

РЕДАКТОР-СОСТАВИТЕЛЬ

Владимир  
СУРДИН



# Галактики

Издательство АСТ  
Москва

УДК 523+520

ББК 22.654

Г15

Авторский коллектив:

*В. С. Аведисова, Д. З. Вибе, А. И. Дьяченко, А. В. Засов,  
Б. В. Комберг, В. В. Орлов, Л. П. Осипков, С. В. Репин,  
А. В. Рубинов, О. К. Сильченко, В. Г. Сурдин*

Г15      **Галактики** / ред.-сост. В.Г. Сурдин. — М.: Изд. 5-е, испр. и доп. — М. : Москва : Издательство АСТ, 2026. — 432 с. (Понятная астрофизика).

ISBN 978-5-17-181817-3

Книга «Галактики» содержит обзор современных представлений о гигантских звездных системах — галактиках.

Рассказано об истории открытия галактик, об их основных типах и системах классификации. Даны основы динамики звездных систем. Подробно описаны ближайшие к нам галактические окрестности и работы по глобальному изучению Галактики. Приведены данные о различных типах населений галактик — звездах, межзвездной среде и темной материи. Описаны особенности активных галактик и квазаров, а также эволюция взглядов на происхождение галактик.

Книга ориентирована на студентов младших курсов естественно-научных факультетов университетов и специалистов смежных областей науки. Особый интерес книга представляет для любителей астрономии.

ISBN 978-5-17-181817-3

© ООО «Издательство АСТ», 2026

# Предисловие

**У**важаемый читатель, эта книга — четвертая в серии «Астрономия и астрофизика», которую мы с коллегами создаем с 2008 года. Первая из книг этой серии, «Небо и телескоп», посвящена основным понятиям астрономии и методам астрофизических исследований. Вторая книга, «Солнечная система», рассказывает о больших и малых телах нашей планетной системы, об экспедициях к ним и о том, что астрономы смогли узнать о природе этих тел. Третью книгу этой серии мы назвали «Звезды» и рассказали в ней об истории исследования и классификации звезд, о современной физической теории внутреннего строения звезд и важнейших этапах их эволюции. Нынешняя четвертая книга в определенном смысле завершает круг, поскольку в ней мы выходим на просторы нашей галактики и далее — во Вселенную. Но это не означает, что мы заканчиваем нашу серию. Астрономия и астрофизика столь содержательны и так богаты удивительными находками, что нам бы хотелось продолжить работу и рассказать любознательному читателю о самых последних исследованиях в этой области. Результаты изучения небесных объектов настолько интересны и при этом вполне доступны для внимания широкого круга читателей, что первые четыре книги этой серии — мы надеемся — станут преддверием вашего более глубокого погружения в мир космических исследований.

Задумывая каждую новую книгу, а тем более серию книг, каждый автор пытается представить себе будущего читателя и сделать так, чтобы книга показалась ему актуальной, оказалась для него интересной и как можно дольше оставалась полезной. Сочетать все эти требования непросто. Любознательного читателя прежде всего интересуют открытия последних дней, о которых пишут в Интернете и рассказывают в новостях. Однако сенсационные сообщения редко бывают полноценными и безупречно точными; обычно они не встраиваются как органичный элемент в мозаику уже известного читателю, и поэтому, на наш взгляд, пользы от них мало. С другой стороны, самыми точными и полезными книгами, без сомнения, являются учебники и справочники, прочитать которые от корки до корки мало кому уда-

валось. Отдавая себе отчет, что сочетать захватывающий детектив с занудным справочником практически невозможно, мы тем не менее поставили перед собой амбициозную задачу: создать книги, которые хотелось бы прочитать залпом, но при этом они бы еще долго могли служить читателю для работы и хобби. Удалось ли нам это хотя бы частично – судить вам.

В этой книге девять глав и Приложение. Первая глава – вводная: она знакомит с особенностями мира звездных систем. Вторая и третья главы посвящены физике коллективного взаимодействия звезд; эти главы наиболее математичны, поэтому тот, кто не ощущает обаяния формул, может при первом чтении их пропустить. Четвертая и пятая главы знакомят нас с локальной областью Галактики, с ее окколосолнечными окрестностями, в шестой главе сделана попытка увидеть Галактику целиком. Седьмая глава рассказывает о разнообразии мира галактик, об основных характеристиках различных звездных систем, а в восьмой главе рассказано о попытках астрономов понять происхождение и проследить эволюцию галактик. В заключительной девятой главе собраны интригующие данные об активности загадочных ядер галактик. А Приложение – это то, что должно сделать нашу книгу полезным справочником для наблюдателей независимо от эволюции идей теоретиков.

В конце каждого года, подводя его итог, научные журналисты опрашивают ученых и публикуют список десяти наиболее значимых открытий года. Просматривая эти списки за последние десятилетия, мы обнаружим, что в каждом из них среди важнейших открытий значатся находки, сделанные в нашей или соседних галактиках. И это не удивительно. Ведь наша галактика и окружающие ее «звездные острова» – это и есть тот мир, в котором мы живем. Его разнообразие всегда будет превышать пределы наших знаний и даже пределы нашей фантазии. Неоткрытого в них всегда будет больше, чем известного.

«Галактики – это гигантские скопления звезд», – думали наши деды; «это скопления звезд и межзвездного газа», – уточняли наши отцы. Сегодня мы знаем, что галактики – это сложно организованные системы из звезд, планет, диффузного межзвездного вещества разнообразного типа (плазма, атомы, молекулы, пылинки), из электромагнитных квантов, релятивистских частиц, а также – по большей части (!) – из неизвестных ученым форм вещества, условно называемых темной материей. Исследования галактик сродни изучению живых клеток: мы постоянно узнаём о новых типах их внутренних структур

и населяющих их объектов, о способах их взаимодействия друг с другом, о процессах их конкуренции и взаимного поглощения (а порою и деления!), но до сих пор мы не имеем точных данных об их происхождении. Подобно тому как живые организмы состоят из клеток, «организм» Вселенной состоит из галактик. Чем больше мы узнаем о галактиках и клетках, тем интереснее становится эта аналогия. Вспомним хотя бы о ядрах: у одних галактик/клеток они есть, у других — нет. Но главная загадка тех и других скрыта пока в глубине времен — это загадка их происхождения.

Уникальной особенностью науки о галактиках является возможность непосредственного изучения объектов такими, какими они были в далеком прошлом. Благодаря конечности скорости света излучение, рожденное в очень далеких галактиках, идет к нам миллиарды лет, что позволяет, сравнивая свойства объектов на различных расстояниях, исследовать изменения, которые произошли с галактиками за это время. Изучение происходящих эволюционных изменений во Вселенной — захватывающая задача современной науки.

Открыть тайну происхождения галактик мечтают все астрономы, чем бы конкретным они ни занимались: строили телескопы, изучали планеты или звезды. Эту серию книг, охватывающую многие области астрономии, невозможно было бы создать ни в одиночку, ни даже усилиями коллектива авторов (а их в этой серии уже около 30). Только постоянные консультации с коллегами помогают быть на уровне последних исследований, уберечься от ошибок и перегибов. Астрономы — это своеобразная всемирная деревня. Каждый из нас — лично или «интернетно» — знаком с большинством своих коллег по всей Земле: ведь на нашей планете всего лишь несколько тысяч астрономов! Работа и успех каждого из нас зависит от работы коллег. Мы часто консультируемся друг с другом и никогда не отказываем в помощи ни своим коллегам, ни журналистам, ни любознательным гражданам. Ведь только совместными усилиями можно понять такую грандиозную вещь, как Вселенная. Нужно признать, наша работа редко оборачивается прямой выгодой для человечества. В этом смысле она сродни работе музыканта или художника. Но понимание окружающего нас мира не только возвышает душу, но и добавляет нам спокойствия и уверенности, в конечном счете — оберегает от превратностей природы.

Неправда, что знания приумножают печали. Знания вселяют уверенность. Вы обращали внимание на лица астрономов, комментирующих сообщения журналистов о грядущих космических катастрофах?



Знаменитый голландский астроном Ян Оорт (1900–1992) в Лейденской обсерватории. Глядя в телескоп, астроном видит прошлое Вселенной и пытается представить будущее нашего мира.

Обычно на лице у астронома смущенная улыбка: он ясно понимает и беспочвенность сиюминутных страхов, и неизбежность эволюции как череды рождений и угасаний, и грандиозный масштаб космиче-

ских процессов, далеко выходящий за пределы нашей фантазии. Это чувство сродни мудрому спокойствию взрослого человека, наблюдающего, как ребенок испугался пчелы. Стоит ли бояться пчелы, осознавая бренность жизни... Астроном видит далеко вглубь времен – и в прошлое, и в будущее. Знание о прошлом вселяет уверенность в безоблачности ближайших дней, а предвидение будущего делает мелкими все текущие неприятности.

Впрочем, довольно «философствовать». Мы отправляемся на просторы Галактики, и это потребует от нас изрядного напряжения фантазии: переход от уже ставших привычными для нас масштабов тел Солнечной системы к масштабам межзвездных расстояний – самый грандиозный из всех пространственных скачков в современном естествознании. Размеры звезд ( $\sim 10^9$  м) отличаются от расстояний между ними ( $\sim 10^{17}$  м) на 8 порядков. Где еще в материальном мире нам приходится мысленно совершать столь масштабный переход? Поэтому давайте попытаемся вжиться в своеобразный мир гигантских звездных систем, все части которых с бешеной скоростью хаотически движутся в пространстве, но при этом практически никогда не сталкиваются друг с другом. В этих системах доминирует одна сила – гравитация, но при этом они демонстрируют способность к самоорганизации, создавая изящные структуры в звездных дисках.

Менее ста лет назад астрономы убедились в существовании галактик, а сегодня мы знаем о них чрезвычайно много. Но знать и понимать – не одно и то же. Мы еще очень многого не понимаем в жизни галактик, причем это касается отнюдь не частных, а принципиальных моментов их происхождения и эволюции. Мир галактик – это огромная неисследованная область, Клондайк для естествоиспытателей, а наша книга – лишь карта, намечающая путь к этим сокровищам.

К сожалению, каждый автор вслед за Ньютоном может повторить его слова, сказанные в письме Котсу от 11 октября 1709 г.: «It's impossible to print the book without some faults». Поэтому мы надеемся на придирчивое внимание читателя. Любые замечания и дополнения по содержанию книги с благодарностью будут приняты по адресу [surdin@sai.msu.ru](mailto:surdin@sai.msu.ru). А исправления неизбежных ошибок и опечаток вы найдете на странице <http://lnfm1.sai.msu.ru/~surdin/Aproof.htm>.





# Звезды, галактики, Вселенная

В. Г. Сурдин

## 1.1. Всё не так

Среди множества астрономических терминов есть слова, почти не известные широкой публике: альмукантарат, пиргелиометр, сидеростат... Но некоторые астрономические слова прочно вошли в повседневный обиход и стали обыденными: звезда, галактика, вселенная... Постоянно мы слышим о звездах эстрады и мирового хоккея, регулярно заходим в киноцентр «Галактика» и на сайт «Галактика знакомств», а вселенная — это вообще в пределах географии: «Всю-то я вселенную проехал, нигде милой не нашел!» Однако тем специалистам, кто воспринимает эти слова буквально, приходится изрядно напрягать воображение, чтобы ощутить удивительные, далекие от привычных свойства этих объектов, ибо научная работа начинается не с написания формул, а с мысленного моделирования объекта исследования.

Если вы астроном, то все добытые вами факты о звезде или галактике должны лечь в мозаику того их образа, который постоянно стоит перед вашим мысленным взором. По мере изучения объекта его образ становится всё более осязаемым, и вот вы уже можете дать прогноз, каких элементов не хватает в вашей мозаике, т. е. каких еще явлений можно ожидать от изучаемого объекта. Когда наблюдения подтверждают эту догадку, вы ощущаете наивысшую радость от научной работы. И печально, если прогноз не оправдывается: значит, интуиция вас подвела, и мысленный образ объекта был неверен. У каждого специалиста в голове свои «модели». В ходе исследований мы вживаемся в предмет своего интереса, независимо от того, галактика это или муравей. Мы начинаем чувствовать диапазон его возможностей ровно так же, как водитель чувствует свой автомобиль, заранее зная, как тот отзовется на поворот руля или нажатие педали. Но интуиция — дочь опыта, а он всегда ограничен. Живя на Земле, мы с трудом представляем себе космос с его невероятно широким диапазоном физических условий.

Из собственной практики помню такой случай. Готовя обзор о межзвездной среде, я составил таблицу обнаруженных в космосе молекул. Чтобы облегчить астрономам восприятие сухих химических формул, я решил указать названия соответствующих веществ: согласитесь, интереснее узнать, что в космических облаках присутствует не просто  $\text{HCOOH}$ , а муравьиная кислота, и не просто  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ , а этиловый (винный) спирт. Однако названия некоторых молекул я не смог обнаружить в доступных мне источниках, а Интернета тогда еще не было. Поэтому, перейдя через сквер с памятником Ломоносову, я зашел на химический факультет МГУ и, отворив дверь ближайшей лаборатории, показал свой список космических молекул ее сотрудникам. Некоторым из безымянных молекул они сразу же дали названия. Но, посмотрев на оставшиеся (а это были  $\text{C}_3\text{N}$ ,  $\text{C}_3\text{H}$  и т. п.), химики только покачали головой, сочувственно переглянулись (мол, что с него взять — физик) и сообщили, что таких молекул в природе быть не может. Оказалось, что это свободные радикалы — чрезвычайно активные частицы, моментально вступающие в реакцию с любыми другими. Тут уж мне пришлось объяснить химикам, что даже в плотных облаках космического вещества такая пустота, что активная молекула может долго — десятки лет! — летать в одиночестве, пока встретит другую. Заинтересовавшись, химики сами попросили присылать им таблицы космических молекул.

Астрономы не раз уже ломали привычное представление ученых о возможном и невозможном. Достаточно вспомнить «запрещенные» спектральные линии, которые не видны в лаборатории, но ярче других линий светят в спектрах космических туманностей. Или открытие в космосе загадочных «химических элементов», которые не присутствуют на Земле: небулия, корония, мистериума... — все они оказались обычными элементами в необычных для землян космических условиях, типичных для любой галактики.

Как видим, при изучении космических объектов не нужно забывать об их парадоксальных свойствах. Пример космического парадокса предельно лаконично сформулировал французский физик и астроном XIX в. Жак Бабине: «Кометы — это видимое ничто». В этой фразе Бабине проявил себя и как астроном («видимое»), и как физик («ничто»), ибо вещество в хвосте кометы намного разреженнее лабораторного вакуума. Что же в таком случае мы можем сказать о галактиках, средняя плотность и поверхностная яркость которых существенно меньше, чем у хвостов комет? Скажем так: галактики — это почти невидимое нечто. Особый смысл этому определению придает тот

факт, что бóльшая часть массы в галактиках, похоже, действительно невидима: это темное вещество, или темная материя, как говорят теоретики. Интенсивное развитие астрономии за последние полвека привело к обнаружению нескольких «темных сущностей» — черных дыр, темной материи, темной энергии... В последнее время астрономы все чаще употребляют прилагательное *dark* как синоним необъяснимого или пока не объясненного: недавно для описания коллективного движения скоплений галактик родился термин «dark flow» (темный поток), а для теоретического описания неожиданных эффектов гравитации — термин «dark fluid» (темная среда). Скептики шутят: «Ах, как это научно: объяснять непонятное неизвестным! Скоро в астрономии не останется белых пятен — одни лишь темные». В одном они правы: можно было бы проявить большую фантазию в названиях. Но что касается самих нерешенных проблем, то их в астрономии не больше, чем в любой активно функционирующей науке. И, будем надеяться, интересные задачи никогда не иссякнут.

Итак, знакомство с миром галактик мы начинаем с описания соответствующих масштабов пространства и времени и с выяснения того, что в этом мире доступно нашим чувствам и приборам, а что — пока нет.

## 1.2. Масштабы, которые мы постигаем

Когда мы задумываемся о мире галактик, нас в первую очередь потрясают размеры и расстояния. До ближайшего космического тела свет идет секунды, до ближайшей звезды — минуты, нашу планетную систему луч света пересекает за часы, а до самых внешних границ Солнечной системы он добегаёт за пару лет. Разумеется, все эти расстояния очень велики, но наш трюк со скоростью света позволяет представить их в виде разумных интервалов времени, привычных в быту для человека. Однако попытавшись измерить «световой рулеткой» Галактику, мы сразу же оказываемся за пределами привычных масштабов. Луч света пересекает нашу звездную систему за 100 000 лет, добирается до соседней крупной галактики за 2,5 млн лет, а от наиболее удаленных звездных систем, расположенных на границе наблюдаемой части Вселенной, свет шел к Земле многие миллиарды лет. Такой интервал времени уже теряет для нас всякую наглядность. Так что даже луч света с его чемпионской скоростью не помогает представить безумные космические расстояния.

В повседневной жизни мы оперируем сравнительно узким диапазоном расстояний: от миллиметра до нескольких тысяч киломе-

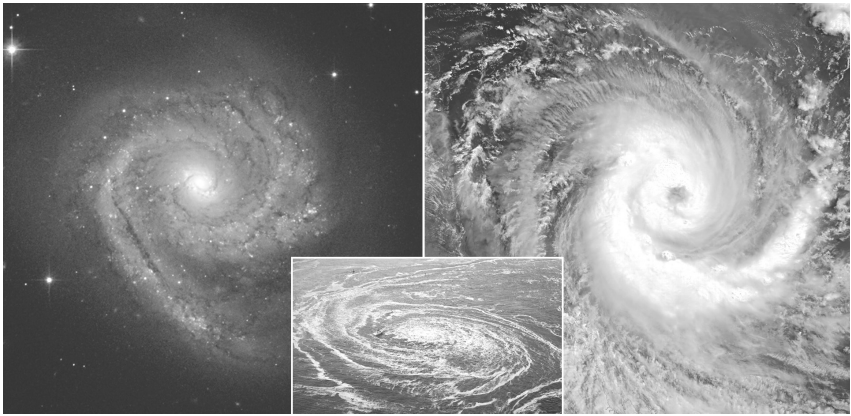


Рис. 1.1. За внешним сходством объектов порой скрывается колоссальная разница масштабов и физических свойств. Атмосферный циклон (справа) больше морского водоворота в 100 тыс. раз и меньше галактики в 1000 трлн раз.

тров — это диапазон всего в 10 порядков величины. В науках о природе диапазон измеримых расстояний простирается сегодня значительно шире: от  $10^{-16}$  см до 27 млрд световых лет, т. е. на 44 порядка! На одном конце этого диапазона работает астрономия, на другом — физика элементарных частиц. Таблица 1.1 дает представление о том, как расширялся за последние столетия диапазон размеров объектов и явлений, изучаемых наукой. За четыре века он вырос в  $10^{31}$  раз, причем  $10^{14}$  приходится на физику и  $10^{17}$  — на астрономию. Особенно сильный рывок произошел в XX в.: умея в начале прошедшего столетия измерять расстояния лишь до ближайших звезд, астрономы в конце века «дотянулись» почти до границ Вселенной.

Таблица 1.1

Предельные измеренные расстояния и их диапазон

Наука	Исторический период						
	до XVII в.	1650 г.	1840 г.	1910 г.	1960 г.	1990 г.	2010 г.
Астрономия	$4 \cdot 10^5$ км	10 а. е.	1 пк	1 Мпк	100 Мпк	3000 Мпк	4000 Мпк
Физика	0,1 мм	1 мкм	$10^{-8}$ см	$10^{-12}$ см	$10^{-13}$ см	$10^{-15}$ см	$10^{-16}$ см
Диапазон	$10^{13}$	$10^{18}$	$10^{26}$	$10^{36}$	$10^{39}$	$10^{43}$	$10^{44}$

Впрочем, стремительное продвижение вперед, возможность дотянуться «до самых до окраин», вовсе не означает, что природа в этом диапазоне уже детально изучена. Не обсуждая физику микромира, скажу об астрономии: мы рванули к границам Вселенной, оставляя в тылу нерешенные вопросы. Тактика любого наступления гласит: если

авангард умчался вперед, а обозы за ним не успевают, значит, будут проблемы. До сих пор измерение расстояний остается важнейшей проблемой астрономии. Мало «дотянуться до края Вселенной», необходимо еще точно измерить расстояние до самых далеких объектов: только так мы узнаем их истинные характеристики, поймем их физическую природу и восстановим ход их эволюции.

Нужно признать, что астрономы всегда недооценивали размеры мира, который они изучают. Сначала границу мира они проводили по орбитам внешних планет, затем отодвинули ее к визуально наблюдаемым звездам, затем к звездам, видимым в телескоп. В конце XVIII в. Вильям Гершель считал, что Галактика ограничена сравнительно небольшой околосолнечной областью. В середине XIX в. Иоганн Мёдлер указывал на звездное скопление Плеяды как на центр Галактики. Сегодня это выглядит наивно, но не будем забывать, что Гершель и Мёдлер были ведущими астрономами своей эпохи. Так что весьма вероятно, что и наши представления о пространстве Вселенной лет через сто покажутся столь же наивными.

Масштабы времени в астрономии еще более своеобразны. Трудно представить, что в истории Вселенной были эпохи, когда весь мир до неузнаваемости изменялся за безумно малые доли секунды, а затем оставался почти неизменным миллиарды лет.

Вот краткая история Вселенной.

### 1.3. Прошлое и будущее нашего мира

П р о ш л о е

**Эпоха инфляции** ( $0-10^{-32}$  с). В результате Большого взрыва родилась наша Вселенная. Произошло ее стремительное расширение (инфляция).

**Эпоха рождения сил** ( $10^{-32}-10^{-12}$  с). Из первоначально единого взаимодействия сначала выделилось сильное ядерное, а затем электрослабое распалось на электромагнитную и слабую ядерную силы.

**Эпоха рождения элементарных частиц** ( $10^{-12}-1$  с). Она объединяет в себе эпоху кварков ( $10^{-12}-10^{-6}$  с), когда пространство было заполнено кварк-глюонной плазмой, и эпоху адронов ( $10^{-6}-1$  с), когда рождались протоны и нейтроны, а также антипротоны и антинейтроны. В конце этой эпохи большая их часть аннигилировала, а оставшиеся протоны и нейтроны (которых оказалось чуть больше, чем античастиц) входят сейчас в ядра химических элементов. Тогда же Вселенная стала прозрачной для нейтрино, которые с того момента свободно распространяются в пространстве; если мы научимся их реги-

стрировать, то узнаем, что было во Вселенной через 1 секунду после ее рождения.

**Эпоха лептонов** (1–10 с). В это время температура еще настолько высока, что активно рождаются и аннигилируют лептоны и антилептоны (в основном электроны и позитроны). Именно в них в это время заключена основная масса Вселенной. В конце этой эпохи остаются только электроны в небольшом количестве. Далее в течение многих тысячелетий по плотности энергии во Вселенной доминирует излучение — кванты, родившиеся при аннигиляции частиц и античастиц.

**Эпоха нуклеосинтеза** (3–20 мин). Происходят термоядерные реакции с участием протонов и нейтронов: образуются легкие элементы — дейтерий, гелий, литий. Сложившийся тогда химический состав вещества Вселенной (около 75% водорода и 25% гелия по массе), по сути, сохранился до наших дней; звездный нуклеосинтез добавил к нему лишь около 1% более тяжелых элементов.

**Эпоха остывания и зарождения структуры** (до  $10^8$  лет). Почти однородная плазма, пронизанная излучением, расширяется и остывает. При этом плотность излучения падает быстрее плотности вещества (атомных ядер), и при возрасте Вселенной около 70 тыс. лет они сравниваются. Эра доминирования излучения заканчивается. Но вещество все еще ионизовано, оно активно взаимодействует с фотонами, давление которых делает вещество упругим, «не поддающимся» гравитации. Однако во Вселенной есть и другое, небарионное, вещество, которого в несколько раз больше. Это так называемое темное вещество, или темная материя. Природа его неизвестна, но мы знаем, что это вещество не взаимодействует с излучением и подчиняется только гравитации. В целом оно расширяется так же, как все остальные компоненты Вселенной, однако возникшие в период инфляции малые флуктуации плотности постепенно усиливаются под действием гравитации именно в темном веществе, не обладающем упругостью. Вселенная становится все менее и менее однородной: в ней возникают области с большей и меньшей плотностью темного вещества. Но обычное, барионное, вещество пока сохраняет высокую степень однородности.

**Эпоха рекомбинации** (200–400 тыс. лет). Вселенная расширяется, вещество и излучение остывают. Наконец космическая плазма охлаждается настолько, что происходит рекомбинация: электроны связываются с ядрами и образуются нейтральные атомы. У основного компонента барионного вещества — водорода — это происходит при температуре около 4000 К, у гелия — немного раньше. Когда с момен-

та Большого взрыва проходит около 350 тыс. лет (это соответствует красному смещению  $z \approx 1100$ ), ионизованное вещество становится нейтральным, а Вселенная становится прозрачной для излучения, которое «отделяется» от вещества. Сейчас мы регистрируем это излучение как «космическое микроволновое фоновое», короче – реликтовое излучение с температурой  $T = 2,725$  К. Именно оно демонстрирует нам эпоху рекомбинации. Чрезвычайно малые различия в температуре этого излучения, приходящего к Земле с разных направлений ( $\Delta T/T \approx 10^{-5}$ ), говорят о том, что и флуктуации плотности барионного вещества накануне той эпохи были столь же малы.

**Эпоха тьмы** (1 млн – 150 млн лет). Остывая, барионное вещество перестает излучать свет и постепенно становится невидимым, подобно темной материи. Для глаз человека Вселенная погружается во тьму, но именно в эту эпоху она приобретает структуру: нейтральный газ, потеряв упругость, которую ранее ему обеспечивало излучение, начинает подчиняться гравитации темной материи, которая к тому моменту уже далеко не так однородна. В ней неоднородность плотности уже усилилась примерно до 1%. Темная материя начинает распадаться на отдельные волокна и облака, к которым стягивается и барионное вещество. Постепенно барионное вещество становится даже более неоднородным, чем темная материя. Причина в том, что при гравитационном сжатии любое вещество не только уплотняется, но и нагревается, отчего давление в нем растет, и это препятствует сжатию. Однако обычное вещество, в отличие от темной материи, может испускать электромагнитное излучение; при этом оно охлаждается и легче поддается гравитационному сжатию. А у темной материи такой возможности нет.

**Эпоха реионизации** (150 млн – 1 млрд лет). Так, в полной темноте (хотя инфракрасное излучение, конечно, присутствовало, но мы бы его не увидели), формируются первые, сравнительно небольшие, галактики, а в них рождаются первые, весьма крупные, звезды и, возможно, квазары. Их мощное излучение разогревает окружающий газ, и он вновь становится ионизованным. Этот период в истории Вселенной так и называют – эпоха реионизации, т. е. повторной ионизации. С той поры и до наших дней барионное вещество Вселенной в основном находится в ионизованной форме.

**Этапы спокойной эволюции** (1–14 млрд лет).

4 млрд лет – максимальная интенсивность формирования звезд. В их недрах образуются тяжелые элементы. Рождаются первые планетные системы. Формируются крупные скопления галактик.

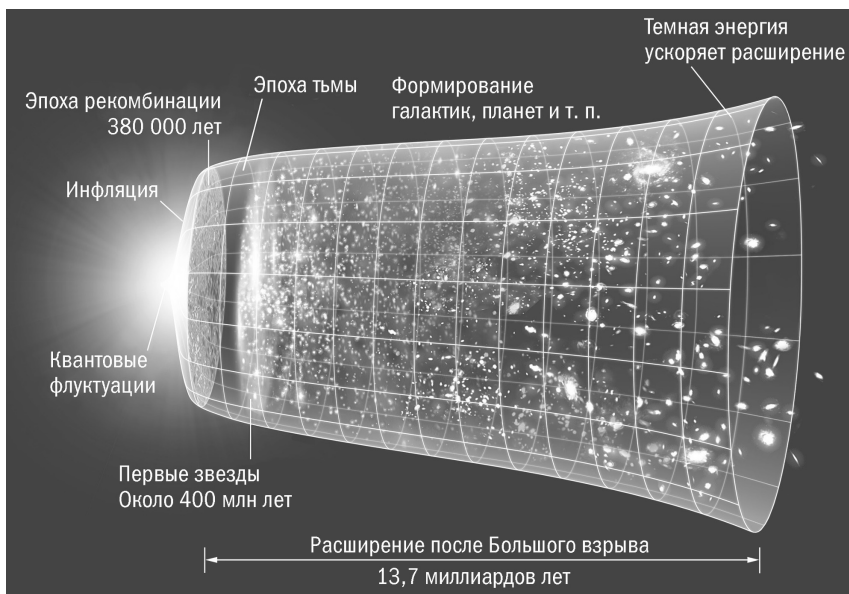


Рис. 1.2. Прошлое Вселенной. Рисунок: NASA/WMAP Science Team.

8 млрд лет – в масштабах скоплений галактик всемирное отталкивание (темная энергия) преодолевает гравитацию – процесс расширения Вселенной начинает ускоряться.

9 млрд лет – образуется Солнечная система, на Земле зарождается жизнь.

#### Н а с т о я щ е е

Современная эпоха (13,7 млрд лет). Практически все галактики и их скопления уже сформировались. Крупные галактики «поедают» мелкие. В некоторых галактиках еще продолжают формироваться звезды, хотя и не так интенсивно, как раньше.

#### Б у д у щ е е

15–20 млрд лет – Солнце будет светить все сильнее, и жизнь на Земле исчезнет. Солнце превратится в красный гигант: расширяясь, оно поглотит Меркурий и Венеру, а Земля в это время потеряет атмосферу и воду. Поверхность Солнца приблизится к орбите Земли, и наша планета погрузится в солнечную плазму. Затем Солнце превратится в белый карлик: сожмется до размера планеты и постепенно остынет. Примерно тогда же Галактика столкнется с Туманностью Андромеды, но никаких катастрофических последствий это не вызовет.