тоже отбрасывают круглые тени, но только если светить точно вдоль осей таких тел. Однако во время лунного затмения такое требование выполняется не обязательно, но тень оказывалась круглой всегда. Следовательно, Земля имеет форму шара.

Тонкость заключалась в том, что математические и логические доказательства не оставляют вариантов — они обладают принудительной силой. Так еще 2400 лет тому назад было доказано, что Земля шарообразна. Удивительно, что в наше время еще существуют люди, которые считают Землю плоской. Это означает, что они не обладают критическим мышлением, не воспринимая доказательства.

**Клавдий Птолемей (100–170 гг. н. э.) и геоцентрическая система мира.** Выдающийся математик и астроном Птолемей обобщил основные знания, накопленные в Греции за несколько сотен лет, написав многотомный труд, который получил название «Альмагест» («Великое построение»). Здесь была изложена вся математика, созданная в Греции, включая тригонометрические таблицы. Один из томов Альмагеста был посвящен картине мира, которую разрабатывал еще Аристотель.

В картине мира Аристотеля — Птолемея шарообразная неподвижная Земля находилась в центре мира, куда ее поместил еще Анаксимандр почти 700 лет тому назад. Луна и Солнце двигались вокруг Земли. Вся Вселенная помещалась внутри твердой непрозрачной сферы неподвижных звезд, как внутри скорлупы огромного шарообразного яйца. Яркие точки звезд находились на внутренней поверхности этой сферы, как светлячки на своде пещеры.

Система Птолемея отражала важные наблюдаемые свойства звездного неба, которые она должна была объяснить.





Рис. 5. Клавдий Птолемей (100–170 гг.)

Во-первых, любой наблюдатель мог убедиться в том, что небо вместе со звездами вращается, делая полный оборот за 23 часа 56 мин. (звездные сутки). Чтобы воспроизвести этот факт, Птолемей указал, что гигантская шарообразная поверхность сферы неподвижных звезд вращается вокруг центральной Земли, совершая полный оборот за звездные сутки. Звезды, жестко закрепленные на этой поверхности, вращались вместе с этой сферой. Они назывались неподвижными, поскольку звезды не смещались друг относительно друга, конфигурации созвездий не изменялись.

Во-вторых, система должна была объяснить движение так называемых планет. На небе издавна наблюдались пять ярких звезд, которые, в отличие от всех остальных (неподвижных) звезд, постоянно перемещались на фоне полосы из двенадцати созвездий. Кроме того, что они смещались, двигались они сложным образом, выписывая петли на фоне неподвижных звезд. Таким образом, они перемещались по небу то в прямом направлении (в том же, куда вращается всё звездное небо), то в обратном (ретроградном) направлении.

Такое движение Птолемей объяснил следующим образом. Планеты движутся вокруг Земли, но не так, как Солнце и Луна. Вокруг Земли движется некая точка по окружности, которая называется **деферентом**, а планета в свою очередь вращается вокруг этой движущейся по деференту точки по второй окружности меньшего радиуса, которая называется **эпициклом**. Таким образом, участвуя одновременно в двух движениях (по эпициклу, центр которого движется по деференту вокруг Земли), планета выписывает на звездном небе петли.

Птолемей (а затем и его последователи) подобрали диаметры деферентов и эпициклов планет, а также скорости движения планеты по эпициклу и центра эпицикла по деференту так, что суммарное движение планеты примерно соответствовало ее реальному движению на небе.

Таким образом, совершенно неверная в принципе система неплохо описывала реально наблюдаемые явления.

Надо заметить, что Птолемей в принципе допускал, что всё на самом деле устроено не так: что Земля может двигаться вокруг Солнца, как

и другие планеты, при этом вращение звездного неба может оказаться кажущимся вследствие собственного вращения Земли. Но доказательств такой картины мира он не видел и поэтому считал правильной свою картину мира.

Система Птолемея называется **геоцентрической** (по имени богини Земли — Геи). Она считалась правильной почти полтора тысячелетия.

## 2.2. КОПЕРНИКАНСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

**Николай Коперник (1473–1543) и гелиоцентрическая картина мира.** Великий астроном Николай Коперник предложил другую систему мира, в центре которой находилось Солнце. Ее называют **гелиоцентрической** (от названия Гелиос — Солнце).

Попытки предложить гелиоцентрическую систему делались и раньше. Например, великий астроном, математик и философ **Аристарх Самосский (310–230 гг. до н. э.)**, задолго до Птолемея определив соотношение размеров Солнца, Земли и Луны, сделал вывод, что Солнце гораздо больше Земли и, следовательно, не может обращаться вокруг нее.

Коперник написал шеститомный труд «О вращениях небесных тел», который повторял структуру птолемея «Альмагеста».

Но вместо изложения геоцентрической системы здесь предлагалась система гелиоцентрическая. Петли, которые выписывают на звездном небе планеты, естественно объяснялись собственным движением Земли вокруг Солнца: Земля движется то в том же направлении, что и планета, обгоняя ее (или отставая от нее), то в обратном направлении, в результате чего для земного наблюдателя планета движется по петлеобразной траектории.

Видимое суточное вращение звездного неба Коперник объяснил вращением самой Земли.

Поскольку Коперник, как и Птолемей, считал, что все



Рис. 6. Николай Коперник (1473–1543)

небесные тела движутся только по окружностям (на самом деле это оказалось не так), расчеты по новой системе не давали более высокую точность по сравнению со старой системой. Поэтому Копернику пришлось частично сохранить эпициклы, чтобы приблизить расчеты к реальности. Тем не менее новая система Коперника, несомненно, была более простой и естественной, чем искусственная система Птолемея с ее эпициклами и другими математическими нюансами.

Появление гелиоцентрической системы имело гигантское значение для мировоззрения людей. С библейских времен считалось, что Земля — центр мира, созданный Богом специально для размещения здесь человека. Согласно Библии, были сотворены Земля, небесная твердь, разделяющая воду под твердью и воду над твердью, были созданы светильники для дня и ночи (Солнце и Луна), Земля была населена растениями и животными, и только тогда, когда мир был «готов», был создан человек.

Гелиоцентрическая система превращала Землю из центра мира в одну из планет, не первую и не последнюю, в связи с чем и роль человека во Вселенной теперь воспринималась по-другому: человек переставал быть вершиной творения. Не случайно эти глубокие изменения в картине мира названы в философской и исторической литературе «**коперниканской революцией**», и произошла она в головах людей (прежде всего в Европе) не мгновенно: постепенный переход к восприятию новой системы продолжался на протяжении по меньшей мере двух столетий. Этому переходу противилась католическая церковь: в 1613 г. был издан эдикт, запрещающий упоминать систему Коперника и ссылаться на нее.

Но к этому времени появились прямые подтверждения системы Коперника: наблюдения фаз планеты Венера, выполненные с помощью первых телескопов великим астрономом **Галилео Галилеем (1564–1642)**, прямо указывали на то, что Венера обращается вокруг Солнца, а не вокруг Земли. Позже появились и другие доказательства, которые делали систему Коперника очевидно правильной, по крайней мере для астрономов.

Открытие в начале XVII в. так называемых **законов Кеплера**, в соответствии с которыми планеты движутся не по окружностям (это редкий частный случай), а по эллипсам, показало, что система Коперника, если заменить в ней окружности на эллипсы, позволяет отказаться от ненужных теперь эпициклов и вычислять движение планет с недостижимой ранее высокой точностью.

Гелиоцентрическая система Коперника поменяла местами Солнце и Землю, сделав центром мира Солнце, а Землю перевела в статус третьей из шести известных планет, если считать от Солнца. Но эта система оставалась замкнутой, ограниченной твердой сферой неподвижных звезд. Теперь эта сфера не вращалась, но оставалась внешней границей мира. Что находилось за сферой неподвижных звезд, оставалось неизвестным как для системы Птолемея, так и для системы Коперника.

### 2.3. ДЖОРДАНО БРУНО И БЕСКОНЕЧНАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Выдающийся мыслитель **Джордано Бруно (1548–1600)** существенно развил систему Коперника. Он считал, что Вселенная бесконечна в пространстве и во времени и, несмотря на то, что сотворена Богом, она существовала всегда. По мнению Бруно, только такая Вселенная достойна величия Творца.

Джордано Бруно утверждал, что нет никакой твердой сферы неподвижных звезд, что звезды заполняют бесконечный объем Вселенной и подобны нашему Солнцу. Он считал, что около других звезд могут обращаться планеты, подобные планетам, движущимся вокруг Солнца. Он даже допускал, что на всех небесных телах (включая планеты, а также Солнце и звезды) могут существовать разумные обитатели, рассуждая о множественности обитаемых миров.

Джордано Бруно был казнен светскими властями Рима по приговору католической церкви за еретичество.

Идея о бесконечности Вселенной, наполненной звездами, уже в XVIII в. стала базовой для астрономов. Быстрое развитие телескопов позволяло заглядывать все дальше в умопомрачительные глубины Вселенной, и никаких признаков «края Вселенной» не было видно.



Рис. 7. Джордано Бруно (1548–1600).  
Памятник в Риме

### 2.4. ИСААК НЬЮТОН И ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ

Законы движения планет, открытые выдающимся немецким астрономом **Иоганном Кеплером (1571–1630)**, удалось объяснить и обобщить

великому английскому астроному и математику **Исааку Ньютону (1642–1727)**. Анализируя движение Луны вокруг Земли, он вывел закон всемирного тяготения, в соответствии с которым все тела обладают свойством, которое получило название гравитационная масса, или просто масса. В результате существования массы любые два тела притягиваются друг к другу с силой, пропорциональной произведению масс, но обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.



Рис. 8. Исаак Ньютон (1642–1727)

Ньютон показал (доказал математически), что тела во Вселенной движутся под воздействием сил тяготения, которые пронизывают все пространство, а конкретная траектория движения тела зависит от его скорости в суммарном поле тяготения, порожденном гравитирующими телами. Знание **закона всемирного тяготения** позволило вычислять траектории небесных тел, и результаты расчетов хорошо соответствовали наблюдениям. Это доказывало правильность метода.

В XIX в. закон тяготения получил триумфальное подтверждение, когда с использованием математических расчетов на его основе была открыта ранее неизвестная планета Нептун. Это

означало, что закон действует, а его математическое описание адекватно реальности.

Ньютон был глубоко религиозным человеком и считал, что и Вселенная, и законы природы созданы Богом. Но он исходил из того, что законы природы действуют самостоятельно, повсеместно и неумолимо и могут быть описаны математически. Этот подход (в части законов природы, которые не могут нарушаться) лег в основу физики и подтверждается практикой.

## 2.5. СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ

Совершенствование телескопов в XVIII–XIX вв., а особенно в XX в. позволило обнаружить и описать огромное количество разнообразных

типов небесных тел, наполняющих Вселенную. Помимо звезд, планет и комет, которые были известны еще в дотелескопическую эпоху, были открыты ранее неизвестные типы звезд, спутники планет, астероиды, а также так называемые туманности, часть из которых впоследствии оказалась гигантскими облаками из газа и пыли, находящимися в межзвездном пространстве.

В середине XIX в. точные наблюдения положений звезд позволили обнаружить очень незначительные смещения звезд, связанные с движением Земли вокруг Солнца. Эти смещения (годовые параллаксы) астрономы пытались обнаружить еще со времен Птолемея, но это не получалось из-за недостаточной точности методов наблюдений. Первые определения параллаксов позволили впервые вычислить расстояния до звезд. Они оказались огромными. Удалось выяснить, что самая близкая звезда удалена от нас на расстояние, превышающее четыре световых года (один световой год — это расстояние, которое свет со скоростью 300 тысяч километров в секунду преодолевает за один год).

**Один световой год равен 9 460 730 472 580,8 километра, или примерно 9,5 триллиона километров.**

Важным открытием астрономии, которое сделал в XVIII в. великий астроном **Вильям Гершель (1738–1822)**, стало выяснение устройства Млечного Пути. Многолетние измерения количества звезд в разных направлениях на небе позволили Гершелю сделать вывод, что звезды расположены в пространстве в виде гигантской системы (Галактики), которая в первом приближении представляет собой плоский диск. На небе Галактика выглядит как туманная светящаяся полоса из множества звезд. Согласно давней европейской традиции ее называют Млечный Путь.

Дальнейшие исследования в течение XIX–XXI вв. показали, что Галактика представляет собой плоскую спиралевидную систему с несколькими спиральными рукавами и утолщением в центральной части. Диаметр Галактики составляет около 130 тысяч световых лет, средняя толщина диска Галактики — порядка 1000 световых лет.

Астрономы видели в телескопы и другие светящиеся туманные пятна, в том числе и спиральной формы. На протяжении по меньшей мере трех столетий невозможно было понять, что это такое: скопления из звезд, сгущения газа и пыли внутри Галактики либо другие объекты за пределами нашей Галактики и устроенные аналогично ей. Ответ на этот вопрос удалось получить в XX в., когда в США был сооружен самый крупный по тем временам телескоп Хукера в обсерватории Маунт-Вилсон. Диаметр главного зеркала телескопа составил 2,5 метра.

Выдающийся астроном **Эдвин Хаббл (1889–1953)** в 20-х гг. XX в., используя данные о яркости медленно пульсирующих звезд — цефеид, которые ему удалось выделить среди многочисленных звезд в туманности Андромеды — звездном скоплении в созвездии Андромеды, смог



Рис. 9. Эдвин Хаббл (1889–1953)  
с негативным изображением туманности Андромеды



Рис. 10. Множество галактик на снимке космического  
телескопа «Хаббл»

оценить расстояние до этих звезд. Оказалось, что цефеиды в туманности Андромеды, а значит, и сама туманность находятся далеко за пределами Галактики (по уточненным данным, расстояние до туманности Андромеды составляет 2,5 миллиона световых лет). Так стало ясно, что этот объект — такая же галактика, как Млечный Путь.

Слово Галактика принято писать с заглавной буквы, если речь идет о нашей звездной системе, о прочих аналогичных объектах пишут со строчной буквы: галактика.

Наблюдения Хаббла и его последователей с использованием мощных телескопов показали, что пространство Вселенной наполнено огромным количеством гигантских скоплений звезд, газа и пыли — галактик. Размеры галактик — сотни тысяч световых лет, расстояния между ближайшими галактиками — миллионы световых лет. На сегодняшний день современные телескопы фиксируют галактики, находящиеся от нас на расстояниях до 13 миллиардов световых лет. В этом огромном объеме, доступном нашим наблюдениям, находится порядка триллиона галактик.

Современные наблюдения с помощью мощных телескопов показывают, что галактики объединяются в **скопления** и **сверхскопления**, насчитывающие от сотен до десятков тысяч галактик. В пустотах между скоплениями (так называемых **войдах**) количество галактик гораздо меньше.

Таким образом, **крупномасштабная структура Вселенной** выглядит следующим образом. Доступная наблюдениям часть объема Вселенной имеет волокнисто-ячеистый вид. Волокна сформированы из скоплений и сверхскоплений галактик, расположенных на границах гигантских войдов. Скопления насчитывают, как правило, сотни галактик общим размером порядка первых десятков миллионов световых лет.

Сверхскопления, состоящие из тысяч и даже десятков тысяч галактик, представляют собой следующий уровень организации материи — до пятисот миллионов световых лет. Это самый большой характерный размер крупномасштабной структуры Вселенной. Если увеличивать масштаб, окажется, что материя Вселенной распределена сравнительно равномерно.

Таким образом, исследования, которые проводили астрономы на протяжении столетий, примерно сто лет тому назад привели к обоснованному наблюдением представлению о том, как устроена Вселенная. Мы видим в телескопы огромный объем — часть пространства Вселенной, но, судя по всему, это всего лишь крошечный фрагмент всей Вселенной (бесконечной либо очень большой). Этот фрагмент, как указано выше, представляет собой шар радиусом до 13 миллиардов световых лет. Этот объем наполнен скоплениями галактик. Каждая галактика содержит сотни миллиардов звезд, вокруг которых, судя по примеру нашей Галактики, могут обращаться планеты со спутниками, астероиды, кометы, пыль и газ. В межзвездном пространстве находятся огромные облака из газа и пыли, в которых может продолжаться процесс формирования новых звезд. Ста-



рые звезды могут взрываться либо терять оболочки, порождая новые облака газа и пыли.

Следует еще раз подчеркнуть, что описанная наблюдаемая часть Вселенной составляет лишь мизерную часть всего объема Вселенной.

## 2.6. КОНЦЕПЦИЯ СТАЦИОНАРНОЙ ВСЕЛЕННОЙ

Начиная с Джордано Бруно получила обоснование и стала доминирующей идея о том, что Вселенная бесконечна во времени и пространстве. К началу XX в. большинство астрономов считали, что Вселенная всегда была, всегда будет и со временем в среднем не меняется. Когда были открыты другие галактики, возникло предположение, что среднее расстояние между галактиками всегда остается постоянным. Если галактики движутся, то какие-то из них сближаются друг с другом, какие-то удаляются друг от друга, но в среднем ничего не меняется. Внутри самих галактик взрываются или утрачивают свои оболочки старые звезды, но в газопылевых облаках гравитация может стягивать газ в плотные образования (глобулы), из которых формируются новые звезды, и этот круговорот происходит бесконечно. Такая Вселенная может быть названа **стационарной, т. е. не меняющейся во времени**. Согласно этой концепции, если отправиться на миллиард лет в прошлое или на миллиард лет в будущее, мы не заметим принципиальных различий. Некоторые звезды за это время исчезнут, но зато возникнут новые, и в целом ничего не изменится.

В пользу концепции стационарной Вселенной говорил и удивительный факт **однородности Вселенной**. Если мы посмотрим в мощный телескоп в любом направлении, мы обнаружим вдали множество галактик. Если развернуть телескоп в противоположную сторону, мы увидим сходную картину — тоже множество галактик (хотя, конечно, других). Но эти галактики принципиально не отличаются, хотя и находятся на огромных расстояниях друг от друга. В любом направлении их примерно столько же, сколько в любом другом направлении. Все они отличаются друг друга, как камешки гальки на пляже или ягоды на кусте: все разные (невозможно найти два абсолютно одинаковых камешка или ягоды), но при этом все они схожие и принципиально друг от друга не отличаются. Мы не видим, чтобы при движении в каком-то выбранном направлении оказывалось бы, например, что галактики становятся систематически больше по размерам или же находятся все ближе друг к другу. Во всем гигантском объеме наблюдаемого нами фрагмента Вселенной свойства галактик примерно одинаковы. **В какой бы точке Вселенной ни находился наблюдатель и в каком бы направлении он ни смотрел, он увидел бы сходную картину.**

Последнее утверждение, основанное на фактах наблюдений, легло в основу современной космологии, это так называемый **космологический**

**принцип**, или, как его иногда называют, **принцип Коперника**. Подобно тому, как Коперник, предложив свою гелиоцентрическую систему, лишил Землю особого статуса (нахождения в центре мира), так и космологический принцип декларирует, что в любой точке Вселенной все примерно одинаково.

Независимость свойств Вселенной от точки наблюдений называется **однородностью**, их независимость от направления наблюдений называется **изотропностью**. Космологический принцип можно переформулировать так: **Вселенная однородна и изотропна**.

Однако вернемся к понятию стационарной Вселенной. Если к космологическому принципу добавить еще и тезис о том, что Вселенная в среднем не меняется со временем, получается простая и понятная картина мира: Вселенная всегда была и всегда будет, повсюду примерно одинакова и со временем не меняется. Конечно, в ней происходят различные процессы — рождаются, светят и умирают звезды, но в среднем все остается неизменным. Еще раз напомним, что так вплоть до начала XX в. считало большинство ученых и философов.

Но все оказалось не так. Исследования, выполненные в XX в., показали, что **Вселенная нестационарна**. У нее было начало, и она развивается, существенно и принципиально меняясь со временем. Это утверждение составляет суть современной космологии, описывающей нестационарную Вселенную, в которой, как оказалось, мы живем.

## 3. НЕСТАЦИОНАРНАЯ ВСЕЛЕННАЯ

(элементы современной космологии)

### 3.1. ОТКРЫТИЕ РАСШИРЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Выдающееся открытие, которое стало основой современной космологии, было сделано с помощью уже упомянутого 2,5-метрового телескопа Хукера в обсерватории Маунт-Вилсон (США). Этот телескоп был оснащен мощным спектрографом, который позволял исследовать спектры даже крайне слабо светящихся объектов на звездном небе, включая галактики.

Анализ спектров галактик может дать ответ, к нам или от нас (вдоль луча зрения) движется галактика. Для этого применяется **эффект Доплера**. Суть его заключается в том, что детали спектра при движении источника света к нам смещаются в сторону более коротких волн (**синее смещение**), а в случае удаления от нас — в сторону более длинных волн (**красное смещение**).

Наблюдая на телескопе Хукера в 1927–1929 гг., Эдвин Хаббл получил спектры девятнадцати галактик. Он ожидал, что скорости галактик

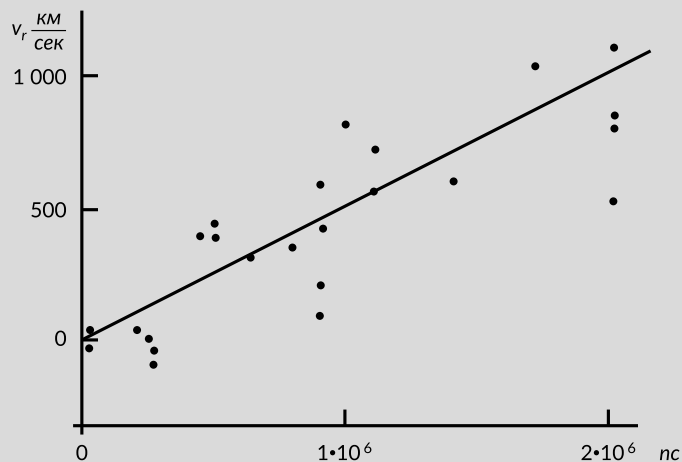


Рис. 11. Одно из первых изображений закона Хаббла



Рис. 12. Телескоп Хукера обсерватории Маунт-Вилсон

распределены случайно: какие-то галактики движутся к нам, какие-то от нас, подобно картине броуновского движения молекул. Однако результат анализа спектров оказался неожиданным. Только элементы спектра туманности Андромеды были сдвинуты в синюю сторону (она движется к нам). Но для всех остальных галактик было обнаружено красное смещение — они удаляются от нас! Более того, чем дальше находилась галактика (расстояния до галактик Хаббл по-прежнему определял по яркости находящихся в них цефеид), тем быстрее она двигалась от нас.

Парадоксальный вывод Хаббла был проверен и перепроверен на примерах других галактик, к измерениям подключились и другие астрономы-наблюдатели в различных обсерваториях мира. Сомнений не было: новые наблюдения показали, что чем дальше находится галактика, тем с большей скоростью она удаляется от нас.

Простейшая интерпретация таких наблюдений сводилась к тому, что наша Галактика Млечный Путь находится в некоем центре мира, а все прочие галактики от нее разлетаются. Но более подробный анализ показал, что это не так. Если соблюдается космологический принцип, никакого центра нет. Расширяется все пространство Вселенной, и этот грандиозный поток несет с собой галактики, увеличивая расстояния между ними.

Для наглядности можно привести следующие примеры. Если на эластичной пленке закрепить пуговицы (галактики) и растягивать пленку во все стороны, расстояние между пуговицами будет увеличиваться. Если наблюдатель будет измерять расстояния от любой случайно выбранной пуговицы до всех остальных, все эти расстояния будут расти. Ничего не изменится, если выбрать для измерений любую другую пуговицу. Принцип Коперника будет соблюдаться: все точки (все пуговицы) в этом опыте будут равноправны, нет никакого центра (центром можно считать любую из пуговиц). При этом сами пуговицы не растягиваются, меняется только расстояние между ними.

В трехмерном варианте, по-видимому, можно рассмотреть пример теста с изюминками. Изначально изюминки, замешанные в тесте, находятся близко друг к другу. Но в ходе выпекания пирога тесто поднимается, каждый элемент теста расширяется, и расстояние между изюминками увеличивается. Здесь тоже нет никакого центра: какую бы изюминку ни выбрал наблюдатель, всюду наблюдается одинаковая картина — все прочие изюминки удаляются от избранной, и такая картина будет характерна для любой изюминки.

Важно, что расширение Вселенной действует только на огромных расстояниях между скоплениями галактик. Тесные группы галактик, сами галактики и все, что в них находится — звездные скопления, звезды с планетными системами, планеты и т. д., в процессе хаббловского расширения не участвуют.

Для того чтобы связать скорость удаления галактики с изменениями в ее спектре, был введен параметр  $z$  — **красное смещение**:

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}, \quad (1)$$

где  $\lambda_0$  — длина волны элемента спектра от неподвижного (лабораторного) источника,  $\lambda$  — длина волны элемента спектра движущейся галактики, которую (длину волны) регистрирует земной наблюдатель. В случае, если скорость  $v$ , с которой удаляется от нас галактика, намного меньше скорости света  $c$ , связь между скоростью  $v$  и красным смещением  $z$  выражается простой формулой

$$v = cz. \quad (2)$$

Если же скорость  $v$  приближается к скорости света, формула будет сложнее.

Поскольку анализ данных наблюдений показал, что скорость удаления галактик пропорциональна расстоянию до них, эту закономерность можно записать в виде **закона Хаббла**, выведенного самим Эдвином Хабблом в 1929 г.:

$$v = Hr, \quad (3)$$

где  $v$  — скорость удаления галактики,  $r$  — расстояние до нее,  $H$  — коэффициент пропорциональности, получивший название **параметр Хаббла**. Чем дальше находится галактика, тем с большей скоростью она от нас удаляется.

На протяжении почти ста лет астрономы определяют и уточняют значение параметра Хаббла. Сложность состоит в том, что если красное смещение  $z$  и соответствующую скорость можно определить по спектру галактик с довольно высокой точностью, то расстояния измеряются со значительными погрешностями, что сказывается и на точности определения параметра Хаббла по формуле (3). На очень больших расстояниях цефеиды в галактиках различить невозможно, и в качестве реперов используется свет взорвавшихся в этих галактиках сверхновых звезд определенного типа (считается, что их яркость в максимуме взрыва почти одинакова, хотя, конечно, это не совсем так). В результате обработки множества измерений вычислено примерное среднее значение параметра Хаббла:

$$H = 70 \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпк}}. \quad (4)$$

Исходя из формулы (3) можно измерять  $H$  в обратных секундах  $\text{с}^{-1}$ . Но астрономам удобнее применять единицы, указанные в формуле (4): км/с на Мпк, где 1 Мпк =  $10^6$  парсек (пк).

**1 пк = 3,26 светового года = 30,86 триллиона километров.**

Величина  $H$  показывает, на сколько километров в секунду возрастает скорость галактики при увеличении расстояния до нее на 1 Мпк.

Из закона Хаббла следуют далеко идущие выводы.

Во-первых, он указывает, что **у Вселенной было начало** — когда расстояние между галактиками  $r$  было равно нулю.

Можно оценить, когда это было. Предположим, что некая галактика удаляется от нашей Галактики с постоянной скоростью  $v$  и находится от нас на расстоянии  $r$ . Вычислим время  $t$ , которое потребовалось, чтобы галактики разошлись на такое расстояние.

$$r = vt. \quad (5)$$

С учетом формулы (3) получим, что время  $t$  равно обратному параметру Хаббла:

$$t = \frac{1}{H}. \quad (6)$$

Согласно современным данным, скорость расширения Вселенной не всегда была постоянной: в далеком прошлом она уменьшалась, а с некоторых пор увеличивается. С учетом этих данных величина  $t$  (время, прошедшее от начального момента, когда все вещество Вселенной было сконцентрировано в одном месте)

**$t \approx 13,8$  миллиарда лет.**

Таков, согласно современным данным, возраст нашей Вселенной.

Во-вторых, из закона Хаббла следует, что в начальный момент времени вся материя Вселенной находилась в сверхплотном состоянии, а размеры самой Вселенной были чрезвычайно малы (с точки зрения математики равны нулю: все пространство Вселенной было свернуто в точку). Такое особое состояние в математике называется **сингулярность**. Современная физика пока не умеет описывать подобное состояние материи.

В-третьих, закон Хаббла показывает, что **расстояние между галактиками все время возрастает**, а очень далекие галактики уносятся от нас с очень большими скоростями. У формулы (3) нет ограничений на величину расстояния  $r$ , а значит, и на величину скорости  $v$ , и если формула верна, это означает, что начиная с определенных расстояний наблюдение галактик оказывается для нас невозможным: свет от них идет со скоростью

света, а сами они находятся дальше расстояния, которое свет мог преодолеть за все время существования Вселенной. Это значит, что свет от них до нас еще не дошел.

С учетом этого обстоятельства в космологии существует понятие **космологического горизонта**. Космологический горизонт — это расстояние, дальше которого мы в принципе не можем заглянуть. Оно немного меньше возраста Вселенной — около 13,8 миллиарда световых лет. Дело не в том, что у нас просто пока нет телескопов, способных заглянуть дальше. За время существования Вселенной (чуть менее 13,8 миллиарда лет) свет мог пройти расстояние около 13,8 миллиарда световых лет, или около 4,2 миллиарда парсек. С больших расстояний (из-за пределов космического горизонта) свет еще не успел до нас дойти. Именно поэтому наблюдаемая часть Вселенной ограничена для нас космическим горизонтом, и мы в принципе не можем увидеть, что находится за ним.

Интересно, что космический горизонт можно построить для любой точки Вселенной. Если представить себе гипотетического наблюдателя, находящегося в далекой галактике на расстоянии, например, 14 миллиардов световых лет от нас, наша Галактика окажется за пределами его космического горизонта. Свет от нашей Галактики еще не дошел до указанного наблюдателя, и наблюдатель в принципе не может ее увидеть. Учитывая то, что наша Галактика появилась не сразу после возникновения Вселенной, свет дойдет до упомянутого наблюдателя еще не скоро.

Как следует из формулы (3), существуют далекие галактики, которые движутся от нас со скоростями, превышающими скорость света. При этом законы природы не нарушаются: скорость света является пределом для скорости распространения физических взаимодействий, но это не касается скорости расширения пространства Вселенной. Такие далекие галактики мы не увидим никогда, поскольку скорость, с которой растет расстояние между такими галактиками и нашей Галактикой, превышает скорость света: пространство растягивается быстрее, чем движется свет.

Отношение к открытию Хаббла было неоднозначным. Это касалось не только людей, далеких от науки, но и многих ученых. Великий физик **Альберт Эйнштейн (1879–1955)**, первоначально придерживавшийся концепции стационарной Вселенной, был практически в шоке: мир оказался не таким, как он считал. Известный английский астроном и писатель **Фред Хойл (1915–2001)** не мог принять теорию расширяющейся Вселенной. Он высказывался в том духе, что «так не может быть, чтобы сначала ничего не было, а потом вдруг произошел *Big Bang* (большой бабах. — *С.Я.*)! — и появилась Вселенная!».

Ироничное звукоподражательное словосочетание Хойла прижилось, и начальный момент существования Вселенной с тех пор так и называется на английском языке — *Big Bang*. В русскоязычном варианте используется не очень удачный перевод Большой взрыв.

В атеистическом Советском Союзе первоначальное отношение к открытию было скептическим: тезис о том, что Вселенная имела начало, был воспринят как довод в пользу религии и идеалистической философии (Большой взрыв можно было интерпретировать как момент создания мира Богом).

Тем не менее многочисленные независимые наблюдения подтвердили, что галактики действительно удаляются, а значит, расширение Вселенной является неопровержимым фактом, с которым невозможно спорить. Представление человечества об устройстве Вселенной существенно изменилось.

По величине красного смещения в спектрах далеких галактик можно не только установить скорость, с которой галактики удаляются от нас. Можно определить, на сколько лет в прошлое мы заглядываем: ведь сегодня мы видим свет галактики, испущенный подчас миллиарды лет назад, и, таким образом, мы видим галактику такой, какой она была очень давно.

Для того чтобы по величине красного смещения  $z$  некой галактики определить, через сколько лет после Большого взрыва был испущен свет этой галактики, который мы сегодня видим, можно использовать график на рисунке, взятом из книги [6]. За единицу на оси ординат ( $t/t_0$ ) принят нынешний возраст Вселенной — около 14 миллиардов лет. По оси абсцисс отложены значения красного смещения  $z$  галактики.

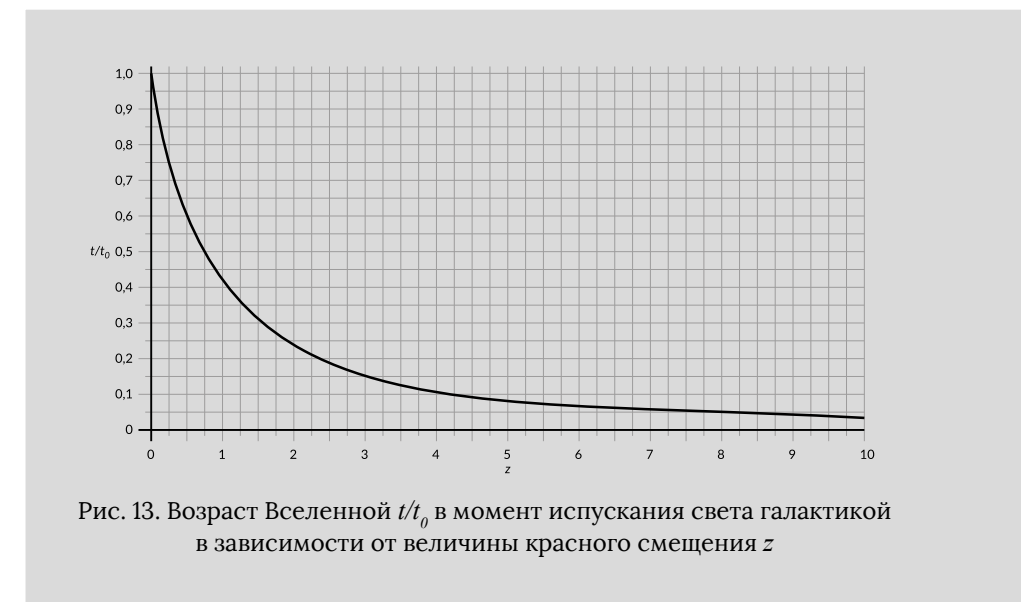


Рис. 13. Возраст Вселенной  $t/t_0$  в момент испускания света галактикой в зависимости от величины красного смещения  $z$



### 3.2. ОТКРЫТИЕ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В середине 50-х гг. XX в. радиоастрономы **Семен Эммануилович Хайкин**, **Наум Львович Кайдановский** и **Тигран Арамович Шмаонов**, проводя астрономические наблюдения на рупорной антенне Пулковской обсерватории, зарегистрировали ранее неизвестное излучение, идущее из космоса. Об открытии Т. А. Шмаонов упомянул в своей кандидатской диссертации в 1957 г., но на это никто не обратил внимания.

В 1964 г. в компании «Лаборатории Белл» проводились эксперименты по организации связи через спутники в микроволновом диапазоне. Наблюдения проводились на рупорной антенне в штате Нью-Джерси, США. Радиоинженеры **Арно Пензиас** и **Роберт Вилсон** обнаружили, что

их антенна регистрирует какое-то неизвестное излучение на длине волны 7,35 сантиметра.

Интенсивность излучения была одинаковой днем и ночью, оно шло с неба отовсюду — со всех направлений.

Разобраться в природе этого излучения помогли астрофизики. Теория, предсказывавшая существование такого излучения, была к тому времени уже разработана.

Еще в 1948 г. была опубликована научная статья астрофизика **Джорджа Гамова** (эмигранта из СССР Георгия Антоновича Гамова), **Ральфа Альфера** и **Ганса Бете**, где говорилось о том, что если в начальном состоянии вскоре после Большого взрыва вся материя Вселенной была сконцентрирована в очень малом объеме, то ее плотность, а следовательно, и температура достигали очень высоких значений. Горячая материя молодой Вселенной согласно законам природы должна была порождать мощное электромагнитное излучение, источником которого являлись все точки молодой горячей Вселенной. По мере расширения Вселенной длина волны излучения постепенно увеличивалась, а его интенсивность падала. Гамов и его соавторы даже привели результаты своих расчетов, у них получилось, что



Рис. 14. Арно Пензиас и Роберт Вилсон на фоне рупорной антенны

первичное излучение, сохранившееся до наших дней, должно давно уйти из гамма-диапазона в микроволновый диапазон.

Эта статья также не вызвала реакции ученых.

К моменту открытия космического фонового излучения команда из Принстонского университета под руководством **Роберта Дикке**, **Джеймса Пиблза**, **Дэйва Уилкинсона** и **Питера Ролла** соорудила новый радиотелескоп для поисков излучения, предсказанного группой Гамова. Когда до принстонской команды дошла информация об открытии, сделанном в «Лабораториях Белл», они объяснили далеким от астрофизики радиоинженерам, что, собственно, они открыли.

В результате Арно Пензиас и Роберт Вилсон получили Нобелевскую премию по физике за открытие микроволнового (или фонового) излучения, сохранившегося от времен «горячей» Вселенной вскоре после Большого взрыва (существенно позднее **Джеймс Пиблз** тоже стал лауреатом Нобелевской премии за свои работы в области космологии).

Выдающийся астрофизик **Иосиф Самуилович Шкловский** предложил для этого излучения название «**реликтовое**», которое используется в русскоязычной литературе (латинское слово *relictum* означает «остаток»).

Реликтовое излучение идет не от отдельных звезд или галактик. Его источником являлась плотная горячая материя, наполнявшая всю молодую Вселенную. Точка, в которой находится Земля, когда-то тоже излучала эти электромагнитные волны. Воображаемый наблюдатель, удаленный от нас на соответствующее расстояние, наведя в нашу сторону антенну, сегодня может принять остывшее за миллиарды лет излучение, которое испустила точка, где сейчас находимся мы, и которое только сегодня дошло до него.

На протяжении шести десятилетий, прошедших с момента открытия реликтового излучения, астрономы тщательно его изучают. Специальные спутники с высокой чувствительностью сканировали небо во всех направлениях и обнаружили слабые флуктуации этого излучения с амплитудой порядка одной миллионной доли от среднего уровня излучения (так называемую **анизотропию реликтового излучения**). Эти слабые флуктуации интерпретируются как свидетельства очень небольших вариаций плотно-

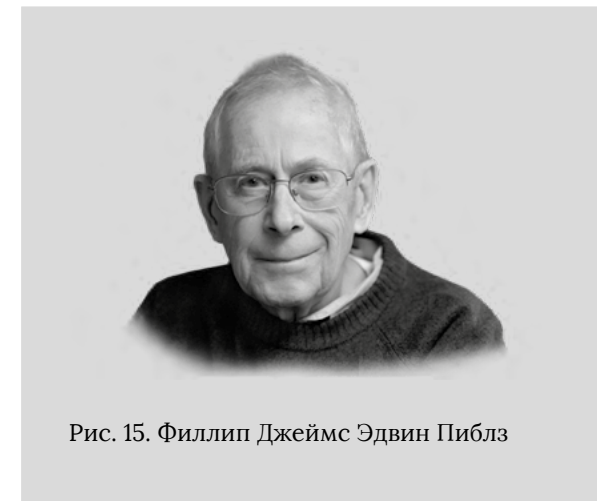


Рис. 15. Филлип Джеймс Эдвин Пиблз

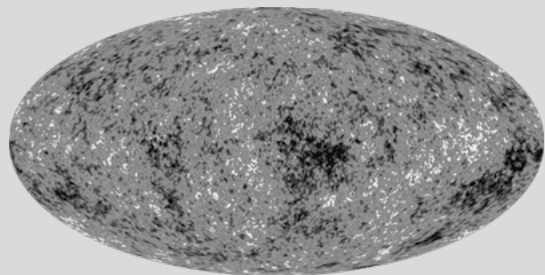


Рис. 16. Карта анизотропии реликтового излучения, построенная по данным космической обсерватории *WMAP*

сти вещества в эпоху вскоре после Большого взрыва, которые привели в конечном итоге к формированию сгустков материи, образовавших галактики. При этом размеры этих флуктуаций хорошо соответствуют размерам галактик, что считается важным доказательством правильности такой модели.

Факт существования реликтового излучения рассматривается как подтверждение теории Большого взрыва — иным способом объяснить само излучение и его свойства не удается.

### 3.3. ОТКРЫТИЕ УСКОРЕННОГО РАСШИРЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Совершенствование астрономической техники приводило к появлению новых возможностей науки. В 90-х гг. XX в. на Большом острове Гавайского архипелага были введены в строй два гигантских телескопа с диаметрами зеркал около 10 метров (телескопы Кека). Они позволяли наблюдать слабое излучение очень далеких галактик с большими красными смещениями в спектрах. Это означало, что мы видим их совсем молодыми — какими они были миллиарды лет назад. Аналогичные наблюдения велись на космическом телескопе «Хаббл», который работал на околоземной орбите.

В 1998 г. были опубликованы поразительные результаты обработки этих наблюдений. Яркость шестнадцати сверхновых в очень удаленных галактиках оказалась ниже, чем можно было ожидать исходя из оценки расстояния. Отсюда следовало, что сверхновые, а значит, и галактики, к которым они принадлежали, находятся дальше, чем предсказывал линейный закон Хаббла. Это, в свою очередь, означало, что эти далекие галактики удаляются от нас быстрее, чем ожидалось. Но это могло быть только в том случае, если галактики не просто удаляются, но удаляются с ускорением.

К проверке этого неожиданного вывода подключились и другие группы исследователей, работавшие на крупнейших телескопах мира. Вывод

был подтвержден. За это открытие руководители исследований астрофизики **Сол Перлмуттер**, **Адам Рисс** и **Брайан Шмидт** получили Нобелевскую премию по физике.

Это неожиданное открытие имело важные следствия.

Во-первых, как известно из классической физики Ньютона, если есть ускорение, значит, действует какая-то сила. Ни один из известных далекодействующих типов физического взаимодействия такую силу породить не может — ни гравитация, ни электромагнетизм. Это означает, что действует некая неизвестная

сущность, которую мы не ощущаем на малых дистанциях, но которая проявляется на очень больших расстояниях. Эту сущность физики назвали словосочетанием «**темная энергия**», и пока неизвестно, что это такое, хотя гипотезы, конечно, есть.

Во-вторых, после открытия ускоренного расширения Вселенной стало ясно, что процесс расширения никогда не прекратится. Ранее в разных теоретических моделях рассматривались варианты замедления, остановки и обращения вспять процесса расширения, если оно происходило просто по инерции. Теперь стало ясно, что ряд таких моделей оказался ошибочным, остановки расширения Вселенной не будет.

Выяснилось, что на разных этапах жизни Вселенной расширение осуществлялось по-разному — с ускорением либо линейно.

На рисунке 18 показано, как меняется расстояние между галактиками в зависимости от времени.  $r_0$  — расстояние в наше время  $t_0$ . Из рисунка видно, что в далеком прошлом, после Большого взрыва ( $t = 0$ ), график был нелинейным (изначально очень быстрое расширение замедлялось). В будущем (в правой части рисунка) график снова начинает отклоняться от прямой (сказывается ускорение процесса расширения). Большая часть графика — прямая линия, которая описывается законом Хаббла.



Рис. 17. Сол Перлмуттер, Адам Рисс и Брайан Шмидт (Нобелевская премия по физике 2011 года)

### 3.4. НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ КОСМОЛОГИИ

На протяжении многих столетий космология как наука практически не существовала, поскольку не было способов подтверждать либо опровергать различные версии об устройстве Вселенной, ее происхождении и развитии. Существовавшие концепции о Вселенной, по сути, принципиально не отличались от древних картин мира: они носили умозрительный характер и не опирались на доказательства.

Ситуация изменилась в начале XX в., когда выдающиеся достижения в астрономических методах (в первую очередь спектральный анализ) и повышение точности измерений начали использоваться для проверки предсказаний, следовавших из тех или иных теоретических концепций.

Огромный вклад в развитие теоретической космологии внес великий физик **Альберт Эйнштейн (1879–1955)**. В 1917 г. им была создана так называемая общая теория относительности. Эта теория связывала геометрию пространства с веществом, которое в нем расположено. До Эйнштейна со времен Ньютона считалось, что пространство — это пассивноеместилище всех физических тел Вселенной, которое описывается геометрией, созданной еще в Древней Греции во времена Евклида. Кроме того, считалось, что время едино во всей Вселенной и всегда идет в одном и том же темпе.

Эйнштейн разработал теорию, в соответствии с которой описаны не просто пространство и время сами по себе. Согласно его концепции, существует единая сущность «пространство-время», которое может трансформироваться под воздействием гравитации находящихся в нем тел: так, пространство может искривляться, а ход времени — изменяться. С другой стороны, искривление пространства-времени должно изменять траектории движения физических тел и даже электромагнитных волн. Теория относительности предсказывала существование так называемых **гравитационных волн**, которые были открыты только спустя столетие после публикации этой идеи.

Теория относительности, которая выглядит во многом противоречащей здравому смыслу и привычному человеческому опыту, сама сформулировала, как можно проверить ее непростые математические построения. В 1919 г. специальные наблюдения во время полного солнечного затмения показали, что направление распространения света далекой звезды вблизи большой массы (в данном случае Солнца) изменилось, как и предсказывала новая теория. Это было первое подтверждение правильности теории относительности. В течение следующего века эта теория была подтверждена сотни раз, и нет ни одного примера, когда она оказалась бы неверной. Теория относительности легла в основу теоретического описания Вселенной. В частности, без математического аппарата и идеологии теории относительности невозможно описание процессов, проис-

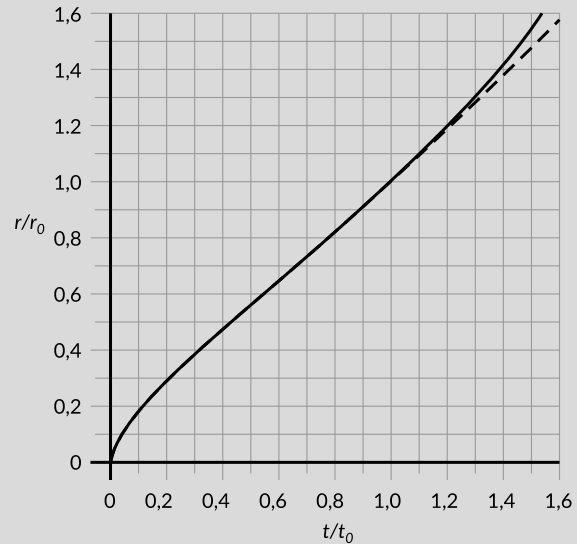


Рис. 18. Расстояние между галактиками в зависимости от времени в расширяющейся Вселенной [6]

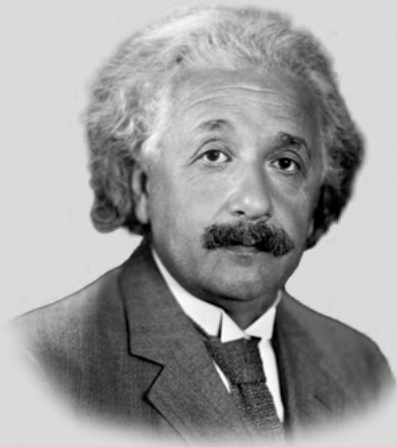


Рис. 19. Альберт Эйнштейн (1879–1955)

ходящих в окрестностях черных дыр (к их существованию сам Эйнштейн относился скептически, он не дожил до эпохи, когда черные дыры были открыты в результате астрономических наблюдений).

Первый вариант своей теории Эйнштейн применил для описания случая стационарной Вселенной (сам ученый в то время считал Вселенную таковой). Он ввел в свои уравнения специальный параметр (**космологическую постоянную**), чтобы нейтрализовать действие гравитации и не дать Вселенной стянуться под ее влиянием в единый сверхплотный ком материи.

Выдающийся математик, физик и метеоролог **Александр Александрович Фридман** показал, что теория относительности способна описать более общий случай нестационарной Вселенной. Он построил математическую модель, согласно которой Вселенная должна либо сжиматься под действием гравитации находящихся в ней тел, либо, наоборот, расширяться под воздействием некоего процесса (например, начального толчка).

Дальше все должно было зависеть от средней плотности материи во Вселенной. Если плотность больше некой критической величины, Вселенная должна расширяться с замедлением, затем расширение остановится и сменится на сжатие под влиянием гравитации. Ситуация похожа на движение камня, брошенного вверх.

Если же плотность материи окажется меньше критической, расширение, слегка замедляясь под влиянием гравитации, должно продолжаться вечно: энергия начального толчка преодолет гравитацию.

В модели Фридмана не было варианта стационарной Вселенной, когда размеры Вселенной не менялись бы со временем.

Статью Фридмана прочитал Эйнштейн. Он отметил, что в ней все верно с точки зрения формальной математики, но, скорее всего, эти модели не имеют отношения к реальности.

Открытие расширения Вселенной Хабблом в 1929 г. продемонстрировало, что Фридман был прав: оказалось, что в нашей Вселенной реализуется один из вариантов его модели.



Рис. 20. Александр Александрович Фридман (1888–1925)

В 30-х гг. XX в. сходная теория была разработана космологом и одновременно католическим священником **Жоржем Леметром**. Он не был знаком с теорией Фридмана, но получил аналогичные результаты.

Большой вклад в развитие теоретической космологии внес **Джордж (Георгий Антонович) Гамов**, в молодости слушавший в Петрограде лекции А. А. Фридмана. В 30-х и 40-х гг. XX в. физики разработали теорию термоядерного синтеза, в соответствии с которой при высоких давлениях и температурах ядра атомов водорода в ходе цепочки реакций могут превращаться в ядра атомов гелия с выделением энергии в виде электромагнитного излучения. Для того чтобы получить определенное количество гелия, нужно иметь втрое большую массу ядер атомов водорода (или в двенадцать раз больше водорода по количеству ядер).

Астрономические наблюдения, выполненные в первой трети XX в., показывали, что именно такое соотношение почему-то наблюдается повсюду: и на Солнце, и во всех звездах, и в планетах-гигантах, и даже в составе межзвездного газа. Позже выяснилось, что такое же соотношение водорода и гелия наблюдается и в огромных объемах межгалактического газа. Такое соотношение водорода к гелию (3:1), наблюдаемое во всей Вселенной, прямо указывало, что так получилось в ходе термоядерных реакций превращения водорода в гелий. Но такие реакции могут протекать только при очень высоких температурах и давлениях!

Гамов впоследствии вспоминал, что еще Фридман говорил в своих лекциях о горячем состоянии начальной Вселенной. Для того чтобы запустить термоядерные реакции, температура и плотность материи во всей молодой Вселенной должны были стать очень высокими. Но высокая температура вещества приводит к появлению электромагнитного излучения. Каждый элемент объема горячей Вселенной должен был излучать электромагнитные волны.

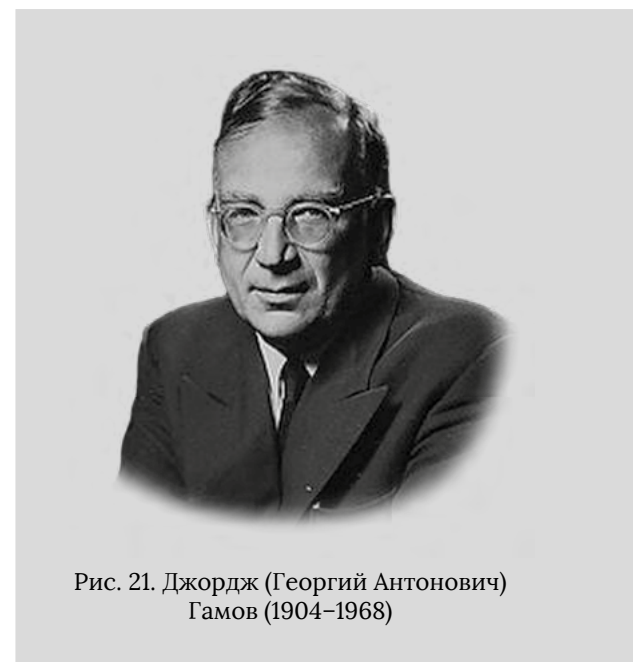


Рис. 21. Джордж (Георгий Антонович) Гамов (1904–1968)



Так Гамовым и его соавторами была заложена теория реликтового излучения, которое, как указано выше, случайно открыли в 1964 г. **Арно Пензиас** и **Роберт Вилсон**. Эта теория была развита и усовершенствована многими авторами. Открытие фонового, или реликтового, излучения являлось мощным подтверждением теории расширения Вселенной (теории Большого взрыва).

Тем не менее у теории Большого взрыва в ее первоначальном варианте было немало проблем. В качестве примера можно привести уже упомянутое странное сходство галактик, находящихся в противоположных направлениях от земного наблюдателя. Если мы заглянем, например, на 10 миллиардов световых лет в любом направлении, мы увидим множество галактик. Если направим телескоп в противоположную сторону, будем наблюдать на таком же удалении нечто подобное. Но расстояние между первой и второй группами галактик, находящихся в противоположных направлениях от наблюдателя, огромно — это 20 миллиардов световых лет, что превышает расстояние, которое может пройти свет за все время существования Вселенной (менее 14 миллиардов лет). Значит, галактики, находящиеся в противоположных направлениях, никак не связаны физически друг с другом, они «не знают» о существовании друг друга. Но при этом они удивительно похожи, хотя, никак не взаимодействуя друг с другом, они могли оказаться совершенно различными. Как это объяснить? Не существует физический процесс, который мог бы распространяться со скоростью, превышающей скорость света, чтобы сгладить и уравнять условия в удаленных друг от друга участках Вселенной.

Эта проблема получила название **проблема горизонта**, и она активно обсуждалась в 60–70-х гг. XX в.

Проблема была решена с помощью так называемой **модели инфляции**. Ее суть заключается в том, что вся Вселенная изначально была чрезвычайно мала, и вся заключенная в ней материя находилась в одинаковых условиях. Затем начался кратковременный процесс даже не расширения, а стремительного раздувания, разворачивания пространства-времени Вселенной, когда за малые доли секунды Вселенная увеличилась в невероятно большое количество раз. Дальнейшее расширение (включая наблюдаемое сегодня) происходит гораздо меньшими темпами.

Первоначальный вариант теории инфляции предложил американский физик **Алан Гут**. Большой вклад в ее развитие внесли **Андрей Дмитриевич Линде** и **Алексей Александрович Старобинский**, а также целый ряд других космологов из разных стран. Впоследствии были разработаны разные варианты теории инфляции. Идея инфляции разрешает целый набор проблем первоначальной «классической» теории Большого взрыва. Сегодня большинство теоретиков считают теорию инфляции обязательным элементом современной космологии.



Рис. 22. Алан Харви Гут



Рис. 23. Андрей Дмитриевич Линде



Рис. 24. Алексей Александрович Старобинский (1948–2023)

Важную деталь в современные представления о Вселенной внесли наблюдения особенностей вращения галактик (включая нашу собственную Галактику). Галактики вращаются не так, как предсказывает теория. Теоретики из разных стран (включая **Яна Эйнаста** и **Веру Рубин**) провели расчеты, из которых следовало, что галактики могут вращаться так, как это наблюдается, в том случае, если они находятся внутри гигантских облаков так называемой **темной материи**, масса которой примерно в пять раз превышает массу всего известного вещества, из которого построены звезды, межзвездный газ и пыль.

Существование темной материи подтверждается астрономическими наблюдениями. Эти данные были учтены при разработке теории формирования галактик. Считается, что слабые флуктуации, наблюдаемые на карте реликтового излучения (проявления анизотропии реликтового излучения), порождены изначальными сгущениями темной материи, и именно здесь, в этих сгущениях, впоследствии сформировались галактики. Несмотря на то что мы до сих пор не знаем, что такое темная материя, теоретики учитывают ее в своих расчетах.

Что касается сущности самого начального момента существования Вселенной — Большого взрыва, то окончательной теории, описывающей его, пока не существует. Есть несколько моделей, но пока неизвестно, какая из них (возможно, никакая) соответствует реальности.

Существуют теоретические модели, допускающие существование так называемого мультимира. В рамках такого подхода может существовать огромное (возможно, бесконечное) число вселенных, для каждой из которых характерен собственный набор физических констант и соответствующих законов природы, и наша Вселенная является лишь одной из них.

Напряженные исследования теоретиков в области космологии продолжают.

### 3.5. ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Какой же выглядит эволюция Вселенной с точки зрения современной космологии?

Сам Большой взрыв здесь не обсуждается, поскольку мы по-прежнему достоверно не знаем, почему и как он произошел и что он собой представлял. Тем не менее мы уверены в том, что некий начальный процесс, который можно назвать Большим взрывом, привел примерно 14 миллиардов лет назад к появлению Вселенной. Она была первоначально чрезвычайно горячей и плотной, быстро расширялась, и в ней уже работали известные нам законы физики, согласно которым мы можем воспроизвести, как эволюционировала Вселенная в дальнейшем.

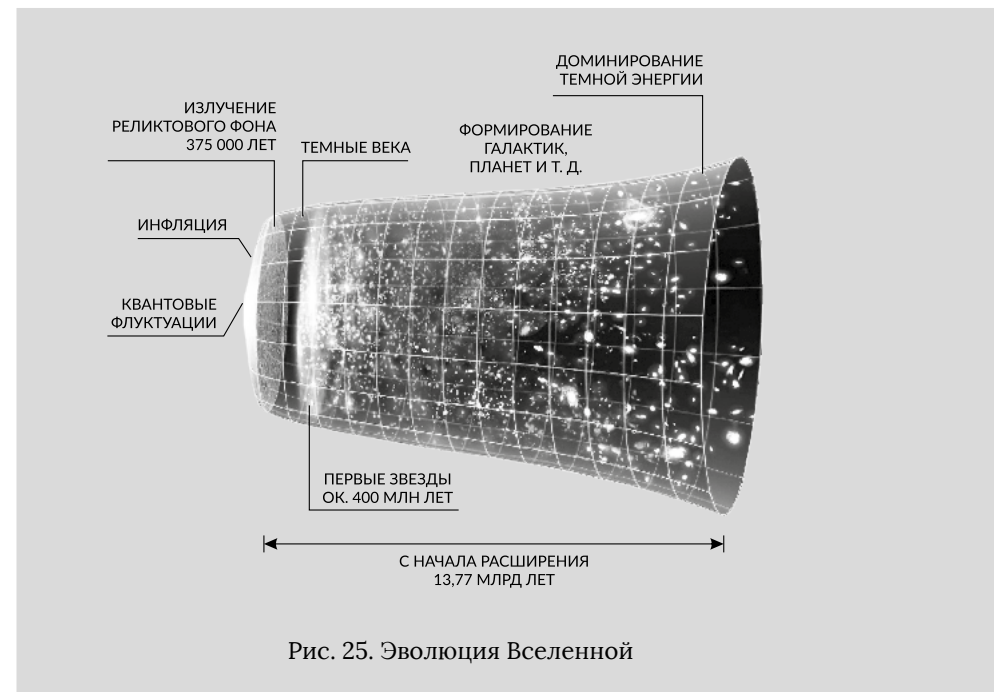


Рис. 25. Эволюция Вселенной

Температура молодой Вселенной спустя минуту после Большого взрыва, согласно теоретическим оценкам, превышала миллиард градусов при огромной плотности материи. Скорость недавно возникших элементарных частиц была чрезвычайно велика. В этих условиях не могли сформироваться ядра тяжелых элементов: даже если они образовывались, то при столкновениях, а также под воздействием мощного электромагнитного излучения тут же разрушались. Вселенная была наполнена положительно заряженными протонами, отрицательно заряженными электронами и нейтральными нейтронами, а также некоторыми другими частицами, включая частицы темной материи, а также излучением.

По мере стремительного расширения Вселенной температура падала. При температурах ниже миллиарда градусов стали возможными термоядерные реакции объединения протонов, в результате чего возникали ядра атомов гелия (состоящие из двух протонов и двух нейтронов).

Расчеты показывают, что примерно за пять минут, в течение которых протекали эти реакции, около десяти процентов всех протонов объединились, образовав ядра атомов гелия и в незначительных количествах других, более тяжелых атомов (тяжелого изотопа водорода — дейтерия и немного лития). Ядро атома гелия вчетверо тяжелее ядра атома водорода, состоящего из одного протона. Поэтому примерно четверть всего веще-

ства Вселенной по массе составил гелий, почти три четверти — водород, остальное — немного дейтерия и лития. Кроме того, во Вселенной присутствовали частицы темной материи. Их общая масса примерно в пять раз превышала массу так называемого **барионного вещества** (состоящего из протонов и нейтронов), или просто вещества. В отличие от барионного вещества, частицы темной материи не объединяются в атомы: судя по имеющимся данным, они не подчиняются так называемому сильному взаимодействию, которое помогает удерживать в ядрах атомов положительно заряженные протоны.

В результате описанных процессов по истечении пяти минут после Большого взрыва Вселенная была наполнена частицами вещества: ядрами атомов водорода и гелия в соотношении примерно 3:1 по массе с небольшим и примесями дейтерия и лития. Кроме того, здесь присутствовали частицы темной материи. Высокая температура всей материи Вселенной порождала интенсивное электромагнитное излучение, которое рождалось во всех точках горячей Вселенной.

Высокая плотность вещества не позволяла свободно распространяться электромагнитным волнам: они тут же взаимодействовали с частицами, поглощаясь и рассеиваясь. Среда начальной горячей Вселенной была непрозрачной для излучения.

По мере расширения Вселенной плотность и температура среды уменьшались. Когда температура упала ниже трех тысяч градусов, скорость движения частиц уменьшилась настолько, что ядра атомов водорода и гелия смогли захватывать свободные электроны. Этот процесс, который называется **рекомбинацией**, изменил свойства Вселенной, она стала прозрачной для электромагнитного излучения. Теоретические расчеты указывают, что это произошло через триста восемьдесят тысяч лет после Большого взрыва. Реликтовое излучение, которое мы сегодня регистрируем, — это и есть излучение, которое родилось в ту эпоху. Оно существовало и раньше, но до эпохи рекомбинации излучение не могло свободно распространяться по Вселенной, поскольку поглощалось сразу же, практически там же, где рождалось.

Плотность вещества во всей Вселенной была примерно одинаковой повсюду (это мы видим по одинаковой интенсивности реликтового излучения по всему небу), но все-таки не абсолютно одинаковой: где-то немного больше, где-то немного меньше (анизотропия излучения). Амплитуда флуктуаций плотности была мизерной — порядка одной миллионной доли от интенсивности самого излучения. Но именно эти случайные неоднородности определили сегодняшнюю крупномасштабную структуру Вселенной.

Вселенная быстро расширялась, но в тех местах, где плотность материи была немного больше средней, расширение происходило немного медленнее: расширению препятствовала гравитация. Различия в плотно-

сти нарастали, там, где плотность была больше, гравитация усиливала контраст. В областях Вселенной, где плотность оказалась относительно высокой, гравитация все сильнее притормаживала процесс расширения. Образовались сгустки темной материи, которые притягивали к себе и обычное вещество — газ из водорода и гелия. Так образовывались протогалактики — огромные сгущения газа, из которых впоследствии сформировались галактики.

Если бы вещество было холодным и частицы в протогалактиках двигались бы с очень небольшими скоростями, наверное, эволюция протогалактик завершилась бы формированием сверхмассивных черных дыр, куда упало бы все вещество протогалактики. Но температура вещества была по-прежнему достаточно высокой, частицы двигались быстро и в разные стороны — обязательно присутствовала компонента скорости, перпендикулярная направлению на центр масс протогалактики. При сжатии вещества протогалактики, благодаря закону сохранения момента вращения, увеличивалась и скорость вращения вокруг центра масс. То, что двигалось медленно, упало на центр масс будущей галактики, порождая там сверхмассивную черную дыру. Но та часть, что двигалась быстрее, осталась на замкнутых (эллиптических и круговых) орбитах, обращаясь вокруг центра масс формирующейся галактики.

В процессе сжатия протогалактики происходило перераспределение масс темной материи и газа: помимо формирования в центре масс будущей черной дыры массой в сотни тысяч — миллионы масс Солнца, формировались сгустки газа меньших размеров массой в десятки масс Солнца — зародыши первых протозвезд. Так вещество протогалактик фрагментировалось на множество сгустков, породивших звезды галактик.

Первые галактики были сравнительно небольшими — с массами порядка миллиона масс Солнца. Такие галактики мы сегодня называем **карликовыми**. В большинстве случаев такие галактики находились на сравнительно близких расстояниях друг от друга, и их взаимная гравитация стягивала их вместе, объединяя в более крупные объекты, а их центральные черные дыры сливались в более массивные. Так группы близко расположенных карликовых галактик объединялись в крупные галактики типа нашей Галактики Млечный Путь или туманности Андромеды.

Расширение пространства Вселенной увеличивало расстояния между тесными скоплениями галактик, образовавших гравитационно связанные системы. В самих таких системах гравитация «преодолела» процесс расширения: так, Млечный Путь и туманность Андромеды приближаются друг к другу под действием взаимного притяжения, так же как карликовые галактики типа Магеллановых Облаков приближаются к Млечному Пути и в будущем сольются с ним.

В недрах протозвезд запускались термоядерные реакции, превращавшие водород в гелий (так протозвезды становились звездами). По мере

звездной эволюции в недрах массивных звезд становилось больше гелия и меньше водорода, в результате росли температура и давление, что позволяло включаться новым реакциям, в ходе которых формировались ядра более тяжелых элементов — углерода, азота и так далее, вплоть до железа.

Завершая эволюцию звезды, массивные звезды взрывались как сверхновые, порождая в мощном термоядерном взрыве все типы атомов, содержащиеся в таблице Менделеева. Атомы тяжелых элементов и их соединения, выброшенные взрывом в окружающее пространство, формировали пыль, которая в ходе многих процессов стала основой для твердых небесных тел — планет, их спутников, астероидов, кометных ядер.

Гравитация, стягивая газ и пыль в межзвездных облаках, насыщенных после взрыва звезд первого поколения тяжелыми элементами, снова формировала протозвезды, а затем и звезды второго и последующих поколений, уже содержащие небольшое количество тяжелых атомов, помимо водорода и гелия. Поскольку термоядерные реакции в звездах работают в одну сторону — превращают ядра атомов легких элементов в ядра атомов более тяжелых элементов, эволюция вещества Вселенной приводит к постепенному (хотя и очень медленному) увеличению разнообразия и количества разных типов атомов, которые могут образовывать устойчивые и все более сложные химические соединения. Пример Земли показывает, что на основе высокомолекулярных соединений может возникнуть и сложный феномен жизни, а в дальнейшем и разумной жизни, способной анализировать и окружающий мир, и себя с помощью критического мышления.

Обнаруженное в конце XX в. ускорение расширения Вселенной позволяет предположить, что некая пока неизученная сила (темная энергия) обладает свойством антитяготения, но ощущается только на больших расстояниях. На ранних стадиях развития Вселенной, когда ее размеры и расстояния между протогалактиками были сравнительно невелики, влияние этой силы не ощущалось. Начиная с возраста Вселенной примерно семь миллиардов лет после Большого взрыва вклад этой силы начал расти, заставляя удаленные друг от друга области пространства расширяться ускоренно, унося с собой находящиеся там галактики. На сравнительно близких друг от друга галактиках эта сила пока не сказывается, но со временем, когда скопления галактик станут значительно дальше друг от друга, чем сегодня, эта сила начнет проявляться все более заметно.

### 3.6. ДОСТОВЕРНОСТЬ СОВРЕМЕННОЙ КОСМОЛОГИИ

Современная космология вызывает массу вопросов (особенно у неспециалистов), поскольку, как уже было сказано, ее положения во многом

противоречат привычным человеческим представлениям. Мы не видим никаких быстрых изменений во Вселенной. Звездное небо не изменяется на протяжении человеческой жизни. Утверждение о том, что когда-то вся Вселенная представляла собой микроскопическое образование, превратившееся (почему-то) в быстро растущий (возможно, бесконечный) объем, наполненный некой раскаленной и сверхплотной субстанцией, породившей в ходе сложных трансформаций весь существующий мир, который мы сегодня наблюдаем, выглядит в глазах многих людей надуманным и неправдоподобным.

Какие есть основания считать, что современная космология отражает реальность?

Рассмотрим доказательства, которые лежат в основе космологии.

**1. Факт расширения Вселенной.** Расширение Вселенной, которое проявляется в нарастании красного смещения в спектрах далеких галактик по мере роста их расстояния до нас, является фактом, следующим из многочисленных наблюдений. Чем дальше находится галактика, тем быстрее она от нас уносится. Современные наблюдения демонстрируют гигантские скорости, характерные для очень далеких галактик (10% от скорости света и выше). Гипотеза о том, что красное смещение не связано со скоростью удаления галактик, подтверждений не нашла. Расширение Вселенной говорит о том, что в прошлом галактики были ближе друг к другу, а значит, был некий начальный момент, когда вся материя Вселенной была сконцентрирована вместе.

**2. Относительное содержание водорода, гелия, дейтерия и лития во Вселенной находится в полном соответствии с теорией горячей Вселенной.** Именно наблюдаемое соотношение этих элементов, и только такое соотношение, объясняется термоядерными реакциями, для которых во всей Вселенной требовались очень высокие температура и плотность на раннем этапе эволюции после Большого взрыва.

**3. Все далекие галактики — молодые, среди близких галактик нет молодых.** Если бы Вселенная существовала вечно и никакого Большого взрыва в прошлом не было бы, молодые и старые галактики обнаруживались бы с равной вероятностью на любых расстояниях (надо помнить, что чем дальше мы смотрим, тем глубже в прошлое заглядываем, поскольку видим свет, который шел к нам с конечной скоростью и только сейчас до нас дошел с разных расстояний). Многочисленные наблюдения подтверждают, что галактики с самым большим красным смещением (наиболее далекие от нас) — это сплошь молодые карликовые галактики, в которых только начинается процесс образования звезд из газовой материи и спектры которых не показывают наличия тяжелых элементов. Мы видим эти далекие галактики такими, какими они были вскоре после Большого взрыва. Наоборот, среди близких галактик с малыми красными смещениями нет молодых галактик, мы наблюдаем в них старые звезды, а также

звезды второго и третьего поколений, в спектрах которых присутствуют признаки наличия тяжелых элементов. Это означает, что миллиарды лет назад свойства Вселенной существенно отличались от сегодняшних, — Вселенная действительно эволюционирует.

**4. Не существует близких квазаров.** Еще один факт, который дополняет предыдущее доказательство, заключается в том, что квазары бывают только далекими. Квазар — это мощный источник излучения, связанного с падением огромных потоков газа на сверхмассивную черную дыру в центре галактики. Ускоренный до околосветовых скоростей поток вещества порождает мощное излучение. Квазары характерны для сравнительно молодых галактик, пока на черную дыру есть чему падать. Когда все запасы газа в центральной части галактики, которые могли упасть на черную дыру, заканчиваются, квазар «гаснет», и яркий источник излучения исчезает. Поэтому в близких (а значит, «старых») галактиках квазары никогда не наблюдаются: все, что могло упасть на черную дыру, уже давно успело упасть. Кроме того, мы не видим квазаров у самых далеких галактик. Это означает, что квазары не образовывались сразу после Большого взрыва, они могли возникнуть только на определенном этапе развития Вселенной в процессе развития галактик (не раньше и не позже) и давно погасли: на нынешнем этапе развития Вселенной действующих квазаров нет.

**5. Факт существования реликтового излучения.** Открытие реликтового излучения подтвердило гипотезу о горячем состоянии Вселенной на раннем этапе эволюции после Большого взрыва. Температура реликтового излучения хорошо соответствует теоретическим расчетам, учитывающим его охлаждение из-за расширения Вселенной за время, прошедшее после Большого взрыва. Реликтовое излучение прямо подтверждает факт существования горячей Вселенной на начальном этапе ее развития и иначе не объясняется.

**6. Анизотропия реликтового излучения хорошо соответствует наблюдаемым размерам галактик.** Обнаруженные пространственные флуктуации уровня реликтового излучения, напоминающие «легкую рябь» на карте его распределения по небу, отлично совпадают с размерами галактик и подтверждают версию о том, что именно эти флуктуации стали основой для формирования галактик.

Существуют и другие основанные на фактах наблюдений доказательства, которые подтверждают изложенную здесь на упрощенном качественном уровне космологическую теорию или не противоречат ей. Здесь эти дополнительные доводы не приводятся, поскольку они, как правило, понятны только профессионалам. Однако и приведенных доказательств достаточно, чтобы показать, что космология не является умозрительной концепцией. Она строго следует достоверно подтвержденным фактам наблюдений. Ключевые положения космологии невозможно опровергнуть именно по этой причине.

Космология далека от завершения. Мы не знаем, что такое темная материя, что такое темная энергия и что такое Большой взрыв, является ли наша Вселенная единственной, как появились действующие во Вселенной физические законы и константы, могли ли они быть другими. Список подобных фундаментальных вопросов можно продолжить. Тем не менее на целый ряд вопросов уже получены ответы, и эти ответы, в основном в виде фактов наблюдений, нам известны.

Рассуждая о нашей Вселенной, мы должны иметь в виду неоспоримые факты. Это факт ускоренного расширения Вселенной, факт существования реликтового излучения и его анизотропии, факт наличия глубоких эволюционных изменений свойств Вселенной со временем. Безотносительно к интерпретации этих фактов они лежат в основе наших сегодняшних представлений о Вселенной, а критическое мышление и знание законов физики может дополнить эти ключевые факты целым рядом подробностей, число которых со временем будет быстро возрастать по мере развития космологии — как наблюдательной, так и теоретической.



Рис. 26. Галактики. Снимок космического телескопа «Хаббл»



## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вайнберг С.* Мечты об окончательной теории. Физика в поисках самых фундаментальных законов природы. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 256 с.
2. *Виленкин А.* Мир многих миров: физики в поисках параллельных Вселенных. — М.: АСТ: Астрель: CORPUS, 2010. — 303 с.
3. *Гриб А. А.* Основные представления современной космологии. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 108 с.
4. *Грин Брайан.* Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории. — М.: Едиториал УРСС, 2005. — 288 с.
5. *Еремеева А. И., Цицин Ф. А.* История астрономии. Учебник. — М.: Изд-во МГУ, 1989. — 349 с.
6. *Климушкин Д. Ю., Сотникова Р. Т., Язев С. А.* Астрономия 10–11 классы: учебно-методическое пособие для общеобразовательных организаций. — Иркутск: Изд-во ИГУ, 2021. — 236 с.
7. *Новиков И. Д.* Как взорвалась Вселенная. — М.: ТЕРРА — Книжный клуб, 2008. — 272 с.
8. *Парновский С. Л.* Как работает Вселенная: Введение в современную космологию. — М.: Альпина нон-фикшн, 2018. — 277 с.
9. *Попов С.* Вселенная. Краткий путеводитель по пространству и времени: от Солнечной системы до самых далеких галактик и от Большого взрыва до будущего Вселенной. — М.: Альпина нон-фикшн, 2018. — 400 с.
10. *Рубин С. Е.* Устройство нашей Вселенной. — Фрязино: Век 2, 2008. — 320 с.
11. *Рэндалл Лиза.* Темная материя и динозавры. Удивительная взаимосвязь событий во Вселенной. — М.: Альпина нон-фикшн, 2017. — 506 с.
12. *Сажин М. В.* Современная космология в популярном изложении. — М.: Едиториал УРСС, 2002. — 240 с.
13. *Томилиן А. Н.* Царица неба. — М.: Современник, 1998. — 303 с.
14. *Турчин В. Ф.* Феномен науки. Кибернетический подход к эволюции. — М.: Наука, 1993, — 296 с.

15. *Уиттни Ч.* Открытие нашей Галактики. — М.: Мир, 1975. — 238 с.
16. *Фридман А. А.* Мир как пространство и время. — М.: Наука, 1965. — 112 с.
17. *Хокинг С.* Краткая история времени. От Большого взрыва до черных дыр. — СПб.: Амфора, 2001. — 268 с.
18. *Хокинг С.* Черные дыры и молодые Вселенные. — СПб.: Амфора, 2001. — 189 с.
19. *Черепашук А. М., Чернин А. Д.* Вселенная, жизнь, черные дыры. — Фрязино: Век 2, 2003. — 320 с.
20. *Чернин А. Д.* Космология: Большой взрыв. — Фрязино: Век 2, 2005. — 64 с.
21. *Эйнасто Яан, Чернин А. Д.* Темная материя и темная энергия. — Фрязино: Век 2 — 2018. — 176 с.
22. *Язев С.* Вселенная. Путешествие во времени и пространстве. — СПб.: Питер, 2020. — 288 с.

# СОДЕРЖАНИЕ

ЗАЧЕМ НУЖНА ЭТА ПРОГРАММА? .....	3
О ЧЕМ ЭТА ПРОГРАММА? .....	7
ОСНОВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ (в помощь учителю, педагогу дополнительного образования и лектору планетария) .....	9
1. КАРТИНА МИРА В ДРЕВНОСТИ .....	9
2. СТАЦИОНАРНАЯ ВСЕЛЕННАЯ (история развития космологии до XX в.) .....	11
2.1. Древняя Греция и элементы критического мышления .....	11
2.2. Коперниканская революция .....	15
2.3. Джордано Бруно и бесконечная Вселенная .....	17
2.4. Исаак Ньютон и законы природы .....	17
2.5. Структура Вселенной .....	18
2.6. Концепция стационарной Вселенной .....	22
3. НЕСТАЦИОНАРНАЯ ВСЕЛЕННАЯ (элементы современной космологии) .....	23
3.1. Открытие расширения Вселенной .....	23
3.2. Открытие реликтового излучения .....	30
3.3. Открытие ускоренного расширения Вселенной .....	32
3.4. Некоторые элементы теоретической космологии .....	35
3.5. Эволюция Вселенной .....	40
3.6. Достоверность современной космологии .....	44
Список рекомендуемой литературы .....	48

Автор

**Сергей Артурович ЯЗЕВ**

- доктор физико-математических наук,
- директор астрономической обсерватории Иркутского государственного университета,
- профессор, ведущий научный сотрудник Иркутского государственного университета,
- старший научный сотрудник Института солнечно-земной физики СО РАН

Язев С. А.

**МИР, В КОТОРОМ  
МЫ ЖИВЕМ (ЭЛЕМЕНТЫ КОСМОЛОГИИ)**

учебно-методическое пособие  
для преподавателей  
общеобразовательных школ и учреждений  
дополнительного образования

Корректор *Елена Борисова*  
Компьютерная верстка *Алены Каминовой*

Подписано в печать 09.02.2024  
Формат 60х90/16.  
Объем 3,25 п. л. Тираж 200 экз. Заказ №0902-2024



Издательско-полиграфический комплекс  
«ИНДИГО»  
г. Ярославль, ул. Свободы, 97

Отпечатано на собственном полиграфическом оборудовании