

Г 87 **Громов А. Н.**
Вселенная. Вопросы больше, чем ответов / А. Н. Громов,
А. М. Малиновский. — М. : Эксмо, 2009. — 416 с. : ил. — (От-
крытия, которые потрясли мир).

ISBN 978-5-699-33793-4

Авторы книги знакомят читателей с самыми волнующими загадками современной астрономии — что такое черные дыры и нейтронные звезды? Откуда берутся гамма-всплески и как долго будет светить Солнце? Что произойдет, если астероид стокнетсся с Землей? На что похожа наша Галактика? Вопросы больше, чем ответов, но читатель сам может попытаться найти ответы с помощью главы, посвященной любительской астрономии.

УДК 524
ББК 22.632

Никакая часть настоящего издания ни в каких целях не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, если на это нет письменного разрешения ООО «Издательство «Эксмо».

ISBN 978-5-699-33793-4

© Громов А. Н., Малиновский А. М., 2009
© ООО «Издательство «Эксмо», 2009

СОДЕРЖАНИЕ

От авторов	5
Часть I. Чем и как изучают Вселенную	11
1. Астрономы — кто они?	12
2. Немного истории. Оптические инструменты	16
3. Крупнее! Еще крупнее!	26
4. Не только оптические	29
5. Кое-что о спектроскопии	38
Часть II. Ближайшие окрестности	41
1. Солнечная система и мы	42
2. Планеты, «клуб избранных»	49
3. Гиганты и спутники	71
4. Каменная мелюзга	87
5. Кометы и метеорные потоки	102
6. О возможности столкновения Земли с крупным космическим телом	116
Часть III. Мир звезд	129
1. Если звезды зажигают.....	130
2. Почему они светят?	138
3. Что такое звезда?	144
4. Звезда по имени Солнце	155
5. Они рождаются, стареют, умирают.....	171
6. Драматический финал, или в смерти — жизнь.....	194
Часть IV. Черные дыры	205
1. Знакомые незнакомцы	206
2. «У черных дыр нет волос»	209
3. И все-таки она светится!	214

4. Баскетбол или все же крикет?	218
5. Гамма-всплески	220
Часть V. Мир галактик	227
1. Острова вселенной	228
2. Эволюция галактик	238
3. Млечный Путь и наше место в нем	247
4. Местная группа	259
5. Активные галактики	270
6. Квазары	278
7. Скопления и сверхскопления галактик	287
Часть VI. Вселенная как она есть	299
1. Модель Эйнштейна	300
2. Модель Фридмана	311
3. Начало Вселенной	323
4. Ускорение	345
5. Краткая история Вселенной	351
6. «...В то время как великий океан истины расстилается передо мной неисследованным»	364
Часть VII. Любительская астрономия	379
1. Любители — кто они?	380
2. «Хочу телескоп — какой выбрать?»	386
3. «А может, построить телескоп самому?»	393
4. Организация наблюдений	399
5. Перспективы любительства	405
6. Астрономические мероприятия	408
Литература	413

ОТ АВТОРОВ

«Ясным вечером выйдите на улицу и взгляните на небо...» — так, или примерно так, начинались многие популярные книжки об астрономии, выпущенные в середине прошлого века. Времена, однако, меняются; к счастью или к несчастью — вопрос отдельный. Для любителей астрономии, пожалуй, к несчастью.

Выйдя ясным вечером или даже глубокой ночью на улицу, городской житель, наш современник, вряд ли сумеет насладиться «алмазной россыпью звезд», столь красочно описанной многими популяризаторами астрономии, начиная с Фламариона. Сквозь дымку, всегда висящую над городом и подсвеченную уличным освещением, усугубленным огнями реклам, с трудом пробивается свет лишь самых ярких звезд. И даже они выглядят невыразительно на грязно-рыжем ночном небе мегаполиса (рис. 1). Об «алмазной россыпи» нет и речи. Почти маниакальное стремление городских властей подсвечивать лучами мощных прожекторов основные архитектурные доминанты не лишено некоторого эстетического смысла, но иная эстетика — та, что дана нам изначально и бесплатно, эстетика звездного неба — теряется бесповоротно. Уже выросло поколение горожан, ни разу в жизни не видевших Млечный Путь. Разумеется, в деревнях и селах световое загрязнение (это вполне строгий термин) проявляется гораздо слабее, чем в мегаполисах, но все же проявляется и имеет тенденцию к росту. К тому же надо признать, что жизнь современного россиянина, особенно сельского жителя, мало располагает к любованию красотами неба...

Традиционные южные курорты немногим лучше. Небо, правда, там чернее и звезды ярче, вдобавок видны такие созвездия,

которые мы не можем наблюдать в средних широтах, не говоря уже о Севере, однако подсветка губит звездное небо и там. Недаром любители астрономии, выезжающие со своими телескопами в Крым или, допустим, на Канарские острова, избегают мест, пользующихся громкой курортной известностью, — там же ничего не увидишь!



Рис. 1. Европа ночью. Комбинация из 200 спутниковых снимков

В еще худшем, и притом гораздо худшем положении находятся астрономы-профессионалы. Из-за светового загрязнения давно уже невозможны серьезные работы в Пулковской обсерватории, некогда носившей гордое звание астрономической столицы мира, в Симеизской, в знаменитой обсерватории на горе Маунт-Вилсон (США), закрыта еще более знаменитая Гринвичская обсерватория (Великобритания), и так далее, и так далее... Список астрономических обсерваторий, годных теперь только для мониторинга искусственных спутников Земли да еще для развлечения туристов, удручающе велик. Настоящую битву пришлось выдержать астрономам из обсерватории им. Уиппла (США, Аризона) в суде со строительной компанией, намеревавшейся возвести жилой поселок в окрестностях обсерватории, после чего многие

работы на ней стали бы невозможны. Судебный процесс астрономы выиграли, но это уникальный случай.

Что же остается для наблюдательной астрономии? Космос еще места, лежащие в горах и притом как можно дальше от населенных пунктов. Хорошие примеры: целый ряд крупных телескопов на вулканической вершине Мауна-Кеа на Гавайских островах и система из четырех телескопов VLT (Very Large Telescope) в чилийском высокогорье, а это местечко такого сорта, что в нем никому не придет в голову строить города и поселки с уличными фонарями.

Не подумайте, что мы призываем погрузить Землю в крошечную ночную тьму. Между максимализмом и чувством меры существует огромная разница. И нам представляется, что большинство человечества определено лишено чувства меры...

«Отмеченное интеллектуальной слабостью, наше время отличается между тем необыкновенной категоричностью суждений», — меланхолично заметил как-то раз замечательный биохимик Эрвин Чаргафф. Любому человеку, увлеченному так или иначе наукой, совсем не обязательно профессиональному ученому, приходилось сталкиваться как с упомянутой слабостью, так и с категоричностью рядового обывателя. «Видел я вашу Луну в телескоп, а американского флага на ней почему-то не видел», — разочарованно утверждает один из них. (Признаемся по секрету, мы тоже. Из чего совершенно не следует, что американские астронавты не ходили по Луне ногами.) «А где же зеленые человечки?» — недоуменно вопрошает другой, увидев в окуляре оранжевую горошину Марса. Третий кричит от восторга, наблюдая полосы на Юпитере и кольца Сатурна, после чего, отдышавшись, выдает поистине бессмертную фразу: «Теперь я понимаю, что астрология — великая наука!»

Это не выдумки. Выдумать, говоря словами Ильфа и Петрова, можно и посмешнее.

Кстати об астрологии. Давно известно, что единственным эффективным методом познания является метод научный (в отличие, например, от религиозно-мистического). Столь же хорошо

известно, что утопающему свойственно хвататься за соломинку, а сон разума рождает чудовищ. Пользуясь в общем-то научным аппаратом (наблюдения, расчеты), астрология тем не менее лишена одного из важнейших атрибутов научности: принципиальной опровергаемости (фальсифицируемости) результатов, ибо предсказания даются нарочито расплывчато, а неблагоприятные свидетельства игнорируются. Человеку вообще свойственно иммунизировать (подгонять) имеющиеся данные под желаемый результат. Отсюда возникает иллюзия точности предсказаний. Можно провести забавный опыт: покажите своим друзьям гороскопы на 12 знаков Зодиака, не указывая, каким знакам они соответствуют, и предложите каждому выбрать «свой» — много ли будет совпадений?

Впрочем, диспут с пламенными приверженцами астрологии не входит в нашу задачу. В конце концов, вера, какова бы она ни была, есть категория совести, к науке отношения не имеющая, а астрологи — тоже люди и тоже кушать хотят. Мы даже готовы допустить, что не все из них сознательные жулики. Более того, мы относимся к астрологии с определенной долей уважения — ведь именно эта лженаука была предтечей и родительницей астрономии!

Равным образом, мы не желаем полемизировать с адептами той или иной религии. Совершенно очевидно, что существование Высшей Силы, обладающей свойствами, описанными в канонах любой из религий, невозможно ни подтвердить, ни опровергнуть методами науки. Авторы этой книги — агностики, они не любят принимать ничего на веру и довольно спокойно относятся к тому, что во Вселенной существует много такого, чего они никогда не узнают, несмотря ни на какие усилия. Знание бесконечно, чего никак не скажешь о человеческой жизни, а безоглядное доверие к простым объяснениям есть признак незрелого ума. Отметим лишь, что человек, хотя бы приблизительно представляющий себе, насколько велика и разнообразна Вселенная и сколь малое место занимает в ней человечество вообще и каждый человеческий индивид в отдельности, может быть верующим, но ему при-

дется потрудиться, чтобы уверовать в такого бога, для которого имеют хоть какое-то значение молитвы и обряды. Стоит ли удивляться тому, что астрономия исчезает из школьных программ? Мыслящие люди необходимы для функционирования государства, но чересчур большое их количество опасно для него же. Пример Советского Союза, воспитавшего неизвестно для какой надобности армию интеллигентов и полуинтеллигентов, еще свеж.

Тем не менее мы уверены, что пока не все так плохо и что найдутся любознательные читатели (особенно молодые) с умом каким угодно, только не заскорузлым. Для них эта книга.

О чем в ней пойдет речь? О чем вообще можно поговорить на астрономические темы, оставаясь в границах научно-популярного уровня, после К. Фламариона, Б.А. Воронцова-Вельяминова и И.С. Шкловского? Разумеется, прежде всего о новых открытиях, сделанных в последние десятилетия, когда астрономия переживает небывалый взлет — увы, преимущественно не в России. Само собой, нам придется уделить некоторое внимание основным сведениям о космических объектах и существующих теориях, поскольку с нашей стороны было бы наивно предполагать, что все читатели этой книги проходили «астрономический ликбез». Конечно, мы не начнем с азов, известных по идее всякому культурному человеку, и не станем объяснять разницу между планетой и плацентой. И тем не менее надеемся, что книга будет понятна широкому кругу читателей.

Один из авторов этой книги — астрофизик, другой — писатель-фантаст, давно и прочно увлеченный астрономией. Не стоит этого смущаться. Вне своей основной специальности фантасты, как правило, очень здравомыслящие люди, а главное, не пытаются выдать свои выдумки за правду. К тому же фантастические допущения, имеющие целью растормошить воображение читателя, здесь просто не нужны — Вселенная сама по себе настолько удивительна, что легко справится с данной задачей при помощи фактов, а не вымысла. Если все же по ходу изложения нам захочется пофантазировать, мы прямо об этом скажем.

Классические разделы астрономии, многократно освещенные в книгах популяризаторов этой науки, мы постараемся «пробежать» побыстрее, насколько это вообще возможно без потери целостности картины. Мы также не намерены утомлять читателя формулами и обещаем использовать их лишь в тех местах, где обойтись без них, по нашему мнению, невозможно.

В первой, вводной, части этой книги речь пойдет о методах и инструментах, применяемых для изучения Вселенной; во второй — о Солнечной системе и многообразии ее объектов, в третьей — о мире звезд и межзвездной материи, в четвертой — о черных дырах, в пятой — о мире галактик. В шестой части мы поговорим о строении и эволюции нашей Вселенной. Наконец, седьмая и последняя часть будет посвящена несколько неожиданной теме: любительской астрономии. Нам кажется, что теоретический, так сказать, блок материала не будет вполне полноценным без части практической, хотя бы на уровне, доступном в принципе каждому, кто того пожелает. Астрономия — удел не только странных людей «не от мира сего», засевших в своих башнях. С популярностью футбола ей никогда не сравниться, но все же это довольно массовое увлечение. Вы даже можете внести свой вклад в науку, хотя, конечно, никто от вас этого не потребует. Но даже если у вас нет астрономического инструмента — просто выйдите однажды ясным вечером... ну да, вы поняли. Найдите ясное небо, где бы оно ни было, и посмотрите на Вселенную. Она того стоит.

ЧАСТЬ I

**ЧЕМ И КАК ИЗУЧАЮТ
ВСЕЛЕННУЮ**

1. АСТРОНОМЫ — КТО ОНИ?

Скажем сразу: образ астронома как человека «не от мира сего» (рассеянность, блуждающий взгляд, небрежность в одежде и прочие атрибуты чудака), сонного днем, а ночами увлеченно разглядывающего небо в телескоп, годится теперь разве что для детского мультфильма. В этом образе неверно практически все. Начнем с того, что, вопреки распространенному заблуждению, современным астрономам весьма редко приходится смотреть в окуляр телескопа. Человеческий глаз — вполне приличный оптический прибор для рассматривания земных объектов в дневное время, но для астрономических целей он попросту слаб, — не хватает ни чувствительности, ни разрешающей способности. Мало время накопления — от 0,1 с при ярком свете до 6 с в темноте. Глаз содержит порядка 100 млн светочувствительных элементов и лишь миллион нервных волокон, идущих от глаза в мозг. По-видимому, первичная обработка изображения происходит уже на уровне сетчатки, и можно не сомневаться: осуществляется она так, чтобы удовлетворить земные потребности человека. Глаз не предназначен природой для считывания астрономической информации. В самом деле, разве выживание обезьяны зависит от наблюдения или ненаблюдения ею слабых звезд?

Интересно сравнить зарисовку Крабовидной туманности, сделанную лордом Россом в 1844 г. (рис. 2), с фотографией той же туманности (рис. 3, цв. вклейка). Несмотря на то что в распоряжении лорда Росса находились крупнейшие телескопы того времени, разница настолько показательна, что может возникнуть вопрос: неужели речь идет об одной и той же туманности?

Уже в конце XIX века глаз астронома уступил место более совершенному светоприемнику — фотографической пластинке. Все более совершенствуясь, светочувствительные эмульсии достигли, по-видимому, своего «потолка» и ныне заменены еще более совершенными электронными средствами фиксации

изображения — ПЗС-матрицами (ПЗС — прибор с зарядовой связью). Профессиональные ПЗС-матрицы имеют высокое разрешение, охлаждаются до весьма низких температур с целью уменьшения теплового шума и по всем параметрам превосходят фотопластинки, не говоря уже о глазе наблюдателя. Астроному просто незачем просиживать ночи напролет у телескопа, кутаясь в тулуп и примерзая глазом к окуляру холодными ночами... К тому же наблюдатель в башне телескопа является источником воздушных тепловых токов — несильных, но иногда достаточных, чтобы испортить изображение.

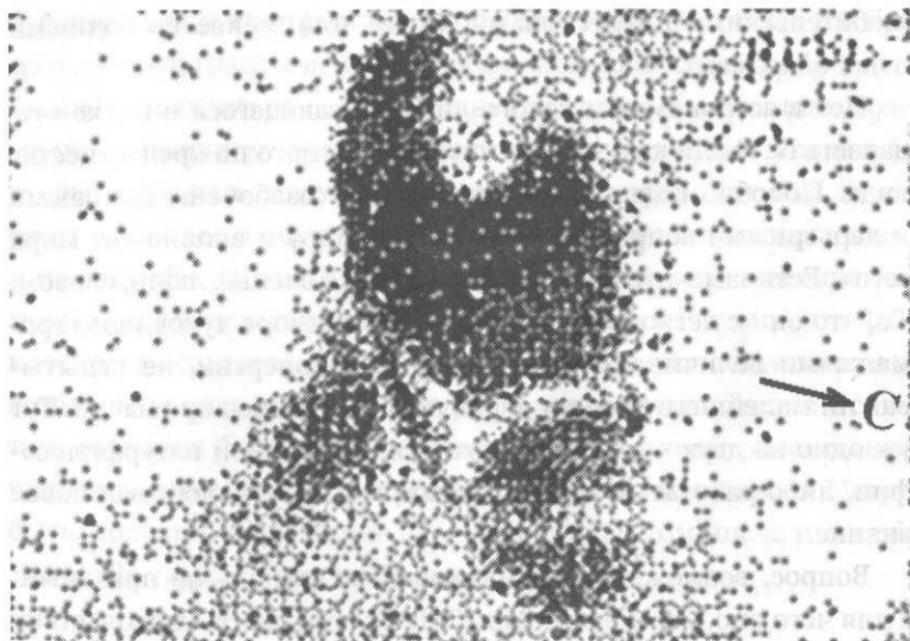


Рис. 2. Крабовидная туманность. Зарисовка лорда Росса

Медленно вращается купол башни, следуя за звездным небом, неслышно поворачивается труба телескопа, идет фотографирование (или спектрографирование) небесных объектов... а наблюдателя-то под куполом и нет! Инструмент наводится на объект дистанционно, изображения считываются с ПЗС-матрицы сразу на компьютер. Астроном занят обработкой результатов, не отвлекаясь на рутину.

Есть еще один важный аспект: любимым мало-мальски крупным инструментом пользуется не один человек, а целый коллектив астрономов, и у каждой рабочей группы — своя тема. Соответственно, имеется график наблюдений, составленный на месяцы (иногда и на годы) вперед. Не успел получить возжеленные результаты в отведенное время или не смог из-за погоды — смиришься, уступи место, жди следующего случая понаблюдать интересующий объект. В самом худшем положении находятся наблюдатели кратковременных непредсказуемых явлений вроде оптического послесвечения от гамма-вспышек — этим наблюдателям приходится довольствоваться небольшими (подчас даже любительскими!) телескопами, более или менее свободными в любой момент.

Нет в астрономах и какого-либо бросающегося в глаза «чуждества». Люди как люди — интеллигентного по преимуществу вида. Подобно большинству людей, они озабочены бытовыми и карьерными вопросами, не чужды юмору и вполне «от мира сего». Есть замечательные люди, есть и не очень... люди, словом. То, что они с легкостью оперируют в разговоре чудовищно громадными величинами расстояний, масс, энергии, не испытывая ни малейшего трепета перед ними, — вопрос привычки. Тут уж одно из двух — либо предаваться бесплодной натурфилософии, либо работать с теми числами, какие есть, добывая новое знание.

Вопрос, возможно, неожиданный, но отнюдь не праздный: а для чего оно, это новое знание? Чтобы доставить удовольствие людям, которым без него жизнь не в жизнь? Или чтобы пугать обывателя прогнозами столкновения астероида с Землей? Ведь если разобраться, то наши знания о Вселенной, пока еще ничтожные в сравнении с ее масштабами и сложностью, все же превосходят текущие потребности человеческой цивилизации.

Ответ прост: люди иначе не могут (мы говорим о людях, а не о «двуногих без перьев и с плоскими ногтями» по определению Платона). Собаке для счастья достаточно поковылять на Луну — человеку надо знать, что же она такое, как появилась и какой в ней

смысл. Почему светит Солнце? Что такое звезды? Из чего возникла Земля? Есть ли у Вселенной начало и конец? Когда люди перестанут задавать себе подобные вопросы, останется лишь диагностировать начало конца цивилизации. Замена любознательности «посконным» здравым смыслом, науки — мистикой, а творчества — «креативом» погубит человечество так же верно, как ядерная война, хотя и не так скоро.

Надо признать: наука скомпрометировала себя в глазах обывателя, создав многое из того, без чего человечество прекрасно обошлось бы. Более того, она продолжает компрометировать себя, поскольку получает гранты, выделяемые не только государством, но и крупными корпорациями. Наивно было бы думать, что эти гранты выделяются из чистого альтруизма...

Любишь кататься — люби и саночки возить. В настоящее время наука слишком зависит от частных материальных вливаний, чтобы сохранить статус независимого эксперта. Тот или иной ответ на вопрос о роли человека в глобальном потеплении климата или об опасности (либо отсутствии таковой) генетически модифицированных продуктов питания зависит от того, кто финансирует исследования. К счастью, в этом смысле положение в астрономии пока еще относительно благополучное, если не считать проектов борьбы с пресловутой астероидной опасностью, поэтому сознательных подтасовок сравнительно немного. Могут быть, конечно, «искренние заблуждения», в том числе и в этой книге. Но уж, как говорится, чем богаты...

2. НЕМНОГО ИСТОРИИ. ОПТИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Исключая потребности культа и астрологии (а в древности даже медицина не считалась без нее полноценной!), накопление знаний наших предков о звездном небе стимулировалось по меньшей мере еще двумя факторами: очевидной пользой точного календаря и навигацией, в первую очередь морской. Известна также легенда, согласно которой Фалес Милетский, один из семи греческих мудрецов, предсказал солнечное затмение, которое и случилось как раз во время битвы между армиями двух греческих полисов. Приняв совет Фалеса не вступать в войну ни на чьей стороне, милетяне без труда пленили обе охваченные ужасом армии. Несмотря на явную сказочность этой истории, в ней содержится очевидный намек: и от астрономии бывает польза (ну, во всяком случае, для граждан Милета).

Задолго до Фалеса предсказывать солнечные (также и лунные) затмения умели египетские жрецы, а еще ранее — халдейские. Как они умудрялись это делать?

Им помогал сарос — промежуток времени, равный 18 годам 11 с третью суткам, по прошествии которого затмения Луны и Солнца повторяются в прежнем порядке. Соответствующие затмения в каждом саросе наступают при одинаковом удалении Луны от Земли и имеют ту же длительность. Более того: через тройной сарос центральная полоса затмения проходит довольно близко от тех мест, где она проходила 56 лет 34 дня назад. Через следующий тройной сарос она вновь сместится на ту же относительно небольшую «поправку». Достаточно знать ее величину, вести учет времени — и предсказание дня, часа и места затмения не вызовет особых трудностей. Гораздо труднее пронаблюдать все затмения в саросе (что невозможно

в одной точке земного шара за один сарос) и уловить закономерность повторения затмений. На это могли уйти столетия, но древние жрецы, не в пример людям нашей эпохи, никуда не торопились.

С навигацией было одновременно проще и сложнее. Компаса античные моряки не знали, приходилось ориентироваться по звездам. Географическая широта места определялась довольно точно, долгота — очень приближенно. И все же такая навигация была намного лучше, чем никакая. Кормчий, не знающий рисунков созвездий, оказался бы для мореходов древности таким же посмешищем, как для нас математик, не знающий четырех действий арифметики.

Звезды считались неподвижными — за исключением пяти. Их называли планетами, что переводится как «блуждающие» или попросту «бродяги». Они не стояли на месте, а выписывали какие-то странные зигзаги и петли. Обожествление данных небесных тел (Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн — имена древнеримских богов) ничего не объясняло. Не умея понять физическую природу планет, наиболее пытливые умы древности стали изучать хотя бы их движение.

Древнегреческий астроном Гиппарх составил первый звездный каталог. Угломерные инструменты (типа астролябии) были уже известны. С целью увеличить точность измерений астрономы стали увеличивать размеры инструментов. В Средние века на Востоке их возводили из камня — в частности, такими инструментами пользовался в Хиве замечательный астроном и неудачливый правитель Улугбек, последний, по-видимому, великий ученый средневекового мусульманского мира. Каменные инструменты огромных размеров строились в Индии даже в XVIII веке. Некоторые из них сохранились в неприкосновенности (рис. 4) и до сих пор удивляют туристов.

Великий датчанин Тихо Браге (1546–1601) пользовался куда более скромными инструментами — и тем не менее точность его определения координат звезд и планет была поистине феноменальной для того времени: почти на два порядка выше, чем

у предшественников. На основании этих наблюдений Иоганн Кеплер (1571–1630) вывел три закона небесной механики, называемые ныне законами Кеплера, — правда, он не мог указать, какая сила движет планетами, и предполагал наличие у каждой планеты специального ангела, ответственного за ее движение. История науки полна таких курьезов.



Рис. 4. Каменные астрономические инструменты

Вопреки распространенному мифу, Галилео Галилей (1564–1642) не изобретал телескопа. Узнав в 1609 году о том, что в Венецию попал экземпляр «голландской трубы», Галилей заинтересовался ею, и ему потребовались всего одни сутки, чтобы догадаться об ее устройстве и даже построить свой первый телескоп со всего-навсего трехкратным увеличением. Голландские же мастера Иоганн Липперсгей, Захарий Янсен и Якоб Метциус долго вели между собой спор о приоритете, пока наконец не выяснилось существование некоей итальянской зрительной трубы 1590 года, по образцу которой были выполнены голландские модели. Таким образом, «следы» первого телескопа вернулись в Италию, но нельзя с полной достоверностью утверждать, что этот телескоп был первым. Оптическая схема его настолько проста, что могла быть реализована в глубокой древности, причем неоднократно и независимо. Еще древние римляне корректировали свою близорукость или дальнозоркость линзами из хрусталя или даже изумруда. Они же освоили производство довольно прозрачного стекла. Ничуть не отставал Восток, не испытавший в раннем Средневековье варваризации, отбросившей культуру Европы на столетия назад. В конце концов примитивная зрительная трубка в руках мавра из кинофильма «Робин Гуд — принц воров» может оказаться не такой уж фантастикой...

Но, как бы то ни было, Галилей первым направил зрительную трубу на небо — или, во всяком случае, оставил первые дошедшие до нас записи о телескопических наблюдениях небесных светил, что, в общем-то, сводится к тому же. Крупнейший из построенных им инструментов имел объектив диаметром 4,5 см и давал 30-кратное увеличение. Сделанные Галилеем открытия (лунные горы, спутники Юпитера, пятна на Солнце, звездная природа Млечного Пути) поразили современников, вдохновив многочисленных последователей. С этого момента астрономия, занимавшаяся прежде изучением движения небесных тел, перешла к изучению их природы. Прежние умозрительные построения стало возможно проверить наблюдениями, если не сейчас, то в будущем.

Телескоп Галилея был построен по принципу трубки театрального бинокля — объектив из несильной положительной линзы собирал свет в фокус, перед которым в качестве окуляра была установлена короткофокусная отрицательная (рассеивающая) линза. Поле зрения такого телескопа было крайне мало, и вскоре Кеплер предложил заменить отрицательную окулярную линзу положительной, установленной за фокусом. Изображение получилось перевернутым, но астрономов это обстоятельство не смутило и не смущает до сих пор. В космосе нет ни верха, ни низа, а привычка рассматривать перевернутое изображение без чувства дискомфорта приобретает очень быстро.

Линзовые телескопы называются рефракторами. Как вам должно быть известно из курса физики для средней школы, показатель преломления стекла для световых волн разной длины различен: синие лучи преломляются сильнее красных. Для наблюдения монохроматического источника света в этом нет большой беды — проблема, однако, состоит в том, что космические источники посылают нам целый спектр всевозможных длин волн. В результате свет звезды фокусируется в радужный кружок вместо точки, а изображения протяженных объектов приобретают неприятный цветной ореол — следствие хроматической аберрации. Последняя чрезвычайно вредна для астрономических наблюдений — в частности, благодаря хроматизму своей трубы (вкуче с посредственным качеством линз) Галилей не сумел открыть кольца Сатурна, разглядев лишь какие-то «придатки» по бокам планетного диска и составив анаграмму: «Высочайшую планету тройною наблюдал».

В рефракторах, особенно однолинзовых, хроматизм неустрашим в принципе. На первых порах относительно разумный выход состоял лишь в удлинении трубы. Телескоп Яна Гевелия при очень скромном однолинзовом объективе диаметром всего 150 мм имел фокусное расстояние в 49 м! Ни о какой трубе не могло идти и речи — объектив помещался на верхушке высокой мачты и поворачивался при помощи длинных веревок, а наблю-

датель с окуляром в руках «ловил» изображение небесного тела. Как ни удивительно, при помощи таких инструментов в XVII веке были получены выдающиеся результаты.

Впоследствии, когда развитие оптического стекловарения позволило создавать вполне удовлетворительное стекло с заданными свойствами, появился ахроматический рефрактор. Его объектив состоит из двух линз — положительной и отрицательной, выполненных из разных сортов стекла с различными показателями преломления. При этом хроматизм линз взаимно уничтожается — к сожалению, не полностью. Тем не менее ахроматические рефракторы уже не столь чудовищно длинны, как их однолинзовые предшественники. Нормальным считается относительное фокусное расстояние (отношение диаметра объектива к его фокусному расстоянию), равное 1:15 или даже немного больше.

Однако еще в 1616 году французский математик Н. Цукки предложил заменить собирающую линзу объектива на вогнутое зеркало. В 1663 году Джеймс Грегори придумал схему зеркального телескопа-рефлектора, названную впоследствии его именем. В 1668 году Исаак Ньютон изготовил зеркальный телескоп своей собственной системы, а в 1672 году была предложена оптическая система Кассегрена. Последние две системы остаются популярными и в наши дни, а модификация телескопа Кассегрена, известная под именем системы Ричи-Кретьена, оказалась настолько удачной, что крупнейшие современные телескопы, например два телескопа им. Кека с 9,8-м зеркалом каждый, построены именно по этой оптической схеме (рис. 5).

В телескопе Ньютона главное зеркало параболическое (при малом относительном отверстии годится и сфера), а вторичное, отбрасывающее пучок света за пределы трубы, — плоское. В телескопе Грегори вторичное зеркало имеет форму вогнутого эллипсоида вращения, а в телескопе Кассегрена — выпуклого гиперболоида. В телескопе Ричи-Кретьена оба зеркала — гиперболические.

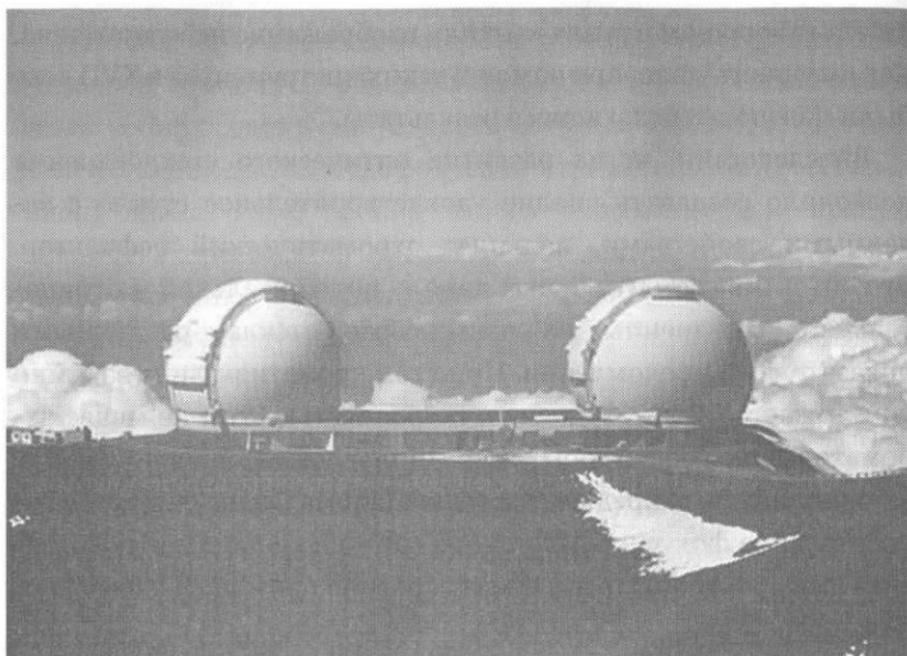


Рис. 5. Башни телескопов-близнецов «Кек» и «Кек-2»

Сейчас для зеркал используют стекло или, еще лучше, ситалл, на оптически точную поверхность которого напыляют тонкий слой алюминия. Но так было не всегда. Технология напыления и даже более ранняя технология химического серебрения зеркал появились относительно (по сравнению с веками истории наблюдательной астрономии) недавно. Первоначально зеркала изготавливались из особой астрономической бронзы. Рецепт ее держался мастерами в секрете. Выдающийся астроном и телескопостроитель Уильям Гершель (1738–1822) произвел сотни опытов, прежде чем выплавил подходящую бронзу, пригодную для шлифовки и полировки астрономических зеркал. Крупнейший из построенных им телескопов был для того времени настоящим монстром: диаметр зеркала 1,25 м, фокусное расстояние 12 м, масса главного зеркала свыше 1,2 т.

А что же рефракторы? Наибольший из них имеет диаметр объектива 102 см. «Звездный час» рефракторов пришелся на конец XIX века, после чего они «сдали» нишу крупнейших

инструментов рефлекторам. Уж очень рефракторы длинны! Пулковский рефрактор при 75-см объективе имеет длину около 13 м. При объективе диаметром 5 м, вполне рядовом для крупных современных рефлекторов, рефрактор имел бы длину трубы под 100 м! Нечего и говорить, что купол для такого телескопа, не говоря уже о монтировке, никогда не будет построен. Кроме того, прогиб стекла под собственным весом превысил бы допустимую величину, а скомпенсировать его оказалось бы технически невозможно.

Кстати о прогибах. Идеальная, с точки зрения астронома, поверхность оптики должна иметь уровень возможных отклонений не более $1/8$ длины световой волны (критерий Рэлея). Для волны длиной 555 нм, соответствующей максимальной чувствительности сетчатки человеческого глаза, отклонение реальной оптической поверхности от идеальной не должно превышать 0,07 мкм. Для телескопов, работающих в ультрафиолетовом диапазоне, допуск еще строже. Получить поверхность такой точности само по себе не просто, однако надо еще добиться, чтобы прогиб главного зеркала телескопа под собственным весом укладывался в эту величину. Приходится конструировать схемы его «разгрузки» на множество точек. Даже скромное 150-мм зеркало любительского телескопа для разгрузки на 3 равноудаленные от центра точки должно иметь толщину не менее 20 мм — в противном случае придется использовать разгрузку на 6 или 9 точек. Что уж говорить о многотонных крупных зеркалах! В 6-м 40-т зеркале БТА со временем проявился еще один неприятнейший дефект: изменение фигуры зеркала из-за текучести стекла, которое, как известно, материал аморфный и может «течь», подобно жидкости, особенно под действием больших нагрузок. В крупных телескопах более поздней постройки применяют значительно более легкие и тонкие зеркала, лежащие на подвижных штырях, управляемых компьютером (адаптивная оптика). Самые же крупные телескопы, уже существующие или только проектируемые, нередко имеют составные зеркала по типу пчелиных сот

из десятков сравнительно небольших шестиугольных зеркал, причем вся система управляется, естественно, тоже компьютером. Такое техническое решение снимает целый ряд проблем, включая финансовую: дело в том, что стоимость изготовления сплошного зеркала пропорциональна примерно кубу его диаметра...

Нельзя ли, однако, соединить достоинства рефракторов (отсутствие вредных токов воздуха в закрытой трубе) и рефлекторов (большая светосила) в одной оптической системе, а заодно побороться с искажениями света (абберациями) в оптических системах, вынуждающими ограничивать поле зрения телескопов? Первым эту задачу решил Шмидт, разместивший в центре кривизны главного сферического зеркала диафрагму с корректирующей пластинкой сложной формы. Получилась система с большим полем зрения, светосильная и очень удобная в качестве астрографа (фотографического телескопа). Знаменитый Паломарский атлас неба представляет собой набор фотопластинок, полученных на обсерватории Маунт-Паломар с помощью 124-см телескопа системы Шмидта. Крупнейший из ныне существующих телескопов Шмидта имеет апертуру¹ 1,34 м.

В 1941 году Д.Д. Максудов предложил схему менискового телескопа, в котором абберации главного зеркала компенсируются выпукло-вогнутым стеклом — мениском, и вскоре построил первый телескоп такого рода — Грегори с менисковым корректором. При этом удалось чрезвычайно уменьшить длину инструмента, а качество изображения только возросло. Вносимый мениском хроматизм ничтожен, а прочие абберации (кома, астигматизм, кривизна поля, дисторсия) скомпенсированы при правильном расчете схемы вполне удовлет-

¹ То же, что входное отверстие телескопа. В простых системах апертура равна диаметру объектива (линзового у рефракторов и зеркального у рефлекторов); в катадиоптрических системах Шмидта и Максудова апертура равна диаметру корректирующей пластинки и мениска соответственно. — *Примеч. авт.*

ворительно. Однако более перспективной оказалась система Максудова–Кассегрена. В настоящее время построено очень много телескопов Шмидта и Максудова различных модификаций.

Желание сделать телескоп более технологичным в производстве, с одной стороны, и еще больше уменьшить аберрации — с другой, привело к созданию систем Аргунова, Волосова, Клевцова, Чуриловского, Рихтера–Слефогта и др. Вообще число возможных телескопических систем очень велико, и любой оптик-расчетчик может увековечить свое имя, предложив совершенно новую схему.

3. КРУПНЕЕ! ЕЩЕ КРУПНЕЕ!

Часто в магазинах, торгующих среди прочей оптики телескопами, можно слышать вопрос покупателя: «А каково увеличение этого телескопа?» Нет ничего ошибочнее такого вопроса — по нему торговцы моментально идентифицируют неспециалиста, а дальше уж дело зависит от степени их добросовестности. Вопрос этот прежде всего лишен смысла: ведь увеличение телескопа равно частному от деления фокусного расстояния объектива¹ на фокусное расстояние окуляра. Окуляры у телескопов сменные — короткофокусные называются сильными, а длиннофокусные — слабыми окулярами. Смена окуляра меняет увеличение всей оптической системы.

Существует, правда, понятие минимального и максимального *полезного* увеличения. Минимальное полезное увеличение приблизительно равно апертуре телескопа, выраженной в миллиметрах, деленной на 6. Максимальное полезное увеличение примерно равно апертуре, умноженной на 1,5–2. Следовательно, если вы увидите в продаже телескоп с объективом 100-мм диаметра и надписью «увеличение до 400 крат», не сомневайтесь — вас пытаются обмануть. «Разогнать» увеличение сверх максимального полезного в принципе нетрудно, но смысла в этом нет ни малейшего: масштабы изображения увеличатся, но никаких новых подробностей рассмотреть не удастся.

Какие характеристики оптической системы телескопа следует считать важнейшими? Их две: проникающая способность и предельное разрешение (совсем как у радиоприемника — чувствительность и избирательность). И то и другое определяется апертурой телескопа. Чем больше света соберет объектив телескопа, тем выше будет его чувствительность (именно поэтому наши зрачки в темноте расширяются). Что до разрешающей способности, то любому фотографу известно: если сильно задиафрагмировать объектив, уменьшив тем самым его апертуру,

¹ Или эквивалентного фокусного расстояния для систем Кассегрена и Грегори. — *Примеч. авт.*

сразу «полезет зерно». Зависимость разрешающей способности от апертуры здесь очень наглядна.

Итак, чем телескоп крупнее, тем он лучше? Да, но с рядом оговорок. Великолепная оптическая система, установленная на негодной монтировке, превратит телескоп в груды бесполезного металла и стекла. Колоссальное значение имеет место установки крупного инструмента. О световом загрязнении мы уже говорили, но и его отсутствие еще не решает всех проблем.

Атмосфера Земли, благодаря которой мы дышим и существуем, — страшный враг астронома. Она поглощает и рассеивает свет, в ней блуждают турбулентные потоки, портящие изображение. Диск небесного светила (реальный для планеты и фиктивный для звезды) размазывается в некую «медузу», пребывающую в беспрестанном раздражающем колыхании. Серьезные наблюдения в таких условиях невозможны.

Чем крупнее телескоп, тем бóльшие требования предъявляет он к астроклимату. Чтобы выжать из инструмента максимум того, на что он способен, площадку для строительства обсерватории приходится выбирать на высоте по меньшей мере 1500–2000 м над уровнем моря (лучше — больше), причем в таких местах, где атмосферная турбуленция минимальна. Например, плохое решение — построить башню большого телескопа на южном склоне горы, если в данной местности преобладают ветры с севера.

Возможно, это звучит издевательски, но превосходным астроклиматом отличаются центральные районы Антарктиды. На американской антарктической станции Амундсен-Скотт, находящейся на Южном географическом полюсе, имеется телескоп средних размеров — «всего» с полутораметровым зеркалом. К сожалению, он может обозревать лишь южное полушарие неба.

Этого недостатка лишены инструменты, установленные ближе к экватору, например уже упоминавшиеся VLT (Чили) и им. Кека (Мауна-Кеа), 8,2-м японский «Субару» (там же), 9,1-м телескоп им. Хобби-Эберли с составным главным зеркалом (Техас) и др. Некогда крупнейший в мире российский 6-м телескоп БТА теперь, увы, находится во втором десятке среди крупнейших оптических инструментов.

Постройка столь крупных наземных инструментов стала альтернативой Космическому телескопу им. Хаббла (рис. 6) с зеркалом 2,4 м. Выведенный на орбиту в 1990 г. и вышедший на полную «мощность» в 1994 году после устранения дефектов, этот инструмент за долгие годы работы вне атмосферы, так мешающей наблюдениям, показал выдающиеся результаты. Правда, и стоимость его, по мнению американцев, оказалась чересчур высока. В настоящее время на замену старичку «Хаббл» готовится космический телескоп им. Джеймса Уэбба с 7-м зеркалом.

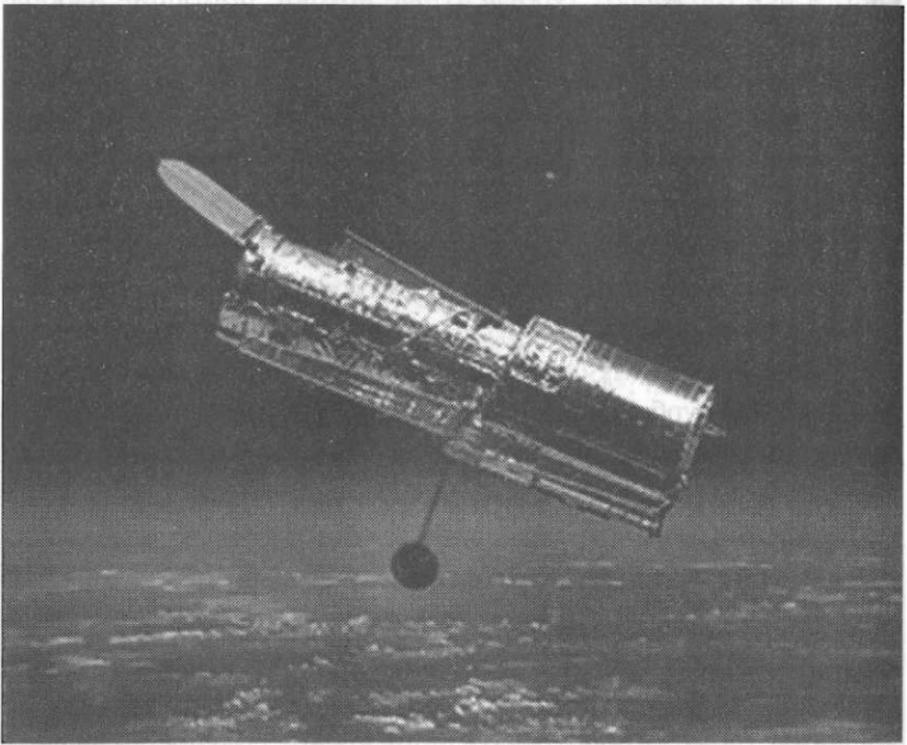


Рис. 6. Космический телескоп им. Хаббла

А что же на Земле? «Забьет» ли новый космический телескоп наземные инструменты по всем статьям? В этом нет уверенности. Всерьез обсуждается вопрос о постройке в Европе телескопа с 40-м зеркалом — разумеется, составным и адаптивным. И это еще паллиатив — существует проект 100-м телескопа!

4. НЕ ТОЛЬКО ОПТИЧЕСКИЕ

Во время немецкого «воздушного наступления» на Англию британцы, буквально «только что» создавшие и разместившие на юго-восточном побережье новейшие средства обнаружения самолетов противника — радиолокаторы, были озадачены. Каждое утро начиналось с ложной тревоги. В определенном положении приемной антенны экраны показывали сплошную засветку, как будто к Британии приближалась немецкая воздушная армада, чего на самом деле не было. «Винючник» паразитной засветки нашелся скоро — Солнце. То, что видимый свет составляет лишь часть спектра излучения нашего светила, было, разумеется, известно задолго до Второй мировой войны, но знать это в теории и обнаружить на практике — разные вещи.

Первыми радиоастрономами оказались, пусть случайно, офицеры радиолокационной службы. После войны, когда некоторые из них пришли в науку, а чувствительность приемных устройств была увеличена, открытия космических источников радиоизлучения посыпались, как из рога изобилия.

Человеку, разбирающемуся в радиотехнике, схема радиотелескопа кажется простой до отвращения. Параболическая «тарелка» вроде спутниковой, только побольше, приемное устройство, усилитель сигнала да анализатор спектра (заурядный радиотехнический прибор, в качестве которого можно использовать доработанный осциллограф) — вот и все. Но это только на первый взгляд. Если за дело возьмется любитель со спутниковой «тарелкой», анализатором спектра и грудой радиодеталей, то результатом, надо полагать, станет разочарование. Почти наверняка любителю удастся зафиксировать радиоизлучение Солнца, но и только. Стоило городить огород ради того, чтобы узнать, что Солнце существует!

Прежде всего: насколько велика должна быть приемная антенна (та самая параболическая тарелка)? Ее диаметру следует

намного превышать длину волны принимаемого излучения, и чем он больше, тем выше (в потенциале) чувствительность и разрешающая способность инструмента — совсем как у оптических телескопов. Чувствительность зависит еще от уровня собственных шумов приемного устройства — если он велик, то полезный сигнал «утонет» в шуме и не будет замечен. Основной шум аппаратуры — тепловой, вызываемый хаотичными движениями заряженных частиц. Ясно, что чем выше температура, тем интенсивнее эти движения и тем выше уровень теплового шума. На практике входные контуры приемных устройств радиотелескопов охлаждают жидким гелием, добываясь шумовой температуры в единицы кельвинов.

Наконец, точное наведение огромной параболической чаши (прикиньте хотя бы ветровую нагрузку!) на небесный объект — само по себе непростая инженерная задача. Результаты наблюдений, полученные на первых радиотелескопах, не отличающихся ни высокой точностью наведения, ни хорошей разрешающей способностью, не раз ставили астрономов в тупик. Обнаружен новый источник радиоизлучения, но где прикажете его искать? Площадь, в пределах которой он мог находиться, зачастую составляла десятки квадратных градусов! Хорошо, если в пределах этой области находился объект, сразу бросающийся в глаза в оптическом диапазоне, ну а если нет? Как назло, многие источники радиоизлучения (например, квазары) выглядят в оптических лучах, мягко говоря, невыразительно. Отождествление некоторых космических источников радиоизлучения растянулось на годы...

Однако детский возраст той или иной научной дисциплины тем и хорош, что свойственные ему болезни проходят вместе с ним, а открытия, сделанные с помощью пока еще весьма несовершенных инструментов, поражают воображение. Радиоастрономия резко расширила границы познаваемости мира. В самом деле, наблюдая Вселенную в ничтожно узком диапазоне видимых длин волн (400–800 нм), не уподобляемся ли мы тому слепцу из индийской притчи, который трогал

слона за хвост, после чего объявлял, что слон похож на веревку?

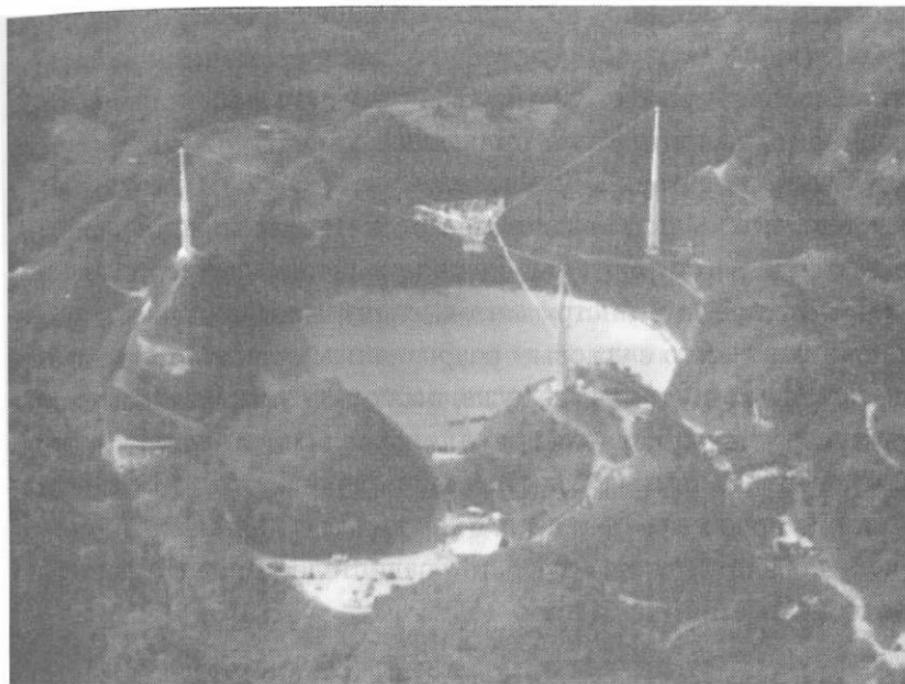


Рис. 7. Неподвижный радиотелескоп в Аресибо (Пуэрто-Рико)

Существующие в наше время радиотелескопы работают в диапазоне длин волн от миллиметров до метров. Они бывают полностью подвижными, полуподвижными и неподвижными. Широко известен неподвижный радиотелескоп в Аресибо (Пуэрто-Рико), введенный в эксплуатацию еще в 1963 году и честно служащий науке до сих пор (рис. 7). Неподвижная 305-м чаша этого радиотелескопа построена в естественном карстовом провале. Над чашей на высоте 135 м находится конструкция с приемной и передающей аппаратурой, подвешенная с помощью системы тросов к трем вертикальным колоннам. Немного смещая эту конструкцию в ту или иную сторону, можно расширить полосу неба, доступную для наблюдений, до 40 градусов. Дважды пережив серьезные реконструкции, «Аресибо» теперь позволяет вести наблюдения в диапазоне длин радиоволн от 3 см до 1 м с очень хорошей

чувствительностью. Он способен уловить сигнал от мобильного телефона, находящегося на Венере, или послать сигнал, который может быть зафиксирован на другом краю Галактики. В «актив» этого инструмента можно записать точное определение периода вращения Меркурия, проведение радиолокационных наблюдений Венеры, первое открытие планеты у пульсара, исследование двойного радиопульсара, приведшее к подтверждению существования гравитационных волн...

Чувствительность радиотелескопов (определяемая как минимальная регистрируемая плотность потока излучения) выше, чем у оптических инструментов, спектральное разрешение — также выше, зато с угловым разрешением *одиночного* радиотелескопа дело обстоит куда хуже, поскольку угловое разрешение пропорционально отношению длины волны к апертуре инструмента. Если на практике разрешение крупного оптического телескопа, установленного в месте с хорошим астроклиматом, может (иногда) достигать 0,3 с дуги¹, то у радиотелескопов эта величина исчисляется минутами дуги.

Казалось бы, при таких условиях можно сразу забыть о построении *радиоизображений* космических объектов — однако нет. На помощь приходит *радиоинтерферометрия*. Если мы будем наблюдать один и тот же объект одновременно с двух радиотелескопов, связанных между собой и разнесенных на расстояние, называемое базой интерферометра, то угловое разрешение будет определяться уже не диаметром чаши телескопа, а базой. Почти ничего не выиграв в чувствительности инструмента, мы колоссально повысим угловое разрешение! Например, американская система VLA состоит из 27 параболических антенн 25-м диаметра, расположенных в виде буквы Y, и имеет базу в 47 км. Разрешающая способность этой системы на волне 6 см составляет 0,3 с дуги, что равно разрешению крупнейших оптических телескопов в условиях лучшего

¹ Теоретически она выше, но влияние атмосферы при наземных наблюдениях резко ухудшает ситуацию. — *Примеч. авт.*

астроклимата (не говоря уже о таком «мелком удобстве», как возможность использовать радиотелескоп круглосуточно, а не только ночью). Если требуется еще большее разрешение, необходимо удлинить базу. Интерферометрические наблюдения со сверхдлинными — межконтинентальными и даже космическими — базами давно уже перестали быть чем-то из ряда вон выходящим.

Между прочим без радиоастрономии мы вряд ли сумели бы понять процессы, связанные с рождением звезд, не говоря уже о пульсарах, квазарах, межзвездной среде... Но об этом — ниже.

Возникает вопрос: можно ли осуществить интерферометрию не в радиодиапазоне с длинами волн от миллиметров до метров, а в иных диапазонах электромагнитных колебаний, скажем, в оптическом, где длины волн — доли микрон? Задача оказалась крайне сложной, но решаемой. Четыре 8,2-м зеркала оптического телескопа VLT (рис. 8) могут работать в режиме интерферометра.

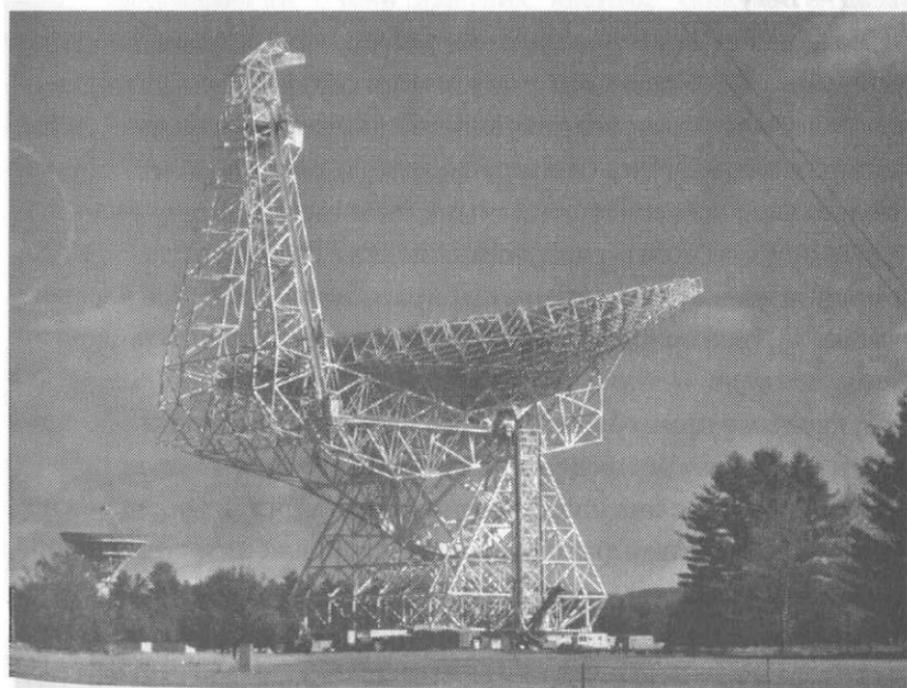


Рис. 8. Подвижный радиотелескоп в Грин-Бэнк (США, Техас)

Предел мечтаний для астронома-наблюдателя — вести непрерывные наблюдения всего неба с высокой чувствительностью, хорошим разрешением и во всех диапазонах электромагнитных волн. Но мечты мечтами, а практика, как известно, вещь жесткая. Если мы захотим вести наблюдение неба в инфракрасном (ИК) или ультрафиолетовом (УФ) диапазоне, то сразу столкнемся с проблемой: поглощение волн определенных частот молекулами атмосферы столь велико, что обычно говорят об «окнах прозрачности» вне этих «провалов». Еще хуже в рентгеновском и гамма-диапазонах. Наземные наблюдения тут вообще невозможны. А между тем наблюдения вне оптического диапазона крайне полезны — например, ИК-излучение практически без помех проходит сквозь облака галактической пыли, делающие объекты, находящиеся в них или за ними, ненаблюдаемыми в оптическом диапазоне. Еще один пример: открытие с помощью международного астрономического спутника IRAS кольца или диска из твердых частиц, окружающего одну из ярчайших звезд — Вегу.

Начиная с 70-х годов прошлого века на околоземную орбиту выведено уже немало автоматических обсерваторий, оснащенных телескопами соответствующего диапазона. Срок их службы, как правило, невелик (несколько лет), и случается, что старый аппарат выходит из строя раньше, чем ему на смену будет запущен новый, более совершенный. Что поделать, даже NASA сплошь и рядом вынуждено выбирать из нескольких перспективных проектов один-два, откладывая остальные в долгий ящик...

В качестве примера остановимся на рентгеновской обсерватории «Чандра», выведенной в 1999 году на высокую орбиту с помощью злосчастного шаттла «Колумбия». Обладая способностью получать рентгеновские изображения в диапазоне энергий квантов 0,1–10 кэВ, она превосходит по чувствительности своих предшественников («Эйнштейн» и ROSAT) в десятки раз, а разрешающая способность лишь в 5 раз хуже, чем у Космического телескопа им. Хаббла. Любопытна конструкция

рентгеновского телескопа. Поскольку рентгеновское излучение достаточно эффективно отражается лишь при падении под очень малым углом к поверхности, рентгеновские телескопы состоят из двух стоящих друг за другом зеркал почти цилиндрической формы (точнее, фрагментов параболического и гиперболического зеркал). Их собирающая поверхность весьма мала, но, поскольку угол между лучом и поверхностью также крайне мал, ее увеличивают, вкладывая друг в друга несколько пар зеркал на манер «матрешки». «Чандра» имеет 4 пары зеркал из специального стекла, покрытых слоем иридия. Собирающая площадь зеркал составляет «скромную» величину в 1100 см². Изображение фиксируется на ПЗС-матрицы. Кроме собственно телескопа, «Чандра» несет дифракционные решетки высокой и низкой энергии, датчик электронов, протонов и альфа-частиц.

Гамма-телескопы не имеют зеркал — нет такой поверхности, которая могла бы отражать и фокусировать гамма-лучи. Приемниками очень жестких квантов обычно служат скинцилляционные датчики и трековые детекторы.

Отдельная тема — нейтринная астрономия. Нейтрино — частица, предсказанная в 1930 году Вольфгангом Паули, — обладает чрезвычайно неприятным, с точки зрения наблюдателя, свойством: она практически не взаимодействует с материей. В одну секунду через каждый квадратный сантиметр поверхности, перпендикулярной солнечным лучам, проходит порядка 60 млрд нейтрино, чего мы совершенно не замечаем. К счастью, выражение «практически не взаимодействует» означает, что иногда, крайне редко, взаимодействие нейтрино с веществом все же происходит и его можно зафиксировать. Обычный нейтринный телескоп (который правильнее назвать нейтринным детектором) представляет собой бассейн с дистиллированной водой объемом в сотни или даже тысячи кубометров, расположенный глубоко под землей для экранирования от наземных помех и космических частиц иной природы. Каждое взаимодействие нейтрино с электроном, входящим в молекулу воды,

или с ядром дейтерия (для тяжелой воды) сопровождается вспышкой черенковского излучения, фиксируемой многочисленными датчиками. Например, в 1987 году во время вспышки Сверхновой звезды в Большом Магеллановом Облаке детектор LSD зафиксировал 5 событий взаимодействия нейтрино с веществом, детектор «Камиоканде» — 11 событий и детектор IMB — 8 событий.

Важно понять: исследования, проводимые в различных диапазонах длин электромагнитных волн, не копируют, а дополняют друг друга. И здесь как нельзя уместнее вновь вспомнить притчу о слоне и пяти слепцах. Ведь если каждый из них поверит словам другого (а по необходимости и проверит их лично), то объект «слон» уже не будет напоминать им ни веревку, ни колонну, ни стену, а сложится во что-то слоноподобное...

Завершая наш по необходимости краткий обзор, мы обязаны рассказать о совершенно новой области наблюдательной астрономии — обнаружении гравитационных волн. Согласно Общей теории относительности (ОТО), гравитационные волны должны свободно распространяться в пространстве, подобно электромагнитному излучению. В сущности, любой движущийся предмет испускает гравитационные волны — ничтожно слабые для земных объектов, более сильные, хотя все равно недоступные наблюдениям для системы «звезда — планета» или «звезда — звезда» и резкие всплески в случае слияния компактных объектов звездной массы, например нейтронных звезд и черных дыр. Существование гравитационных волн удалось подтвердить экспериментально, хотя и косвенным путем — по медленному уменьшению периода взаимного обращения двойных нейтронных звезд. В данном случае уменьшение кинетической энергии системы можно объяснить только излучением гравитационных волн.

Согласно ОТО, есть взаимосвязь между действием гравитационного поля и изменением кривизны пространства-времени. Следовательно, при прохождении гравитационной волны будут меняться (пусть и на ничтожно малую величину) линейные раз-

меры протяженных тел. Проекты гравитационных телескопов представляют собой просто-напросто отрезки (обычно взаимно перпендикулярные), длина которых измеряется с высокой точностью при помощи лазерной интерферометрии. К сожалению, чувствительность аппаратуры пока недостаточна для уверенного обнаружения гравитационных волн. Или, может быть, нам просто не везет — ведь события типа слияния черных дыр происходят поблизости от нас нечасто...

Рассказав немного об астрономах и их инструментарии, мы теперь перейдем к главной и наверняка наиболее интересной теме книги — Вселенной во всем ее удивительном разнообразии.

5. КОЕ-ЧТО О СПЕКТРОСКОПИИ

Тем читателям, кому знакомо преобразование Фурье, незачем объяснять, что такое спектр (например, радиотехнического сигнала). Но если вы не имеете высшего технического образования, то уж во всяком случае наверняка слышали о солнечном спектре, весьма красочно проявляющемся в радуге или в более редких солнечных или лунных гало. Зрелище увлекательное, что и говорить. Однако мало кто из далеких от астрономии людей способен представить себе, какую революцию в астрономии произвела спектроскопия и какие данные о Вселенной удалось получить с ее помощью!

Однажды сэр Исаак Ньютон приобрел у шлифовщика линз ненужную тому безделушку — треугольную призму. У себя дома великий англичанин пустил луч света из маленького отверстия, проделанного в оконном ставне, сквозь призму и убедился: солнечный свет, кажущийся нам белым или желтоватым, на деле содержит в себе семь основных цветов, плавно переходящих друг в друга, а призма просто-напросто отклоняет лучи соответствующих цветов на различные углы. Теперь Ньютону стал понятен хроматизм телескопов-рефракторов: источник его находится не в стекле, а в преломляемом стеклом свете!

В начале XIX века молодой мастер-оптик Йозеф фон Фраунгофер изготовил спектроскоп, с помощью которого заметил, что в солнечном спектре помимо семи основных цветов присутствуют таинственные темные линии. Таковых линий Фраунгофер насчитал 574. Сжигая или прокаливая в пламени различные химические элементы, Фраунгофер заметил, что разным элементам соответствуют разные темные линии спектра. Не было ничего естественнее, чем объяснить соответствующие темные линии солнечного спектра присутствием на Солнце соответствующих химических элементов.

Кстати, второй по распространенности во Вселенной элемент назван гелием (солнечным) как раз из-за того, что впервые он

был обнаружен на Солнце — разумеется, спектроскопическим методом.

В дальнейшем ученые принялись за спектрографию планет, комет и все более слабых звезд и туманностей — это было лишь вопросом чувствительности аппаратуры. Спектры стали фотографировать и калибровать. Оказалось, что все темные линии обычно бывают сдвинуты либо в красную, либо в фиолетовую сторону. Объяснение пришло с открытием эффекта Доплера — увеличение длины волны излучения при удалении объекта от наблюдателя (красное смещение) и уменьшение длины волны при приближении объекта к наблюдателю (фиолетовое смещение). Таким образом, стало возможно точно определять скорость небесного объекта относительно Земли — точнее, радиальную составляющую вектора скорости, но и это уже много. К примеру, оценка расстояния до самых удаленных галактик производится только по их красному смещению и связи между ним и расстоянием до галактики, ибо более надежных методов пока не существует...

Но как поведут себя темные линии спектра, если объект — допустим, звезда — не просто летит куда-то, но еще и вращается вокруг своей оси? В этом случае часть объекта будет приближаться к нам, что вызовет фиолетовое смещение, а другая часть — удаляться от нас, из-за чего смещение будет красным. В сумме это приведет к размытию спектральных линий, и по степени размытия можно будет судить о скорости вращения объекта. Именно так измеряются, например, скорости вращения звезд. В наше время все это для астрономов более чем тривиально, на уровне студенческих лабораторных работ.

Итак, химический состав (включая ионы и изотопы) космических объектов и среды, радиальная скорость, скорость вращения... что еще?

Еще природа излучения. Распределение его спектральной плотности по диапазону частот покажет нам, имеем ли мы дело с тепловым излучением или с каким-нибудь иным. Например, излучение расширяющихся оболочек Сверхновых звезд (типа

Крабовидной туманности) преимущественно не тепловое, а синхротронное, вызванное движением заряженных релятивистских частиц в магнитном поле. Радиоспектр Крабовидной туманности показывает это как нельзя лучше. Имеются и другие источники нетеплового излучения, скажем, космические мазеры, легко идентифицируемые опять-таки по спектрам.

И еще простой пример. Допустим, звезда или группа звезд погружена в светлую туманность. Как узнать природу светимости этой туманности? Является ли ее свечение результатом возбуждения атомов или же наблюдается простое отражение туманностью света звезд? Такая ситуация имеет место в Плеядах. Умозрительно было понятно, что ярчайшие звезды Плеяд недостаточно горячи для первого предположения, но известно, сколь часто умозрительные предположения приводят к ошибкам. Зато спектр туманности раскрыл ее природу «на раз» — он оказался звездным, конечно, с наложением линий поглощения, определяемым туманностью. Вывод: это не эмиссионная, а чисто отражательная туманность, да еще не имеющая с Плеядами ничего общего, кроме того, что туманность и скопление случайно встретились в пространстве.

Можно привести еще много примеров чрезвычайной полезности спектральных исследований, но лучше мы перейдем от описаний инструментария к астрономической конкретике.

ЧАСТЬ II

**БЛИЖАЙШИЕ
ОКРЕСТНОСТИ**

1. СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА И МЫ

Нравится это нам или нет, но мы живем среди отходов — отходов «производства» звезд и даже сами из них состоим. По современным представлениям, наше Солнце — весьма типичная звезда — образовалось чуть менее 5 млрд лет назад из газопылевой материи. Сжатие исходного протозвездного облака под действием собственной гравитации не было равномерным — центральные области газопылевого сгустка сжимались быстрее периферии. Когда в центре сгустка загорелась протозвезда, давление света сначала уравнило силу тяготения для падающей материи, а затем начало выталкивать периферийные газ и пыль, которым «не повезло» попасть в звезду. Под действием выталкивающей силы легкие элементы мигрировали дальше от Солнца и образовали газовые планеты-гиганты Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, а также великое множество преимущественно ледяных тел; тяжелые же элементы остались во внутренних областях Солнечной системы и после ряда драматических коллизий слиплись в планеты земной группы: Меркурий, Венеру, Землю, Марс и Главный пояс астероидов. К началу формирования планет остатки газопылевого сгустка превратились вследствие вращения в протопланетный диск. Именно поэтому орбиты планет лежат более или менее в одной плоскости.

Вот так — в упрощенном до предела изложении, пока нам достаточно и такого — выглядит сценарий рождения Солнечной системы. Но хоть наш обыденный мир состоит из отходов звездообразования, это весьма ценные отходы! Кроме того, Земле повезло в одном очень существенном отношении — условия на ее поверхности были столь благоприятны для возникновения белковой жизни, что жизнь не замедлила появиться уже в первые 600–700 млн лет существования Земли как космического тела. Во всяком случае, древнейшие горные породы с измененным изотопным соотношением углерода, что однозначно ука-

зывает на существование фотосинтеза, имеют возраст порядка 3,85 млрд лет. Учитывая колоссальную сложность задачи налаживания «производственного процесса» по самосборке нуклеотидных последовательностей из простейших химических соединений — великолепный результат!

Из непрерывности биологической эволюции на Земле следует, что Солнце никогда не позволяло себе глупых шуток, связанных с резким (в разы) увеличением либо уменьшением своей светимости. Наше главное светило — стабильная, очень спокойная звезда не преклонного еще возраста. Масса Солнца в 750 раз больше суммарной массы всех остальных тел Солнечной системы. Солнце — одиночная звезда, в то время как более половины всех звезд Галактики образует двойные и кратные системы. Расстояние до Проксимы Центавра — ближайшей к Солнцу звезды — составляет 4,3 св. года. Отсюда ясен ответ на вопрос о границах Солнечной системы: они проходят там, где гравитационное притяжение соседних звезд равно притяжению Солнца.

Внутри Солнечной системы принято (да и удобно) мерить расстояния в астрономических единицах (а.е.). Одна астрономическая единица соответствует среднему расстоянию от Земли до Солнца, равному 149,6 млн км. Юпитер, к примеру, обращается на среднем расстоянии 5,2 а.е., Нептун — 30 а.е., а некоторые кометы могут удаляться от Солнца на 100 тыс. а.е. и более, что уже близко к границам Солнечной системы.

Нам неизвестно, родилось ли Солнце в составе рассеянного звездного скопления, как большинство звезд Галактики, или возникло в результате коллапса (сжатия) одиночной глобулы — так называют небольшие темные газово-пылевые облака необычно высокой для межзвездной среды плотности. Скорее первое, чем второе. Если так, то не стоит удивляться изолированности Солнца: 5 млрд лет — более чем достаточный срок для разрушения рассеянного скопления, в котором гравитационные связи между звездами сравнительно невелики и не могут долго противостоять гравитационным возмущениям со стороны «посторонних» звезд. Для примера сравним всем известное рассеянное

скопление Плеяды с Гиадами. Возраст Плеяд около 100 млн лет, и они довольно компактны. Возраст Гиад — около 1 млрд лет, и они разбросаны по довольно большой площади неба. По сути звезды Гиад уже не связаны гравитационным взаимодействием, а просто движутся по Галактике более-менее в одном направлении. Через несколько сот миллионов лет скопление рассыплется окончательно, и каждая его звезда будет двигаться вокруг центра Галактики самостоятельно.

По-видимому, с Солнцем произошло то же самое, причем очень давно — еще в архее. Обращаясь вокруг центра Галактики примерно за 200 млн лет, Солнце успело сделать не более 25 полных оборотов. Возможно, оно много раз проходило через спиральные рукава, несколько изменяющие ее орбиту¹, проходило сквозь области звездообразования, оказывалось в сравнительной близости от расширяющихся оболочек Сверхновых, но можно сказать почти с полной уверенностью: Солнечная система не испытала последствий масштабных космических катастроф. Случайные сближения Солнца с другими звездами, видимо, происходили не раз, но они не были слишком тесными: об этом говорят орбиты планет. А уж вероятность столкновения Солнца с другой звездой и вовсе исчезающе мала. Звездная плотность в окрестностях Солнца ничтожна, и это несмотря на то что мы сейчас находимся в ответвлении спирального рукава, т. е. в области с довольно высокой звездной плотностью по сравнению с межрукавьем. Если за время существования Галактики вне галактического ядра и происходили столкновения звезд, то такие случаи можно пересчитать по пальцам. Нет ничего удивительного в том, что с Солнцем за 5 млрд лет его существования не случилось ничего подобного, — это нормально.

¹ Впрочем, наше Солнце находится в так называемой зоне *коротации*, т. е. на таком расстоянии от центра Галактики, где скорость обращения вокруг центра равна скорости вращения спирального узора. Таким образом, Солнце могло и не заходить в спиральные рукава — и данное обстоятельство вполне годится на роль одного из важнейших благоприятных факторов для развития жизни на Земле. — *Примеч. авт.*

Не раз высказывались гипотезы о галактических причинах вымирания тех или иных групп видов живых существ на Земле. Публику почему-то особенно интригует вымирание динозавров. Предполагалось, например, что жесткое излучение от оболочки вспыхнувшей неподалеку от нас Сверхновой может сделать проблематичным существование животных с большим сроком жизни. Характерно, что подобные гипотезы чаще всего высказываются людьми, мало смыслящими в биологии. Биологи же обычно ищут причины вымирания в чисто земных, экосистемных кризисах — и находят. Во всяком случае, их объяснения причин вымираний, не связанные с космическими катаклизмами, часто более убедительны для тех, кто возьмет на себя труд вникнуть в вопрос.

Короче говоря, на планете Земля никогда не происходили катастрофы космических масштабов — это опять-таки следует из непрерывности биологической эволюции на Земле. Катаклизмы меньших масштабов (например, активная бомбардировка молодой Земли астероидами более 3 млрд лет назад) — происходили, но ведь это совершенно нормально! Очень трудно придумать мало-мальски реалистичный сценарий эволюции Земли, начисто лишенный неприятностей. То же можно сказать и о любой другой планете.

Мы обязаны жизнью и другому обстоятельству: Солнце — звезда второго поколения, возникшая из материи, обогащенной тяжелыми элементами. Когда 12–13 млрд лет формировались первые звезды нашей Галактики, материя, послужившая «строительным материалом» для них, состояла лишь из водорода, дейтерия, гелия и небольшого количества лития. И только. Разумеется, никакой жизни на столь скудной основе возникнуть не могло, да и твердых планет тоже. Углерод, являющийся основой белковой жизни, а также совершенно необходимые ей кислород и азот рождались в недрах массивных звезд в результате ядерных реакций и обогащали межзвездную среду после сброса старыми звездами своих оболочек. Более тяжелые элементы получались при катастрофических процессах в ядрах еще более

массивных звезд. В ту пору рождалось много массивных звезд, чье короткое существование обрывалось взрывом Сверхновой. Расширяясь с большой скоростью, оболочки Сверхновых оболочками межзвездную среду полным набором необходимых для жизни элементов. Если бы Солнце образовалось не в гигантской Галактике, каков наш Млечный Путь, а в карликовой, где эволюция вещества идет медленнее, еще неизвестно, хватило бы в нашу эпоху тяжелых элементов для возникновения жизни или пока нет. Каждый атом Солнца, Земли и тела любого человека в среднем трижды побывал в недрах звезды. Но разве у кого-нибудь повернется язык сказать, что эти звездные отходы ни на что не годны?

И здесь возникает любопытнейший вопрос, сколь биологический, столь же философский о неизбежности (или нет?) появления жизни и разума во Вселенной. Существует красивое, хотя и чисто идеалистическое мнение: Вселенная создала человека как инструмент познания самой себя. Если на минуту предположить, что так оно и есть, приходится с неудовольствием признать, что Вселенная могла бы изобрести инструмент и получше человеческого мозга. Об этом свидетельствует вся история науки, полная заблуждений и движения вперед ощупью впотьмах. «Мы очень редко упускали возможность впасть в ошибку», — заметил как-то замечательный немецкий астрофизик К. Шварцшильд и был совершенно прав.

Правда, и с тем несовершенным мозгом, что дала нам природа, мы все-таки кое-что можем. Пусть наши знания о Вселенной даже сейчас пополняются гораздо медленнее, чем нам хотелось бы, но и в топтании на месте нас никто не обвинит. Чего стоит лишь один выход человека в космос!

Теоретически разрешающая способность телескопа определяется дифракционным пределом, напрямую зависящим от апертуры, — и тем не менее даже самый крупный наземный телескоп не покажет нам детали на поверхности тел Солнечной системы с увеличением более нескольких сот крат. «Разогнать» увеличение до дифракционного предела легче легкого, но атмосфера портит

изображение тем сильнее, чем выше увеличение. Разумеется, лучше вывести телескоп за пределы атмосферы, а еще лучше приблизить его насколько возможно к интересующему нас телу. Само собой, в последнем случае крайне полезно дополнить его другими приборами.

Мало-помалу астрономия Солнечной системы превращается в науку практическую. Здесь уместно сравнение с земной геологией. Кусок породы остается частью скалы до тех пор, пока бородатый геолог не отколет его молотком и не спрячет в рюкзак для последующего изучения. Но представьте себе геолога без рук, без ног, без молотка (бороду можно оставить) и притом находящегося на порядочном расстоянии от упомянутой скалы. Много ли он сумеет сделать выводов о ее составе, происхождении, наличии рудных тел, перспективах добычи полезных ископаемых?

Вообще-то кое-какие выводы он сделает, но глубина их будет недостаточной, а корректность останется под вопросом. Слишком уж о многом придется догадываться, слишком много строить непроверяемых гипотез... Не говоря уже о том, что о добыче ископаемых нашему воображаемому геологу-инвалиду останется только мечтать, да и то втихомолку, чтобы не нажить репутацию беспочвенного фантазера.

Именно в таком положении находились астрономы до начала космической эры.

Увидеть, конечно, в сто раз лучше, чем услышать, но «пощупать» — еще в сто раз лучше, чем просто увидеть, да еще с большего расстояния. Люди топтали Луну, космические аппараты садятся на астероидах и обстреливают кометные ядра, изучается марсианский грунт... И это только начало.

Строго говоря, непосредственное изучение небесных тел с помощью космических аппаратов уже не вполне относится к астрономический «епархии» — так, освоение Нового Света испанцами в свое время не обходилось без навигации, но было гораздо шире и, главное, сулило конкистадорам немалые практические выгоды. Впрочем, и наука не осталась внакладе: гипотеза о шарообразности Земли, к тому времени общепринятая, хотя

и умозрительная, в одночасье стала проверяемой. Зато каким сюрпризом стало открытие Америки для тех, кто пользовался глобусом Бехайма! Что и понятно: никакой Америки из Европы не увидишь.

Аналогичную по значению информацию приносят космические аппараты, подчас удивляя ученых до крайности. Пересмотр прежних воззрений — обычное для астрономии дело. Критерием истины является опыт, а факты — упрямая вещь. Казалось бы, Солнечная система изучена довольно хорошо, но если кто-то сомневается, что она еще преподнесет сюрпризы, то уж точно не астрономы.

2. ПЛАНЕТЫ, «КЛУБ ИЗБРАННЫХ»

Еще недавно на вопрос о количестве планет Солнечной системы любой мало-мальски грамотный человек уверенно отвечал, что их девять: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон. Так было до 13 сентября 2006 года, когда решением Международного астрономического союза (МАС) Плутон был выведен (так и хочется добавить: с позором) из класса планет и причислен к телам пояса Койпера — транснептуновым астероидам, состоящим преимущественно из разных льдов. Об этих телах мы поговорим позже, а пока констатируем: в Солнечной системе ВОСЕМЬ планет¹.

Они делятся ровно пополам на две группы: внутренние планеты земного типа и планеты внешние — газовые. Крупнейшей планетой первой группы является Земля, второй — Юпитер. Если бы мы взялись изложить все то, что на сегодняшний день известно науке о планетах Солнечной системы, то эти сведения заняли бы как минимум весь объем этой книги. Будем кратки, помня, что планеты суть весьма малая часть Вселенной, о которой мы здесь ведем речь.

Как говорилось выше, древние знали лишь пять планет, наблюдаемых невооруженным глазом. Труднее всего наблюдать Меркурий из-за его близости к Солнцу. Утверждают, например, что Николай Коперник так и умер, ни разу не увидев этой планеты. (А вы, читатель, ее видели?) Наблюдения Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна никакой сложности не представляют — если, конечно, в данный момент планета не находится в соединении с Солнцем.

¹ Впрочем, решение МАС было принято отнюдь не единогласно — более того, до сих пор разделяется далеко не всеми учеными. В число «несогласных», кстати, входит и один из авторов этой книги. — *Примеч. авт.*

Уран был открыт Уильямом Гершелем в 1781 году во время рутинного обзора звездного неба при помощи самодельного рефлектора Ньютона с диаметром зеркала всего-навсего 150 мм. Строго говоря, Уран виден и невооруженным глазом как слабая звезда 6-й величины, но, конечно, неотличим от звезд. Гершелю удалось рассмотреть в телескоп крохотный желто-зеленый диск, каковой он принял за комету. Первое официальное сообщение Гершеля 26 апреля 1781 года так и было озаглавлено — «Сообщение о комете». Однако новая «комета» почти не меняла яркости и не обнаруживала признаков приближения к Солнцу. Хуже того: для «кометы» не удавалось вычислить параболическую орбиту. Последующие наблюдения и вычисления показали, что орбита нового небесного тела — чисто планетная, почти круговая, а значит, речь идет о новой планете. Это была научная сенсация! Как ни странно, мысль о наличии в Солнечной системе неизвестных планет до той поры не посещала головы астрономов. Впоследствии выяснилось, что Уран наблюдался до Гершеля по меньшей мере 20 раз, и впервые это произошло еще в 1690 году, но всякий раз планета неизменно принималась за звезду. Мы увидим, что это скорее не исключение, а правило в астрономическом поиске.

Имя Уран было присвоено планете по предложению немецкого астронома Иоганна Боде, а в целом планета поначалу казалась довольно заурядной, разве что далекой — вдвое дальше Сатурна. Но прошло совсем немного времени, и Уран преподнес первые сюрпризы.

К концу XVIII века средняя точность наблюдений звезд и планет повысилась уже до трех угловых секунд. Поэтому не составило труда выяснить, что движение Урана не вполне подчиняется классическим законам движения планет. Точная (казалось бы!) эллиптическая орбита Урана была вычислена Фиксслмилнером в 1784 году. Однако уже в 1788 году расхождение между вычисленным и реальным положением планеты оказалось столь велико, что объяснить его неточностью прежних наблюдений и, соответственно, внести поправки в элементы эллиптической орбиты

уже не удавалось. Было очевидно, что Уран катастрофически быстро уходит вперед по сравнению с расчетным движением, как ни корректируй эллиптическую орбиту.

Уже тогда было совершенно понятно, что орбита оставалась бы строго эллиптической лишь в том случае, если бы на планету действовала всего одна сила — тяготение Солнца. В случае с Ураном пришлось учитывать гравитационные возмущения со стороны планет, в первую очередь Юпитера и Сатурна. Задача казалась сложной, но не единственной в своем роде — ведь и Луна движется вокруг Земли по не совсем кеплеровской орбите, и объяснение ее движения долгое время являлось труднейшей проблемой небесной механики. Впрочем, уже имелись кое-какие наработки. Леонард Эйлер разработал новый метод теоретического анализа движений небесных тел, известный как метод оскулирующих элементов. Дальнейшее его развитие связано с именами Лагранжа, Клеро, Даламбера, Лапласа. Применение разработанных ими методов к Луне дало обнадеживающие результаты, хотя Луна, по правде говоря, оказалась сложным объектом. Настолько сложным, что высказывались сомнения в строгости закона Ньютона — и далеко не в последний раз, как мы увидим.

Естественно было применить эти методы к движению Урана. В 1790 году Ж.Б. Деламбр составил новые таблицы движений Урана с учетом гравитационных возмущений от Юпитера и Сатурна. Эти таблицы отвечали с достаточной точностью и старым наблюдениям, начиная с 1690 года.

Казалось бы, проблема Урана была решена. Конечно, не оставалось сомнений в том, что теория его движения может быть уточнена с учетом возмущений от планет земной группы и даже астероидов, но «в общем и целом» задача считалась решенной. Во всяком случае, казалось, что существенные поправки придется вносить еще очень не скоро. На Уран стали обращать гораздо меньше внимания. К тому же по Европе прокатилась волна наполеоновских войн, а войны, если только они не «звездные», мало способствуют развитию наблюдательной астрономии...

После того как неугомонный корсиканец был наконец спро-
важен англичанами на остров Св. Елены и европейские астроно-
мы возобновили активную научную деятельность, выяснилось,
что Уран опять «выкинул фортель» и движется не так, как пред-
писывал ему Клеро. Сначала, что вполне естественно, казалось,
что в предыдущие расчеты вкралась ошибка. Расчеты были про-
деланы заново, причем по возможности с учетом всех возмуще-
ний со стороны Юпитера и Сатурна. Что до остальных планет, то
их влияние было справедливо признано пренебрежимо малым
по сравнению с наблюдаемой ошибкой.

Эту работу закончил в 1820 году французский астроном
А. Бувар. Пожалуй, нелишним будет подчеркнуть, что все работы
такого рода были в те времена колоссально громоздкими, кро-
потливыми и на редкость рутинными, так как требовали громад-
ного числа вычислений, проводящихся *вручную*. Современный
исследователь построил бы компьютерную модель и наслаждался
бы результатом максимум через день, а не через *годы* напряжен-
ного труда.

Бувар отказался от старых наблюдений Урана, без достаточ-
ных оснований заподозрив их в неточности. Вместе с тем он
видел, что решение проблемы Урана может быть совершенно
иным, и писал, что странности движения планеты могут быть
обусловлены «некоторым внешним и неизвестным влиянием».
Каким же? Сопротивлением газово-пылевой среды? Влиянием
не открытого еще спутника? Столкновением с кометой незадолго
до открытия Урана Гершелем? Поправками к закону Ньютона,
которые надо вносить при больших расстояниях между телами?
Или все-таки новой планетой, пока еще не открытой?

К 1832 году теория Бувара окончательно рухнула. Уран уже
отставал от вычисленного положения на 30 угловых секунд, и
это отставание увеличивалось на 6–7 с в год, что не лезло ни в ка-
кие ворота. Из перечисленных гипотез после «проверки на проч-
ность» вскоре остались две: несовершенство закона Ньютона и
наличие неизвестной планеты. Где искать ее? Вычисления ее по-
ложения на небе, по словам Бувара, не столько трудны, сколько

громоздки. Но, как мы знаем, отсутствие компьютеров и даже механических счетных устройств не останавливало в те времена людей, ищущих истину.

Вокруг открытия Нептуна «на кончике пера» разыгрались нешуточные страсти, каковые с еще большей силой бушуют и теперь, когда речь заходит о приоритете. Первым за поиск неизвестной планеты (точнее, за вычисление места, где ее следует искать) взялся немецкий астроном Фридрих Бессель, но смерть помешала ему закончить вычисления. Успех сопутствовал англичанину Джону Адамсу и французу Урбену Леверье.

Адамс закончил вычисления раньше. С 1843 по 1845 год он получил шесть решений, из которых каждое следующее он считал точнее предыдущего. Но осенью 1845 года английские астрономы не откликнулись на призыв молодого и еще мало кому известного Адамса искать планету в вычисленном им «теоретическом квадрате». Объясняется это как неверием в новую планету директора Гринвичской обсерватории Д. Эри, весьма авторитетного астронома, так и личными качествами Адамса, человека скромного до робости и напрочь лишенного «пробивной силы». Адамс отлично понимал, что его расчеты не вполне совершенны, и не настаивал. Позднее Эри, признавший свою ошибку, заметил по этому поводу: «В некоторых случаях полезно для прогресса, чтобы публикация теорий, которые не оставляют сомнения в своей корректности в целом, не задерживалась до их наибольшей мыслимой степени совершенства». Заметим в скобках, что в наше время подчас так и происходит, только осторожные выражения «в некоторых случаях» и «которые не оставляют сомнения в своей корректности», увы, прочно позабыты.

Спустя почти год после Адамса и независимо от него свои расчеты закончил Леверье. Опубликованные им статьи вполне убедили Эри (и в Англии, оказывается, нет пророка в своем отечестве!), и он обратился к английскому астроному Чэллису с просьбой начать поиски новой планеты. Чэллис занимался этим до тех пор, пока планета не была открыта И.Г. Галле, ассистентом Берлинской обсерватории, и студентом Г.Л. д'Аррестом

в ночь 23 сентября 1846 года. Можно представить себе досаду Чэллиса, обнаружившего после этого, что он уже дважды — 4 и 12 августа — наблюдал неизвестную планету и не отождествил ее! Как ни удивительно, опытный наблюдатель Чэллис занимался кропотливым трудом по сравнению положений звезд, наблюдаемых в разные ночи, в то время как гораздо проще было найти планету по видимому диску либо использовать уже имеющиеся звездные карты (Галле и д'Аррест так и сделали, что привело к знаменитому восклицанию д'Арреста: «Этой звезды нет на карте!»). Таким образом, приоритет открытия Нептуна «на кончике пера» англичанам пришлось разделить с французами, да и то с перевесом в пользу последних, так как расчеты Леверье оказались точнее, а приоритет открытия Нептуна на небе англичане потеряли совсем.

История эта имеет еще немало почти детективных подробностей, если коснуться ее более глубоко. Но мы привели ее лишь для того, чтобы показать, какими странными путями подчас движется наука и какую роль играет в ней случай.

Надо еще заметить, что если бы не было планет, то их стоило бы выдумать. Именно вопросы небесной механики вдохновили Гаусса, Лагранжа, Эйлера, Даламбера, Лапласа, Адамса и других математиков к разработке новых методов вычислений, широко применяемых и поныне, причем нередко в областях, совершенно не связанных с астрономией. Уж таково свойство инструментов, будь то простая отвертка или математический метод.

Новый сюрприз, однако, не заставил себя долго ждать. Построенная Леверье наиточнейшая теория движения Урана и Нептуна спустя несколько лет стала «традиционно» расходиться с наблюдениями. А ведь массы Урана и Нептуна были значительно уточнены после открытия у них спутников!

Расхождения были небольшими, но все-таки носили систематический характер. На рубеже XIX–XX веков возник вопрос о существовании в Солнечной системе еще одной большой планеты. А если так, то ее орбиту и текущее положение на небе можно было вычислить в принципе точно так же, как это было сделано

для Нептуна. Хотя в данном случае работа предстояла куда более трудная — ведь расхождения в движении Нептуна с теорией были раз в 15 меньше, чем аналогичные расхождения для Урана и едва превышали погрешность наблюдений.

Тем не менее такие расчеты были проделаны. Если под неизвестной «большой» планетой понимать Плутон, то расхождение между теорией и действительным положением Плутона на небе превысило 20 градусов...

Американский астроном и меценат Персиваль Ловелл проделал громадную работу по вычислению элементов орбиты неизвестной планеты и получил довольно много вариантов окончательного решения. Они группировались в два типа решений, для которых теоретическое положение планеты на небе отличалось примерно на 180 градусов. Построив и оснастив обсерваторию в местечке Флагстафф, Ловелл организовал поиск транснептуновой планеты. Фотографируя один за другим участки неба вблизи вычисленных им точек, он искал планету по ее перемещению, так как искать ее на дальних задворках Солнечной системы по видимому диску было, пожалуй, чересчур самонадеянно. В 1916 году Ловелл умер, и поиски Планеты Икс на время прекратились.

Ловелл не был одинок в поисках Планеты Икс. В 1919 году на обсерватории Маунт-Вильсон предпринимались ее поиски на основании расчетов, сделанных У. Пиккерингом, — увь, безрезультатные. Нечего и говорить, что впоследствии выяснилось: Плутон тогда попал на фотопластинки, но не был отождествлен, поскольку астрономы ожидали найти планету-гигант, а не какую-то мелочь...

В конце концов Планета Икс была открыта 23-летним Клайдом Томбо на Ловелловской обсерватории. Получив в свое распоряжение 13-дюймовый фотографический рефрактор с необычайно большим полем зрения, охватывающим площадь в 160 квадратных градусов, Томбо дважды фотографировал участки неба, после чего сравнивал снимки при помощи блинк-компаратора. Искомая планета была найдена 18 февраля 1930 года как звездобразный объект 14,5^m. Планету назвали Плутоном, что не слу-

чайно: первые две буквы ее названия совпадают с инициалами Персиваля Ловелла.

Оказалось, что Плутон имеет странную орбиту. Мало того что ее наклон к эклиптике превышает 17 градусов, что совершенно не характерно для планет, так еще и орбита оказалась вытянутой. В перигелии Плутон подбирается к Солнцу на расстояние в 30 а.е., заходя внутрь орбиты Нептуна, а в афелии удаляется на 49 а.е. от Солнца. Однако орбитальные периоды Нептуна и Плутона находятся в своеобразном резонансе, поэтому тесных их сближений не происходит.

Далее. Первоначально Плутон казался планетой более или менее земного типа, во всяком случае небесным телом сходных с Землей размеров. Позднее диаметр Плутона и его масса все время «девальвировались», пока не остановились на следующих значениях: 2390 км и 0,0025 массы Земли.

Как будто маловато для планеты. Вдобавок спектроскопические наблюдения выявили состав поверхностного слоя Плутона: азотный лед со следами метана и монооксида углерода — также в виде льда. Впрочем, вблизи перигелия лед на поверхности Плутона понемногу испаряется, создавая подобие атмосферы, но по мере удаления от Солнца газы вновь вымерзают. Нет сомнения, что в состав Плутона входят и каменные породы, но, по видимому, значительная их часть сосредоточена в ядре.

Статус Плутона вновь поднялся в 1978 году с открытием Харона — крупного спутника Плутона диаметром 1200 км. Тогда еще не были известны спутники астероидов и казалось, что только планеты могут иметь их. Позднее у Плутона были открыты еще два небольших спутника — Никта и Гидра. Но самое главное: поиски трансплутоновых планет — нередко весьма тщательные — долгое время не приносили никаких результатов, если не считать таковыми попутное открытие комет, астероидов и галактик.

В 1992 году за орбитой Нептуна был открыт объект поперечником около 280 км, а десятилетием позже их количество исчислялось уже сотнями. Сейчас таких объектов известно более 1000. Пояс транснептуновых астероидов назвали поясом Койпера (или

Эджворса–Койпера). Закономерно возник вопрос, чем является Плутон — все-таки планетой или просто наиболее крупным телом пояса Койпера? Достоин ли Плутон по-прежнему числиться в «клубе избранных»?

Клайд Томбо до самой своей смерти, последовавшей в 1997 году, весьма болезненно относился к идее «разжаловать» Плутон из планет в астероиды. Может быть, этого и не случилось бы, если бы не открытие нескольких весьма крупных тел пояса Койпера.

Наиболее удивительное из них — Седна. Она сильно отличается от обычных транснептуновых астероидов, имея чрезвычайно вытянутую орбиту с $e = 0,8506$. В 2076 году Седна окажется на перигелийном расстоянии, равном 76,1 а.е., в то время как в афелии она удаляется от Солнца на 942 а.е. Орбитальный период этого тела равен 11 487 годам — пока рекорд! Диаметр Седны оценивается в пределах 1180–1800 км, т. е. при «оптимистической» оценке Седна лишь немного меньше Плутона.

Хуже того: Плутон уже не является наиболее массивным транснептуновым телом. В 2003 году была открыта Эрида, оказавшаяся чуточку крупнее и массивнее Плутона. Орбита Эриды сильно вытянута, хотя и не так сильно, как у Седны: перигелийное расстояние составляет чуть более 38 а.е., в то время как афелийное — более 98 а.е., период обращения — 559 лет, наклон орбиты к эклиптике большой — 44 градуса. Сейчас Эрида находится почти точно в афелии. Уточнить массу этой планетки удалось по орбитальному движению ее спутника Дисномии. На сегодняшний день считается, что Эрида на 27% массивнее Плутона, а ее диаметр составляет 2400 км.

Удивителен необычайно высокий блеск Эриды. Ее альbedo оценено в 86% — больше только у Энцелада, спутника Сатурна. Странен и цвет — серый, в то время как большинство транснептуновых тел красные с желтым или коричневым оттенком.

Нет сомнений в том, что подобные объекты будут открываться и впредь. Совсем не исключено, что среди них окажутся более массивные тела, чем Плутон и Эрида.

Так планета ли Плутон? Если да, то почему же не назвать планетой также и Эриду?

На эти вопросы разумнее всего ответить контрвопросом: а что такое планета вообще?

Ответ здесь может быть только один: планета — это то, что мы договорились называть планетой.

Как ни странно, четкого определения не существовало до 2006 года, когда МАС сформулировал 3 главных условия для объекта, претендующего на статус планеты Солнечной системы. Вот они.

1. Объект должен обращаться вокруг Солнца.
2. Он должен быть достаточно массивным, чтобы принять форму гидростатического равновесия (сферическую) под действием своих гравитационных сил.
3. Он должен расчистить окрестности своей орбиты, иными словами, он должен быть гравитационной доминантой, и рядом не должно быть других тел сравнимого размера, кроме его собственных спутников и тел, находящихся под его гравитационным воздействием.

Молчаливо подразумевается, что объект не должен быть также звездой. Для Солнца, не входящего в состав кратной системы, эта поправка не актуальна.

Плутон — и тем хуже для него — не удовлетворяет третьему условию, поскольку его масса составляет всего лишь 7% массы всех объектов на его орбите. Для сравнения: масса Земли в 1,7 млн раз больше массы всех остальных тел на ее орбите.

МАС отнес Плутон сразу к двум категориям небесных тел: малым планетам (астероидам) и так называемым плутино, т. е. транснептуновым объектам, сходным с Плутоном по орбитальным параметрам и составу. В 2008 году такие объекты стали называть плутоидами. В качестве астероида Плутоноу был присвоен обидно большой номер 134340, хотя на сегодняшний день он является вторым по величине твердым телом Солнечной системы, не имеющим статуса планеты, и, казалось бы, должен по праву носить номер хотя бы из первой десятки. Увы, астероиды нумеруют-

ся в порядке отождествления. К счастью, Плутон не способен обидеться на такое решение — обижаться можем лишь мы, но с какой стати? Во-первых, как объект ни назови, его свойства от этого не изменятся, а во-вторых, на статус Земли МАС не покушается...

Но довольно о Плуtone. Нет ли планет «с другой стороны», т. е. внутри орбиты Меркурия? Никаких теоретических запретов на ее существование не просматривалось, и были энтузиасты, посвятившие многие годы поиску ближайшей к Солнцу гипотетической планеты, заранее нареченной Вулканом. (Напомним: Вулкан, он же Гефест, единственный труженик среди богов-олимпийцев, работал в кузне в условиях ужасающей жары, поэтому назвать так поджаренную Солнцем планету были все основания.) Мы уже знаем, как трудно наблюдать объекты вблизи Солнца. Удачу скорее могли принести не телескопические наблюдения на рассвете и закате, а фиксация прохождения неизвестного тела по диску Солнца. Прохождения Меркурия и Венеры по диску Солнца действительно наблюдаются, поэтому, казалось бы, должны наблюдаться и прохождения Вулкана — даже чаще, если только его орбита не сильно наклонена к эклиптике.

Действительно, сообщения о прохождении по диску Солнца неизвестного тела поступали — и оказались ошибочными. Человеческий глаз и человеческая психика так устроены, что наблюдатель, особенно переутомившийся, подчас видит то, чего нет. Несуществующий спутник Венеры, знаменитые, но столь же несуществующие каналы Марса — из той же серии. Скиапарелли и Ловелл напрасно составляли карты «марсианских каналов» — есть версия, что на самом деле они зарисовывали паутину капилляров на собственном глазном дне!

Теперь считается, что внутри орбиты Меркурия нет постоянно находящихся там тел, чей поперечник превышает несколько километров. Но вернемся к «клубу избранных», насчитывающему ныне всего-навсего 8 членов — 4 планеты земной группы и 4 газовых гиганта.

В общем и целом имеются две тенденции: плотность планеты тем выше, чем ближе она к Солнцу, и тем выше (в пределах

своей группы), чем планета крупнее. Исключение — Сатурн. Эта вторая по диаметру и массе планета Солнечной системы имеет плотность всего $0,7 \text{ г/см}^3$ — меньше, чем у воды.

Что наиболее примечательно в планетах земной группы?

Пожалуй, это необычайно плотная атмосфера Венеры, орбита Меркурия, особенности вращения Меркурия и Венеры, а также Луна. С нее и начнем.

Луна — единственный крупный спутник у планет земной группы. У Меркурия и Венеры спутников нет. Спутники Марса Фобос и Деймос малы, имеют форму неправильных картофелин и представляют собой довольно заурядные астероиды, захваченные притяжением Марса очень давно. Луна — иное дело. Это довольно крупный спутник диаметром более $1/4$ земного, объемом в 49 раз и массой в 81 раз меньше, чем у Земли. Средняя плотность Луны равна $3,34 \text{ г/см}^3$, что характерно для базальтов. Поскольку средняя плотность Земли равна $5,515 \text{ г/см}^3$, что много выше плотности земной коры и объясняется наличием в центре Земли железно-никелевого ядра, приходится считать, что железно-никелевое ядро Луны либо отсутствует, либо крайне невелико.

Механизм разогрева лунных недр тот же, что на Земле: во-первых, гравитационная дифференциация вещества, а во-вторых, тепловыделение при распаде радиоактивных изотопов, прежде всего калия-40. Оба эти источника тепла действуют гораздо слабее, чем на Земле, поскольку Луна меньше Земли. На ранних этапах существования Луны заметный вклад в ее разогрев могла вносить бомбардировка крупными астероидами, имевшимися тогда в изобилии.

Лунная кора вдвое-втрое толще материковой земной коры. Кора, подобной тонкой базальтовой коре земных океанов, на Луне нет. Лунные «моря», легко наблюдаемые невооруженным глазом как обширные темные области на лунном диске, являются результатом колоссальных излияний базальтовых лав, случившихся около 3 млрд лет назад — вполне вероятно, в результате астероидных ударов. Ныне сейсмика Луны слаба.

Зафиксировано несколько слабых «лунотрясений», найдены многочисленные «горячие» пятна, имеются лавовые купола, напоминающие лакколиты близ Минеральных Вод, тектонические сбросы, многократно фиксировались нестационарные явления в виде светлых и темных пятен, дымок и свечений, трактуемых как газовые выбросы, — вот, кажется, и все. Магнитное поле Луны крайне незначительно и, как считается, объясняется остаточной намагниченностью лунных пород. Изучая Луну, можно понять, какой в тектоническом смысле станет Земля спустя 2–3 млрд лет, когда все тяжелые элементы опустятся в ядро и мантийная конвекция сильно замедлится.

Есть ли на Луне вода — вопрос из вопросов. Ясно, что для функционирования постоянно действующей лунной базы местная вода крайне желательна. Ясно также, что страна, которая первой освоит лунные ресурсы, получит в дальнейшем колоссальные преимущества. Недаром важной целью космических аппаратов разных стран, запускаемых к Луне, является поиск воды, особенно на лунных полюсах.

Похоже, что она там есть — конечно, преимущественно в связанном виде. Не составляет большого труда высвободить эту воду, имея под рукой источник практически даровой солнечной энергии. Не исключено, что в лунном реголите вблизи полюсов могут содержаться мелкие частицы водяного льда — тогда задача еще более упрощается. А еще на поверхности Луны очень много окислов железа, теоретически пригодного для будущей лунной индустрии, и гелия-3, нанесенного туда солнечным ветром. Если бы нашелся относительно дешевый способ добычи и транспортировки этого изотопа, то осталось бы решить чисто технические, вполне посильные задачи ядерного синтеза — и энергии, причем безопасной, хватило бы не только будущим лунным поселкам, но и всему человечеству на несколько столетий вперед.

Вопрос происхождения Луны далек от ясности. Анализ лунных пород дал основания считать, что Луна на несколько десятков миллионов лет (называют цифру 60 млн лет) моложе Земли. В последнее время научно-популярные издания и телепередачи

утверждают следующее: некогда очень молодая Земля, раскаленная, только-только покрывшаяся тонкой коркой остывших пород, испытала столкновение с планетоидом размером с Марс. Энергия удара, во-первых, вновь привела Землю в жидкое состояние, а во-вторых, выбила из нее огромное количество материи, из которой со временем сформировалась Луна. Первоначально она находилась гораздо ближе к Земле, но за миллиарды лет под действием приливных сил мало-помалу переместилась на свою теперешнюю орбиту.

Из всего этого доказано только одно: Луна действительно понемногу удаляется от Земли — примерно на 3 см в год, — и виновны в этом действительно приливные силы. Происхождение же Луны по-прежнему остается туманным. Пока еще нельзя с абсолютной достоверностью утверждать, что Луна сформировалась из вещества, выбитого из Земли ударом, как не доказано и обратное, а именно то, что Луна с самого начала формировалась подобно всем «порядочным» планетоидам из пылевой субстанции.

Кстати. Тот факт, что Луна постепенно удаляется от Земли, может вызвать недоумение читателя, знакомого с физикой. Ведь чтобы перевести объект с низкой орбиты на высокую, требуется затратить энергию. Откуда в данном случае она берется?

Ответ прост. Суммарная энергия системы «Земля—Луна» не меняется. Луна понемногу удаляется от Земли, а в качестве компенсации вращение Земли постепенно замедляется. Не удивляйтесь, если прочтете где-нибудь, что в мезозое в сутках было всего 22 часа, — так оно и есть. Разумеется, в первом приближении, поскольку мезозой — довольно протяженная геологическая эра, и популяризаторам следовало бы уточнить, о каком именно периоде мезозоя идет речь. (В действительности — о начале этой эры.) Но качественную сторону картины сказанное отражает верно: вращение Земли действительно замедляется.

За счет чего? Приливные силы — это механизм процесса. Но как он действует?

Из курса физической географии для средней школы всякий должен знать о приливах, причем не только морских. Земная

поверхность также вспучивается горбом, направленным в сторону Луны, хотя, конечно, твердый горб намного ниже жидкого. Земля не может мгновенно менять свою форму, а движение Луны отстает от вращения Земли. Из-за этого наивысшая точка приливного горба опережает Луну примерно на 3 часа. Как следствие, вектор тяготения, действующий на Луну, направлен не точно к центру Земли, а слегка смещен в сторону приливного горба. Составляющая вектора тяготения, вызванная горбом, действует в направлении движения Луны, мало-помалу заставляя наш естественный спутник двигаться по все более высокой орбите. Составляющая эта очень мала, но ведь природа располагает временем. На протяжении миллиардов лет Луна существенно удалилась от Земли и будет продолжать удаляться впредь. Продлится это до тех пор, пока продолжительность суток не сравняется с продолжительностью лунного месяца. Луна в то время удалится от Земли примерно вдвое дальше, чем ныне, и будет все время находиться над одной точкой земной поверхности. На дальнейшую эволюцию орбитального движения системы «Земля—Луна» будут влиять только солнечные приливы, более слабые, нежели лунные.

Часть своей работы взаимные приливные силы уже выполнили — Луна повернута к нам одной стороной. Неверно, однако, думать, что без помощи космических средств мы можем наблюдать только 50% лунной поверхности. На самом деле из-за эллиптичности лунной орбиты и небольшого наклона экватора Луны к плоскости собственной орбиты Луна как бы покачивается, подставляя Земле еще 10% своей поверхности. Это явление называется либрациями (качаниями) Луны. Благодаря ему мы можем наблюдать с Земли 60% лунной поверхности, но, разумеется, не одновременно.

Вопрос, давно занимающий умы ученых: почему Венера, лишь немного уступающая Земле по массе, не имеет естественного спутника? И почему Меркурий движется по орбите с рекордным для планет эксцентриситетом, равным 0,206? И почему наклон его орбиты к эклиптике (7 градусов) также великоват?

И, возможно, главное: по какой причине собственное вращение этих планет разительно отличается от того, что демонстрируют нам Земля и Марс? Ведь Марс в смысле собственного вращения вполне «добропорядочен»: марсианские сутки лишь на полчаса длиннее земных, а наклон экватора к орбите тоже немногим отличается от земного. В то время как для Венеры наклон экватора к орбите составляет 177,4 градуса, т. е. Венера вращается в обратную сторону, противоположную своему движению по орбите.

С чем связаны эти обстоятельства? Не с тем ли, что первоначально Меркурий был спутником Венеры, а потом «сбежал» от нее в результате какой-либо космической катастрофы или суммарного действия приливных сил Венеры и Солнца? Или же обе эти планеты формировались независимо более или менее на своих нынешних орбитах и обе на заре своей жизни испытали столкновение с крупными планетоидами? Вопрос пока далек от ясности.

Что не должно нас сильно удивлять, так это беспрецедентно горячая и плотная атмосфера Венеры. Высокая температура (до 735 К) объясняется парниковым эффектом. Казалось бы, чем выше температура, тем быстрее молекулы и тем труднее планете удержать их, не позволив диссипировать (улетучиться) в космическое пространство. Однако гравитации Венеры на это хватает. На Венере, как и на Земле, атмосфера — продукт дегазации магмы. Вулканические газы на Земле на три четверти состоят из водяных паров, и, соответственно, громадная часть вулканических газов осела на Земле в виде воды — отсюда наши океаны и жизнь, включая нас с вами. Если мы (умозрительно, конечно) приблизим Землю к Солнцу настолько, что земные океаны выкипят, то Землю окутает атмосфера бóльшей массы, чем на Венере. Часть ее будет потеряна, но остатка хватит, чтобы образовать вокруг Земли газовую оболочку плотностью того же порядка, что на Венере. Разумеется, земная и венерианская атмосферы будут отличаться химическим составом (на Венере почти нет воды, которую, по-видимому, вымело излучением протосолнца за пределы

венерианской орбиты еще до формирования планет, зато очень много углекислого газа), но это уже частности.

Иное дело Марс. Нет никаких сомнений в том, что тектонические процессы там шли еще в относительно недавнем прошлом, о чем свидетельствует, например, самый крупный вулканический конус в Солнечной системе, и дегазация магмы происходила там точно так же, как на Земле и Венере. Но Марс слишком легкий, чтобы удержать вокруг себя плотную атмосферу. Ее давление у поверхности Марса в 170 раз меньше атмосферного давления у поверхности Земли на уровне моря. Возможно и даже вероятно, что в прошлом марсианская атмосфера была несколько плотнее и допускала существование жидкой воды, заполнявшей довольно протяженные водоемы. На эту мысль наталкивают рельефы, похожие на береговые линии, и извилистые линии, трактуемые как глубоко врезанные русла водотоков. Хотя, возможно, последние образовались сравнительно недавно вследствие таяния подпочвенных льдов.

Вода на Марсе есть, это не вызывает сомнений. Полярные шапки Марса состоят преимущественно из водяного льда, «припудренного» твердой углекислотой. Это не что иное, как газы, вымороженные из атмосферы и осевшие на поверхность в виде снега и инея. Толщина полярных шапок очень незначительна и во всяком случае не превосходит толщины сезонного снежного покрова в какой-либо засушливой области Земли. Особенно велика и красива южная полярная шапка, в противостоянии легко наблюдаемая в самый скромный телескоп. Когда в южном полушарии наступает весна, полярная шапка быстро тает, а ее граница отодвигается к полюсу со скоростью бегущего человека.

Вопрос о жизни на Марсе еще и теперь остается актуальным, но теперь ее ищут на микроуровне, и даже не столько ищут живые микроорганизмы, сколько следы их жизнедеятельности в далеком прошлом. А сколько беллетристики, научно-популярной и даже научной литературы было написано с уверенностью: на Марсе непременно есть жизнь! Господствовавшее в XIX веке убеждение, что Солнце понемногу гаснет, приводило к логично-

му выводу: в далеком прошлом на Земле было чересчур жарко, зато Марс тогда находился на комфортном для жизни удалении от Солнца, следовательно, жизнь на нем должна была развиваться раньше, чем на Земле. Воображению рисовалась старая и мудрая цивилизация, бедствующая, однако, по причине постепенного угасания Солнца. Ведь только в экваториальной зоне дневная температура на Марсе достигает комфортных плюс двадцати по Цельсию и даже выше. Ночью же, а в умеренных широтах и днем температура поверхности Марса держится на очень низком, малопригодном для живых организмов уровне. Гипотетической марсианской цивилизации пришлось бы очень постараться, чтобы попросту выжить. Периодические изменения цвета отдельных участков поверхности Марса, вызванные сменой сезонов и пылевыми бурями, трактовались как сознательная деятельность марсиан, связанная, например, с культивированием полезных марсианских растений для нужд местной цивилизации. Пресловутые каналы, оказавшиеся в конце концов оптической иллюзией, и по давню наводили мысль о развитой цивилизации. Позднее, с развитием наблюдательной астрономии, людям пришлось отказаться от надежды встретить братьев по разуму столь близко. Некоторое время оптимисты еще верили в то, что на Марсе может существовать если не цивилизация, то уж во всяком случае достаточно высокоорганизованная жизнь — сосудистые растения и питающиеся ими животные.

Увы и ах, спускаемые космические аппараты вдребезги разбили эти надежды. Что ж, иногда приходится расставаться с мечтами.

Через несколько лет после миссии американских АМС «Викинг», не давшей однозначного ответа, автор этих строк не без глумливого удивления прочитал в одном журнале: американцам-де надо было искать марсианскую жизнь не на микро-, а на макроуровне. Иными словами, следовало не поливать образцы грунта питательным бульоном в специальных капсулах, а просто-напросто поставить широкоугольные телекамеры и фиксировать пробегающих мимо животных. Может быть,

в качестве журналистской «хохмы» это было и неплохо, а что до содержания самой гипотезы, то мы предлагаем читателю самостоятельно поразмыслить на тему, почему макроорганизмы не могут существовать без микроорганизмов.

Строго говоря, абсолютно исключить вероятность существования на Марсе простейшей жизни нельзя и сейчас — можно лишь утверждать, что эта вероятность мала. Но почему бы жизнь не могла существовать на Марсе в прошлом, скажем, 1–2 млрд лет назад, когда условия для нее были более благоприятны? Ведь Марс, судя по всему, терял атмосферу и жидкую воду постепенно, на протяжении огромного времени.

В этом направлении сейчас и идет научный поиск. Благодаря СМИ стали широко известны микрогранулы, найденные в упавшем в Антарктиде метеорите марсианского происхождения. Здесь нам придется сделать небольшое отступление.

Очень крупный метеорит или небольшой астероид, врезавшись в поверхность планеты, спутника или другого астероида, естественно, выбивает из нее осколки. Если их скорость достаточно высока для того, чтобы покинуть сферу притяжения «родительского» космического тела, они начинают собственное движение по тем или иным околосолячным орбитам. Некоторые из этих обломков могут быть захвачены Землей и миллионы лет обращаться вокруг нее. Различные факторы, в первую очередь световое давление, приводят к тому, что в конце концов обломки — в нашем случае «марсиане» — выпадают на Землю. Отличить их от обычных каменных метеоритов можно по химическому и изотопному составу. Выявлено около 30 «марсиан», несколько «лунников», осколки Меркурия и Весты. С Венеры — ничего, что и неудивительно при ее атмосфере.

Отступим от темы еще немного и зададимся вопросом: не летают ли в космосе «земляне». Может ли удар космического тела, нанесенный Земле, выбить из нее осколки, которые навсегда покинут ее и могут со временем выпасть на другую планету, скажем, на тот же Марс? Некоторые бактерии крайне живучи, теоретически они могут вынести подобное путешествие. Если

возможен обмен «зародышами жизни» между планетами земной группы и если микрогранулы, найденные в осколке Марса, действительно являются окаменевшими бактериями, то где же первоначально возникла жизнь: на Земле или на Марсе?

Вопрос интереснейший, а ответ мы можем дать лишь неполный: если на Марсе действительно была жизнь, то Земля здесь скорее всего ни при чем. Осколки Земли, выбитые ударами астероидов, — точно ни при чем.

И вот почему. С какой бы скоростью ни вонзился астероид в поверхность планеты, скорость разлета осколков не может превысить скорости распространения продольной ударной волны в горных породах. Чем выше плотность породы, тем выше скорость ударной волны. Для базальтов — самых плотных пород, имеющих на поверхности Земли, эта скорость немного меньше параболической (второй космической), равной 11,2 км/с. Даже если бы Земля была лишена атмосферы, выбитые при соударении осколки остались бы на околоземной орбите, чтобы спустя миллионы лет вернуться обратно. Атмосфера почти наверняка лишит их даже шанса выхода в ближний космос. Что до более распространенных на земной поверхности гранитов, то скорость распространения продольной волны в них еще ниже.

Являются ли микрогранулы, найденные в марсианском обломке, останками неведомых нам бактерий — пока неясно. Разные группы исследователей пришли к диаметрально противоположным выводам. Согласно некоторым выводам, структуры, похожие на упомянутые гранулы, должны были образоваться при температуре не ниже 650 °С, что исключает возможность существования какой-либо формы белковой жизни, в то время как другие ученые допускают образование гранул при значительно более низких температурах и т. д. На 28-й Конференции по изучению Луны и планет различные группы ученых обменялись результатами своих исследований. Консенсус, увы, достигнут не был...

Нам кажется более разумным считать все похожие на бактерии включения в метеоритах чисто минеральными образования-

ми до тех пор, пока не будет доказано обратное. Чисто внешнее сходство гранул с земными бактериями еще не показатель — ведь и сосулька похожа на морковку. Разумеется, это не означает, что мы призываем к отказу от дальнейших исследований — как раз наоборот! Если сознание выбирает рациональный подход, то подсознание все-таки продолжает надеяться на научную сенсацию.

Хотя... марсоходы «Спирит» и «Оппортьюнити» все-таки не нашли в марсианском грунте следов жизни. Даже бывшей.

Осталось сказать несколько слов о пресловутом «сфинксе» на поверхности Марса. Строго говоря, непонятно, почему он сфинкс, — на снимке, сделанном аппаратом «Викинг-1» с разрешением в 40 м, видно более или менее человеческое лицо и никаких львиных атрибутов. Ну ладно, лицо так лицо. Тоже немало. Для сенсации хватает и меньших причин, и велик был энтузиазм журналистов. Подумать только! Некая внеземная цивилизация оставила на поверхности Марса артефакт, свидетельствующий о ее существовании! Возможно, это своеобразное послание землянам, которое те смогут увидеть не раньше, чем освоят межпланетные перелеты, потому что с низкоразвитой цивилизацией о чем вообще разговаривать? (Интересно, что должна была символизировать «слеза», выкатившаяся из глаза «сфинкса», — печальную участь марсианской цивилизации или прогноз насчет сходной участи человечества?)

Нечего и говорить, что был забыт один из фундаментальнейших научных принципов, известный под названием принципа Оккама, бритвы Оккама или скальпеля Оккама: не вводи без нужды новых сущностей. Иными словами: принимай самое простое и вероятное объяснение, и только если оно не подходит, переходи к более сложному. Ясно, что более простым объяснением будет такое: марсианский «лик» — местная прихоть ветровой эрозии, каковая повсеместно наблюдается не только на Марсе, но и на Земле, в отличие от инопланетян, никем и никогда достоверно не зафиксированных.

«Мыльный пузырь» с марсианским «сфинксом», или «лицом», закономерно лопнул, как только были получены снимки

того же места, сделанные при помощи аппарата «Марс Глобал Сервейер» с десятикратно бóльшим разрешением (4 м) и при ином положении Солнца на марсианском небе. Как и следовало ожидать, «лик» исчез — остался сильно разрушенный эрозией холм без какого-либо намека на искусственное происхождение. Очередной урок фанатичным энтузиастам: не следует смешивать науку с научной фантастикой. Последняя как раз и существует за счет злостного пренебрежения принципом Оккама... Впрочем, можно не сомневаться: надлежащие выводы из истории со «сфинксом» будут сделаны немногими. Фанатиков вообще трудно образумить, и околонуучные фанатики совсем не исключение.

Если вам хочется, можете скачать из Интернета снимки марсианской поверхности и поискать иные «лики». Ручаемся — найдете. Но куда проще поискать их на обоях с каким-либо абстрактным рисунком. Тоже найдете обязательно, причем при варьировании освещения одни «лики» могут пропадать, зато вместо них появятся новые... В обоих случаях это увлекательное занятие для тех, кто располагает избытком свободного времени, но к науке отношения не имеющее.

3. ГИГАНТЫ И СПУТНИКИ

Если предположить, что плотность газопылевого кокона, окутывающего Протосолнце, была везде постоянной, и принять как факт, что световое давление вытолкнуло легкие газы из внутренних областей Солнечной системы, то становится понятно, почему ближайшая к Солнцу газовая планета является крупнейшей: ей досталось дополнительное газовое вещество из ближайших окрестностей Протосолнца, выметенное световым давлением. На самом деле первоначальная плотность кокона, конечно, увеличивалась по направлению к центру гравитационного сжатия, что еще сильнее усугубляет картину. Право слово, если бы Юпитер не был крупнейшей планетой в Солнечной системе, этому следовало бы удивиться.

«Процесс производства» из газово-пылевой среды не слишком массивных звезд, подобных Солнцу, не очень рачителен — значительная часть сжимающегося облака диффузной среды превращается в звезду, и лишь небольшой процент общей массы идет на формирование планетной системы или постепенно рассеивается в окружающем молодую звезду пространстве. Если бы газово-пылевое облако, породившее Солнце, было значительно массивнее, то на долю «постороннего», не вошедшего в звезду вещества пришлось бы гораздо бóльшая часть. Можно ожидать, что в таком случае были бы массивнее и газовые планеты — некоторые из них могли бы стать коричневыми карликами или даже нормальными карликовыми звездами.

Однако с Юпитером этого не произошло. Коричневыми карликами принято считать звезды в диапазоне масс от 0,013 до 0,075 масс Солнца, а Юпитер с его массой в одну тысячную солнечной серьезно не дотягивает до статуса даже такой неполноценной звезды, как коричневый карлик. Юпитер — планета. Правда, он излучает вдвое больше того, что получает от Солнца,

но это легко объясняется крайне медленным сжатием Юпитера. Никакие ядерные реакции в его недрах не идут — слишком мала температура.

Юпитер вращается быстрее всех газовых планет, делая оборот вокруг оси всего лишь за 9 ч 50,5 мин на экваторе и на 5 мин медленнее в высокоширотных зонах. Зональное вращение характерно как для звезд, так и для газовых планет. Из-за быстрого вращения диск Юпитера сплюснут (1:15), что легко замечает наблюдатель в самый скромный телескоп.

Также при беглом взгляде на диск Юпитера бросается в глаза его широтная полосатость. (По количеству видимых полос удобно тестировать оптику и пригодность атмосферы для наблюдений.) Видимая поверхность Юпитера есть не что иное, как облачный покров, разделенный на зоны быстрым вращением планеты. Бывает, что относительная скорость двух наблюдаемых деталей, находящихся в соседних зонах, доходит до 300 км/ч. При таких обстоятельствах края зон находятся в турбулентном движении, что выглядит как фестоны на краях полос.

Естественно, наиболее распространенное вещество в Юпитере — водород. Его там 82%, гелия — 17%, а оставшийся процент приходится на долю других элементов. В атмосфере Юпитера присутствуют метан, этан, аммиак, кристаллики водяного льда, бисульфида аммония и т. д. Внешние слои планеты — чисто газовые, однако на глубине в 0,15 радиуса планеты водород приобретает металлические свойства и становится жидким. Его температура при этом достигает 2000 °С. Далее, на глубине 0,9 радиуса планеты водород переходит в твердое состояние с плотностью 11 г/см³, температурой 20 000 К и давлением в 50 Мбар.

Разумеется, пока еще никто не нырял в Юпитер с термометром и барометром — мы привели расчетные данные. Возможно их дальнейшее уточнение, но качественно картина, по-видимому, не изменится.

Протяженная атмосфера большой и быстро вращающейся планеты просто обязана быть бурной. Так оно и есть на са-

мом деле. Ураганные, по земным понятиям, ветры со скоростью 150 м/с — нормальное явление для Юпитера. Часто на диске планеты видны округлые образования, отличающиеся цветом от окружающих областей, причем сразу несколько, — это гигантские атмосферные вихри, напоминающие наши ураганы, только в большем масштабе. Обычно они существуют от нескольких недель до нескольких месяцев, но бывают и вихри, живущие десятки лет. Они возникают, исчезают, сливаются друг с другом, т. е. в первом приближении ведут себя подобно земным атмосферным вихрям, конечно, с поправкой на масштаб. Так, например, весной 1998 года два вихря поперечником в 10 тыс. км каждый, известные как Белые Овалы и существовавшие порознь более 60 лет, слились в один вихрь.

Есть на Юпитере и один супервихрь, наблюдаемый уже более 300 лет. Это знаменитое Красное Пятно размером 48×12 тыс. км. Любопытно, что в последние десятилетия Красное Пятно заметно поблекло и уже не так ярко выделяется на диске планеты. Может быть, оно исчезнет совсем, а может быть, вновь «соберется с силами» — будущее покажет.

На Юпитере открыта область, хорошо отражающая радиоволны и не совпадающая с Красным Пятном. Пока неизвестно, что это такое.

Электрическая активность атмосферы высока. Если в земных облаках молнии свыше 50 км длиной — большая редкость, то на Юпитере обычны молнии 1000-км длины. Магнитное поле планеты огромно — в 40 тыс. раз интенсивнее земного. Юпитер окружен мощными радиационными поясами. Впервые их преодолел «Пионер-10», причем наведенные токи в аппаратуре вдвое превысили допустимое значение, однако аппарат остался цел.

Еще Галилей открыл 4 спутника Юпитера, которые и сегодня называют галилеевыми. Это Ио, Европа, Ганимед и Каллисто. Наклон их орбит к экватору планеты мал, и часто можно видеть, как галилеевы спутники выстраиваются цепочкой. Эти спутники можно было бы видеть невооруженным глазом, если

бы не мешал яркий блеск Юпитера. Некоторые уверяют, что видели-таки их невооруженным глазом при очень хорошем небе, закрыв диск планеты каким-нибудь маленьким экраном, хотя бы тонкой веточкой. У пишущего эти строки подобный эксперимент не увенчался успехом, но если хотите — попробуйте, вдруг вам повезет больше? И уж во всяком случае не упустите, если представится такая возможность, понаблюдать в телескоп за прохождением одного из галилеевых спутников по диску планеты. Он отбросит тень на диск, и это замечательное зрелище.

Любопытно, что плотность галилеевых спутников падает с удалением от Юпитера — она максимальна у Ио и минимальна у Каллисто. Вряд ли подобное сходство с планетами случайно. Поскольку происхождение галилеевых спутников несомненно связано с происхождением Юпитера, приходится предположить, что излучение протопланеты (инфракрасное, конечно) в период гравитационного сжатия было достаточно интенсивным, чтобы вымести легкие элементы на периферию. Соответственно, Ио формировалась из более тяжелого вещества, а уж Каллисто — «из того, что осталось».

Ио — единственное, не считая Земли, космическое тело с регулярно наблюдаемым вулканизмом. Почему этот небольшой шар диаметром всего 3640 км ведет себя столь активно? Ведь на более крупном и тяжелом Меркурии, а также на Марсе ничего подобного не наблюдается, хотя вулканы на Марсе есть. Причина кроется в приливном воздействии со стороны Юпитера, гораздо более мощном, чем воздействие Земли на Луну. Не будь Ио столь близка к Юпитеру, ее недра давно уже успокоились бы. Свою долю вносят и приливные возмущения со стороны Европы и Ганимеда. В твердой коре Ио амплитуда приливов достигает 100 м! Приливные силы выполняют громадную работу; мощность выделяемого недрами Ио тепла составляет 2 вт с каждого квадратного метра, что в 30 раз выше, чем на Земле. Трудно ожидать, что это тепло будет выделяться равномерно — и действительно, поверхность Ио испещрена горячими точками и вул-

канами, через которые главным образом и происходит тепловыделение. Вулканы Ио выбрасывают огромное количество серы и ее соединений, все ее поверхность покрыта ими, поэтому цвет Ио — оранжевый. В кратерах земных вулканов сера осаждается в результате разложения сернистых газов, и ее относительно немного. В противоположность этому, вулканы Ио фонтанируют жидкой серой. Поскольку свободного кислорода на Ио крайне мало, гореть этой сере не в чем — приходится накапливаться на поверхности.

Жидкие недра Ио имеют следствием собственное магнитное поле этого спутника, оно создает «пузырь» внутри мощного магнитного поля гигантской планеты.

У Ио есть разреженная атмосфера (да и как ей не быть при непрекращающемся вулканизме!), верхняя часть которой является ионосферой. «Галилео» передал на Землю фотографии Ио, сделанные в тени Юпитера. На них отчетливо видны полярные сияния, вызванные возбуждением атомов ионосферы высокоэнергичными космическими частицами, разогнанными магнитным полем Юпитера.

Второй галилеев спутник — Европа — интригует ученых как возможная колыбель внеземной жизни. Светлая окраска Европы давно наводила на мысль о ледяной коре (рис. 9). Детальные фотоснимки «Галилео» выявили в ледяном панцире Европы весьма разветвленную сеть замерзших трещин, а многие участки выглядят как торосистый лед. Причина трещиноватости и торошения опять-таки кроется главным образом в приливном воздействии со стороны Юпитера, более слабом, чем у Ио, но все-таки заметном. Крайне вероятно, что под ледяным панцирем Европы находится океан, возможно, покрывающий всю поверхность этого спутника. Темный цвет трещин указывает на то, что по ним поднималась вода, впоследствии застывшая. Метеоритных кратеров на Европе немного, и они невелики, что и неудивительно: крупные метеориты — фактически астероиды, — способные пробить ледяной панцирь, оставляют кратеры, которые будут заполнены водой. Вода, естественно, замерзнет и скроет следы удара, если

не считать более или менее круглых областей темного льда на месте падения. И действительно, такие ударные образования на Европе есть.

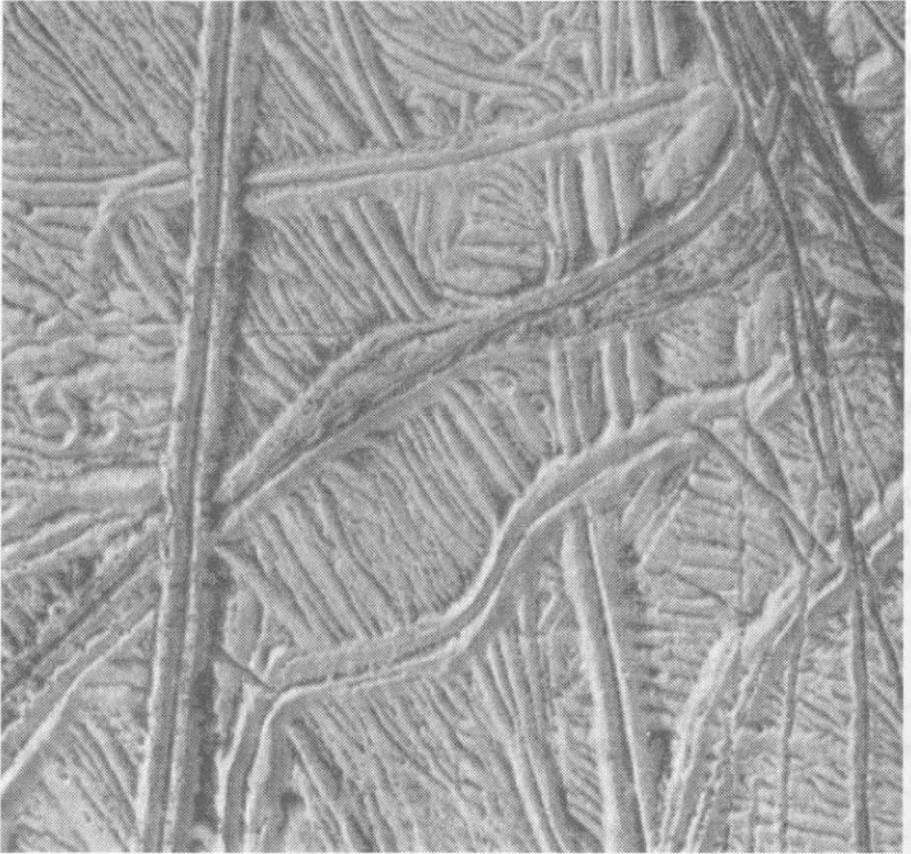


Рис. 9. Поверхность Европы

Считается, что Европа имеет большое металлическое ядро; его радиус может достигать половины радиуса этого космического тела. Толщина водно-ледяной оболочки оценивается в 80–170 км, а толщина ледяного покрова составляет, по разным оценкам, от 2 до 20 км. Хотя приливные силы на Европе совсем не те, что на Ио, однако их энергии хватает на то, чтобы держать большую часть воды в жидком состоянии. Нет никаких причин, по которым в подледном океане не могли бы существовать органические вещества, а если так, то нет ли в нем жизни?

Так и хочется сказать: утопающий хватается за соломинку. С давних времен люди населяли ближайшие к нам миры жизнью, да еще разумной. Но оказалась безжизненной Луна, выяснилась принципиальная невозможность белковой жизни на Меркурии и Венере, практически сдал позиции Марс... так, может, в океане Европы найдутся хотя бы бактерии?

Вероятность мала, но сбрасывать ее со счетов преждевременно. Для жизни необходим внешний источник энергии. Для Земли таковым является Солнце — именно его энергия аккумулируется в живых организмах, питая в конце концов всю пищевую пирамиду. Для гипотетической жизни в океане Европы этот источник энергии несуществен: тепло в океан поступает не сверху, а снизу, из недр спутника. Сильно неравновесные условия, необходимые для возникновения жизни, могли бы создать подводные вулканы, почти наверняка имеющиеся там; они же послужили бы источником «сырья» для жизни и мутагенным (за счет распада радиоактивных элементов) фактором, необходимым для биологической эволюции. Правда, этот фактор слабее, чем то, что мы имеем на Земле благодаря инсоляции, но хоть что-то... Приходится говорить с уверенностью: если на Европе и существует жизнь, то она находится на крайне примитивном уровне и вряд ли сумеет развиваться во что-то высокоорганизованное.

Само собой разумеется, открытие даже примитивной жизни, но появившейся самостоятельно, без связи с земной биотой, стало бы колоссальным прорывом в нашем знании о природе. Но детальное исследование Европы с помощью спускаемых аппаратов пока остается делом будущего.

Третий из галилеевых спутников — Ганимед — является крупнейшим спутником в Солнечной системе. Он больше Меркурия и вполне мог бы считаться самостоятельной планетой, если бы обращался вокруг Солнца, а не вокруг Юпитера. Ганимед состоит из камня и льда, поэтому его плотность всего $1,93 \text{ г/см}^3$. Толстой ледяной коры, как на Европе, у Ганимеда нет. Поверхность его испещрена кратерами; есть и молодые вул-

канические равнины, покрытые застывшими грязе-ледяными потоками «лавы». Можно считать, что примерно половина поверхности Ганимеда, усеянной древними кратерами, была затем заново покрыта такой «лавой» в результате вулканической и тектонической активности. Длинные и широкие борозды на поверхности трактуются как следы тектонических явлений. Однако гравитационная дифференциация вещества Ганимеда не была, по-видимому, особо интенсивной, поскольку Ганимеду досталось меньше тяжелых элементов, чем Европе, и приливные силы со стороны Юпитера недостаточно разогревают его недра. Металлическое ядро в его центре, несомненно, сложилось, однако вода, которая на Европе выдавилась на поверхность, осталась на Ганимеду в смеси с минералами и не образовала сплошную ледяную кору.

Подобно Ио и Европе, Ганимед имеет сильно разреженную атмосферу. Верхние ее слои состоят из заряженных частиц, следовательно, можно говорить об ионосфере. Атмосфера предполагает атмосферные явления — на Ганимеду они сводятся к выпадению инея. Состав инея — вода, углекислота или то и другое вместе — пока неизвестен.

Каллисто — последний и наименее яркий галилеев спутник Юпитера. Поверхность этого спутника сильнее, чем у других галилеевых спутников, покрыта ударными кратерами больших и малых размеров. Отсутствие магнитосферы говорит об отсутствии в центре Каллисто сплошного металлического ядра — по-видимому, ее ядро состоит из смеси металлов с минералами. Внешние слои Каллисто состоят, по-видимому, из льда, под которым, как на Европе, может находиться жидкий соленый океан. Что до мантии, то она является смесью льда и минералов, причем количество льда убывает по направлению к центру. По-видимому, материал, из которого «строилась» Каллисто, изначально содержал очень много молекул воды. Еще раз обратим внимание на общую тенденцию: чем дальше от центрального светила (в данном случае «светилом» является Юпитер), тем меньше тяжелых элементов и больше легких.

Остальные спутники Юпитера многочисленны (более 50), но невелики. Самые дальние из них обращаются по орбитам, находящимся в десятках миллионов километров от планеты-гиганта. Вне всякого сомнения, это захваченные притяжением Юпитера астероиды. Наибольший интерес вызывают «внутренние» спутники — те, орбиты которых лежат внутри орбиты Ио.

Их четыре: Метида, Адрастея, Амальтея, Теба. Крупнейший из них — Амальтея — представляет собой глыбу неправильной формы размером 262×134 км. Интересны орбиты двух ближайших к Юпитеру спутников — Метиды и Адрастеи. Они круговые, без наклона к экватору планеты и очень близки друг к другу (Метида чуть ближе к Юпитеру). Эти спутники находятся близ внешнего резкого края пылевого кольца Юпитера, открытого «Вояджером-1». Кольцо это, строго говоря, является системой колец. Полученные от «Галилео» данные позволяют утверждать, что кольца Юпитера состоят из пыли, выбитой из внутренних спутников при ударах метеоритов. Внутренний край кольца практически касается облачного слоя планеты. Кольца Юпитера разреженные и довольно темные, их альbedo 0,015.

Но когда говорят о кольцах планет-гигантов, память сразу подсказывает: Сатурн! Действительно, его кольца яркие и роскошны на вид (рис. 10). Лишь несовершенство оптики телескопа Галилея помешало ему открыть их — хотя какие-то «придатки» по краям планеты он все же заметил. Пальма первенства в открытии колец Сатурна принадлежит замечательному физики Христиану Гюйгенсу, составившему по обычаю тех лет анаграмму, расшифровывающуюся так: «Кольцом окружен тонким, плоским, нигде не прикасающимся, к эклиптике наклоненным». Действительно, кольца Сатурна лежат в плоскости экватора планеты, наклоненной к эклиптике под углом почти 27 градусов. Поскольку орбитальный период Сатурна составляет без малого 30 лет, а кольца очень тонкие, примерно каждые 15 лет наступает кратковременный период полной ненаблюдаемости колец с Земли — мы просто-напросто находимся в их плоскости. Согласитесь, что трудно рассмотреть несмя-

тый лист фольги, глядя на него строго с ребра, а лист фольги, причем тончайшей, — очень хорошая модель, наглядно демонстрирующая крайне малую толщину колец, не превышающую 1 км. Разумеется, период невидимости колец наступает и тогда, когда кольца и лучи Солнца лежат в одной плоскости. Эти периоды невидимости календарно близки, что и понятно: «с точки зрения Сатурна» Земля и Солнце лежат в одной области небосвода. За несколько дней до невидимости кольца Сатурна выглядят сверкающей иглой, «пронзающей» диск планеты. Ближайший период невидимости колец придется на середину 2009 года, а максимального раскрытия колец придется подождать до 2016 года.

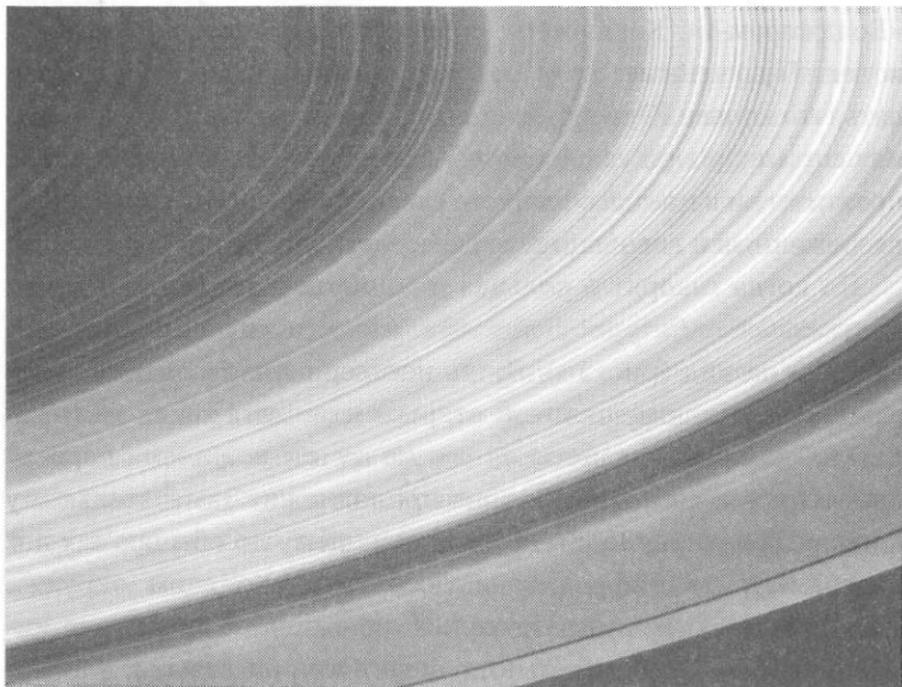


Рис. 10. Кольца Сатурна. Снимок АМС «Кассини»

Установление метеоритной природы колец Сатурна связано с именем русского ученого — академика А.А. Белопольского. Камень размером около 1 м — вот «портрет» типичного элемента колец Сатурна. Мириады подобных камней обращаются во-

круг Сатурна по кеплеровским орбитам, потому что их взаимное притяжение совершенно ничтожно. Поскольку альbedo колец Сатурна беспрецедентно высоко, следует считать, что частицы кольца состоят преимущественно из льда или хотя бы покрыты льдом и инеем. При температуре колец 93 К и относительной слабости инсоляции лед, конечно, не будет эффективно испаряться.

При взгляде в телескоп с апертурой от 80 мм становится видно деление Кассини, часто называемое щелью Кассини. В более крупные инструменты можно разглядеть близ края кольца минимум Энке, представляющее собой полосу меньшей яркости, и деление Энке, а также рассмотреть призрачное внутреннее (креповое) кольцо, состоящее из самых малых частиц. Наземными наблюдениями удалось выявить кольца А, В, С, D, а также узкое внешнее кольцо F. И только. Совершенно иная картина открылась после пролета вблизи Сатурна АМС «Пионер-11», «Вояджер-1» и «Вояджер-2». Каждое кольцо оказалось системой, состоящей из сотен тонких колец. Было подтверждено существование перемещающихся радиальных светлых и темных областей, наблюдавшихся и ранее в виде «спиц». Проблема наземных наблюдений, однако, состоит в том, что трудно полностью исключить влияние атмосферы; история астрономии полна случаями наблюдения того, чего нет. Совсем другое дело — снимок, сделанный АМС с близкого расстояния.

Пока неясно, какие квазирезонансные явления ответственны за «спицы». Зато ясно, что само строение колец Сатурна чисто резонансного происхождения. Открыты небольшие спутники (всего их у Сатурна десятки), движущиеся по границам колец, а движение этих спутников, в свою очередь, согласовано с движением крупных спутников Сатурна.

Несомненно, кольца Сатурна образовались в результате разрушения одного или нескольких спутников, но что это были за спутники и в чем причина разрушения — пока неясно. Импактная (ударная) гипотеза кажется очень вероятной, хотя представляются возможными и иные сценарии.

Крупнейший и интереснейший спутник Сатурна — Титан. Этот второй по величине спутник в Солнечной системе уступает размерами только Ганимеду, зато имеет то, чего нет ни у Ганимеда, ни у какого-либо иного спутника, — плотную, вечно затянутую облаками атмосферу. Она на 85% состоит из азота, есть также аргон и метан. Поскольку метан является парниковым газом, неоднократно высказывалось предположение: холодны только внешние слои атмосферы — на поверхности планеты могут оказаться комфортные для белковой жизни условия. К сожалению, грубая действительность в виде результатов миссии АМС «Кассини-Гюйгенс» поставила крест на этих радужных мечтаниях — поверхность Титана оказалась исключительно холодной. Правда, на ней имеются обширные водоемы, но, разумеется, не водяные. К настоящему времени картографировано около 60% поверхности Титана, и озера занимают 14% изученной площади. Конечно, спутник, на котором есть метановая (или этановая) гидросфера и погодные явления, чрезвычайно интересен и вне связи с белковой жизнью, и его изучение, несомненно, будет продолжено, но с мечтой об альтернативной Земле колыбели жизни пришлось распрощаться — уже в который раз.

Остальные спутники Сатурна не столь крупны, как галилеевы спутники Юпитера. Выделяются Рея, Тетия, Диона и Япет с диаметрами 1530, 1060, 1120 и 1440 км соответственно. Низкая плотность этих тел говорит о присутствии огромного количества водяного льда. Шестой по величине спутник Сатурна Энцелад — рекордсмен по альбедо в Солнечной системе — интересен криовулканизмом. Его ледяная поверхность покрыта сетью многочисленных разломов, образно названных «тигровыми полосами». Из этих разломов часто происходят извержения пара и ледяных частиц. Внешние края разломов покрыты обширными отложениями этого ледяного крошева. 11 августа 2008 года аппарат «Кассини» прошел всего в 50 км от поверхности Энцелада. Траектория зонда пролегла сквозь облака ледяных частиц, выбрасываемых гейзерами в южной полярной области спутника.

Мы знаем земные гейзеры, выбрасывающие кипящую воду и перегретый пар, но ледяные гейзеры — это нечто совершенно уникальное. Причина гейзерной активности Энцелада, несомненно, связана опять-таки с действующими на спутник приливными силами.

Из других спутников Сатурна выделяется Мимас, имеющий огромный ударный кратер Гершель, названный в честь Уильяма Гершеля, что открыл Мимас в 1789 году, и занимающий почти треть диаметра планеты. Удивительно, что Мимас не раскололся после такого удара. Небольшие спутники, как и у Юпитера, имеют неправильную форму.

Но что же сама планета? Сатурн меньше Юпитера, однако и он выделяет больше тепла, чем получает от Солнца. Как и Юпитер, он покрыт полосами, но более широкими и менее четко обозначенными. АМС «Кассини-Гюйгенс» сфотографировала необычную атмосферную структуру на северном полюсе Сатурна — шестиугольный шторм. В принципе шестиугольные структуры могут образовываться при некоторых видах упорядоченной конвекции, но найти такую структуру на Сатурне оказалось полной неожиданностью.

Внутреннее строение Сатурна напоминает строение Юпитера, лишь водорода в нем несколько меньше. Сатурн вращается медленнее Юпитера, зато сильнее сплюснут. Это вполне объяснимо, если учесть, что Сатурн имеет меньшую массу и меньшую плотность (а значит, больший радиус, чем «следовало бы»): тяготению труднее бороться с центробежными силами.

Уран и Нептун по физическим характеристикам похожи друг на друга (Нептун немного массивнее). Основное различие кроется не в строении этих планет, а в особенностях вращения. Если Нептун с наклоном его экватора к плоскости орбиты в 28 градусов вполне «добропорядочен», то у Урана этот угол составляет почти 98 градусов! Планета вращается практически «лежа на боку», да еще и в обратную сторону, подобно Венере. Вряд ли можно объяснить эту странность «сбежавшим» спутником Урана — скорее дело в том, что ядро конденсации, из которого когда-то воз-

ник Уран, с самого начала обладало таким вращением. Почему? Этого мы пока не знаем.

Внутреннее строение Урана и Нептуна в общем такое же, как у Юпитера и Сатурна, но водорода в них еще меньше, отсюда и бóльшая средняя плотность. Внутренние источники тепла у обеих планет слабы, что тоже понятно, учитывая их меньшую, чем у Юпитера и Сатурна, массу. Сплюснутость планет незначительна, что отчасти объясняется сравнительно небольшой толщиной атмосфер. Зато что творится в тех атмосферах!..

В 1989 году «Вояджер-2» передал на Землю очень подробные снимки Нептуна. Было обнаружено большое темное пятно, представляющее собой, по-видимому, атмосферный вихрь (возможный аналог Большого Красного пятна на Юпитере), и скопление клочковатых белых облачков, быстро перемещающихся из одних широт в другие. Скорость атмосферных течений Нептуна превышает все, чем могут похвастать другие планеты, и способна достигать фантастического значения 500 м/с. При самых разрушительных земных ураганах скорость ветра едва превышает одну десятую этой величины. Учитывая к тому же весьма низкую температуру атмосферы Нептуна, вряд ли ее можно считать комфортным местом...

И Уран, и Нептун имеют узкие кольца, ничуть не похожие на роскошное обрамление Сатурна. Кольца Урана на редкость темные; они были открыты в 1977 году во время наблюдения покрытия диском Урана слабой звезды SAO 158687. Наблюдения покрытий одних небесных тел другими подчас преподносят сюрпризы — так вышло и в тот раз. Незадолго до покрытия звезда пятикратно «исчезала» на несколько секунд и вновь появлялась. То же повторилось после появления звезды из-за диска Урана. Не чем иным, кроме как системой темных колец, объяснить это явление было нельзя. Позднее были открыты еще 4 кольца Урана, и теперь их известно 9.

Нептун имеет 4 очень узких кольца, открытых во время пролета мимо планеты АМС «Вояджер-2». Теперь считается, что наличие колец — нормальный атрибут планеты-гиганта, и было бы странно, если бы кольца у Нептуна отсутствовали.

Любопытно, что атмосферы Урана и Нептуна относительно тоньше атмосфер Юпитера и Сатурна. Согласно гипотезе американского планетолога Алана Босса, первоначальные газовые оболочки Урана и Нептуна были испарены ультрафиолетовым излучением близких звезд. Поскольку звезды обычно рождаются группами и лишь потом расходятся в пространстве, вполне можно предположить, что у новорожденной Солнечной системы действительно были близкие соседи, среди которых могли оказаться и массивные звезды с мощным излучением. Объяснить, почему их излучение не действовало на Сатурн и Юпитер, можно так: образование планет-гигантов завершилось, когда внешняя часть протосолнечного диска, в которой находились Уран и Нептун, уже успела рассеяться в пространстве под действием того же УФ-излучения, а более плотная внутренняя часть диска защитила Юпитер и Сатурн. Так это или нет, пока неясно, но во всяком случае эта гипотеза не хуже других. Между прочим, на рассеивание внешних частей диска, как и на формирование планет-гигантов, по-видимому, не потребовалось много времени: есть выкладки, согласно которым из-за развития гравитационной неустойчивости в первоначально однородном протопланетном диске уже через 150 лет появляются спиральные ветви, а еще через 50 лет они распадаются на протопланетные сгустки. Довольно неожиданный результат, учитывая расхожие представления о медленной, в течение миллионов лет, эволюции космических объектов!

Загадкой является обратное движение крупного спутника Нептуна — Тритона. Не исключено, что весьма давно Тритон, будучи в те времена самостоятельной планеткой — плутоидом, испытал тесное сближение с Нептуном и был захвачен его притяжением. Моделирование показало, что для выхода на почти круговую ретроградную орбиту Тритон должен был иметь крупный спутник, который при сближении с Нептуном был выброшен в самые внешние области Солнечной системы и, возможно, даже покинул ее. Это предположение не кажется надуманным — ведь спутники у плутоидов не такая уж редкость.

«Это добром не кончится», — говаривал персонаж популярного мультфильма. Если Луна под действием приливных сил постепенно переходит на все более высокую орбиту, то как поведет себя Тритон, обращающийся вокруг Нептуна в «неправильную» сторону? Эволюция орбиты Тритона в точности противоположна эволюции орбиты Луны. Приливные возмущения со стороны Нептуна уменьшают кинетическую энергию спутника и снижают его орбиту. Кончится тем, что Тритон подойдет к Нептуну слишком близко и разрушится, образовав кольцо намного более мощное, чем у Сатурна. Правда, произойдет это нескоро — примерно через 2,5 млрд лет...

Интересно бы знать: какие разумные существа смогут любоваться этим кольцом?

4. КАМЕННАЯ МЕЛЮЗГА

Вера в гармонию и целесообразность мироздания и надежда найти закономерности, позволяющие эту гармонию выявить, — вот характерная черта астрономов прошлого. Еще Кеплер, увлеченный «гармонией сфер», нашел соответствие между орбитами пяти известных на то время планет и геометрическими фигурами. Оказалось, что в сферы, построенные вокруг планетных орбит, можно вписать пять правильных многогранников: тетраэдр, куб, октаэдр, додекаэдр и икосаэдр. Он же отметил, что между орбитами Марса и Юпитера слишком большой промежуток, где могла бы находиться орбита еще одной планеты. Правда, сам Кеплер позднее открыл, что планетные орбиты суть эллипсы, а не окружности, так что его мысль насчет многогранников оказалась лишь красивой математической спекуляцией. Тем не менее прямо-таки напрашивалась мысль поискать между Марсом и Юпитером еще одну — неизвестную — планету.

В конце XVIII века Иоганн Тициус эмпирически нашел, а Иоганн Боде широко распропагандировал правило, связывающее порядковый номер планеты с ее расстоянием от Солнца: $10A_n = 3 \times 2^{(n-1)} + 4$, где A_n — расстояние планеты от Солнца, выраженное в а.е., n — номер планеты, начиная от Венеры (для Меркурия первый член справа равен нулю). И действительно: для всех известных на то время планет, включая Уран, правило Тициуса–Боде выполняется с точностью в несколько процентов. (Впоследствии выяснилось, что Нептун никоим образом не укладывается в названное правило, а следовательно, никакого правила в действительности не существует, но в конце XVIII столетия правило Тициуса–Боде почиталось за истину.)

Одно только не лезло ни в какие ворота: отсутствовала планета с $n = 4$, теоретически обязанная находиться дальше Марса, но ближе Юпитера. Могло ли случиться странное: эту планету не заметили ни древнегреческие, ни арабские астрономы?

Могло, если планета мала и/или имеет низкое альbedo. К тому же открытие Гершелем Урана ясно показало: Солнечная система еще может преподнести крупные сюрпризы. Оптимизм астрономов подстегивался как «математическим обоснованием» в виде правила Тициуса–Боде, в каковое правило укладывался и Уран, так и очевидным соображением: телескоп поможет увидеть то, чего не видели древние.

Орбиты всех известных на то время планет располагались вблизи эклиптики. Естественно было предположить, что планету-невидимку также следует искать в довольно узкой околоэклиптикальной полосе. В 1800 году немецкий астроном Цах предпринял попытку скооперировать усилия 24 европейских астрономов с целью «выловить»-таки неизвестную планету. Каждый из согласившихся на эту работу астрономов получил свой участок неба, в пределах которого ему предстояла кропотливая работа: измерить точные координаты множества звезд, затем спустя несколько дней (или недель, как получится) измерить их заново и сравнить результаты. Перемещение по небу одной из звездочек указало бы на планету. В те времена не существовало более прогрессивных методов...

Как ни удивительно, открытие последовало до того, как работы были развернуты в полной мере. В ночь на 1 января 1801 года итальянский астроном Пиацци, который был, как говорится, «ни сном, ни духом» (ему еще только собирались предложить присоединиться к программе поиска планеты), занимался рутинной работой: проводил измерения координат звезд для каталога звездных положений. На следующую ночь, выполняя проверочные замеры, он заметил, что одна из звезд 8-й величины сместилась. Третья ночь не оставила сомнений: звездоподобное небесное светило действительно двигалось относительно других звезд.

Пиацци решил, что открыл либо необычную комету, лишенную туманной оболочки, либо планету, но очень маленькую, по виду неотличимую от звезды. Это действительно оказалась планета — именно та «недостающая» планета между Марсом

и Юпитером, в существование которой верило большинство астрономов. Карл Фридрих Гаусс вычислил ее орбиту, впервые применив свой революционный метод вычисления орбит всего по трем наблюдаемым положениям. Планету назвали Церерой. Смущало лишь одно: ее малые размеры — не более 1000 км. Но не успели астрономы как следует «переварить» открытие Цереры, как 28 марта 1802 года последовало открытие еще одной планеты, названной Палладой.

Если бы только этим и кончилось! Но двумя планетами вместо ожидаемой одной дело не ограничилось. В 1804 году была открыта Юнона, а в 1807-м — Веста, самая яркая из малых планет, видимая в близком противостоянии даже невооруженным глазом как очень слабая звездочка. После чего новые малые планеты не попадались на глаза астрономам целых 38 лет...

Лишь в 1845 году Генке открыл Астрею, а спустя 2 года — Гебу. После чего открытия новых малых планет посыпались как из рога изобилия. К настоящему времени известны сотни тысяч малых планет. Другое их название — астероиды, т. е. звездopodobные, — дано (Гершелем) неспроста, ибо лишь самые крупные из них могут быть наблюдаемы в крупнейшие наземные телескопы в виде дисков; прочая же «мелюзга» выглядит точно, иначе говоря, подобно звездам. С той разницей, что астероиды сравнительно быстро перемещаются по небу.

На этом их свойстве от Пиаци до наших дней основываются методы открытия новых малых планет. К счастью, никто из «ловцов астероидов» уже не занимается скрупулезным трудом, связанным с замером координат бесчисленных слабых звезд, — существуют более прогрессивные методы. Самый ранний хронологически — фотография, вошедшая в астрономический обиход в конце XIX века. На хорошей фотографии звездного неба, сделанной с продолжительной экспозицией, звезды выглядят точками (если не считать дифракционных колец и абберационных искажений на краю снимка), тогда как астероид прочерчивает некоторый трек в виде короткого светлого штриха. Этот метод был вполне приемлем до тех пор, пока оставались достаточно

яркие неоткрытые астероиды, способные засветить светочувствительную эмульсию в движении.

Теперь таких нет. Лишь 30 астероидов имеют поперечник свыше 200 км, а глыб километрового размера — порядка 100 тыс., что вполне закономерно: в природе вообще гораздо больше мелких объектов, нежели крупных. Так, комаров на Земле на много порядков больше, чем слонов. Наибольшее число открываемых астероидов падает в наше время примерно на 19-ю звездную величину. Ценится и время, которое приходится тратить на продолжительные фотоэкспозиции. Поэтому поступают иначе: делают два снимка одного и того же участка неба на ПЗС-матрицу со сравнительно небольшой (порядка нескольких минут) экспозицией. Временной интервал между снимками может достигать нескольких часов, а в отдельных случаях и суток. Простенькая программа для заурядного персонального компьютера превращает монитор в блинк-компаратор — переключает на экране снимки с первого на второй и обратно. При этом «неподвижные» звезды нисколько не смещаются, но если обнаружится крохотная звездочка, которая «скачет», — можно не сомневаться, это малая планета.

К маю 2005 года число зарегистрированных астероидов превысило 277 тыс.; количество астероидов с вычисленными орбитами приблизилось к 100 тыс., а собственные имена получили 12 268 астероидов.

Кстати. Любой астроном, в том числе любитель, открывший астероид, вправе присвоить ему имя. Правда, его придется защитить в Международном астрономическом союзе, так что любителей одиозных имен и плоских шуток просят не беспокоиться (впрочем, лица с подобными наклонностями редко открывают астероиды). Мифологический арсенал имен давно оскудел, поэтому имена астероидам сплошь и рядом даются в честь исторических деятелей, ученых, меценатов, артистов, писателей, спортсменов и любимых женщин. Иногда — в честь города, села или местности, каким-нибудь боком причастных к астрономии. В СССР существовала традиция давать новооткрытым астероидам

дам женские имена, по необходимости производя их из мужских, как то: Владилена, Симеиза, Морозовия, Стругацкия, Глазенапия (в честь одного из организаторов Русского астрономического общества С.П. Глазенапа) и др., но в последние десятилетия следование этой традиции не считается обязательным. Например, астероид 8141 Николаев, открытый в 1982 году Н.С. Черных в Крымской астрофизической обсерватории, получил имя в честь одноименного города¹.

Почему же не всем открытым астероидам присвоены имена? Потому что есть смысл называть что-то хорошо известное, а «эфемерные» объекты могут обойтись и без имени, с одним только предварительным обозначением. Оно может выглядеть, например так: 2008AF₁, что соответствует 31-му астероиду, открытому в первой половине января 2008 года. Беда в том, что слабый астероид может легко потеряться, прежде чем его точная орбита будет установлена продолжительным рядом наблюдений, и не наблюдаться позднее годами, а то и десятилетиями. Не раз потерянные астероиды находились, вновь терялись и вновь находились. Лишь те малые планеты, движение которых хорошо изучено, получают имена.

Орбиты подавляющего большинства астероидов находятся между орбитами Марса и Юпитера. Более того, орбиты 97% астероидов Главного пояса заключены в пределах от 2,17 до 3,64 а.е. от Солнца. Часто эти орбиты имеют заметный эксцентриситет, т. е. вытянуты. Кроме того, они обычно обладают значительным наклоном к эклиптике, например 10,6 градусов у Цереры,

¹ Кстати уж о названиях. Предлагаемое некоторыми планетариями и частными фирмами право за мзду порядка нескольких сотен долларов называть как угодно покупателю любую слабую звезду есть не что иное, как торговля воздухом. Имя, не признанное Международным астрономическим союзом, ничего не значит. Если уж нейдет, можно поступить проще: распечатать на принтере «свидетельство» или «сертификат» произвольной формы и содержания — хоть присвоить имя любой звезде или галактике, хоть приобрести в собственность всю нашу Вселенную. Результат будет тот же — никакой. — *Примеч. авт.*

34,8 градусов у Паллады, а у крохотной Бетулии — даже 52 градуса. На астрономических олимпиадах школьнику может быть задан вопрос: «Может ли планета наблюдаться в созвездии Большой Медведицы?» Всякому сведущему в астрономии человеку ясно: не может. Слишком уж далеко это созвездие от эклиптики. Но если речь идет об астероиде (тоже ведь в некотором роде планета, хоть и малая) — то да, может.

Но существуют и астероиды, приближающиеся в перигелии ближе к Солнцу, чем Марс, Земля и даже Венера. Особенно выделяется Икар, удаляющийся в афелии дальше Марса и приближающийся к Солнцу в перигелии ближе Меркурия! Существуют и астероиды с орбитами, целиком находящимися внутри орбиты Земли.

Любопытны две группы астероидов, движущихся примерно по орбите Юпитера, причем одна группа опережает планету приблизительно на 60 градусов, а вторая на столько же отстает¹. Эти астероиды называются «троянцами», так как им даны имена героев Троянской войны: Ахиллес, Гектор, Агамемнон, Одиссей и др. Известно более 1000 таких планеток.

Очень часто астероиды обнаруживают изменение блеска, что связано с их вращением и неправильной формой. Лишь крупнейшие астероиды являют собой приблизительно сфероидальные тела, большинство же имеют неправильную, иногда даже очень неправильную форму. Таков, например, астероид Эрос, легко меняющий свой блеск на полторы звездные величины (в 4 раза!) и являющийся вытянутым телом весьма неправильной формы размером $33 \times 13 \times 13$ км.

Несомненно, у любознательного читателя уже возник вопрос: откуда же взялась вся эта несусветная толпа малых планет? Каково ее происхождение? Еще Ольберс, открывший Палладу

¹ Проще говоря, Солнце, Юпитер и эти две группы астероидов образуют вершины равносторонних треугольников. В системе Земля—Луна в указанных областях, называемых точками либрации (или лагранжевыми точками) L₄ и L₅, находятся облака космической пыли. — *Примеч. авт.*

и Весту, высказал предположение о существовании в давние времена между Марсом и Юпитером планеты Фазтон, раздробленной на куски в результате какого-то древнего катаклизма. (Фазтоном звался мифологический персонаж, сын бога Гелиоса, не справившийся с управлением солнечной колесницы и испепеленный за это молнией Зевса. Как видим, мифологическое ГИБДД было суровее нашего.) Название гипотетической планеты, надо признать, было выбрано удачно, но существовала ли она на самом деле? Нет, и вот почему.

Астрономам давно уже ясна генетическая связь метеоритов с астероидами. В принципе выпадающие на поверхность Земли метеориты суть не что иное, как мелкие астероиды или их обломки (исключение, впрочем, крайне редкое, составляют метеориты, выбитые некогда с поверхности Марса, Луны и Меркурия). Следовательно, изучая химический состав метеоритов, мы вправе делать выводы и о химическом составе астероидов.

Так вот. Соотношение изотопов металлов в образцах железных и железо-каменных метеоритов позволяет разделить их по меньшей мере на 36 групп. Отклонения от упомянутого соотношения внутри каждой группы незначительны, зато между группами — существенны. Ясно, что дробление железного ядра одной планеты не могло бы привести к такому результату. Следовательно, в пространстве между Марсом и Юпитером первоначально образовалось по меньшей мере 36 планетоидов. Их характерный размер составлял 500–1000 км. Надо полагать, что формированию вместо них одной планеты помешали гравитационные возмущения со стороны Юпитера. Все существующие астероиды являются осколками этих 36 (или более) первоначальных тел, разрушенных при столкновениях друг с другом.

Поясним. Любое космическое тело, превышающее поперечником 250–300 км, под действием собственной гравитации принимает более или менее шарообразную форму. Это становится особенно очевидным, если внимательно рассмотреть спутники

планет. Давление вышележащих слоев поддерживает внутреннюю область планетоида в пластичном состоянии, напоминая уже не твердое тело, а чрезвычайно вязкую жидкость — совсем как в земной мантии. Данная «жидкость» охвачена конвективными движениями, протекающими с весьма низкой скоростью (сантиметры или даже миллиметры в год). Причиной этих движений служит гравитационная дифференциация вещества — тяжелые элементы (прежде всего металлы группы железа) тонут, легкие (силикаты) всплывают. Процесс этот весьма долгий: даже наша Земля, несмотря на ее значительную массу и почтенный возраст, успела собрать в ядре только 85% железа, а 15% по-прежнему находится в мантии и земной коре.

За те сотни (не более) миллионов лет, в течение которых первоначальные планетоиды — прародители астероидов — испытали взаимные столкновения, оказавшиеся для них катастрофическими, процесс гравитационной дифференциации вещества в них, можно сказать, только начался. Не приходится удивляться тому, что лишь 5% известных нам метеоритов являются чисто железными (типа Сихотэ-Алинского метеорита), а около 70% — железо-каменными (типа «Палласова железа»). Первые, судя по всему, являются осколками железных ядер первоначальных планетоидов, а вторые — мантийными фрагментами. Чисто каменные метеориты — осколки внешних твердых оболочек планетоидов, уже потерявших железо. Изредка (менее 1% всех находок) попадаются углистые хондриты — метеориты рыхлого строения с высоким содержанием углерода, представляющие собой легкие шлаки.

Пока трудно сказать, являются ли крупнейшие из астероидов (Церера, Веста, Паллада) уцелевшими первичными телами или же они имеют вторичное происхождение. Относительно более мелких астероидов, не имеющих сфероидальной формы, можно не сомневаться — обломки.

Общее количество их не поддается исчислению. К тому же толком не понятно, начиная с какого размера космическую глыбу-бродягу следует «произвести в почетное звание» астерои-

да. Иногда СМИ сообщают, что мимо Земли пролетел астероид поперечником, скажем, 50 м. Если столь малое тело (вполне способное наделать бед при падении на какой-нибудь населенный пункт) считать астероидом, то тогда астероидов в Солнечной системе миллионы и миллионы!

Еще меньших тел — миллиарды.

Весной в южных широтах вскоре после вечерних сумерек иногда виден так называемый *зодиакальный свет* — туманный светящийся конус, наклонно поднимающийся над западным горизонтом. Такое же явление наблюдается осенью перед рассветом на востоке. Ось конуса проходит по зодиакальным созвездиям — отсюда и название. Поверхностная яркость свечения невелика, но и не чересчур мала — сопоставима с яркостью Млечного Пути. Чем ближе к экватору, тем ярче зодиакальный свет и тем вертикальнее «высовывается» из-за горизонта конус. Иногда при очень темном небе можно видеть, как «ночной» и «утренний» конусы сливаются в единую полосу, протянувшуюся по небу; изредка видно противосияние — более яркое «вздутие» светящейся полосы в точке небосвода, противоположной Солнцу. Но в чем физическая природа зодиакального света?

Сама его «геометрия» дает ответ: это отражение солнечного света от бесчисленного множества каких-то тел, концентрирующихся к эклиптике. Спектр зодиакального света оказался тождествен спектру Солнца, а это значит, что имеет место отражение солнечного света от достаточно крупных частиц (пылинок и крупнее), а не рассеяние его молекулами газа. Природа противосияния также вполне понятна: частицы, расположенные дальше от Солнца, чем Земля, отражают свет всей поверхностью, подобно Луне в полнолуние. Ведь полная луна ярче ущербной, не так ли?

Общая масса отражающих частиц невелика, зато площадь отражения огромна; она-то и дает то, что мы называем зодиакальным светом. Нет никаких сомнений в том, что эти твердые частицы размером от булыжников до пылинок — такие же обломки древних планетоидов, как большинство астероидов.

Особняком стоят «кентавры» — группа астероидов, расположенных между орбитами Сатурна и Урана. Своё название они получили от первого из них — Хирона. Так звали мудрого кентавра, учителя Ахиллеса. Уже известно более 30 «кентавров», что даёт основания говорить о втором поясе астероидов. До прямого изучения «кентавров» дело пока не дошло, а наблюдательная астрономия мало что может сказать об их физической природе — очень уж далеки и малы эти тела. По-видимому, они состоят из силикатов и льдов.

Но вернемся к Главному поясу астероидов. Вообще говоря, астероидная астрономия — занятие не столько наблюдательное, сколько вычислительное, связанное не только с расчетом орбит новых астероидов, но и с уточнением орбит старых, давным-давно открытых малых планет. Сплошь и рядом орбиты астероидов испытывают гравитационные возмущения со стороны планет-гигантов, в первую очередь Юпитера. Для небольших астероидов, близко подходящих к Солнцу, замечен любопытный эффект Ярковского. Суть его в том, что нагретая солнцем сторона крохотной планетки после поворота (астероид-то вращается) излучает тепловые фотоны вперед или назад по ходу движения астероида, обеспечивая ему тем самым тормозной или, соответственно, разгонный импульс. Забавный случай «фотонного привода», столь любимого фантастами, но реализованного самой природой!

Первой малой планетой, сфотографированной с близкого расстояния, стал астероид 951 Гаспра (рис. 11), мимо которого 29 октября 1991 года на расстоянии 16 тыс. км прошел зонд «Галилео», направляющийся к Юпитеру. Были получены фотографии с разрешением 60–100 м. Как видно на фото, Гаспра является неправильным телом наибольшим поперечником около 16 км, испещренным оспинами мелких кратеров различных размеров (самый крупный — 1,7 км). Он принадлежит к S-типу, т. е. состоит из силикатов, в данном случае преимущественно оливина. Любопытна сглаженная в целом форма астероида — заведомого обломка более крупного тела. Таковы же

впоследствии оказались и другие исследованные космическими аппаратами астероиды. Возможное объяснение этого феномена — периодические столкновения на малой относительной скорости с другими астероидами Главного пояса, приведшие к «шлифовке» поверхности. Трудно сказать, как часто происходят (или происходили в прошлом) подобные столкновения, но факт сглаженности налицо, а Природа располагает временем...

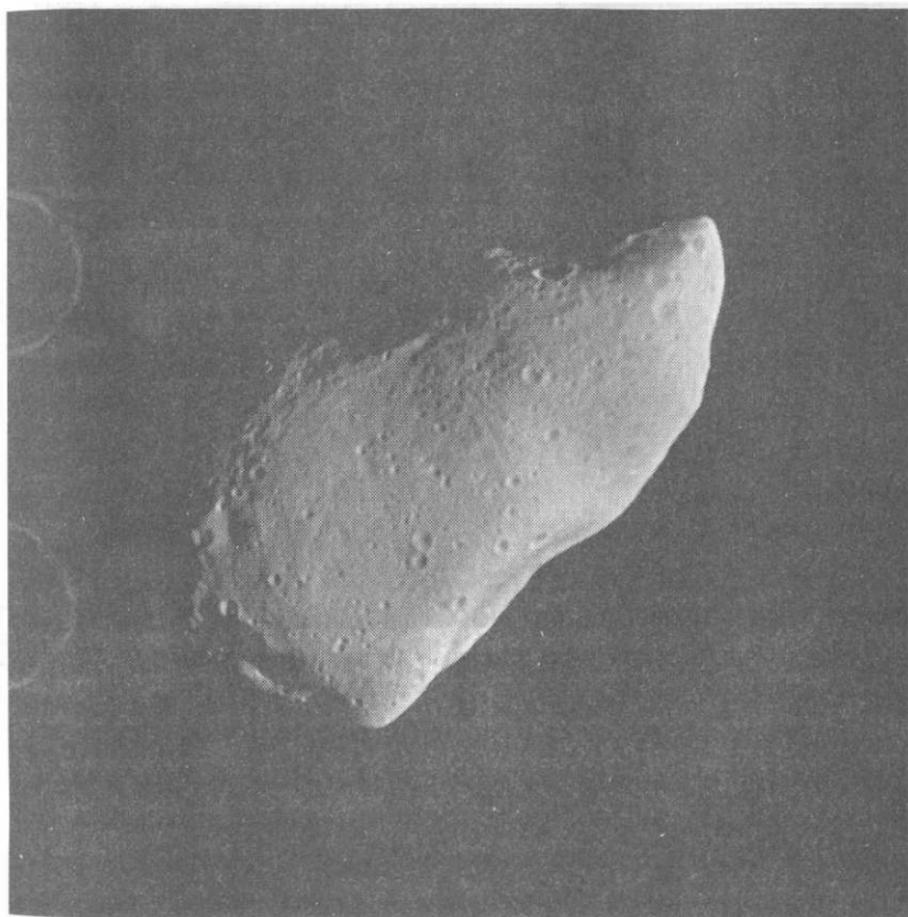


Рис. 11. Астероид Гаспра

Затем настала очередь Иды (243), мимо которой 28 августа 1993 года прошел тот же неутомимый «Галилео». Этот астероид размером 58×23 км преподнес сюрприз: у него оказался

астероид-спутник Дактиль размером 1,5 км (рис. 12). Строго говоря, еще в 1978 году косвенно был открыт спутник астероида Геркулина (532), а колебания блеска некоторых астероидов напоминают колебания блеска двойных звезд, что может говорить о возможном наличии спутников. Но до миссии «Галилео» Ида ни в чем подобном не подозревалась...

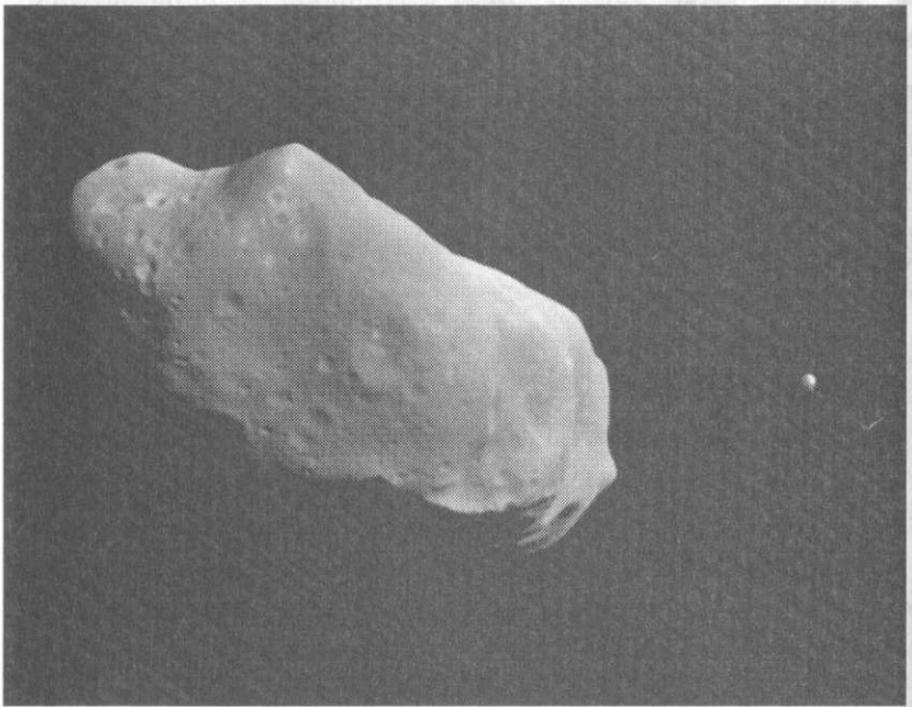


Рис. 12. Астероид Ида со спутником Дактиль

Попутно заметим, что наблюдения последних лет показали: двойственность среди астероидов неожиданно (опять неожиданно!) оказалась не таким уж редким явлением. Выяснилось, например, что небольшие спутники имеют астероиды Сильвия (87) и Камилла (107). Найдены и контактно-двойные астероиды, т. е. космические тела, попросту лежащие друг на друге. Происхождение таких пар остается еще во многом неясным.

Настоящий триумф ждал исследователей после мягкой посадки космического зонда NEAR на астероид Эрос (433). Последний и был главной целью зонда, хотя по пути был сфотографирован

астероид Матильда, отличающийся аномально низкой плотностью. Поначалу, правда, из-за сбоя в работе системы ориентации аппарат разминулся с Эросом на расстоянии более 3000 км, и уже казалось, что миссия NEAR завершилась малой удачей. Однако вскоре было найдено решение: использовать часть топлива, предназначенного для маневров около астероида, для того чтобы вновь, спустя 13 месяцев, вывести зонд к Эросу. Маневр увенчался успехом, и 14 февраля 2000 года NEAR вышел на орбиту вокруг астероида.

Зонд передал на Землю выдающийся объем данных (в 10 раз больше запланированного). Отчасти это было следствием дерзкого, почти авантюрного решения: потратить остатки топлива на попытку посадить на Эрос зонд, абсолютно не предназначенный для посадки!

Профессионализм плюс везение сделали свое дело: 12 февраля 2001 года NEAR и Эрос соприкоснулись на скорости около 1,5 м/с, чтобы более не разлучаться. Аппарат остался цел, и его гамма-спектрометр собирал данные о составе грунта прямо с поверхности, что на порядок точнее, чем с орбиты. Кроме того, медленно опускающийся на поверхность Эроса зонд делал снимки с разных высот — последний из них был сделан с высоты 120 м. Посадка затевалась, собственно, ради получения снимков высокого разрешения (рис. 13), а выдержит ли аппарат — это уж как повезет...

Повезло. Хотя давно замечено: везет в основном тем, кто хорошо подготовлен.

Эрос — тело сложной формы размером $33 \times 13 \times 13$ км и опять-таки гладкое, а не угловатое. Больше всего удивляет огромное количество камней и глыб, разбросанных по поверхности Эроса и никак не связанных с кратерами. Странен дефицит мелких кратеров. Удивительны образования, названные «прудами», — плоские участки на дне кратеров, образованные реголитом. «Пруды» не просто гладки, но и чрезвычайно горизонтальны (понятно, по отношению к вектору силы тяжести в данном месте). Возникает впечатление, что реголит Эроса ведет себя подобно жидкости.

Кто бы мог подумать, что текучесть реголита, столь красочно описанная в «Лунной пыли» Артура Кларка, проявится на небольшом астероиде! А еще Эрос — второй после Гаспры астероид, у которого было обнаружено магнитное поле.

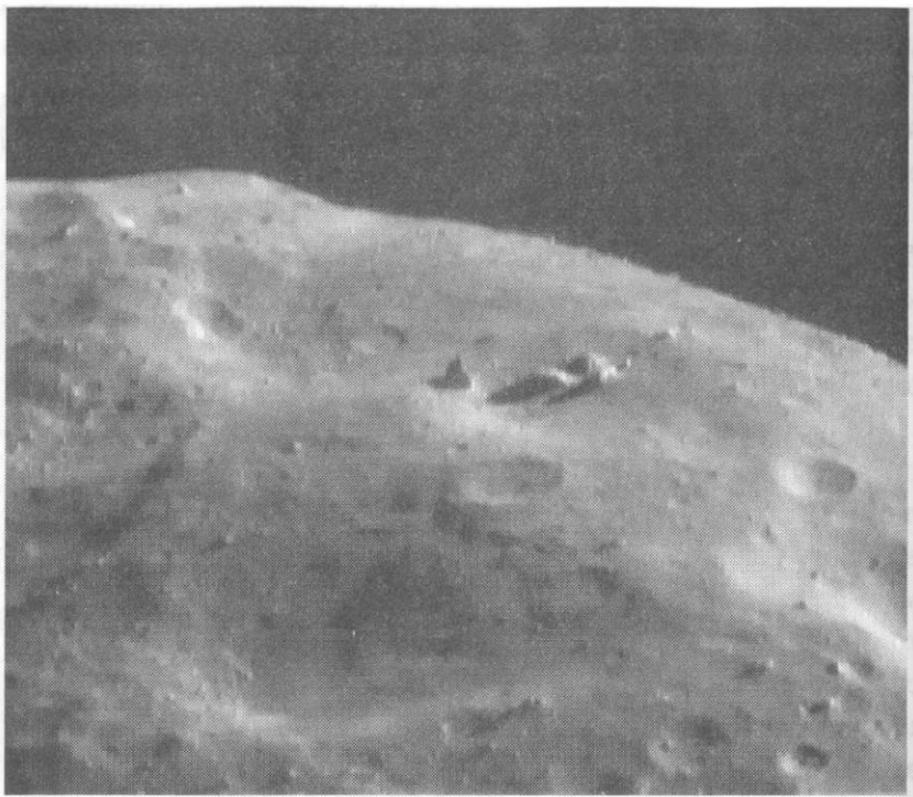


Рис. 13. Поверхность Эроса

И это только начало непосредственного исследования малых планет. Сколько же удивительного нам еще предстоит узнать!

И шаги в этом направлении делаются. К примеру, 27 сентября 2007 года была запущена американская автоматическая межпланетная станция «Даун», предназначенная для исследования крупнейших астероидов Главного пояса — Цереры и Весты. Установленная на АМС научная аппаратура позволит, в частности, определить минеральный состав астероидов и провести их картографирование. Ожидается, что «Даун» приблизится к Весте в октябре 2011 года и удалится от нее в апреле 2012-го. Пролет

вблизи Цереры запланирован на февраль 2015 года. Будем надеяться на то, что этот аппарат, несмотря на русскую транскрипцию его названия¹, успешно выполнит свою миссию.

Когда к астероидам полетят российские АМС, остается неизвестным...

Осталось сказать несколько слов о суммарной массе астероидов Главного пояса. Она невелика — по-видимому, не более одной тысячной массы Земли. Понятно, что в начале существования Солнечной системы суммарная масса твердого вещества, обращающегося вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера, была несколько больше, ибо столкновения с планетами неуклонно уменьшали количество обломков. И все-таки можно предположить, что, если бы Юпитер своим тяготением не помешал формированию «планеты Ольберса», это была бы довольно ничтожная планетка. Не зря ее назвали Фазтоном — ну кто такой сын второразрядного бога Гелиоса по сравнению с великолепным царем богов Юпитером!

¹ АМС называется «Dawn» — «Утренняя заря» — и не имеет отношения к английскому врачу Л. Дауну (L. Down) и болезни, названной его именем. — *Примеч. авт.*

5. КОМЕТЫ И МЕТЕОРНЫЕ ПОТОКИ

Нет слов, чтобы описать великолепное зрелище косматой небесной странницы, широко раскинувшей свой хвост по небу, — зрелище величественное, завораживающее... и пугающее. Во всяком случае, кометы пугали людей на протяжении тысяч лет, якобы предвещая войны, голод, мор, стихийные бедствия и уж непременно смерть какому-нибудь царю, королю или султану. Любопытно: почему только ему? Ведь небо видно всем, и каждый волен принять «предзнаменование» на свой счет. Похоже, от отсутствия самокритики древние и средневековые правители не страдали, воображая, будто небо создано для размещения на нем персональных посланий в их адрес. Что до народа, то он также не ждал от комет ничего хорошего.

Яркая комета конца 1811 — начала 1812 года, упомянутая в «Войне и мире», — к чему она? Ну ясно: к нашествию Наполеона на Россию. Комета 1825 года — к смерти Александра I, событиям на Сенатской площади и кровавому бунту Черниговского полка, окончившегося кровавым его подавлением. Комета Галлея, наблюдавшаяся в 1066 году в Киеве, разумеется, «предвещала» русскому народу вторжение половцев, случившееся двумя годами позднее, а князю Изяславу — военное поражение и потерю киевского княжения. И так далее. А если в год яркой кометы в данной стране не произошло ничего особенного, значит, произошло или вот-вот произойдет в другой стране — и ведь действительно что-нибудь трагическое время от времени происходит то там, то сям. Наверное, не было случая, чтобы народная молва и, конечно, астрологи не приписали комете какое-нибудь злодейство.

Физическая природа комет долгое время оставалась совершенно неясной. Аристотель считал их земными образованиями, плавающими в атмосфере на большой высоте, и вслед за гени-

альным (хотя часто ошибавшимся) древним греком подобных взглядов ученые придерживались без малого две тысячи лет. Позднее, когда космическое происхождение хвостатых странниц было бесспорно доказано, но комы и хвосты комет не находили объяснения, возникла гипотеза о кометах как о небольших твердых космических телах, охваченных бурным вулканизмом на манер земного — отсюда-де истечение газов, а нередкие вспышки комет суть просто вулканические взрывы. Жюль Верн, в романе «Гектор Сервадак» описавший путешествие нескольких землян на вымышленной комете Галлия, даже заставил своих героев отапливать жилые помещения ручейками горячей кометной лавы. Но первое — и, увы, неверное — представление о кометах наш современник получает чаще всего из детской книжки Туве Янссон «Муми-тролль и комета», где комета изображена раскаленным, испускающим сильный жар телом. И хвост ее тоже, конечно, состоит из раскаленных газов. Ну прямо огнедышащий космический дракон!

На деле же комета — просто грязная ледышка, приблизившаяся к Солнцу, ничего более. Неправда, будто бы комета обязательно имеет хвост — сплошь и рядом никакого хвоста (особенно у слабой кометы) обнаружить не удастся. Чаще всего кометы как раз слабы, во всяком случае слабы для наблюдения невооруженным глазом. Их комы и особенно хвосты в достаточной мере прозрачны — обычно сквозь них можно без труда наблюдать слабые звезды. Иногда одна за другой на небе появляются яркие кометы (Хиакутаке, Хейла-Боппа), а иногда проходят целые десятилетия без ярких комет. Случается, что прогнозы астрономов сулят яркую комету, а на деле она едва видна в бинокль. Бывает и наоборот: слабая комета может внезапно увеличить свой блеск в тысячи раз. Комета всегда может выкинуть какой-нибудь фортель — но тем интереснее!

Прежде всего: откуда они берутся?

Периодичность возвращений впервые была доказана Э. Галлеем в 1682 году для кометы, получившей его имя и наверняка самой знаменитой. Периодичность эта, впрочем, довольно от-

носителю: 75–76 лет. Отсутствие точного периода обращения астрономы совершенно справедливо приписали гравитационному возмущению со стороны больших планет.

Известно очень большое число короткопериодических комет с периодами обращения от 3,3 (комета Энке) до 8 лет. Они составляют так называемое семейство Юпитера. Есть также семейство Сатурна (периоды обращения этих комет тяготеют к 13 годам), семейство Урана (33 года) и семейство Нептуна (75 лет). Означает ли это, что все без исключения кометы — члены Солнечной системы?

Орбиты тел, обращающихся вокруг единого центра тяготения, являются коническими сечениями: окружность, эллипс, парабола, гипербола — и характеризуются эксцентриситетом e . Для окружности $e = 0$, для эллипса $0 < e < 1$, для параболы $e = 1$ и для гиперболы $e > 1$. Отсюда, кстати, следует, что существует только одна окружность и только одна парабола (различие лишь в масштабах), в то время как разнообразных эллипсов и гипербол — бесконечное количество. Тело, обращающееся вокруг Солнца по эллипсу, останется в Солнечной системе, а тело с гиперболической орбитой должно навсегда покинуть ее.

Следовательно, если орбита новой кометы гиперболическая, эта комета явилась к нам из галактического пространства и, пройдя перигелий, уйдет туда же, если только притяжение планет, особенно Юпитера, не заставит ее изменить орбиту на эллиптическую.

Разработанный Гауссом знаменитый метод расчета орбит по трем наблюдениям сильно помог астрономам в определении кометных орбит. Как и следовало ожидать, орбиты периодических комет оказались эллипсами. А вот со многими новыми кометами вышла загвоздка — эксцентриситеты их орбит оказались близки к единице (иногда чуть-чуть меньше, иногда чуть-чуть больше). Бывает, что вычисленная орбита является эллипсом с таким большим эксцентриситетом, что период обращения порядка десятков тысяч лет вычисляется с возможной ошибкой на целый порядок. Нередки и слабо гиперболические орбиты с эксцентриситетом примерно 1,001. Но ведь если кометы (хотя бы

некоторые) являются к нам из-за границ Солнечной системы, то их орбиты должны быть резко гиперболическими!

Но чего нет, того нет. Малую поправку к эксцентриситету, уводящую орбиту кометы от параболы к гиперболе, легко объяснить влиянием больших планет. Следовательно, кометы — члены Солнечной системы, только очень далекие в подавляющем большинстве.

В 1950 году голландский астроном Я. Оорт предположил, что на самых дальних задворках Солнечной системы, на расстояниях до 100–150 тыс. а.е., где уже начинает сказываться притяжение соседних звезд, существует рой ледяных тел, общее число которых достигает 100 млрд, а общая масса — всего 0,1 земной. Этот рой (облако Оорта) не является результатом катастрофы, случившейся с каким-нибудь небесным телом, а представляет собой «отходы» производства планет. Некоторые из этих тел были, вероятно, выброшены во внешние области Солнечной системы гравитационным возмущением со стороны формирующихся планет, а некоторые сконденсировались из газопылевого кокона уже на значительном расстоянии от Солнца — в те времена совсем юной звезды. Таким образом, пояс Койпера есть не что иное, как самая внутренняя часть облака Оорта.

Эти тела, состоящие из разных льдов, загрязненных пылью, называют кометными ядрами, хотя многие из них никогда не приблизятся к Солнцу и не явятся на небе в виде комет. Иные, «сбитые с пути истинного» взаимными сближениями, все-таки устремляются к Солнцу. Здесь надо сказать, что орбитальные скорости кометных ядер из облака Оорта совершенно ничтожны, так что достаточно крайне незначительного воздействия, чтобы кометное ядро круто изменило свою орбиту, а вместе с ней и судьбу. Высказывалось предположение о невидимой (из-за чрезвычайной слабости) звезде Немезиде, обращающейся вокруг Солнца по сильно эллиптической орбите с чудовищным периодом в 26 млн лет и периодически «насылающей» полчища комет. Но не будем говорить о том, что не обнаружено и даже не предсказано со значительной вероятностью...

Так или иначе, яркая комета Хейла–Боппа, долго радовавшая любителей астрономии в 1996–1997 годах (рис. 14, цв. вклейка), судя по наличию в ее спектре линий аргона, по-видимому, впервые оказалась во внутренних областях Солнечной системы (где аргон быстро улетучивается из кометного ядра). Похоже на то, что подобное утверждение справедливо для большинства комет с параболическими орбитами.

Орбиты комет гораздо слабее концентрируются к эклиптике, чем орбиты астероидов, из чего ясно, что облако Оорта имеет форму сравнительно несильно сплющенного сфероида. Новая комета может быть открыта в любой — абсолютно любой — точке небосвода. На практике наиболее плодотворно искать новые кометы на небольших — до 60 градусов — расстояниях от Солнца. Не то чтобы комет там было больше, но ярких комет, доступных наблюдениям в небольшие инструменты, — больше безусловно. Ведь коль скоро комета оказалась на небе сравнительно недалеко от Солнца, это нередко означает, что она «забралась» внутрь земной орбиты и подвергается интенсивному воздействию солнечных лучей, а ведь яркость кометы, как правило, обратно пропорциональна третьей-четвертой степени ее удаления от Солнца.

Почему не квадрату, как следовало бы «из геометрии»? Ответ кроется в специфических свойствах кометных ядер — «грязных ледышек». Если вы обращали внимание на съездившиеся и покрытые коркой грязи весенние сугробы, то вам легко будет представить себе ядро кометы. Это такой же сугроб, только очень большой и состоящий из самых разных льдов: водяного, метанового, аммиачного и т. д. с минеральными примесями.

Предположим, что комета впервые приближается к Солнцу и пылинки распределены в ее теле равномерно. Под действием солнечной радиации часть льда с поверхности ядра кометы испарится, образовав кому, иначе называемую головой кометы, а то и длинный хвост, развернутый световым давлением прочь от Солнца. Часть вытаявших из тела кометы пылинок будет унесена прочь газовыми струями, но часть останется на поверхности

ядра. Допустим также, что эта комета после ее вторжения во внутренние области Солнечной системы стала периодической. Тогда с каждым приближением кометы к Солнцу ядро ее будет несколько уменьшаться в размерах за счет потери газа, а поверхность сплошь покроется грязной коркой преимущественно силикатного состава. Нечто подобное можно наблюдать летом на языках ледников в горах. Комета становится менее яркой, зато у нее зачастую вырастает не только газовый хвост, направленный от Солнца, но и пылевой, вытянутый дугой вдоль орбиты; короче говоря, со старой кометы «песок сыплется». Такая комета способна преподнести немалые сюрпризы, иногда приятные, иногда нет. Вообще к прогнозам предполагаемого блеска ожидаемых комет следует относиться с недоверием — нередко оно оправдывается.

Например, комета Когоутека 1973 года прогнозировалась очень яркой, а реально ее можно было наблюдать лишь в бинокль. По-видимому, корка грязи на поверхности ее ядра оказалась слишком толстой, чтобы ее могли пробить струи газа. Прямо противоположный пример — комета Холмса. Эта заурядная короткопериодическая комета из семейства Юпитера, довольно слабая, открытая еще в XIX веке, иногда вспыхивала на 3–4 зв. величины, но в целом не обещала никаких особенных чудес. И вдруг в ночь на 24 октября 2007 года эта рядовая слабая комета вспыхнула, да как! В течение нескольких часов ее блеск увеличился в полмиллиона раз, а затем еще немного «подрос», так что из тусклого объекта 17^m она засияла как светило 3-й звездной величины. Округлая кома этой кометы, быстро увеличиваясь в диаметре, достигла 1,4 млн км и превзошла диаметр Солнца, что нечасто бывает с кометами¹, а уж для короткопериодической кометы это вообще нонсенс! Между прочим, размер ядра кометы Холмса оценивается всего-навсего в 3,6 км — недаром кометы называют «видимым ничто». Вне города комету Холмса можно

¹ Комета 1811 года также имела кому, превышающую диаметр Солнца. —
Примеч. авт.

было наблюдать в созвездии Персея как «лишнюю» туманную звезду невооруженным глазом, а в Москве, увы, только в бинокль. Ярко выраженного хвоста наблюдатели не дождались, что и неудивительно: перигелийное расстояние этой кометы довольно велико, а кроме того, на момент вспышки комета уже прошла перигелий.

Что же произошло? По-видимому, от ядра кометы откололся большой осколок, который быстро раскололся на совсем мелкие части. Причиной может быть взрывоподобное истечение газов, прорвавших толстый слой грязной корки, но, учитывая значительное расстояние от Солнца, более вероятно, что ядро кометы испытало столкновение с мелким астероидом (или крупной глыбой, называйте как хотите), каких в Солнечной системе миллионы. И нам остается только радоваться столь удачному попаданию, подарившему всему миру замечательное зрелище.

Число комет, проходящих перигелий в течение года, довольно велико и исчисляется многими десятками. Часть из них — старые знакомые, периодические кометы, наблюдавшиеся в предыдущие возвращения; другая часть — новые кометы, как периодические, так и с параболическими (или слабо гиперболическими) орбитами. С совершенствованием наблюдательной техники ежегодно открывается все больше комет. Запуск космических аппаратов IRAS и LINEAR породил опасения, будто бы все новые кометы будут теперь открываться этими автоматическими аппаратами, а на долю астрономов-наблюдателей не останется ничего, — но, к счастью для «ловцов комет», эти опасения оказались преждевременными. До сих пор немало комет открывается «по старинке», т. е. при помощи визуальных наблюдений с телескопом. И можно не сомневаться, что часть приблизившихся к Солнцу комет остается вообще незамеченной.

Среди «невидимок» не только слабые кометы, которые легко пропустить. Взаимное положение Солнца, Земли и кометы тоже играет свою роль. Большая комета, скрывающаяся в солнечных лучах, может остаться незамеченной. Ядро кометы, чей перигелий проходит далеко от Солнца, скажем, в 5–10 а.е., может вы-

делить недостаточно газа, чтобы комета стала наблюдаемой. Наконец, комета может быть пропущена по случайности, ибо пока еще невозможно (да и вряд ли так уж необходимо) вести мониторинг всего неба с «прицелом» именно на кометы.

Зато с запуском космического аппарата SOHO, предназначенного для изучения Солнца, стало возможно открыть комету, буквально не вставая с дивана. Для этого достаточно лишь внимательно изучать сделанные SOHO снимки солнечной короны. Довольно много мелких кометных ядер, которые из-за своей малости никогда не были бы обнаружены вдали от Солнца, выпускают длинные хвосты, приблизившись к нашему главному светилу на расстояние порядка нескольких его радиусов. Правда, на этом большинство таких комет и заканчивает свое существование — если они не падают на Солнце, то уж во всяком случае полностью испаряются вблизи него.

Сказанное заставляет задуматься: такими ли уж «вечными» являются кометы, как, например, планеты или крупные астероиды? Ведь с каждым прохождением перигелия ядро кометы безвозвратно теряет часть своей массы. Даже если речь идет о долгопериодической комете, какова, например, яркая комета Донати 1858 года, следующее появление которой ожидается аж в XXXIX веке, это не меняет сути дела, и вопрос «старения» кометы остается лишь вопросом времени. Велик ли 2-тысячелетний период обращения кометы Донати по сравнению с возрастом Солнечной системы? Ничтожно мал. Если эта комета не изменит свою орбиту и не столкнется с каким-нибудь телом, которое раздробит ее на части, то рано или поздно она «выгорит», т. е. покроется столь толстой минеральной корой, что при приближении к Солнцу газы уже окажутся бессильны взломать ее. Такая комета по сути уже не будет отличаться от астероида, за исключением, конечно, сильно вытянутой орбиты. И действительно, такие астероиды известны. Например, 6-км астероид № 3200, получивший название Фэтон (не пропадать же имени злосчастливого мифологического персонажа!), движется по сильно вытянутой орбите, пересекающей орбиту Земли, а в пе-

ригелии приближается к Солнцу втрое ближе Меркурия. Можно не сомневаться: при такой орбите долго (по астрономическим меркам, разумеется) он не протянет и в конце концов поплатится за свою неосторожность, как то произошло с сыном Гелиоса. По-видимому, Фазгон является не «настоящим» астероидом, а мертвым ядром кометы. Астрономы считают, что именно это космическое тело дало начало метеорному потоку Геминиды. Найдены и другие астероиды — бывшие кометы. Они образуют как бы промежуточный класс небесных тел, равномерно заполняющих классификационную пустоту между кометами и астероидами. Некоторые из них больше похожи на кометы, другие — на астероиды. Показательна комета Отерма, имеющая орбиту, характерную для типичного астероида Главного пояса. Если бы не слабая туманная оболочка, окружающая это небесное тело, кто отличил бы его от малой планеты?

Таков финал жизни любой периодической кометы, если только с нею не случится нечто экстраординарное. А оно случается! Далеко не всем кометам уготована спокойная старость в астероидном облике. Некоторые из них, как уже было сказано, выбрасываются тяготением Юпитера из Солнечной системы. Другие по разным причинам распадаются на фрагменты, что неоднократно и наблюдалось. Эти фрагменты постепенно расходятся в пространстве, каждый из них окружен своей комой и даже иногда имеет собственный хвост. Распадались кометы Биэлы, Тэйлора, Брукса, Харрингтона и др. Можно шутя сказать, что кометы, подобно амебам, размножаются делением, вот только каждая из «дочерних» амеб быстро восстанавливает первоначальные размеры, а с кометными ядрами этого по понятным причинам не происходит, и каждое деление только ускоряет безвозвратную потерю кометного вещества...

Распад комет буквально на глазах наблюдателя приводил к логичным, но неверным предположениям о том, что ядро кометы является роем малых тел, а не единым телом. Непосредственные наблюдения с помощью АМС убедили астрономов, что это не так. Ядро кометы цельное, но уж больно рыхлое и непрочное.

Потому-то так интересно наблюдать кометы — ведь их ядра из числа тех космических тел, что постоянно находятся в «группе риска».

Что происходит с кометой во время вспышки? Под действием нагрева при приближении к Солнцу часть льдов кометного ядра испаряется. Выйти наружу газам мешает та самая грязная корка, какую в сильно уменьшенном масштабе каждый может наблюдать на весеннем сугробе. Давление газа может взломать эту корку — либо самостоятельно, либо при помощи воздействия извне, каковым может быть поток частиц, вызванных вспышкой на Солнце, или соударение с шальным метеоритом подчас очень скромных размеров. Истечение газа происходит взрывообразно, и нет ничего удивительного в том, что в космос выбрасываются также частицы минеральной корки. Поскольку слабое тяготение кометного ядра не в силах удержать их, они образуют в пространстве более или менее разреженный рой мелких твердых частиц с орбитой, близкой к орбите кометы. Со временем рой растягивается как вдоль орбиты, так и поперек. Если через такой рой пройдет Земля, мы увидим многочисленные метеоры, вылетающие как будто из одной точки, называемой *радиантом* метеорного потока.

Многим известно, как часто «падают звезды» на исходе лета. Как правило, они вылетают из созвездия Персея — это Земля в течение примерно четырех недель проходит сквозь старый и потому сильно растянутый метеорный поток Персеид. В течение примерно недели этих метеоров довольно много. Максимум Персеид приходится примерно на 12 августа и обычно имеет острый «пик» продолжительностью полчаса-час, когда часовое число метеоров достигает 100. Доказано, что родоначальницей Персеид является комета 109P/Свифта-Туттля. Метеоры этого потока успели довольно равномерно распределиться по эллипсу его орбиты, и потому не бывает годов, когда Персеиды вдруг демонстрируют резкий всплеск, известный как метеорный дождь.

Любопытно, что в древней Спарте, где совет старейшин отнюдь не стремился давать много воли царям, существовал сле-

дующий обычай. Раз в год — и как раз в августе! — старейшины смотрели в небо, и, если видели падающую звезду, это означало, что какой-либо из царей (их было два) провинился перед богами. Надо очень постараться, чтобы не увидеть метеор августовской ночью. Лишь заступничество оракула и искупительные жертвы могли помочь несчастному монарху восстановить статус-кво...

Совсем иначе, чем Персеиды, ведут себя Леониды — метеорный поток из созвездия Льва с максимумом, обычно приходящимся на 18 ноября. Это молодой поток. В нем выделяются отдельные рои, извергнутые его прародительницей кометой 55P/Темпеля–Туттля в разные (и вполне исторические) годы. Прогнозы прохождения Земли через тот или иной подобный рой обычно неточны, но иногда все-таки сбываются. Но в целом молодость Леонид почти всегда делает наблюдения этого потока малоинтересными. Лишь изредка, с периодом в 33 года, Земля проходит (и то не всегда) через самую гущу главного роя, и тогда случается не просто метеорный дождь, а прямо-таки ливень. Например, в 1966 году часовое число Леонид достигло 150 тысяч! В 1998–1999 годах метеоров было меньше — около 3000 в час на пике активности потока.

Всего известно около 80 более или менее стабильных метеорных потоков и сотни сомнительных, обнаруженных неуверенно. Если вы заметите, что по меньшей мере 3 метеора вылетели из одной точки неба за время, не превышающее нескольких десятков минут, и если время наблюдения и радиант не совпадают ни с одним известным метеорным потоком, то речь может идти о новом метеорном потоке. Случалось и авторам этой книги наблюдать слабые незарегистрированные потоки, но нет в этом никакой особой чести и никакого серьезного астрономического открытия. Метеорных потоков великое множество. Лишь малая часть их имеет орбиты, пересекающие орбиту Земли, да еще их орбиты сильно подвержены возмущениям со стороны планет. Вполне возможно, что орбита, например, Леонид изменится настолько, что этот метеорный поток вообще перестанет наблюдаться. Возможно и обратное: гравитационные силы так изме-

нят орбиту какого-нибудь богатого потока, о котором мы сейчас не имеем ни малейшего понятия, что Земля ежегодно станет проходить сквозь него и мы будем любоваться великолепным зрелищем.

Все метеоры сгорают в атмосфере — обычно на высотах от 120 до 90 км. Особо яркие метеоры принято называть болидами. Некоторые метеорные потоки богаты болидами. Наблюдаются — и часто — метеоры, не связанные с потоками. Такие метеоры, называемые спорадическими, могут быть как остатками комет, так и каменной крошкой, образующейся при столкновении астероидов. Случается, что достаточно крупный обломок не успеет сгореть в атмосфере и выпадает на Землю в виде метеорита. Однако земной поверхности достигает лишь ничтожная доля из примерно 100 т метеоритного вещества, выпадающего на нашу планету ежедневно.

Количество пыли, доставляемой кометами из внешних областей Солнечной системы во внутренние, не увеличивается со временем, и виновны в этом не только планеты, с которыми сталкиваются пылинки. Пылевые частицы постепенно выпадают на Солнце под действием эффекта Пойнтинга–Робертсона, заключающегося в торможении орбитального движения частиц солнечным светом. Подвержены этому главным образом самые мелкие пылинки.

Сколько всего метеорных потоков в Солнечной системе?

Не знаем. Ясно только, что очень много. Серьезной опасности для космических аппаратов они не представляют — от пылинок защитит обшивка, а вероятность встречи с камешком, не говоря уже о глыбе, очень невелика. Но мы можем наблюдать метеорный поток лишь тогда, когда он встречается с иным космическим телом, лучше с Землей.

Впрочем, возможны варианты. В ночь на 18 ноября 1999 года несколько американских исследователей метеоров, разочарованные тем, что ожидаемое время максимума Леонид неблагоприятно для астрономов США, попытались зафиксировать вспышки от падения метеоров на темную сторону Луны. Разумеется, речь

не шла о метеорном следе — там, где нет атмосферы, метеору просто не в чем гореть. Песчинка или малый камешек, называемый метеорным телом, столкнувшись с поверхностью Луны на скорости порядка 70 км/с, мгновенно обратится в облачко раскаленного газа. Со стороны это событие должно выглядеть как короткая вспышка. Вопрос был только в том, удастся ли ее зафиксировать.

Удалось. Сразу несколько наблюдателей — любителей и профессионалов — сообщили о вспышках на Луне, а трем из них удалось снять вспышки на видеокамеру. Всего было зафиксировано минимум 6 вспышек, яркость наибольшей составила примерно 3^m . Покадровый просмотр показал, что эта вспышка видна и на двух соседних кадрах. Разумеется, выбитые этими метеорными частицами мини-кратеры не видны с Земли ни в какой телескоп, но они могут быть идентифицированы путем сравнения старых и новых снимков лунной поверхности, сделанных космическими аппаратами.

Не правда ли хорошо, что атмосфера Земли достаточно плотна? Если бы все метеорные тела массивнее, скажем, 0,1 г достигали земной поверхности, то жить на нашей планете было бы психологически неуютно. Можете подсчитать сами, во сколько раз кинетическая энергия такого метеорного тела при типичной для метеоров скорости 40 км/с превысит энергию винтовочной пули. И пусть из-за разреженности метеорных потоков вероятность гибели человека от попадания метеора все равно осталась бы очень низкой — сознание того, что в любой момент метеор может «ни за что, ни про что» прекратить существование любого человека, отравило бы жизнь.

А впрочем, может быть, и нет. Живем же мы в мире, где машины регулярно давят пешеходов, и не особенно паникуем из-за этого.

«Прах комет» — так называют метеорные потоки популяризаторы астрономии, заодно констатируя тот факт, что кометы склонны разрушаться. Но то, что произошло с кометой Шумейкеров–Леви в июле 1994 года, потрясло астрономиче-

ский мир. Известные ловцы комет К. и Ю. Шумейкеры совместно с Д. Леви открыли эту комету уже после того, как она прошла на крайне малом расстоянии от Юпитера. Такого рода «близкие контакты» с планетой-гигантом нередко оканчиваются для комет плачевно. В данном конкретном случае — очень плачевно. Во-первых, комета перешла с гелиоцентрической на весьма сильно вытянутую околоюпитерианскую орбиту. Во-вторых, приливные силы со стороны Юпитера разорвали ее солидное 20-км ядро на 22 (как минимум) фрагмента, каждый из которых выглядел самостоятельной кометой с комой, а многие и с хорошо выраженными хвостами. Вытянувшись по орбите, эти осколки образовали этакий «кометный поезд». Но это было только началом драматического финала жизни злосчастной кометы.

Через два года после рокового прохождения близ Юпитера фрагменты кометы Шумейкеров–Леви, совершившие один орбитальный виток, посыпались на планету-гигант. Один кометный осколок за другим падал в облачные слои Юпитера, и всякий раз падение сопровождалось колоссальным взрывом, обнажившим глубокие слои юпитерианской атмосферы. Астрономы едва не кусали локти — ведь все взрывы произошли на невидимой с Земли стороне Юпитера! И лишь когда Юпитер повернулся «нужной» стороной к нам (напомним, что эта планета вращается очень быстро, делая полный оборот менее чем за 10 часов), стали видны «пробоины» в облачном слое в виде округлых темных пятен.

Очень уж большого научного значения это событие не имело, однако заставило в очередной раз задуматься: а что, если бы такой казус случился не с Юпитером, а с Землей?

6. О ВОЗМОЖНОСТИ СТОЛКНОВЕНИЯ ЗЕМЛИ С КРУПНЫМ КОСМИЧЕСКИМ ТЕЛОМ

Великий насмешник Джонатан Свифт писал в «Путешествиях Гулливера»: «Когда лапутянин встречается утром со знакомым, то первым его вопросом бывает: как поживает Солнце, какой вид оно имело при заходе и восходе и есть ли надежда избежать столкновения с приближающейся кометой? Такие разговоры они способны вести с тем же увлечением, с каким дети слушают страшные рассказы о духах и привидениях: жадно им внимая, они от страха не решаются ложиться спать».

Надо сознаться: наука, мало-помалу вытеснив из сознания значительной части людей страхи мистического свойства, нашла, что предложить взамен! Дальнейшая «раскрутка» реальных либо мифических ужасов уже на совести лиц, спекулирующих авторитетом науки. «Астероидная опасность» с увлечением расписывается журналистами, понимающими в этой теме примерно столько же, сколько кашалот в фигурном катании, и старательно муссируется в околonaучных телепередачах с участием «известных специалистов по данной проблеме». Нередко эти «научные» комментарии напоминают реплику Красавиной из пьесы А.Н. Островского: «Да говорят еще, какая-то комета ли, планида ли идет; так ученые в митроскоп смотрели на небо и рассчитали по цифрам, в который день и в котором часу она на Землю сядет».

Попробуем разобраться. Достаточно беглого взгляда на Луну в телескоп или подзорную трубу, чтобы убедиться в том, что наш естественный спутник в течение своего существования сталкивался с астероидами не раз и не десять. Вся поверхность Луны

испещрена следами этих столкновений; количество кратеров поперечником свыше 10 км почти достигает полутора тысяч. Десятки кратеров имеют диаметр свыше 100 км. Нередко на дне крупных лунных кратеров можно видеть кратеры меньших размеров, образовавшиеся позднее и наглядно опровергающие поверье, будто бы снаряд в старую воронку не падает, или два кратера примерно равной величины, накладывающиеся один на другой. Лишенная атмосферы и текущей воды, Луна, в отличие от Земли, превосходно сохраняет следы космических соударений на протяжении миллиардов лет.

В том-то и дело. Все крупные кратеры Луны имеют весьма почтенный возраст — 3 млрд лет и более. На том, довольно раннем, этапе существования Солнечной системы количество обломков планетоидов, которым «не повезло» и которые имели орбиты, грозящие столкновением с планетами, превышало современное значение даже не в разы — на порядки! Интенсивная бомбардировка астероидами планет земной группы продолжалась достаточно долго и по сути закончилась, когда уже практически не осталось достаточно крупных (километровых и более) тел, чьи орбиты пересекались бы с орбитами планет. Уже в протерозое около 2 млрд лет назад интенсивность астероидной бомбардировки сошла почти на нет.

Мы понимаем, какстораживает читателя это «почти». Действительно, крупные кратеры, в том числе кайнозойского возраста, имеются и на поверхности Земли. Например, Попигайский метеоритный кратер (север Сибири) имеет диаметр 100 км и возраст около 35 млн лет. Подсчитано, что энергия удара, образовавшего этот кратер, соответствует падению каменного астероида диаметром 5 км со скоростью около 25 км/с. Крупные космические тела соударялись с Землей и в четвертичное время, о чем свидетельствует кратер Жаманшин (13 км, 700 тыс. лет). Широко известен Аризонский метеоритный кратер (1,2 км, 50 тыс. лет), оставленный железо-никелевым метеоритом поперечником около 60 м, столкнувшимся с Землей со скоростью примерно 20 км/с. Список можно продолжить.

Понятно, что падение на Землю тел размером в несколько километров приводит к последствиям вполне катастрофическим, и предсказание такого явления в ближайшем будущем (особенно в густонаселенном районе) никого не обрадует. Зададимся, однако, вопросом: станет ли подобная катастрофа фатальной для вида *Homo sapiens*? Чтобы получить на него ответ, попробуем сначала ответить на вопрос: приводили ли падения астероидов на Землю к резким изменениям в составе земной биоты в минувшие эпохи, начиная с появления высшей жизни?

Астрономы обычно отвечают на этот вопрос положительно, биологи — отрицательно. Вокруг этого вопроса накручено столько околонуточных спекуляций, что разобраться будет непросто.

«Позвольте, но как же вымирание динозавров, случившееся, как всем известно, из-за падения астероида?» — вправе спросить читатель. Незнание причины (астероидной, конечно же!) вымирания динозавров выглядит чем-то сродни незнанию таблицы умножения и считается недопустимым для мало-мальски культурного человека. Тем не менее рискнем заявить: авторы этой книги *не знают*, что удар астероида и серьезное сокращение видового состава земной биоты (далеко не только динозавров) на границе мела и палеогена имеют четкую причинно-следственную связь. Заметим еще, что между понятиями «всем известное» и «истинное» дистанция порой «огромного размера».

В геологических пластах, хранящих в себе историю Земли, попадаются *иридиевые аномалии* — слои с повышенным, иногда в десятки раз, содержанием иридия. Объяснение их существования прохождением Солнца вблизи богатой металлами оболочки взорвавшейся звезды не выдержало критики. Занимавшийся этой проблемой Луис Альварес скоро понял, что причину иридиевых аномалий следует искать внутри Солнечной системы.

Иридий прекрасно растворяется в железе, поэтому почти весь земной иридий сосредоточен в ядре. В земной коре его мало, зато в железных метеоритах — относительно много. Следовательно, если с Землей столкнется космическое тело железного или железо-каменного состава, а энергия удара окажется достаточна

велика, то выброшенная в атмосферу пыль будет разнесена ветрами повсюду и, постепенно осев на земную поверхность, останется в геологической летописи Земли в виде иридиевой аномалии. Астероидно-ударное (импактное) происхождение иридиевых аномалий никем сейчас не оспаривается.

В 1980 году Альварес предположил, что динозавры погибли в результате столкновения Земли с астероидом 10-км поперечника и массой порядка 10 млрд т. Был найден и подходящий кратер — Чикксулуб на полуострове Юкатан. Согласно расчетам, при ударе в атмосферу было выброшено огромное количество пыли — в 60 раз больше массы самого астероида. Дальнейшая цепочка событий вроде бы ясна: наступила продолжительная (несколько лет) «астероидная зима» с температурной инверсией в атмосфере, из-за резкого похолодания и экранирования солнечного света пылью прекратился фотосинтез, после чего сначала вымерли травоядные динозавры, которым стало нечем питаться, а затем и плотоядные. Стройная картина?

Не очень. Мел-палеогеновое вымирание коснулось прежде всего морских обитателей; на суше же вымерли последние 7–8 видов динозавров (из более 400 известных науке), и больше не произошло ничего примечательного. В море катаклизм был велик — обрушилась вся пищевая пирамида, из-за чего, между прочим, приказали долго жить гигантские рыбацкие парители — птеранодоны, не относящиеся к динозаврам. В то же время на суше благополучно выжили крокодилы, хотя, казалось бы, крокодил в замерзшем пруду не жилец, чего не скажешь о любом морском обитателе, живущем в таком великолепном термостате, каков мировой океан!

Далее. Может ли изученная на компьютерных моделях продолжительность «ядерной зимы» без всяких оговорок быть распространена на «астероидную зиму»? И есть ли между ними какая-либо разница помимо радиоактивного заражения? Есть. Модели «ядерной зимы» исходят из полного уничтожения не менее 100 крупных городов, все горючие материалы которых, превращенные в частицы сажи, будут выброшены высоко в ат-

мосферу, где и останутся надолго. В случае астероидного удара выброшенной окажется не сажа, а пылевые частицы. Согласно некоторым расчетам, пыль оседет уже через несколько недель, а не лет, и бо́льшая часть растительности просто не успеет погибнуть.

Не «проходит» и сценарий накопления в океанах двуокиси углерода, благодаря чему из-за повышения кислотности будто бы должны были раствориться известковые раковины моллюсков и др. Изменить кислотность мирового океана вообще чрезвычайно трудно (ибо существует так называемый карбонатно-бикарбонатный буфер, автоматически поддерживающий нейтральную реакцию морской воды), а кроме того, палеонтологами, с особой скрупулезностью изучившими пограничные с иридиевой аномалией слои, установлено, что массовое вымирание морских организмов было «мгновенным» лишь в геологических масштабах времени, а некоторые группы морских организмов вымерли *до* аномалии и, следовательно, до астероидного удара. Закон причинности неумолим — следствие не может предшествовать вызвавшей его причине.

Более того. Недавно на западе США были открыты две динозавровые фауны, пережившие на несколько десятков тысяч лет удар астероида. Сторонников «простой и изящной» астероидной гипотезы мы приглашаем поразмышлять над тем, как эти динозавры перенесли голод и холод «астероидной зимы» и отчего же все-таки в конце концов вымерли. Нам же кажется более разумным задать вопрос, который почему-то редко кому приходит в голову: «Если бы астероид Альвареса благополучно разминулся в пространстве с Землей — вымерли бы динозавры примерно в те же сроки?»

На этот вопрос палеонтологи уверенно отвечают: да, вымерли бы. Как вымирает всякая группа видов, чья экологическая ниша перестала существовать. Судя по всему, вымирание морской биоты имело иные причины, нежели вымирание динозавров (интересующихся отсылаем к увлекательной книге К.Ю. Еськова

«История Земли и жизни на ней») и просто более-менее совпало по времени.

А что же астероид? Разве его не было? Был. Но, право, стоит ли считать его главной причиной исчезновения динозавров, которые и так уже «дышали на ладан»?

Кстати. Гораздо более раннее и гораздо более масштабное пермско-триасовое вымирание, когда вымерло 90% морских видов, также не сопровождалось массовым вымиранием на суше, и его пока не удалось надежно связать с каким-либо гигантским метеоритным кратером. Несомненно, попытки подобрать подходящий кратер будут продолжаться, и сильнее всего этим делом будут увлечены люди, слабо представляющие себе, на какие системные кризисы способна экосистема Земли без всякого вмешательства извне...

Строго говоря, нет ни одного убедительного подтверждения исчезновения с лица Земли хотя бы одного биологического вида вследствие астероидного удара.

Несомненно, однако, что столкновение Земли с телом размером в несколько километров вызовет катастрофу глобального масштаба. Она будет сопровождаться всеми «прелестями» мощнейшего взрыва: ударной волной, термическим воздействием, гигантскими цунами (если удар придется на океан), гибелью или по меньшей мере снижением урожаев сельскохозяйственных культур, возможно, усилением сейсмичности и вулканизма... словом, общее количество жертв трудно даже подсчитать, да и остальным жизнь не покажется медом. И все же говорить об уничтожении астероидом цивилизации и уж тем более человека как биологического вида по меньшей мере странно. Вид *Homo sapiens* неоднократно доказывал свое умение выбираться из серьезнейших передряг.

«Да, но в несмертельной для вида катастрофе приятного тоже мало», — вправе возразить читатель. Совершенно верно. Но разве мало чисто земных причин, способных вызывать масштабные катастрофы с массовыми человеческими жертвами, и притом с неизмеримо большей вероятностью? 26 декабря 2004 года зем-

летрясение силой 9 баллов в Яванском желобе породило цунами, унесшее свыше 200 тыс. человеческих жизней. Взрывы вулканов Тамбора (1815) и Кракатау (1883) сопровождались массовой (десятки тысяч) гибелью людей. По мнению большинства историков, аналогичное по силе извержение вулкана на острове Санторин стало причиной гибели крито-микенской культуры. Но вулканы еще ничто по сравнению с масштабными землетрясениями, такими как, например, в Сан-Франциско в 1906 году или в Токио в 1923-м. Примеры можно продолжить.

Еще более серьезной представляется угроза биологической природы. Численность населения Земли растет, и люди ныне селятся там, куда их предки даже не заглядывали, полагая эти места обиталищем злых духов или чем-то подобным, а в переводе на современный язык — природными очагами эпидемий. В джунглях тропическо-экваториального пояса таких мест не так уж мало. Врачи-инфекционисты хорошо знакомы с вирусными геморрагическими лихорадками (Денге, Эбола и др.) и не дают никакой гарантии, что из джунглей не появится нечто еще более смертоносное. Вкупе с резко возросшей мобильностью населения Земли картина получается пугающая. Полицейско-санитарные строгости по поводу, например, атипичной пневмонии или куриного гриппа имеют самые серьезные резоны. Вспомните хотя бы тот факт, что пандемия «испанки» 1919–1920 годов убила около 20 млн человек — больше, чем Первая мировая война.

«Да, но все эти соображения не отменяют астероидной опасности», — вправе возразить читатель. Конечно, не отменяют. И давайте разберемся с этой опасностью более подробно.

Астероиды, сближающиеся с Землей, принято делить на 4 типа.

1. Тип Амура. Перигелийные расстояния этих астероидов меньше, чем 1,33 а.е., но больше, чем афелийное расстояние Земли (1,017 а.е.). Их орбиты подходят с внешней стороны к земной орбите, не пересекая ее. Таким образом, они не могут столкнуться с Землей в ближайшем будущем.

2. Тип Аполлона. К ней относят астероиды с перигелийными расстояниями, меньшими 1,017 а.е., и большими полуосями орбит, превышающими 1 а.е., иными словами, эти астероиды проникают внутрь орбиты Земли, и их столкновение с Землей в принципе возможно. Это наиболее многочисленная группа.

3. Тип Атона. Большие полуоси орбит этих астероидов меньше 1 а.е., но афелийные расстояния больше перигелийного расстояния Земли (0,983 а.е.). Орбиты этих астероидов большей частью лежат внутри орбиты Земли и только в афелийной части выходят за ее пределы. Столкновение их с Землей также возможно.

4. Тип X. Орбиты этих астероидов полностью находятся внутри орбиты Земли. Астероиды эти невелики и малочисленны. Столкновение их с Землей в ближайшем будущем невозможно.

Как видим, потенциальную опасность столкновения с Землей несут только астероиды типов Аполлона и Атона. Однако для того, чтобы астероид в принципе мог столкнуться с Землей, его орбита должна пересекать плоскость орбиты Земли так, чтобы точка пересечения лежала на расстоянии от 0,983 а.е. до 1,017 а.е. от Солнца. Среди всех потенциально опасных астероидов таких менее 20%.

Считается, что потенциально опасных астероидов насчитывается около 1500, и примерно половина из них уже обнаружена. Для этого создана целая сеть небольших (порядка 1 м) автоматических телескопов, разбросанных по всему миру. Они продолжают «вылавливать» потенциально опасные объекты. Попутно заметим, что почти все эти астероиды малы — порядка 1 км и еще меньше. Говорить о гибели человечества в результате столкновения столь небольшого тела с Землей довольно странно. Жертвы и разрушения — это совсем другое дело. Люди, оказавшиеся вблизи от места падения, испытают, мягко говоря, не самые приятные ощущения.

Отдельный разговор — кометные ядра. Их орбиты не относятся ни к одному из описанных выше типов. Они могут иметь большие скорости относительно Земли, нежели астероиды, — до 72 км/ч в предельном случае. Кинетическая энергия, есте-

ственно, увеличивается в квадрате. Наконец, их нельзя взять на учет — большинство комет приходит к нам из облака Оорта — самой дальней периферии Солнечной системы. О какой-либо периодичности говорить здесь не приходится. Нельзя и предсказать столкновение заблаговременно — можно лишь вести мониторинг всего неба с целью обнаружения потенциально опасных тел. Если еще учесть, что далеко не все кометные ядра образуют по мере приближения к Солнцу пышные комы и хвосты, то может оказаться, что опасное тело будет обнаружено за несколько дней, если не часов до столкновения с Землей или не обнаружено вовсе...

Нечто подобное случилось 30 июня 1908 года в бассейне реки Подкаменной Тунгуски. Не будем утомлять читателя пересказом подробностей тунгусской катастрофы, наверняка известных ему хотя бы в общих чертах. Ряд признаков указывает на то, что взорвавшееся над Подкаменной Тунгуской космическое тело было ядром маленькой кометы (хотя существуют выкладки, согласно которым каменный метеорит размером около 50 м, влетевший в атмосферу Земли на определенной скорости под определенным углом, повел бы себя точно так же). Так или иначе, налицо факт: имел место сильнейший взрыв «неизвестно чего» — тела, которое до столкновения с Землей не наблюдалось астрономами.

Был ли этот случай единичным? Нет. 13 августа 1930 года в небе над бразильской сельвой взорвалось нечто похожее. Наблюдатели — жители индейского поселка на реке Куруса — рассказывали о трех огромных огненных шарах, падавших с неба с невыносимым грохотом. Почва содрогнулась от толчков, подобных землетрясению, и сила наибольшего толчка достигла 7 баллов в эпицентре. Кроме того, наблюдался пеплопад. Позднейшие исследования выявили в джунглях три крупные депрессии, расположенные цепочкой. Наибольшая из них имеет диаметр около 1 км и окружена четко выраженной кольцеобразной структурой. Согласно проведенным вычислениям, выделившаяся при взрывах энергия была эквивалентна взрыву около

1 мегатонн тринитротолуола, что в 10–15 раз меньше, чем при Тунгусском взрыве, но тоже, согласитесь, немало.

Высказывались предположения, что бразильский феномен связан с метеорным потоком Персеид — в пользу этой гипотезы говорит как дата явления, совпадающая с максимумом Персеид, так и ориентация цепочки депрессий в направлении север–юг, что тоже косвенно указывает на Персеиды. В самом деле, почему бы метеорному потоку не содержать среди пылинок глыбы характерным поперечником в метры или даже десятки метров? Не видно никаких причин, препятствующих этому. Коль скоро выбросы газа из кометных ядер не раз приводили к дроблению последних, распрощаться с «родительским» телом может не только пыль, но и более крупные обломки. В качестве «автономных» комет таковые, конечно, не наблюдаемы из-за их малости.

И все же физическая природа бразильского и тунгусского феноменов до сих пор остается неясной. Если же говорить о наблюдаемых кометах, то ближе всех к Земле подошла в 1770 году комета Лекселя — расстояние составило 2,25 млн км. Никто, собственно, не сомневается в том, что ядра комет могут иногда сталкиваться с Землей.

Два случая за XX век — не много ли?

Многовато. Но что страшнее — сам удар или паника, вызванная усилиями СМИ среди малообразованного населения? Когда в 2001 году сведенная с орбиты советская космическая станция «Мир» проносилась в виде пылающих обломков над Тихим океаном, некий житель Филиппин от страха покончил с собой. Вот уж дичайший парадокс: выбрать смерть вследствие страха смерти! Есть желающие уподобиться этому несчастному?

Можно не сомневаться: в случае приближения к Земле астероида или кометного ядра таковые найдутся. СМИ, живущие, как водится, от сенсации до сенсации, с большим удовольствием пугают обывателя, а к чему приводит массовая истерия — хорошо известно. Мы, жители третьего тысячелетия, можем презрительно фыркать, читая о множестве случаев самоубийства в Западной Европе в 1000 году из-за нервной перегрузки, вы-

званной ожиданием Страшного суда, но, положив руку на сердце, спросим себя: так ли уж мы отличаемся от средневековых европейцев? Типичный наш современник, пользуясь плодами науки, имеет столь же мифологизированное сознание, как и его пращур, и велика ли разница от того, что современные мифы — околонуточные?

Почти никакой. Мифы есть мифы. Околонуточные, может быть, еще опаснее.

Достоверно известно: на протяжении по меньшей мере нескольких сотен миллионов лет с Землей не сталкивались космические тела таких размеров, чтобы сколько-нибудь существенно изменить эволюцию жизни на ней. Может ли подобное тело столкнуться с Землей, ну, скажем, в следующем месяце?

Может. Но, как говорят англичане, если в вашу дверь позволили, то это может, конечно, означать, что вам решила нанести визит королева Великобритании, но гораздо вероятнее, что у соседа кончились спички. Вероятность столкновения Земли с телом, достаточно крупным для того, чтобы удар и его последствия могли уничтожить цивилизацию, не говоря уже об уничтожении всей высшей жизни, совершенно ничтожна.

Время от времени СМИ напоминают: 26 октября 2028 года столкновением с Землей грозит астероид 1997XF11. Подсчитано, что он должен пройти на расстоянии 950 тыс. км от Земли в день минимального сближения — это без малого утроенное расстояние от Земли до Луны. Чем это грозит нам? Ровно ничем. Не выйдет даже зрелища для миллионов — лишь телескопическая звездочка быстро проползет по небу, чтобы вскоре скрыться от глаз наблюдателей.

Высказывались, правда, сомнения в точности проведенных расчетов и, можно не сомневаться, еще будут высказываться. Но даже если упомянутый астероид подойдет ближе к Земле, чем ожидается, вероятность его столкновения с Землей ничуть не выше, чем вероятность единственным выстрелом, сделанным наугад, попасть в мышь, бегающую в большой и абсолютно темной комнате...

Но все-таки. Допустим, астрономы обнаружили астероид или кометное ядро, непосредственно угрожающее столкновением с Землей. Что делать?

В зависимости от конкретных обстоятельств может оказаться, что наиболее рациональное решение — массовая эвакуация населения из районов, прилегающих к вычисленному месту падения, а равно эвакуация людей из прибрежных населенных пунктов в случае угрозы цунами. Ряд художественных фильмов, сколь занимательных по сюжету, столь и вопиющих с точки зрения научной достоверности, пропагандирует якобы единственный выход: заблаговременно раздробить или отклонить зловредный астероид (или кометное ядро) термоядерным взрывом.

Всякому человеку, следящему за космическими программами, ясно, что уж коль скоро возникла срочная необходимость задействовать специальный носитель ядерной боеголовки (в предположении, что он создан и готов к эксплуатации), гораздо надежнее не запускать его «в пожарном порядке» с космодрома, а постоянно иметь на орбите. Вот тут-то и начинается то, из-за чего борьбу с астероидной опасностью термоядерными методами можно уподобить изгнанию беса дьяволом. Будут ли земляне чувствовать себя в большей безопасности, если над их головами зависнут ядерные боеголовки? Вопрос, думается, риторический...

По-видимому, человечество еще очень долго не станет (если вообще станет) единым экипажем космического корабля «Земля», о котором мечтал И.С. Шкловский (см. его замечательную книгу «Вселенная, жизнь, разум»). Не нужно быть оракулом, чтобы предсказать: появившись космическая система защиты от астероидов в наши дни, соблазн использовать ее возможности в сиюминутных политических целях окажется чрезмерно велик, а низкая эффективность международного контроля (со стороны ООН, например) вполне самоочевидна.

Есть и еще один негативный момент в раздувании «астероидной опасности». Народная мудрость категорически не рекомендует кричать: «Пожар!», когда никакого пожара нет и в по-

мине. Ибо, когда он все-таки вспыхнет, мало кто примет всерьез панические крики. Периодически появляющиеся в СМИ сенсационные сообщения о возможном столкновении Земли в таком-то году с таким-то астероидом не несут никакой насущно полезной информации для рядового землянина, но очень легко могут дезориентировать его. Вероятностные прогнозы обывателя не удовлетворяют, ему надо точно знать, «в который день и в котором часу она на Землю сядет». Если такого прогноза нет, то нет и доверия к науке. В ситуации, когда политики выражают мнение невежественной массы, и без того небольшие средства, выделяемые астрономам на «астероидную опасность», могут исчезнуть совсем. Здесь надо подчеркнуть: бесполезного знания не бывает. И вспомнить истину: «Предупрежден — значит, вооружен».

ЧАСТЬ III

МИР ЗВЕЗД

1. ЕСЛИ ЗВЕЗДЫ ЗАЖИГАЮТ...

Первое, на что обращает внимание человек, выйдя из дома безлунной ночью и взглянув на небо, — это, конечно же, звезды. Банальность данного утверждения неочевидна, пожалуй, лишь для слепых физически и слепых духовно. Всех остальных мы поздравим с тем, что живем во Вселенной, физические законы и начальные условия которой не только допускают возникновение звезд, но и прямо его предписывают. Но об этом ниже.

Предположим, что во Вселенной существует лишь одна звезда — наше Солнце. Насколько было бы затруднено кораблевождение древних — ведь им вплоть до изобретения компаса пришлось бы ограничиться одним лишь каботажем! Можно не сомневаться, что вся история человечества пошла бы радикально иначе. Великую пользу звездного неба вполне осознавали древние финикийцы, греки, арабы... Но в чем природа звезд? Мы точно знаем, что древнегреческие философы размышляли на эту тему, давая подчас самые диковинные объяснения. Среди них не было, пожалуй, лишь одного: звезды — это далекие солнца.

Не только древние, но и Тихо Браге не верил в это. Рассудив более чем здраво, что движение Земли по орбите должно приводить к некоторому смещению звезд на небе, причем величина данного смещения (годовой параллакс) должна быть тем больше, чем ближе к нам звезда, он тем не менее не сумел выявить никаких параллаксов. Объяснений этому факту могло быть только два: либо точность измерений Тихо Браге — лучшая в мире на тот момент времени, иногда достигавшая двух минут дуги — была все же недостаточна, и, следовательно, звезды удалены от нас на расстояние, кажущееся в те времена невообразимо громадным, либо звезды не есть далекие солнца. Тихо Браге выбрал второе объяснение: «Нет, не может быть, чтобы они были так далеко!»

«Но рыба была такая большая», — писал Хемингуэй, и его персонажу пришлось примириться с этим фактом, как все же

примирилось человечество с понятием о колоссальных межзвездных расстояниях. И параллаксы звезд в конце концов были измерены, а из параллакса и параметров земной орбиты уже ничего не стоит вычислить расстояние до звезды. Проще говоря, расстояние до звезды, выраженное в парсеках, обратно пропорционально тригонометрическому параллаксу данной звезды, измеренному с базой, равной среднему радиусу земной орбиты. Парсек (пк) — это внесистемная единица, употребляемая в астрономии и равная 3,26 светового года. С расстояния в 1 пак большая полуось земной орбиты будет наблюдаться под углом в одну секунду дуги. Мы будем использовать парсек наряду со световым годом, отдавая предпочтение парсеку.

Само собой разумеется, первыми кандидатами на определение расстояния оказались наиболее яркие звезды, ибо предполагалось — и вполне разумно за невозможностью иных подходов к проблеме, — что яркость звезды на небе зависит прежде всего от ее удаления от нас и уж потом от ее индивидуальных характеристик. Разумеется, приходилось учитывать и собственное движение звезд на небе. Первой звездой, чей параллакс был достаточно точно измерен, стала Вега. Эту работу проделал В.Я. Струве, впоследствии директор Пулковской обсерватории и один из самых замечательных российских астрономов. Результат оказался равным 7,8 пак, или около 26 св. лет. Если бы В.Я. Струве пытался измерить параллакс не Веги, а, допустим, Ригеля, удаленного от нас на 250 пак, то результат получился бы в лучшем случае неуверенным. С Денебом, удаленным от нас вчетверо дальше Ригеля, дело обстояло бы еще хуже. С другой стороны, измерить параллакс Сириуса (2,6 пак) было бы проще, а Толимана, более известного как Альфа Центавра (1,3 пак), — еще проще. Правда, Толиман не виден на небе Пулково... Но в общем можно сказать, что В.Я. Струве нашел не самую худшую кандидатуру для первого опыта по измерению параллакса.

Итак, стало ясно: звезды принципиально ничем не отличаются от Солнца. При этом само собой разумеется, что у каждой звезды своя «физиономия», и в классификации звезд астрономы

быстро достигли больших успехов. Что и неудивительно: мало найдется на свете более увлекательных научных занятий, чем классификация чего бы то ни было. Но чтобы классифицировать звезды, надо знать их параметры.

Расстояние до звезды — не параметр. Перемешайте и рассыпьте по полу тысячу разноцветных бусин — много ли полезной информации удастся вам выудить из скрупулезного подсчета расстояний, на которые раскатились бусины, и сопоставления его с цветом? Параметры звезды — это прежде всего абсолютная светимость, масса, диаметр, температура поверхности, химический состав, скорость вращения, периодичность и ее тип для переменных звезд. Собственная скорость звезды — тоже параметр, но не имеющий отношения к строению звезды. А вот двойственность может иметь к нему отношение, если речь идет о тесной звездной паре, в которой возможно (а подчас и наблюдается) перетекание вещества с одной звезды на другую.

Но пойдем по порядку.

Информацию о температуре поверхности звезды дает ее спектр. O, B, A, F, G, K, M — так астрономы обозначили спектральные классы звезд, начиная от самых горячих и кончая самыми холодными, а в обиход студентов и любителей астрономии вошла фраза для лучшего запоминания: «Один Бритый Англичанин Финики Жевал, Как Морковь», — фраза куда более нелепая, чем подобные ей фразы для запоминания цветов радуги или геологических периодов истории Земли, зато моментально застревающая в памяти. (Английский вариант не хуже: «Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me».) Впоследствии, когда астрономы выделили некоторые экзотические звезды в особые классы R, N, S, фраза поменялась: «О, Братцы АстроФизики! Смотрите, Какие Мы Разрешаем Неразрешимые Спектры!» (Соответственно, на английском: «Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me Right Now, Sweetheart!»). Сравнительно недавно были выделены еще два спектральных класса — L и T, «зарезервированные» для особо холодных красных звезд и коричневых карликов, а также класс W, куда вошли непомерно горячие, истекающие веществом звезды типа

Вольфа-Райе. Сочинил ли кто-нибудь новую «запоминательную» фразу, нам неизвестно...

Звезды класса О характеризуются почти полным отсутствием линий поглощения в спектрах, из чего сразу следует, что эти звезды весьма горячи — до 80 тыс. К. Сравните эту величину с температурой поверхности Солнца, равной 5780 К, и «почувствуйте разницу». Цвет этих звезд — голубой или голубоватый. Далее по мере уменьшения температур идут голубовато-белые звезды класса В, белые звезды класса А, желтоватые класса F, желтые класса G, оранжевые класса К и красные класса М. Еще холоднее и «краснее» звезды классов L и Т, которые и звездами-то назвать несколько неудобно, однако, поскольку они не являются планетами, приходится все-таки причислить их к звездам. Спектральные классы R, N и S являют собой ответвления от классов G и K. Принадлежность звезды к классу R, N или S определяется не температурой ее поверхности, а химическим составом наружных слоев. Так, R- и N-звезды содержат во внешних слоях молекулы углерода, циана и монооксида углерода, а в спектрах S-звезд имеются полосы окиси титана, циркония и, как это ни странно, линии технеция. Странно — потому что элемент технеций не имеет ни одного стабильного изотопа, следовательно он образуется в самих звездах где-то вблизи их поверхности в результате каких-то еще не вполне понятных ядерных реакций. «Утешимся» однако тем, что звезды R-, N- и S-классов довольно редки и не влияют на общую картину. То же относится и к W-звездам, которых известно порядка 250. «Уродцы» интересны сами по себе, но не в контексте изучения свойств типичных звезд. В конце концов, и люди иногда рождаются шестипалыми, но никому не придет в голову сказать, что шестипалость — обязательное свойство человека.

Итак, имеем «линейку» со спектральным классом О (80 тыс. К) на одном ее конце и спектральным классом М (3 тыс. К) на другом. Каждый класс разделен на 10 подклассов, например: А₀, А₁, А₂, ... А₉, а следом идет уже F₀. По мере движения слева направо вдоль этой «линейки» температуры поверхности звезд

монотонно уменьшаются, а равно уменьшается и светимость — не для всех звезд, но для многих.

Спектр звезды и ее светимость (относительную) определить очень легко. Зная расстояние до звезды, можно найти ее абсолютную светимость. С расстояниями, правда, загвоздка: надежный параллактический метод хорошо работает лишь на сравнительно небольших расстояниях, во всяком случае не превышающих 100–200 пк. Для больших расстояний существуют другие методы — увы, менее точные. Прежде всего это метод измерения расстояний по цефеидам. Цефеиды — правильные переменные звезды, причем наблюдается довольно четкая зависимость между абсолютной светимостью цефеиды и периодом ее пульсаций. Выяснить период ничего не стоит, а уж из него и из относительной светимости цефеиды очень просто найти расстояние до нее — разумеется, с той точностью, с которой выполняется зависимость «светимость–период».

Стало быть, если в каком-то звездном скоплении есть хотя бы одна цефеида, мы можем легко найти расстояние до нее, а значит, для любой звезды этого скопления. Размерами скопления приходится пренебречь, что в большинстве случаев оправдано.

Но! Цефеиды встречаются нечасто, это сравнительно короткая стадия жизни массивных звезд, и далеко не всякое скопление содержит цефеиды. И как быть со звездами, не входящими в скопления?

К счастью, и в радиусе 100–200 пк от Солнца находится достаточное количество звезд, чтобы на основе их изучения пытаться строить какие-то закономерности.

Прежде всего: влияет ли масса звезды на ее температуру и, следовательно, на спектральный класс? Этот вопрос был, пожалуй, главным для нарождающейся астрофизики XIX века. Из самых общих соображений следовало: да, влияет. Но как это проверить? Ведь надежного метода определения массы одиночной звезды не существовало, как и не существует до сих пор.

Что осталось астрономам? Во-первых, молчаливо предположить, что звезды одного спектрального класса и равной светимости

сти имеют и равные массы. Во-вторых, присмотреться к двойным звездам (особенно удобны затменные переменные) и по третьему закону Кеплера вычислить сумму их масс. Если также удастся определить орбиту каждого компонента двойной системы относительно общего центра масс, то можно вычислить и массу каждого компонента в отдельности.

Итак, проделав весьма громоздкую работу по определению звездных характеристик, можно построить зависимости «масса—светимость» (А.С. Эддингтон выполнил эту работу чисто теоретически, после чего его выводы были подтверждены на наблюдательном материале) и «спектральный класс—масса». Но, как ни странно, куда более наглядной оказалась диаграмма «спектр—светимость», вообще не требующая знания массы звезды!

Вид этой диаграммы, более известной под названием диаграммы Герцшпрунга—Рессела, приведен на рис 16. Каждой точке на диаграмме соответствует звезда. Что в этой диаграмме бросается в глаза?

В первую очередь — наличие ясно видимой главной последовательности, куда входит и наше Солнце с его спектральным классом G2V. «V» в данном случае не латинская буква, а римская цифра 5. Дело в том, что на диаграмме Герцшпрунга—Рессела насчитывается несколько последовательностей (рис. 17), и главная последовательность имеет условный номер V. Номер Ia присвоен последовательности ярких сверхгигантов, Ib — слабых сверхгигантов, II — ярких гигантов, III — слабых гигантов, IV — субгигантов, VI — субкарликов, и, наконец, последовательность VII носит название последовательности белых карликов. Сложно?

Не очень. Первый же беглый взгляд на диаграмму Герцшпрунга—Рессела говорит нам о том, что главная последовательность «населена» гораздо гуще остальных. Из этого факта следует совершенно правильный вывод, что место «нормальной» звезды — именно на главной последовательности, или, во всяком случае, звезда проводит на ней значительную часть своей жизни. Следовательно, разумно разобраться сперва с главной последовательностью, а потом уже переходить ко всем прочим.

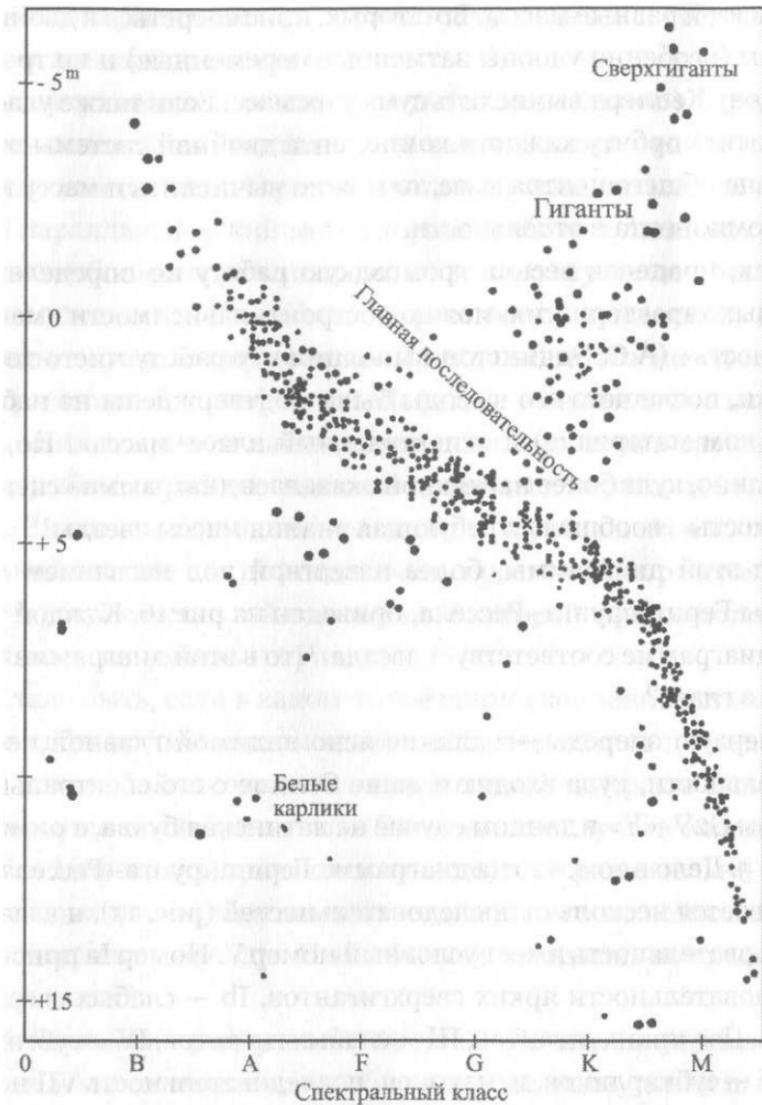


Рис. 16. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела

Кстати. Нравится нам это или нет, но астрономы называют главную последовательность также последовательностью карликов. Многим неприятно сознавать, что наше Солнце отнесено к карликам, но как быть со звездами классов O и B, светящими подчас в сотни и тысячи раз ярче Солнца и притом находящимися на главной последовательности? Сириус и Вега — тоже карлики?

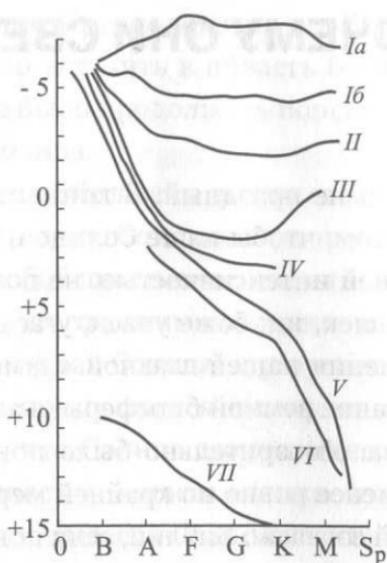


Рис. 17. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела

Увы, да. Здесь таится определенная терминологическая путаница. Чтобы избежать ее, мы будем называть гигантами лишь те звезды, которые на диаграмме лежат правее и выше главной последовательности. При этом ярчайшие звезды главной последовательности могут даже превосходить их светимостью. «Не все то золото, что блестит», — говорит пословица. Вывернув ее наизнанку, скажем: звезда-карлик необязательно тускла и невзрачна.

Логичный с виду, но на сей раз абсолютно неверный вывод астрофизиков прошлого состоял в убеждении: эволюционирующая звезда (а то, что звезды эволюционируют, безвозвратно теряя энергию на излучение, было совершенно очевидно) постепенно перемещается по диаграмме Герцшпрунга-Рессела слева направо, т. е. мало-помалу охлаждаясь, перебирается из одного спектрального класса в другой и теряет светимость. Еще и сейчас спектральные классы O, B, A называют иногда «ранними», а G, K, M — «поздними». Пусть это не вводит вас в заблуждение. Не имеет значения, как назвать, — важно, что под этим подразумевается.

Развитие астрофизики развеяло эти наивные представления. Действительность оказалась гораздо сложнее, но и интереснее. Однако об этом ниже.

2. ПОЧЕМУ ОНИ СВЕТАТ?

Вопрос давний и не праздный. В конце концов, мы кровно заинтересованы в том, чтобы наше Солнце и впредь продолжало светить с прежней интенсивностью, не позволяя себе ни чересчур ярких вспышек, ни, боже упаси, угасания. От ровного и постоянного излучения нашей главной «лампочки» и «печки» зависит существование земной биосферы, а значит, и существование человечества. Умозрительно было понятно, что Солнце светит более или менее ровно по крайней мере около 7 тыс. лет (возраст Вселенной согласно Библии, если понимать ее буквально), а значит, за его свечение никак не могут отвечать химические реакции горения (например, каменного угля), поскольку угольное Солнце при наблюдаемом потоке излучения от него прогорело бы гораздо раньше. Мысль о том, что кто-то непрерывно подбрасывает в Солнце топливо и вдувает кислород для его сгорания, уже триста лет назад не казалась ученым заслуживающей внимания.

В середине XIX века великому Гельмгольцу удалось, казалось, предложить приемлемое объяснение долговременной и более-менее постоянной светимости Солнца. Он предположил, что Солнце постоянно сжимается. За счет сжатия потенциальная энергия вещества высвобождается в виде тепла. Расчеты показали, что для объяснения наблюдаемой светимости Солнца оно должно сжиматься примерно на 150 м в год — величина столь малая, что ее нельзя измерить ни во времена Гельмгольца, ни сейчас. Увы, гипотеза не прошла. Расчеты показали, что всего-то 18 млн лет назад диаметр Солнца должен был просто-напросто превышать диаметр земной орбиты. Это не лезло ни в какие ворота, и не из-за того, что подобных пухлых звезд не существует (как раз существуют!), а потому, что накопленный к середине XIX столетия геологический материал прямо указывал: возраст Земли составляет по меньшей мере

сотни миллионов лет. Предположить, что Земля намного старше Солнца, значило вступить в область беспочвенных фантазий. Куда логичнее было продолжать поиски иных энергетических источников Солнца.

В 1905 году, когда Эйнштейн вывел свою знаменитую формулу, показав эквивалентность массы и энергии, источник был наконец найден. Любой школьник сегодня знает (во всяком случае должен знать), что таковым источником являются термоядерные реакции в недрах Солнца, в результате которых какая-то доля его массы превращается в излучение. Элементарный расчет показывает, что Солнце каждую секунду теряет в виде излучения 4600 т вещества — масса солидного товарного поезда. Однако по сравнению с массой Солнца это ничтожно мало, и нам не следует бояться ни того, что Солнце вскоре погаснет, ни того, что благодаря уменьшению его массы орбита Земли удлинится настолько, что на Земле наступит вечный холод. Напротив, как бы нам не стало слишком жарко. Светимость Солнца очень медленно, но верно увеличивается, и наступят времена, когда Земля перестанет быть подходящей для белковой жизни планеты. Радует лишь то, что эти времена наступят еще ох как нескоро. Но отдаленным потомкам человека (если они у него будут) когда-нибудь неминуемо придется всерьез задуматься: не сменить ли место жительства?

Итак. С энергоисточником Солнца ученые вроде разобрались — это ядерные реакции. Оставалось непонятным — какие именно? На начало XX века был известен лишь один тип ядерных реакций — радиоактивность. Она и была первым делом предложена — и мгновенно отвергнута. Ведь радиоактивность — процесс спонтанный, не зависящий ни от плотности вещества, ни от его температуры. Между тем было уже ясно, что Солнце, как и любая звезда, обладает «отрицательной обратной связью», т. е. способно к быстрому восстановлению своей структуры и своих характеристик после мелких случайных нарушений. Нет, радиоактивность решительно не годилась. Термоядерные реакции синтеза — иное дело.

Главным образом это реакции превращения водорода в гелий. Их две — протон-протонная реакция и углеродно-азотный цикл, называемый также циклом Бете–Вайцзекера. Рассмотрим обе.

Суть протон-протонной реакции состоит в последовательном «слипании» протонов с образованием сначала дейтерия (при этом высвобождаются позитрон и нейтрино), а затем легкого изотопа гелия ${}^3\text{He}$ с испусканием гамма-кванта. После чего два ядра ${}^3\text{He}$ реагируют между собой с образованием ядра ${}^4\text{He}$ и двух протонов. Последний этап может проходить и иначе, если ядро ${}^3\text{He}$ прореагирует с ядром ${}^4\text{He}$, а затем образовавшееся ядро бериллия ${}^7\text{Be}$ превратится, захватив протон, в ядро неустойчивого изотопа бора ${}^8\text{B}$, распадающегося на два ядра ${}^4\text{He}$. Возможны (и происходят в действительности) и иные варианты последнего этапа данной реакции, но суть ее остается неизменной: из четырех ядер водорода (протонов) получается одно ядро гелия (альфа-частица). При этом выделяется энергия 26,2 МэВ, а дефект массы составляет около 0,7%. Часть энергии уносится нейтрино, остальное идет на поддержание температуры звездного ядра, постоянно норовящего остыть за счет энерговыделения звезды.

В горячих и плотных недрах звезды протоны только и делают, что соударяются друг с другом. Однако вероятность того, что два столкнувшихся протона прореагируют с образованием дейтерия, настолько низка, что повергает в священный трепет. В среднем 10 млрд лет пройдет в солнечных недрах, прежде чем конкретный протон, за которым мы умоглядно наблюдаем, случайно наберет достаточную скорость, чтобы, столкнувшись «лоб в лоб» с другим столь же энергичным протоном, прореагировать с ним. Строго говоря, реакция двух даже очень энергичных протонов все равно где-то из области чуда, поскольку их энергии (скажем, порядка 20 кэВ) явно недостаточно для преодоления кулоновских сил отталкивания. Надо благодарить законы квантовой механики за то, что такие протоны все же могут с некоторой вероятностью «слипнуться» в ядро дейтерия, благодаря чему существуют звезды, Солнце и мы с вами.

Легко понять, что скорость протон-протонной реакции должна весьма сильно зависеть от температуры. И действительно, она прямо пропорциональна 4-й степени температуры для диапазонов 11–16 млн К и даже 5-й степени для более низких температур. Становится понятна резкая зависимость светимости звезды от ее температуры для красных карликов главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга–Рессела. Разумеется, на скорость протон-протонной реакции влияет не поверхностная температура звезды, а температура ее недр, где, собственно, и протекают ядерные реакции, но качественную сторону вопроса диаграмма отражает верно.

Углеродно-азотный цикл Бете–Вайцзекера работает иначе. Ядро углерода, поглощая протон, превращается в радиоактивный изотоп азота ^{13}N . При этом испускается гамма-квант. Претерпевая бета-распад, ядро ^{13}N превращается в ядро изотопа углерода ^{13}C . Сталкиваясь с протоном, последнее превращается в обычное ядро азота ^{14}N . При этом также выделяется гамма-квант. Далее к ядру азота присоединяется еще один протон, и получается ядро нестабильного изотопа кислорода ^{15}O . Опять-таки испускается гамма-квант. Бета-распад ядра ^{15}O приводит к образованию ядра изотопа азота ^{15}N . Последнее же, присоединив еще один протон, «разваливается» на заурядный углерод ^{12}C и гелий ^4He . Легко видеть, что потраченный на первом этапе реакции углерод восстанавливается на последнем этапе и не тратится. Можно провести аналогию с химическим катализатором.

Скорость этой реакции гораздо сильнее зависит от температуры — в 15-й степени для интервала температур 24–26 млн К. Понятно, что углеродно-азотный цикл существует для горячих звезд. Что до Солнца, нагретого в центре до температуры примерно 15 млн К, то за его излучение отвечает прежде всего протон-протонная реакция, но некоторый вклад вносит и углеродно-азотный цикл.

Естественно также, что в формулу для скорости углеродно-азотного цикла входит параметр, учитывающий концентрацию

более тяжелых элементов, чем водород и гелий. При полном отсутствии углерода эта реакция попросту не пойдет.

Для гигантов и сверхгигантов, сильно разбухших и часто сравнительно холодных с поверхности, но зато имеющих очень горячее ядро, существенна тройная гелиевая реакция. Она «включается» в том случае, если весь водород уже «выгорел», после чего сжатие ядра привело к его разогреву до 100 и более млн К. При этой реакции ядро гелия ${}^4\text{He}$ сталкивается с себе подобным, что приводит к образованию неустойчивого изотопа бериллия ${}^8\text{Be}$. Скорее всего новообразовавшееся ядро тут же и распадется. Но может случиться, что оно успеет столкнуться с еще одним ядром гелия и поглотить его. Тогда образуется устойчивый изотоп углерода ${}^{12}\text{C}$ и выделяется гамма-квант с энергией 7,3 МэВ.

Легко видеть, что эта реакция куда менее энергетически выгодна, чем реакции на водороде. А скорость ее зависит от температуры и вовсе с чудовищной силой — пропорционально 30-й степени! Совершенно ясно, что в недрах Солнца тройная гелиевая реакция не идет и идти не может, хотя гелия там предостаточно.

Во всех случаях, однако, в результате этих реакций излучаются жесткие гамма-кванты. Почему же Солнце излучает преимущественно в видимом диапазоне электромагнитных волн, люди не прячутся от его излучения под свинцовые плиты, а дозиметры не зашкаливают от наведенной радиации? Нас спасает колоссальная толща солнечного вещества, весьма непрозрачного, как это ни кажется странным на первый взгляд. Будучи непрозрачным, оно, естественно, охотно поглощает кванты. Поглотив жесткий гамма-квант, какой-нибудь атом переходит в сильно возбужденное состояние, после чего спонтанно избавляется от избытка энергии, но не сразу, а порциями, переходя с одного уровня возбуждения на другой, более низкий, и испуская менее энергичные, т. е. более длинноволновые, кванты, которые, в свою очередь, поглощаются другими атомами... и т. д. Миллионы лет требуются излученному в центре Солнца кванту, чтобы достичь поверхности нашего светила и быть излученным в пространство уже

в виде множества квантов гораздо более низких энергий, чем их «прародитель». Из цвета Солнца прямо следует, что наибольшее количество покидающих его квантов имеет энергию, соответствующую оптическому излучению желтого цвета. Разумеется, есть в солнечном спектре и все длины волн видимого цвета, и инфракрасные лучи, и ультрафиолет разной степени жесткости, и немного рентгеновских лучей, но с фильтрацией небольшого количества опасных для здоровья лучей вполне справляется земная атмосфера. Нам остается только порадоваться тому, что Солнце, как всякая порядочная звезда, имеет внутри себя непрозрачные для излучения слои. Будь иначе, ни о каком возникновении жизни на Земле не пришлось бы и говорить.

3. ЧТО ТАКОЕ ЗВЕЗДА?

«Газовый шар, находящийся в состоянии равновесия», — отвечают на этот вопрос астрофизики, понимая, конечно, что данное условие является необходимым, но не достаточным. Не всякий газовый шар, находящийся в равновесии, — звезда. Планеты-гиганты, например, звездами не являются, хотя состоят из газа и не обнаруживают намерения ни катастрофически сжаться, ни, наоборот, самораспылиться в космическом пространстве. Строго говоря, звезды также не являются шарами из-за собственного вращения или тяготения звезды-компаньонки в двойных системах. Дотошный придира укажет и на то, что равновесие тут, в общем-то, относительное, имея в виду конвективные движения звездного вещества, протуберанцы и корональные выбросы. Нечего и говорить о переменных звездах, особенно неправильных переменных и выпыхивающих звездах, чрезвычайно распространенных среди маломассивного населения главной последовательности. Аккуратно пульсирующие цефеиды и долгопериодические мириды также пребывают в лучшем случае в состоянии квазиравновесия.

Однако все эти оговорки не играют серьезной роли. Более того, сама переменность звезд прямо указывает на то, что звезда пытается как-то подстроить свою структуру к меняющимся внутренним условиям, а испытываемые звездой автоколебания все-таки не приводят к ее разрушению.

«Нет ничего более простого, чем звезда», — утверждал столет назад «отец» современной астрофизики А.С. Эддингтон, равным счетом ничего не зная о природе энерговыделения внутри звезд. Этого знания для объяснения стабильности большинства звезд и не требовалось. Достаточно было знать, что звезды состоят из газа и что в их недрах происходит выделение энергии, а уж причина его могла быть любой, вплоть до гелимгольцевского сжатия.

Сила, удерживающая вещество в звезде, более чем очевидна — это тяготение. Не будь его, звезда вела бы себя точно так же, как обыкновенный горячий газ в пустоте, т. е. весьма быстро рассеялась бы в пространстве. И.С. Шкловский приводит простейший расчет, согласно которому типичная звезда с температурой поверхности 10 тыс. К увеличилась бы в размере вдесятеро всего навсего за 10 суток, если бы сила гравитации вдруг исчезла. На самом деле это время будет еще меньше, поскольку внутренние слои звезды, конечно же, значительно горячее наружных.

Обратному процессу — сжатию звезды в «точку» — мешает единственная причина: давление газа, стремящегося к неограниченному расширению. При отсутствии давления газа звезда, подобная Солнцу, катастрофически «схлопнется» за считанные минуты. Из классического «единства и борьбы противоположностей» гравитации и газового давления получается устойчивое образование — звезда.

Конечно, устойчивым оно будет оставаться лишь до поры до времени, поскольку ядерные источники энергии звезды — принципиально исчерпаемый ресурс. Финал жизни звезды в конце концов один — сжатие либо до нового равновесного состояния, либо катастрофическое, с образованием черной дыры, но об этом ниже.

Предположим, что какой-то объем газа внутри звезды стал горячее окружающих его областей. Что произойдет? Если этот объем не сможет моментально сбросить в окружающие его области излишки своей тепловой энергии, то он увеличится в объеме, за счет чего его температура понизится, а плотность уменьшится. В результате данный объем газа начнет «всплывать» к поверхности. Это есть не что иное, как конвекция вещества, возникающая, когда лучеиспускание не справляется с переносом энергии, иными словами, когда вещество звезды непрозрачно к ее излучению.

Может показаться странным, что газовая смесь, составляющая вещество Солнца, непрозрачна, но это так. Более того, внешние слои Солнца непрозрачны в чрезвычайной степени! Между прочим, это делает спектр Солнца похожим — конечно, в первом

приближении — на спектр абсолютно черного тела. Причина непрозрачности заключается в низкой температуре внешних слоев Солнца по сравнению с внутренними. Сравнительно холодный, но еще достаточно плотный газ жадно поглощает кванты, не спеша отдавать их и, следовательно, нагреваясь. Основной вклад в поглощение квантов вносят элементы, более тяжелые, чем водород и гелий. Нагретое вещество, как было проиллюстрировано выше и как любой может убедиться на примере воды в кастрюле, стоящей на плите, будет подниматься вверх, а холодное вещество — опускаться вниз, в результате чего возникнет конвекция.

А что же в более глубоких слоях? Там газ горяч, полностью ионизован и прозрачен для излучения. Можно считать, что Солнце состоит из трех слоев, и радиус каждого слоя составляет примерно треть радиуса Солнца.

В центральной трети — зона энерговыделения. Там идут ядерные реакции, а транспортировка энергии вовне осуществляется лучистым переносом.

Во втором, среднем, слое температура вещества уже мала для ядерных реакций, но еще достаточна для лучистого переноса. Из этого не следует, что там, как и в центральной зоне, нет перемешивания вещества, — очень может быть, что перемешивание в какой-то мере происходит, однако не оно ответственно за транспортировку энергии.

Наконец, внешний слой, составляющий треть солнечного радиуса, — конвективный. Наружные слои Солнца буквально бурлят, что наблюдается телескопически в виде *грануляции*. Гранулы на поверхности Солнца есть не что иное, как конвективные ячейки. Выйдя на поверхность, нагретый газ наконец-то избавляется от излишков энергии, излучая кванты в пространство, после чего вновь «ныряет» в глубину.

В менее ярких и более холодных звездах главной последовательности внешняя конвективная зона занимает гораздо больший (относительно) объем. Это и понятно: чем менее нагреты недра звезды, тем уже область лучистого переноса и шире конвективная зона. Зато в массивных и горячих O- и B-звездах

главной последовательности картина в точности обратная. Энерговыведение там столь огромно, что лучистый перенос уже не справляется с транспортировкой энергии в глубинных слоях звезды, что приводит к образованию конвективного ядра. Зато внешние области такой звезды достаточно горячи, чтобы обеспечить перенос энергии преимущественно излучением.

Итак, не только светимость, но и строение звезды главной последовательности зависят от ее массы. Ниже мы увидим, что сценарий жизни и особенно смерти звезды также зависит в первую очередь от ее массы. Какие же вообще массы бывают у звезд?

Верхний теоретический предел — около 100 масс Солнца. Звезды столь большой массы находятся на пределе устойчивости, их колоссальное собственное излучение готово разорвать их. Характерный пример — звезда Эта Киля, погруженная в туманность, состоящую из бывшего звездного вещества, выброшенного звездой при вспышке. Переменная-сверхгигант Р Лебеда, имеющая светимость, в миллион раз превышающую солнечную, теоретически должна иметь массу не менее 80–100 масс Солнца. Эта звезда ежегодно теряет в виде звездного ветра 10^4 масс Солнца.

Некоторое время астрофизиков чрезвычайно интриговал объект R136a, находящийся в Туманности Тарантул в Большом Магеллановом Облаке. Выгляда звездой, он имел светимость в 100 млн солнц, а его масса оценивалась в 4000 солнечных, что резко противоречило теории. Но теория устояла. Метод спеклинтерферометрии, а также снимки, сделанные орбитальным телескопом «Хаббл», позволили выяснить природу объекта — это оказалась не одиночная звезда и даже не кратная система, а тесное скопление минимум из 70 звезд. Похоже, что 100 масс Солнца — это практический предел массы звезды, превышать который звезде «не рекомендуется», если она хочет остаться звездой.

А что на другом полюсе — наименьших звездных масс? Мы знаем, что температура в центре звезды главной последовательности определяется ее массой. Если масса звезды мала, то мала и температура. Ее может не хватить для протон-протонной реакции, скорость которой, как мы помним, зависит от темпера-

туры в 5-й степени. Если масса звезды менее 0,075 солнечной (предел Кумара), то температура в ней недостаточна для протон-протонной реакции. Но откуда же сжимающееся протозвездное облако может «знать», что его масса недостаточна для формирования полноценной звезды?

И действительно, такие звезды существуют. Они очень красны, очень тусклы и называются коричневыми карликами. Их светимость обеспечивается очень медленным сжатием — как видим, теория Гельмгольца, оказавшаяся непригодной для Солнца, вполне применима к коричневым карликам. Кроме того, в недрах коричневых карликов на раннем этапе их существования могут идти реакции на легких ядрах (прежде всего дейтерия) с низким кулоновским барьером, но этих ядер мало, и они быстро «выгорают». Основной источник светимости коричневых карликов — все же сжатие.

Теоретически предсказанные довольно давно, коричневые карлики были открыты лишь в 1989 году после уточнения орбитального движения компонент двойной звезды Вольф 424, одной из ближайших к Солнцу звезд. Выяснилось, что карликовые компоненты этой двойной звездной системы имеют массы 0,059 и 0,051 солнечной, что меньше предела Кумара. Сейчас астрономам известно множество коричневых карликов; в качестве последних отождествлены некоторые невидимые спутники звезд, а что до экзопланет (юпитероподобных объектов, обращающихся вокруг близких и не очень близких звезд), то за ними идет настоящая — и успешная — охота. В созвездии Ориона открыты также большие газовые планеты, не являющиеся спутниками звезд.

Возникает закономерный вопрос: а где вообще проходит граница между звездой и планетой? Ведь коричневые карлики все-таки звезды, поскольку самосветящееся тело логично считать звездой, каковы бы ни были причины его свечения. С другой стороны, в атмосферах коричневых карликов предполагаются атмосферные явления, например, там могут идти дожди из расплавленных металлов, что совсем не характерно для нормальных звезд. Четкой границы тут нет, астрономы лишь договорились провести ниж-

нюю границу масс коричневых карликов по уровню 0,013 солнечной массы. Таким образом, Юпитер очень сильно — в 13 раз — недобрал массы для того, чтобы быть переведенным в ранг звезды, пусть даже такой неполноценной, как коричневый карлик.

Для земных астрономов-наблюдателей как раз очень хорошо, что Юпитер маломассивен для звезды. Им и без того мешает яркая Луна, а если бы еще Юпитер светил на несколько звездных величин ярче, количество темных ночей резко уменьшилось бы.

Между прочим, средняя масса звезд в окрестностях Солнца равна 0,41 солнечной массы. Такая «усредненная» звезда являлась бы оранжевым карликом класса К и светила бы в 5–10 раз слабее Солнца. Разумеется, мы говорим о звезде, находящейся на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга–Рессела, и это весьма существенная оговорка. Светимости звезд равной массы, но разных классов отличаются не в разы — на порядки.

Первым открытым астрономами белым карликом явился спутник Сириуса — Сириус В. Открыть его удалось потому, что собственное движение Сириуса оказалось не прямым, а заметно волнообразным с периодом около 50 лет. Из этого следовал вывод о наличии массивного невидимого спутника, разглядеть который в телескоп удалось только в 1862 году. Сириус В также оказался звездой, причем не очень слабой, 8-й звездной величины. Лишь яркий блеск Сириуса А мешал наблюдателям заметить спутник раньше.

Итак, элементы орбит компонентов двойной системы стали известны, светимости тоже, и уже ничто не мешало получить полный «портрет» обеих звезд. А дальше начались чудеса на грани фантастики. Выяснилось, что Сириус В при крайне скромном для звезды диаметре, лишь втрое превышающем диаметр земного шара, но при массе порядка солнечной неизбежно должен иметь чудовищную среднюю плотность — около 30 кг/см³. Сейчас такой плотностью не удивишь даже широкую публику, не то что астрономов, но в те времена столь громадные величины поражали воображение, поскольку находились в резком противоречии с бытовым опытом всякого человека. Нужно было постараться, чтобы представить себе силача а-ля Иван Поддубный,

напрасно старающегося приподнять спичечную коробку, наполненную веществом с Сириуса В.

Впоследствии было найдено немало подобных объектов, названных белыми карликами. Они действительно по большей части относятся к спектральному классу А, хотя есть исключения. Но характеризует все эти звезды прежде всего громадная плотность вещества в них. Так, звезда Вольфа, известная также под обозначением N457, втрое меньше Земли, а звезда Лейтена — вдесятеро. И это при звездных массах! Плотность Сириуса В далеко не рекордная.

Несмотря на огромную плотность, вещество белых карликов — газ. Это может показаться странным, ведь наш земной опыт говорит нам, что газы легче жидкостей и твердых тел. Однако вспомним, что такое твердое тело. В нем ядра атомов находятся на определенном расстоянии друг от друга, определяемом радиусами внешних электронных оболочек. Последние довольно велики по сравнению с размерами атомных ядер. Отсюда следует, что полностью ионизованные атомы газа, т. е. ядра, можно «упаковать» гораздо плотнее, и вещество при этом все равно останется газом. Точнее, плазмой, но ведь плазма — это ионизованный газ.

Белые карлики состоят из гелия и более тяжелых элементов. Водорода в них нет, если не считать тонкую поверхностную оболочку. Из этого следует, что весь водород в таких звездах выгорел в результате ядерных реакций, ибо невозможно предположить, чтобы газовая туманность, давшая начало звезде, была исходно лишена водорода. Стало быть, белые карлики — весьма старые объекты, у которых «самое интересное» уже позади.

Более того, это *типичные* объекты. Разумеется, лишь малую часть из них можно наблюдать средствами современной астрономии, но несколько таких звезд находятся в ближайших окрестностях Солнца, а мы не имеем оснований утверждать, что окрестности Солнца принципиально отличаются от других областей Галактики. Следовательно, количество белых карликов в Галактике исчисляется миллиардами. Возможно, 10% всех звезд Галактики являются белыми карликами.

Как поведет себя звезда после выгорания ядерного топлива? Поскольку энерговыделение в ее центральных областях прекратится, давление света уже не будет компенсировать силу тяготения, стремящуюся сжать звезду. И действительно, звезда начнет сжиматься до тех пор, пока гравитация не будет уравновешена каким-нибудь новым фактором и система вновь не станет устойчивой.

Какой же это новый фактор?

Если применить к белому карлику те же формулы газовых законов, которые мы имеем полное право применить к нормальным звездам, исходя из того, что звездное вещество не сильно отличается от идеального газа, то окажется, что центральные температуры белых карликов непомерно велики — сотни миллионов кельвинов. Но при таких температурах просто обязана эффективно идти тройная гелиевая реакция — уж гелия-то в белом карлике предостаточно. Выделяющаяся энергия должна тем или иным способом отводиться к поверхности и излучаться в пространство, причем излучение должно быть весьма мощным.

Но этого не наблюдается. Наоборот, светимости белых карликов невелики, чтобы не сказать ничтожны. Как можно объяснить данный парадокс?

Только одним путем: центральные температуры сравнительно малы, а вещество белых карликов никоим образом не является идеальным газом, а имеет совершенно иные свойства, оставаясь, однако, газом, несмотря на громадную плотность.

Такое вещество известно — это *вырожденный газ*. Электроны в нем в соответствии с принципом Паули движутся с большими скоростями — большими, чем в обычном газе, и их скорости не зависят от температуры, оставаясь высокими даже вблизи абсолютного нуля. Как следствие, давление вырожденного газа мало зависит от температуры. Давление вырожденного газа внутри белых карликов и есть тот фактор, который стабилизирует звезду, не давая ей сжаться еще сильнее.

Можно считать, что при температуре 10 млн К, что является нормальной температурой звездных недр, газ становится вырожденным при плотности выше 1000 г/см³. Следовательно,

внутри Солнца и других «нормальных» звезд газ не вырожден. Белые карлики — иное дело. Их плотность заведомо превышает указанный предел.

Любопытно, что зависимость радиуса от массы у белых карликов обратная и вблизи величины 1,2 массы Солнца резко обрывается. Это значит, что для белых карликов существует верхний предел массы. Величина 1,2 массы Солнца называется чандрасекаровским пределом (по имени индийского физика Чандрасекара, развившего теорию белых карликов); белый карлик бóльшей массы должен сжаться до состояния *нейтронной звезды* с совершенно иными свойствами.

Белые карлики светят за счет запасов тепловой энергии. Эти запасы велики, и белые карлики расходуют их весьма экономно — ведь площадь излучающей поверхности у них мала. По меньшей мере сотни миллионов лет пройдут, прежде чем белый карлик остынет настолько, что перейдет в спектральный класс F, G и т. д. Вполне возможны «красные белые карлики». В конце концов звезда остынет настолько, что перестанет испускать видимые лучи и станет черным карликом. Это финал жизни для всех маломассивных звезд, каковых во Вселенной подавляющее большинство.

В виде исключения бывают и более занимательные сценарии. Астрономам давно известны новые и новоподобные звезды — слабые объекты, периодически (раз в десятки или сотни лет) вспыхивающие на 4–6 звездных величин. Эти объекты *всегда* входят в состав тесных двойных систем. Одной компонентой такой системы обязательно является белый карлик, а второй — красный карлик у новых и красный гигант у новоподобных звезд. Красная компонента заполняет свою полость Роша¹ и теряет массу, перетекающую на белый карлик. Падая на поверхность белого карлика, газ нагревается до значительных температур, а по накоплении некоторой критической массы водорода проис-

¹ Поверхность нулевой скорости, при выходе за которую вещество будет потеряно одной компонентой системы и попадет в область преимущественного гравитационного влияния другой компоненты. — *Примеч. авт.*

ходит его взрыв, после чего вновь начинается накопление «горючего». Конкретный механизм взрыва не совсем понятен, но в его ядерной природе сомнений нет. Как видим, ядерные реакции не совсем несовместимы с белыми карликами, хотя, конечно, это случаи из разряда исключений.

О нейтронных звездах мы поговорим позднее, а сейчас перейдем к красным гигантам. Эти звезды не назовешь малозаметными! Бетельгейзе, Антарес, Альдебаран — настоящие украшения звездного неба и настоящие «прожекторы» среди «светлячков».

Массы некоторых красных гигантов, входящих в двойные системы, были измерены и если чем-то и удивили астрономов, то лишь своими скромными значениями. Совершенно нормален красный гигант с массой Солнца, излучающий в сотни раз больше Солнца (например Альдебаран), а при массе порядка десяти солнечных масс получится уже красный сверхгигант вроде Бетельгейзе или Антареса, излучающий в тысячи раз ярче Солнца.

Одной из величайших побед астрофизики первой половины XX века следует считать объяснение эволюционного смысла диаграммы Герцшпрунга–Рессела. Уход с главной последовательности в область красных гигантов — закономерный итог эволюции звезды с массой, превышающей 0,35 массы Солнца, после выгорания в ней водорода и включения тройной гелиевой реакции. Поздние стадии жизни звезды, еще способной поддерживать ядерные реакции, — это не прозябание среди красных карликов из-за постепенного угасания. Напротив, звезда демонстрирует своеобразный «пир во время чумы», щедро сжигая остатки ядерного топлива, уже «второсортного». Мы помним, что тройная гелиевая реакция — энергетически гораздо менее выгодный процесс, чем реакции на водороде, а значит, при высокой светимости звезды ядерное топливо тратится в ней довольно быстро. Следовательно, стадия красного гиганта в жизни звезды относительно коротка — порядка на два короче стадии пребывания на главной последовательности.

Тот же вывод следует, между прочим, из относительной редкости красных гигантов в Галактике. Среди ближайших к Солнцу звезд преобладают звезды главной последовательности, есть не-

сколько белых карликов и ни одного красного гиганта. Они выделяются на небе вовсе не из-за близости к нам, а исключительно из-за своей высокой светимости.

Размеры красных гигантов и сверхгигантов колоссальны. Они следуют из простого соотношения между светимостью и температурой, а кроме того, диаметры некоторых ярких звезд измерены непосредственно методами оптической интерферометрии¹. Кроме того, угловой диаметр некоторых звезд (например Альдебарана) удается измерить во время покрытия их Луной с помощью скоростного фотометра. Диаметр Альдебарана оказался в 36 раз больше солнечного, диаметр сверхгиганта Бетельгейзе превышает диаметр Солнца в 850 раз, а диаметр наибольшего компонента затменно-двойной системы S Золотой Рыбы достигает 1400 солнечных диаметров, что превышает диаметр орбиты Юпитера. Разумеется, отсюда следует немедленный вывод о крайне низкой средней плотности красного гиганта. Здесь ключевое слово — «средней», ибо в центре такой звезды, где идут реакции на углероде, плотности огромны и сравнимы с плотностями белых карликов. Далее мы увидим, что это сходство далеко не случайно.

Раздуваться, подобно пузырям, эти звезды заставляет мощное собственное излучение — больше нечему. При увеличении объема газа падает его температура, что и приводит к перемещению звезды в спектральные классы K или M на диаграмме Герцшпрунга—Рессела. Существует небольшое количество гигантов и сверхгигантов классов G, F, A и даже более горячих, притом не относящихся к главной последовательности; разговор о них пойдет ниже.

¹ При помощи интерферометра интенсивностей Р. Хэнбюри-Брауна. —
Примеч. авт.

4. ЗВЕЗДА ПО ИМЕНИ СОЛНЦЕ

Можно с уверенностью сказать, что нам повезло: наше Солнце — очень спокойная звезда. Она не переменная и никогда не светила ни вдвое слабее, ни вдвое сильнее, чем сейчас. Вспышки на Солнце слабы и влияют только на работу электросистем и наше самочувствие, но никак не на саму возможность жизни на Земле. У Солнца нет крупного самосветящегося спутника с такой орбитой, которая бы сделала невозможным возникновение жизни на Земле из-за температурного фактора. Наконец, Солнце обеспечивает живые организмы Земли достаточным для мутаций количеством ультрафиолета (а без мутаций не было бы биологической эволюции) и одновременно принадлежит к классу относительно долгоживущих звезд, поэтому возникшая на Земле белковая жизнь имела и еще имеет все шансы развиться от простейших до высших организмов. Если кто-то думает, что выше человека уже ничего не может быть, то серьезно заблуждается. Во всяком случае, Солнце предоставило белковой жизни достаточное время для эволюционных экспериментов. И если даже глупость человечества окажется настолько велика, что приведет к его полному уничтожению, то эта потеря окажется малозначительной с точки зрения Мироздания. Низшим организмам, пережившим катаклизм, будет предоставлен еще один шанс. «Мы только себя можем уничтожить», — говорил один из персонажей романа Майкла Крайтона «Парк юрского периода» и был совершенно прав. Если стоять на идеалистической в общем-то позиции и считать, что целью Вселенной является создание существ, способных к ее познанию и преобразованию, то не мешает напомнить читателю, что Вселенная располагает достаточным временем для экспериментов в данной области и невообразимо огромным количеством «экспериментальных площадок».

Но вернемся к Солнцу. Это звезда спектрального класса G2V, т. е. желтый карлик. Для тех, кого по-прежнему коробит слово «карлик», мы рады сообщить, что среди более чем 50 ближайших к нам звезд Солнце занимает вполне почетное пятое место, уступая лишь Сириусу, Альтаиру, Проциону и совсем немного — главной компоненте системы Альфа Центавра. Из этого, между прочим, следует, что диаграмма Герцшпрунга–Рессела страдает наблюдательной селективностью, ибо подавляющее большинство звезд в Галактике — красные карлики, непропорционально малочисленные на диаграмме. Их не так уж много видно на небе исключительно из-за того, что они очень слабы — например, светимость звезды Вольф 359 составляет всего-навсего 0,00002 солнечной. По той же причине на диаграмме слабо представлены многочисленные белые карлики.

Абсолютная светимость Солнца равна $+4,8^m$, что типично для звезд главной последовательности, имеющих такую массу; температура его поверхности составляет 5780 К (речь идет о так называемой эффективной температуре); 99% вещества приходится на водород и гелий с преобладанием водорода. Радиус составляет 109 радиусов Земли, масса превышает земную в 332 946 раз, а средняя плотность составляет 1,409 г/см³, что сравнимо с плотностью воды. Тем, кто из всех газов имел дело только с атмосферным воздухом, все еще может показаться странным, что газ имеет такую плотность, но полезно сравнить эту величину с плотностью вещества в центре Солнца, составляющей, по разным оценкам, величину в 140–180 г/см³, что на порядок превышает плотность самых тяжелых металлов.

И тем не менее это вещество — газ, причем, конечно, не вырожденный. Более того, в первом приближении его можно считать идеальным газом и применять для прикидочных расчетов формулы, следующие из классических газовых законов. В идеальном газе частицы не вступают в реакции — химические либо ядерные — друг с другом. Для недр Солнца это почти так. Вспомним, насколько мала вероятность для протона присоединить к себе другой протон, преодолев кулоновский барьер, т. е. все

станет на свои места. Невообразимое число соударений испытает среднестатистическая частица, прежде чем вступит в реакцию.

Что мы видим, глядя на Солнце? Видимая его поверхность называется *фотосферой* — именно от нее распространяется излучение. Вся поверхность фотосферы покрыта *гранулами* с характерным поперечником порядка тысячи километров, а также *флоккулами* — волокнами различной формы. Эти образования, постоянно возникающие и исчезающие, есть не что иное, как видимое проявление конвекции в наружных слоях Солнца. Их температура градусов на 200 выше, чем средняя по фотосфере. Вывод однозначен: каждая гранула или флоккула есть верхушка конвективной ячейки, доставляющей нагретое вещество к поверхности. Фотосфера по сути просто «кипит» и по внешнему виду издавна сравнивается с кипящей рисовой кашей. Так и должно быть: ведь наружная треть солнечного радиуса — это конвективная зона, где из-за низкой прозрачности вещества энергия отводится вовне только путем конвекции.

Солнечные пятна, открытые еще Галилеем, — менее заурядное явление. Некоторые из них столь велики, что наблюдаются невооруженным глазом на закате или лучше сквозь темное стекло (годится компьютерная дискета, не спешите их выбрасывать). Пятна — это магнитные силовые трубки, уходящие в недра Солнца. Поверхность Солнца в пятнах вдавлена, а температура фотосферы в пятнах примерно на тысячу градусов ниже, чем полагается иметь звезде класса G2. Поэтому пятна кажутся темными только по контрасту с более яркими окружающими областями. По краям пятен наблюдаются *факелы* и даже целые факельные поля.

Пятна медленно перемещаются по солнечному диску, подчиняясь как вращению Солнца, так и собственному дрейфу. Бывают одиночные пятна, нередко два примерно одинаковых пятна дрейфуют неразлучной парой, что говорит о пересечении поверхностью Солнца изогнутой магнитной трубки; часто встречаются и группы пятен. Немецкий аптекарь и астроном-любитель Генрих Швабе, живший в XIX веке и потративший

43 года на поиски околосолнечной планеты Вулкан, зарисовывал пятна, надеясь, что одно из них окажется диском искомой планеты. Вулкана он не нашел, зато обнаружил 11-летний цикл активности Солнца, связанный с периодическим уменьшением и увеличением количества пятен. Численно солнечную активность характеризует число Вольфа (W), равное количеству одиночных пятен плюс удесятеренное количество групп пятен. Сейчас индекс солнечной активности рассчитывается несколько иначе, но он переводится в число Вольфа простым умножением на постоянный коэффициент. В максимумах солнечной активности число Вольфа нередко превышает 200, а в минимумах нередко падает до 10 и даже еще ниже.

Иногда на солнечном диске появляются настолько большие пятна, что их можно разглядеть невооруженным глазом, — хотя лучше все-таки «вооружить» глаз каким-либо плотным светофильтром, хотя бы упомянутой уже дискетой, или наблюдать солнечный диск на закате. Некоторые из этих пятен-громадин втрое превышают диаметр Земли (а рекордное пятно, зарегистрированное в 1995 году спутником SOHO, имело размер 100 тысяч километров, т. е., было в 7 с лишним раз больше земного диаметра).

Как это ни странно на первый взгляд, но интегральная яркость Солнца увеличивается, когда на нем много пятен, хотя, казалось бы, должно быть наоборот. Причина в том, что факельные поля, окружающие пятна, не просто компенсируют падение яркости, но компенсируют его с лихвой. В годы максимумов активности солнечная постоянная (под ней понимается количество солнечной энергии, получаемой единицей перпендикулярной солнечным лучам поверхности на среднем расстоянии от Земли до Солнца), равная в среднем 1369 Вт/м^2 , возрастает на 0,2–0,3% по сравнению с годами минимума.

Каждые 11 лет полярность магнитного поля Солнца меняется. Можно сказать, что Солнце — магнитно-переменная звезда. Но эти перемены диктуются изменением общего направления движения огромных масс солнечной плазмы, возникающим

из-за особенностей конвекции. Периодичность, или, точнее, квазипериодичность, многих видов конвекции хорошо известна. В случае Солнца эта периодичность носит сложный характер и, по-видимому, определяется главным образом зональным вращением Солнца: его экваториальные области делают полный оборот примерно за 25 суток, а околополярные — за 33 суток. Накопление некоторой вращательной неустойчивости должно приводить к ее периодическим сбросам, что, по-видимому, и наблюдается. Надо сказать, что по сравнению с большинством звезд Солнце с его экваториальной скоростью вращения 2 км/с вращается крайне лениво; у гипотетического «двойника» Солнца, отличающегося от него только скоростью вращения, циклы активности должны иметь другую продолжительность. Для Солнца же известны 11-летний, 22-летний, 44-летний, целый ряд вековых и сверхвековых циклов, а недавно российскими учеными был открыт 2-летний цикл. Описать конвекцию математически крайне трудно, поэтому до сих пор толком не известно, почему на Солнце она протекает так, а не иначе.

Зато нам хорошо известны следствия высокой активности Солнца — магнитные бури. Кто ни разу не ощущал их влияния на свое самочувствие, тот хотя бы знает о них из метеопрогнозов. Не раз особо сильные магнитные бури, наводя токи в проводниках, вызывали масштабные сбои в системах электроснабжения, оставляя без электричества целые регионы в промышленно развитых странах, а также нарушали радиосвязь на коротких волнах. Первопричина магнитных бурь — солнечные вспышки, возникающие в активных зонах, «отмеченных» солнечными пятнами. Давно известно, что помимо квантов излучения Солнце испускает корпускулы — солнечный ветер, состоящий преимущественно из электронов и протонов. В норме плотность солнечного ветра невелика, хотя и побуждает одних инженеров рассматривать проекты солнечного паруса в качестве движителя космических кораблей, а других заставляет принимать меры для удержания спутников на заданной орбите. Наиболее показательный пример — американские спутники «Эхо», запускаемые в на-

чале 1960-х. Эти спутники были созданы для пассивной ретрансляции радиосигналов и представляли собой просто-напросто 30-м шары с металлизированной оболочкой, надуваемые, конечно, уже на орбите. Прокол от удара микрометеорита такому шару не грозил, поскольку мягкая оболочка быстро затвердела. Но не микрометеориты «похоронили» этот проект, а солнечный ветер. Рассчитанные на 30 лет эксплуатации, эти курьезные спутники не просуществовали и года — их попросту «сдувало» с орбиты совместным действием давления света и солнечного ветра!

Если уж обычный солнечный ветер способен на такое, то что уж говорить о потоках плазмы, выбрасываемых во время солнечных вспышек! Если активные области, где возможны вспышки, дрейфуют недалеко от солнечного экватора, что случается в годы максимума 11-летнего цикла, то Земля может оказаться на пути потока заряженных частиц, порожденных вспышкой. Скорость частиц в потоке более чем вдвое превышает обычную скорость корпускул солнечного ветра и достигает 1000 км/с. Встречаясь с магнитосферой Земли — естественной нашей защитой, мощный поток частиц деформирует ее, и некоторая часть потока проникает под магнитосферу, отклоняясь к полюсам и вызывая свечение возбужденных атомов атмосферы. Полярные сияния хорошо известны жителям северных районов России, а наиболее мощные из них наблюдаются много южнее. Например, 28 октября 2004 года необычайно мощное полярное сияние можно было видеть в центре Москвы, несмотря на городскую засветку. Не раз полярные сияния наблюдались в Воронеже, Оренбурге и других городах, считающихся в России южными, и даже в Крыму. Более того, как-то раз полярное сияние наблюдалось на Кубе!

Красота полярных сияний завораживает, но это, пожалуй, единственное положительное следствие встреч Земли с потоками заряженного вещества, несущимися от Солнца. Для космонавтики, например, ничего хорошего в этом нет. Во-первых, в дни магнитных бурь земная атмосфера немного раздувается, ставя под вопрос существование спутников на низких орбитах. Роман

Р. Желязны и Т. Томаса «Вспышка» — это та фантастика, которая реально может произойти. Во-вторых, встреча пилотируемого космического корабля с потоком солнечных частиц — очень маленькое удовольствие для экипажа. Попадание планетолета «Хиус» из романа братьев Стругацких «Страна багровых туч» в поток солнечной плазмы и получение космонавтами солидной дозы радиации — это тоже то, что может произойти. Не раз отмечались солнечные вспышки такой силы, что, попади космонавты в порожденный ими поток частиц, они умерли бы раньше, чем вернулись на Землю. Космонавтов, работающих на МКС и вообще на околоземной орбите, это не касается, они защищены магнитосферой, но полеты к Луне и дальше — совсем другое дело. В связи с этим конструкторам космических кораблей будущих лунной и марсианской программ есть о чем подумать...

Но нам, прикованным к поверхности Земли, Солнце не грозит опасными дозами жесткой радиации. Можно заболеть раком кожи, злоупотребляя солнечным ультрафиолетом, но уж если речь идет о лучевой болезни, то можно не сомневаться в ее чисто земных причинах.

Природа преподнесла нам еще один неоценимый подарок: именно в нашу эпоху, когда на Земле существует человечество, видимые диаметры Солнца и Луны практически равны. Следствие из этого факта известно всем — солнечные затмения. Они бывают полными (когда видимый диаметр Луны больше видимого диаметра Солнца) и кольцеобразными (когда наоборот). Вариации видимых диаметров естественно следуют из эллиптичности орбит Луны и Земли. Земля проходит афелий летом, а перигелий зимой — из этого прямо следует, что полные солнечные затмения чаще случаются в летнее время, а кольцеобразные — в зимнее.

Кольцеобразные затмения мало интересны астрономам; иное дело — полные! Почему? Потому что становится видна солнечная корона. Даже в наши дни, когда науке давно и исправно служат внезатменные коронографы и всем доступны снимки солнечной короны, сделанные космическими аппаратами, астроно-

мы все равно предпринимают экспедиции «на затмение», а уж любители астрономии и подавно. Лунная тень поперечником от нескольких десятков до нескольких сотен километров стремительно бежит по земной поверхности. Если не сопровождать ее на самолете, то длительность полной фазы затмения длится обычно две, три, иногда четыре минуты (теоретически возможный максимум — семь с половиной минут). Но ради этих минут стоит предпринять путешествие!

Многие авторы сообщают о том, как беспокойно ведут себя животные во время полной фазы: воют собаки и т. д. Но уверяем вас: в местах скопления людей, наблюдающих затмение, никакого собачьего воя не слышно за радостными воплями очевидцев события, увидевших корону Солнца! Первые секунды полной фазы наблюдается «бриллиантовое кольцо» (свет от краешка Солнца, пробившийся к нам по распадкам меж лунных гор), затем оно гаснет, становятся видны лиловые протуберанцы и, главное, корона — маленькая и аккуратная в минимумах солнечной активности и большая, бесструктурная в максимумах. Никакой наблюдатель с закопченным стеклом или даже с телескопом, снабженным апертурным фильтром, не увидит ее вне полного солнечного затмения. Корону «забьет» солнечный свет — ведь яркость короны на несколько порядков ниже яркости солнечного диска и вдобавок быстро уменьшается по мере удаления от Солнца.

Что же такое солнечная корона?

Массивные тела имеют атмосферу, и Солнце не исключение. Правда, в случае с газообразными телами иногда не так-то просто разделить собственно тело и его атмосферу. Логично считать атмосферой те внешние области, где плотность вещества резко меньше и иная «физика». Поэтому границей собственно Солнца вполне естественно считать фотосферу, откуда к нам приходит большая часть излучения. До высоты в 12 тыс. км над фотосферой Солнца находится *хромосфера*, где темные линии спектра обращаются в яркие, а температура повышается до 15 тыс. К. Поскольку большая часть излучения хромосферы приходится на

красную эмиссионную линию водорода, хромосфера имеет насыщенный красный цвет, однако Солнце для нас выглядит желтым, ибо плотность вещества в хромосфере невелика. Хромосфера неоднородна и состоит из великого множества тонких «нитей» и «язычков», нередко сравниваемых с горящими травинками. Наиболее высокие из них называются *спикулами*. Они существуют порядка 3–5 минут и, по-видимому, связаны с солнечной грануляцией.

Выше хромосферы находится собственно корона, нагретая примерно до миллиона градусов, но еще более разреженная. Нагрев вещества от 15 тыс. до 1 млн К происходит в узкой зоне над хромосферой; толщина этой зоны порядка 5 тыс. км. Внешние области короны удалены от поверхности Солнца на расстояние, равное нескольким его радиусам, а самые внешние части короны, доступные только приборам и состоящие из облаков ионизованного газа, могут простираться на расстояние до 30–40 радиусов Солнца.

Высокая температура короны — большая загадка. Ведь, казалось бы, поверхность Солнца является единственным источником энергии для газа, лежащего выше нее, а тепло не может передаваться от холодного вещества к горячему. Поскольку в справедливости второго начала термодинамики может усомниться только сумасшедший, ученым пришлось «изобретать» нетепловые механизмы нагрева короны. Так, пресс-служба NASA распространила в 1997 году сообщение, в котором говорится, что, по данным, полученным от автоматической солнечной обсерватории SOHO, роль проводника тепла берет на себя магнитное поле Солнца. Время от времени в магнитных петлях, возвышающихся над фотосферой, происходят «короткие замыкания», и в корональной плазме начинают течь сильные токи, которые и нагревает корону до миллиона кельвинов. Однако природа процесса, порождающего магнитные петли, все еще неясна. Еще одним процессом, ответственным за высокую температуру короны, могут являться акустические волны, порожденные подфотосферной турбулентной конвекцией. При распространении вверх, в область с меньшей

плотностью, их амплитуда резко растет, и они превращаются в ударные волны, которые и «разогревают» хромосферу и корону.

Интереснейшее поле для исследований появилось в связи с открытием собственных колебаний поверхности Солнца, и тут же было окрещено гелиосейсмологией. Взрывы, то и дело происходящие на Солнце, заставляют его поверхность вибрировать с определенной частотой, определяемой физическими параметрами, присущими только Солнцу. В последние годы стало возможно исследовать собственные колебания и других звезд. Любопытнее всего оказалась связь периода собственных колебаний звезды с ее возрастом. Так, например, компонент А системы Альфы Центавра, очень похожий на Солнце, еще полвека назад считался молодой звездой, затем его «состарили» до 5–6 млрд лет, а в 2000 году появилась работа Д. Гуэнтера и П. Демарка, в которой наряду с последними новшествами моделирования звездных недр учитывался также период колебаний звезды, — и звезда «постарела» еще минимум на миллиард лет...

Отдельная тема — солнечные нейтрино. Эта частица, вынужденно введенная в 1930 году Вольфгангом Паули для выполнения законов сохранения энергии и импульса при бета-распаде, обладает поразительным свойством проникать сквозь громадные толщи вещества, никак не взаимодействуя с ним. Многим известен такой пример: пучок нейтрино с энергией в миллион электронвольт пройдет без заметного ослабления сквозь свинцовую плиту, толщина которой превышает расстояние от Солнца до ближайших звезд. Поскольку при протон-протонной реакции на одно образовавшееся ядро гелия приходится два нейтрино, полное количество нейтрино, покидающих Солнце, чудовищно громадно. У нас на Земле через каждый квадратный сантиметр поверхности каждую секунду проходит около 60 млрд только солнечных нейтрино, не доставляя нам никаких неудобств. Что не реагирует, то и не разрушает, так что мы с вами можем жить спокойно: если что-то и сократит наши дни, то только не нейтрино.

Существуют три вида нейтрино: электронные, мюонные и тау-лептонные (таонные). И все они «не горят желанием» взаимодействовать с веществом. Как в таком случае изучать их? Чисто теоретически? «Нет ничего практичнее хорошей теории», — это мы знаем. Но теория может подтолкнуть практику, однако сама без практики мертва. Где эксперименты и наблюдения?

«Не поймаешь нейтрино за бороду и не посадишь в пробирку», — пел Владимир Высоцкий и на тот момент времени был прав: «пробирки» еще не существовало. Однако еще в 1946 году замечательный советский физик Б.М. Понтекорво, много занимавшийся нейтрино, предложил эксперимент по их регистрации. Идея Понтекорво была позднее реализована в США в виде 400-тысячелитрового резервуара с перхлорэтиленом, довольно дешевым веществом, использующимся как моющая жидкость. Для защиты от космических лучей резервуар был расположен на полуторакилометровой глубине под землей. Суть идеи заключалась в том, что нейтрино с очень малой, но все же не нулевой вероятностью может вступать в реакцию, известную как «обратный бета-распад», с хлором-37, в результате чего образуется радиоактивный аргон-37. Оценить количество последнего, пусть даже имеющегося в резервуаре в количестве нескольких десятков ядер, вполне возможно, а зная вероятность реакции, нетрудно вычислить полный поток солнечных нейтрино.

Позднее были созданы гигантские нейтринные детекторы на основе воды и даже ледникового щита Антарктиды, где каждое событие поглощения нейтрино фиксируется светочувствительными датчиками, но не о них сейчас речь. В 1968 году было объявлено, что количество солнечных нейтрино оказалось примерно втрое меньше ожидаемого.

Столь странный результат можно было бы объяснить дефицитом гелия в центральных областях Солнца. При этом повышается прозрачность солнечного вещества, снижается температура и, следовательно, уменьшается поток нейтрино, возникающий при боковой ветви протон-протонной реакции, связанной с распадом

бора-8 (перхлорэтиленовый детектор регистрировал только эти нейтрино). Но почему гелия в центре Солнца должно быть мало, коль скоро он там непрерывно образуется?

Другое объяснение в 1969 году предложил Б.М. Понтекорво на основе высказанной им ранее гипотезы о нейтринных осцилляциях, развитой в 1962 году японскими физиками Маки, Накагавой и Сакатой. Суть гипотезы в том, что электронные нейтрино, выделяющиеся при ядерных реакциях в недрах Солнца, могут «осциллировать», т. е. спонтанно превращаться в мюонные, тау-лептонные и обратно. В хлор-аргоновом детекторе «ловятся» только электронные нейтрино, и если гипотеза верна, то две трети времени нейтрино проводит в недоступном для регистрации виде. Следовательно, детектор показал то, что и должен был показать, — втрое меньший по сравнению с расчетным поток солнечных нейтрино.

В самые последние годы гипотеза нейтринных осцилляций была подтверждена и перестала быть гипотезой, но поначалу физики отнеслись к ней скептически. Слишком уж многим надо было поступиться, чтобы признать ее. Прошло значительное время, прежде чем идея была принята.

Неверие в нейтринные осцилляции побудило теоретиков искать другие объяснения недостатку солнечных нейтрино. Стоит упомянуть гипотезу Фаулера, впоследствии развитую Эзером и Камероном. Смысл ее в том, что из-за накопления вращательной неустойчивости в глубинах Солнца в его центральной области периодически, хотя и редко, происходит быстрое перемешивание вещества. При этом в центральные, горячие области Солнца поступает с периферии гелий-3 и тут же реагирует с большим энерговыделением. Нагреваясь, центральные области расширяются, что приводит к понижению температуры и замедлению ядерных реакций. Если сейчас как раз такой момент, то находит объяснение и недостаток нейтрино.

По оценке Эзера и Камерона, между перемешиваниями должно пройти примерно 100 млн лет, а длительность фазы с низким уровнем нейтрино — около 10 млн лет.

Эзер и Камерон обратили внимание также на то, что расширение центральных областей Солнца должно привести к уменьшению его фотонной светимости. Теоретическая зависимость ее от времени несколько иная, чем для нейтрино, но общий характер тот же: быстрый спад, затем медленное восстановление нормальной светимости, затем новый спад после следующего перемешивания и т. д. Как видим, эта гипотеза пытается объяснить не только дефицит солнечных нейтрино, но и ледниковые периоды в истории Земли.

Увы, не получается. Согласно этой гипотезе, ледниковые периоды должны наступать периодически, а как раз с периодичностью ледниковых периодов в истории Земли дело обстоит неважно. Если два последних крупных оледенения — карбоновое и вендское — отстоят от современного (плейстоценового) оледенения, грубо говоря, на 300 и 600 млн лет и как бы подтверждают периодичность, то более ранние оледенения никак не «ложатся» на временной шкале туда, куда им следует. Добросовестный исследователь, разобравшийся в датировках ледниковых периодов, оставит мысль о какой бы то ни было периодичности, недобросовестный — начнет подгонять данные под концепцию. Конечно, пусть себе развлекается, но наука тут совершенно ни при чем.

Кстати, палеоклиматологи связывают наступление ледниковых периодов прежде всего с изменениями циркуляции водных масс, вызванными дрейфом материков. К слову, сейчас расположение материков характерно для криоэры: материки мешают экваториальной циркуляции вод, один из полюсов также занят материком и превращен в «холодильник»... Солнце в какой-то степени может отвечать за межледниковья (в одном из них, начавшемся около 13 тыс. лет назад, мы как раз имеем удовольствие жить), если только наступление оледенений и межледниковий в рамках одного ледникового периода не есть автоколебательный процесс, параметры которого зависят прежде всего от чисто земных факторов!

Широкою публику, конечно, в первую очередь волнует вопрос: чего нам ждать от Солнца в дальнейшем? Связаны ли

с ним изменения земного климата и в чем причина нынешнего глобального потепления: в деятельности Солнца или в деятельности человечества?

На этот вопрос разные группы ученых отвечают по-разному. Чрезвычайно характерным для наших дней является то, что на международных научных конференциях по климату «бодаются» два ученых лагеря, причем достаточно отследить источник финансирования (нефтяной консорциум или какая-либо «зеленая» организация), чтобы понять, кого данная группа ученых объявит виновником глобального потепления...

Поэтому логичнее всего будет обратиться к прошлому, когда за выбросы двуокиси углерода в атмосферу отвечал кто угодно, только не человек. Самый известный 11-летний цикл солнечной активности является 11-летним (точнее, 11,1-летним) лишь в среднем. Его продолжительность может составлять от 10 до 12 лет, причем поток излучения от Солнца тем больше, чем короче цикл. Начиная со второй половины XX века наблюдались преимущественно короткие циклы, а число Вольфа в максимумах циклов было выше, чем сто лет назад. Это сопровождалось повышением средней температуры на Земле. Зато в период, названный маундеровским минимумом, а именно с 1645 по 1716 год, на Солнце наблюдалось аномально мало пятен. Были годы, когда пятна отсутствовали совсем, но даже в максимумах циклов число Вольфа, по всей видимости, не превышало 80. Пожалуй, разумнее всего объяснить маундеровский минимум наложением друг на друга циклов различной длительности (например, векового и сверхвекового), хотя на этот счет существуют и другие гипотезы.

Что же произошло с климатом Земли с 1645 по 1716 год? Как раз на это время пришелся второй и наиболее масштабный пик «малого ледникового периода», сильно досадившего человечеству, — ведь для северной и средней Европы снижение среднегодовой температуры всего на градус уменьшает продолжительность «сельскохозяйственного года» на целый месяц. Строго говоря, «малый ледниковый период» начался еще на рубеже

XIV—XV веков, но прямыми свидетельствами низкой активности Солнца в те времена мы не располагаем.

И все же явления типа «малого ледникового периода» можно объяснить вариациями солнечной постоянной. «Большие» ледниковые периоды — вряд ли. Современное глобальное потепление — похоже, да, хотя все еще остается неизвестным, какую долю внесли техногенные выбросы парниковых газов. Есть подозрения, что ответить на этот вопрос мы сможем не раньше, чем начнется глобальное похолодание — некоторые ученые предсказывают, что оно не за горами...

Пожалуй, можно быть абсолютно уверенным лишь в одном: в ближайшее время Солнце будет продолжать светить — так ли, иначе ли. А что будет потом?

Во Вселенной нет ничего вечного. Чем же кончатся те обеспеченные Солнцем тепличные условия, в которых человечество имеет удовольствие жить? Вся совокупность научных данных говорит в пользу того, что Солнце, во-первых, не взорвется, а во-вторых, примерно через 5 млрд лет сойдет с главной последовательности диаграммы Герцшпрунга—Рессела и превратится в красный гигант. Светимость его возрастет в сотни раз, а радиус увеличится по меньшей мере до радиуса орбиты Венеры. Земля будет испарена, да и на Марсе условия для белковой жизни будут явно неприемлемыми по причине высокой температуры. Вот спутники Юпитера — другое дело.

Впрочем, неприятности для жизни на Земле начнутся гораздо раньше, чем через 5 млрд лет. Оставаясь в пределах главной последовательности, Солнце мало-помалу увеличивает светимость, и наступит момент, когда на Земле станет, мягко говоря, жарковато. Есть некоторые основания предполагать, что первые неприятности станут ощутимыми уже через 100 млн лет.

Сомнительно, чтобы их ощутил на себе человек, — биологические виды редко живут столько времени. В оптимистическом предположении это будут наши потомки, к которым понятие «человек» будет гораздо менее применимо, чем к нам понятие

«австралопитек». Пессимистические варианты мы оставляем на усмотрение читателя...

Найдут ли наши далекие потомки, кем бы они ни были, выход из неприятного положения? В принципе можно оттащить Землю на более высокую орбиту, используя для этого притяжение управляемых астероидов. Можно переселиться на другие планеты, а то и освоить планеты у других звезд. А может быть, наши потомки (в упрямом предположении, что они у нас все-таки будут) придумают нечто совершенно иное? Отпустив на волю фантазию, можно даже надеяться, что эти хомо суперы научатся менять по своему разумению законы природы — хотя бы в пределах, описанных фантастом Георгием Гуревичем в рассказе «Галактический полигон». Ну, чего не знаем, на том не настаиваем. Одно ясно уже сейчас: Вселенная не станет заботиться о тех, кто не позаботился о себе сам.

5. ОНИ РОЖДАЮТСЯ, СТАРЕЮТ, УМИРАЮТ...

Как у каждого ребенка рано или поздно возникает вопрос: «Откуда я взялся?», так и у астрономов закономерно возник вопрос о происхождении и эволюции звезд. Этот вопрос закономерно вытекает из вопроса о происхождении Земли, планет и Солнца. Вопрос этот возник сразу, как только людей с пытливым умом перестали удовлетворять наивные религиозные объяснения.

Происхождение звезд и окружающих их планет в рамках *единого* процесса интуитивно казалось более приемлемым сценарием, нежели раздельное их происхождение, однако история науки полна случаями, когда интуитивное на поверку оказывалось в корне ошибочным. Существование наблюдаемых в телескоп многочисленных туманностей, трактуемых (часто ошибочно) как скопления пыли и газа, подвигло Иммануила Канта к гипотезе, независимо предложенной и развитой в дальнейшем французским математиком Лапласом, о конденсации Солнца из космической туманности под действием силы тяготения. Правда, Кант полагал исходную туманность пылевой и холодной, а Лаплас — газовой и горячей, но это уже детали. Согласно Лапласу, сжимающееся облако газа изначально обладало каким-то моментом вращения, что вполне нормально. Труднее было бы предположить, что хаотические движения отдельных масс облака взаимно компенсировались бы с абсолютной точностью, обнулив суммарный момент вращения. Сжимаясь под действием тяготения, облако вращалось бы все быстрее, ибо обмануть закон сохранения момента количества движения не в силах никакое облако. Наконец настал бы момент, когда из-за центробежных сил облако приняло бы форму сплюснутого сфероида, а потом от него стали бы одно за другим отделяться кольца. Дальнейшее сжатие

центрального облака привело бы к образованию звезды, а из колец получились бы планеты.

Гипотеза эта замечательна тем, что не ставит Солнце, Землю и человечество в «особое положение», поскольку не только допускает, но и предполагает наличие планетных систем у других звезд. Неясно, правда, почему львиная доля момента количества движения Солнечной системы оказалась сосредоточена в орбитальном вращении планет-гигантов, в первую очередь Юпитера. Ведь отделяющиеся от сжимающегося облака кольца должны были иметь весьма скромный момент вращения!

В гипотезах, пытающихся объяснить это неразрешимое в рамках модели Лапласа затруднение, недостатка не было. Например, гипотеза О.Ю. Шмидта предполагала встречу уже «готового» Солнца с плотной пылевой туманностью, из которой под действием солнечного тяготения образовались планеты. Но, во-первых, эта гипотеза относит планетные системы к разряду исключений из общего правила, а во-вторых, она ничего не говорит о происхождении Солнца, «предоставляя слово» старой гипотезе Канта—Лапласа.

Замечательного английского ученого Джеймса Джинса можно было бы назвать Аристотелем от астрофизики, подразумевая не только его огромный вклад в науку, но и масштабные заблуждения, вызывавшие в начале XX века ожесточенные споры. Согласно космогонической гипотезе Джинса, в непосредственной близости от Солнца некогда пролетела другая звезда, вырвав своим тяготением из Солнца струю материи, каковая впоследствии и сконденсировалась в планеты. «Длинная струя материи, вырванная из недр Солнца, — писал Джинс, — была, вероятно, плотнее всего в ее средних частях, так как эти части были извержены в то время, когда вторая звезда находилась на наименьшем расстоянии, и поэтому ее действие было всего сильнее. Мы можем представить себе эту струю, по крайней мере схематично, в форме сигары, т. е. с утолщением посередине и более тонкой по краям; поэтому при образовании в ней сгущений те из них, которые были ближе к ее середине, оказались, вероятно, более бога-

тыми материей, чем появившиеся у ее краев. Этим объясняется, по-видимому, почему обе наиболее массивные планеты, Юпитер и Сатурн, занимают как раз среднее положение в последовательности планет».

Расчеты, однако, показали, что, во-первых, орбиты получившихся таким образом планет будут сильно эксцентричными, чего не наблюдается, а во-вторых и в-главных, вырванный из Солнца газ полностью рассеется в пространстве и никаких планет вообще не будет. Не говоря уже о том, что, согласно Джинсу, количество планетных систем в Галактике удручающе мало — ведь случайные тесные сближения звезд происходят в ней крайне редко.

Таким образом, гипотеза Джинса прошла по разряду экзотики, так и не став теорией. Обратим внимание на то, что в приведенной выше цитате Джинс употребляет слова «вероятно» и «по-видимому», как и пристало добросовестному ученому, излагающему идею, которая пока не «испытана на прочность». Получил бы Джинс, живи он в наше время, грант на исследования при такой сдержанности в формулировках — большой вопрос.

Но, казалось бы, при чем тут планеты, раз мы говорим о звездах? Но в том-то и дело, что происхождение звезд и планет в рамках одного процесса сейчас никем не оспаривается.

Дольше других продержалась гипотеза В.А. Амбарцумяна, согласно которой звезды образуются в результате не конденсации материи, а напротив, распада каких-то ненаблюдаемых сверхплотных объектов. Эта гипотеза непринужденно объясняла, почему звезды рождаются обычно не поодиночке, а целыми скоплениями, зато оставляла полную неясность касательно природы вышеупомянутых сверхплотных объектов — прародителей звезд. И хотя эта гипотеза давно отвергнута, астрономы «бюроканской школы» еще долго придерживались ее «из соображений традиции». Любопытный пример верности «школе» в ущерб научной истине!

Итак, звезды конденсируются из межзвездной среды. Что же это такое — межзвездная среда?

Иногда ее можно наблюдать визуально в виде светлых — эмиссионных и отражательных — и темных туманностей. Большая туманность Ориона доступна в хорошую ночь даже невооруженному глазу. С появлением мало-мальски приличных телескопов число известных астрономам туманностей стало быстро расти. В частности, они сбивали с толку «ловцов комет». Один из них, Шарль Мессье, был вынужден составить каталог неподвижных туманных объектов, чтобы не путать их с кометами. Этим каталогом, насчитывающим всего 109 объектов, иногда пользуются до сих пор. Всякому человеку, интересующемуся наблюдательной астрономией, вне зависимости от того, любитель он или профессионал, известно, что М1 — это Крабовидная туманность, М15 — шаровое скопление в Пегасе, М33 — галактика, известная как туманность Треугольника, и т. д. И хотя в этот и гораздо более поздний и подробный каталог Дрейера попали самые разнообразные туманные объекты, значительная часть которых оказалась звездными скоплениями или далекими галактиками, начало изучения незвездной космической материи было положено.

«Здесь, вероятно, дыра в небе!» — воскликнул однажды У. Гершель, наблюдая темную туманность в созвездии Скорпиона. Он и далее продолжал считать подобные туманности «дырами», лишенными звезд участками неба и трактовал их как признаки распада Галактики под действием сгущивания звезд в скопления. Вслед за великим Гершелем этого мнения придерживались почти все астрономы первой половины XIX века. Однако в «Этюдах звездной астрономии» В.Я. Струве, изданных в 1847 году, была высказана уверенность в существовании межзвездного поглощения света, довольно точно оцененного в половину звездной величины на парсек, и таким образом было открыто межзвездное вещество, не входящее в известные астрономам туманности. В 1909 году Г.А. Тихов обнаружил покраснение звезд, тем более интенсивное, чем дальше от нас звезда. Следовательно, межзвездное поглощение сильнее проявляется на более коротких волнах видимого света.

Изучать межзвездную среду проще всего методами спектроскопии. Для этого берут какую-либо достаточно удаленную звезду хорошо изученного типа и смотрят, какие линии поглощения добавились к ее собственным линиям, известным, что называется, наперечет. Эти новые линии могли добавиться только на пути света от звезды к наблюдателю, т. е. должны принадлежать межзвездной среде. Звезда, собственно, является лишь «прожектором», просвечивающим насквозь слой вещества. И пусть это вещество крайне разрежено, зато слой громаден, так что вещества в нем предостаточно.

Иное дело — эмиссионные туманности, светящие за счет возбуждения атомов и молекул газа очень горячими звездами. Их спектр можно получить непосредственно.

В 1930 году Р. Трюмплер указал, что «поглощающее вещество может иметь много локальных неоднородностей». Так оно и оказалось. Это обстоятельство сильно затруднило правильную оценку расстояний до галактических объектов и, следовательно, поставило под сомнение многие наработки астрофизиков. Изучение межзвездной среды перестало быть всего лишь «одной из» областей интереса астрономов и превратилось в область весьма насущную.

Мало-помалу выяснилось, что межзвездная материя — газ и пыль — распределена по Галактике крайне неравномерно. Вне облаков плотность межзвездного газа весьма мала — не более 0,1 атома на 1 см^3 . В облаках же плотность газа превышает 1 атом на 1 см^3 и может быть на много порядков больше. Из-за специфической тепловой неустойчивости межзвездный газ *не может* находиться в некоем промежуточном состоянии, и «зародыш» облака с плотностью, скажем, 0,3 атома на 1 см^3 либо рассеется в пространстве, либо сожмется до такой плотности, при которой облако станет устойчивым.

Любопытен состав межзвездной среды. Здесь, разумеется, преобладает водород — атомарный и молекулярный. Достаточно много также дейтерия, гелия-3 и гелия-4, атомарного кислорода, углерода. Есть натрий, кремний, железо и т. д. Но есть и молеку-

лы — гидроксил, циан, моноокись углерода и др. Всего известно более 50 видов межзвездных молекул. Среди них есть даже 13-атомная молекула цианодекапентина HC_{11}N .

Межзвездные пылинки крайне малы. Часто это всего лишь агрегаты, состоящие из нескольких сотен или тысяч атомов — преимущественно углерода. Известна склонность этого элемента к образованию сложных структур, из которых наиболее известны фуллерены. Реакции с образованием молекул идут главным образом на поверхности пылинок, но главная функция пыли вовсе не в этом. И не в том, что она мешает астрономам наблюдать удаленные объекты и путает расчеты. Суть в том, что межзвездная пыль играет колоссальную роль в звездообразовании.

Сама пыль — тоже порождение звезд. Взрывные процессы, о которых мы расскажем ниже, планетарные туманности, некоторые красные гиганты, называемые также «копящими» звездами, а также звезды типа Вольфа—Райе — вот основные поставщики пыли в межзвездную среду. Ясно, что самые первые звезды Вселенной сконденсировались при полном или практически полном неучастии пыли.

Но зададимся сначала вопросом: всякое ли газопылевое облако будет сжиматься под действием собственной гравитации, что рано или поздно приведет к конденсации его в звезды? Нет, далеко не всякое. Для того чтобы облако начало сжиматься, его полная энергия, являющаяся суммой положительной тепловой энергии и отрицательной гравитационной энергии, должна быть отрицательной.

Решающее значение здесь принадлежит размерам облака R , ибо тепловая энергия зависит от R в кубе, тогда как гравитационная — от R в пятой степени. Следовательно, при данных плотности и температуре облака существует такое R_1 , что при $R > R_1$ облако неизбежно будет сжиматься. Из этого следует, что небольшие газопылевые облака с массой порядка солнечной и радиусом, скажем, 1 пк сжиматься не будут (во всяком случае без постороннего воздействия), а крупные облака, называемые

газово-пылевыми комплексами, — сжиматься будут. И это при том, что плотность первых выше, чем плотность вторых.

Сказанное верно для небольших температур, так как тепловая энергия облака зависит, разумеется, и от температуры. Массивное и протяженное, но горячее облако сжиматься не будет.

Казалось бы, вдали от звезд царит «космический холод». Но это не так. «Вдали» здесь весьма относительное. Вокруг горячих О- и В-звезд простираются обширные зоны ионизованного водорода — так называемые зоны H II. Межзвездная среда в них нагрета до тысяч и десятков тысяч кельвинов, так что никакого звездообразования там нет и не предвидится. Облака неионизованного водорода H I также подчас имеют температуру, исчисляющуюся сотнями кельвинов, что для звездообразования, прямо скажем, многовато. Лишь гигантские холодные облака молекулярного водорода, нагретые всего лишь до нескольких десятков кельвинов, способны к конденсации в звезды. Но что охлаждает эти облака, пронизанные, разумеется, высокоэнергетическим излучением звезд? Ясно ведь, что газово-пылевой комплекс с характерным размером в десятки пк нагревается не только снаружи, но и изнутри, поскольку такой объем пространства обязательно содержит в себе немало звезд.

Оказывается — углерод. Его уникальные свойства таковы, что, поглощая высокоэнергичные кванты и переходя в возбужденное состояние, атом углерода спонтанно излучает затем кванты инфракрасного излучения, для которого газово-пылевой комплекс прозрачен. Таким образом, тепловая энергия не накапливается внутри газово-пылевого комплекса, а сбрасывается вовне, и газ остается холодным, а значит, выполняется условие отрицательности полной энергии облака.

Такое облако уже должно начать сжиматься, почти не нагреваясь при этом, поскольку избыток тепла опять-таки сбрасывается при помощи углерода и будет сбрасываться до тех пор, пока облако останется прозрачным к ИК-излучению. Можно сказать на вполне устоявшемся научном жаргоне, что углерод в данном случае выполняет роль «холодильника». Если облако сферично,

однородно и лишено момента вращения, то теоретически оно должно сконденсироваться в одну титаническую протозвезду. Но так не бывает. Газово-пылевые комплексы далеко не сферичны, не однородны и не лишены момента вращения, причем отдельные их части имеют разные скорости движения. Следовательно, по мере сжатия облако будет делиться на все более мелкие фрагменты, «затравками» которых послужат местные неоднородности. Впоследствии эти фрагменты имеют все шансы стать звездами.

На практике, однако, имеется достаточно большое количество холодных молекулярных облаков, находящихся в квазиустойчивом состоянии — «и надо бы начать сжиматься, да что-то не хочется». Таким облакам часто требуется посторонняя сила, побуждающая облако к сжатию. Какого рода может быть эта «братская помощь» со стороны?

Во-первых, уплотнение газа при входе в спиральный рукав. Здесь мы немного забегаем вперед, но вынуждены это сделать. Что такое рукав спиральной галактики? Это волна уплотнения материи, стимулирующая звездообразование. Как и почему она возникла, нас сейчас не интересует. Рукава заметны именно потому, что в них находится множество массивных горячих звезд очень высокой светимости. Эти звезды родились в рукаве и не успели за время своей жизни его покинуть, а жизнь у массивных звезд ох какая короткая!

Обладая собственным гравитационным потенциалом, рукав несколько задерживает движение звезд, проходящих сквозь него, увеличивая тем самым свое тяготение. Что до ионизованного газа, то он попросту стекает в спиральный рукав по линиям галактического магнитного поля. Здесь вновь прибывший газ сталкивается с уже находящимися в рукаве газовыми облаками и уплотняет их, стимулируя звездообразование.

Во-вторых, бешеное излучение молодых горячих звезд — и часто не одиночных звезд, а их скоплений — выметает газ из их ближайших окрестностей. При этом более плотные газово-пылевые конденсации «обжимаются», за ними образуются длинные «хво-

сты» материи, похожие на рога на рис. 18, цв. вклейка, а в самих конденсациях начинается звездообразование.

В-третьих, взрывы Сверхновых образуют ударную волну, распространяющуюся на десятки парсеков. Уплотняя газ, ударная волна стимулирует рождение звезд.

На практике эти три механизма нередко работают сообща. Газово-пылевой комплекс, находящийся в спиральном рукаве, уплотняется газом, втекающим в рукав. Начинается первая волна звездообразования. Если среди новорожденных звезд есть массивные горячие «индивиды», обычно объединенные в так называемые ОВ-ассоциации, то их излучение запускает вторую волну звездообразования. Жизнь массивной звезды, как мы помним, коротка и нередко оканчивается вспышкой Сверхновой, ударная волна от которой запускает третью волну звездообразования. Иногда бывает так, что первая волна еще не успела добраться до конца газово-пылевого комплекса, а в нем уже идут две последующие.

Чаще, однако, первая волна звездообразования не оставляет достаточно газа, чтобы из него тотчас же начали формироваться звезды второй и третьей волны. Зато сплошь и рядом наблюдается пространственный градиент возрастов звезд в молодых звездных комплексах. Очень показательна эмиссионная туманность М17, известная также под именем «туманность Омега». В самой туманности находятся очень молодые горячие звезды (потому-то она и эмиссионная), по одну сторону от нее — рассеянное звездное скопление и ОВ-ассоциация, по другую — холодное молекулярное облако с признаками звездообразования. Очень хорошо градиент возрастов звезд виден в крупной звездной ассоциации Ориона.

Рассмотрим в общих чертах популярную модель Хаяши—Накано. Пусть мы имеем холодное молекулярное облако однородной плотности, сферическое, не вращающееся и, следовательно, не склонное к распаду по мере сжатия. Пусть его радиус будет порядка радиуса орбиты Плутона, а масса порядка солнечной. Поскольку температура облака при сжатии не увеличивает-

ся, сжатие будет очень быстрым. Изотермическое сжатие есть не что иное, как свободное падение молекул к центру гравитации, совпадающему с центром облака. Но! В какой-то момент времени плотность облака возрастает настолько, что оно перестает быть прозрачным для собственного ИК-излучения. Углерод уже не является эффективным «холодильником», и выделившееся при сжатии тепло облаку приходится сбрасывать иначе — путем конвекции. Стадия свободного падения очень коротка, всего-навсего порядка 10 лет. За это время радиус облака уменьшится в 100 раз, составив около 25 000 радиусов Солнца, а его плотность достигнет величины порядка 10^{-14} г/см³. (Разумеется, процесс самого раннего сжатия облака до размеров орбиты Плутона займет гораздо больше времени.) Перед наступлением непрозрачности скорость сжатия облака настолько велика, что выделяющаяся энергия должна наблюдаться как кратковременная инфракрасная вспышка мощностью в несколько тысяч светимостей Солнца. Далее в облаке возникает конвекция, оно «закипает», и сжатие его сильно замедляется.

Но не останавливается! Отвод тепла с помощью конвективных потоков на поверхность, где оно преобразуется в излучение и покидает облако, конечно, гораздо менее эффективен, нежели прямое излучение сквозь прозрачное облако, однако он далеко не нулевой. На этом этапе плотность облака становится неоднородной, увеличиваясь к центру. Всплывая к поверхности, потоки горячего газа расширяются адиабатически, поэтому данный этап эволюции облака в звезду принято называть стадией адиабатического сжатия.

При этом, согласно теореме о вириале, лишь половина освобожденной в результате сжатия гравитационной энергии будет излучена в пространство — вторая половина пойдет на нагрев облака. Кипя, оно будет продолжать сжиматься до тех пор, пока в его центре не начнутся ядерные реакции, и даже некоторое время после этого. Как мы знаем, при повышении температуры в первую очередь начинают идти реакции на легких ядрах с низким кулоновским барьером. Это главным образом реакции

превращения дейтерия в гелий. Для начала ядерной реакции им достаточно миллиона градусов. Но мы помним также и то, что этих ядер мало, выгорают они быстро и способны лишь приостановить сжатие на недолгое время. Сжатие протозвезды остановится лишь тогда, когда заработают ядерные реакции на водороде, и не просто заработают, а обеспечат достаточное энерговыделение, чтобы давление света скомпенсировало гравитацию. В этот момент протозвезда становится молодой звездой главной последовательности.

Сколько же времени проходит от начала гравитационного сжатия до «посадки» звезды на главную последовательность? По-разному. Это время сильно зависит от массы протозвезды. Расчеты показывают, что для массы, равной массе Солнца, оно составляет около 50 млн лет, для вдвое меньшей массы — уже 155 млн лет, а протозвезда с массой в 15 масс Солнца станет звездой всего-навсего за 60 тыс. лет.

Модель Хаяши–Накано, как и большинство других моделей эволюции протозвезд, разумеется, крайне упрощена, поскольку не учитывает вращения протозвездного облака, градиента плотности, магнитных полей и др. Учет вращения, например, приводит к образованию вокруг звезды газово-пылевых (протопланетных) дисков. Что и подтверждается: протопланетные диски обнаружены методами инфракрасной астрономии у многих молодых звезд.

Любопытны модели формирования массивных звезд. Расчеты показали, что чем протозвездное облако массивнее, тем меньшая часть его массы превратится в звезду и тем большая часть внешней оболочки сжимающегося облака будет остановлена инфракрасным излучением народившейся в центре облака протозвезды и начнет расширяться. Массивные звезды рождаются окруженными плотным «коконом» газопылевой материи, причем масса «кокона» может в разы превышать массу звезды. Излучение ионизует и «расталкивает» вещество «кокона», но к тому времени, когда оно станет прозрачным, протозвезда уже превратится в звезду. Поэтому мы не можем наблюдать массив-

ные протозвезды методами оптической астрономии — эти протозвезды скрыты от нас толщей непрозрачной материи. Но они проявляют себя как «точечные» инфракрасные источники и — на определенной стадии своей эволюции — как космические источники мазерного излучения, наблюдаемого в радиодиапазоне. Рабочим телом космического мазера является вещество «кокона», а накачку осуществляет излучение протозвезды.

При меньших массах протозвезд «коконы» невелики, а сроки дрейфа к главной последовательности длинны, так что покров темного вещества успевает худо-бедно развеяться в пространстве, сделав протозвезды видимыми. На что они похожи?

Беглый взгляд причисляет их к красным гигантам — сильно проэволюционировавшим звездам, — но спектр говорит иное. В нем есть линии поглощения лития, чего нет ни у Солнца, ни у типичных красных гигантов. Что и понятно: у лития низкий кулоновский барьер, поэтому в «нормальных» звездах он давно выгорел вслед за дейтерием. Кроме того, эти странные красные гиганты, известные как звезды типа Т Тельца, быстро и хаотично меняют свой блеск и, что еще важнее, всегда наблюдаются в скоплениях, погруженных в плотные облака газовой-пылевой межзвездной среды. Часто, хотя и не всегда, Т-ассоциации совпадают с О-ассоциациями, т. е. группами заведомо молодых горячих звезд. Все наблюдательные факты говорят в пользу того, что звезды типа Т Тельца суть не что иное, как протозвезды.

Забавное совпадение: на диаграмме Герцшпрунга–Рессела они располагаются там же, где «нормальные» красные гиганты, уже покинувшие главную последовательность. Как будто старики явились еще разок взглянуть на места, где прошло их детство...

Модель Хаяши–Накано предсказывает быстрое увеличение светимости звезды в конце гравитационного сжатия. Еще в 1939 году А. Вахман обнаружил, что переменная звезда FU Ориона за 120 суток увеличила свой блеск на 6 звездных величин, т. е. в 250 раз, и не вернулась к исходному блеску. Впоследствии было найдено еще несколько подобных звезд, получивших название «фуоры». Их характерная черта: быстрое увеличение

блеска на 3–6 звездных величин и удержание высокой светимости в течение длительного времени. Все фуоры являются быстровращающимися сверхгигантами классов F и G, связанными с областями активного звездообразования, причем половина этих звезд глубоко погружена в плотные пылевые облака. Фуоры активно теряют вещество в виде «звездного ветра», некоторые из них выбрасывают джеты (длинные тонкие струи вещества) и объекты Хербига–Аро (эмиссионные туманности неправильной формы). Согласно теоретическим моделям, фуоры и звезды типа Т Тельца — близнецы-братья, только первые активны, а вторые нет.

По мере сжатия и «включения» ядерных реакций на водороде звезда перемещается на диаграмме вниз и влево, иначе говоря, светимость ее уменьшается (тем сильнее, чем больше масса), а спектр становится более «ранним». «Садясь» на главную последовательность, молодая звезда вступает в самый продолжительный этап своей жизни, длящийся миллионы лет для очень массивных звезд и до триллиона лет для слабейших красных карликов. Солнце находится на главной последовательности уже около 5 млрд лет и не покинет ее по меньшей мере еще столько же времени.

Несколько особняком стоят *субкарлики*, образующие на диаграмме Герцшпрунга–Рессела особую последовательность. Отличие их от звезд главной последовательности заключается только в том, что содержание элементов тяжелее гелия в них крайне мало, скажем, раз в 100 меньше, чем у Солнца. Субкарлики — звезды первого поколения, очень бурно сформировавшиеся на ранних этапах существования Галактики, когда диффузной материи было хоть отбавляй (сейчас по меньшей мере 90% видимого вещества Галактики сосредоточено в звездах), но эта материя имела практически первичный состав: водород, дейтерий, гелий и чуть-чуть лития. Ясно, что при отсутствии углерода звезда будет светить только за счет протон-протонной реакции, а скорость последней, как мы помним, гораздо слабее зависит от температуры, чем скорость цикла Бете–Вайцзекера;

температура же напрямую зависит от массы. Поэтому можно не сомневаться, что среди первых звезд молодой Галактики было немало «монстров» с массами более 100 солнечных. Светя слабее, чем могли бы светить звезды главной последовательности, имеющие сходные массы, они могли сохранить устойчивость. Конечно, срок их существования все равно был мал — от силы миллионы лет, а финал жизни столь массивных звезд, по современным представлениям, драматичен. Они взрывались, и их разлетающиеся с большой скоростью оболочки обогащали межзвездную среду тяжелыми элементами, возникающими как продукт нормальных ядерных реакций в звезде, так и при взрыве. В этом случае говорят, что звезда взорвалась как Сверхновая. В молодой Галактике Сверхновые взрывались гораздо чаще, чем в наше время, и процесс обогащения среды тяжелыми элементами шел очень быстро.

Необходима оговорка: содержание элементов тяжелее бора астрофизики называют металличностью, хотя, разумеется, не все эти элементы относятся к металлам. До сих пор не удалось найти звезду с нулевой металличностью; пока что рекордсменом считается звезда HE 0107-5240. Ее металличность в 200 тыс. раз меньше, чем у Солнца, а значит, материя, из которой образовалась эта звезда, все-таки была чуточку обогащена «металлами». Несомненно, эта звезда родилась в первые миллионы лет после начала звездообразования в Галактике, но все же не была в числе самых первых. Поиски менее металличных звезд продолжаются.

Можно сказать, что последовательность субкарликов — это та же главная последовательность для малометаллических звезд первого поколения, просто-напросто для них она проходит ниже. Объясняется это как слабостью углеродно-азотного цикла, так и большей прозрачностью звездного вещества у субкарликов. Но основные эволюционные закономерности сохраняются и для них.

Наивные представления астрофизиков конца XIX — начала XX века о том, что звезда эволюционирует вдоль главной последовательности, уступили место гораздо лучше аргументирован-

ным представлениям сегодняшнего дня: звезда эволюционирует *поперек* главной последовательности, т. е. не покидая ее пределов, мало-помалу сдвигается вправо-вверх. Это значит, что ее светимость понемногу (очень понемногу) возрастает. Расчеты показывают, что очень молодое Солнце светило на 40% менее интенсивно, чем в наши дни. И его светимость будет продолжать так же медленно увеличиваться.

Чем же это кончится? Когда весь водород в недрах звезды выгорит, ее центральные области сожмутся, а температура их повысится до десятков миллионов кельвинов. Такой температуры еще недостаточно для «включения» тройной гелиевой реакции, но в звезде еще продолжаются реакции на водороде. Правда, они идут уже не в центре звезды — там водорода нет, — а в некотором энерговыделяющем слое, понемногу расширяющемся по мере выгорания водорода. Мощное излучение заставит «распухнуть» внешние слои звезды, за счет чего их температура понизится. Температура ядра, напротив, увеличивается, и при достаточной массе звезды в нем становится эффективной тройная гелиевая реакция. Переход от одного ядерного топлива к другому далеко не мгновенен, он длится по меньшей мере миллионы лет, но итог его один: ускоренно продолжая дрейф вправо-вверх, звезда уходит с главной последовательности в область красных гигантов, а после «включения» в ядре тройной гелиевой реакции становится сверхгигантом.

Что же представляет собой ядро красного гиганта? Прежде всего, оно очень мало, но содержит порядка трети массы звезды. Из-за отсутствия источников энергии в нем температура его постоянна, плотность огромна, газ вырожден... ничего не напоминает?

Ну конечно же белый карлик! И сходство это не случайно: белые карлики — это не что иное, как обнажившееся после сброса оболочки и несколько остывшее ядро красного гиганта. Таким образом, внутри красного гиганта «вызревает» белый карлик, и стадия красного гиганта предшествует стадии белого карлика. Но как и почему от звезды отделяется внешняя протяженная оболочка?

На первый вопрос ответить несложно. Уже давно астрономам известны так называемые планетарные туманности. Это неудачное название возникло из-за некоторого сходства этих туманностей с атмосферами планет и прижилось в астрономии. В центре планетарной туманности всегда имеется слабая горячая звезда — бывшее ядро красного гиганта и будущий белый карлик. Прекрасные примеры планетарной туманности — М57 («Кольцо») в Лире или М27 («Гантель») в Лисичке. «Кольцо» — кольцеобразный овал (рис. 19, цв. вклейка). «Гантель», похожая скорее на огрызок яблока, демонстрирует два потока вещества. Очень может быть, что разница между ними заключается лишь в ракурсе, которым повернут к нам объект; хотя возможно иное объяснение: от медленно вращающейся звезды отделяется более или менее сферическая туманность, а от быстро вращающейся — туманность в виде песочных часов. Одна из планетарных туманностей, кстати, так и называется, а вообще у них масса занятых названий, как то: «Эскимос», «Улитка», «Голубой снежок», «Призрак Юпитера», «Сова» и др.

Планетарные туманности расширяются со скоростями порядка нескольких десятков км/с, т. е. скорость расширения газовой оболочки лишь незначительно превосходит скорость убегания. Можно представить себе, что излучение энергывыделяющего слоя красного гиганта постепенно растет до тех пор, пока внешние слои звезды не отделятся. Конкретный механизм сброса оболочки пока неясен, но ясно, что оболочка отделяется от звезды «мирно», без каких бы то ни было взрывных процессов. В некоторых случаях, возможно, имеет место не сброс, а постепенное истечение вещества оболочки в пространство. Обнажившееся же ядро звезды, называемое теперь ядром планетарной туманности, оказывается на бело-голубой последовательности диаграммы Герцшпрунга—Рессела и, постепенно остывая, перемещается в область белых карликов.

Но вернемся чуть назад. Если масса красного гиганта достаточно велика, то его изотермическое гелиевое ядро нагреется до 100 млн К и более. Источник нагрева — сжатие и действие внеш-

него (с точки зрения ядра) энерговыделяющего слоя. При такой температуре «включится» тройная гелиевая реакция, и звезда обретет еще один источник энерговыделения. В ядре будут проходить реакции на гелии, выше будет лежать слой нетронутого, недостаточно нагретого гелия, еще выше будет находиться довольно тонкий слой, охваченный реакциями на остатках водорода, и над всем этим — колоссальная по протяженности зона обычной водородно-гелиевой смеси, находящейся в конвективном движении.

Это портрет протосверхгиганта в начале его недолгой карьеры. Звезда еще больше увеличивает светимость и на диаграмме Герцшпрунга—Рессела дрейфует влево. По мере выгорания гелия ядро еще сильнее сжимается, температура его растет, а внешняя протяженная оболочка вновь расширяется, за счет чего звезда на диаграмме вновь дрейфует вправо, но оказывается выше, чем была раньше. Готово — родился красный сверхгигант.

В массивных сверхгигантах возможно образование не только описанного выше двуслойного источника энерговыделения, но и образование большего числа энерговыделяющих слоев. Внутри таких звезд идут реакции на углероде и т. д. — вплоть до «железного пика». Элементы тяжелее железа и никеля в недрах спокойно горящих звезд не образуются, поскольку реакции, приводящие к их образованию, «энергетически невыгодны». Они идут с поглощением энергии, из-за чего падает температура и вероятность этих реакций снижается до нуля — типичный случай отрицательной обратной связи.

Что же ждет звезду дальше? Мы знаем, что белый карлик — устойчивая конфигурация для звезд (в данном случае — компактных звездных ядер) с массой не более чандрасекаровского предела, равного 1,2 массы Солнца. Но как быть, если масса ядра превышает этот предел? Допустим, протяженная оболочка красного гиганта сброшена целиком, но ведь масса-то ядра никуда не делась! Если конфигурация белого карлика не может обеспечить равновесия звезды, то каким будет следующее равновесное состояние?

Теория предсказала это еще в 30-х годах XX века. При массах от 1,2 до 2,4 солнечной массы гравитационный коллапс (сжатие) остановится, когда звезда достигнет состояния нейтронной звезды. Что это такое?

Размеры нейтронной звезды всего лишь порядка 10 км — это при звездных-то массах! — а значит, плотность ее превышает ядерную. Вещество нейтронной звезды состоит из очень плотно упакованных нейтронов. Известно, что нейтрон в свободном состоянии нестабилен, но в нейтронных звездах, окруженный себе подобными, он «и хотел бы распасться, да не может». В качестве примеси этот нейтронный коллектив может содержать неразрушенные ядра и электроны, причем этих «маргиналов» тем меньше, чем глубже. Внутренние части нейтронных звезд, где плотность вещества на порядок выше и достигает 10^{15} г/см³, по-видимому, состоят из более тяжелых частиц — гиперонов, а также пи- и К-мезонов. Не исключено, что самые центральные области нейтронных звезд состоят из субатомных частиц — кварков. Довольно тонкий поверхностный слой, напротив, состоит из неразрушенных ядер.

Но перо теоретика — это лишь перо теоретика. Теории требовалось наблюдательное подтверждение.

Мыслилось следующее. Наверняка нейтронные звезды излучают очень слабо и не так уж часто встречаются, а значит, чересчур самонадеянно было бы искать нейтронную звезду на малом (скажем, 5–10 пк) расстоянии от нас. Следовательно, вряд ли возможно найти такой объект по его оптической светимости. Рентгеновская светимость очень горячей нейтронной звезды велика и могла бы быть обнаружена на очень значительных расстояниях, но увы, расчеты показали, что первоначально очень горячие нейтронные звезды остывают прискорбно быстро и перестают эффективно излучать в рентгене. Какие еще параметры есть у нейтронной звезды? Масса, момент вращения и магнитное поле. Наиболее перспективным поисковым параметром астрономам казалась масса. Предполагалось, что некоторые невидимые спутники звезд могут быть нейтрон-

ными звездами, но проверить это не представлялось возможным.

А между тем нейтронные звезды буквально «кричали» на всех длинах волн о своем существовании и были открыты во многом случайно.

С 1964 года в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета проводились исследования сцинтилляций (быстрых неправильных вариаций) потока радиоизлучения от космических источников. Сцинтилляции возникают при прохождении радиоизлучения через неоднородности плазмы внешней короны Солнца и прилегающих областей. Для этих исследований использовался довольно большой по тем временам радиотелескоп метрового диапазона. Поскольку изучались быстротекущие процессы, постоянная времени («время накопления» сигнала) аппаратуры была очень малой, что, вообще говоря, совсем не характерно для радиоастрономии — ведь при уменьшении постоянной времени во столько же раз падает чувствительность аппаратуры! Естественно, постоянную времени увеличивали насколько возможно, чтобы «вытянуть» слабый сигнал из шума, но при этом теряли информацию о быстротекущих процессах. Впрочем, по этому поводу особенно не расстраивались...

И вот летом 1967 года аспирантка Джоселин Белл показала профессору Хьюишу сигналы от неизвестного источника, показывающего сцинтилляцию ночью, что ни в какие ворота не лезло. В том же году после незначительной модернизации аппаратуры было установлено: сигнал имеет космическое происхождение и представляет собой короткие, длительностью около 50 микросекунд, импульсы равной амплитуды, повторяющиеся через строго постоянный промежуток времени. К зиме того же года были открыты еще два аналогичных источника (сейчас они насчитываются сотнями).

Чем бы это могло быть? После многих сомнений (не искусственного ли происхождения эти сигналы, не привет ли это нам от внеземных цивилизаций?) Хьюиш и его сотрудники все-таки опубликовали результаты. Тайнственные источники периоди-

ческих сигналов были названы пульсарами. Но назвать-то просто — сложнее объяснить.

Не сразу, но все же довольно скоро пришло понимание: пульсарами могут быть только быстро вращающиеся намагниченные нейтронные звезды. Только у них период вращения может быть порядка секунды и даже сотых долей секунды — никакие другие объекты не могут вращаться так быстро, а пульсация объекта не может объяснить строгую периодичность импульсов. Некие излучающие области бешено вращающихся нейтронных звезд работают по принципу проблескового маячка, и если мы оказываемся в пределах конуса излучения, то принимаем периодические импульсы.

Короче говоря, нейтронные звезды искали не там, где нужно. Никому не приходило в голову, что эти объекты излучают столько энергии, да еще и направленно.

Собственно, излучение возникает не на поверхности нейтронной звезды, а в ее магнитосфере. Поясним. Если бы Солнце сжалось в нейтронную звезду, напряженность магнитного поля у его поверхности была бы огромна. Вращающийся намагниченный проводник создает вокруг себя электрическое поле. Составляющая этого поля, перпендикулярная к поверхности проводника, будет стремиться вырвать из него заряды — электроны и ионы. И действительно вырывает. Электрическое поле разгоняет электроны и ионы «пульсарного ветра» до релятивистских энергий. Заряженные частицы вытекают из магнитосферы по силовым линиям, открытым в бесконечность. Но ведь нейтронная звезда бешено вращается, и вместе с нею, разумеется, вращаются вытекшие из нее заряды. Вблизи нейтронной звезды они будут вращаться с ее же угловой скоростью («твердотельное» вращение), но когда на некотором удалении линейная скорость вращения сравнивается со скоростью света, релятивистские заряды уже не могут удаляться от нейтронной звезды по правильной спирали. У них появляется тангенциальная к силовым линиям магнитного поля составляющая скорости, рождая синхротронное излучение огромной мощности. Его-то мы и наблюдаем

в импульсах от пульсара — конечно, если мы попадаем в конус излучения. Опять-таки, если полюса магнитного поля нейтронной звезды совпадают с полюсами ее вращения, никаких импульсов не будет. Но так, по-видимому, бывает редко. Несовпадение магнитных полюсов с географическими — настолько заурядное явление, что ему не удивляется даже школьник, изучающий физическую географию.

Вечно ли будем «мигать» пульсар? Нет. Теория предсказывает, что примерно через 10 млн лет нейтронная звезда перестанет быть пульсаром. Оно и неудивительно: ведь на поддержание излучения пульсар должен тратить энергию. Хуже того: теория указывает на то, что лишь одна тысячная часть излучения пульсара наблюдается нами в виде импульсов, а остальные 99,9% приходятся на излучение, не регистрируемое с Земли. Откуда же берется энергия?

Из вращения. Хотя по стабильности посылки импульсов пульсары могут поспорить с молекулярными часами, все же наблюдается постепенное увеличение их периодов. Например, пульсар в Крабовидной туманности «тикает» один раз в 0,033 секунды, однако этот период увеличивается на 0,0000000364 секунды в сутки. Теряемая энергия вращения заставляет пульсар «мигать», а Крабовидную (или какую-нибудь иную, если она вообще есть) туманность — светиться.

В 1969 году был обнаружен прелюбопытный эффект: на фоне медленного увеличения периода пульсара PSR 0833-45 произошло скачкообразное *уменьшение* его периода. Следовательно, такое же скачкообразное ускорение вращения испытала нейтронная звезда. Подобное явление с тех пор наблюдалось много раз у самых разных пульсаров. С чего бы возникнуть таким сбоям? Предполагалось наличие у нейтронных звезд своеобразной коры со свойствами твердого тела. А коли так, то замедление вращения звезды меняет ее фигуру и приводит к нарастанию напряжений в коре, которые должны периодически сбрасываться. При вертикальных подвижках коры с амплитудой всего-навсего 1 мкм и должны наблюдаться скачки периода

вращения. Это явление моментально было окрещено «звездотрясениями».

Однако в последние годы астрономы полагают, что причина по крайней мере некоторых звездотрясений лежит глубже, под корой нейтронной звезды, в плотной мантии, состоящей из тяжелых ядер и пронизанной потоками сверхтекучей нейтронной жидкости. Здесь существенны квантовые эффекты.

Конечно, звездотрясения и связанные с ними скачкообразные ускорения вращения нейтронной звезды могут лишь немного притормозить общее замедление ее вращения, но не отменить его совсем. Со временем пульсар успокаивается. К тому времени его период составляет уже несколько секунд, и его скорость вращения недостаточна для генерации потока излучения, который мог бы регистрироваться на Земле. Старые нейтронные звезды успокаиваются, как и подобает трупам звезд.

Но не все из них. Некоторые, входящие в состав тесных двойных систем или имеющие планеты, могут преподнести удивленному наблюдателю настоящую «пляску мертвецов». Например, планета, обращающаяся вокруг нейтронной звезды чрезвычайно быстро (такие известны), мало-помалу теряет гравитационную энергию за счет излучения гравитационных волн и понемногу приближается к нейтронной звезде. Кончиться это может только одним: разрушением планеты приливными силами и выпадением ее материи на нейтронную звезду. Катаклизм еще бóльших масштабов может случиться при слиянии двух нейтронных звезд, образовывавших прежде двойную систему. Но даже если второй компонент тесной двойной системы — обычная звезда, ей уготованы неприятные сюрпризы, а нейтронной звезде — вторая молодость, или, если угодно, зомбификация. Струи вещества, вырванные из обычной звезды, образуют вокруг нейтронной звезды аккреционный диск, из которого происходит выпадение вещества на нейтронную звезду. Если падающее вещество имеет скорость бóльшую, чем скорость вращения нейтронной звезды, оно способно раскрутить ее до безумных скоростей порядка 1000 оборотов в секунду! Нейтронная звезда может завертеть-

ся быстрее, чем в дни ее молодости, и, разумеется, снова станет пульсаром, если ее магнитное поле не сильно ослабло.

Такие двойные системы часто являются источниками периодических рентгеновских вспышек. Механизм их в сущности тот же, что у новых звезд, — термоядерные взрывы обычного звездного вещества, накопившегося на поверхности нейтронной звезды.

Существуют ли звезды еще более плотные, чем нейтронные? Мы не имеем в виду объекты, широко известные публике под именем черных дыр, поскольку такие объекты уже не являются звездами. В принципе теория допускает существование кварковых звезд раза в два меньшего радиуса, чем нейтронные, при той же массе. Но пока такие объекты не выявлены.

6. ДРАМАТИЧЕСКИЙ ФИНАЛ, ИЛИ В СМЕРТИ — ЖИЗНЬ

Рассказ о Сверхновых в популярной литературе обычно начинается с летописных свидетельств о появлении «звезды-гостя» в 1054 году. На этом месте в созвездии Тельца и сейчас можно видеть остаток катаклизма — знаменитую Крабовидную туманность, отмеченную номером первым еще в каталоге Шарля Мессье, и не менее знаменитый пульсар в ее середине.

Среди ученых мало беспочвенных фантазеров, поэтому к описаниям астрономических явлений в старинных хрониках у них отношение скептическое. Скальпель Оккама работает уверенно, сводя неизвестное к известному. «Звезда-гостя»? По всей видимости, наблюдалась обычная вспышка новой звезды, расположенной сравнительно близко от Солнца. В конце XIX века феномен новых звезд был хорошо известен астрономам. Не понимая природы их вспышек (иногда до -7 абсолютной звездной величины), они тем не менее приняли новые звезды как объективную реальность, подтвержденную многочисленными наблюдениями.

Но в 1885 году астроном Гартвиг на обсерватории в Тарту обнаружил новую звезду в туманности Андромеды. Эта звезда имела светимость в $6,5^m$, иначе говоря, была лишь на 2 звездные величины слабее (в 6,25 раз), чем вся туманность Андромеды. За две недели до максимума блеска звезда была 9-й величины, а через год стала недоступной для земных телескопов. Следует сказать, что в 1885 году не существовало никаких проверяемых идей ни насчет природы туманности Андромеды, ни насчет расстояния до нее. Туманности спиральной формы считались газопылевыми образованиями, возможно, связанными с процессами рождения звезд, и уж во всяком случае принадлежащими нашей Галактике. Правда, гипотеза «островных вселенных» к тому вре-

мени существовала уже сотню лет, но по-прежнему носила чисто умозрительный характер. Поэтому логично было предположить, что открыта очередная новая, возможно, несколько необычная, но и только. Однако Гартвиг — и в этом его большая заслуга — продолжил наблюдения странной звезды и построил кривую изменения ее светимости.

Позже было открыто еще несколько звезд того же рода в других туманностях — спиральных, эллиптических, неправильных. Случалось, что блеск звезды превосходил блеск туманности на несколько звездных величин. Но только когда окончательно выяснилось, что эти туманности являют собой галактики, подобные нашему Млечному Пути, стал ясен масштаб явления. Вспыхивающие в этих галактиках звезды оказались примерно на 12 звездных величин ярче обычных новых! Зато и вспыхивали они на несколько порядков реже. Это значило, что наблюдается нечто совершенно неординарное и, по всей видимости, не имеющее к новым никакого отношения. Первым эту гипотезу выдвинул в 1919 году шведский астроном Лундмарк, а в 1934 году Цвикки и Бааде предложили для этих звезд термин «Сверхновые» (SuperNova). При всей бессмысленности это название устоялось, и теперь, когда мы слышим о том, что где-то вспыхнула Сверхновая, мы понимаем: речь идет об особом явлении, характеризующимся прежде всего масштабом, а не потрясающей внезапностью.

Для справки: в Галактике ежегодно вспыхивают десятки новых звезд. Что до Сверхновых, то считается, что в среднем в Галактике вспыхивает одна Сверхновая в 30 лет, но, конечно, далеко не все они наблюдаются. Звезда, вспыхнувшая в богатой пыли плоскости галактического диска на расстоянии в несколько кпк от нас, не может быть наблюдаемой в оптическом диапазоне, а значит, велика вероятность того, что она «ускользнет» от нас. Ведь нейтринные детекторы и приемники гамма-излучения по сути только регистрируют события, а рентгеновские, инфракрасные и радиотелескопы имеют узкую диаграмму направленности — как узнать заранее, в какую точку неба навести инструмент? Если мы

легко можем построить кривую блеска Сверхновой, отслеживая их вспышки в других галактиках (для этого, конечно, приходится «держать под надзором» тысячи галактик, так как неясно, в которой из них произойдет вспышка), то как мы можем проследить за эволюцией остатков вспыхнувшей звезды? Ведь давно было ясно, что вспышки Сверхновых суть взрывы колоссальных масштабов, сопровождающиеся разрушением звезды.

Тут-то и пригодились сведения о Сверхновых, вспыхивавших в историческое время. Лундмарк и его последователи доказали, что в нашей Галактике в историческое время наблюдались по меньшей мере 5 Сверхновых: в 1006, 1054, 1181, 1572 и 1604 годах. На месте всех этих вспыхнувших звезд сегодня наблюдаются своеобразные светлые туманности, состоящие из быстро расширяющегося горячего газа. Известно немало остатков Сверхновых, вспыхнувших в доисторическое время; хороший пример — туманность «Рыбачья сеть» в Лебедь. Вид этих туманностей различен. Иногда это более или менее сферические расширяющиеся оболочки; иногда же, напротив, яркость туманности повышается к центру — такие остатки Сверхновых называются *плерионами*. Встречаются и комбинации оболочки и плериона.

Интересен остаток Сверхновой, известный с 1948 года под именем радиоисточника Кассиопея А. В оптическом диапазоне на этом месте наблюдается какой-то неубедительный клочок газового волокна, тогда как в радиолучах источник необыкновенно ярк и имеет структуру оболочки, что подтверждается и рентгеновским изображением. Но не надо думать, что взрывы различных Сверхновых породят одинаковые туманности. На вид туманности влияют не только динамические характеристики породившего ее взрыва, но и свойства среды, в которой произошел взрыв. Пресловутого «космического вакуума» не существует — межзвездная среда, хотя материя в ней очень разрежена, вакуумом не является. Межзвездный газ можно сжать, уплотнить взрывом, по нему могут распространяться ударные волны. В межзвездной среде существуют многочисленные неоднородности, уплотнения, и, как мы знаем из предыдущей главы, они

не имеют тенденции к «рассасыванию», скорее наоборот. Газ, расширяющийся со скоростью от 1000 до 10 000 км/с для разных типов Сверхновых, порождает ударную волну, обжимающую неоднородности, распределенные, естественно, случайным образом, и в результате рождается светлая туманность своего, только ей присущего вида.

Наиболее хорошо изучена Крабовидная туманность — остаток Сверхновой 1054 года. Крабовидной ее назвал лорд Росс, усмотревший ее сходство с клешней краба. В этом сходстве может убедиться всякий, кто имеет телескоп с апертурой от 100 мм и выберет прозрачную ночь без засветки. Крабовидная туманность — плерион, но необычный. В крупные телескопы становится заметна волокнистая структура, погруженная в «аморфный» газ, а на фотографиях, сделанных через светофильтр, пропускающий красную линию водорода, волокна доминируют. Пространственная модель волокон сложна, и именно спектр волокон содержит яркие линии излучения. Если сфотографировать «Краба» через светофильтр, вырезающий эти линии, то никаких волокон заметно не будет.

Это первая странность, а вот вторая: излучение Крабовидной туманности оказалось линейно поляризованным. Третья странность: быстрые изменения распределения яркости «Краба». Все это можно объяснить следующим образом: в Крабовидной туманности имеется магнитное поле, и ее излучение является преимущественно не тепловым, а синхротронным. О том же говорит и спектр. Напомним: синхротронное излучение испускают заряженные частицы — электроны и протоны, — двигающиеся с релятивистскими скоростями по траекториям, искривленным магнитным полем. Напряженность поля может быть не очень большой — главное, чтобы заряженные частицы двигались с субсветовыми скоростями. Источником релятивистских частиц является знаменитый пульсар, находящийся в центре «Краба».

Крабовидная туманность расширяется — ведь в 1054 году вся она находилась в одной «точке». Логично было бы предположить, что расширение туманности постепенно замедляется

торможением о межзвездную среду. Тем неожиданнее оказался вывод астрономов, сделанный на основе точных измерений скорости расширения: Крабовидная туманность расширяется *ускоренно*. Если бы туманность расширялась с постоянной скоростью, равной нынешней, то ее расширение началось бы около 1190 года, а не в 1054 году. Датировка «звезды-гостыи» сомнений не вызывает, а значит туманность расширяется с ускорением, равным $0,0016 \text{ см/с}^2$. Причина ускорения — давление релятивистских частиц, непрерывно выбрасываемых пульсаром.

Однако не во всех остатках Сверхновых имеются пульсары. Не так уж редко внутри «пузыря» расширяющейся после взрыва материи есть нейтронная звезда, а пульсара нет, причем объяснение этого феномена не обязательно заключается в том, что «проблесковый маячок» неудачно направлен. Объяснение в другом: некоторые молодые нейтронные звезды не являются пульсарами. Еще одно подтверждение того, что Природа сложна и гораздо на выдумки...

Случается и так: остаток Сверхновой есть, а внутри него вообще нет никакой нейтронной звезды. Этому может быть два объяснения. Первое исходит из того, что взрыв звезды никогда не бывает строго симметричным, а энергия взрыва такова, что даже небольшая асимметрия сообщает нейтронной звезде скорость порядка нескольких сотен километров в секунду. Высокая вначале скорость расширения оболочки постепенно уменьшается торможением о межзвездную среду, и рано или поздно наступает момент, когда скорость нейтронной звезды, не испытывающей торможения, уже превышает скорость расширения оболочки. С этого момента уже ничто не мешает звезде покинуть туманность, это только вопрос времени. Естественно, такой сценарий подходит прежде всего для старых остатков Сверхновых.

Возможен и более интригующий вариант: полное уничтожение звезды в результате взрыва. Из теоретических выкладок следует, что при сравнительно небольшой массе взорвавшейся звезды ее центральные области коллапсируют в нейтронную звезду. При большей массе — в черную дыру. При еще большей массе

звезда разлетается полностью. Но если масса исходной звезды еще больше, то в результате взрыва образуется опять-таки черная дыра. Справедливы ли эти выкладки — покажет будущее.

Итак, феномен Сверхновых изучен хотя бы в первом приближении, доступны для изучения и многие остатки их взрывов. Но возникает закономерный вопрос: в чем, собственно, кроется причина взрывов звезд?

Строго говоря, однозначного ответа на этот весьма непростой вопрос пока еще не существует. Ясно лишь, что сценарии взрыва различны для различных звезд. Астрономы уже давно разделили Сверхновые на два типа — I и II — и каждый из них еще на несколько подтипов.

Сверхновые I типа вспыхивают повсеместно — и в спиральных галактиках, и в эллиптических, и в неправильных. В нашей Галактике они не тяготеют к спиральным рукавам и даже к галактическому диску, вспыхивая порой на значительной высоте над ним. Это старые звезды с относительно небольшими (но более 1,2 солнечной) массами, добравшиеся до стадии красного гиганта. Именно по протяженной атмосфере красного гиганта первоначально распространяется ударная волна, и именно расширяющиеся внешние слои красного гиганта, нагретые ударной волной до очень высокой температуры, обеспечивают высокую светимость Сверхновой. Все кривые блеска Сверхновых I типа схожи между собой, а Сверхновые подтипа Ia являются по сути «стандартными свечами», имея в максимуме одинаковую светимость. Это обстоятельство оказалось очень кстати для определения расстояний до галактик, где вспыхивают такие Сверхновые.

Сверхновые II типа вспыхивают только в спиральных и неправильных галактиках. В спиральных системах они вспыхивают в рукавах. Уже одно это обстоятельство говорит о том, что в качестве Сверхновых II типа взрываются массивные звезды, родившиеся в рукавах и не успевшие за время своей короткой жизни покинуть рукав. Ясно, что и эти звезды взрываются на поздних стадиях своей эволюции, ибо молодой звезде, недавно «севшей» на главную последовательность, взрываться просто «не с чего».

Кривые блеска этих Сверхновых иные — максимумы уже, блеск после максимума спадает быстрее, иногда наблюдаются локальные вторичные максимумы и т. д. Похоже, Сверхновые II типа не представляют собой однородной группы объектов.

Это тем более вероятно, что существуют по меньшей мере два остатка Сверхновых, вспыхнувших в относительно недавнее время и почему-то не наблюдавшихся. Первый — это уже упомянутый источник Кассиопея А. Сверхновая, давшая ему начало, должна была вспыхнуть около 1670 года, однако ничего подобного европейские астрономы не заметили. Можно, конечно, предположить, что в то время над Европой несколько недель стояла облачность, но все же выходит как-то странно, да и остаток Сверхновой совсем не типичный...

Еще один пример — рентгеновский источник в созвездии Парусов. Рентгеновское излучение испускает облако газа диаметром около 25 св. лет, а расстояние до облака всего 650 св. лет, что делает его ближайшим к нам остатком Сверхновой. Согласно расчетам, эта вспышка произошла около 1250 года — и снова не была отражена ни в каких письменных источниках. А ведь эта Сверхновая на ночном небе должна была уступать яркостью только Луне! Конечно, на это можно возразить, что китайцам (а наблюдать эту часть южного полушария неба могли по сути только они) в первые десятилетия монгольского владычества было не до астрономических наблюдений, а если наблюдения все-таки велись, то записи о них могли быть уничтожены в те бурные времена... но можно поискать и другую причину.

Например. Что произойдет, если взорвется не красный гигант (или сверхгигант), а звезда главной последовательности или компактная W-звезда, не имеющая внешней протяженной оболочки? Расчеты советских теоретиков В.С. Имшенника и Д.К. Надежина показали: в этом случае кривые блеска качественно отличаются от соответствующих кривых Сверхновых I и II типов. Прежде всего, максимум блеска оказывается очень резким и длится не более 20 минут. Физический смысл прост: отсутствует среда, по которой распространяется и которую нагревает удар-

ная волна. «Из ничего не выйдет ничего», — говорил король Лир. Если нечего нагревать, то нечему и светиться. Похоже, речь идет о совершенно новом типе Сверхновых... Впрочем, данных пока недостаточно.

Но какие процессы идут в звезде в момент взрыва? И почему она, собственно говоря, может взорваться?

Одна из теоретических моделей такова. Предок Сверхновой — массивный красный сверхгигант (речь идет о Сверхновой II типа) с протяженной внешней оболочкой. Внутри сверхгиганта, как мы знаем, формируется весьма плотное горячее ядро — «зародыш» белого карлика. Но если его масса больше чандрасекаровского предела, ядро сколлапсирует в нейтронную звезду независимо от того, есть вокруг него протяженная оболочка или нет. Но в случае сверхгиганта оболочка, конечно, есть. Как она себя поведет?

Оболочка обрушится на ядро.

Важно, что химический состав оболочки уже совсем не тот, что был когда-то у молодой звезды. В падающем на ядро веществе относительно мало водорода, зато много гелия, а главное, более тяжелых элементов, накопившихся в звезде преклонного возраста: углерода, азота, кислорода, неона. На этих ядрах при достижении определенной температуры пойдут ядерные реакции. В отличие от знакомых нам протон-протонной реакции и углеродно-азотного цикла, эти реакции не сопровождаются бета-распадом, не зависящим от температуры, а значит, будут иметь бурный, по сути взрывной характер.

Массивное ядро предсверхновой должно иметь температуру порядка миллиарда градусов и состоять из элементов группы железа. Для образования более тяжелых ядер температуры в миллиард градусов уже не хватает. Ядро должно быть окружено внутренней оболочкой, или мантией, состоящей из ядер элементов типа углерода, азота, кислорода и др., являющихся потенциальной «взрывчаткой». Выше находится довольно разреженная водородно-гелиевая оболочка. Согласно расчетам английских теоретиков Хойла и Фаулера, при массе предсверхновой в 30 сол-

нечных масс на долю ядра придется 3 массы Солнца, на долю мантии — 15, а остальное достанется внешней оболочке.

Как только ядерные реакции в ядре иссякают и давление света перестает уравнивать силу гравитации, ядро «обрушивается внутрь себя» — коллапсирует в нейтронную звезду. Этот процесс занимает всего-навсего около одной секунды. Наружные слои звезды немедленно начинают падать к ее центру. Еще через секунду падающее вещество нагреется настолько, что создадутся условия для колоссального ядерного взрыва.

Важный момент: сжатие должно происходить катастрофически быстро, а этому может помешать выделяющаяся тепловая энергия. Если она не будет куда-то отводиться, то никакого взрыва не произойдет. Один из возможных «холодильников» — диссоциация ядер железа на альфа-частицы и нейтроны. При этом процессе поглощается масса энергии. Второй возможный «холодильник» — это реакции позитронов с нейтронами с образованием протонов и нейтрино, а также электронов с протонами с образованием нейтронов и опять-таки нейтрино. Последние беспрепятственно покидают звезду, унося массу энергии. Собственно, уже начиная с температуры в полмиллиарда кельвинов нейтринное излучение звезды превосходит ее фотонное излучение.

Окончательные условия для взрыва создает резкая остановка падающего вещества. Когда температура сжимающегося ядра поднимается до десятков миллиардов кельвинов, а плотность приближается к плотности нейтронной звезды, вещество перестает быть прозрачным для нейтрино. Последние будут эффективно поглощаться, что выключит «холодильник» и остановит сжатие как раз в нужный для взрыва момент. Другой причиной остановки сжатия могут служить центробежные силы, возникающие из-за вращения звезды. Так как существенную роль при этом играет магнитное поле ядра будущей сверхновой (по сути данное ядро представляет собой нейтронную звезду), то данный механизм получил название магниторотационного. Впервые он был предложен советским ученым Г.С. Бисноватым-Коганом в 1970 году. Часть вращательной энергии ядра переходит в ки-

нетическую энергию оболочки и происходит ее разлет. Звезда взрывается.

Драматичный финал, не правда ли? Разумеется, возникает «шкурный» вопрос: не может ли наше Солнце вспыхнуть как Сверхновая, если не теперь, так в будущем? Разумеется, речь идет о Сверхновой I типа, поскольку Сверхновые II типа — это массивные звезды, ничуть не похожие на Солнце.

По современным представлениям — нет, Солнце не может взорваться. И не только потому, что оно еще достаточно молодо, а взрываются лишь старые звезды, да и то далеко не все из них. Масса Солнца чересчур мала для взрыва — она меньше чандрасекаровского предела, а значит, не получится ни нейтронной звезды, ни падающего на нее перегретого вещества, готового к взрыву. Далекое будущее Солнца — белый карлик, а при их «производстве» Природа обходится без впечатляющих эффектов...

Любопытнейшей оказалась Сверхновая 1987 года, вспыхнувшая в Большом Магеллановом Облаке. Подняв фотоснимки звездных полей в БМО, астрономы с удивлением обнаружили: взорвался *голубой* сверхгигант. Факт озадачил теоретиков: до той поры считалось, что предсверхновые — обязательно красные гиганты и сверхгиганты. Но недоразумение в конце концов разрешилось. Когда в звезде загорается многослойный источник ядерных реакций, она начинает сдвигаться *влево* на диаграмме Герцшпрунга–Рессела и вполне может попасть из области красных гигантов в область голубых звезд, но, конечно, не главной последовательности, а выше. По всей совокупности накопленных данных, звезды главной последовательности взрываются как сверхновые не могут — в их недрах еще нет подходящей «взрывчатки», а если ее нет, то и взрываются нечему.

Напоследок осталось сказать, что вспышкам Сверхновых мы обязаны не чем-нибудь, а самим фактом своего существования. Ведь первоначальная газовая среда, имевшаяся во Вселенной до вспышки первой Сверхновой, химически была очень бедна. Без Сверхновых она и сейчас состояла бы из первичных элементов плюс рассеявшееся вещество планетарных туманностей, обога-

ценные элементами не тяжелее неона, да еще углеродных выбросов некоторых красных сверхгигантов, прозванных «коптящими» звездами. Из таких скудных ингредиентов даже приличной планеты не слепишь, не говоря уже о жизни. Нет, это прекрасно, что физические законы нашей Вселенной позволяют некоторым звездам взрываться, обогащая межзвездную среду тяжелыми элементами!

И совершенно понятным становится тот факт, что одних тяжелых элементов во Вселенной много, а других, напротив, мало. Их обилие диктуется вероятностью той или иной ядерной реакции в момент вспышки Сверхновой. Мало подходящих ядер, нет достаточной температуры, продукт реакции готов немедленно прореагировать с образованием новых ядер — и вот результат: этого элемента во Вселенной мало по сравнению с его ближайшими соседями по периодической таблице.

Да, после взрывов звезд часть их массы безвозвратно теряется, идя на образование в сущности мертвого объекта — нейтронной звезды. Но оболочки Сверхновых возвращаются в круговорот материи, не только подстегивая звездообразование, но и обогащая Вселенную новыми явлениями, подчас поразительной сложности.

Одним из этих явлений имеем удовольствие пользоваться мы с вами. Это — жизнь.

ЧАСТЬ IV

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

1. ЗНАКОМЫЕ НЕЗНАКОМЦЫ

Выделить разговор о черных дырах в особый, пусть маленький, раздел книги нас заставило вполне тривиальное соображение: черная дыра — не звезда. По крайней мере — в том смысле, какой мы вкладывали в это понятие в предыдущем разделе. Либо уже не звезда, подобно тому, как труп человека — уже не человек, либо она никогда и не была звездой.

Черные дыры — одни из наиболее популярных астрофизических объектов. Редкая научно-фантастическая книжка, хотя бы краешком затрагивающая космические проблемы, обходится без их упоминания. То же самое относится и к фильмам, и даже к компьютерным играм.

В научном же мире интерес к черным дырам то затихает (когда уже кажется, что все их тайны получили свое объяснение), то снова разгорается (когда в очередной раз оказывается, что это было не совсем так). Впрочем, в последнее время от отсутствия внимания черные дыры явно не страдали. Мосты Эйнштейна–Розена (они же «кротовые норы»), «машины времени», возможное образование мини черных дыр в атмосферных ливнях частиц, порождаемых высокоэнергичными космическими лучами (если справедливы предположения о числе пространственных макроизмерений нашего мира, превышающем три общеизвестных). — вот лишь короткий список «горячих» научных тем последнего времени, в которых черные дыры принимают ключевое участие.

Насколько нам сейчас известно, исторически первым ученым, придумавшим объект, определенным образом напоминающий черную дыру, был английский священник и теолог, один из основателей научной сейсмологии Джон Митчелл. В 1783 году он изложил свои соображения в докладе Лондонскому Королевскому обществу. Но, как это довольно часто происходило в истории науки, сообщение осталось практически незамеченным, так что долгое время первооткрывателем считался знаменитый французский ученый Лаплас, через одиннадцать лет после Митчелла пришедший к похожим выводам и опубликовавший их в своей

книге «Изложение системы мира». Доклад же Митчелла был найден в «Философских трудах Лондонского Королевского общества» только лишь в 1984 году.

Идея Митчелла и Лапласа была очень простой: они предположили, что в природе могут существовать тела, для которых скорость, необходимая для преодоления гравитационного притяжения, превышает скорость света. Поэтому такие тела будут темными, невидимыми для наблюдателя, хотя и могут проявлять себя гравитационным воздействием на другие объекты. По словам Лапласа, «звезда с плотностью, равной плотности Земли, и диаметром в 250 раз большим диаметра Солнца, не дает никакому световому лучу достичь нас благодаря своему тяготению, а потому не исключено, что самые яркие тела во Вселенной по этой причине невидимы». А Митчелл предложил искать такие звезды по анализу движения второй звезды в двойной системе — метод, наиболее широко сейчас использующийся для нахождения черных дыр.

Математически же соображения двух ученых сводятся к нахождению радиуса R звезды данной массы M , для которой вторая комическая скорость равна скорости света c .

Выражение для второй космической скорости можно получить из условия равенства суммы потенциальной и кинетической энергии тела нулю, т. е. частица уходит с поверхности звезды на бесконечность и обладает там нулевой скоростью. Подставив в качестве значения начальной скорости скорость света, окончательно получим: $R_g = 2G_M/c^2$, где R_g — так называемый гравитационный радиус тела, G — постоянная тяготения.

Увы, все эти рассуждения были не только очень простыми, но и неправильными тоже. При скоростях, близких к скорости света, формула для кинетической энергии будет весьма сильно отличаться от классического случая. Формула для потенциальной энергии в сильных гравитационных полях тоже меняет свой вид. Да и отношение к свету как к потоку маленьких пушечных ядер неправомерно — в частности, скорость света, как известно, константа и не может, следовательно, стремиться к нулю (пусть и на бесконечности).

Решение для черной дыры, свободное от этих недостатков, было получено в 1916 году немецким астрономом Карлом Шварц-

шильдом на основе анализа уравнений Общей теории относительности, незадолго до этого выписанных Альбертом Эйнштейном. Довольно неожиданно, но в этом точном решении появляется величина размерности расстояния, выражение для которой в точности совпадает с уже выписанной «неправильной» формулой.

Казалось бы, это не очень распространенный, но все же встречающийся случай в науке, когда ошибки «упрощенного» решения в точности компенсируют друг друга. Но на самом деле это, конечно, не так. В решении Шварцшильда на радиусе R_g происходит нечто большее, чем просто выравнивание скорости света и второй космической скорости. И даже не большее, а принципиально иное.

Существует несложный вопрос на сообразительность: можно ли долететь до Луны на ракете, летящей со скоростью «Запорожца»? Несмотря на то что вопрос несложный, очень часто на него отвечают «нет». Нужна, дескать, вторая космическая скорость (или чуть меньшая при полете по эллипсу).

На самом деле ответ, конечно, неверный, улететь можно. Формулы для космических скоростей справедливы для тела, летящего свободно (после первоначального толчка). Если же двигатель ракеты будет работать непрерывно, то долететь до Луны можно будет даже со скоростью черепахи (рано или поздно). Иное дело, что такой полет потребует слишком большого расхода горючего.

Другим примером подобного рода является подъем по лестнице — никуда не спеша, можно подняться на высоту, до которой никогда не получилось бы допрыгнуть. А располагая лестницей необходимой длины, можно повторить подвиг барона Мюнхгаузена из бессмертного кинофильма.

Все меняется, если перейти к рассмотрению черной дыры. Если мы находимся внутри так называемой сферы Шварцшильда (сферы радиуса R_g , описанной вокруг центра черной дыры), то выбраться «наружу» нельзя никаким образом. Даже по лестнице...

Именно поэтому границу сферы Шварцшильда часто называют горизонтом событий. А также — односторонней проводящей мембраной. Ведь, в отличие от известного анекдота, «выйти через вход» нельзя, чем горизонт событий очень похож на то самое анизотропное шоссе из романа братьев Стругацких «Трудно быть богом».

2. «У ЧЕРНЫХ ДЫР НЕТ ВОЛОС»

Анализ решения Шварцшильда показывает, что силы гравитации на горизонте событий стремятся к бесконечности, т. е. горизонт событий — это своего рода область «спрессованной» гравитации, что и обуславливает такую одностороннюю его проводимость.

Но не следует думать, что некто, падающий в черную дыру, будет этими бесконечными силами расплюснут. Данная так называемая особенность является не физической, а лишь координатной особенностью и существует только для внешнего неподвижного наблюдателя. В системе координат, движущейся вместе с путешественником, данной особенности нет, и она не может ему помешать пересечь горизонт событий в целости и сохранности. Более того, сил гравитации он вообще чувствовать не будет — так же, как в лифте, свободно падающем в поле тяготения Земли, будет царить невесомость (недолго, правда...).

Опасность для путешественника заключается в приливных силах, аналогичных по природе своей силам, поднимающим приливы в земных океанах и имеющим причиной разность гравитационных сил, действующих на разные части тела. Этими силами путешественника будет стремиться вытянуть вдоль направления на центр черной дыры. Но максимум приливных сил не приходится на горизонт событий, они растут по мере приближения к центру. Так что для черных дыр малой массы проблемы у путешественника начнутся еще до пересечения горизонта событий, а для гигантских черных дыр — уже после.

Может возникнуть вопрос: если для путешественника особенности на горизонте событий нет, то что может ему помешать выбраться из черной дыры наружу? Тут все дело в том, что, как показал советский астрофизик И.Д. Новиков, внутри черной дыры пространственные и временные координаты меняются местами.

Наглядно это можно представить следующим образом. Будем рассматривать не трех-, а двухмерное пространство, причем

вообразим его себе в виде куска гибкой пленки. Направим ось времени перпендикулярно этой пленке. А потом начнем помещать на пленку все более и более тяжелые шары (или, еще лучше, будем уменьшать размеры, увеличивая плотность, шара данной массы). Пленка будет изгибаться все сильнее и сильнее, пока наконец стенка «вмятины» не станет вертикальной. Мы получили модель черной дыры. Нетрудно заметить, что некто, путешествующий по стенке «вмятины», будет, таким образом, перемещаться по оси времени, т. е. центр черной дыры для путешественника находится не на некотором расстоянии, а в непосредственном будущем, и повернуть нельзя.

Другим интересным следствием данного обстоятельства является то, что события, произошедшие во «внешнем» мире в течение определенного интервала времени, внутри черной дыры будут располагаться вдоль некоторого пространственного промежутка. Иными словами, внутри черной дыры содержится информация обо всех, даже еще не произошедших событиях в течение всего времени существования Вселенной.

Уместным, пожалуй, будет развеять еще один распространенный миф, касающийся черных дыр, — о чудовищных плотностях, царящих внутри их. На самом деле это не совсем так, скорее даже, совсем не так.

Да, если в черную дыру превратить Солнце (гравитационный радиус для которого составляет 3 км) или тем более Землю (чуть меньше сантиметра), средняя плотность получившейся черной дыры превысит ядерную (10^{14} г/см³). Но средняя плотность зависит от массы по обратному квадратичному закону, так что для центральных черных дыр в ядрах галактик (в том числе и в нашей), масса которых составляет порядка 10 млрд масс Солнца, средняя плотность будет в несколько раз меньше плотности воздуха.

К тому же, по современным представлениям, вся масса черной дыры заключена в точечной сингулярности — бесконечно малой области пространства внутри черной дыры. Области пространства с бесконечно большой плотностью (и кривизной пространства-времени).

Впрочем... В физике любое появление бесконечно больших величин является признаком несовершенства теории. Не является исключением и сингулярность в черных дырах, причиной появления которой является отсутствие разработанной теории квантовой гравитации.

Вообще наглядно представить границу современных представлений о мире довольно просто. Очень хорошо этой цели служит так называемый *куб теорий*, придуманный советским космологом А. Зельмановым.

Представьте себе обычную трехмерную декартову систему координат, только вместо x , y , z по осям подписаны c (скорость света), G (гравитационная постоянная), h (постоянная Планка). Тогда вдоль оси G располагается классическая ньютоновская теория гравитации, вдоль оси c — специальная теория относительности, вдоль оси h — квантовая механика. Плоскость cG отвечает общей теории относительности, плоскость ch — не до конца еще разработанной релятивистской квантовой теории (с ее наиболее успешной частью — квантовой электродинамикой). Всему кубу в целом отвечает релятивистская квантовая теория гравитации, которая должна (по идее) описывать наш мир во всем его многообразии.

Из этих же констант (c , G , h) можно составить выражения для так называемых планковских величин — времени, расстояния, плотности. При выходе за границы, задаваемые этими величинами, мы должны использовать общую, еще не созданную теорию; так, для плотности граничное значение составляет порядка 10^{93} г/см³. Пока же эта теория не создана, внутреннее устройство черной дыры в немалой степени остается предметом предположений и домыслов.

К сожалению, именно в этой области лежат и наиболее «вкусные» идеи типа «машин времени», «пространственных мостов» и «ворот в другую Вселенную».

На внешний же мир гипотетическая внутренняя сингулярность влияния оказать не может — по принципу «космической цензуры», разработанной английским ученым Роджером Пенроузом в 1969 году: прежде чем в результате гравитационного коллапса неограниченно возрастет кривизна и разовьется

сингулярность, гравитационное поле достигнет такой силы, что перестанет выпускать информацию наружу, т. е. возникнет горизонт событий, окружающий сингулярность.

И вот теперь мы постепенно переходим к предпосылкам так называемого информационного парадокса черных дыр.

Черные дыры образуются на конечных стадиях эволюции массивных звезд, причем массы, химический состав и внутреннее устройство этих звезд могут варьироваться в довольно широких пределах. Черные дыры ведут весьма бурную жизнь: они поглощают окружающее вещество и целые звезды, излучают, могут сливаться, наконец. Существуют даже первичные черные дыры, образовавшиеся на начальных стадиях эволюции Вселенной. И если нижняя граница массы черной дыры (определенная из условия невозрастания энтропии при коллапсе) определена довольно точно (примерно 10^{15} г — впрочем, к первичным черным дырам это не относится), то верхняя до сих пор остается предметом предположений.

Казалось бы, такой разброс условий должен приводить к появлению разновидностей черных дыр, сильно отличающихся друг от друга — так же, как, например, отличаются звезды разных спектральных классов и разных последовательностей.

Но на самом деле это не так. Усилиями многих ученых в 60-х годах было показано, что черная дыра для внешнего наблюдателя характеризуется всего тремя величинами — массой M , моментом количества движения J (в случае вращающейся черной дыры) и электрическим зарядом Q (при его наличии). Все же остальные индивидуальные особенности звезды-«родительницы» черной дыры в процессе гравитационного коллапса стираются. Отклонения от сферичности «высвечиваются» гравитационными волнами, магнитное поле отрывается, остальная информация исчезает под границей горизонта событий. Остается идеально сферичная область пространства (ведь никакой «твердой» поверхности у черной дыры, конечно же, нет).

Область идеально сферична даже в случае вращающейся черной дыры, просто помимо горизонта событий у черной дыры появляется еще одна характерная поверхность — поверхность бесконечного красного смещения, или же предел устойчивости. Она

совпадает с горизонтом событий на полюсах и, обладая центральноосевой симметрией, отходит на максимальное расстояние от него на экваторе. Решение для вращающейся черной дыры было получено Роем Керром в 1963 году, поэтому такие черные дыры зачастую называют керровскими (а невращающиеся, соответственно, — шварцшильдовскими).

Между горизонтом событий и пределом устойчивости располагается эргосфера. Обсуждение ее свойств — тема отдельного разговора, заметим лишь, что никакая материальная частица, попав в эргосферу, не может находиться в покое. Помимо этого, материальное тело способно не только проникнуть в эргосферу, но и выйти из нее за конечное время по часам далекого наблюдателя. Причем при некоторых условиях — даже обладая энергией большей первоначальной. Впервые эти условия были определены Роджером Пенроузом.

Таким образом, в мире черных дыр полностью отсутствует индивидуальность, все различие между ними может заключаться максимум в трех параметрах. Эта теорема получила широкую известность в шуточной формулировке, данной американским астрофизиком Джоном Уилером: «У черных дыр нет волос» (именно Уилеру, кстати, принадлежит авторство и самого термина «черная дыра», впервые предложенного им в 1969 году. До этого использовались термины «темные» или «застывшие» звезды).

Вся же остальная информация, как уже было сказано, или высвечивается при образовании черной дыры, или бесследно исчезает в ее глубинах.

3. И ВСЕ-ТАКИ ОНА СВЕТИТСЯ!

«Исчезновение» индивидуальных характеристик сколлапсировавшего в черную дыру объекта не представляло проблемы, пока черные дыры считались вечными и неуничтожимыми. Ведь можно было считать, что информация не исчезла окончательно, она просто хранится в своего рода «законсервированном» виде.

Все изменилось, когда в рассмотрение стали вводить квантовые эффекты в поле черных дыр. В 1970 году М.А. Марков и В.П. Фролов обнаружили, что из-за квантового рождения частиц из вакуума в поле заряженной черной дыры ее заряд уменьшается практически до полного его исчезновения. Почти сразу после этого Я.Б. Зельдович и А.А. Старобинский показали, что аналогичное явление происходит и вблизи вращающихся черных дыр, причем рождающийся поток частиц постепенно уменьшает энергию и угловой момент черной дыры.

Осенью 1973 года об этом результате было рассказано приехавшему в Москву Стивену Хокингу. И именно ему удалось сделать последний, решающий шаг и доказать, что излучают не только керровские, но шварцшильдовские черные дыры тоже. Поэтому такое излучение сейчас носит его имя.

Суть открытия Хокинга, математически довольно сложная, «на пальцах» может быть объяснена следующим образом.

Даже если мы рассмотрим совершенно пустой вакуум, это отнюдь не значит, что все поля в нем (гравитационные или, например, электромагнитные) в точности равны нулю. Ведь к полям, как и к частицам, применим принцип неопределенности Гейзенберга, гласящий, что мы не можем одновременно точно измерить координату и импульс, т. е. произведение неопределенности в импульсе на неопределенность в координате должно превышать постоянную Планка.

Таким образом, если сфокусировать внимание на определенной точке пространства, то мы увидим, что величина поля

претерпевает некие небольшие флюктуации, называемые квантовыми. А вакуум, в свою очередь, — не абсолютная пустота, а наиминимальное состояние всех полей (хотя и малое, но отличное от нуля).

Данные квантовые флюктуации иначе можно интерпретировать как рождение виртуальных частиц — пары частицы и античастицы, которая спустя очень короткий промежуток времени аннигилирует и возвращает взятую «взаймы» на свое рождение энергию, причем энергия и время существования пары связаны все тем же соотношением неопределенностей: чем больше энергия, тем короче время. И, хотя эти частицы и виртуальные, оказываемые их рождением эффекты вполне реальны — например, экранировка заряда протона, измеренная в эксперименте.

Но самое интересное начинается, если наложить на вакуум сильное внешнее поле. Это поле может «заплатить» за рожденные частицы долг, и они из разряда виртуальных перейдут в реальные. И это тоже было проделано в эксперименте, когда мощным импульсом лазера из вакуума получилось «выбить» вполне реальные частицы.

Аналогичный процесс происходит и вблизи черных дыр, только роль внешнего играет гравитационное поле. Рожденная таким образом частица с положительной энергией может улететь от черной дыры, а частица с отрицательной — будет ею захвачена. И, воспользовавшись фундаментальной формулой Эйнштейна $E = mc^2$, получим, что масса черной дыры в ходе этого процесса будет уменьшаться.

Иными словами, происходит постепенное «испарение» черной дыры. И хотя природа излучения Хокинга, как мы видим, совершенно неклассическая и уж тем более не тепловая, при расчетах можно считать, что черная дыра излучает как абсолютно черное тело, нагретое до определенной температуры, зависящей от массы черной дыры. Температура эта для черной дыры звездной массы совершенно ничтожна — так, для Солнца она составляет одну десятимиллионную часть кельвина, так что темп излучения Хокинга для таких черных дыр пренебрежимо мал.

Но при уменьшении массы черной дыры данная «эффективная» температура растёт, так что для черной дыры с массой 1 млрд т она превысит 100 млрд К. Последние же тысячи тонн испаряются за одну десятую секунды, при этом выделяется энергия, эквивалентная одновременному взрыву миллиона мегатонных водородных бомб.

Интересно отметить, что, поставив в соотношение площадь поверхности черной дыры и меру ее энтропии, к выводу о неизбежности испарения черных дыр можно прийти практически с позиции классической термодинамики. И хотя такой подход имел неплохие шансы привести к успеху раньше (его развивал ученик Уиллера Джекоб Бекенштейн), последний шаг сделан им все же не был.

Итак, черные дыры излучают. До сих пор неизвестно, правда, что же происходит в самом конце испарения: исчезает ли черная дыра полностью, или остается некая элементарная черная дыра планковских масштабов. Впрочем, в контексте «информационного парадокса» это и не очень важно, ведь гипотетическая элементарная черная дыра не может, конечно же, вместить всего объема информации, попавшего в черную дыру на протяжении ее жизни. Излучение Хокинга в силу своего механизма информации тоже переносить не может.

Получается, информация необратимо теряется? Или, на языке квантовой физики, чистое состояние переходит в смешанное?

Увы, это нарушает фундаментальный принцип все той же квантовой физики — требование так называемой унитарности любого преобразования. Применяв обратное преобразование к полученному результату, мы должны вернуться к исходному состоянию. Или, иными словами, сумма всех вероятностей должна быть равна единице не только в исходный, но и в любой другой момент времени — информация должна сохраняться.

Это проблема и получила название «информационного парадокса» черных дыр.

Его долго пытались решить с самых разных позиций. Например, выдвигались предположения, что внутри черной

дыры открываются своего рода «ворота» в другую Вселенную, куда информация и уходит. Сам Стивен Хокинг долго отстаивал идею, что сверхсильные гравитационные поля могут приводить к нарушению законов квантовой физики.

Его уверенность была столь велика, что он (на пару с Кипом Торном) даже заключил в 1997 году пари с Джоном Прескиллом на то, что информация все-таки теряется. Ставкой была энциклопедия по выбору выигравшего — с аргументацией, что «уж из энциклопедии-то информацию выудить безусловно можно».

Заметим, что пари Хокинг заключает не в первый раз. В 1975 году он поспорил уже с Кипом Торном о том, что источник Лебедь X-1 не содержит черную дыру. Ставкой была годовая подписка на *Penthouse* против четырехгодичной подписки на *Privat Eye*.

То пари Стивен проиграл...

4. БАСКЕТБОЛ ИЛИ ВСЕ ЖЕ КРИКЕТ?

В июле 2004 года в Дублине, Ирландия, проходила очередная, 17-я по счету Международная конференция по общей теории относительности и гравитации. Первоначально доклад Стивена Хокинга на ней не планировался, но незадолго до начала конференции он попросил у организаторов разрешения выступить с сообщением, посвященным решению «информационного парадокса». И, по словам Курта Катлера, германского ученого, исполнявшего роль председателя научного организационного комитета на конференции, «хотя мне не был представлен даже препринт статьи, я решил положиться на научную репутацию Хокинга». 21 июля 2004 года Стивен Хокинг выступил на конференции с часовым докладом...

Надо сказать, выступление наделало много шума. Информация о нем промелькнула, пожалуй, в большинстве средств массовой информации, широко обсуждалась в Интернете. И это неудивительно, ведь помимо научной значимости предполагаемого решения проблемы с почти тридцатилетней историей, большое впечатление производит и сама личность Стивена Хокинга. Являясь одним из наиболее крупных современных ученых, человеком с выдающимся интеллектом, физически он практически совершенно беспомощен. Тяжелое поражение центральной нервной системы (атрофирующий латеральный склероз) привело к тому, что у него слегка действуют только пальцы на левой руке, которыми он управляет компьютером с синтезатором голоса. Лекции в его исполнении производят незабываемое впечатление и навсегда остаются в памяти...

Но в изложении СМИ научные идеи зачастую предстают в неузнаваемо искаженном виде. Например, тоже наделавшая много шума «Вселенная, имеющая форму футбольного мяча». В чем же на самом деле заключалась идея Хокинга?

Увы, это как раз тот случай, когда изложение в элементарном виде представляется практически невозможным. Ведь даже в научном сообществе единого мнения по поводу доклада Хокинга еще не сложилось. Этому в немалой степени способствует то обстоятельство, что статья Стивеном до сих пор еще не выпущена (хотя прошло уже более четырех лет), а сам доклад выполнен в стиле «легко видеть» с большим количеством логических скачков.

Однако сам Стивен совершенно уверен в правильности своей теории, и не только выразил желание выплатить свой проигрыш Джону Прескиллу, но даже уже выписал энциклопедию баскетбола (заказанную Джоном) из Америки. По словам Стивена: «Я столкнулся с большими трудностями при попытке найти желаемую Джоном энциклопедию, так что попробовал предложить ему взамен энциклопедию по крикету. Однако убедить Джона в превосходстве крикета над баскетболом мне так и не удалось».

Так что сам Хокинг настроен весьма оптимистично. Однако наличие большого количества логических скачков в его доказательстве не позволяет остальным ученым единогласно признать его правоту. Сложностью также является отсутствие (по крайней мере «классического») горизонта событий у «хокинговской» черной дыры, а ведь его существование следует из фундаментального принципа эквивалентности гравитационной и инертной массы — основы Общей теории относительности.

Более того, даже в самом лучшем случае (если Стивен Хокинг во всем прав), в его работе не было предложено никакого конкретного механизма получения информации из черной дыры (за исключением общих слов). С этой точки зрения, интерес представляет подход к проблеме черных дыр с позиции теории струн, в рамках которого они рассматриваются как своего рода «скопище» этих струн, а излучение Хокинга может содержать в себе информацию о внутреннем устройстве дыры.

Но, как бы то ни было, черные дыры в очередной раз продемонстрировали, что думать про окончательное раскрытие всех их загадок еще явно преждевременно. И, судя по всему, нас еще ожидает множество сюрпризов. Будем ждать...

5. ГАММА-ВСПЛЕСКИ

Еще одним загадочным явлением, объяснить которое пытаются в том числе с помощью черных дыр, являются гамма-всплески.

Вообще, надо признать, черные дыры в современной астрофизике часто играют роль своеобразных «палочек-выручалочек». Если мы что-то объяснить никак пока не можем — требуются, например, слишком большие уровни энергии, — то в качестве одного из вариантов возможного решения обязательно выступают черные дыры. Так и получается: одну загадку мы объясняем через другую, пожалуй, не меньшую загадку.

Увы, другого выхода пока нет...

Итак, гамма-всплески. В 1963 году были запущены первые американские спутники-шпионы серии Vela, предназначенные для контроля за выполнением Советским Союзом Договора о запрете ядерных испытаний. Гамма-излучение обладает большой проникающей способностью, так что замаскировать ту часть энергии, которая выделяется при взрыве атомной или термоядерной бомбы в этом диапазоне — невозможно. Даже при подземном взрыве. И в 1967 году спутники серии Vela 4 эти гамма-вспышки действительно открыли.

Только не на Земле, а на небе.

А запущенные в 1969 году спутники серии Vela 5 набрали уже целую коллекцию таких событий. В связи с понятной секретностью, широкой научной общественности об открытии было сообщено только в 1973 году. И с тех самых пор гамма-всплески представляли (и, во многом, продолжают представлять) одну из наиболее жгучих астрономических загадок, на решение которой было потрачено очень много усилий.

Достаточно сказать, что к 1994 году было предложено свылчеста моделей гамма-всплесков!

И, конечно, одним из самых непонятных свойств гамма-всплесков была их громадная энергетика. Даже если считать, что они имеют галактическое происхождение, получается что энергия «вспышки» превышает 10^{40} эрг. А так как гамма-всплески достаточно короткие — порядка секунд, то соответствующую величину имеет и их светимость.

В одном только гамма-диапазоне!

Напомним, что общая по всем диапазонам светимость Солнца равна всего 4×10^{33} эрг/с. А светимость всей Галактики в том же гамма-диапазоне не превышает 5×10^{38} эрг/с.

Конечно, возможные механизмы, объясняющую такую энергетiku (причем в «нужном» диапазоне), придуманы были. Почти все они были связаны с нейтронными звездами. Так, для объяснения привлекались, например, процессы быстрой перестройки магнитного поля нейтронной звезды, освобождение энергии при «звездотрясениях» и даже падение астероидов на нейтронную звезду.

Гипотеза была довольно удобной, она позволяла объяснить в том числе и быструю переменность, наблюдаемую в гамма-всплеске. Переменность, указывающую на крайне небольшие размеры излучающей области.

Сильный удар по этой гипотезе нанес запуск в 1991 году американской орбитальной обсерватории «Комптон» с гамма-детектором BATSE. С помощью него было обнаружено огромное количество гамма-всплесков (около 3 тысяч) и окончательно подтвердилось то, что уже «вырисовывалось» раньше, на меньшей статистике: гамма-всплески распределены по небу *слишком* изотропно, чтобы принадлежать нашей Галактике. Ведь наше Солнце находится не в самом ее центре, а достаточно существенно «сбоку». Да и сама Галактика — отнюдь не сферически-симметрична.

Таким образом, оставалось три возможности.

1. Источники гамма-всплесков находятся от нас очень близко — или в самой Солнечной системе, или внутри облака Оорта.

2. Источники «сидят» в весьма протяженном (не менее 200 кпк) гало вокруг Галактики.
3. Они удалены от нас на космологические расстояния (порядка гигапарсек).

Чтобы сделать однозначный выбор между этими возможностями, требовалось «отождествить» гамма-всплеск с каким-нибудь астрономическим объектом. Увы, разрешение гамма-детекторов слишком мало (около углового градуса), в такую огромную зону попадает слишком много объектов, и ученые оказываются в положении человека, ищущего иголку в стоге сена.

Решающую помощь в выборе оказал запущенный в 1996 году итало-голландский спутник ВерроСах. Полученные им результаты стали настоящим прорывом в области исследования гамма-всплесков — и это несмотря на его вполне скромный бюджет.

Как видим, даже в современной науке такая ситуация еще возможна.

А причиной успеха стало то, что, помимо гамма-детектора, на борту ВерроСах был размещен и рентгеновский телескоп, а сам спутник был способен достаточно быстро «разворачиваться» в нужную сторону. И, обнаружив 28 февраля 1997 года гамма-всплеск, получивший обозначение GBR 970228 (принципы нумерации понять нетрудно), ВерроСах совершил маневр и «поймал» всплеск рентгеновским телескопом, имевшим угловое разрешение около угловой минуты. А такое разрешение уже позволяло «выдать целеуказание» оптическим телескопам, что и было сделано.

И успех не замедлил последовать. Очень скоро в так называемом «квадрате ошибок» рентгеновского телескопа ВерроСах был обнаружен затухающий оптический источник, расположенный в галактике с красным смещением (как было определено еще немного позднее), равным 0,7.

Иначе говоря, этот гамма-всплеск действительно располагался от нас очень далеко, на космологических расстояниях. Наблюдения новых гамма-всплесков подтвердили тенденцию — как правило (с немногими исключениями) красное смещение

их «родительских» галактик находилось в районе единицы, а то и превышало ее.

Еще более расширить статистику позволил запуск в 2004 году космической обсерватории Swift (совместный проект США, Великобритании и Италии), несущей на борту гамма-детекторы, а также рентгеновский и оптический телескопы. Кроме того, Swift способен практически в режиме реального времени передавать информацию наземным роботизированным сетям оптических телескопов. Так что сейчас космологическую природу гамма-всплесков можно считать доказанной.

На всякий случай заметим, что ничто, конечно, не мешает гамма-всплескам рождаться и в близких галактиках — и даже в нашей. Просто чем больше расстояние, тем больше галактик мы видим, и тем больше вероятность обнаружить что-то интересное. При условии достаточной светимости, конечно, но уж с этим-то у гамма-всплесков никаких проблем нет, скорее напротив.

Именно поэтому решение вопроса о природе гамма-всплесков немедленно вызвало к жизни новую загадку. Если даже из предположения о галактической природе гамма-всплесков получились громадные энергии, то теперь энергии эти становились и вовсе запредельными! Тот же GRB 970228 в одном только гамма-диапазоне «высветил», получается, около $1,6 \times 10^{52}$ эрг, если считать, что энергия была выделена во все стороны равномерно. А еще более энергичный GRB 990123 — выделил аж 2×10^{54} эрг.

Если бы такая вспышка произошла на другом конце нашей Галактики, то на небе она бы «сияла» (в гамма-диапазоне) как полуденное Солнце!

Помочь объяснить светимость, сравнимую со светимостью всей видимой Вселенной, скорее всего, не способен ни один известный нам физический механизм. «Спасуют», думается, даже черные дыры. Поэтому общепринятой сегодня является модель «несимметричного» взрыва.

То, что мы видим, выделяется в достаточно узкой «струе»-джете. Более того, есть модели, где таких джетов — два, «вложенных» друг в друга.

Таким образом, около трех четвертей всей энергии выделяется во все стороны примерно равномерно. Но энергия эта, конечно, гораздо меньше, чем получалась из прямого пересчета видимой части на сферически-симметричный взрыв. Еще 20 процентов выделяется в джете с углом раствора примерно 20 градусов, а оставшиеся 5 процентов — в «центральном» джете с углом раствора не более 3 градусов. И в этом, центральном джете, — самые большие энергии гамма-квантов и самые высокие скорости частиц, их излучающих.

Так называемый гамма-фактор этих частиц, характеризующий их скорость, может превышать 200, т. е. отношение скорости частиц к скорости света отличается от единицы лишь в пятом знаке после запятой!

И это еще одно объяснение огромных наблюдаемых энергий. То, что частицы излучали на протяжении дней или, возможно, даже месяцев, мы «принимаем» всего за несколько секунд. И эффект получается поразительный — так, когда мы, судя по всему, попали в «центральный» джет гамма-всплеска GRB 080319B, произошедшего в 2008 году, Swift на некоторое время «ослеп».

Кстати, оптическое послесвечение этого гамма-всплеска теоретически можно было наблюдать невооруженным глазом — оно достигло примерно 5,3 звездной величины.

С учетом всех эффектов — несимметричности взрыва и больших гамма-факторов — энергетика гамма-всплеска становится сравнимой с энергетикой Сверхновой. И, скажем сразу, именно со Сверхновыми и связывают так называемые «длинные» гамма-всплески.

Дело в том, что гамма-всплески четко делятся на две большие группы. «Короткие» гамма-всплески имеют продолжительности в районе секунды, «длинные» — до десятков и даже сотен секунд. Кроме того «короткие» гамма-всплески более «жесткие» (больше энергии находится в более энергичной части спектра), «длинные» — более мягкие.

На связь «длинных» гамма-всплесков и сверхновых указывает много факторов. Начиная от того, что «длинные» гамма-



*Рис. 3. Крабовидная туманность.
Снимок получен на телескопе VLT*



*Рис. 14. Комета Хейла-Боппа, 1997.
Любительский снимок В.А. Михалина*

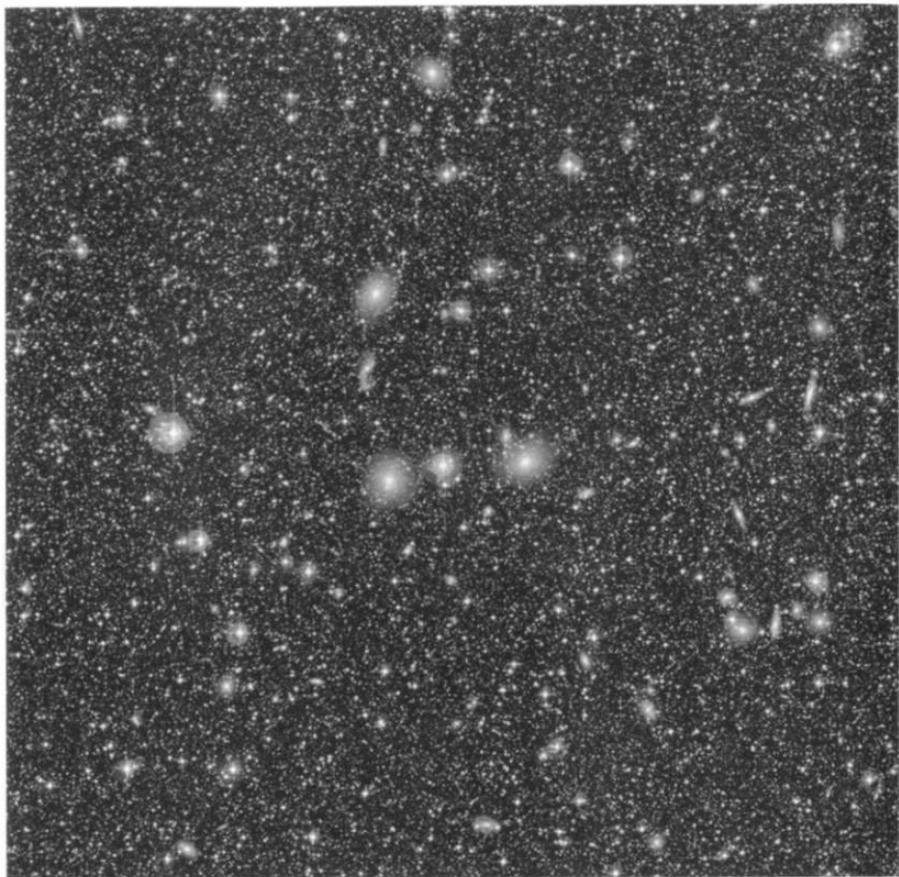


Рис. 46. Сверхскопление Норма

всплески наблюдаются только в галактиках с сильным звездообразованием (причем, как правило, именно в областях звездообразования), и заканчивая тем, что в пределах одного дня после гамма-всплеска в его «родительской» галактике Сверхновая действительно обычно наблюдалась.

Так что сомнений в их связи ученых практически не осталось. Более того, была разработана даже единая модель для гамма-всплесков, рентгеновских вспышек и собственно Сверхновых, напоминающая единую модель для активных галактических ядер, о которой еще будет рассказано в соответствующем разделе книги. А именно: если мы смотрим «вдоль» джета — видим гамма-всплеск, чуть «со стороны» — видим рентгеновскую вспышку, наконец, если «сбоку» — то Сверхновую.

Однако все оказалось не так просто. Если каждый, по-видимому, «длинный» гамма-всплеск — Сверхновая, то далеко не каждая Сверхновая — гамма-всплеск.

Во-первых, гамма-всплески, судя по всему, дают не просто Сверхновые, а Гиперновые. Это очень яркие Сверхновые с массой звезды больше 25 масс Солнца, остатком которых после взрыва является черная дыра.

А, во вторых, и не каждая Гиперновая дает гамма-всплеск. У многих Гиперновых при наблюдении в радиодиапазоне не удалось найти даже следов джета — неперменного атрибута гамма-всплеска¹.

По-видимому, для образования гамма-всплеска требуются некие дополнительные условия, на роль которых обычно выводят очень большой момент вращения звезды-«прародительницы» и/или ультрасильное магнитное поле.

А что же с «короткими» гамма-всплесками? Такие гамма-всплески образуются во всех типах галактик, и никакой связи со Сверхновыми обнаружить не удалось. Так что самая популярная гипотеза об их происхождении — это слияние двух нейтронных

¹ Чтобы увидеть джет в радиодиапазоне он обязательно должен быть направлен в нашу сторону. — *Примеч. авт.*

звезд в черную дыру. Модель была предложена еще в 1984 году советским ученым С.И. Блинниковым, но своей актуальности не потеряла и поныне. Не столь уж частое явление в быстро меняющемся мире современной астрофизики!

Ну, и в завершении разговора о гамма-всплесках коснемся не-много вопроса (уже возникшего, думаем, у многих читателей) об их возможной угрозе для жизни на Земле.

Увы, тут нам утешить «любопытных» нечем. Если нас накроет «прожектором» даже не очень мощного, но близкого гамма-всплеска с расстоянием до него около 10 световых лет, то эффект будет эквивалентен взрыву атомной бомбы на каждом гектаре земной поверхности. Последствия, думаем, можно не комментировать.

Увеличение расстояния в 100 раз, до достаточно солидной дистанции в 300 пк, снизит эффект до одной бомбы на квадрат со стороной 10 км. Что тоже, прямо скажем, положение сильно не облегчает.

Однако события эти вполне редкие. По оценкам, гамма-всплески происходят с частотой примерно один всплеск на одну галактику раз в миллион лет, максимум — 100 тысяч. Плюс — надо учитывать уже упомянутую сильную несимметричность взрыва, с достаточно малыми шансами попасть в самое «горячее» место даже при относительно близком взрыве.

И хотя (как же без этого-то?) гамма-всплески тоже уже успели «назначить» на роль причины вымирания все тех же несчастных динозавров, волноваться на этот счет читателям мы не советуем. Вероятность погибнуть в любом из вполне «земных» катаклизмов неизмеримо выше.

А учитывая уже упомянутые огромные гамма-факторы в джете вспышки, даже если нам очень, очень сильно не повезет — тут не получится даже испугаться.

Просто не успеть...

ЧАСТЬ V

МИР ГАЛАКТИК

1. ОСТРОВА ВСЕЛЕННОЙ

Как мы знаем, звездную природу Млечного Пути установил еще Галилей, имея в своем распоряжении очень несовершенный телескоп с весьма скромной апертурой. Неровная, не имеющая резких границ полоса Млечного Пути, временами разделенная на отдельные рукава облаками пыли, простирается через все небо, достигая наибольшей ширины и яркости в созвездии Стрельца. В противоположной точке небосвода Млечный Путь, напротив, какой-то «неубедительный» — менее широкий и менее яркий. Из этого наблюдательного факта последовал закономерный вывод: мы живем в огромном сплюснутом звездном облаке и наблюдаем его с ребра.

Уильям Гершель, список научных заслуг которого громаден, используя метод «звездных черпков», первым попытался определить форму и размеры нашей огромной звездной системы, названной Галактикой — от греческого «галактиос», что означает «млечный». Задача была непростая и чреватая ошибками, поскольку У. Гершель еще не имел представления о межзвездной поглощающей материи. В конце концов у него получилась структура наподобие толстой линзы с сильно изрезанными краями, причем Солнце оказалось почти точно в центре Галактики. Хорошо зная, что это не так, воздержимся все же от насмешек по адресу великого астронома. Пожалуй, на современном ему уровне знаний нельзя было достичь большего.

Догадка о том, что звездная система Млечного Пути может быть всего лишь одной из бесчисленного множества подобных систем, была высказана в 1734 году шведским философом Эммануилом Сведенборгом. У. Гершель также предположил, что по крайней мере некоторые светлые туманности, трактуемые в то время как сравнительно близкие к нам протозвездные облака, на деле могут являться очень далекими «звездными островами», неразрешимыми на звезды по причине громадного рас-

стояния до них, — галактиками (с малой буквы, в отличие от нашей Галактики). Правда, наблюдая в 1785 году планетарную туманность NGC 1514, он отчетливо увидел в центре ее одиночную звезду, окруженную туманным веществом. Существование подлинных туманностей, заведомо находящихся в пределах Галактики, было таким образом подтверждено, и отпала необходимость думать о туманностях как о далеких звездных системах. Уже на закате жизни, в 1820 году, У. Гершель говорил, что за пределом нашей собственной системы все покрыто мраком неизвестности.

На самом деле среди наблюдаемых Гершелем туманностей было немало галактик. Проблема заключалась лишь в том, чтобы отождествить их. Величайший астроном Уильям Гершель, имевший в своем распоряжении крупнейшие на то время телескопы, не смог решить эту проблему. По-настоящему открытие галактик состоялось только в XX веке...

И неспроста. Сколько галактик, не считая Млечного Пути, можно увидеть на небе невооруженным глазом? Туманность Андромеды, Туманность Треугольника (только при очень хорошем небе), а в южных широтах — Большое и Малое Магеллановы Облака (БМО и ММО). И только. Уже 10-см телескоп покажет десятки галактик, 20-см — многие сотни. Начиная с 16-й звездной величины количество галактик в поле зрения телескопа начинает превышать количество звезд. Но и телескоп с метровой апертурой, которому доступно великое множество слабых галактик, не сможет разрешить на звезды даже близкую галактику, если в качестве приемника света использовать глаз. Фотография с длительной экспозицией — совсем иное дело. Но фотография начала широко применяться в астрономии лишь на рубеже XIX–XX веков.

В 1890 году Агния Клерк в книге о развитии астрономии в XIX веке писала: «Можно с уверенностью сказать, что ни один компетентный мыслитель перед лицом существующих фактов не будет утверждать, что хотя бы одна туманность может быть звездной системой, сравнимой по размерам с Млечным

Путем». Курьез? Конечно. Но история науки полна таких курьезов. Профессор ГАИШ¹ Ю.Н. Ефремов, приведший эту цитату в своей книге «Звездные острова», замечает далее: «Хотелось бы знать, какие из нынешних столь же категоричных утверждений окажутся со временем столь же неверными...»

Какие — не знаем. Но в том, что какие-нибудь да окажутся, нет сомнений. Жаль разочаровывать тех читателей, которые непременно желают получить точные и окончательные ответы на все имеющиеся у них вопросы, но с «окончательными» ответами у науки всегда дело обстояло неважно. Тому, кто не мыслит жизни без знания «истины в последней инстанции», лучше обратиться не к науке, а к религии — любой, на выбор. Или посетить ясновидца.

Но вернемся к теме. Как только в близких галактиках, разрешенных на звезды с помощью крупнейших на то время телескопов, оснащенных фотокамерами, были найдены цефеиды, все стало на свои места. Многие туманности с эллиптической, спиральной или неправильной структурой оказались не жителями Млечного Пути, а самостоятельными «звездными островами» — галактиками. Учет поглощающей свет материи, сплошь и рядом довольно произвольный, не менял картину качественно — галактики могли находиться дальше от нас, могли ближе, но все равно оставались вне пределов Млечного Пути. По сути только тогда была открыта и наша Галактика — вовсе не одинокий «звездный остров» в безбрежном океане пустоты, а рядовая структура, одна из очень и очень многих. К слову сказать, количество галактик, находящихся в той части Вселенной, которая в наше время доступна изучению, оценивается примерно в 100 млрд. Галактик в ней не меньше, чем звезд в крупной галактике.

Несмотря на такое изобилие галактик, им совсем не тесно: даже наблюдаемая доля Вселенной достаточно велика, чтобы галактики могли удобно в ней разместиться, и при этом оста-

¹ Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга. — Примеч. авт.

нется еще много свободного пространства. Типичное расстояние между яркими галактиками составляет 5–10 млн световых лет; оставшийся объем занимают карликовые галактики и межгалактическая среда. Однако если принять во внимание размеры галактик, то окажется, что галактики относительно гораздо ближе друг к другу, чем, например, звезды в окрестностях Солнца. Диаметр звезды пренебрежимо мал по сравнению с расстоянием до ближайшей соседней звезды. Диаметр Солнца немногим меньше 1,5 млн км, а расстояние до ближайшей к нему звезды в 50 млн раз больше.

Иное дело — мир галактик. Расстояния между ними огромны в абсолютном исчислении, но велики и сами галактики. Для наглядности мысленно уменьшим их размеры до размера среднего человека. Тогда в типичной области Вселенной яркие галактики будут находиться примерно в 100 м друг от друга, а карликовые, конечно, ближе, поскольку и в мире галактик выполняется универсальный закон, согласно которому крупных объектов намного меньше, чем всякой мелюзги. Вселенная в этой модели напоминает футбольное поле с большим свободным пространством между игроками. Лишь в некоторых местах, где галактики собираются в тесные скопления, наша модель Вселенной была бы похожа на спокойную пешеходную улицу, и только в центрах некоторых скоплений — на оживленную пешеходную улицу. Но даже и там не было бы ничего похожего на давку в метро в час пик.

Галактики удивительно разнообразны. Как классифицировать их?

Прежде всего по массе и светимости. Коль скоро мы можем (не всегда, впрочем, уверенно) оценить расстояние до галактики, то найти ее абсолютную светимость, являющуюся совокупной светимостью всех ее звезд, не составит труда.

Деление галактик на гигантские, средние и карликовые появилось давно. В 1960 году Сидней ван дер Берг предложил разделить галактики по светимости на 5 классов: сверхгигантские, яркие гигантские, гигантские, субгигантские и карликовые. К сверхгигантским он отнес галактики ярче $-20,5^m$; к карлико-

вым — слабее $-15,5^m$. Любопытно, что наша Галактика, имеющая светимость $-20,6^m$, относится к сверхгигантским галактикам, хотя и на грани с яркими гигантскими. Желающие могут утешиться тем, что хотя наше Солнце — самая заурядная звезда, зато наша Галактика не какая-нибудь, а сверхгигантская! Впрочем, ее ближайшая яркая соседка M31 (Туманность Андромеды) ярче на целую звездную величину, т. е. в 2,5 раза, а светимость галактики NGC6166 еще выше: $-22,0^m$. На другом конце шкалы находятся убогие карликовые системы вроде галактики GR8 с ее абсолютной звездной величиной $-11,0^m$ и еще более слабые.

Гораздо труднее оценить массу галактики. Впрочем, для многих галактик это уже сделано. Особых сюрпризов не возникло: в общем-то, как и следовало ожидать, яркие галактики оказались более массивными, а карликовые — менее массивными. Хотя здесь есть особенности, о которых пойдет речь ниже.

Галактики не похожи друг на друга и чисто внешне. Некоторые из них ровные и круглые, другие имеют вид пушистых спиралей с разным количеством спиральных рукавов, а у некоторых не наблюдается никакой или почти никакой структуры. Следуя пионерской работе Эдвина Хаббла, опубликованной в 20-х годах XX века, астрономы подразделяют галактики по форме на три основных типа: эллиптические, спиральные и неправильные, обозначаемые соответственно E, S и Irr. С тех пор появились и иные классификации галактик, но хаббловская классификация все еще остается актуальной.

Эллиптические галактики характеризуются в целом эллиптической формой и не имеют никакой другой структуры, кроме общего падения яркости по мере удаления от центра. Падение яркости описывается простым математическим законом, который открыл Хаббл. На языке астрономов это звучит так: эллиптические галактики имеют концентрические эллиптические изофоты — условные линии, проведенные через точки с равной яркостью. Изофоты эллиптической галактики похожи на изображение округлого холма на топографических картах — те же вложенные друг в друга эллипсы с общим центром.

Подтипы эллиптических галактик обозначаются буквой E, за которой следует число n , определяемое по формуле $n = 10(a - b)/a$, где a и b — большая и малая полуоси какой-либо изофоты галактики. Таким образом, эллиптическая галактика круглой формы будет отнесена к типу E0, а сильно сплюснутая может быть классифицирована как E6. Предел — E7. Более сплюснутые эллиптические галактики не обнаружены. По-видимому, их просто не бывает.

Причина сплюснутости E-галактик не имеет отношения к их вращению, довольно медленному, надо сказать. По-видимому, сплюснутость определяется характером орбит входящих в эти галактики звезд. Каждая звезда эллиптической галактики обращается вокруг центра массы по своей орбите, имеющей свой наклон к галактическому экватору, причем могут быть звезды, обращающиеся даже в противоположную сторону, но все же эллиптическая галактика как целое имеет некое преимущественное направление вращения и некий интегральный момент вращения. Но возникает вопрос о действительной, а не кажущейся сплюснутости. В самом деле: коль скоро ориентация галактики к наблюдателю произвольна, то, может быть, шарообразных галактик E0 вообще не существует, а существуют только чечевицеобразные, одни из которых мы видим сбоку, а другие — плашмя?

Помочь разобраться могут только статистические методы. Для простоты предположим, что все эллиптические галактики во Вселенной принадлежат к типу E7, а ориентация их к наблюдателю случайна. Не составит большого труда вычислить, какой процент эллиптических галактик при данном предположении мы увидим как E0, E1 и т. д. Классифицировав несколько сотен (чем больше, тем лучше) E-галактик по их внешнему виду, мы неизбежно придем к выводу: малосплюснутые и вообще не сплюснутые эллиптические галактики существуют на самом деле, а не только вследствие «удачного» расположения наблюдателя.

Диапазон масс E-галактик огромен: от 10^5 до 10^{13} масс Солнца. Упомянутая выше галактика NGC6166, чья масса оценивается

в $1,4 \times 10^{13}$ (14 триллионов!) масс Солнца, является эллиптической. Будь эта галактика спиральной, ее и без того колоссальная светимость была бы еще выше!

Факт есть факт: эллиптические галактики светят минимум на порядок тусклее, чем равные им по массе спиральные и неправильные системы. В чем причина такой «несправедливости»?

В возрасте звездного населения. В эллиптических галактиках практически нет газа, и уже очень давно. Новым звездам просто не из чего образовываться. Звезды эллиптических галактик очень стары — большинству из них свыше 10 млрд лет. Это значит, что яркие, массивные звезды в эллиптических галактиках уже давно «выгорели», превратившись либо в черные дыры, либо в нейтронные звезды, либо в белые карлики, а остались лишь звезды с массами порядка солнечной и ниже. Вспомним, что светимость звезды зависит от ее массы резко нелинейно, т. е. звезд в E-галактиках может быть много, но это тусклые звезды. Вдобавок подавляющая часть их относится к субкарликам, а мы помним, что они «при прочих равных» светят слабее. Эллиптическим галактикам приходится «расплачиваться» слабой светимостью за бурное звездообразование в начале их жизни, не оставившее свободного газа.

Впрочем, бывают исключения. Если эллиптическая галактика наберет откуда-нибудь газа (например, при столкновении с другой, богатой газом, галактикой), то звездообразование в ней может возобновиться. Такова, например, галактика NGC205 (M110), являющаяся спутником Туманности Андромеды (рис. 21, цв. вклейка). В NGC205 есть небольшое количество бело-голубых звезд, явно молодых. Этого достаточно, чтобы отнести указанную галактику к разряду так называемых пекулярных — немногочисленных «уродцев», выбивающихся из общего правила, — и обозначить ее как E5pec.

У спиральных галактик хорошо заметно плоское спиральное распределение яркости вокруг утолщенного ядра, проще говоря, они имеют спиральный узор, если смотреть на них «анфас», и хорошо заметную полосу темной материи вдоль галактическо-

го экватора, если смотреть с ребра. Идеальные спиральные галактики имеют две спиральные ветки (рукава), исходящие либо прямо из ядра, либо из двух концов бара (перемычки), в центре которого расположено ядро. Английское слово «бар» помимо значений «прилавок», «стойка», «питейное заведение» имеет также значения «полоса», «брус». Отсутствие либо наличие бара позволило разделить спиральные галактики на два основных подтипа: нормальные спиральные галактики (S) и пересеченные спиральные галактики (SB). Нормальных спиральных галактик раз в сто больше, чем пересеченных. Дальнейшее разделение спиральных галактик на подтипы проводится по следующим трем критериям: 1) относительной величине ядра по сравнению с размерами всей галактики; 2) по тому, насколько сильно или слабо закручены спиральные ветви, и 3) по фрагментарности спиральных ветвей.

К типу Sa (или SBa) относят галактики с очень обширной ядерной областью и сильно закрученными, почти круговыми ветвями — непрерывными и гладкими, а не фрагментарными (рис. 22, цв. вклейка). Если такая галактика наблюдается с ребра, то прежде всего виден хорошо выраженный балдж — центральное утолщение, отчасти напоминающее эллиптическую галактику. Также можно видеть довольно узкую полосу пылевой материи, протянувшуюся вдоль галактического экватора. Спиральные рукава не отходят далеко от балджа.

Галактики Sb и SBb имеют относительно небольшую ядерную область при не очень сильно закрученных спиральных ветвях, которые разрешаются на отдельные яркие фрагменты (рис. 23, цв. вклейка). Если спиральные рукава имеют ответвления, то их количество мало. «В профиль» эти галактики более сплюснуты, а темная полоса вдоль галактического экватора выражена более резко.

Наконец, галактики Sc и SBc (рис. 24, цв. вклейка) характеризуются сильно фрагментированными обрывочными спиральными рукавами. У галактик SBc даже бар разрешается на отдельные фрагменты. Ядерная область весьма мала по сравнению с разме-

рами галактики, балдж иногда едва выражен, рукава отходят от него резко и на большое расстояние, число ответвлений от них велико. С ребра видно, что галактика сильно сплющена, а пересекающий ее по экватору пылевой диск густ и широк.

Диапазон масс спиральных галактик не столь велик — массы большинства из них заключены в пределах от 10^9 до 10^{11} масс Солнца. В среднем наиболее массивны галактики Sa и SBa, а наименее — галактики Sc и SBc (рис. 25, 26, цв. вклейка).

Массы неправильных галактик еще меньше — опять-таки в среднем. К неправильным галактикам Хаббл отнес все объекты, которые не удавалось причислить ни к эллиптическим, ни к спиральным. Большинство неправильных галактик очень похожи друг на друга — в том смысле, что примерно так же похожи друг на друга все на свете кучи мусора. Индивидуальные различия между кучами могут быть велики, но мы никогда не примем кучу мусора за сарай или, например, за трактор. Отсутствие упорядоченной структуры — вот первый и самый наглядный атрибут мусорной кучи. Неправильные галактики в большинстве своем фрагментарны до чрезвычайности, в них можно различить отдельные наиболее яркие звезды, скопления и сверхскопления, а также области горячего излучающего газа. Некоторые неправильные галактики имеют хорошо заметный бар, или, во всяком случае, структуру, которую можно трактовать как бар, и есть неправильные галактики (рис. 28, цв. вклейка), в которых наблюдаются обрывки структуры, напоминающей фрагменты спиральных рукавов. В некоторых вариантах хаббловской классификации существовал особый тип Sd, предназначенный для чрезвычайно сильно растрепанных спиралей. По мнению Хаббла, неправильные галактики, являющиеся, условно говоря, «кучей мусора», пусть и с остатками структуры, и названные им типом Igg I, являются крайним продолжением типа спиральных галактик, но уже не являются спиральными. В самом деле, если в куче мусора мы обнаружим разбитый кинескоп от телевизора и задний мост грузовика, это не превратит кучу ни в телевизор, ни в грузовик.

Другие необычные галактики, отнесенные в исходном варианте хаббловской классификации к неправильным, похоже, никак не связаны с более привычными неправильными объектами — из-за неправильной формы, наличия большого количества пыли и других аномалий. Эти объекты были объединены в тип Iгг II, но в ходе последующих пересмотров хаббловской классификации многие из них были отнесены к другим типам. Например, галактики с плоским диском, напоминающим диски спиральных галактик, но без спиральных ветвей, были объединены в тип So. Некоторые галактики до сих пор не удается классифицировать, и многие из них, как оказалось в дальнейшем, представляют собой взаимодействующие пары либо являются местом бурных процессов.

2. ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИК

Еще со времен Хаббла астрономы пытались установить, под действием каких процессов галактики принимают ту или иную форму. В некоторых ранних теориях предполагалось, что разные типы галактик представляют собой эволюционную последовательность. Считалось, что галактики возникают как объекты одного типа и постепенно в ходе эволюции превращаются в галактики других типов. Согласно одной из таких гипотез, галактики начинают свой путь как эллиптические, постепенно сплющиваясь от E0 к E7, затем у них развивается спиральная структура, и галактики эволюционируют от Sa к Sc (или от SBa к SBc), после чего эта структура распадается, вследствие чего объект превращается в хаотическую неправильную галактику. Другие астрономы предполагали противоположное направление эволюции: галактики возникают как неправильные, закручиваясь, превращаются в спиральные и завершают свою эволюцию в простой и симметричной эллиптической форме. В основе обеих теорий лежал ошибочный постулат о том, что тип галактики связан с ее возрастом. Ни одна из этих теорий не опиралась на какой-либо физический фундамент, и обе были опровергнуты многолетними исследованиями. Как только астрономы поняли процесс звездной эволюции и научились определять возраст звезд (это стало возможным в 50-х годах XX века), оказалось, что галактики всех типов имеют примерно одинаковый возраст. Почти в каждой галактике присутствует хотя бы несколько звезд с возрастом в несколько миллиардов лет. Отсюда следует, что ни эллиптические, ни неправильные галактики не могут быть старше остальных.

Пусть читателя не вводят в заблуждение сказанные ранее слова о старости звездного населения в E-галактиках и молодости по крайней мере части звезд в S- и Irr-галактиках. Мы говорим здесь о возрасте галактики как объекта, единой системы звезд.

Элементы же, составляющие эту систему, могут быть значительно моложе. Хорошая аналогия: возраст деревьев в лесу может совпадать с возрастом леса, а может быть и значительно меньше его.

Еще одно затруднение для теорий перерождения галактик из одного типа в другой связано с небольшой, как правило, массой неправильных галактик. Трудно ответить на вопрос, куда девается большая часть массы спиральной галактики при ее перерождении в неправильную галактику. В конце концов от плодотворной, казалось бы, идеи объединить разные типы галактик в единую эволюционную последовательность астрономам пришлось отказаться точно так же, как несколько ранее они отказались от наивных представлений об эволюции звезд *вдоль* главной последовательности диаграммы Герцшпрунга—Рессела...

Зато не вызывал сомнений наблюдательный факт: форма галактики связана со скоростью образования в ней молодых звезд *уже после* ее рождения, а следовательно, и с распределением звезд по возрастам. Прямой зависимости здесь нет, скорее, речь идет о двух следствиях, вытекающих из одной причины. В современную эпоху звездообразование наиболее бурно протекает в галактиках типа Irr I, менее активны галактики Sc, еще менее — Sb и т. д., вплоть до эллиптических галактик, настолько не склонных порождать звезды, что наличие хоть какого-то количества молодых звезд в такой галактике уже дает повод причислить ее к пекулярным.

Эти результаты навели исследователей на мысль о том, что последовательность хаббловских типов упорядочивает галактики по степени сохранения ими газа и пыли. Неправильные галактики сберегли значительную часть своего газа и своей пыли для постепенного рождения все новых и новых звезд, в то время как эллиптические галактики израсходовали почти весь свой исходный газ на первую взрывную вспышку звездообразования. Согласно современным представлениям, теперь уже подтвержденным результатами всевозможных исследований, два важнейших фактора, определяющих форму галактики, —

это, во-первых, начальные условия (масса и момент вращения) и, во-вторых, окружение (т. е. членство в скоплениях галактик или наличие близких спутников). В этом отношении галактика похожа на человека: ее характер зависит как от «наследственности», так и от «воспитания», т. е. «общества», в котором она «росла».

Общепринятая (хотя есть и альтернативные теории) в настоящий момент времени теория Большого Взрыва предполагает, что расширение Вселенной началось с состояния исключительно высокой плотности и температуры. Уже разбегание галактик и наличие реликтового излучения говорят о том, что Вселенная в начале своей истории была весьма горяча и весьма мала — этакая гипермассивная «капля». По какой-то причине она взорвалась, и результаты этого процесса, случившегося, по современным оценкам, около 14 млрд лет назад, мы наблюдаем в виде всей совокупности населяющих Вселенную объектов — от галактик и диффузной материи до нас с вами.

Для сегодняшнего читателя это сплошная банальность, но 50–60 лет назад идея о начале Вселенной плохо укладывалась в головах, ушибленных однобоко понятым диалектическим материализмом. Если Вселенная возникла «вдруг», то что же было до нее? Тот следующий из ОТО Эйнштейна факт, что в колоссальном поле тяготения первичной «капли» понятие времени теряет смысл, не принимался во внимание. К тому же в те годы некоторые группы исследователей определили постоянную Хаббла (коэффициент, связывающий скорость галактики с расстоянием до нее) с большой ошибкой, что привело их к ошеломляющему выводу: возраст Вселенной не превышает 2–3 млрд лет!

Это уже ни в какие ворота не лезло. Впрочем, критиков Хаббла и его последователей взбеленила не ошибочная датировка, а сам вывод о «начале Вселенной». Теории расширяющейся Вселенной именовались мракобесными попытками подпольно протащить бога в естествознание. Известный советский астроном Б.А. Воронцов-Вельяминов писал в те годы о «мракобесах» вроде Хаббла: «Стараясь такими теориями поддержать отми-

рающее, реакционное идеалистическое мировоззрение, они нередко доходят до полной поповщины и абсурда. Так, английский астрофизик Милн договорился до того, что с серьезным видом преподнес результат своих расчетов: расширяясь, вселенная была раньше сосредоточена в одной точке, где она возникла вся сразу (т. е. в согласии с Библией), и было-де это... как раз 2–3 млрд лет тому назад, когда, по всем данным, сформировалась земная кора. “Вот она, дата сотворения мира”, — говорит Милн».

Характерно, что в этой цитате слово «вселенная» было написано со строчной буквы, поскольку советская астрономическая наука того времени отрицала саму возможность существования иных вселенных и, следовательно, не видела необходимости выделять нашу Вселенную написанием с прописной буквы. Вселенная считалась единственной, бесконечной в пространстве и времени. Разлет галактик трактовался либо как местная флуктуация, либо как результат каких-то еще не понятых изменений в свойствах света на больших расстояниях, а в борьбе с необратимостью эволюции материи во Вселенной постулировалось существование каких-то неведомых источников поступления газа.

Сейчас нам известно, во-первых, что земная кора образовалась значительно раньше, чем 2–3 млрд лет назад, а во-вторых, что прав оказался все-таки Хаббл, хотя путаница в датировке Большого Взрыва продолжалась еще долго (строго говоря, некоторая неопределенность значения постоянной Хаббла сохраняется и теперь). И поповщина тут совершенно ни при чем. Замечательный советский астроном И.С. Шкловский высказался четко и лаконично: с точки зрения материалиста, главными критериями Вселенной являются ее объективное существование и познаваемость. И только. Вселенная совершенно не обязана подстраиваться под наши сплошь и рядом наивные представления о ней. Ей в высшей степени безразличны все на свете философские доктрины. Приходится изучать и осмысливать то, что есть на самом деле, а не то, что нам хотелось бы.

Итак, сверхплотное и сверхгорячее состояние Вселенной завершилось Большим Взрывом. Физические процессы, описывающие эволюцию Вселенной, могут быть довольно надежно прослежены до момента, когда плотность и температура становятся достаточно низкими, чтобы стало возможным образование галактик. Примерно 300 тыс. лет потребовалось для того, чтобы Вселенная расширилась и остыла настолько, что вещество стало играть в ней важную роль. До этого преобладало излучение, и сгустки вещества, такие как звезды и галактики, не могли образовываться. Однако, когда температура понизилась примерно до 3000 К, а плотность — до $\sim 10^{-21}$ г/см³ (значительно меньше плотности земной атмосферы, но по меньшей мере в миллиард раз больше современной плотности Вселенной), вещество наконец смогло формироваться. В это время в достаточных количествах могли образовываться лишь атомы водорода и гелия.

Если бы распределение вещества и температуры во Вселенной было полностью однородным, никакие галактики образоваться бы не смогли. Следовательно, должны были существовать некие начальные неоднородности. Что это за неоднородности и откуда они взялись?

В длинном перечне научных заслуг Джеймса Джинса особое место занимает его теория конденсации вещества под действием гравитации. Правда, идеи Джинса основывались не на релятивистской модели, а на более простой ньютоновской, но с некоторыми оговорками они актуальны и сейчас. По Джинсу, гравитационная неустойчивость возникает, когда сгусток более плотного вещества (называемый возмущением) становится достаточно малым и плотным. Характерный размер возмущений плотности, которые являются только слегка неустойчивыми, называется джинсовской длиной, и, как было установлено, она зависит от скорости звука в среде, постоянной тяготения и плотности вещества.

Джинсовская масса определяется как масса вещества, которая может стать неустойчивой и начать сжиматься под действием собственного гравитационного поля. Согласно расчетам,

в начале «эры вещества» джинсовская масса составляла около 100 тыс. солнечных масс, следовательно, в тот период истории Вселенной возмущения с такими массами и больше (что включает все известные галактики) должны были стать неустойчивыми и сжаться.

Нам «на бытовом уровне» умозрительно понятно, что на свете нет ничего строго однородного. Особенно неоднородны системы, находящиеся в динамике. Неоднородна вода в реке, неоднородна земная атмосфера, утощающая нас то циклоном, то антициклоном, а то и ураганом, и уж подавно неоднородно расширяющееся облако продуктов взрыва. Но к образованию галактик должны были привести не любые неоднородности, а только те, которые имели тенденцию не сглаживаться, подстраиваясь под общий фон, а усугубляться.

В поисках типа неустойчивости, которая приводит к современной Вселенной, состоящей из галактик, астрономы исследовали много других видов неустойчивости, помимо гравитационных. Среди них — возможное отсутствие баланса вещества и антивещества, тепловые неустойчивости, флюктуации, связанные с ионизацией и ее зависимостью от температуры, вариации распределения заряда и др.

Тепловая неустойчивость, по-видимому, сыграла некоторую роль. Области с повышенной плотностью остывают быстрее, чем их окружение. Снаружи более горячий газ сжимает эти области, повышая их плотность. Таким образом, небольшое локальное возмущение может становиться все более неустойчивым. Подготавливаются предпосылки для гравитационного сжатия.

Об антивеществе следует сказать особо. Собственно, ниоткуда не следует, что Большой Взрыв породил только вещество и не породил антивещества. Тут есть две возможности.

Первая: изначально количество вещества равнялось количеству антивещества. Если бы они были перемешаны равномерно, то полностью аннигилировали бы. Как следствие, Вселенная оказалась бы населена только фотонами разных длин волн, а не

веществом, и некому было бы читать эту книгу, во-первых, потому что ее не существовало бы, а во-вторых, потому что фотоны неграмотны. Но если в распределении вещества и антивещества имелись исходные неоднородности, то аннигиляция не была бы полной. В этом случае часть материи Вселенной состоит из вещества, а другая часть с ее звездами и галактиками — из антивещества. Эти части будут разнесены в пространстве.

Вторая и более вероятная гипотеза предполагает, что вначале количество вещества немного превосходило количество антивещества. После аннигиляции осталось ровно столько вещества, сколько надо для образования галактик.

После достижения индивидуальными протогалактиками гравитационного обособления через какую-либо форму неустойчивости они коллапсируют с образованием галактик значительно меньших размеров, чем размеры первоначальных возмущений, и с большими плотностями, оставляя межгалактическое пространство почти пустым.

Для того чтобы протогалактическое облако сжалось, его кинетическая, магнитная и гравитационная энергии должны быть соответствующим образом сбалансированы. От этого баланса также зависит, какого типа галактика получится из нашего облака после его сжатия.

Это можно объяснить просто — «на пальцах». Пусть мы имеем вращающееся облако газа, сжимающееся под действием собственной гравитации. Из соображений простоты будем считать облако сферическим. Из-за неупругих столкновений между атомами газа оно будет приобретать все более сплюснутую форму. При большой плотности газа и малой скорости вращения активное (даже очень активное) звездообразование в облаке начнет рано, когда сплюснутость будет еще мала. Когда практически весь газ превратится в звезды, облако перестанет сжиматься — ведь звезды, в отличие от атомов, практически никогда не сталкиваются друг с другом. Получится эллиптическая галактика. При малой исходной плотности газа и более солидном моменте вращения активное звездообразование начнется позже, когда

система уже будет сильно сплюснутой. В ней разовьется спиральная структура, и получится спиральная галактика. В обоих случаях первые очаги звездообразования возникают в центре облака и местных локальных уплотнениях, из которых формируются шаровые скопления. Последние всегда концентрируются к центру даже самой плоской спиральной галактики, а не к ее экватору, поскольку они сформировались еще в те времена, когда протогалактика была более или менее сфероидальным объектом.

Наконец, теоретически возможен и третий вариант: полный коллапс облака в сверхмассивный объект — черную дыру, невидимую и практически необнаружимую.

«Зародышами» большинства неправильных галактик стали медленно вращающиеся маломассивные облака. Сжатие их замедлено, звездообразование в них не было «взрывным» и продолжается до сих пор. Можно с натяжкой предположить, что у этих маломассивных объектов (по крайней мере у некоторых из них) все впереди — авось через несколько миллиардов лет они станут более похожи на спиральные галактики.

Конечно, галактика может стать неправильной и при разрушении ее структуры крупной галактикой-соседкой.

Эллиптические галактики, однако, задали астрономам задачу. Слишком уж мал у их звезд общий момент вращения. Существует гипотеза, что E-галактики (по крайней мере некоторые) образовались в результате слияния двух или больше S-галактик или их «зародышей». Наличие второго центра массы увеличивает дисперсию скоростей звезд, происходит хаотизация их орбитальных движений. Газовые облака сталкиваются, приводя к резкому ускорению темпов звездообразования, часть газа оседает к центру. В результате может получиться спиральная галактика со странностями, но при некоторых условиях может образоваться эллиптическая галактика. В целом похоже на то, что на практике реализуются оба сценария формирования E-галактик.

После обретения галактикой формы следующие стадии ее эволюции являются медленными и гораздо менее эффектными.

Звезды образуются, умирают и выбрасывают богатое тяжелыми элементами вещество, образующее новые звезды, галактика постепенно тускнеет и краснеет, химический состав ее звездного населения медленно меняется по мере обогащения газа и пыли, из которых образуются последующие поколения звезд, тяжелыми элементами. Этот процесс завершится тогда, когда в галактиках уже не останется пригодной для звездообразования материи. Наступит время, когда галактики будут состоять лишь из нейтронных звезд, черных дыр, остывших белых карликов и многочисленных слабых красных карликов, чей срок пребывания на главной последовательности достигает триллиона лет. Но в конце концов погаснут и они.

3. МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ И НАШЕ МЕСТО В НЕМ

К какому хаббловскому типу относится наша Галактика? То, что она, скорее всего, спиральная, подозревалось давно, но для доказательства долго не хватало наблюдательных фактов. Сто лет назад было известно следующее: мы живем в гигантской звездной системе, насчитывающей сотни миллиардов звезд, эта система, грубо говоря, имеет вид сплюснутого диска поперечником около 30 кпк (100 тыс. световых лет). Центр системы находится в созвездии Стрельца. Солнце располагается довольно далеко от центра системы, зато почти точно в плоскости галактического экватора. Последнее обстоятельство не должно нас радовать, поскольку именно в экваториальной плоскости Галактики находятся плотные пылевые облака. Для внегалактических объектов давно известна «зона избегания», простирающаяся градусов на 20 в обе стороны от галактического экватора, — другие галактики в этой зоне практически не наблюдаются. Не потому, что их там нет, а потому, что увидеть их мешает пыль. Поглощение света в пылевом слое Галактики чудовищно, поэтому «дальнозоркость» самых крупных оптических телескопов вблизи галактического экватора невелика. Поперек пылевого слоя или под заметным углом к нему — иное дело. Здесь свет хотя и ослабляется пылью, но далеко не так сильно.

В итоге мы не можем видеть (в оптическом диапазоне) центр Галактики. Тем более мы не можем рассмотреть спиральные рукава Галактики — по той же причине, по которой нельзя увидеть звуковую дорожку на старой виниловой грампластинке, если держать ее к себе строго ребром. В финале знаменитого романа И.А. Ефремова «Туманность Андромеды» земляне получают от разумных обитателей Большого Магелланова Облака замечательный подарок — снимок нашей Галактики со стороны упомя-

нутого БМО. И хотя наша Галактика снята «из неудобного поворота», ценность такого подарка чрезвычайно велика.

Но пока — увы — нам ничего не известно ни о существовании внегалактических цивилизаций, ни об их готовности вступить с нами в контакт. Поскольку множественность цивилизаций во Вселенной вообще не доказана, разумнее не ждать подарков от добрых и бескорыстных «андромедян», а искать ответы самим. Они нашлись главным образом с помощью инфракрасной и радиоастрономии.

Нельзя сказать, что пылевая материя совсем уж прозрачна для электромагнитных волн инфракрасного диапазона, однако их поглощение в ИК-диапазоне значительно меньше, чем в оптическом. Используя инфракрасные телескопы, мы можем видеть галактический диск практически насквозь, изучать ядро Галактики, обнаруживать внегалактические объекты, скрытые от нас толщей пылевого диска, и т. д. Однако это мало приближает нас к раскрытию спиральной структуры Млечного Пути.

Наличие спиральных рукавов удобнее фиксировать в радиодиапазоне. Известно, что в спиральных рукавах концентрируются не только группы молодых звезд, но и материя, идущая на их создание, — облака газа. Для простоты предположим, что газ состоит исключительно из водорода, имеющего, как известно, линию поглощения на волне 21 см. Если газ движется относительно нас, то в соответствии с эффектом Доплера сдвинется и линия поглощения. Радиальная скорость каждого рукава относительно нас разная, следовательно, при наблюдении удаленного радиоисточника (например, пульсара, находящегося где-нибудь на краю Галактики) мы получим в его спектре несколько сдвинутых относительно друг друга линий поглощения водорода, и количество их будет равно количеству спиральных рукавов между радиоисточником и нами.

Реальная картина, конечно, много сложнее, но принцип ясен. Мы можем подсчитать количество спиральных рукавов в направлении на каждый удаленный радиоисточник, лежащий вблизи галактической плоскости. Точнее, мы можем лишь определить,

сколько раз пришедшее к нам радиоизлучение пересекало рукава, но не можем сказать, сколько всего спиральных рукавов в Галактике — ведь какой-нибудь сильно закрученный рукав луч может пересечь и дважды. У большинства спиральных галактик два рукава. У Туманности Треугольника (тип Sc) — три главных и еще с десятков обрывочных. У галактики М63, известной также под именем «Подсолнух», — десятки. Но сколько рукавов у Млечного Пути? Например, если спектр удаленного источника имеет четыре провала вблизи длины волны 21 см, это может с равным успехом означать, что Галактика имеет либо 4 рукава, либо 2, но более длинных и более сильно закрученных. А может быть, более четырех, но менее закрученных? Или всего-навсего один, но обернувшийся вокруг ядра 4 раза?

Эта проблема оказалась, мягко говоря, не из легких. Ключ к решению дали работы Вальтера Бааде на 100-дюймовом рефлекторе в 1945–1949 годах. Бааде установил, что в Туманности Андромеды в спиральных рукавах концентрируются прежде всего горячие звезды высокой светимости и эмиссионные туманности, а также пыль и сверхоблака неионизованного газа. Теперь требовалось проделать огромную работу по определению расстояний до этих объектов в Млечном Пути — работа чрезвычайно трудная, скрупулезная и чреватая ошибками. Вдобавок зона, скрытая ядром Галактики, оставалась (и по-прежнему остается) недоступной — не зря она называется «Zona Galactica Incognita».

Тем не менее к настоящему времени астрономы рисуют спиральный узор Млечного Пути с большой степенью уверенности (рис. 29, цв. вклейка). Оказалось, что наша Галактика относится к типу SBb, имеет бар длиной 7–8 кпк, от каждого конца которого отходят по два спиральных рукава (всего, таким образом, их четыре) с углом закручивания 10–12 градусов. На нашу Галактику в целом похожа галактика М109 (рис. 30, цв. вклейка). Не исключено наличие кольца с диаметром, равным поперечнику бара. В обеих галактиках имеются «местные рукава» — ответвления от основных спиральных рукавов. В одном из таких рукавов-ответвлений на расстоянии около 8 кпк от центра Галактики и находится Солнце.

Итак, Млечный Путь — большая, но довольно типичная спиральная галактика. Как таковая она должна иметь два типа звездного населения — сферическую и плоскую подсистемы (прежде их называли звездным населением I и II типов соответственно). Выше мы уже указывали на то, что балджи спиральных галактик напоминают сплюснутые эллиптические галактики. Балджи состоят из звезд, большей частью старых, концентрирующихся к центру, что тоже роднит их с E-галактиками. Балджи окружены обширными галактическими *гало*, являющимися их продолжением и также состоящими из звезд. Гало Млечного Пути далеко простирается за его пределы — найдена, например, принадлежащая гало звезда, расстояние до которой оценивается в 400 тыс. св. лет. Форма гало — несильно сплюснутый сфероид. Концентрация звезд в нем ничтожна по сравнению с балджем и падает по мере приближения к краям гало. Можно представить себе, что мы увидели бы, будь Солнце одной из звезд гало! Вряд ли наше ночное небо украшала бы хоть одна звезда, зато зрелище Галактики, раскинувшейся по всему небу, бесспорно, было бы самое что ни на есть феерическое.

Хотя, конечно, мы даже теоретически не могли бы находиться в гало. Ведь составляющие его звезды — субкарлики, родившиеся из бедной тяжелыми элементами газовой среды и заведомо не имеющие планет земного типа.

К сферической подсистеме относятся также некоторые переменные звезды, а главное, шаровые скопления (рис. 31, 32, цв. вклейка), не обнаруживающие заметной концентрации к галактической плоскости, зато весьма сильно концентрирующиеся к центру. Млечный Путь окружен шаровыми скоплениями, словно роем мошкар. Всего в Галактике их насчитывается около 150, но, несомненно, открыты еще не все. Типичное шаровое скопление — это круглое или слегка сплюснутое сферoidalное образование, состоящее из старых звезд (субкарликов) и отличающееся от эллиптических галактик только размерами (от 11 до 590 пк) и количеством звезд. В типичном шаровом скоплении находится 100 тыс. звезд, иногда несколько миллионов,

тогда как в «нормальной» Е-галактике их по меньшей мере миллиарды.

Шаровые скопления сыграли важную роль в открытии вращения Галактики. В 1925 году была установлена странная асимметрия в направлении движения шаровых скоплений: все они движутся в одну сторону, и скорости их при этом очень велики, по крайней мере в сравнении с собственными скоростями близких к Солнцу звезд, — порядка 200 км/с. Небольшая доля звезд также обладает высокими скоростями и показывает ту же асимметрию движения. Вскоре шведский астроном Б. Линдблад объяснил это тем, что две подсистемы звездного населения Галактики — сферическая и плоская — вращаются по-разному. Плоская — гораздо быстрее. Солнце, входящее в плоскую подсистему, движется по своей галактической орбите со скоростью несколько более 200 км/с. Таким образом, не шаровые скопления движутся «согласованно» и асимметрично, а движется Солнце! И точно так же быстро движутся звезды галактического диска, обращаясь вокруг центра Галактики. Полный оборот Солнце делает примерно за 200 млн лет.

Вообще ситуация с вращением спиральных галактик некоторое время оставалась непонятной: а в какую сторону они, собственно говоря, вращаются? Закручиваются при вращении спиральные ветви или, наоборот, раскручиваются? Бытовые соображения (например, наблюдение за водой, вытекающей в сливное отверстие ванны) говорили о том, что ветки, скорее всего, закручиваются, однако полной ясности все же не было. На первый взгляд, вопрос решался тривиально: надо взять спираль, повернутую к нам под острым углом, и получить спектр одного из его краев — направление доплеровского сдвига тотчас укажет направление вращения. Однако не все так просто — мы ведь не знаем, «верхом» или «низом» к нам повернута галактика. Для решения этого вопроса пришлось искать такую галактику, у которой, во-первых, ясно различается спиральный узор, а во-вторых, не менее ясно видна экваториальная полоса пылевой материи. Только у такой галактики понятно, где «верх», а где

«низ». Когда искомая галактика была найдена, вопрос решился: галактики вращаются так, что их рукава закручиваются, а не раскручиваются. Здравый смысл, почерпнутый близ сливного отверстия ванны, победил.

Однако позвольте: ведь за время существования Галактики (не менее 12 млрд лет, по любым современным оценкам) спиральные ветви должны были закрутиться вокруг центра Галактики несколько десятков раз! А этого не наблюдается ни в других галактиках, ни в нашей. В 1964 году Ц. Лин и Ф. Шу из США, развивая идеи Б. Линдблада, выступили с теорией, согласно которой спиральные рукава представляют собой не некие материальные образования, а волны плотности вещества, выделяющиеся на ровном фоне галактики прежде всего потому, что в них идет активное звездообразование, сопровождающееся рождением звезд высокой светимости. Вращение спирального рукава не имеет никакого отношения к движению звезд по галактическим орбитам. На небольших расстояниях от ядра орбитальные скорости звезд превышают скорость рукава, и звезды втекают в него с внутренней стороны, а покидают с внешней. На больших расстояниях все наоборот: рукав как бы набегает на звезды, временно включает их в свой состав, а затем обгоняет их. Что до ярких ОВ-звезд, определяющих рисунок рукава, то они, родившись в рукаве, в нем и заканчивают свою короткую жизнь, попросту не успевая покинуть рукав.

О причине возникновения спиральных рукавов нельзя сказать ничего, кроме того, что рукава (а при некоторых начальных условиях и бары) возникают при численном моделировании рождения галактики всегда, если заданы достаточно большие масса и момент вращения. Попробуйте сами ответить на вопрос о причине возникновения медленно вращающихся спиральных волн вокруг уже упоминавшегося сливного отверстия в ванне. Вряд ли в голову придет что-либо, кроме глубокомысленного: «Турбуленция...» Само по себе это верно, но процессами, подобными турбуленции, ведают настолько специальные разделы математики, что описать в удобопонятных терминах, почему

она возникает, мы не беремся. Отметим только, что турбулентность — не всегда хаос. Сплошь и рядом она способна создавать структуры вроде конвективных ячеек (помните гранулы на поверхности Солнца?) или спиральных рукавов галактик.

Лишь в галактиках типа Sa (SBa) мы не видим фрагментации рукавов. В галактиках Sb (SBb) и Sc (SBc) рукава фрагментированы. Они фрагментированы и в нашей Галактике. Клочковатость Млечного Пути, представляющего собой по сути ближайший к нам рукав, бросается в глаза и большей частью объясняется распределением вблизи Солнца облаков межзвездной пыли. Большой частью, но не полностью! Известны реальные звездные облака, молодые звезды в которых имеют генетическую связь друг с другом. Например, на расстоянии в 1,5 кпк от Солнца в направлении созвездия Стрельца находится компактное звездное облако размером около 50 пк. Известны и значительно более крупные группировки молодых звезд, иногда достигающие размера в 1 кпк и содержащие миллионы звезд. Такие группировки — их характерный диаметр около 600 пк — называются звездными комплексами.

Звездные комплексы буквально нанизаны на спиральные рукава, как бусины на нить. Нет сомнения в том, что своим происхождением они обязаны втеканием в спиральный рукав большого количества газа и последовавшими за тем волнами звездообразования. Звездный комплекс содержит в себе большое количество рассеянных звездных скоплений, родившихся в результате гравитационного сжатия небольших по сравнению с размерами комплекса газово-пылевых облаков и насчитывающих от десятка до тысячи звезд, несколько звездных ассоциаций большего размера, а также один или несколько *звездных агрегатов*, под которыми понимаются большие полицентрические ассоциации вроде той, что наблюдается в Орионе. Разумеется, в том же объеме пространства находится множество более старых звезд, не обязанных своим рождением данному комплексу, а просто путешествующих сквозь него. Одна из таких звезд нам хорошо известна — это Солнце.

Еще в 1879 году американский астроном Бенджамин Гулд обратил внимание на то, что яркие звезды на небе распределены не равномерно, а концентрируются в некоторую полосу или пояс. Не было бы ничего удивительного в том, если бы его плоскость совпадала с плоскостью Млечного Пути, но дело в том, что между ними угол в 18 градусов. Пояс Гулда представляет собой дискообразную структуру (точнее, грубый сплюснутый сфероид), центр которого лежит примерно в 150 пк от нас, диаметр оценивается в 750 пк, а возраст — в 30 млн лет. Это типичный звездный комплекс, один из многих, и в него входит 60% ярких звезд нашего неба. Агрегат в Орионе с большим количеством молодых звезд и знаменитой туманностью тоже в него входит. Солнце с его орбитальной скоростью, не сильно отличающейся от скорости вращения спиральных рукавов, еще долго останется в пределах пояса Гулда.

На вопрос о том, вокруг чего происходит вращение всех подсистем Галактики, можно ответить так же тупо, как и на вопрос о происхождении рукавов: вокруг ядра. Но что такое галактическое ядро вообще и ядро нашей Галактики в частности?

Долгое время было ясно лишь то, что плотность звезд в ядре на порядки больше, чем в том относительном захолустье, где находится Солнце. Если вблизи Солнца звездная плотность составляет примерно 0,1 звезды на кубический парсек, то в ядре — несколько тысяч звезд на кубический парсек. Внутренняя область ядра еще на два-три порядка плотнее. В ядре изредка могут происходить даже прямые столкновения звезд. А представьте себе тамошнее ночное небо! Понятие «ночь» будет весьма относительным за отсутствием темноты — уж слишком много ярчайших звезд усеют небо невиданной россыпью, и рисунки созвездий будут меняться быстро, на протяжении жизни одного поколения гипотетических аборигенов...

В конце 50-х годов прошлого века в направлении галактического центра был обнаружен радиисточник, получивший название Стрелец А. Были все основания полагать, что он находится в самом ядре. Положение источника было определено с точностью

до десятой доли градуса, и Вальтер Бааде начал безуспешные попытки обнаружения ядра в оптическом диапазоне — сначала на 48-дюймовой камере Шмидта с длительными экспозициями, затем на 200-дюймовом Паломарском рефлекторе. Отчаявшись, Бааде утверждал, что поглощение света перед ядром составляет 9 или 10 звездных величин.

Реальность оказалась еще хуже: позднейшие исследования выявили на месте радиоисточника Стрелец А точечный инфракрасный источник, и оказалось, что поглощение света в оптическом диапазоне составляет 27 звездных величин! Надо заметить, что в настоящее время астрономы могут зафиксировать точечный источник оптического излучения примерно 30-й величины. С протяженными источниками дело обстоит хуже. Но даже ядро было бы точечным источником с яркостью -2^m , галактическая пыль все равно сделала бы ядро невидимым в оптическом диапазоне. Детальные исследования ядра, в частности слежение за движением отдельных звезд, проводятся при помощи инфракрасных телескопов.

Строго говоря, радиоисточник Стрелец А состоит из двух компонентов — западного и восточного. Западный как раз и является сердцевинной Галактики, а восточный — просто молодой остаток Сверхновой. Как ни удивительно, в радиусе 100 пк от центра Галактики обнаружено множество признаков продолжающегося звездообразования. Хотя, если подумать, это не должно нас удивлять. В Галактике еще достаточно газа (~10% вещества, которое может быть обнаружено современными методами). Столкновение газовых облаков между собой приводит к потере ими момента вращения, из-за чего газ (или по крайней мере его часть) стекает к галактическому ядру. То же самое, причем еще более эффективно, происходит при попадании в Галактику газа извне. Если разобраться с балансом газовой материи в Галактики, то окажется, что на звездообразование ежегодно тратится масса газа, примерно равная солнечной массе и в то же время Галактика ежегодно «насосывает» из межгалактической среды, по разным оценкам, от 0,2 до 1 массы Солнца. В куда

бóльших масштабах присвоение Галактикой чужого газа происходит при прохождении сквозь нее другой галактики и при актах галактического каннибализма, о чем пойдет речь ниже. Словом, наличие в ядре газа, пригодного для звездообразования, вполне объяснимо.

То, что в центре ядра находится сверхмассивная черная дыра, подозревалось давно, но лишь к 2003 году были получены убедительные доказательства. Удалось проследить орбиты восьми звезд высокой светимости, расположенных близ галактического центра. Их орбитальные скорости столь велики, что нет нужды завещать продолжение исследования их движений следующим поколениям астрономов. У одной из этих звезд период обращения составляет всего 15 лет. В 1999 году другая звезда промчалась со скоростью 9 тыс. км/с на расстоянии всего лишь 60 а.е. от центрального объекта Галактики. Орбиты всех восьми прослеженных звезд — эллиптические, параметры их найдены, а значит, можно вычислить массу центрального объекта по третьему закону Кеплера. Она составляет около 3 млн масс Солнца. Не чем иным, кроме как черной дырой, такой объект являться не может.

Черная дыра в центре нашей Галактики — довольно скромное по массе образование для подобных объектов и очень спокойное по сравнению с активными ядрами некоторых галактик. Поглощаемая черной дырой материя «кричит от ужаса», преобразуя в излучение до 15% своей массы. Разумеется, электромагнитный «вопль», состоящий в том числе из квантов жесткого излучения, тем сильнее, чем больше вещества падает в черную дыру. Нет сомнений, что в прошлом, когда в центре молодой еще Галактики было гораздо больше диффузной материи, ее «центральный монстр» вел себя гораздо активнее.

Но вернемся к галактической периферии. В последние годы публике стали широко известны понятия «темная энергия» и «темная материя». Эта материя темная не в том смысле, что не пропускает излучения, а в том, что «дело ясное, что дело темное». Любое излучение она как раз пропускает беспрепятственно, ни-

как не взаимодействуя ни с ним, ни с веществом, если не считать единственного взаимодействия — гравитационного. Имеется ли темная материя в нашей Галактике?

Да, имеется, причем ее масса по меньшей мере в разы превышает массу видимого вещества. С некоторых пор астрономы стали замечать, что с вращением периферийных частей спиральных галактик творится что-то несообразное. Близ центра с вращением как раз все в порядке: балдж нашей Галактики вращается как твердое тело до расстояния в 1 кпк от центра (если не считать самых внутренних областей, где сильно влияние «центрального монстра»), т. е. скорость орбитального движения звезд линейно возрастает по мере удаления от центра. Далее линия скорости вращения на графике испытывает перегиб и по идее должна уменьшаться в соответствии с кеплеровским законом по мере приближения к краю галактики. Оно и понятно: если некий объект, допустим звезда или облако молекулярного водорода, находится близ края галактики, то гравитационные силы должны действовать на этот объект преимущественно в одном направлении — к галактическому центру, а притяжением со стороны более отдаленной периферии можно уже пренебречь.

Однако реальность в очередной раз преподнесла астрономам сюрприз, и, пожалуй, не из приятных. Строгая и красивая формула для орбитальных скоростей галактических объектов, выведенная замечательным голландским астрономом Я. Оортом, вдруг «захромала» на больших расстояниях от центра. Оказалось, что периферийные области многих спиральных галактик, в том числе и нашей, вращаются с гораздо большей скоростью, чем предписывает им формула Оорта. Речь, конечно, идет не о скорости вращения спирального узора, а о подлинных орбитальных скоростях звезд, газовых облаков и т. д. Ошибка исключалась: ведь определить лучевую скорость той или иной части галактики, развернутой к нам ребром, проще простого по доплеровскому сдвигу. Для Млечного Пути это сделать сложнее, но тоже не ахти какая проблема.

Единственное разумное объяснение состояло в следующем: галактики — по крайней мере спиральные — значительно массивнее и протяженнее, чем было принято считать. Наблюдаемая часть галактик — только «верхушка айсберга». Реальные размеры галактик в разы превышают их видимые размеры, и обширная, никак себя не проявляющая, кроме гравитации, темная материя окружает видимое вещество, как мякоть сливы окружает косточку.

Физическая сущность темного вещества все еще остается неясной, хотя недостатка в гипотезах не ощущается. Что ж, Вселенная в очередной раз подбросила нам загадку из числа тех, что заставляют пересмотреть прежние представления о Мироздании. Не в первый и явно не в последний раз.

4. МЕСТНАЯ ГРУППА

Среди всех наблюдаемых галактик 77% составляют спиральные, на долю эллиптических приходится 20%, и только 3% относятся к неправильным. Но ведь эллиптические галактики, лишенные молодых звезд высокой светимости и ярких эмиссионных туманностей, светят гораздо слабее, чем спиральные галактики той же массы. Кроме того, очень многочисленны карликовые эллиптические галактики, никакими средствами не обнаруживаемые на больших расстояниях. То же касается многих неправильных галактик, зачастую высокой поверхностной яркости, но в большинстве своем небольших. Невзрачно-серого слона мы увидим издали, а яркая бабочка на том же расстоянии останется незамеченной.

То, что указанная выше процентовка является следствием наблюдательной селекции, становится ясным при взгляде на Местную группу. Это небольшая, более-менее обособленная кучка галактик, куда входит и наш Млечный Путь. Помимо галактик Местная группа содержит несколько шаровых скоплений, не связанных с галактиками, но не о них сейчас речь. Всего в Местной группе более 40 членов, и несомненно будут открыты новые. Собственно, астрономы еще в начале прошлого века убедились в том, что лишь немногие галактики находятся «в грустном одиночестве» — большинство же предпочитает группироваться в гравитационно связанные «кучки». И наша Галактика совсем не исключение.

В Местную группу входят три спирали: наша Галактика, Туманность Андромеды (М31) и Туманность Треугольника (М33). Остальные галактики Местной группы — эллиптические и неправильные, причем эллиптические преобладают.

Наиболее удаленные члены Местной группы находятся от нас на расстоянии в 4 млн световых лет. От неправильной галактики WLM (Вольфа–Лундмарка–Мелота) тянется почти прямоли-

нейная цепочка карликовых галактик к спирали IC342, уже не являющейся членом Местной группы. Эта цепочка галактик является «мостом», соединяющим Местную группу с группой M81. Такая структура вообще типична для распределения галактик в наблюдаемой части Вселенной. Другими близкими группами галактик являются группа Скульптора и группа M83 — обе на южном небе.

Местная группа — очень типичное образование. Мы остановимся на ней подробнее главным образом потому, что надо знать своих соседей. Кроме того, многие особенности строения галактик изучены именно на членах Местной группы — они ведь ближе к нам.

Девять десятых массы Местной группы заключены в двух галактиках — M31 и нашей, причем Туманность Андромеды раза в два массивнее. Половина, если не больше, других галактик Местной группы — спутники M31 и Млечного Пути.

Оценить расстояние до близкой к нам галактики и установить таким образом ее принадлежность к Местной группе в принципе не так уж сложно, если в распоряжении занятого этой задачей астронома имеется крупный телескоп, а в галактике — цефеиды. Последние встречаются не так уж часто, и в какой-нибудь карликовой галактике их может не оказаться вовсе. Тогда приходится ориентироваться на ярчайшие звезды в скоплениях, что гораздо менее надежно. Поглощение света тоже вносит свои коррективы и т. д. Все же оказывается, что измерить расстояние до ближайших галактик можно довольно точно, а все последующие уточнения расстояний обычно не играют решающей роли.

Туманность Андромеды находится на расстоянии 2,2 млн световых лет от нас. Следовательно, мы видим свет, излученный ею в то время, когда на Земле еще не началось Четвертичное оледенение, а в Африке первые представители рода Homo, пришедшие на смену вымершим австралопитекам, еще только учились ударять камнем по камню.

Маленькое невзрачное облачко M31, едва заметное на темном небе, при взгляде в небольшой телескоп оказывается огромной

звездной системой, протянувшейся на целый градус и вдвое превышающей диаметр Луны. Фотоснимки с большим временем экспозиции, полученные на крупных телескопах, убеждают нас в том, что с учетом слабых периферийных частей поперечник М31 достигает 3 градусов. М31 — сверхгигантская галактика типа Sb, видимая от нас под очень неудобным углом в 12 градусов. Спиральная структура ее несомненна и может быть обнаружена даже с помощью любительских телескопов, но конкретный рисунок спиралей выглядит настолько невнятно, что велись споры: а сколько все-таки спиральных рукавов в М31? Два или, может быть, всего один?

Похоже, что все-таки «по проекту» было два рукава — просто на современном этапе структура рукавов М31 искажена посторонними возмущениями. На роль «возмутителей спокойствия» лучше всего подходят эллиптические галактики М32 и М110, особенно первая. Маленькая, но яркая М32 находится на периферии М31, от этой эллиптической галактики остались лишь центральные области с высокой звездной плотностью — наружные же части были «ободраны» притяжением более массивной соседки. М31 «без зазрения совести» присвоила себе чужие звезды, зато «не осталась в долгу» и М32, нарушив спиральный узор «обидчика».

Возможно, несколько раньше в непосредственной близости к М31 прошла другая эллиптическая галактика-спутник — М110. Звездообразование в ней прямо указывает на то, что сравнительно недавно эта галактика где-то поживилась газом. Уж не у Туманности ли Андромеды?

В М31 наблюдаются те же типы звездного населения, что и в Млечном Пути. Шаровых скоплений в ней к настоящему времени известно без малого 600. Спиральная структура обрисована почти двумястами звездными ассоциациями, содержащими горячие ОВ-звезды и яркие газовые облака, но все же, если взять усредненную звезду Туманности Андромеды, то она окажется краснее и слабее усредненной звезды нашей Галактики. В М31 очень много звезд — по-видимому, более триллиона про-

тив 400 млрд звезд Млечного Пути, но звезды М31 в среднем тусклее.

Помимо близких спутников М32 и М110 у Туманности Андромеды есть два далеких спутника — карликовые эллиптические галактики NGC185 (Езрес) и NGC147 (Е5). Они резко отличаются от «нормальных» эллиптических галактик общей рыхлостью и низкой поверхностной яркостью. NGC185 считается пекулярной из-за прослоек пыли и некоторого количества молодых горячих звезд. Где эта галактика набралась диффузной материи — неясно. На небе обе эти галактики расположены довольно далеко от М31.

Если условную линию, проведенную от М31 к звезде Бета Андромеды, продолжить еще примерно на столько же, мы попадем почти точно в М33 — Туманность Треугольника. Это небольшая спиральная галактика типа Sc, выглядящая на небе как большое пятно низкой поверхностной яркости. Чтобы уверенно обнаружить ее и как следует рассмотреть, полезно вооружить глаз биноклем и дожидаться очень темной и очень прозрачной ночи. Она 6-й звездной величины, но ее свет «размазан» по большой площади. Поэтому настоящее представление о ее структуре дает только фотография (рис. 33, цв. вклейка).

В М33 много облаков ионизованного водорода, три из них особенно большие и яркие. Крупнейшее и ярчайшее из них, удостоенное собственного обозначения NGC604, содержит гнездо O-звезд с температурами порядка 50 тыс. К. Некоторые из них являются звездами Вольфа-Райе (класс W), горячие внешние атмосферы которых «выкипают» в интенсивном поле тепла и излучения. Совершенно ясно, что в этих областях идет активное звездообразование. Ярчайшая звезда в М33 имеет абсолютную величину $-9,4$, что не абсолютный рекорд для звезды, но все же ни одна из ярких звезд, видимых на нашем небе, не сравнится с ней. Даже Денеб, светящий как 270 тыс. солнц, имеет абсолютную величину всего $-8,8$.

В 1983 году в ядре М33 был обнаружен рентгеновский источник, похожий на рентгеновские источники, связанные с актив-

ными ядрами некоторых галактик. Такой же, но в 10 раз более слабый источник находится в центре М31, а рентгеновский источник в центре нашей Галактики слабее в 10 тыс. раз. Похоже, «центральному монстру» М33 есть что кушать — ведь в галактиках типа Sc больше свободного газа. Как ни странно, этот объект проявляет себя только в рентгене — а ведь газ, падающий в черную дыру, по идее должен излучать на всех диапазонах волн. Разгадку еще предстоит найти.

Расстояние до М33 лишь немногим больше, чем до М31, — 2,5 млн св. лет. Учитывая их близость на небе, можно быть уверенными, что гравитационные узы между ними теснее, чем между любой из этих галактик и Млечным Путем.

Наша Галактика, подобно М31, тоже имеет в качестве спутников две близкие, относительно крупные галактики, только, в отличие от М31, они не эллиптические, а неправильные. Это Большое и Малое Магеллановы Облака. Португальским мореплавателям они были известны по меньшей мере с XV века и назывались тогда Капскими Облаками. Магеллановыми их предложил назвать Антонио Пигафетта, спутник и официальный летописец экспедиции Магеллана. Название прижилось.

Большое Магелланово Облако, расположенное большей частью в созвездии Золотой Рыбы, а меньшей частью в созвездии Столовой Горы, имеет видимый поперечник в целых 5 градусов, что вдесятеро больше диаметра Луны. Малое Магелланово Облако, находящееся в созвездии Тукана, скромнее размерами — его видимый поперечник около 2 градусов. Впрочем, на фотографиях, полученных с высокой чувствительностью, БМО прослеживается до диаметра 10 градусов, а ММО — до 6 градусов. Магеллановы Облака прекрасно видны на небе, лишенном засветки; БМО раза в 4 ярче, чем ММО. БМО находится от нас на расстоянии 50 кпк; ММО несколько дальше — 60–70 кпк.

Если в балджах спиральных галактик преобладают желтые тона, а в эллиптических галактик желто-оранжевые, то цвет БМО и ММО весьма голубой. Это связано с большим количеством содержащихся в Облаках очень горячих молодых звезд.

В БМО отчетливо видна некая барообразная структура, но чтобы различить хотя бы обрывки спиральных ветвей, надо призвать на помощь воображение. Значительно сильнее напоминает спиральный узор распределение нейтрального водорода в этой галактике. В БМО наблюдается регулярное вращательное движение, характерное для спиральных галактик, но скорость вращения мала, поскольку мала масса галактики раз в 20 меньше массы Млечного Пути. БМО чрезвычайно богато всеми видами звездных скоплений — рассеянными скоплениями, ассоциациями и др. Любопытно, что некоторые шаровые скопления в БМО гораздо голубее шаровых скоплений Млечного Пути. Это значит, что они образовались в сравнительно недавнее время. Казалось бы, нонсенс! Всякому, кто учил астрономию в школе, должно быть известно, что молодых звезд в шаровых скоплениях быть не должно. Шаровые скопления Млечного Пути — старые объекты, образовавшиеся одновременно с нашей Галактикой. Газа в них нет, и пополнения населения молодыми звездами ждать не приходится. С другой стороны, новых шаровых скоплений в Галактике не возникает — облаков газа хватает только на образование рассеянных скоплений, иногда содержащих до тысячи звезд, но все же крайне бедных по сравнению с шаровыми.

Совершенно ясно, что в БМО иная ситуация. По-видимому, там еще относительно недавно имелись огромные облака газопылевой материи, способные порождать шаровые скопления.

И все же в нашу эпоху звездообразование в БМО протекает в более привычных нам местах, представленных звездными ассоциациями и комплексами. Особенно выделяется сверхассоциация 30 Золотой Рыбы, известная также под именем Туманности Тарантул. Простираясь на 1000 световых лет, она содержит массу газа, равную 5 млн солнечных масс, и множество ярчайших бело-голубых звезд. Именно в Туманности Тарантул находится упоминавшийся нами ранее знаменитый объект R136a, поразивший астрономов невиданной светимостью. Наиболее яркие бело-голубые сверхгиганты БМО оказались ярче крупнейших сверхгигантов нашей Галактики. Разумеется, такие звезды на-

гревают и ионизуют газ на большом расстоянии вокруг себя, превращая обычные облака газа в эмиссионные туманности — проще говоря, заставляя их излучать. Если бы Туманность Тарантул находилась от нас на расстоянии Большой Туманности Ориона, то она была бы ярче на 10 звездных величин, занимала бы все созвездие Ориона и светила ярче Венеры. Предметы в ее свете отбрасывали бы тени безлунной ночью!

В Туманности Тарантул и сейчас идет активное звездообразование, причем рождается много массивных короткоживущих звезд. Неудивительно, что структура туманности очень сложная, со взаимно переплетенными петлями и кольцами. Это, по всей видимости, результат взрывов Сверхновых.

Но 30 Золотой Рыбы — только один пример светящегося облака, правда, самый яркий, а вообще в БМО их тысячи. Зато тяжелых элементов в межзвездной среде БМО меньше, чем в нашей Галактике; меньше и пыли. Даже гелия — и то меньше. Объяснение напрашивается само собой: у карликовых неправильных галактик, подобных БМО, «затянувшееся детство» — скорость звездообразования в них более постоянна, чем в крупных системах, и они уж точно не испытали ничего похожего на взрывное звездообразование на ранней стадии существования спиральных и особенно крупных эллиптических галактик. Если каждый из атомов, составляющих Солнце, Землю и все ее объекты, включая живые существа, побывал в среднем в разное время в недрах трех звезд, то типичный атом в БМО от силы может «похвастать» лишь одним пребыванием в звезде.

ММО во всем уступает своей соседке — у нее меньше и ярких туманностей, и звездных ассоциаций, и ярчайшие звезды имеют меньший блеск, а признаков спиральной структуры не наблюдается вовсе.

Нейтрального водорода, еще не израсходованного на формирование звезд, много не только в Магеллановых Облаках, но и вокруг них. Еще в 50-е годы XX века австралийские радиоастрономы обнаружили, что на волне 21 см Магеллановы Облака в действительности представляют собой единый объект. Между Облаками

простирается «мост» из разреженного газа, в котором наблюдается мало звезд. Но все-таки они наблюдаются! Позднее было открыто тонкое газовое волокно огромной протяженности, начинающееся в Магеллановых Облаках и доходящее почти до противоположных им точек небесной сферы. Эта полоса газа, называемая Магеллановым Поток, по-видимому, соединяет несколько других очень маломассивных галактик. Причину возникновения Магелланова Потока, пожалуй, наиболее разумно объяснить приливным воздействием. Взаимодействующие галактики вовсе не редкость во Вселенной; их касательное соприкосновение при близком пролете часто приводит к образованию длинных тонких «хвостов» и «антихвостов» (рис. 34, цв. вклейка). Эти «хвосты» состоят из газа и звезд. В некоторых случаях в наиболее плотных частях «хвостов» формируются карликовые галактики.

По-видимому, нечто подобное произошло и у нас, когда 2 млрд лет назад Магеллановы Облака пересекли внешние части нашей Галактики. Вряд ли это случилось в первый и последний раз. Сейчас Облака продолжают удаляться от нас, но когда-нибудь вновь начнут приближаться, и никто пока не может сказать, каковы будут последствия нового тесного сближения.

Магеллановы Облака — не единственные спутники нашей Галактики. Они лишь единственные, видимые невооруженным глазом. В 1938 году в Бойденской обсерватории в Южной Африке во время рутинного обзора неба на 24-дюймовом телескопе было получено изображение, принятое сначала за отпечаток пальца на фотопластинке или иной дефект. Проще всего было отмахнуться от него и выбрать ассистента за неаккуратность, но Х. Шепли распорядился поискать: нет ли чего в этой точке неба (находящейся в созвездии Скульптора) на снимках, полученных ранее? Оказалось — есть. Шепли назвал объект «Системой в Скульпторе» и не мог решить, чем он является — необычным скоплением звезд в нашей Галактике, отдельной галактикой, состоящей из слабых звезд, или, может быть, даже скоплением галактик? Но он предпринял действенные шаги, а именно: попросил сделать снимки Системы в Скульпторе на 60-дюймовом

телескопе и загрузил ассистентов работой по поиску похожих объектов на старых фотопластинках.

Система в Скульпторе оказалась галактикой, причем далеко не слабой — 9-й величины, хотя и очень низкой поверхностной яркости. Она была отнесена к типу Ез. В ней не оказалось звезд ярче 21-й величины, но среди них нашлись цефеиды, подтвердившие: Система в Скульпторе — член Местной группы, причем близкий к нам.

Довольно скоро был найден второй объект такого рода — Система в Печи, а затем еще несколько. Все они представляют собой округлые образования очень низкой поверхностной яркости, и все находятся рядом с нашей Галактикой. Слабейшие из этих галактик имеют неприлично малую яркость, сопоставимую с яркостью галактических шаровых скоплений. Из них ближайшей к нам является Система в Стрельце, открытая только в 1994 году по той причине, что она находится за центром Галактики. Расстояние до нее всего 24 кпк, и, возможно, ее следует рассматривать не как самостоятельную галактику, а как структурную деталь на периферии Млечного Пути.

Происхождение этих карликов неясно. Возможно, они порождены столкновением Галактики с Магеллановыми Облаками, породившим Магелланов Поток. Существует и другая гипотеза: карликовые эллиптические галактики являются скелетами неправильных галактик. Возможно, их газ был выметен при столкновении с внешними частями Млечного Пути. Обе эти гипотезы уязвимы для критики.

Вопрос о том, являются ли эти убогие объекты галактиками, был решен положительно после того, как в Системе в Печи были обнаружены 6 шаровых скоплений. Шаровые скопления — атрибуты нормальной галактики. Американский астроном и популяризатор Пол Ходж приводит в связи с этим афоризм: «У собак бывают блохи, но у блох не бывает блох». Разумеется, любой биолог скажет, что у блох тоже бывают паразиты, однако эти паразиты — не блохи. Коль скоро в состав некой звездной системы входят шаровые скопления, эта система — галактика.

Кстати о шаровых скоплениях в Млечном Пути. Ярчайшее из них — Омега Центавра, видимое на южном небе как слегка туманная звезда и получившее за это «звездное» обозначение. Оно минус десятой абсолютной звездной величины и содержит 20 млн звезд. Обычно шаровые скопления содержат десятки и сотни тысяч звезд, редко миллионы, и Омега Центавра выглядит на их фоне как слон в крольчатнике. Не так давно была высказана гипотеза о том, что Омега Центавра — не «настоящее» шаровое скопление, а ядро небольшой эллиптической галактики, некогда поглощенной Млечным Путем. Внешние звезды этой галактики были, конечно, оторваны и смешались с общим звездным фоном Млечного Пути, а сплоченное ядро осталось в качестве ярчайшего шарового скопления. Так ли это на самом деле, пока неясно, но в подобном сценарии нет ничего удивительного. Галактический каннибализм — явление распространенное, большие галактики нередко «закусывают» галактиками-карликами, так почему же нашей Галактике, относящейся, напомним, к сверхгигантским, вести себя иначе? Из опасения «испортить фигуру»? Но спиральная структура каннибала, нарушенная «съеденной» галактикой, спустя миллиарды лет восстанавливается, а газ галактики-жертвы, столкнувшийся с газом галактики-каннибала, приводит к интенсивному звездообразованию. Самое время еще раз заметить: в смерти — жизнь.

Другие члены Местной группы не столь интересны. Ярчайшей карликовой неправильной галактикой является NGC6822, известная также как галактика Барнарда. Именно она стала первой галактикой, для которой было установлено (Хабблом), что она находится за пределами Млечного Пути. В остальном эта галактика напоминает БМО — с той разницей, что масса и размер NGC6822 поменьше, звездных ассоциаций и ярких звезд в ней также меньше, чем в БМО, меньше и пыли, а свободного водорода больше. Другая карликовая неправильная галактика IC1613 в целом напоминает ММО, но тоже имеет меньшие размеры. Это довольно «скучная» галактика — в ней отсутствуют яркие ско-

пления. Аномально мала неправильная карликовая галактика GR8. Ее размеры всего-навсего 1500 св. лет, а светимость лишь немного больше светимости ярчайшей одиночной звезды в нормальной галактике. На нее похожа галактика LGS-3, а больше в Местной группе нет ничего заслуживающего внимания.

За одним только исключением — впрочем, актуальным скорее для любителей. В бедном яркими звездами (но зато богатом внегалактическими объектами) созвездии Рыси находится «Межгалактический скиталец» — шаровое скопление NGC2419, не принадлежащее ни нашей Галактике, ни какой-либо другой. Оно примерно 10-й звездной величины и при хороших условиях доступно для наблюдений в небольшие телескопы.

5. АКТИВНЫЕ ГАЛАКТИКИ

Рядом с красивой спиральной галактикой М81 находится гравитационно связанная с ней неправильная галактика М82 (рис. 35, цв. вклейка), известная также как «Сигара». Лет сорок назад эта галактика чрезвычайно интриговала астрономов, поскольку были обнаружены мощные веерообразные выбросы нейтрального водорода из ее центральной области, сравнимые по размерам с самой галактикой. Картина походила на разлет газовой материи в результате взрыва, случившегося порядка миллиона лет назад. К тому времени был уже основательно изучен феномен Сверхновых звезд, но ядра галактик хранили еще много тайн. Занимавший умы астрономов вопрос был в сущности закономерен: коль скоро некоторые звезды взрываются, то не могут ли неизмеримо более масштабные взрывные процессы идти в ядрах галактик?

Вообще-то с поиском четко выраженных ядер неправильных галактик дело обстоит неважно. Сплошь и рядом найти ядро такой галактики не легче, чем найти «ядро» большой неупорядоченной толпы. Что принять за ядро — центр толпы? Или сгущение, наиболее близкое к центру? Но сгущений может быть несколько, и никто не доказал, что в неправильной галактике, как и в толпе, сгущения стабильны...

Но — так уж и быть — пусть мы «назначили» ядро волевым решением. Правильность нашего решения по идее подтверждается активностью ядра (если она наблюдается). Но в чем заключается природа активности? Цепная реакция взрывов Сверхновых? Полно, да возможно ли такое? Или активность проявляет некий объект незвездной природы?

Ситуация с М82 в конце концов разъяснилась довольно банальным образом. Богатые неизрасходованным газом непра-

вильные галактики сплошь и рядом демонстрируют *вспышечное* звездообразование, когда за ничтожный по астрономическим меркам срок рождается целая звездная сверхассоциация, а то и комплекс. Нечто подобное, хотя и в меньшем масштабе, демонстрирует нам Большое Магелланово Облако — речь идет главным образом о сверхассоциации в Туманности Тарангул. Вспышка звездообразования в центральной части М82 оказалась гораздо мощнее, чем в БМО. Наблюдаемое истечение газа — результат светового давления на среду со стороны очень большого количества молодых горячих звезд. Никаких «центральных монстров» для объяснения данного феномена привлечь не понадобилось.

Можем ли мы считать М82 активной галактикой? В определенном смысле — да. Но сегодня, говоря об активных галактиках (точнее, об активных ядрах галактик), астрономы имеют в виду нечто совершенно другое. Другие объекты и совсем другие процессы.

В чем наиболее заметное сходство этих объектов между собой и отличие от галактик вроде М82? Прежде всего в том, что ядра активных галактик — источники сильнейшего радиоизлучения. Именно по радиоизлучению они и были «выловлены» на небе.

Чувствительности первых приемных устройств, появившихся на заре радиоастрономии, в принципе хватало для того, чтобы фиксировать достаточно сильные радиосигналы, пришедшие из космоса, зато угловое разрешение оставляло желать много лучшего. Ни о каких радиоизображениях космических источников радиосигналов тогда не могло быть и речи. Радиоастрономы могли лишь указать, из какого примерно участка неба исходит радиосигнал. Иногда лишь с точностью до созвездия, если источник находился в малом по площади созвездии. Так появились обозначения Лебедь А, Кассиопея А и др. Самому яркому в радиолучах объекту данного созвездия присваивался индекс А, следующему В и т. д.

По мере роста размеров приемных «тарелок» радиотелескопов их угловое разрешение увеличивалось. Первые свидетельства того, что некоторые радиоисточники могут быть далекими галактиками, появились в 1949 году, когда австралийские радиоастрономы отождествили сильный радиоисточник Центавр А с необычной галактикой NGC5128. Частенько, однако, вблизи яркой в радиолучах области не наблюдалось ничего оптически яркого. Дела пошли лучше, когда к поискам оптических объектов, неумеренно много излучающих в радиодиапазоне, подключились астрономы Паломарской обсерватории, имевшие в своем распоряжении крупнейший тогда 200-дюймовый (5-м) телескоп. После значительных усилий они нашли несколько подходящих оптических кандидатов в радиоисточники. У одного из них — Лебеда А — оказался спектр, похожий на спектр галактики, удаленной от нас на 700 млн св. лет. Другие кандидаты тоже оказались необычными галактиками. Астрономы пришли к выводу, что по крайней мере некоторые радиоисточники могут быть галактиками, правда весьма странными.

Некоторые источники выглядели как сталкивающиеся галактики. Другие — как типичные одиночные галактики. Наконец, на небе существует достаточно много сталкивающихся галактик, и далеко не все из них являются мощнейшими радиоисточниками. Неистощимая на выдумку Природа подбросила еще одну проблему: как разобраться в наблюдаемой картине? Некоторые галактики оказались настолько яркими в радиолучах, что было совершенно непонятно, как столкновение между облаками газа может породить такую энергетику излучения? К тому же некоторые из радиоисточников оказались одиночными эллиптическими галактиками, почти начисто лишенными газа. Что же в них излучает радиоволны?

В гипотезах недостатка не ощущалось. Среди них были модели с галактиками из антивещества, магнитными вспышками, аккрецией межгалактического вещества, образованием новых

галактик, цепной реакцией взрывов звезд, возникновением (из чего?) нового вещества и действием центрального сверхмассивного объекта. Почти все эти гипотезы не выдержали «испытания на прочность». Развитие радиоастрономии сопровождалось увеличением размеров и чувствительности радиотелескопов, применением новых методов, открытием тысяч новых радиогалактик и, как следствие, отпадением ошибочных гипотез. Сейчас осталась только одна — не стопроцентно доказанная (кто там, в самом деле, видел, что происходит в отдаленных галактиках?), но по крайней мере способная объяснить удивительно мощное излучение этих галактик в радиодиапазоне.

Согласно этой модели, в ядре галактики находится «центральный монстр» — черная дыра с массой порядка миллионов масс Солнца. Другие возможные кандидаты на роль центрального монстра не обеспечивают наблюдаемой энергетики. Центральный монстр опустошает свои окрестности, жадно заглатывая газ (а если попадет звезда, то и звезду), излучающий во время падения энергию, эквивалентную (по соотношению Эйнштейна) примерно 15% своей массы. Выражаясь фигурально, мы слышим в радиодиапазоне предсмертные вопли погибающей материи.

Материя, однако, не падает в черную дыру сплошным равномерным потоком, как вода в Ниагарский водопад. Если мы рассмотрим одиночный атом водорода в пустоте, окружающей черную дыру, то не найдем причин для быстрого падения атома в черную дыру, если только составляющая скорости атома, перпендикулярная силе тяготения черной дыры, достаточна для того, чтобы он вышел на эллиптическую орбиту. По ней он будет обращаться вокруг черной дыры весьма долгое время, определяемое в конечном счете эффектами ОТО.

Так и хочется сказать: «Этого не может быть, потому что этого не может быть никогда». В действительности черная дыра окружена, конечно, не единичными атомами водорода, а более или менее плотной газовой средой, для которой весьма суще-

ственны столкновения между атомами, сопровождающиеся потерей ими энергии. Как следствие, вокруг черной дыры формируется очень быстро вращающийся аккреционный диск, а уже из него газ, потерявший вращательный момент, падает в черную дыру.

Уже простой здравый смысл подсказывает, что этот колоссальный по масштабам энерговыделения процесс не может течь равномерно. И действительно, многие отождествленные с галактиками радиоисточники демонстрируют быструю (иногда в течение часов) неправильную переменность, что однозначно свидетельствует о малых размерах излучающей области. Более того, бурные процессы в окружающем черную дыру газе приводят к тому, что некоторая часть материи не пропадает в черной дыре, а выбрасывается прочь в виде джетов — длинных и тонких струй излучающего газа. Мы познакомились с джетами, когда говорили о флуорах, но джеты, наблюдаемые в радиогалактиках, естественно, неизмеримо мощнее.

Джетов обычно два — направленных в противоположные стороны. В некоторых галактиках эти струи вытягиваются наружу от ядра, образуя двойную структуру, наблюдаемую в оптическом, радио- и рентгеновском диапазонах. В других случаях джеты простираются далеко за пределы видимой части галактики, выходя в межгалактическое пространство. Излучение джетов — синхротронное, обусловленное движением заряженных релятивистских частиц (электронов и протонов) в магнитном поле. Джеты вырываются из полюсов вращения аккреционных дисков и тянутся иногда на мегапарсеки.

Один из первых галактических джетов был обнаружен еще в 1919 году у эллиптической галактики M87 (она же NGC4486). Эта колоссальная галактика расположена близ центра скопления галактик в созвездии Девы и намного массивнее других членов скопления. Достаточно сказать, что одних только шаровых скоплений у этой галактики насчитывается около 10 тыс. С виду это нормальная галактика типа E1 — суперсверхгигантская,

правда, но должны же хоть изредка попадаться суперсверхгиганты! До 1919 года эта галактика казалась замечательной лишь своей величиной. И вот — у нее был обнаружен короткий голубой джет, вырывающийся из ядра и «не достреливающий» до края галактики, а потому теряющийся в общем свечении многих миллиардов звезд. Удивительное образование! В эллиптической галактике — газ, да еще выброшенный из ядра! Чем бы это могло быть?

Позднее с М87 был отождествлен мощный радиоисточник Дева А. В 1954 году И.С. Шкловский объяснил свечение джета продолжением спектра синхротронного излучения, а в 1956 году В. Бааде на 5-м Паломарском рефлекторе обнаружил поляризацию излучения в узлах джета, чем подтвердил гипотезу о синхротронной природе его излучения. Но откуда в М87 взялся газ?

На современном уровне знания, когда отпали «экзотические» гипотезы, ответ может быть только один: М87 — галактика-каннибал. В прошлом она проглотила несколько галактик-соседок, среди которых были богатые газом и пылью спиральные и неправильные галактики. Пыли в М87 уже нет, но запасы газа, постепенно стекшие к ядру, еще остались. Именно этот «конфискованный» у соседок газ, взаимодействуя со сверхмассивной черной дырой в центре М87, большей частью погибает, излучая электромагнитные волны в широчайшем диапазоне частот, а меньшая его часть формирует джет, также излучающий.

Чуть позже астрономам удалось разобраться со знаменитым радиоисточником Лебедь А. На метровых волнах этот радиоисточник лишь в несколько раз уступает Солнцу, хотя расстояние до него около 340 Мпк. Это попросту означает, что яркость его в радиолучах примерно в 10^{27} раз превышает радиояркость Солнца. Бааде обнаружил в этом месте крошечную двойную галактику. «Двойную» — в этом слове оказался ключ к разгадке. Взаимодействующие галактики обмениваются материей, в том

числе, конечно, и газовой-пылевой. Ее облака, сталкиваясь, теряют момент вращения и оседают к галактическим ядрам, где образуют аккреционные диски вокруг «центральных монстров». Если не питать этих «монстров» материей, то никакого электромагнитного излучения от них не будет — по той же самой причине, по какой не сдвинется с места автомобиль с сухим бензобаком.

Еще один яркий (в буквальном смысле; он 7-й звездной величины) пример — галактика NGC5128, известная также как радиисточник Центавр А (рис. 36, цв. вклейка). На фон этой слабосплюснутой эллиптической галактики накладывается широкая полоса пыли. И здесь мы имеем дело со столкновением галактик — эллиптической и спиральной, наблюдаемой с ребра. Вопрос дефицита газа для активных эллиптической галактики больше не стоит.

Итак, в активных галактиках имеется материал, безвозвратно исчезающий в центральной сверхмассивной черной дыре. В нормальных галактиках этого материала уже нет или почти нет, он практически весь израсходован. К примеру, в нашей Галактике «центральный монстр» явно сидит на очень голодном пайке. Конечно, сколько-то вещества он все равно заглатывает, и это вещество излучает, но интенсивность его излучения не идет даже в отдаленное сравнение с тем, что мы наблюдаем в ядрах активных галактик. Мало «топлива» — мала и мощность.

Нельзя сказать, что все активные галактики похожи друг на друга. В 1940-х годах Карл Сейферт открыл класс необычайно ярких галактик с широкими эмиссионными линиями в ядре. При этом они не являлись особенно мощными радиисточниками. Сейчас эти галактики называются сейфертовскими (или попросту Сейфертами) и являются предметом многих интересных исследований. Их принято делить на два подтипа: Сейферт I и Сейферт II. Разница между ними заключена в ширине эмиссионных линий — у первого подтипа они шире, чем у второго.

Самая яркая из сейфертовских галактик на небе — спиральная система М77 в созвездии Кита, легко различимая в небольшой телескоп как пятнышко 9^м. Другой пример — спираль NGC1068, являющаяся не только сейфертовской галактикой, но и радиоисточником. В ее ядре находится очень яркое и горячее облако газа с турбулентными скоростями в несколько тысяч километров в секунду. По энергетике она напоминает радиогалактики и, похоже, находится на нижнем конце диапазона таких объектов, простирающегося до мощных радиогалактик и квазаров. Общим для всех этих источников является наличие в ядре резко очерченного возмущения с очень большой энергией. Астрономы часто называют эти возмущенные области АЯГ — активными ядрами галактик.

6. КВАЗАРЫ

Открытие этих объектов в очередной раз продемонстрировало справедливость утверждения: «Видеть — еще не значит открыть». В оптических лучах квазар неотличим от бесчисленного множества слабых звезд Галактики. Астрономов могли бы заинтриговать спектры квазаров, совсем не похожие на спектры звезд, но кто стал бы заниматься исследованием спектров *всех* звезд 13-й величины (а ведь именно на такую звезду похож ярчайший из известных квазаров!)? Изображения квазаров много раз попадали на фотопластинки и принимались за звезды — в общем-то в полном соответствии с принципом Оккама. Ну чем еще может быть точечный источник света, ничем не выделяющийся на звездном фоне, как не звездой?

Оказалось — может и чем-то принципиально иным. Правда, открытие затянулось до 60-х годов XX века, когда радиоастрономия начала понемногу изживать свою «детскую болезнь», связанную с низким угловым разрешением. Напомним: предельное угловое разрешение зависит от апертуры антенного устройства (прямо пропорционально) и длины волны принимаемого излучения (обратно пропорционально). Поэтому, между прочим, антенные устройства радиотелескопов низких частот представляют собой не параболические чаши, похожие на увеличенные спутниковые «тарелки», а просто обширные поля, уставленные дипольными антеннами, связанными друг с другом в так называемую фазированную решетку, и чем больше поперечник поля, тем лучше. Если еще учесть, что больше всего энергии от космических радиоисточников поступает к нам на низких частотах — на метровых, декаметровых и еще более длинных волнах, — то картина складывается удручающая. Несколько минут дуги — вот типичная разрешающая способность радиотелескопа.

Удачное паллиативное решение было найдено в виде радиоинтерферометрии, когда два разнесенных в пространстве радиотелескопа работают совместно. В 1960 году американские специалисты начали измерения координат источников радиоизлучения с использованием двух 27-м антенн Калифорнийского технологического института. Точность определения координат достигла 5 угловых секунд, и сразу же выяснилось, что некоторые радиоисточники имеют очень малые угловые размеры. Первоначально предполагалось, что найдены — наконец-то! — нейтронные звезды, оставшиеся после взрывов Сверхновых. Но до открытия пульсаров, оказавшихся нейтронными звездами, оставалось еще 7 лет. На месте первого из «точечных» радиоисточников (им оказался радиоисточник № 48 по Третьему Кембриджскому каталогу радиоисточников, имевший обозначение 3C48) астрономы обнаружили внешне ничем не примечательную звезду 16-й величины. Правда, вокруг были следы слабой небольшой туманности, но сам объект выглядел безусловно звездообразным.

Открытие радиозвезды? Существование этих объектов предсказывалось многими астрономами. В самом деле, по мере уменьшения температуры поверхности звезды ее цвет меняется по закону Вина от голубого к красному. При еще меньших поверхностных температурах звезды должны были бы излучать бóльшую часть энергии в инфракрасном диапазоне — и так далее, вплоть, возможно, до радиодиапазона. Но что за непонятное событие должно было заставить звезду так изменить свою структуру, чтобы излучать преимущественно в радиодиапазоне?

Спектр этой странной звездочки представлял собой необычную комбинацию широких эмиссионных линий и не поддавался идентификации. Обычно обнаруживаемые в звездах и газовых облаках химические элементы имеют свои, только им присущие наборы длин волн эмиссионных линий, и, казалось, ни один из них не имел соответствия в линиях спектра 3C48. К 1962 году были отождествлены еще два радиоисточника того

же типа — 3C196 и 3C286. Спектры звездочек, наверняка являвшихся источниками радиоизлучения, оказались столь же странными...

Головоломка вышла на славу. Новые объекты на вид были звездообразными, но казались состоящими из непонятого материала.

В 1963 году во время покрытия Луной источника 3C273 его координаты были определены с высокой точностью. Источник оказался двойным, причем один из его компонентов совпадал со звездой 13^m. Голландский астрофизик Маартен Шмидт на обсерватории Маунт Паломар получил спектр 3C273, с которым опять творилось нечто непонятное. Но Шмидт догадался о причине: эмиссионные линии можно отождествить с самой обычной балмеровской водородной линией, если допустить красное смещение, равное 0,158. Но в этом случае звездоподобный источник должен был находиться очень далеко за пределами Галактики, а его светимость раз в 100 превышать светимость гигантских галактик.

Нетрудно найти, если знать, где искать. Буквально сейчас же были найдены красные смещения и для других «квазизвездных источников» — квазаров (вольное сокращение от *quasistellar radio source*). Например, для 3C48 красное смещение оказалось равным 0,367.

Страсти закипели с новой силой. Необычайно высокий блеск квазаров в предположении, что их красное смещение вызвано большим расстоянием до них, многим астрономам казалось неправдоподобным. Предпринимались попытки объяснить феномен квазаров выбрасыванием из Галактики с большой скоростью каких-то звездообразных объектов. Но объяснение природы этих объектов и их невероятно большой скорости, иногда превышающей половину скорости света, наталкивалось на непреодолимые трудности. А между тем открывались все новые и новые квазары. К 1967 году их было найдено уже около 150, а к настоящему времени астрономам известны уже сотни тысяч квазаров. Красное смещение некоторых из них превышает 6,

т. е. их скорость уже сравнима со скоростью света!¹ Если принять гипотезу о выбрасывании этих объектов из Галактики, то наш Млечный Путь становится похож просто на какой-то сверхмощный фейерверк или фонтан...

Нам неизвестно, вспомнил ли кто-нибудь из астрономов в связи с этим афоризм Козьмы Пруtkова: «Если у тебя есть фонтан, заткни его; дай отдохнуть и фонтану», — но выводы были сделаны верные, пусть и не сразу. Мешал звездообразный вид квазаров и обнаруженная переменность некоторых из них. Например, квазар 3C48 менял блеск на одну звездную величину за несколько лет, а некоторые квазары и быстрее. Это означало, что размеры излучающей области сравнительно небольшие — уж никак не галактические...

Одним из доказательств космологических расстояний до квазаров стало их обнаружение в скоплениях галактик с тем же значением красного смещения. Другое доказательство, найденное в 1973 году, состоит в том, что если квазар является активным ядром галактики и если расстояние до него позволяет обнаружить эту галактику, то она и обнаруживается на самом деле. На множестве фотографий, полученных с тех пор, квазары выглядят окруженными туманным ореолом. Кстати, в спектре слабой туманности, окружающей 3C48, в 1982 году были обнаружены линии поглощения кальция, типичные для звезд класса А7.

Итак, квазары оказались активными (даже очень активными!) ядрами далеких галактик. «Вмещающая галактика» — ныне вполне законный астрономический термин. Вмещающие галактики слабы (что и неудивительно: на таких-то расстояниях!), во Вселенной миллиарды подобных галактик. Разница только в следующем: в некоторых из них «работает» квазар, ежесекундно излучая колоссальную энергию — много больше всей вмещающей галактики.

¹ На самом же деле — даже превышает ее. Почему тут нет противоречия с Теорией Относительности — будет рассказано в главе, посвященной космологии. — *Примеч. авт.*

Громадные светимости квазаров играют астрономам на руку. То и дело приходится слышать об открытии самого далекого объекта Вселенной, и этим объектом всегда является квазар. Причина, думаем, понятна. Если квазар излучает в 100 раз больше энергии, чем вмещающая галактика, то это как-никак разница в 5 звездных величин. Вдобавок слабое излучение галактики «размазано» по некоторой площади, тогда как квазары выглядят звездообразными, а значит, легче обнаруживаются на снимках неба, будь то снимки, сделанные с помощью крупнейших наземных телескопов или «глубокие проколы» Космического телескопа им. Хаббла. Обнаружив квазар, можно поискать вокруг него невидимое прежде скопление галактик — с большой долей вероятности, оно там существует.

В настоящее время почти все астрономы считают, что причина и механизм излучения квазаров в сущности те же, что в активных галактиках, — разница только в масштабах энерговыделения. В обоих случаях источником излучения является аккреционный диск вокруг сверхмассивной черной дыры, поглощающий оседающий к центру галактики газ и выбрасывающий узкие плазменные струи (джеты) в направлении оси вращения. В результате трения газовых облаков в аккреционном диске этот диск нагревается, гравитационная энергия переходит в энергию излучения, а потерявший гравитационную энергию газ засасывается черной дырой.

Помимо квазаров в ядрах галактик наблюдаются источники несколько иного рода — *блазары*, называемые также лацертидами. Последнее название происходит от созвездия Ящерицы (Lacertae), где был найден первый из блазаров. Объект RL Ящерицы некогда считался переменной звездой, но был позднее идентифицирован как ядро эллиптической галактики. Блазары — мощные источники в ядрах галактик, характеризующиеся непрерывным спектром во всех диапазонах электромагнитных волн — от радио- до гамма-. Для блазаров типичны быстрые и значительные (до $4-5^m$) изменения светимости во всех диапазонах спектра за период в несколько суток или даже часов.

В спектрах блазаров — в отличие от квазаров — отсутствуют яркие эмиссионные линии.

Радиогалактики, сейфертовские галактики обоих типов, квазары, блазары... есть ли между этими объектами генетическая связь?

Установлено, что пространственная плотность квазаров растет по мере увеличения расстояния. Свет от самых дальних объектов Вселенной, известных нам на сегодняшний день, идет к нам более 12 млрд лет. Мы видим удаленные галактики чрезвычайно молодыми, еще сохранившими много газа для питания ненасытного «центрального монстра». Следует закономерный вывод: на ранних стадиях эволюции Вселенной квазаров было больше, чем сейчас. И понятно почему. Понятно также, что по мере уменьшения поступления в аккреционный диск еще не «съеденного» газа яркость квазара должна уменьшаться — если только он не получит «гуманитарной помощи» газом и пылью от другой, взаимодействующей с ним галактики...

Все ли ядра молодых, только-только сформировавшихся галактик проявляли активность? По-видимому, да. Во всяком случае, это касается тех галактических ядер, в которых образовались сверхмассивные черные дыры. Все ли ядра молодых галактик были квазарами? Почти наверняка нет. Все зависит от двух факторов: количества свободного вещества, способного стать «пищей» для «центрального монстра», и массы самого «центрального монстра». Поэтому не все радиогалактики и Сейферты обоих подтипов, не говоря уже о нормальных галактиках, прошли в ранней юности через стадию квазара. В частности, есть косвенные данные о том, что наша Галактика никогда в прошлом не была квазаром. Да и на самых дальних задворках Вселенной, доступных изучению, количество квазаров намного уступает количеству заурядных галактик.

Похоже, существует и третий фактор, отчасти сближающий радиогалактики и квазары, которые формально относятся все-таки к разным классам объектов. Среди астрономов давно существует подозрение, что различие между ними только кажущееся,

возникающее в зависимости от того, под каким углом повернут к нам объект. Если смотреть точно вдоль оси аккреционного диска, т. е. вдоль джета, то объект является быстро переменным, «радиоушей» не видно, и такой объект выглядит как блазар (лацертида). Если объект повернут к нам так, что мы смотрим под не очень большим углом к оси, то мы видим генератор энергии в центре — это квазар. Если мы смотрим на объект сбоку, когда пыль в аккреционном диске закрывает центр, то называем его радиогалактикой.

Подобная же картина, по-видимому, наблюдается в сейфертовских галактиках. Очень может быть, различие между двумя их подтипами заключается только в том, что Сейферты II повернуты к нам так, что их ядра прикрыты пылью.

Словом, Вселенная в очередной раз оказалась не столь простой, как нам хотелось бы. Отдельного туману напустило открытие квазагов.

В 1965 году известнейший американский астроном Алан Сэндидж искал квазары по ультрафиолетовому избытку излучения. Им было найдено много голубых звездообразных объектов с большим красным смещением. Эти объекты, названные квазагами (квазизвездными галактиками), отличались от квазаров только одним: они не обнаруживали мощного радиоизлучения. Любопытно, что квазаги избегают богатых скоплений галактик и обычно встречаются в бедных скоплениях и группах. Пространственная плотность квазагов раз в 500 превышает пространственную плотность квазаров. Что же это за объекты?

Ясности нет и по сей день. Высказывалось предположение, что квазары являются представителями более обширного класса квазагов, находящимися в фазе активности. Существует и другое объяснение: вмещающая галактика у квазаров чаще всего эллиптическая, в то время как у квазагов — спиральная. А известно, что активные спиральные галактики излучают в радиодиапазоне слабее, нежели активные эллиптические. Однако остается еще много непонятого. В связи с квазагами вновь всплыли старые гипотезы о рождении галактик из гипотетических сверхплотных

объектов, появились теории, требующие полного пересмотра наших представлений о Вселенной; популяризировать эти воззрения мы не будем.

Осталось сказать несколько слов о роли квазаров в космологии. Основываясь на ОТО Эйнштейна, сэр Артур Эддингтон предсказал, что сила тяготения массивных объектов может фокусировать свет, подобно гигантскому космическому телескопу-рефрактору, создавая сложные изображения далеких объектов. В 1979 году первая гравитационная линза была открыта при наблюдении двойного квазара. Оба объекта, выглядевшие практически как близнецы-братья, были разнесены всего лишь на несколько угловых секунд, а их красное смещение оказалось одинаковым. В принципе это действительно мог быть двойной объект, но сразу же возникло подозрение, что на самом деле это один объект, раздвоенный гравитационной линзой, т. е. наблюдаются два изображения одного и того же квазара. При тщательном исследовании между ними был обнаружен слабый объект со свойствами галактики. Именно эта галактика, находящаяся гораздо ближе к нам, чем квазар, действует как гравитационная линза, увеличивая изображение квазара и отбрасывая в нашем направлении две его копии.

В дальнейшем было обнаружено еще немало таких экземпляров, большей частью представляющих собой фиктивно-двойные квазары. Может возникнуть вопрос: почему гравитационная линза формирует, как правило, два изображения? Это зависит от свойств линзы и ее положения между нами и квазаром. Трудно ожидать, что гравитационное поле галактики-линзы будет строго радиально-симметричным, как у линзы, вышедшей из хорошей оптической мастерской. Чаше галактики бывают вытянутыми. Да и квазар совершенно не обязан лежать точно на оптической оси. Тем не менее после долгих поисков все-таки были найдены «крест Эйнштейна» — учетверенное изображение квазара, расщепленное более близкой к нам галактикой, и почти идеальное «кольцо Эйнштейна» — гравитационно-линзированное изображение далекого объекта, имеющее вид кольца.

От внимательного читателя, конечно, не укрылось, что в качестве объектов, подвергшихся гравитационному линзированию, мы говорили о квазарах. А что же другие объекты? Разве обыкновенная, только очень далекая галактика не может быть линзирована более близкой галактикой?

Может, конечно. И такие объекты наблюдаются. Все дело в том, что квазары — яркие источники, а гравитационное линзирование по закону вероятности чаще всего проявляется на громадных расстояниях. Обнаружить линзированный квазар проще по той же самой причине, по какой свет прожектора виден с гораздо большего расстояния, чем свет карманного фонарика. Все остальные свойства квазаров в данном случае совершенно ни при чем.

7. СКОПЛЕНИЯ И СВЕРХСКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК

Галактики неоднородно распределены по небу. Всякий, кто наблюдал их в телескоп, знает, что в областях, далеких от полосы Млечного Пути, т. е. там, где свет не сильно ослаблен поглощением галактического пылевого диска, ярких галактик много в созвездиях Девы, Волос Вероники, Льва и Малого Льва, Рыси, Большой Медведицы, Гончих Псов, зато мало, к примеру, в созвездиях Геркулеса и Волопаса. Это явление уже невозможно объяснить наблюдательной селекцией. Не только для земного наблюдателя, но и в действительности существуют как достаточно небольшие регионы с высокой плотностью галактик, так и обширные области, содержащие относительно небольшое число галактик.

Проще говоря, галактики в большинстве своем собраны в некие объединения — группы, скопления и сверхскопления (рис. 37). Если построить трехмерную модель известной нам части Вселенной, то окажется, что распределение галактик напоминает структуру пчелиных сот или рыбацкой сетки — сравнительно тонкие «стенки» и «волокна» окружают большие «пузыри» практически пустого пространства, так называемые войды (от англ. *void* — пустота). Скопления галактик являются «узлами» этой «сетки» (рис. 38, цв. вклейка).

Самая низшая ступень объединения — группа. Обычно группы состоят из небольшого (не более 50) числа галактик всех мастей и имеют размер от 1 до 2 Мпк. Масса группы галактик не превышает, как правило, 10^{13} солнечных масс, а индивидуальная скорость галактик в группе составляет примерно 150 км/с. Хорошим примером является Местная группа, рассмотренная нами выше. На рис. 39 показана группа галактик в созвездии Печь.

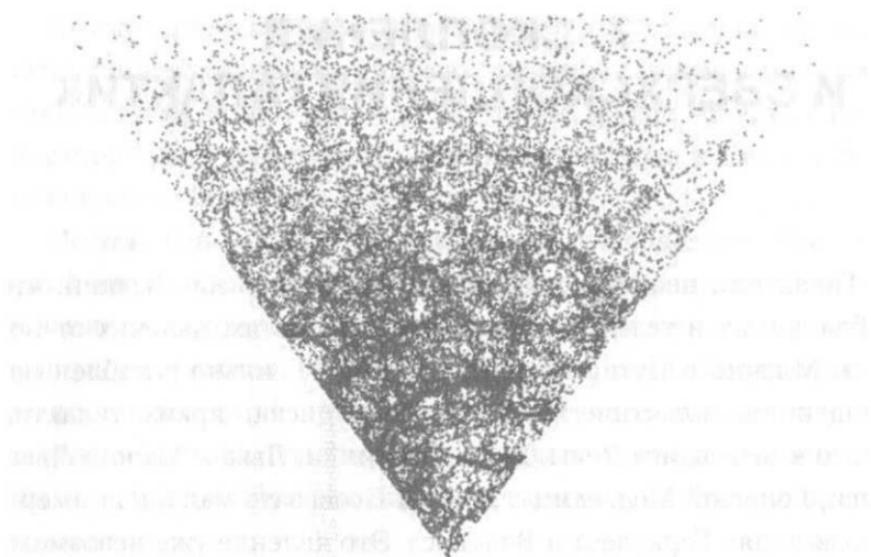


Рис. 37. Часть распределения галактик, изученная в ходе составления обзора галактик 2dF



Рис. 39. Группа галактик в созвездии Печь

Скоплениями называют объединения галактик бóльшие, чем группа, хотя четкого различия между этими двумя классами нет. В скопление могут входить и сотни, и десятки тысяч галактик. Известно много скоплений галактик; их каталогом, составленным Дж. Абелем, астрономы пользуются и сейчас. Лишь для исследования ближайших к нам скоплений подойдет небольшой телескоп — другие (и их подавляющее большинство) настолько далеки от нас, что для их исследования требуются крупнейшие из существующих на сегодняшний день инструментов. Кстати, в упомянутых чуть выше созвездиях Геркулеса и Волопаса есть скопления галактик, и даже не самые далекие, правда, очень близкими их тоже не назовешь, поэтому украшениями неба они не служат. Ближайшие к нам скопления галактик находятся в Деве и Волосах Вероники.

Как сравнивать скопления между собой? Ответ довольно очевиден: по населенности и морфологии. Населенность скопления определяется его *богатством*. Это не метафора, а строгий параметр. Еще Абель предложил определять богатство скопления как количество галактик скопления в интервале двух звездных величин слабее третьей по блеску галактики скопления. Абель выбрал третью по блеску галактику, а не первую, чтобы избежать проблем, связанных с тем, что ярчайшие галактики скопления могут не входить в него, а являться галактиками переднего фона. В эпоху Абеля расстояния до галактик еще не были известны. По критерию Абеля скопления галактик в его каталоге имеют богатство от 50 до 100. Разумеется, полное количество галактик в этих скоплениях гораздо больше и для большинства скоплений достигает тысяч объектов.

Индивидуальные характеристики скопления не исчерпываются его богатством. Абель разделил скопления галактик на два класса: правильные и неправильные (иногда называемые регулярными и нерегулярными). Позднее было придумано несколько других классификаций, но все они признают связь типов преобладающих в скоплении галактик (эллиптические, спиральные, неправильные) с формой скопления. Скопления правильной

формы можно уподобить шаровым скоплениям, где роль звезд играют галактики. Эти скопления обладают достаточно плотным ядром и ярко выраженной сферически-симметричной структурой. Их дальнейшая классификация по богатству оперирует числом галактик внутри сферы радиуса 1,5 Мпк от центра — так называемого абелевского радиуса. Обычно они имеют размер 1–10 Мпк и массу порядка 10^{15} солнечных.

В правильных скоплениях преобладают эллиптические галактики и галактики типа *So*. Последние чаще всего встречаются в центральных областях правильных скоплений, где плотность галактик высока. Это и неудивительно: ведь, согласно наиболее популярной версии, галактики типа *So* происходят от обычных спиральных галактик, из которых выметена газопылевая материя. Это прискорбное событие может случиться, например, при «лобовом» столкновении двух галактик. При этом звездное население обеих галактик несколько не страдает, и галактики спокойно проходят друг сквозь друга. Но принадлежащие галактикам газ и пыль, столкнувшись, остаются на месте, где-то между расходящимися в пространстве галактиками. В дальнейшем эта газопылевая материя может полностью рассеяться, а может и образовать карликовую неправильную галактику — это не важно. Важно то, что в испытанных столкновении галактиках больше нет ни пыли, ни газа. В них прекращается звездообразование, а главные его области — спиральные рукава — постепенно тускнеют по мере выгорания в них массивных горячих звезд, а затем и вовсе пропадают. Разумеется, при взгляде «в профиль» на экваторе такой галактики нет пылевой полосы.

Что до настоящих спиралей, то их в правильных скоплениях мало, они чаще всего невелики и расположены на периферии скопления — там, где плотность галактик невелика и их структура ничто не угрожает. Мало и неправильных галактик.

Наиболее эффектный пример правильного скопления — скопление в Волосах Вероники (рис. 40, цв. вклейка), расположенное примерно в 100 Мпк от нас. Оно компактное и концентрируется

к центру, где находятся несколько ярких гигантских галактик. Внутри его абелевского радиуса находятся не меньше тысячи галактик! Ярчайшая из них имеет достаточно высокую светимость и большие размеры, чтобы считаться галактикой типа cD. В этот тип выделяют чрезвычайно большие эллиптические галактики, часто оказывающиеся радиоисточниками (вроде уже знакомой нам M87). Это галактики-каннибалы, пожравшие нескольких более мелких соседей и иногда многоядерные по причине неполного переваривания.

В центрах правильных скоплений много межгалактического газа, отчасти, по-видимому, потерянного галактиками, а отчасти, возможно, натекшего в скопления извне. Как ни мало газа в межгалактическом пространстве, особенно между скоплениями галактик, а все-таки он есть и подчиняется законам тяготения. В центрах скоплений газ нагрет и излучает в радиодиапазоне, а иногда его можно даже «увидеть»: продираясь сквозь него, радиогалактики оставляют за собой закрученные шлейфы — газовые струи.

Примерно треть всех правильных скоплений являются еще и рентгеновскими источниками. И в этом случае излучение исходит от газа в центрах скоплений, но уже нагретого до безумных температур порядка 100 млн К. Такую температуру облака газа могут приобрести при бурных столкновениях друг с другом.

Неправильные скопления галактик не демонстрируют нам никакой внятной структуры. Они слабо концентрированы к центру, состоят из субскоплений и окружены многочисленными группами типа нашей Местной группы. Центр такой системы выражен крайне слабо, часто наблюдаются локальные центры и т. д. П. Ходж приводит аналогию: правильные скопления похожи на города типа Нью-Йорка с сильной концентрацией к центру города — Манхэттену, где расположено много похожих друг на друга гигантских зданий. Неправильные же скопления больше походят на Лос-Анджелес, расплывшийся по пригородам и со слабой концентрацией в центре. Трудно понять, где находится центр Лос-Анджелеса, и еще труднее решить, где же,

собственно, заканчивается город и начинаются пригороды, — город постепенно сходит на нет на больших расстояниях от центра.

Хороший пример — скопление в Деве (хотя часть его залезает в соседнее созвездие Волос Вероники) (рис. 41, цв. вклейка). Оно удалено от нас всего на 18 Мпс. В этом неправильном скоплении есть и эллиптические галактики, в том числе сверхгигантские, но последних мало. При взгляде на скопление в Деве прежде всего бросаются в глаза великолепные спирали — такие, например, как М61 (рис. 42, цв. вклейка) и М100 (рис. 43, 44, цв. вклейка). Поскольку в этом скоплении нет областей, где плотность галактик была бы очень высока, то и столкновения между галактиками происходят редко. Отсюда и редкость галактик-каннибалов типа сD.

Межгалактического газа в неправильных скоплениях, по видимому, тоже относительно немного, и он менее нагрет. Лишь каждое четвертое из них излучает радиоволны, и менее 10% являются рентгеновскими источниками. Мало и галактик типа S0, что вполне понятно — мало столкновений.

Также примером неправильного скопления является скопление в Геркулесе Abell 2151 — не путать со знаменитым шаровым скоплением в Геркулесе М13, оно же NGC6205. Оно удалено от нас примерно на 200 Мпк и не отличается богатством — в нем порядка 100 галактик. Однако его особенностью является разнообразие галактического населения — и спиральные, и эллиптические, и неправильные, и линзовидные типа S0, и даже взаимодействующие галактики нашли приют в его границах. Плюс — это скопление является частью сверхскопления в Геркулесе, образованного помимо него скоплениями Abell 2147, Abell 2152 и еще несколькими.

В свою очередь, данное сверхскопление вместе с еще одним, более близким (несколько более 100 Мпк) сверхскоплением опять же в Геркулесе, ядро которого составляют скопления Abell 2197 и Abell 2199, а также скоплением в Волосах Вероники (Abell 1656) и скоплением в созвездии Льва (Abell 1367) образуют структуру,

получившую название Великая Стена (рис. 45), которая является частью крупномасштабной структуры Вселенной.

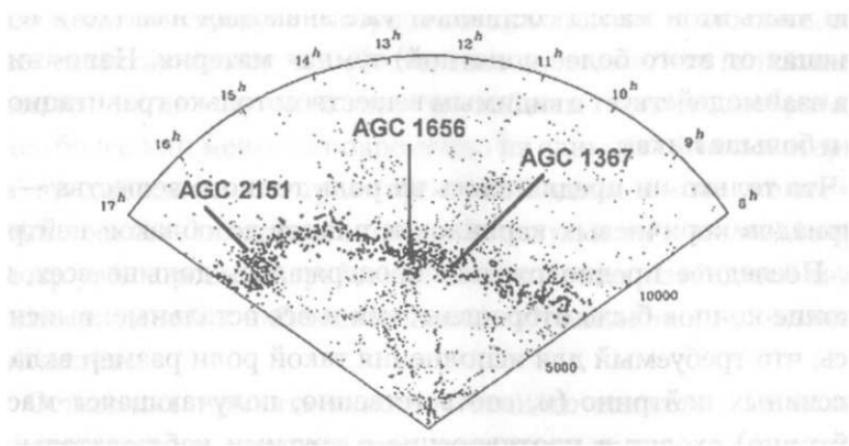


Рис. 45. Великая Стена

Размеры Великой Стены поистине огромны. По небу она простирается от 8 до 16 часов прямого восхождения и от 26,5 до 42,5 градусов северного склонения, а в пространстве ее длина превышает 500 млн св. лет.

А что же мы? Где мы находимся? Чудовищно громадный масштаб космических расстояний сам по себе может вогнать в ступор (не астронома — они к таким порядкам цифр относятся спокойно). Указание нашего адреса во Вселенной — хоть какая-то психологическая зацепка, которая, будем надеяться, поможет успокоиться чересчур трепетным натурам.

Итак, где мы находимся?

Близ скопления в Деве. Наша Местная группа галактик — дальний и малочисленный «выселок» этого скопления. Участвуя в общем расширении Вселенной, Местная группа удаляется от скопления в Деве, но, испытывая его гравитационное воздействие, удаляется менее быстро, чем полагалось бы, учитывая расстояние до скопления и закон Хаббла. Между прочим, это обстоятельство серьезно затрудняло и затрудняет до сих пор точное определение постоянной Хаббла. На сравнительно близких расстояниях до галактик, которые (расстояния) могут быть определены по ярчайшим звездам в галактиках, всегда приходится

принимать во внимание гравитационные эффекты. Полную же массу скоплений галактик оценить непросто, так как значительную часть этой массы составляет уже знакомая нам (хотя и не ставшая от этого более понятной) темная материя. Напомним, она взаимодействует с видимым веществом только гравитационно и больше никак.

Что только ни предлагалось на роль темного вещества — от мириадов коричневых карликов и планет до облаков нейтрино. Последнее предположение продержалось дольше всех, но в конце концов было отброшено, как и все остальные: выяснилось, что требуемый для исполнения такой роли размер вклада массивных нейтрино (и, соответственно, получающаяся масса нейтрино) входит в противоречие с другими наблюдательными данными.¹ Таким образом, нейтрино не могут объяснить силу тяготения темной материи. А она велика! Еще в 1933 году Цвикки обнаружил, что скорости галактик в скоплении Волос Вероники ненормально велики — порядка 1000 км/с. Из предположения о гравитационной связности этого скопления следовала очень большая масса галактик в скоплениях — много больше, чем получалось из обычного для галактик отношения массы к светимости. Аналогичный результат был позднее получен для скопления в Деве. Цвикки не смог найти объяснения этой странности. На проблему не обращали внимания до 1959 года, когда В.А. Амбарцумян предположил, что массы галактик в скоплениях нормальные, но сами скопления гравитационно неустойчивы и должны распадаться точно так же, как понемногу распадаются рассеянные скопления звезд, к примеру Плеяды. Но тогда, согласно расчетам, сроки жизни скоплений галактик по-

¹ Интересным будет отметить, что именно наблюдательные данные по крупномасштабной структуре Вселенной — а не данные наземных экспериментов с использованием нейтринных детекторов, реакторов и ускорителей — являются на данный момент одними из наиболее точных источников информации о массе нейтрино. Так смыкается самое малое и самое большое! — *Примеч. авт.*

рядка одного миллиарда лет, что противоречит представлениям о звездной эволюции. Ведь возраст старейших звезд в галактиках оценивается, грубо говоря, в 10–15 млрд лет, стало быть, возраст галактик не меньше. Достаточно очевидно, что галактики в скоплениях не «сгущивались» случайным образом, а образовались более или менее одновременно из единого облака материи. За предположение о гравитационной несвязности скоплений пришлось бы заплатить слишком большую цену — полный пересмотр уже хорошо разработанной и, главное, находящей массу подтверждений в наблюдательном материале теории звездной эволюции...

Оставалось принять гипотезу темного вещества, не только окружающего галактики (хотя, возможно, не все), но и находящегося между ними в скоплениях. Ведь полную массу галактики (включая принадлежащее ей темное вещество) можно вычислить по скорости ее вращения, а просуммировав массы галактик, найти полную массу скопления. Увы, концы с концами не сходились. Масса скоплений неизменно оказывалась значительно больше массы находящихся в нем галактик. Оставалось признать, что темное вещество распределено также между галактиками, концентрируясь к центру, особенно в правильных скоплениях.

Очень важным является вопрос о том, как темное вещество распределено в пространстве вне скоплений и сверхскоплений — там, где в ячеистой структуре Вселенной имеются обширные «пустоты», практически лишенные галактик. Избегает ли темное вещество столь ненаселенных мест? Может ли оно образовывать сгущения там, где нет сгущений видимого вещества? Вопрос еще далек от ясности. Похоже, решить его можно только наблюдением за гравитационно-линзированными источниками (вот и опять пригодятся квазары!). Если наблюдается линзированный объект, а «линза» никак не выявляет себя, она может оказаться сгустком темного вещества, по какой-то причине одиночим.

Но хватит пока о темном веществе, вернемся к структуре наших «ближайших» окрестностей. Помимо Великой Стены в числе близких к нам элементов крупномасштабной структуры

Вселенной можно выделить так называемый Великий Аттрактор (от англ. *attract* — притягивать). О его существовании астрономы подозревали с 1986 года, когда выяснилось, что помимо скопления в Деве существует еще один мощный центр притяжения, влияющий на движение Местной группы. Он был открыт косвенным путем — по анализу движения галактик. В конце концов удалось установить, что Великий Аттрактор — не просто умозрительная точка равнодействия приложенных гравитационных сил, а реальное сверхскопление, закрытое от нас рукавом Млечного Пути. Поначалу его масса казалась явно недостаточной для объяснения столь мощной гравитации, но позднейшие исследования выявили в нем великое множество слабых галактик. Слабые они, собственно, только потому, что их заслоняет пылевая толща Млечного Пути. Уже в XXI веке выяснилось, что масса сверхскопления как раз достаточна.

Великий Аттрактор удален от нас на 250 млн св. лет в направлении созвездия Центавра и имеет размеры около 400 млн св. лет. Масса Великого Аттрактора так велика (порядка 5×10^{16} солнечных масс, причем по меньшей мере 9/10 этой массы составляет темная материя), что своим притяжением он вмешивается в хаббловское расширение Вселенной. За счет этого притяжения Местная группа приближается к Великому Аттрактору со скоростью 600 км/с (в системе отсчета, связанной с фоном реликтового излучения). Соответственно, на такую же величину уменьшена скорость удаления Великого Аттрактора, обусловленная расширением Вселенной (около четырех с половиной тысяч км/с на такой дистанции). Весьма значительная «поправка»!

В центральной части Великого Аттрактора находится сверхскопление Норма (Abell 3627). Если бы не маскирующие эффекты Млечного Пути, это сверхскопление не уступало бы скоплению в Волосах Вероники, находясь при этом ближе к нам (рис. 46, цв. вклейка).

Великая Стена и Великий Аттрактор — всего лишь ближайшие к нам детали структуры Вселенной. Букашке, сидящей на кирпичной стене, легче всего увидеть ближайшие швы кладки,

окружающие избранный букашкой кирпич. Разглядеть более далекие швы ей уже трудно.

Но можно. Время от времени на Космическом телескопе им. Хаббла делаются «глубокие проколы» Вселенной — снимки с длительной экспозицией какого-либо (по необходимости очень узкого) участка неба. На них обнаруживаются очень далекие скопления и сверхскопления, свои великие стены и великие аттракторы. К сожалению, таким образом пока еще нельзя получить полную карту неба — только на одну эту работу ушло бы больше времени, чем существует космический телескоп. Астрономы вынуждены исследовать дальние области Вселенной отдельными «глубокими проколами», но и они приносят массу бесценной информации.

Основная цель астрономии — изучение эволюции Вселенной. Для этой задачи исключительно важность скоплений галактик обусловлена следующими обстоятельствами.

1. Скопления очень медленно изменяются — требуется время, сопоставимое с возрастом Вселенной, чтобы эти изменения стали сколько-нибудь существенными. Таким образом, скопления сохраняют следы особенностей своего формирования, что делает их важным источником сведений об образовании галактик и крупномасштабной структуры Вселенной.
2. В отличие от галактик, газ в которых может «выдуться» за их пределы взрывами Сверхновых и иными процессами, скопления галактик удерживают весь газ в своих границах. Иными словами, скопления являются замкнутыми системами, и путем их изучения можно воссоздать историю нуклеосинтеза во Вселенной.
3. Так как основную часть массы скоплений галактик составляет темная материя, исследование скоплений является одним из способов получения информации об этой загадочной субстанции, играющей одну из ключевых ролей в эволюции нашей Вселенной — как прошлой, так и будущей.

Вряд ли очень далек тот день, когда старичка «Хаббла» сменят более совершенные космические инструменты, и есть все основания надеяться, что в наших знаниях о Вселенной произойдет качественный скачок. И все же ощущение ничтожности человечества перед колоссальными масштабами Вселенной остается. Что уж говорить о каждом человеческом индивидуе в отдельности, о его счастье и несчастье, удачах и неудачах! Это даже не возня инфузорий в пруду — это нечто неизмеримо более мелкое!

Может быть, и так. А может быть, и иначе. Ведь никто еще не доказал повсеместной распространенности разумной жизни во Вселенной. Может статься, что человечество со всеми его недостатками, и прежде всего с ограниченным разумом, — самый первый эксперимент Вселенной по созданию инструмента для ее познания и преобразования. Если это так, то мы не «бедные родственники», а зерно чрезвычайно могучей силы, которая — имеем основания надеяться — разовьется в будущем.

ЧАСТЬ VI

**ВСЕЛЕННАЯ
КАК ОНА ЕСТЬ**

1. МОДЕЛЬ ЭЙНШТЕЙНА

Хотя мысли об устройстве Вселенной волновали человека всегда, с самых древних времен, в современном виде история космологии начинается с первых десятилетий XX века. Если переводить слово «космология» буквально — а происходит оно от греческих слов «kosmos» (порядок, гармония, мир) и «logos» (слово, рассуждение), — то у нас получится «рассуждение о мировом порядке». В принципе под это определение можно подвести практически любую науку, не говоря уже о философии. Однако общепринятый ныне смысл термина «космология» несколько более узкий — так называется раздел науки, занимающийся происхождением, строением и эволюцией всей нашей Вселенной в целом.

Но доля правды в буквальном переводе есть — современная космология является синтезом многих естественных наук¹ (в первую очередь, конечно, астрономии, физики и химии) и активно использует их инструменты и методы исследования. Более того, космологические открытия зачастую поднимают большое количество мировоззренческих вопросов, так что, получается, космология представляет интерес даже для философов.

При этом есть одно принципиальное отличие современной космологии от остальных наук. Как известно, основой науки является эксперимент, его проверяемость и повторяемость. Но Вселенная у нас существует в одном экземпляре (впрочем, в даль-

¹ В дальнейшем под словом «науки» всегда будут пониматься «естественные науки». С сожалением вынуждены признаться, что по крайней мере один из авторов целиком и полностью разделяет точку зрения великого нашего физика Льва Ландау: что науки бывают «сверхъестественные, естественные и неестественные». Причем стоит заметить, что к сверхъестественным наукам он относил одну лишь математику. В другой же редакции высказывание звучит еще более жестко: «естественные, неестественные и противоестественные». — *Примеч. авт.*

нейшем будет рассказано о гипотезах, данный постулат слегка корректирующих). и никакое экспериментирование с ней — к сожалению или, скорее, к счастью — невозможно.

Данное обстоятельство не столь умозрительно, как это может показаться с первого взгляда. Так, в качестве иллюстрации, какие реальные проблемы оно порождает, можно привести следующий пример. Чуть дальше будет рассказано о реликтовом излучении — «эхе» Большого Взрыва, дошедшем до наших времен, и о его анизотропии (т. е. о неоднородности распределения температуры реликтового излучения по небу). Так вот, при изучении данной анизотропии на больших масштабах (когда два направления на небе разделяет большой угол) возникает так называемая проблема *cosmic variance*.

Cosmic variance в буквальном переводе с английского означает «космическое отклонение» (или — для знакомых с основами математической статистики это скажет больше — «космическая дисперсия»), но общепринятого русскоязычного термина до сих пор не существует. Смысл данной проблемы заключается в следующем: процессы, приведшие к образованию анизотропии, носят вероятностный характер. Таким образом, все измеряемые нами величины неизбежно будут иметь статистическую (т. е. неустрашимую в принципе) ошибку, уменьшить которую можно, только увеличивая число экспериментов. Например, если мы бросим монетку два раза, то не будет ничего удивительного, если оба раза выпадет «орел». Добиться, чтобы «орел» выпал примерно в половине случаев, как это предсказывает теория вероятности, можно лишь большим числом подкидываний (экспериментов).

Но Вселенная, как уже было сказано, у нас всего одна. Все, что произошло, — произошло один раз, переиграть нельзя. Для анизотропии на малых масштабах положение спасает то, что таких маленьких пятнышек на небе можно выделить много, так что усреднять можно по ним. А вот с анизотропией на больших масштабах помочь не может ничто. И это очень жаль, потому что (как, опять же, будет рассказано далее) влияние загадочного лямбда-члена («темной энергии») на анизотропию реликтового

излучения наиболее явно проявляется именно на больших масштабах.

Впрочем, мы немного забежали вперед. Итак, космология в современном понимании, как уже было сказано, возникла в начале XX века. Вообще начало XX века было поистине «золотым веком» физики. Ведь именно тогда были созданы две теории, которые легли в фундамент всего современного здания физики, — теория относительности и квантовая теория. Разумеется, не стала исключением и космология, ныне она широчайшим образом использует весь аппарат, результаты и выводы этих двух теорий. Однако, не умаляя роли квантовой теории, не будет преувеличением сказать, что именно теория относительности не просто легла в основу, а была тем самым решающим толчком, приведшим к созданию космологии как науки.

Как известно (но будет излишним еще раз напомнить), теория относительности была создана гениальным немецким физиком Альбертом Эйнштейном. Сначала, в 1905 году, была создана Специальная Теория Относительности (СТО), которая изучает движение тел со скоростями, близкими к скорости света, но при этом не рассматривает эффекты гравитации и процессы в неинерциальных (ускоренных) системах отсчета. Так как в последнее время «опровергатели Эйнштейна» опять сильно активизировались, полезным будет сказать, на каких очень простых постулатах базируется СТО.

А постулатов этих всего два.

Первое. Все законы природы одинаковы для всей инерциальных (т. е. движущихся без ускорения) наблюдателей. Это — известный задолго до Эйнштейна принцип относительности Галилея, правоту которого подтверждают не только точные физические эксперименты, но и весь наш повседневный опыт. Не случилось ли вам, читатель, сидя в поезде, гадать: то ли тихо тронулся ваш поезд, то ли — соседний? А ведь тронувшийся поезд хоть небольшое, да испытывает ускорение. Если же ускорение (и разнообразную тряску с вибрацией) совсем убрать (и не апеллировать к априори неподвижной для нас Земле), то отличить,

какой поезд едет, а какой стоит, — будет невозможно в принципе, никаким мыслимым и немыслимым опытом. Как говорится, кто едет, кто стоит — «зависит от точки зрения».

Второе. Существует максимальная (предельная) скорость распространения взаимодействий. И, так как это тоже закон природы, ясно, что скорость эта одна и та же для всех инерциальных наблюдателей, с какой бы скоростью (меньшей максимальной, понятное дело) они мимо друг друга ни двигались бы. Это экспериментальный факт, впервые обнаруженный в опыте Майкельсона—Морли в 1887 году и многократно потом воспроизведенный.

Второй постулат часто формулируется в виде «скорость света является константой». Но такая «краткая формулировка» может привести (и зачастую приводит) к недопониманию, а то и является источником нездоровых сенсаций для журналистов (вида «ученые изменили скорость света!»). На самом же деле константой является скорость света в вакууме — а еще точнее, скорость света в вакууме этой константе (максимальной скорости распространения взаимодействий, как уже было сказано) равна. Точно так же ей будет равна скорость любых безмассовых частиц (правда, после открытия у нейтрино массы число кандидатов на эту роль к одним только фотонам и сводится)¹.

А вот в среде (например, в воздухе) скорость света может быть и меньше — причем в принципе весьма значительно меньше. Так, в 1999 году группа ученых из Стэнфордского и Гарвардского университетов сумела «замедлить» свет до скорости всего 17 м/с (чуть больше 60 км/ч) — и это еще, по их уверениям, не предел. Причиной тут является поглощение и последующее переизлучение фотонов атомами среды.

Так что в среде можно двигаться со скоростью, большей скорости света (в этой же среде!). Существует явление черенковско-

¹ Имеются в виду уже открытые элементарные частицы. Теоретические же кандидаты имеются в количестве — начиная с гипотетических гравитонов. — *Примеч. авт.*

го (по имени первооткрывателя — советского ученого Федора Черенкова) излучения, которое возникает при движении заряженной частицы (например, электрона) в среде со скоростью, превышающей скорость света. И данное явление, как уже тоже было сказано, используется в экспериментах по нейтринным осцилляциям, а также при регистрации космических лучей.

При анализе движения далеких галактик тоже возникают эффекты «сверхсветового» движения. Причем эффекты эти могут быть как «видимыми» (т. е. кажущимися, не существующими на самом деле), так и истинными. Но рассказ об этом (и почему тут нет противоречия с теорией относительности) тоже будет чуть позже.

Итак, как видим, постулатов, легших в основу СТО, — всего два. И все выводы СТО, связанные с «замедлением времени» для движущихся тел, «сокращением расстояний», «парадоксом близнецов» (который, впрочем, корректно может быть разрешен только в рамках Общей Теории Относительности), «ростом массы»¹, — однозначным образом выводятся из этих двух вполне элементарных постулатов. Так что лично нам все потуги «ниспровергателей Эйнштейна» представляются априори обреченными на провал.

Но для целей космологии более важным оказалось создание в 1915 году Общей Теории Относительности (ОТО), введшей в рассмотрение эффекты гравитационного взаимодействия. При всей математической сложности ее аппарата (опирающегося на тензорное исчисление) от Специальной Теории Общую отличает добавление всего одного постулата — так называемого принципа эквивалентности гравитационной и инертной массы. Он гласит, что та (инертная) масса, которая фигурирует во втором законе Ньютона («Сила равна произведению массы на ускорение»), и гравитационная масса из закона всемирного притяжения («Тела

¹ Впрочем, масса как раз на самом деле не растет, это один из видов так называемого научного жаргона. Но это уже тема совсем другого разговора. — *Примеч. авт.*

притягиваются с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними») — одно и то же.

Ну и, как иллюстрация данного принципа эквивалентности, — знакомый, думаем, многим читателям этой книги «лифт Эйнштейна». Человек, находящийся в закрытом со всех сторон непрозрачном лифте, не сможет определить — стала ли лифт притягивать какая-либо планета либо его потащило некое космическое чудовище¹. Или же, в другом варианте, — что в свободно падающем в поле тяготения лифте должна наступить невесомость.

Безусловно, принцип эквивалентности тоже многократно подтвержден самыми разнообразными физическими экспериментами, начиная с хрестоматийного опыта Галилея по бросанию ядер с Пизанской башни. Среди же современных экспериментов можно выделить готовящиеся к запуску спутниковые миссии STEP (Satellite Test of the Equivalence Principle — Спутниковый Тест Принципа Эквивалентности), разрабатываемый в Стэнфордском университете, французский проект MICROSCOPE (Micro-Satellite à traînée Compensée pour l'Observation du Principe d'Equivalence) и итальянский Galileo Galilei. Они должны проверить точность выполнения принципа эквивалентности вплоть до 18-го знака после запятой!

Таким образом, все поразительные выводы ОТО, как и выводы СТО, имеют в своей основе не менее поразительно простой базис. Ясно поэтому, что шансы на пересмотр Теории Относительности с чистой совестью можно считать абсолютно нулевыми. Возможно лишь создание более общей теории, которая будет включать в себя ОТО в качестве предельного случая — так же, как СТО сво-

¹ Тут, опять же, есть одна тонкость, заключающаяся в том, что действие гравитационного поля от действия ускорения нельзя отличить только в одной точке. Для протяженного тела появятся так называемые приливные силы, так что различие будет. Но это уже тема совсем, совсем другого разговора. — *Примеч. авт.*

дится к классической механике в случае малых скоростей, а сама ОТО сводится к ньютоновской теории гравитации в случае слабых гравитационных полей.

Первым, кто применил аппарат ОТО к анализу всей Вселенной в целом, был сам Альберт Эйнштейн. Его работа «Вопросы космологии и общей теории относительности» вышла в 1917 году, вскоре после создания самой ОТО. Однако Эйнштейн находился в плену господствующих на тот момент времени представлений о стационарности Вселенной, т. е. о ее неизменности во времени. Вряд ли его можно за это винить, так как на начало XX века находились ученые, которые отрицали даже существование других звездных систем за пределами нашей Галактики!

Но тем бóльшим было удивление Эйнштейна, когда оказалось, что из уравнений ОТО следует принципиальная невозможность пребывания Вселенной в стационарном состоянии. Она неизбежно должна так или иначе эволюционировать. Кстати, на качественном уровне довольно легко понять — почему. Ведь если Вселенная наполнена неподвижными друг относительно друга телами и между ними действует сила всемирного притяжения, то они, разумеется, должны притягиваться друг к другу. Ведь силы гравитации, хотя и ослабляясь по закону обратных квадратов, все-таки действуют на расстояниях вплоть до бесконечных. Таким образом, единственным вариантом, позволяющим существовать стационарной Вселенной, являлся вариант с нулевым давлением и плотностью вещества — т. е. совершенно пустая Вселенная, что вряд ли могло удовлетворить Эйнштейна.

Позволим себе еще одну ремарку. На самом деле многие (хотя и не все) классические космологические модели, речь о которых пойдет далее, как оказалось, могут быть выведены без привлечения ОТО, с помощью одной лишь классической ньютоновской механики и теории тяготения (к сожалению, рамки этой книги заставляют нас воздерживаться даже от самых простых формул). Однако возможность эта, полезная в педагогических целях и потому часто встречающаяся на страницах популярной литературы, должна быть обязательно подкреплена точными расчетами

теории относительности! Точно так же, как уже приведенная ранее формула для гравитационного радиуса черной дыры — он может быть получен из простых «классических» принципов, которые на самом деле к черной дыре неприменимы. Так что такая возможность является своего рода счастливым совпадением (отражающим, впрочем, глубинные свойства нашего мира, являющиеся темой другого рассказа).

Итак, стационарной Вселенной у Эйнштейна не получилось. Однако его вера в неизбежность именно такого вида мироздания была столь велика, что он решился на «исправление» своей только что созданной теории: «Я пришел к убеждению, что уравнения гравитационного поля, которых я до сих пор придерживался, нуждаются еще в некоторой модификации»¹.

Модификация свелась к добавлению к уравнениям еще одной постоянной величины — так называемого лямбда-члена. Таким образом, число констант в уравнениях расширилось до трех — постоянная тяготения G , скорость света c и лямбда-член Λ . Но если первые две константы были уже очень хорошо известны из наблюдений, то лямбда-член был добавлен, еще раз повторим, совершенно произвольным образом, что, конечно, не могло не напрягать Эйнштейна. И, судя по всему, действительно сильно напрягало — ведь последние фразы его статьи звучат почти как попытки оправдания: «Во всяком случае, это представление логически непротиворечиво и с точки зрения Общей Теории Относительности является наиболее естественным. Мы не будем здесь рассматривать вопрос, приемлемо ли это представление с точки зрения современных астрономических знаний. Правда, для того чтобы прийти к этому непротиворечивому представлению, мы должны были все же ввести новое обобщение уравнений гравитационного поля, не оправдываемое нашими действительными знаниями о гравитации».

¹ Исторические цитаты в данной части книги, как правило, проводятся по книгам И.Д. Климишина «Релятивистская астрономия» и А.М. Черепашука и А.Д. Чернина «Вселенная, жизнь, черные дыры». — *Примеч. авт.*

Однако своей цели тем не менее Эйнштейн добился — построенная им модель Вселенной с лямбда-членом действительно была стационарной. Причиной этого было то обстоятельство, что лямбда-член (с тем знаком, который выбрал для него Эйнштейн) на больших расстояниях действует как сила отталкивания, т. е. как эффективная антигравитация, уравновешивая таким образом силу притяжения¹.

Кстати, слово «эффективная» используется нами не зря. «Истинной» антигравитации, исходя из современных представлений о природе тяготения, существовать не может. Роль же именно «эффективной» антигравитации для тяжелого предмета в повседневных условиях с успехом выполняет прочная веревка. Это грубая, но наглядная демонстрация отличия «истинного» от «эффективного».

Что же представляла собой «Вселенная Эйнштейна»? Это была замкнутая статичная трехмерная сфера (называемая гиперсферой), вложенная (точнее — изучать ее свойства удобнее, считая ее вложенной) в некое фиктивное четырехмерное пространство (не путать с четырехмерным пространством-временем!). Привычным нам двумерным аналогом гиперсферы является обычная сфера — воздушный шарик, например, если пренебречь толщиной его пленки. И так же, как треугольник, нарисованный на поверхности воздушного шарика, будет иметь сумму углов большую, чем имеет треугольник на плоской поверхности (180 градусов, как известно), треугольник во Вселенной Эйнштейна (образованный, например, световыми сигналами) тоже будет «поупитанней» своего плоского собрата.

Гипотетическое двумерное существо, отправившееся в путешествие по поверхности воздушного шарика, через некоторое время вернется обратно, в ту же точку, откуда начало свое

¹ На самом деле, конечно, действовать как эффективная антигравитация лямбда-член будет на любых расстояниях, но на малых расстояниях эффект от его наличия, в силу малости, не представляется возможным измерить. — *Примеч. авт.*

путешествие, нигде не встретив при этом никакой границы. Аналогичным образом, световой луч (или, например, космический корабль) во Вселенной Эйнштейна, двигаясь все время «прямолинейно», тем не менее вернется обратно — тоже не встретив никакой преграды, не испытав никакого отражения!

Таким образом, мир оказывается замкнутым, имеющим конечные размеры и конечный объем — но при этом безграничным. И не знаем, как вам, читатели, а нам эта мысль доставляет определенное беспокойство — как о самой совершенной в мире тюрьме, откуда невозможно сбежать, ведь в ней нет стен, под которые можно подкопаться, и решеток, которые можно перепилить. Не возбраняется куда-то двигаться, но тебя все равно рано или поздно вернет обратно.

И пусть со стороны такие слова кажутся несколько наивными в устах людей, априори запертых на одной-единственной планете, — вы-то, думаем, нас понимаете? Ведь это чуточку печальная, но все-таки необъяснимо притягательная возможность и даже своего рода привилегия для всех, интересующихся подобными вопросами, — размышлять о несопоставимо огромных, казалось бы, величинах времени и пространства и даже принимать их близко к сердцу.

Если же попытаться численно оценить размеры Вселенной Эйнштейна, то для плотности вещества 10^{-29} г/см³ мы получим «радиус» Вселенной около 3 Гпк, а полную массу — 10^{23} масс Солнца, т. е. «кругосветное путешествие» со скоростью света заняло бы (по часам оставшихся на Земле, конечно) около 70 млрд лет, а число галактик составляло бы порядка одного триллиона. Это вполне значительная (но конечная!) величина, что должно было бы немного утешить Эйнштейна, придерживавшегося в то время так называемого принципа Маха, по которому инерция тела (т. е. сохранение им своей скорости в отсутствии действия внешних сил) обеспечивается гравитационным воздействием остальных тел Вселенной.

Интересно отметить, что всего через несколько месяцев после опубликования статьи Эйнштейна появилась работа нидер-

ландского астронома Виллема де Ситтера, в котором было найдено другое статическое решение для космологической модели с лямбда-членом — а именно решение с плотностью и давлением вещества равным нулю, т. е. совершенно пустой Вселенной с одним только лямбда-членом. Статической она будет, потому что в ней совершенно ничего со временем не меняется — ведь плотность лямбда-члена, в отличие от плотности любых других компонент вещества и излучения, от времени не зависит. Не растет при расширении, не уменьшается при сжатии — ни в целом (в среднем по Вселенной), ни в отдельных ее частях. Он не образует никаких пространственных сгущений или разрежений. Именно поэтому лямбда-член зачастую называется космологической постоянной.

Таким образом, Вселенная де Ситтера, как и Вселенная Эйнштейна, тоже будет вечной и неизменной. Но если в такую Вселенную поместить несколько пробных (т. е. не оказывающих никакого влияния ни на получившуюся модель, ни друг на друга) частиц, то они будут удаляться друг от друга по экспоненциальному закону.

Забегая немного вперед, скажем, что судьба модели де Ситтера в современной космологии, несмотря, казалось бы, на значительную искусственность (полное отсутствие вещества!), оказалась определенно удачнее судьбы модели Эйнштейна.

2. МОДЕЛЬ ФРИДМАНА

Смертельным ударом для модели Эйнштейна оказалось открытие Эдвином Хабблом разбегания галактик. Впрочем, строго говоря, первым был американский астроном Весто Слайфер. Исследование спектров других галактик (хотя в то время их называли «внегалактическими туманностями» и кипели споры об их природе) он начал еще в 1912 году. А в том же 1917 году, в котором вышла вышеописанная работа Эйнштейна, он опубликовал статью, где на основе красного смещения линий в измеренных спектрах «туманностей» сделал вывод об их удалении от нас.

Однако, повторим еще раз, так как, ни природа данных «туманностей», ни расстояние до них известны еще не были, никаких «космологических» выводов в его статье не делалось. Так что лавры первооткрывателя Эдвин Хаббл все же носит по праву. Своими наблюдениями 1927–1929 годов на 250-см телескопорефлекторе (самом большом телескопе того времени) обсерватории Маунт Вилсон он убедительно доказал, что загадочные «спиральные» туманности на самом деле являются гигантскими звездными системами — галактиками, такими же, как и наша Галактика. Самой первой «туманностью», в которой Хаббл разглядел отдельные звезды, была знаменитая Туманность Андромеды.

Но этим открытия Хаббла отнюдь не ограничились. Он сумел измерить расстояние до этих галактик! Хаббла «выручили» цефеиды — звезды типа дельты Цефея, которые изменяют свой блеск по периодическому закону. Ранее было показано (по звездам нашей Галактики), что светимость и период изменения блеска цефеид находятся во взаимосвязи. Таким образом, измеряя период, мы можем получить светимость звезды-цефеиды. А зная светимость и видимую звездную величину, мы можем вычислить расстояние (разумеется, здесь есть свои сложности, мы связанные, например, с межзвездным поглощением света).

Таким путем Хаббл смог определить расстояние до тех двух десятков туманностей, красное смещение (а следовательно, и скорость удаления) которых ранее измерил Слайфер. А это, в свою очередь, позволило ему получить свое знаменитое соотношение: $v = Hr$, где v — скорость удаления от нас галактики, r — расстояние до нее, а H — постоянная, носящая ныне его имя, «постоянная Хаббла».

Необходимо сразу отметить, что скоростью удаления галактики, фигурирующей в законе Хаббла, является скорость, обусловленная космологическим расширением Вселенной. Это весьма принципиальный момент, который иногда упускают из виду. Так, Большой Взрыв, положивший начало нашей Вселенной, зачастую представляют в виде взрыва некой гигантской космической «бомбы», после чего начался разлет вещества в пространстве. Естественно, столь же часто после подобных представлений возникает следующий вопрос: а где же, в таком случае, находится то самое место, откуда «начался» «разлет» Вселенной? В каком оно созвездии и насколько от нас далеко в этом направлении?

А так как задающий подобный вопрос зачастую знает, что галактики удаляются от нашей во все стороны, у такого человека может возникнуть идея, что «центр Вселенной» находится где-то в нашей Галактике или, по крайней мере, поблизости от нее.

На самом деле все совсем не так. В момент рождения Вселенной произошел не разлет вещества в пространстве (в самые начальные моменты, кстати, никакого вещества еще вообще не было), а начало «раздуваться» само пространство-время. Хорошей аналогией (хотя и не совсем точной) является тут уже упомянутый воздушный шарик. В рамках этого классического примера представим, что галактики — это точки на поверхности шарика, и начнем этот шарик надувать. Где для двумерного существа, живущего на шарике, будет находиться «центр» расширения? Нигде и в то же самое время — везде. Ведь о центре шарика двумерное существо, живущее на его поверхности, не имеет никакого понятия. Любая (а не одна-единственная, чем-то «выделенная») галактика будет удаляться от всех других.

И как раз именно потому, что скорости галактик в законе Хаббла имеют своей причиной «расширение» пространства-времени, они *могут* превышать скорость света. И никакого противоречия с теорией относительности тут нет — ведь она запрещает сверхсветовые скорости (что конкретно имеется в виду под «сверхсветовыми» скоростями в теории относительности — было объяснено в начале главы) в *пространстве* — а тут у нас «расширяется», как уже было сказано, само пространство-время. Условно говоря, мы не можем двигать точки по линейке со сверхсветовой скоростью — но тут у нас «увеличивается» сама линейка.

Надо сказать, что идея о сверхсветовых скоростях галактик далеко не сразу была принята многими учеными. В научно-популярных книгах (а иногда даже во вполне научных трудах), изданных в 80-е, например, годы, часто встречается утверждение, что для красных смещений далеких галактик, близких к единице (и тем более — превышающих ее)¹, необходимо использовать релятивистскую формулу СТО для эффекта Доплера, которая для любых красных смещений дает скорость удаления, не превышающую скорости света.

Но факт заключается в том, что расширение Вселенной описывает не СТО («заведующая» движениями в пространстве), а ОТО (могущая описать и «расширение» самого пространства-времени). И для связи красного смещения и скорости удаления объекта (за счет расширения Вселенной, подчеркнем еще и еще раз) необходимо использовать именно формулы ОТО. Так что для общепринятой ныне космологической модели получается, что далекие галактики с красным смещением, превышающим 1,46, *действительно* удаляются от нас со сверхсветовой скоростью.

Мы недаром усиленно подчеркивали фразу «за счет расширения Вселенной». Потому что, помимо скоростей, обусловленных

¹ Красное смещение, напомним, для скоростей, относительно небольших по сравнению со скоростью света, равно просто отношению скорости удаляющегося объекта и скорости света: v/c . — *Примеч. авт.*

расширением Вселенной, у галактик есть и собственные (пекулярные) скорости. Это обычные скорости в пространстве, обусловленные, как правило, взаимным притяжением. Они, конечно, не могут превышать скорости света. Тем не менее величина их может быть вполне значительной. Так, за счет совместного действия притяжения Великого Аттрактора и притяжения к сверхскоплению галактик в Деве, Местная группа, в которую входит наша Галактика, движется со скоростью примерно 600 км/с — об этом факте мы уже упоминали ранее. А так как на близком расстоянии скорости галактик, обусловленные космологическим расширением, невелики, то пекулярные скорости могут существенно исказить картину расширения Вселенной. Более того, Туманность Андромеды, например, имеет не красное, а фиолетовое смещение. Вместо удаления она к нам приближается.

Ну и, чтобы окончательно закрыть тему сверхсветовых скоростей в астрофизике, упомянем еще один пример. При изучении выбросов (джетов) из ядер активных галактик не раз были зарегистрированы «сверхсветовые», казалось, скорости движения этих выбросов. Тут уже речь идет о движении в пространстве, так что СТО мы имеем право (и должны!) применять в полном объеме. И СТО, конечно, сказала свое веское слово. В данном случае ни о каких «истинных» сверхсветовых скоростях речи, безусловно, нет в принципе. В данном случае такие скорости являются кажущимися, причина их — в проекции истинных движений в пространстве на картинную плоскость неба. Простейшей аналогией тут будет поведение луча фонарика, которым мы «чиркнули» по звездному небу — и за несколько секунд «совершили путешествие» через половину Галактики.

Вернемся, однако, к закону Хаббла. В рамках той же аналогии с воздушным шариком легко понять и конкретный вид закона Хаббла, приведенный выше. Представим три галактики на одной «прямой», с одинаковыми расстояниями от «краевых» галактик до «центральной». Так как ситуация у нас полностью симметрична, то «краевые» галактики будут «удаляться» от «центральной» (а она, с их точки зрения, — от них) с одинаковой

скоростью. Тогда с какой скоростью они будут удаляться друг от друга? Легко понять, что со скоростью в два раза большей, т. е. расстояние больше в два раза — и скорость тоже. Вот мы и получили закон Хаббла. А коэффициент взаимосвязи между скоростью и расстоянием — постоянная Хаббла, — как тоже несложно заметить, будет при этом функцией темпа «надувания» шарика и его текущих размеров.

Таким образом, получается, что постоянная она несколько в ином смысле, чем, например, постоянная тяготения. Постоянная Хаббла не зависит от направлений и расстояний во Вселенной, но при этом она вполне может зависеть (и, как видим, зависит в большинстве случаев) от времени. Более того, величина, обратно пропорциональная постоянной Хаббла в данный момент, представляет собой не что иное, как возраст Вселенной на тот же момент (с точностью до численного множителя порядка единицы).

Но теорию, позволившую (помимо всего — и очень многого! — прочего) связать постоянную Хаббла с возрастом Вселенной, разработал не Хаббл, а советский ученый Александр Александрович Фридман. Причем разработал еще в 1922 году, за семь лет до открытия Хаббла. Собственно, до открытия Хаббла Александру Александровичу дожить так и не удалось, он умер в 1925 году от брюшного тифа¹. Но за свою короткую — всего 37 лет — жизнь он успел многого достичь и в том числе по праву считается одним из основателей современной космологии.

В своих работах 1922 и 1924 годов Фридман продемонстрировал, что уравнения Общей Теории Относительности допускают существование эволюционирующей, меняющей со временем свои размеры Вселенной, и определил законы, управляющие этой эволюцией. Уравнения динамики Вселенной, выведенные

¹ Однако есть свидетельства, что в 1924 году Фридман обсуждал исследования Слайфера на семинаре в Петроградском университете и дал им правильную — космологическую — интерпретацию. — *Примеч. авт.*

Фридманом, сейчас носят его имя. Также имя Фридмана носит впервые выписанная им же метрика однородной и изотропной Вселенной¹. А из современных космологических наблюдений мы знаем, что Вселенная наша действительно однородна и изотропна на масштабах, больших 300 МПк, т. е. Вселенную в целом описывает именно метрика Фридмана.

В первой работе — «О кривизне пространства» — Фридман исследовал точно такую замкнутую модель Вселенной с положительной трехмерной кривизной, как и в своей статье 1917 года Эйнштейн. И Фридман показал, что такой мир вовсе не обязательно должен быть стационарным, он вполне может как увеличивать, так и уменьшать свой радиус.

Более того, если убрать из уравнений Фридмана лямбда-член, то геометрия мира однозначно определяет его дальнейшую судьбу — и мир с положительной трехмерной кривизной после первоначального расширения должен схлопнуться обратно. Саму же кривизну столь же однозначно определяет полная плотность Вселенной (включая вклад как вещества, так и излучения, а также, забегая немного вперед,— вклад темной материи и темной энергии). И если плотность будет больше некоторого критического значения, которое для известных нам параметров нашей Вселенной составляет примерно 10^{-29} г/см³, то мир неизбежно будет обладать положительной кривизной и столь же неизбежно, еще раз повторим, рано или поздно снова схлопнется.

¹ Однако в англоязычной литературе метрика эта называется метрикой Фридмана–Робертсона–Уокера (FRW-метрика), потому что независимо (как считается) от Фридмана американские математики Говард Робертсон и Артур Уокер получили в 1935 году тот же результат. Немного странным тогда представляется, почему метрикой Фридмана–Леметра–Робертсона–Уокера называется она определенно реже — ведь бельгийский физик (а также священник, что, как видим, не помешало ему размышлять на темы, опасно близкие к теологическим) Жорж Леметр повторил (опять-таки независимо) результат Фридмана еще в 1927 году. Впрочем, в американской литературе метрика эта часто вообще называется метрикой Робертсона–Уокера... — *Примеч. авт.*

Если момент начала расширения называется Big Bang (Большой Взрыв), то конечный момент носит название Big Crunch (Большой Хруст¹ или же Большой Крах).

На самом деле поведение Вселенной может быть достаточно наглядно проиллюстрировано поведением брошенного с поверхности Земли в зенит шарика. Если мы бросим его с недостаточной скоростью (меньшей второй космической) — то он, замедляясь, достигнет некой максимальной высоты (Вселенная, соответственно, расширится до своего максимального радиуса — тоже замедляясь, кстати), а потом — пойдет вниз и упадет обратно.

А каково определение второй космической скорости? Это скорость, при которой кинетическая энергия тела, зависящая от скорости, равна (по модулю) потенциальной (гравитационной), зависящей от массы притягивающего тела. Ну, а потенциальная энергия Вселенной, соответственно, как легко можно показать, зависит от плотности входящего в нее вещества — таким образом, аналогия становится полной.

Интересно отметить, что в той же первой статье Фридман предположил, что может существовать режим, когда расширение сменяется сжатием, которое сменяется новым расширением, — модель, которая позже получит название «Пульсирующая Вселенная». Хотя Фридмана такая модель явно увлекла, он усиленно настаивал, что без солидных наблюдательных фактов она не может рассматриваться сколько-нибудь серьезно: «...все это пока должно рассматриваться как курьезные факты, не могущие быть солидно подтвержденными недостаточным астрономическим наблюдательным материалом».

Увы, не все ученые, увлеченные полетом своей фантазии, проявляют подобную строгость научной мысли...

«Пульсирующая модель» Вселенной одно время пользовалась большой популярностью, потому что, на первый взгляд, позволяла уйти от «проклятого» вопроса выделенного момента

¹ В смысле, когда что-то хрустит, раздавливаясь, под сапогом. —
Примеч. авт.

времени — момента рождения Вселенной. Однако вскоре было показано, что от цикла к циклу должна неизбежно нарастать общая энтропия Вселенной — и радиус каждого нового цикла должен быть все больше и больше. Соответственно, если мы пойдем по оси времени назад, то радиусы эти будут уменьшаться, и мы снова упремся в тот же самый выделенный момент.

Новое дыхание «пульсирующей Вселенной» придал наш знаменитый физик Андрей Сахаров в 1980 году, предположив, что в этот самый момент происходит обращение стрелы времени — соответственно, при уходе дальше в прошлое радиусы Вселенной снова начинают увеличиваться.

Сейчас, впрочем, проблему «начала» Вселенной предпочитают решать другим образом, и об этом мы еще расскажем.

А пока вернемся к нашему шарикю. Что же будет, если мы бросим шарик со скоростью, большей второй космической (если плотность Вселенной будет меньше критического значения)? Небесная механика нам говорит, что в отсутствие действия других тел (условие, заведомо выполняющееся в случае Вселенной, которая содержит все тела в себе самой) шарик так и будет бесконечно удаляться от Земли, а его скорость будет стремиться к некоему постоянному значению. Точно так же и Вселенная, чья плотность окажется меньше критической, так и будет бесконечно расширяться, с темпом расширения, стремящимся к некоей постоянной величине.

Это модель была рассмотрена Фридманом во второй работе — «О возможности мира с постоянной отрицательной кривизной». И, как уже видно из названия статьи, и здесь полная плотность Вселенной определяет геометрию мира, который в данном случае оказывается имеющим постоянную отрицательную кривизну. В математическом смысле это четырехмерная псевдосфера с мнимым радиусом. Двумерным аналогом такого пространства является поверхность гиперболоида вращения — или же так называемой седловидной поверхности. Сумма углов треугольника (и на такой поверхности, и в таком мире) оказывается меньшей 180 градусов. Мир постоянной отрицатель-

ной кривизны называется «открытым», его объем бесконечен, и световой луч, однажды испущенный, уже никогда не вернется обратно.

Но число возможных геометрий для Вселенной не исчерпывается этими двумя случаями. Третий (и, в сущности, самый простой) вариант был рассмотрен Эйнштейном и де Ситтером в 1932 году. Это Вселенная, полная плотность которой в точности равна критической. Трехмерное пространство такого мира будет привычным нам плоским пространством, в котором выполняются все аксиомы евклидовой геометрии. И сумма углов треугольника в нем будет в точности равна 180 градусов, и параллельные прямые никогда не пересекутся. Этот мир тоже «открытый».

Легко понять, что в нашей аналогии с шариком такой мир будет соответствовать случаю, когда скорость шарика в точности равна второй космической. И так же, как такой шарик уйдет на бесконечность и будет иметь там нулевую скорость, «плоская» Вселенная будет расширяться неограниченно долго, со скоростью расширения, асимптотически стремящейся к нулю.

Но это в 1932 году Эйнштейн настолько принял идею Фридмана о нестационарной Вселенной, что, как видим, даже занялся ее развитием. Поначалу же он решительно ее отверг. И его можно понять — стремясь достичь стационарности, он, как мы уже сказали, пошел на ничем теоретически не оправданную модификацию уравнений буквально только что созданной им же самим теории. И тут — все его усилия пошли прахом. Так что, ознакомившись с теорией Фридмана, отозвался он о ней достаточно резко: «Результаты относительно нестационарного мира, содержащиеся в работе Фридмана, представляются мне подозрительными. В действительности оказывается, что указанное в них решение не удовлетворяет уравнению поля».

Но великий ученый был велик во всем, и как человек — тоже. Всего буквально через год Эйнштейн признает, что ошибался не Фридман, а сам он в оценке работы Фридмана: «Я считаю работы Фридмана правильными и проливающими новый свет». А в 1931 году, когда теория нестационарной Вселенной получила

всеобщее признание, Эйнштейн сказал: «Первым на этот путь стал Фридман».

Однако решающим доказательством расширения Вселенной, как мы уже сказали, стало открытие Хаббла. Именно оно, судя по всему, так подействовало на Эйнштейна, что он отрекся не только от идеи стационарной Вселенной, но и от лямбда-члена. Существуют свидетельства, что Эйнштейн называл гипотезу лямбда-члена самой своей большой ошибкой в науке.

История, однако, показала, что Эйнштейн несколько поторопился...

В определенном смысле еще интереснее сложилась судьба открытия Хаббла. Хаббл, как и Фридман, тоже считается отцом современной космологии, его заслуги велики и неоспоримы. И космический телескоп, чьими великолепными снимками каждый из вас, думаю, не раз любовался, носит его имя по праву. Однако Нобелевскую премию (а открытие Хаббла, вне всякого сомнения, является открытием такого калибра) он так и не получил.

И причина в немалой степени заключается в самом Хаббле. Да, настоящий ученый должен уметь признавать свои ошибки, но не менее важно для него уметь настоять на своей правоте. А Хаббл, много лет совершенно правильно трактовавший красное смещение в спектрах далеких галактик как результат космологического расширения Вселенной, вдруг стал говорить, что смещение это вызывается неким «космическим старением» света по пути к нам.

Когда он рассказал о своей новой идее на собрании Американского астрономического общества, то, по словам одного из участников собрания, это выглядело так, как если бы сэр Ньютон заявил: «Кстати, о том яблоке, джентльмены. В действительности ведь оно, знаете ли, не падает...»

В дальнейшем Хаббл то снова возвращался к «космологической» трактовке красного смещения, то опять начинал говорить о «старении» света. И такая нетвердая позиция, скорее всего, и стоила ему вполне заслуженной Нобелевской премии.

Однако с главным открытием Хаббла — постоянной, носящей его имя, — были проблемы и помимо нерешительной позиции первооткрывателя. Из большой неточности в измерениях межгалактических расстояний, существовавших в то время (впрочем, проблема шкалы расстояний и поныне является одной из актуальнейших проблем современной космологии), значение постоянной Хаббла оказалось завышено почти в 10 раз по сравнению с современным значением.

Сам Хаббл дал для нее оценку в 500 (км/с)/Мпк — т. е. расстояние до галактики, удаляющейся от нас со скоростью 500 км/с , составляет 1 Мпк. Впрочем, из-за наличия уже упомянутых peculiar скоростей у галактик лучше сформулировать немного иначе: обусловленная космологическим расширением компонента скорости галактики на расстоянии 1 Мпк будет составлять 500 км/с .

Как было сказано, величина, обратная постоянной Хаббла, приблизительно равна возрасту Вселенной. Таким образом, возраст Вселенной должен был бы составлять всего-навсего 1–2 млрд лет! И это при том, что время жизни даже нашей Земли к тому времени оценивалось в несколько раз бóльшим.

Такое противоречие вызвало к жизни определенное количество экзотических космологических моделей, среди которых можно выделить модель Леметра. В ней, как и в стационарной модели Эйнштейна, предполагалось наличие лямбда-члена, но его величина была немного большей, чем требуется для статичности мира.

В этой модели поведение Вселенной было очень любопытным — после первоначального периода расширения с постепенно замедляющимся темпом наступал период, когда Вселенная «застывала», ее размеры практически не изменялись. И длительность такого периода могла быть достаточно долгой — варьируя параметры модели, можно было получать практически любой потребный срок. Потом силы отталкивания, обеспечиваемые лямбда-членом, брали вверх — и Вселенная снова начинала расширяться, причем с ускорением.

Любопытной особенностью такой модели являлось то обстоятельство, что луч света в период «задержки» мог несколько раз обогнуть Вселенную. И одно время в качестве подтверждения этой модели рассматривался поиск галактик-близнецов, являвшихся, исходя из этой идеи, просто «отражениями» одной, «истинной» галактики.

Но уточнение значения постоянной Хаббла сняло нужду в такой космологической модели, да и лямбда-член на некоторое время совершенно вышел из моды¹. Тем интереснее, что отголосок идеи Леметра вполне явственно виден в модели Вселенной, актуальной сегодня.

И еще одно. В той самой, первой своей космологической работе, написанной в 1922 году, Александр Фридман в том числе дал оценку возраста Вселенной, исходя из общетеоретических соображений и немногих известных к тому времени наблюдательных данных (смело их экстраполируя). Возраст мира он оценил в 10 млрд лет. Современные же оценки, основанные на самых последних наблюдательных данных, полученных с помощью инструментов, которые Фридман и представить себе не мог (хотя, кто знает...), для возраста Вселенной дают значение в 13 с лишним млрд лет.

Что ж, нам остается только снять шляпу...

¹ По свидетельству последнего нашего Нобелевского лауреата в области физики, Виталия Гинзбурга, другой наш гениальный физик (и тоже нобелевский лауреат) Лев Ландау даже слышать не хотел о лямбда-члене. — *Примеч. авт.*

3. НАЧАЛО ВСЕЛЕННОЙ

Итак, Вселенная расширяется. Таким образом, если мы станем проследивать ее эволюцию дальше и дальше в прошлое, размеры Вселенной будут становиться все меньше и меньше, пока... А что — пока? Что же будет в самом начале?

Строго говоря, полного ответа на данный вопрос мы не знаем и ныне, хотя о популярных гипотезах расскажем. Но, несомненно, при уменьшении размеров будет возрастать плотность Вселенной — и, следовательно, вблизи начала она будет огромной. А формально рассматривая в начальный момент времени решения уравнений, описывающих космологические модели, о которых было рассказано выше, мы получим бесконечные значения плотности — так называемую космологическую сингулярность.

Одним из первых, кто обратил на это внимание, был уже не раз упомянутый Жорж Леметр. В своей статье 1927 года «Однородная Вселенная с постоянной массой и возрастающим радиусом, объясняющая радиальные скорости внегалактических туманностей» он называет начальное состояние Вселенной «первичным атомом» и пишет: «Слово “атом” следует здесь понимать в его первоначальном, греческом значении. Атом является чем-то настолько простым, что о нем ничего нельзя рассказать и нельзя поставить относительно него ни одного вопроса. Здесь мы имеем совершенно непостижимое начало. Лишь когда атом распался на большое количество фрагментов, заполняя пространство небольшого, но не равного точно нулю радиуса, физические понятия начали приобретать значения».

Надо признаться, данный подход — говорить не о самом начале, а о моменте времени немного спустя — не потерял своей актуальности в космологии и поныне. Только «немного» это гораздо сильнее сегодня приблизилось к начальному моменту рождения Вселенной, чем во времена Леметра.

И, раз плотности были огромны, то и температуры — тоже? Сейчас мы знаем, что да, это действительно так, — но довольно продолжительное время теории «горячего» рождения Вселенной и рождения из сверхплотного «облака»¹ холодных пылинок конкурировали друг с другом. Более того, вторая гипотеза одно время пользовалась даже большей популярностью!

Вообще неискушенному читателю это, наверное, может показаться даже парадоксальным — но ведь совершенно ясно, казалось бы, что были огромные плотности, огромные температуры и огромные давления, и давления эти и двигали расширением Вселенной.

Но уже не в первый раз мы должны сказать — все совсем не так. Огромные давления (которые, безусловно, были) двигать расширением Вселенной никак не могли. И тут слово лучше предоставить нашим выдающимся ученым (причем не только в области космологии) Я.Б. Зельдовичу и И.Д. Новикову. Цитируем их классическую книгу «Строение и эволюция Вселенной», по которой учились, думаем, уже не одно поколение советских и российских космологов: «Можно ли говорить о том, что высокое давление является причиной расширения Вселенной, что сильно сжатое вещество расширяется по той же причине, по которой разлетаются газы высокого давления, образующиеся при детонации заряда взрывчатого вещества? Нет, такая точка зрения совершенно неправильна. Качественное различие заключается в том, что заряд взрывчатого вещества окружен воздухом при атмосферном давлении. Расширение вызывается разностью между колоссальным давлением газа (продуктов взрыва) и сравнительно слабым давлением окружающего их воздуха. Но когда мы рассматриваем давление в однородной Вселенной, то предполагается, что давление распределено строго однородно! Следовательно, между различными частицами на один и тот же момент нет разности давления, следова-

¹ Напомним еще раз, мы говорим о моментах времени *чуть* погодя самого-самого начала. — *Примеч. авт.*

тельно, нет и силы, которая могла бы повлиять на расширение и тем более быть причиной расширения. Сам факт расширения в существующей теории есть результат начального распределения скоростей. Причина этого начального распределения пока неизвестна».

И действительно, на момент выхода этой книги (1975 год) подходящей кандидатуры на причину расширения Вселенной не существовало, она была предложена немного позднее. Но к этому мы еще вернемся.

Сама теория «горячего» рождения Вселенной была создана выдающимся ученым Георгием Гамовым в конце 40-х годов XX века. Вообще Гамову принадлежат целых три достижения «нобелевского» ранга — теория «горячей» Вселенной (а это теория действительного именно такого, высочайшего разряда), «трехбуквенная запись» генетического кода (оцените ширину научного горизонта!) и теория альфа-распада атомных ядер, созданная им, когда ему было всего 24 года.

Увы, ни одна из этих вполне заслуженных (ведь открытия, тесно связанные с его теориями, премиями отмечены были) наград ему так и не была присуждена. Возможно, дело тут в том, что отпущенный ему срок жизни оказался не очень долгим — всего 64 года. А посмертно Нобелевские премии не дают. Так что, по словам Виталия Гинзбурга (которому на момент присуждения исполнилось 87 лет), «чтобы получить Нобелевскую премию, надо жить долго».

Когда Гамов разрабатывал свою теорию «горячей» Вселенной — которая с легкой руки астрофизика Фредерика Хойла чуть позже получила известное ныне каждому любителю астрономии название «теория Большого Взрыва», — он был профессором университета Джорджа Вашингтона в США. Однако путь в науку у Гамова начинался в Ленинградском университете, а его научным руководителем был Александр Фридман, тот самый создатель теории нестационарной Вселенной. И, по словам Гамова, саму идею «горячего» рождения Вселенной он впервые услышал именно от своего учителя.

Причиной, побудившей Гамова начать разрабатывать свою теорию, стала необходимость объяснить происхождение и наблюдаемое обилие легких элементов (в первую очередь — водорода и гелия), чья относительная распространенность (порядка 3:1 по массе) носила, судя по всему, универсальный характер — и для Солнца, и для большинства звезд, и для межзвездного газа.

В рамках теории Гамова первичный нуклеосинтез — такое название получила данная стадия эволюции Вселенной — происходит, начиная примерно с первой секунды жизни Вселенной. Давление и температура в это время (миллиарды кельвинов) напоминали условия в центральных областях звезд, и Вселенная, таким образом, была похожа на гигантский термоядерный реактор.

Гамов дал первоначальный, самый важный толчок теории — однако в дальнейшем, кроме него, над ней активно работали и зарубежные, и наши ученые (уже упомянутый Зельдович, например), чьими усилиями теория обрела законченность и стройность. И в рамках теории «горячей» Вселенной действительно удалось объяснить наблюдаемое обилие легких элементов. Именно легких — потому в период первичного нуклеосинтеза образуются в основном водород (75% вещества Вселенной), гелий (около 24%) и немного лития (порядка одного процента).

Остальные, более тяжелые элементы «нарабатываются» позже, в недрах звезд. Промежутка времени, отпущенного на первичный нуклеосинтез, просто-напросто не хватает на синтез тяжелых элементов — примерно на 200-й секунде жизни Вселенной давление и температура падают настолько, что термоядерные реакции прекращаются.

Наблюдаемое обилие легких элементов оказалось первым весомым аргументом, склонившим чашу весов в пользу теории «горячей» Вселенной. Вторым — и решающим — аргументом стало реликтовое излучение, тоже предсказанное Гамовым.

Что такое реликтовое излучение? Это дошедший до наших времен «след» тех самых ядерных реакций, про которые мы рассказали чуть выше. Существования большого количества фото-

нов в тот период требуют законы термодинамики. И, конечно, никуда «пропасть» с тех пор они не могли. Примерно до 300 тыс. лет с рождения Вселенной температура была слишком велика для существования атомов, так что Вселенную заполняла горячая плазма, состоявшая в основном из электронов и ядер водорода и гелия (еще, конечно, нейтрино и частицы темной материи — но про них будет отдельный рассказ). И плазма эта была для фотонов непрозрачна — они поглощались, затем переизлучались и снова поглощались, не пройдя сколько-либо значительного расстояния.

Но затем наступил так называемый момент рекомбинации — температура упала настолько, что ядра смогли захватить электроны и образовать атомы. Вселенная «очистилась» и стала прозрачной для излучения, так что фотоны получили возможность путешествовать свободно. И данное море «первичных» фотонов, заполняющее собой всю Вселенную, чья температура (и, соответственно, длина волны) сильно с тех пор упала из-за расширения Вселенной, и называется «реликтовым излучением».

Термин «реликтовое излучение», кстати, был придуман нашим выдающимся астрофизиком Иосифом Самуиловичем Шкловским — и нам он представляется весьма удачным, очень хорошо отражающим суть явления. В англоязычной же литературе используется термин CMB — cosmic microwave background, «космический микроволновой фон», звучащий несколько тяжело.

Сам Гамов оценил температуру реликтового излучения как должную лежать в диапазоне от одного до 10 К, достаточно близко к абсолютному нулю — фотоны, следовательно, успели порядочно «остыть». А в качестве наиболее вероятной величины указал среднелогарифмическое значение чисел на краях данного диапазона — 3 К¹.

¹ Десятичный логарифм единицы — ноль, десятичный логарифм десяти — единица. Среднее значение, таким образом — 0,5. Десять в степени 0,5 (или же, что то же самое, корень из десяти) — чуть больше трех. — *Примеч. авт.*

Экспериментально реликтовое излучение было открыто в 1965 году, причем достаточно случайно — физиками, а в то время — радиоинженерами корпорации «Белл» Арно Пензиасом и Робертом Вилсоном. Испытывая новый радиометр, они обнаружили космический шум, мощность которого не зависела от направления на небе. Они написали статью и направили в журнал, где она попала на рецензию к астрофизики Роберту Дикке, который сам в это время готовил аппаратуру для поиска реликтового излучения. Он тут же понял суть открытия Пензиаса и Вилсона, положительно оценил работу и рекомендовал к публикации, а также написал короткую заметку, содержащую космологическую интерпретацию открытия.

Кстати, температура открытого излучения составляла около трех градусов — Гамов и тут попал в «яблочко»!

Интересным (но немного грустным) будет отметить, что немалые шансы оказаться первыми были у наших ученых. Сотрудник Пулковской обсерватории Шмаонов (вместе с коллегами Хайкиным и Кайдановским) еще в 1956 году зарегистрировал излучение, распределение яркости по небу которого не зависело от зенитного угла. Однако это открытие было проигнорировано. В 1964 году А.Г. Дорошкевич и И.Д. Новиков вычислили диапазон длин волн, в котором яркость реликтового излучения должна быть максимальна, — и, следовательно, искать надо было именно в этом диапазоне. Но и данная работа тоже была оставлена без внимания.

Таким образом, экспериментаторы и теоретики в нашей стране просто не слышали друг друга. Пензиасу и Вилсону, как видим, повезло больше.

И Нобелевская премия 1978 года, врученная им за это открытие, оказалась не последней, «уплывшей» из рук наших ученых — причем не последней именно в области исследования реликтового излучения! Но об этом — немного позже.

Георгий же Гамов до вручения Нобелевской премии за реликтовое излучение просто не дожил. Он умер в 1968 году...

Итак, помимо «хаббловских» скоростей галактик в «копилке» теории нестационарной Вселенной оказалось еще два весьма весомых аргумента: наблюдаемое обилие легких элементов, очень хорошо объясняемое первичным нуклеосинтезом, и реликтовое излучение, заполняющее собой всю Вселенную и в высшей степени однородное.

Однако проблем у теории нестационарной Вселенной тоже оставалось хоть отбавляй. Более того, новые факты, с одной стороны, подтверждали теорию, с другой — поднимали новые вопросы.

Во-первых, так и не решенной оставалась проблема происхождения наблюдаемого поля хаббловских скоростей, т. е. природа того самого Первоначального Толчка.

Во-вторых, загадку представляла уже упомянутая высочайшая степень изотропии реликтового излучения — полная, казалось бы, его независимость от направления на небе. Ведь никаких отклонений от изотропии в то время (и долгое время спустя, кстати) обнаружено не было.

С одной стороны, это является очень сильным доказательством однородности и изотропности Вселенной на больших масштабах и подтверждением правомочности использования метрики Фридмана для описания нашей Вселенной в целом.

С другой стороны — непонятно. Ведь существует такое понятие, как «размер причинно-связанной области». Причиной возникновения данного понятия является конечность скорости света — таким образом, две точки (или два участка) на некотором расстоянии друг от друга могут быть причинно-связанными к текущему моменту только в том случае, если промежутка времени с момента рождения Вселенной до данного момента им бы хватило, чтобы обменяться световыми сигналами. Тогда эти два участка могут иметь одинаковые характеристики — например, плотность и температуру.

Легко понять, что максимальный размер причинно-связанной области задается просто расстоянием, которое успел пройти свет с момента рождения Вселенной. На языке космологии данный

максимальный размер называется «горизонтом частиц». В качестве другого (полностью эквивалентного) определения «горизонта частиц» используется расстояние до самых далеких объектов, теоретически доступных до наблюдения в данный момент времени.

Сделаем небольшую ремарку. Не следует думать, что размер «горизонта частиц» равен просто скорости света, умноженной на время. Данное мнение встречается часто — даже в устах неплохо вроде бы разбирающихся в науке людей. По крайней мере фразы вида «возраст Вселенной составляет около 15 млрд св. лет — следовательно, расстояние до самого далекого объекта, который мы способны в принципе увидеть, равно примерно 15 млрд лет» один из авторов данной книги, пишущий сейчас эти строки, слышал не раз и не два.

На самом деле формула «скорость умножить на время» была бы справедлива в случае стационарной Вселенной — а так как наша Вселенная расширяется, для расчета «горизонта частиц» используются другие формулы, формулы ОТО. Причем тут необходимо учитывать еще и стадию расширения Вселенной — про эти стадии мы расскажем чуть ниже.

В качестве примера — для актуальной сегодня модели Вселенной ее возраст составляет 13 с лишним миллиардов лет, а размер (диаметр) «горизонта частиц» — немногим более 90 млрд св. лет.

Таким образом, на момент рекомбинации, когда фотоны реликтового излучения получили возможность свободно распространяться по Вселенной, размер «горизонта частиц» составлял примерно 900 тыс. св. лет. На небе такой участок (учитывая промежуток времени, прошедшего с тех пор) занимает размер около 2 угловых градусов. И в пределах данного «пятнышка» температура реликтового излучения могла быть одна и та же, это понятно и ожидаемо. Но, если мы рассмотрим два таких пятна, разделенных угловым расстоянием, например, в 10 градусов, — то вообще-то температура там могла быть одинакова разве что по случайному совпадению. А как мы уже сказали,

реликтовое излучение оказалось изотропно вообще по всему небу.

Эта проблема получила название «проблемы горизонта».

Следующая проблема носит название «проблемы плоскостности» (от англ. *flatness*). Суть ее заключается вот в чем.

Известно — в том числе из космологических наблюдений (в последнее время это и вовсе основной источник информации), что геометрия нашего мира в целом¹ если и не точно евклидова, то весьма к ней близка. По крайней мере до сих пор не существует твердых доказательств того, что какие-либо отличия вообще существуют. Таким образом, наша Вселенная очень близка к случаю «плоского» мира, который мы описывали, рассказывая о возможных видах кривизны Вселенной (мир с «положительной» кривизной, мир с «отрицательной», «плоский» мир). А как было сказано тогда же, кривизну Вселенной определяет ее полная плотность.

Данную полную плотность удобно нормировать на критическую плотность Вселенной (т. е. полную плотность, при которой мир будет «плоский»). Для этого вводят так называемый параметр плотности Ω . Соответственно, когда $\Omega > 1$ — мир обладает положительной кривизной, когда $\Omega < 1$ — мир имеет отрицательную кривизну, $\Omega = 1$ — мир «плоский», по определению.

Сейчас мы знаем, что величина Ω в любом случае очень близка к 1 (возможный «разброс» уменьшился до сотых значений после запятой). В 60-е годы, однако, разброс был существенно шире — Ω могло принимать значение где-то от 0,1 до 10. Однако для «проблемы плоскостности» даже такой, на первый взгляд весьма существенный, разброс является вполне ничтожным. И вот почему.

Предположим, в настоящий момент $\Omega = 0,5$ (т. е. мир «открытый», с отрицательной кривизной). Начнем постепенно отступать про оси времени в прошлое. Как будет вести себя Ω ? С одной

¹ Сейчас мы не говорим об искривлении пространства-времени вблизи гравитирующих масс. — Примеч. авт.

стороны, полная плотность Вселенной будет расти, но, с другой — будет расти и величина критической плотности (она зависит от постоянной Хаббла, которая со временем падает, т. е. при отступлении в прошлое растет). Можно получить, что эволюция параметра плотности оказывается такой, что чем дальше мы «уходим» в прошлое, тем все меньше и меньше Ω отличается от 1.

Так, на момент рекомбинации (напомним, при современном $\Omega = 0,5$) Ω должно было отличаться от 1 всего примерно на одну тысячную. А в период первичного нуклеосинтеза отличие должно было бы заключаться в 17-м знаке после запятой! И чем глубже в прошлое — тем, соответственно, малость отличия должна была становиться все поразительнее и поразительнее (кому как, впрочем, — лично нам для удивления хватает даже той самой одной тысячной).

Но никакого механизма, который мог бы обеспечить столь точную «подстройку» параметра плотности в начальные моменты жизни Вселенной, космология 60-х не знала. В те моменты он вполне мог бы быть равен 2, например, — и тогда к настоящему времени вырос бы до совершенно чудовищных величин.

Третья проблема — собственно, проблема самих размеров Вселенной. Как уже было сказано, мы до сих пор не можем четко проследить эволюцию Вселенной до самого-самого начального момента. Там начинается область действия законов квантовой гравитации — до сих пор неизвестных нам законов, ведь квантовую гравитацию еще только предстоит разработать. Пока существуют лишь некоторые наброски этой теории.

Границу, отделяющую область действия квантовой гравитации от области, где мы можем применять уже разработанный аппарат современной физики, маркируют так называемые планковские величины, представляющие собой комбинацию мировых констант — скорости света, постоянной тяготения и постоянной Планка. О планковских величинах мы рассказывали в разделе, посвященном черным дырам, здесь лишь уточним, что планковская длина составляет примерно 10^{-33} см, а планковское время — около 10^{-43} с.

Таким образом, размеры Вселенной в планковское время составляли, скорее всего, величину, сравнимую с планковской длиной. Можно показать, что за промежуток времени с планковского по сегодняшний размеры Вселенной увеличиваются примерно в 10^{30} раз — т. е. на данный момент времени размеры Вселенной должны были бы составлять менее миллиметра!

И, наконец, последняя проблема, тесно связанная с проблемой размера Вселенной, — проблема происхождения начальных возмущений, приведших к образованию наблюдаемой структуры Вселенной. Ведь величина начальных квантовых флуктуаций (которые должны были непременно существовать, исходя из законов квантовой физики) тем не менее явно недостаточна, чтобы за время жизни Вселенной вырасти настолько, чтобы привести к образованию гравитационно-связанных объектов типа галактик и их скоплений.

Как видим, вопросов оставалось немало, один другого серьезней и принципиальней. Тем замечательней и удивительней, что все их удалось решить в стиле охоты барона Мюнхгаузена на уток — одним «выстрелом».

Чтобы объяснить сущность решения, вернемся к проблеме физического вакуума, о котором мы немного рассказали во все том же разделе, посвященном черным дырам. Само существование физического вакуума — точнее то, что он является отнюдь не абсолютной пустотой, а наинизшим (но не нулевым!) состоянием квантовых полей, — сомнений не вызывает. Об этом говорит и так называемый лэмбовский (по имени первооткрывателя — американского физика Уиллиса Лэмба) сдвиг уровней энергии атома, обусловленный взаимодействием электронов с виртуальными частицами, и экранировка заряда протона на близких расстояниях, и, наконец, «рождение» самих виртуальных частиц («перевод» их в реальные) при «снабжении» их достаточной энергией.

Но для целей нашего рассказа важным является уравнение состояния вакуума, т. е. взаимосвязь между его давлением и плотностью энергии. Так вот, давление вакуума является отри-

цательным — трудно представляемая в повседневной жизни картина. Впрочем, кое-какие аналогии можно придумать — например, растянутую со всех сторон стальную болванку.

Однако давление вакуума мало того что отрицательное — так еще и равно по модулю его плотности энергии. А вот такого в земных условиях воспроизвести никак нельзя.

Следствием такого уникального уравнения состояния являются два обстоятельства: во-первых, плотность вакуума при расширении не меняется; а во-вторых, он «вызывает» силы отталкивания, т. е. действует как эффективная антигравитация¹.

И совместное действие этих двух замечательных свойств вакуума может обеспечить экспоненциальный рост размеров Вселенной — если бы его плотность энергии была бы достаточно большой. Кстати, малая (судя по всему) плотность энергии того физического вакуума, с которым мы «имеем дело», является одной из до сих пор не решенных загадок.

Но что, если предположить, что в начальные моменты жизни Вселенной плотность энергии вакуума была огромна?

Судя по всему, одним из первых, кто начал рассматривать этот вопрос, был советский ученый Э.Б. Глинер — еще в 1965 году. Далеко не все эту гипотезу приняли, встречалась она и с весьма резкой критикой, в том числе и со стороны выдающихся ученых. Тем не менее были и сторонники, среди которых имелись ученые не менее выдающиеся. На протяжении 70-х годов гипотеза постепенно углублялась и прорабатывалась, до стадии теории ей оставалось совсем немного. В 1978 году Андрей Линде и Геннадий Чибисов, а в 1979–1980 годах Андрей Старобинский подошли к этому почти вплотную.

Но решающий шаг сделан в январе 1981 года, когда американский космолог Алан Гус опубликовал статью «Инфляционная Вселенная: возможное решение проблемы горизонта и плоскост-

¹ Самые догадливые читатели, думаем, уже заподозрили связь физического вакуума и лямбда-члена Эйнштейна. Но об этом — немного погодя. — *Примеч. авт.*

ности». И с его же легкой руки новая теория получила название «теория инфляции»¹.

Мы не будем излагать суть сценария инфляции, предложенного именно Гусом, — хотя тут и появляется возможность щегольнуть словечками типа «ложный вакуум» и «подбарьерное туннелирование». Мы поборем этот искус, тем более что сценарий Гуса ныне утратил свою актуальность и носит сейчас название «старая инфляция», представляя собой скорее исторический интерес. Расскажем про общие черты всех моделей инфляции, которых накопилось немало («старая», «новая», «хаотическая», «степенная», «лямбда», «гибридная» и т. д.).

Общим для всех моделей инфляции является постулирование существования так называемого фундаментального скалярного поля. Постулирование — потому ни одного примера такого поля найдено пока не было (хотя кандидаты были и есть)². Это тем более удивительно, что, в сущности, скалярное поле является наиболее простым из всех типов полей. Но, например, векторные и спинорные фундаментальные поля встречаются постоянно, а скалярное поле — нет.

На стадии инфляции данное фундаментальное скалярное поле обладает эффективным уравнением состояния, таким же (или очень близким), как вакуумное уравнение состояния, — как говорят, скалярное поле «имитирует» вакуум. Так как на данной стадии эволюции Вселенной никакого вещества еще нет и вся энергия «сидит» в скалярном поле — увеличение размеров Вселенной происходит по экспоненциальному закону (вспомнили модель де Ситтера? Вот она и пригодилась).

¹ Как видим, проблема инфляции актуальна не только в земных финансах. Но для целей космологии она является безусловным благом, чего нельзя сказать о финансах, увы. — *Примеч. авт.*

² Подчеркнем, речь идет именно о *фундаментальных* полях — типа электромагнитного и гравитационного поля, например. Просто скалярные поля являются вещь вполне обыденной, например, поле распределения температур. — *Примеч. авт.*

Кстати, так как нет вещества — нет и температуры. Да-да, плотности энергии огромны (до 10^{19} ГэВ), а температуры при этом — просто нет.

Инфляционная стадия очень короткая по времени, начинаясь примерно на 10^{-43} секунде, она идет где-то секунды до 10^{-36} – 10^{-34} . Но размеры Вселенной при этом увеличиваются в совершенно чудовищной степени, в зависимости от модели — до 10^{4000} раз (а в некоторых моделях — даже до $10^{10^{10}}$ раз).

Непредставимо огромные величины! И то, что мы привыкли называть «нашей Вселенной», оказывается на самом деле лишь ничтожной ее долей. Мы видим только тот ее участок, откуда успели дойти до нас световые лучи (причем не с самого начала, а с момента рекомбинации), но гораздо, гораздо, гораздо большая ее часть «таится во мраке».

Легко понять тогда, каким образом объясняются вышеописанные загадки теории нестационарной Вселенной.

Проблема размеров Вселенной была решена несколькими строчками выше. Заодно была решена и проблема «отсутствия» монополей (гипотетических «частиц» — носителей магнитного «заряда», «южного» или «северного») и прочих так называемых космологических дефектов, могущих возникать при фазовых переходах в начальные моменты жизни Вселенной. На стадии инфляции эти «дефекты» далеко разносит друг от друга, так что на всю видимую часть Вселенной их может приходиться всего две-три штуки.

Так как на стадии инфляции помимо «раздувания» размеров Вселенной происходит и рост первичных квантовых возмущений за счет эффекта параметрического резонанса (применительно к росту возмущений на стадии инфляции данная теория была разработана В.Н. Лукашем), то решение получила и эта проблема.

Решение проблемы горизонта тоже вполне очевидно. Ведь изначально малые причинно-связанные области на стадии инфляции были «раздуты» до величин, в любом случае превышающих видимый нами размер Вселенной. Таким образом, все участки

неба когда-то находились в причинно-следственной связи, и нет ничего удивительного в наблюдаемой изотропии реликтового излучения.

Проблема плоскостности? Не менее элементарно. Так как мы видим лишь совершенно ничтожную долю всей Вселенной, то участок, доступный нашему наблюдению, практически никак не будет отличаться от плоского — какую бы величину при этом не имел «начальный» параметр плотности. Аналогично амеба не способна заподозрить шарообразность Земли — даже если бы амеба была способна размышлять.

Ну, а пресловутый Первоначальный Толчок с успехом обеспечили силы отталкивания на стадии инфляции.

В конце периода инфляции плотность энергии скалярного поля сильно падает, как говорят космологи — скалярное поле «скатывается» к минимуму своего потенциала. После чего вблизи данного минимума поле начинает совершать колебания, происходят сложные для популярного описания процессы нарушения когерентности возмущений поля и поле «распадается» на частицы.

Так как для фундаментального скалярного поля, «двигавшего» инфляцией, часто используется название «инфлатон», то данная стадия называется «распад инфлатона», а процессы рождения частиц — «процессами термализации». Ведь вместе с частицами появляется и температура, причем очень большая, — и начинается уже известная и даже привычная «горячая» стадия Большого Взрыва.

«Инфляционная Вселенная» — это был третий (и, пожалуй, последний на сегодняшний момент) грандиозный теоретический прорыв после «Нестационарной Вселенной» Фридмана и «Горячей Вселенной» Гамова. При этом число наблюдательных открытий сравнимого уровня, о которых мы рассказали, пока составляет всего две штуки — «разбегание галактик» Хаббла и реликтовое излучение Пензиаса и Вилсона. Но, надо признать, наблюдатели не только «сравнили счет», но и повели в нем.

Открытием, сравнявшим счет, стало долгожданное открытие анизотропии реликтового излучения. И слово «долгожданное» мы употребили не зря. Да, изотропия реликтового излучения действительно должна быть весьма высокой — это, как мы уже сказали, одно из главных свидетельств в пользу однородности и изотропности Вселенной на больших масштабах. Но реликтовое излучение не может быть совсем изотропным.

Почему?

Вернемся к не раз уже упомянутому моменту рекомбинации. До этого момента в непрозрачной плазме излучение и вещество были тесно «перемешаны», можно сказать — они «отслеживали» характеристики друг друга. После же момента рекомбинации излучение начало распространяться свободно, неся в себе «отпечаток» характеристик вещества, точнее — распределения его плотности.

А вещество *обязано* быть хоть слегка, да неоднородным, это мы знаем твердо. Ведь мы же имеем возможность наблюдать гравитационно-связанные объекты — те же галактики, «выросшие» из тех самых начальных неоднородностей?¹ Чтобы такой гравитационно-связанный объект образовался, контраст плотности² в данной области должен превысить величину порядка единицы (точные расчеты для граничного значения дают оценку в районе 1,7).

После чего начинается «обособление» данной области от космологического расширения Вселенной и ее дальнейший коллапс с образованием того или иного объекта. При этом контраст плотности, конечно, продолжает расти — но в рамках данного рассказа этот рост нас уже не интересует, важным тут является то самое граничное значение, близкое к единице.

¹ Точнее, впрочем, «промежуточных». Самыми-самыми начальными были квантовые флуктуации плотности, о которых мы упомянули при рассказе о теории инфляции. — *Примеч. авт.*

² Контраст плотности — отношение возмущения плотности к средней плотности Вселенной. В свою очередь, возмущение плотности — это разность плотности в данной точке и той же средней плотности Вселенной. — *Примеч. авт.*

Можно показать (этим занимается теория возмущений), что до достижения граничного значения эволюция контраста плотности идет по линейному закону. Только в космологии линейен он не по времени, а по так называемому масштабному фактору a , характеризующему расширение Вселенной и соответствующее изменение размеров в ней.

Масштабный фактор можно легко связать с красным смещением z (уточним на всякий случай — красным смещением, связанным с космологическим расширением, конечно же). Формула настолько простая, что мы ее даже приведем: $a = 1/(1 + z)$. В числителе стоит единица, потому что принято, что в настоящее время масштабный фактор единице и равен.

А красное смещение, в свою очередь, в космологии очень часто играет роль «временной» координаты. Легко догадаться почему — ведь чем дальше от нас объект, тем более «молодым» мы его видим, за счет конечности скорости света. С другой же стороны, чем он дальше — тем больше его скорость за счет закона Хаббла и, следовательно, тем больше красное смещение.

Так вот, возвращаясь к моменту рекомбинации — этот момент, на языке космологии, произошел на красном смещении порядка 1000. Тогда масштабный фактор, исходя из вышеприведенной формулы, должен быть равен примерно одной тысячной (размеры Вселенной, следовательно, в то время были в 1000 раз меньше, чем сейчас). И контраст плотности, приведший к образованию структуры Вселенной, тоже должен был быть порядка одной тысячной. Что, в свою очередь, должно было привести к флуктуациям температуры реликтового излучения (на определенном масштабе) такой же примерно величины.

Но ничего подобного обнаружено не было! Ни на уровне одной тысячной, ни даже на уровне, в десять раз меньшем.

Впрочем, сделаем небольшую ремарку. На самом деле кое-какая анизотропия реликтового излучения все-таки обнаружилась — так называемая дипольная анизотропия реликтового излучения. Она тоже была вполне ожидаема, но никакого отношения при этом к процессам формирования структуры Вселенной

не имела. Причиной ее является движение наблюдателя относительно космологического фона реликтового излучения — обычный эффект Доплера. В «передней» полусфере неба излучение на нас «набегает», его длина волны слегка уменьшается, а температура, соответственно, немного «подрастает». В «задней» — наоборот, длина волны растет, а температура падает. На языке чисел «немного» — это примерно три тысячных градуса Кельвина.

Однако не следует думать, что дипольная анизотропия — это совсем «пустяки, дело житейское». Нет, польза от нее тоже есть, и весьма существенная. Эта анизотропия позволила установить своего рода «абсолютную» систему отсчета, связанную с реликтовым фоном. Использование такой системы позволяет «очистить» картину движений тех же галактик от компонент, связанных, например, с движением Земли вокруг Солнца, Солнца вокруг центра Галактики, Галактики в Местной группе и т. д. После чего мы будем иметь дело (по крайней мере существенно к этому приблизимся) с «истинными» космологическими скоростями, обусловленными расширением Вселенной.

Кстати, скорость движения Местной группы к Великому Аттрактору и сверхскоплению в Деве, о которой мы уже упоминали ранее (600 км/с), — это скорость именно по отношению к реликтовому фону.

Что ж, как видим, дипольная анизотропия — это тоже очень ценный результат. Но космологам, конечно, хотелось бы померить и «истинную» анизотропию — анизотропию, связанную с процессами образования структуры Вселенной. И вот ее-то как раз найти никак не получалось, что уже начинало вызывать определенное беспокойство. Ведь ее отсутствие порождало сомнения в правильности существующих теорий; и чем точнее и точнее измерялся реликтовый фон (с неизменно отрицательным в смысле анизотропии результатом) — тем сильнее нарастало беспокойство.

Прорыв был осуществлен в 1992 году, когда в конце апреля по пресс-конференции Джорджем Смутом был доложен результат спутниковой миссии COBE (COsmic Background Explorer —

Исследователь Космического Фона), связанный с поиском анизотропии реликтового излучения (это была не единственная задача спутника COBE). Миссия выполнялась с 1989 года и наконец спустя три года достигла грандиозного успеха — долгожданная анизотропия реликтового была обнаружена! При этом величина анизотропии оказалась примерно в сто раз меньше, чем первоначально ожидалось, — чуть больше, чем одна сотысячная, 10^{-5} .

Как же можно совместить столь низкий уровень сигнала с образованием структуры Вселенной? Как сейчас считается, в этом тоже помогает загадочная «темная материя». Попробуем объяснить суть этой помощи. Мы уже рассказали про «инфляционный» период эволюции Вселенной. После его окончания во Вселенной наступила эпоха доминирования излучения — так называемая радиационно-доминированная стадия, на которой плотность энергии излучения превышала плотность энергии вещества (поначалу — весьма значительно). Таким образом, в то время излучение было доминирующим компонентом Вселенной. Но при расширении Вселенной плотность энергии излучения падает как четвертая степень размеров Вселенной, в то время как плотность вещества — всего как третья. Ясно поэтому, что рано или поздно плотности энергии излучения и вещества сравниваются, после чего доминирующим компонентом станет вещество. И такой момент действительно настал, причем еще до момента рекомбинации. Таким образом, сейчас мы живем на материально-доминированной стадии (с одним уточнением, о котором — ниже).

Так вот, оказывается, на радиационно-доминированной стадии возмущения расти не могут — они, как говорят космологи, «замораживаются». Но относится данное обстоятельство только к обычной, так называемой барионной (или же — «светящейся») материи. Именно на этой стадии оно тесно связано с излучением. А темная материя потому и называется «темной», что не участвует в электромагнитном взаимодействии, т. е. с излучением не взаимодействует.

Еще раз заметим, что название, пожалуй, слегка сбивает с толку — ведь по нему кажется, что «темная материя» свет по-

глощает, в то время как она, наоборот, совершенно для света прозрачна, не может его ни поглощать, ни излучать. И потому возмущения в темной материи могут расти даже на радиационно-доминированной стадии, а особенно эффективно — в промежутке между моментом перехода к материально-доминированной стадии и моментом рекомбинации. Темная материя постепенно «скупивается».

После же момента рекомбинации, когда излучение, как мы уже говорили, освобождается от влияния вещества, а вещество, таким образом, — от влияния излучения, барионная материя в достаточно быстром темпе «сползает» в гравитационные ямы, «заботливо приготовленные» темной материей. Контраст плотности значительно вырастает, после чего начинается уже описанная линейная эволюция «светящейся» и «темной» материй совместно. Именно поэтому в структурах, достаточно близких к линейному режиму, — тех же скоплениях галактик — темная материя считается распределенной примерно так же, как и барионная. И, наблюдая галактики и межгалактический газ в скоплениях, мы знаем, где «таится» основная масса.

Для уже существенно нелинейных объектов — типа самих галактик — во взаимосвязи распределения компонент материи появляются определенные тонкости, которых мы не будем здесь касаться.

Итак, открытие анизотропии реликтового излучения стало третьим грандиозным успехом наблюдательной космологии. И использование так называемой нормировки на данные COBE стало обязательным компонентом многих (если не большинства) космологических исследований.

Тем обиднее признавать, что все шансы оказаться первыми были у наших ученых. Еще в 1983 году в ходе эксперимента «Реликт» на борту спутника «Прогноз» были выполнены измерения, аналогичные измерениям на борту COBE¹. Однако об-

¹ С учетом дат, думаем, справедливее будет сказать, что это COBE в 1989 году выполнил измерения, аналогичные «Реликту». — *Примеч. авт.*

работка полученных данных оказалась весьма нетривиальной задачей — в отличие от эксперимента COBE, где измерения выполнялись на трех различных частотах, радиометр «Реликта» работал на одной-единственной. А данное обстоятельство делало практически невозможным «очищение» сигнала, обусловленного анизотропией реликтового излучения, — от шума, вносимого излучением пыли в нашей Галактике, например. Так что выделение нужной компоненты заняло почти 8 лет.

Но, как бы то ни было, в конце 1991 года у группы исследователей, в которую входили И.А. Струков, Д.П. Скулачев, А.А. Брюханов и М.В. Сажин, появилась уверенность, что открытие сделано. В январе 1992 года о нем было рассказано на семинаре ГАИШ (Государственный астрономический институт им. Штернберга), почти сразу после этого статья была направлена в «Письма в Астрономический журнал», а чуть позже — в авторитетнейший международный журнал MNRAS. На статье в последнем, как каждый может убедиться при желании, стоит дата присылки — 3 февраля 1992 года. На статье группы исследователей, возглавляемой Смутом, в качестве даты присылки значится 22 апреля того же года...

За открытие анизотропии реликтового излучения в 2006 году была вручена Нобелевская премия по физике. Награду получили Джордж Смут и его коллега по команде Джон Мазер.

Наших ученых среди награжденных не оказалось...

Уточним на всякий случай — никто не оспаривает заслуг американских ученых. Точность полученного ими результата оказалось гораздо выше, чем точность результата «Реликта», — и уверенность в этом результате, в силу уже упомянутого наблюдения на различных частотах, тоже была определенно сильнее. Так что в качестве важнейшей космологической нормировки (не потерявшей, кстати, своей актуальности и по сей день) результат COBE используется вполне заслуженно. Но... Как мы уже упоминали, значение постоянной Хаббла, полученное им самим, оказалось завышено почти в 10 раз и приводило к серьезнейшим противоречиям с данными других наблюдений. Тем не менее

имя Хаббла эта постоянная носит по праву. Ведь наблюдательным образом закон расширения Вселенной первым получил именно он.

И нам представлялось бы справедливым, если бы Нобелевская премия по физике 2006 года была бы поделена между американскими и российскими учеными. Одним — за само открытие анизотропии, другим — за наиболее точное ее измерение, имеющее огромное прикладное значение в космологии. Тем более что сам лауреат, Джон Мазер, полностью признает приоритет наших ученых в открытии анизотропии: «Я, конечно, хорошо знаю эту работу. Эксперимент “Реликт” был проведен очень давно, задолго до запуска COBE. Это была одна из первых попыток обнаружить анизотропию фонового излучения, и, насколько я знаю, она оказалась успешной. Так что я могу сейчас поздравить участников “Реликта”. Хочу только добавить, что они были не одни, в те годы многие ученые трудились изо всех сил над аналогичными проектами.

Мы с Джорджем Смутом очень рады, что приборы COBE оказались настолько чувствительны, что позволили реконструировать карты фонового микроволнового излучения, которые с полной убедительностью продемонстрировали, что оно анизотропно. И, конечно, мы полностью признаем заслуги своих предшественников. Они получили много ценных результатов, но наши все же оказались лучше».

Увы, поезд для наших ученых уже ушел...

4. УСКОРЕНИЕ

Нам осталось рассказать про последнее великое наблюдательное открытие, в гипотетическом «матче» между теоретиками и наблюдателями пока отдавшее победу последним. И открытием этим является обнаружение факта ускоренного расширения Вселенной — причем не в те самые, «стародавние» «инфляционные» времена, а сейчас, в современную стадию эволюции Вселенной.

Совершено открытие было в 1998 году практически одновременно двумя независимыми группами ученых — австралийской, возглавляемой Брайаном Шмидтом, и американской, возглавляемой Солом Перлмуттером. Каким образом они это сделали? Основой открытия стало наблюдение за изменением блеска Сверхновых типа Ia в зависимости от расстояния до них. Исходя из современных представлений, Сверхновые такого типа являются так называемыми стандартными свечами, т. е. их светимость (энергия, выделяющаяся в единицу времени) примерно¹ одна и та же для всех Сверхновых. Таким образом, зная светимость и видимую звездную величину Сверхновых типа Ia, мы можем получить расстояние до них.

В современной космологии Сверхновые типа Ia заняли место, во времена Хаббла принадлежавшее цефеидам, — ведь на расстояниях, актуальных сегодня, увидеть цефеиды в столь далеких галактиках нельзя в принципе. Тут могут помочь только Сверхновые с их огромными энергиями, выделяемыми при вспышке.

Для Сверхновых можно построить диаграмму «видимая звездная величина — красное смещение»², на которой, как ожидалось, Сверхновые должны были «лечь» примерно на одну

¹ Мы опускаем различные тонкости, не влияющие на понимание результата. — *Примеч. авт.*

² То есть расстояние. — *Примеч. авт.*

прямую линию. В действительности, однако, картина оказалась иной: с увеличением красного смещения «прямая» все сильнее и сильнее «загибалась» вверх (напомним, что чем больше видимая звездная величина, тем слабее блеск). А так как мы исходим из предположения, что Сверхновые — «стандартные свечи», то этот загиб мог означать только одно, а именно, что далекие Сверхновые — еще дальше от нас, чем предполагалось. И чем более далекой являлась Сверхновая, тем сильнее был эффект.

Вот на анализе таких данных и сделали заключение об ускоренном расширении Вселенной. И, конечно, одним из основных кандидатов на роль «двигателя» этого расширения стала космологическая постоянная — лямбда-член Эйнштейна.

История, таким образом, совершила полный круг.

Не следует, однако, думать, что Сверхновые — это единственный аргумент в пользу его существования, это не так. В противном случае сильно усилились бы позиции критики, связанной с сомнением в правомочности назначения Сверхновых на роль «стандартных свечей». Ведь, как мы уже знаем, чем больше красное смещение, тем глубже мы уходим в прошлое Вселенной. И это совсем не очевидный факт, что химический состав Сверхновых в близких галактиках такой же, как у Сверхновых в галактиках далеких. А ведь светимость Сверхновой вполне может зависеть от ее химсостава — собственно, как это и получается в компьютерных моделированиях вспышки.

Но, повторим, Сверхновые — не единственный аргумент. Все аргументы мы перечислять не будем, расскажем лишь еще об одном. Современные исследования анизотропии реликтового излучения (например, выполненные на спутнике WMAP, запущенном в 2001 году и до сих пор передающем ценнейшую научную информацию) показывают, что полная плотность нашей Вселенной¹ с достаточно большой точностью равна критической:

¹ Включая вклад барионного вещества, темной материи, излучения, возможный вклад массивных нейтрино, вклад космологической постоянной. — *Примеч. авт.*

данные пятого года миссии WMAP совместно с самыми современными данными по измерению постоянной Хаббла (HST Key Project — ключевой проект на Космическом телескопе им. Хаббла) для параметра полной плотности Вселенной Ω дают значение, возможное отличие которого от единицы (в ту и в другую сторону) заключается лишь во втором знаке после запятой. С другой стороны, данные по анизотропии реликтового излучения с достаточно большой точностью позволяют измерить полную плотность материи (барионной и темной). Впрочем, точнее будет сказать, что измеряется некая комбинация параметра плотности материи и постоянной Хаббла. Но постоянную Хаббла мы знаем из того же HST Key Project — следовательно, можем получить и значение параметра плотности материи. А зная параметр плотности материи и то, что параметр полной плотности Вселенной равен единице, — получаем долю космологической постоянной.

Таким чуть сложноватым, возможно, при взгляде со стороны путем приходится идти, потому что «напрямую» космологическая постоянная влияет на спектр анизотропии реликтового излучения лишь на самых больших масштабах. А на данных масштабах наиболее силен эффект cosmic variance, о чем мы рассказали в самом начале нашей беседы о космологии.

Так что же конкретно мы получаем для величины космологической постоянной? На языке параметров плотности ее вклад составляет примерно 0,7, а в более привычных «земных» единицах — около 7×10^{-30} г/см³. На долю материи во всех видах, следовательно, остается 3×10^{-30} г/см³, или 0,3 от критического значения, т. е. доля космологической постоянной в настоящий момент времени превышает вклад всех видов материи, вместе взятых.

Вот и обещанное ранее уточнение. На самом деле мы живем уже не на материально-доминированной стадии, а на стадии доминирования космологической постоянной. И, по оценкам, наступила эта стадия примерно 7 млрд лет назад.

Причина ее наступления, конечно, совершенно понятна. Ведь мы уже говорили, что «космологической постоянной» она назы-

вается в том числе потому, что плотность «субстанции», ответственной за нее, со временем не изменяется. А плотность материи при расширении, наоборот, меняется весьма значительно. При расширении Вселенной она падает, если же мы будем отступать назад в прошлое — растет.

7 млрд лет назад плотности космологической постоянной и материи оказались равны — на один момент. С тех пор доля космологической постоянной растет — и будет расти дальше. А так как космологическая постоянная «обеспечивает» силы отталкивания — то те же 7 млрд лет назад Вселенная перешла с замедляющегося режима расширения на ускоряющийся, т. е. расширяться она будет все быстрее и быстрее.

В такой вот своеобразной форме на новом уровне возродилась идея Леметра, о которой мы рассказали в самом начале этой главы. Единственное, что отличает современную модель, так это отсутствие «почти стационарного» режима, так что поиском «отражений» галактик современная космология не занимается (по крайней мере целенаправленно).

Открытие космологической постоянной, помимо всего прочего, позволило решить так называемую загадку Хаббла. Ведь если вычислить с использованием современных данных те расстояния, с которыми имел дело Хаббл, то окажется, что все галактики в его измерениях лежали от нас не дальше 20 Мпк. Но теперь мы знаем, что в таком объеме Вселенная достаточно сильно неоднородна — т. е. на так называемый хаббловский поток (поле скоростей, обусловленное расширением Вселенной) должно очень сильно влиять распределение массы в этом объеме.

Тогда каким же образом Хабблу удалось совершить свои измерения? Ведь ошибка Хаббла с неправильным измерением постоянной его имени была связана почти исключительно с неправильной оценкой им расстояния до галактик, но не с ошибкой определений их скоростей.

Более того, группой наблюдателей Специальной астрофизической обсерватории РАН во главе с И.Д. Караченцевым в 2001 году были выполнены измерения с большой точностью для значи-

тельной группы (около 200) достаточно близких галактик — от 2 до 8 Мпк. И измерения эти тоже (после очистки от пекулярных скоростей, конечно) показали выполнение закона Хаббла, причем значение постоянной Хаббла оказалось очень близко к значению, полученному с использованием далеких галактик!

Как такое может быть? Вещество распределено неоднородно, а скорости — упорядочены?

На помощь приходит космологическая постоянная. Так как ее плотность одна и та же — и во времени, и в пространстве, — то темп расширения Вселенной, в определении которого космологическая постоянная ныне играет основную роль, тоже должен быть везде почти одинаков. И для ближних, и для дальних галактик. Так решается загадка Хаббла.

Кстати, ответим заодно и еще на один популярный вопрос — а мы-то, а мы сами расширяемся? И расширяется ли Земля, Солнечная система... Галактика, наконец, за счет расширения Вселенной?

Ответ — нет, конечно, не расширяемся, так же как и Земля, и Солнечная система, и Галактика. Ведь связывающие нас силы (силы гравитации для космических объектов, химические связи в наших телах) гораздо мощнее сил отталкивания, обеспечиваемых космологической постоянной, действующих на любых расстояниях, но на таких масштабах слишком слабых.

Во Вселенной же без космологической постоянной ни о каком «нашем» расширении, а также расширении любых гравитационно-связанных тел и систем речи быть в принципе не могло. Ведь решение Фридмана описывает поведение точек, не связанных между собой, — чего, конечно, не наблюдается во всех перечисленных случаях.

И очень к месту, думаем, будет процитировать замечательный диалог из фильма Вуди Алена «Энни Холл»: «Почему вы не делаете вашу домашнюю работу? — Какой смысл? Вселенная расширяется. Все развалится, и мы все умрем. — Мы живем в Бруклине. Бруклин не расширяется! Идите делать вашу домашнюю работу».

Существует еще один аспект наличия космологической постоянной. Решение проблемы «плоскостности», предложенное теорией инфляции, определенно сняло остроту вопроса о кривизне нашей Вселенной. Открытие же космологической постоянной и ускоренного расширения сделало его и вовсе имеющим узкотехнический интерес. Ведь с наличием космологической постоянной уже нет четкой связи между геометрией мира и его дальнейшей судьбой. Мир может быть «замкнутым», «открытым», «плоским» — но ждет его лишь вечное расширение, о Большом Крахе можно забыть навсегда.

Причем, так как относительная доля космологической постоянной будет все расти и расти за счет падения плотности материи и так как «островки» материи будет разносить космологическим расширением все дальше и дальше друг от друга — чем дальше, тем сильнее и сильнее наш мир будет приближаться к миру, описываемому решением де Ситтера.

Вот так, спустя почти век после своего создания, решение это уже второй раз становится актуальным в современной космологии. А так как первый раз оно «пригодилось» в теории инфляции, то снова начавшийся период ускоренного расширения Вселенной иногда называется «новым инфляционным периодом». Ведь свойства его действительно во многом похожи на тот — исходный.

5. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Ну, а теперь, после рассказа о важнейших космологических открытиях, попробуем кратко, но последовательно описать ключевые этапы эволюции Вселенной. Думаем, это должно помочь любознательному читателю яснее представить себе общую картину нашего мира.

Итак, как уже было сказано, начальным моментом времени, до которого мы можем хоть с какой-то степенью уверенности проследить историю Вселенной, является планковское время — 10^{-43} с. До этого момента действуют законы квантовой гравитации — еще неизвестные нам законы.

Поэтому вопрос о том, что же было в «самом-самом» начале, с современных позиций представляется несколько некорректным. При таких масштабах пространства и времени, а также, судя по всему, масштабах плотностей энергий (тоже превышающих планковскую) пространство и время уже не существуют по отдельности.

Собственно, строго говоря, по отдельности они не существуют на любых масштабах, включая «земные» — ведь концепция «абсолютного» времени и «абсолютного» пространства осталась в прошлом, в эпоху царствования классической механики. В теории относительности мы имеем дело не с пространством и временем, а с единым четырехмерным пространственно-временным континуумом.

Однако мы почти всегда можем сделать «срез» этого четырехмерного континуума и получить привычное трехмерное пространство. Также мы можем выделить «стрелу времени», вдоль которой мы будем совершать эти «пространственные» срезы. Для которых, таким образом, становится возможным сказать, какой из них был «раньше», какой — «позже».

Разумеется, в общем случае все это справедливо только для одного наблюдателя — в одной точке пространства-времени.

Другой наблюдатель (в иной точке) тоже, конечно, имеет право совершать подобные «срезы», но они вполне могут быть совсем другими. Так, событие А, которое для первого наблюдателя произошло раньше события В, для второго наблюдателя может поменяться местами с событием В, и произойти позже него (конечно, только в том случае, если эти события не находятся в причинно-зависимой связи).

Но, несмотря на эти оговорки, «расщепить» пространственно-временной континуум на пространство и время можно почти всегда — даже в исключительно сложной ситуации «закрученно-го» пространства-времени вблизи вращающейся черной дыры¹.

Ситуация принципиальным образом меняется при переходе за границу планковских масштабов. Там уже пространство и время «перемешаны» настолько тесно, что никаких вышеописанных «срезов» осуществить в принципе невозможно. Невозможно, таким образом, и установить «стрелу времени». Понятия «раньше» и «позже» теряют свой смысл.

Еще больше ситуацию усугубляют квантовые флуктуации, которые на данных масштабах имеют очень большую величину. Пространство-время буквально «кипит», и поэтому данное состояние часто называется «пространственно-временной пеной». Как образно и даже поэтически написал И.Д. Новиков по этому поводу: «река Времени дробится здесь на неделимые капли...»

Так что повторим еще раз: известная нам история Вселенной начинается с момента 10^{-43} с. Про некоторые гипотезы о том, что же было еще «раньше»², мы расскажем в следующей главе, а пока перейдем к более «изведенным» временам.

Промежуток времени с 10^{-43} до 10^{-36} с принадлежит периоду инфляции. Как уже было сказано, во Вселенной в это время «правит» скалярное поле, с уравнением состояния, близким

¹ Так называемое «3+1» расщепление. — *Примеч. авт.*

² Да-да, несмотря на все вышесказанное, такие гипотезы все равно рассматриваются — дух противоречия отнюдь не чужд натуре ученого. Смеем даже утверждать, что «бунтарская» нотка обязательно должна быть в любом настоящем ученом. — *Примеч. авт.*

к уравнению состоянию вакуума: отрицательное давление, равное по модулю плотности энергии (которая, естественно, всегда положительна)¹.

«Обычной» материи в этот период еще нет, так что расширение Вселенной происходит по экспоненциальному закону.

Уместным, кстати, будет подчеркнуть следующее обстоятельство (на которое мы уже немного намекнули ранее, сказав, что скалярное поле «имитирует» вакуум): несмотря на то, что уравнение состояния скалярного поля такое же (или близкое к такому же), как вакуумное уравнение состояния — скалярное поле вакуумом *не является*. Раньше его иногда называли «ложным вакуумом», сейчас чаще используется уже упомянутое название «инфлатон».

Поэтому не должно вызывать удивления, что скалярное поле хоть и медленно, но эволюционирует — в отличие от «истинного» вакуума, который ни от времени, ни от пространства не зависит, о чем уже было неоднократно сказано.

Не должен также вызывать удивления (возможного при взгляде на общую продолжительность периода инфляции) эпитет «медленно», употребленный нами по отношению к эволюции поля — речь тут идет о математических характеристиках данной эволюции².

К концу периода инфляции потенциальная энергия инфлатона (идущая на кинетическую энергию расширения Вселенной) падает до своего минимума, вокруг которого начинаются затухающие колебания — совсем как колебания обычного маятника. Кстати, и общая эволюция поля в период инфляции описывается уравнениями, весьма похожими на уравнение маятника в очень вязкой среде (роль вязкости в данном случае играет очень быстрое «раздувание» Вселенной). Еще одно проявление поразитель-

¹ О весьма экзотических теориях, где это может быть не совсем так, здесь мы рассказывать не будем. — *Примеч. авт.*

² Для любознательных — малости первых и вторых производных поля по времени (скорости изменения поля) по сравнению с величиной самого поля, т. е. — о выполнении так называемых условий «медленного скатывания». — *Примеч. авт.*

тельной универсальности физических законов в совершенно исключительном диапазоне масштабов.

Собственно, начало колебаний поля в то же самое время знаменует собой конец периода инфляции, распад инфлатона на частицы и начало так называемого периода reheating'a — «разогрева» Вселенной.

На самом деле, более точный перевод слова «reheating» — это «повторный разогрев». Тут дело в том, что в старых моделях инфляции Вселенная была горячей еще до начала самой инфляции — соответственно, в ней уже были частицы. В период инфляции эти частицы очень далеко разнесло друг от друга, и температура Вселенной очень сильно упала — до сверххолодного (supercooled), как говорят, состояния.

Соответственно, при распаде «ложного вакуума» (термин опять-таки из «старой» инфляции) происходил «повторный» разогрев. Ну, а сейчас он первый и единственный — но термин, тем не менее, остался.

Итак, вещество нашей Вселенной «родилось» примерно на 10^{-36} секунде ее эволюции, причем температура (возникшая тогда же) в этот момент времени равнялась совершенно чудовищной с земной точки зрения величине — порядка 10^{29} кельвинов.

Вообще, процессы рождения вещества представляют собой интереснейшее явление — достаточно сказать, что знакомые нам элементарные частицы являлись тогда безмассовыми.

Все частицы, не только фотоны!

Но мало-мальски подробный рассказ обо всем этом, хотя и позволил бы немного поведать, в частности, про тот самый весьма «популярный» в последнее время¹ бозон Хиггса, к сожалению, определенно вывел бы нас за рамки этой книги. Так что оставим этот рассказ до более подходящего случая.

Скажем лишь, что примерно в это же время (чуть-чуть погодя) наступает конец так называемого Великого Объединения —

¹ Да-да, знаменитый Большой Адронный Коллайдер и все его «ужасы». —
Примеч. авт.

и сильное взаимодействие (отвечающее за силы, действующие в нашу эпоху внутри атомных ядер¹), отделяется от слабого (отвечающего, в частности, за процессы бета-распада нейтрона на протон, электрон и антинейтрино) и знакомого всем электромагнитного.

Что же касается гравитации, являющейся четвертым (и последним) известным фундаментальным взаимодействием, то его отделение произошло в самом начале описываемой нами эволюции Вселенной, в планковские времена.

Еще немного погодя...

Впрочем, при описании процессов в нашей Вселенной — особенно в самые начальные этапы ее эволюции — удобно пользоваться логарифмической шкалой времени. И на этой шкале данное «немного погодя», в цифрах выглядящее как примерно 10^{-35} с, отстоит от предыдущего момента почти так же, как мы отстоим от эпохи образования первых звезд!

Итак, на 10^{-35} секунде происходит рождение барионной асимметрии Вселенной, т. е. барионов (в то время представляемых кварками) за счет механизмов, описание которых, к сожалению, тоже выходит за рамки данной книги, рождается «чуть-чуть», буквально на одну миллиардную долю больше, чем антибарионов.

И именно поэтому сейчас мы состоим из вещества, а не из антивещества.

На всякий случай стоит отметить, что существуют теории, в которых возникновение барионной асимметрии происходит гораздо позже — вблизи 10^{-10} секунды. Они называются теориями «холодного бариогенезиса» — в отличие от теорий «горячего бариосинтеза», описывающих процессы на 10^{-35} секунде.

Учитывая температуры, которые царят во Вселенной на 10^{-10} секунде, становится понятно, что понятия «горячо» и «холодно» в физике ранней Вселенной гораздо более относительны, чем в нашей повседневной жизни!

¹ Уточнение про «нашу эпоху» было сделано, так как в те времена никаких «атомов» и даже «ядер атомов» еще не существовало. — *Примеч. авт.*

Кстати, еще одним следствием существования барионной асимметрии (возможной только если происходит несохранение так называемого «барионного числа») является вывод о нестабильности протона. За определенное время — очень долгое, впрочем, порядка 10^{32} лет — он распадается, например, на позитрон и пи-мезон (называемый также пионом). А пи-мезон, в свою очередь, распадается на два гамма-кванта. Возможны и другие так называемые «каналы» (варианты) распада.

После 10^{-35} секунды начинается период, который, в силу уже упомянутого «логарифмического» обстоятельства, носит название «пустыня взаимодействий» или же «калибровочная пустыня». Ведь в течение «громадного» промежутка времени — вплоть до 10^{-10} секунды — ничего интересного с точки зрения современной физики не происходит. Знакомые нам частицы — кварки, лептоны и промежуточные бозоны — по-прежнему массы не имеют.

Массивны в этот период только гипотетические частицы¹ — переносчики сил Великого Объединения, X- и Y-бозоны, которые приобрели массу в момент нарушения симметрии Великого Объединения. После данного момента они уже не могут рождаться и постепенно распадаются на кварки и лептоны (при этом сами являясь, таким образом, своеобразными лептокварками, объединяя в себе свойства эти двух семейств).

Собственно, различие в каналах распада между этими бозонами и соответствующими антибозонами (которых было как раз «поровну») и обуславливает возникновение барионной асимметрии Вселенной в теориях горячего бариосинтеза.

Но эти события, как уже было сказано, происходят примерно на 10^{-35} секунде, после чего наступает временное «затишье».

К 10^{-10} секунде температура Вселенной за счет расширения падает до 10^{-16} К. Стоит упомянуть, кстати, что экспоненциальный период расширения Вселенной закончился вместе с окончанием

¹ Гипотетические — потому что экспериментально они еще не открыты, уж слишком большие энергии тут требуются. Но сомнений в их существовании у ученых нет. — *Примеч. авт.*

инфляции — на 10^{-36} секунде. Вселенная, заполненная горячей плазмой, расширяется гораздо медленнее — по степенному закону, показатель степени которого зависит от уравнения состояния (взаимосвязи между давлением и плотностью энергии) на данном этапе.

Ну, а на 10^{-10} секунде происходит так называемый «электрослабый фазовый переход». Единое электрослабое взаимодействие разделяется на силы слабого взаимодействия с участием нейтрино и силы взаимодействия электромагнитного. Приобретают массу все известные нам элементарные частицы — лептоны, включая, судя по всему, нейтрино, кварки и частицы — переносчики слабого взаимодействия, W^+ -, W^- - и Z^0 -бозоны.

Безмассовым остается только переносчик электромагнитного взаимодействия — фотон. Собственно, именно поэтому электромагнитное взаимодействие действует на произвольно больших расстояниях.

После электрослабого фазового перехода Вселенная уже более-менее похожа на привычный нам мир (ну, с точки зрения физика, конечно). Самое существенное отличие — это что пока, при подобных температурах и плотностях энергии, кварки могут «наблюдаться» в почти «свободном» состоянии. Так что Вселенная тогда представляла собой своеобразный «кварковый суп».

В современных же условиях, как, возможно, многим читателям известно, существует явление, называемое «невыветанием кварков» — или же конфайнментом (от агл. *confinement* — «удержание»).

Дело в том, что силы сильного взаимодействия (обеспечиваемые частицами-переносчиками — глюонами) обладают замечательным свойством, называемым «асимптотической свободой». Они очень слабые на близких расстояниях (под близкими, конечно, понимаются расстояния не в привычном нам повседневном смысле, тут мы говорим о процессах внутри атомных ядер, т. е. масштабах меньших 10^{-13} см), но резко усиливаются при увеличении расстояния между двумя связанными кварками.

Хорошей аналогией может служить поведение резинового шнура, соединяющего два шарика. «Но мы же можем «дернуть» так сильно, что шнур порвется?» — спросит вдумчивый читатель. Да, шнур порвется, а вот с глюонной «струей» будет более интересно.

Если энергия ее «натяжения» превысит пороговую, то она пойдет на образование пары «кварк»-«антикварк». И кварк, за который мы «тянули», вылетит из ядра вместе с антикварком, т. е. мы получим обыкновенный мезон, а вовсе не одинокий кварк.

Такая, совсем уж знакомая нам ситуация настает на 10^{-4} секунде, когда температура падает до 10^{12} К. Кварки «слипаются» и образуют привычные нам протоны и нейтроны.

Причем частиц, как уже было сказано, образуется чуть-чуть больше, чем античастиц. И, вскоре после своего образования, частицы и античастицы аннигилируют, образуя огромное количество гамма-квантов.

Собственно, как легко понять из той доли, на которую число частиц превышало число античастиц (примерно одна миллиардная, как вы помните) — на каждую частицу материи нынче приходится около миллиарда фотонов. Тех самых фотонов реликтового излучения, о которых мы уже столько рассказывали. И во Вселенной настает эпоха доминирования излучения, т. е. уже упомянутый ранее радиационно-доминированный период¹.

Давление в этот период вполне положительно и равно плотности энергии, деленной на три.

Ну, а антиматерия исчезла вся — или почти вся. Хотя определенные исследования в этом направлении продолжаются, тот же спектр реликтового излучения, а также исследования космических лучей накладывает очень сильные ограничения на возможное ее количество. Так что на «антизвезды» в нашей Галактике и другие «антигалактики», пожалуй, можно уже не рассчитывать.

К 1 секунде жизни Вселенной температура падает до «всего лишь» десяти миллиардов кельвинов. Такой «небольшой» тем-

¹ Для любознательных — в этот период размер Вселенной растет пропорционально квадратному корню из времени. — *Примеч. авт.*

пературы становится недостаточно для поддержания нужного темпа реакций слабого взаимодействия, в которых рождаются нейтрино — и антинейтрино, таким образом, выходят из состояния термодинамического равновесия с первичной плазмой. После этого момента их общее число во Вселенной остается примерно неизменным — происходит, как говорят, их «закалка».

Еще немного спустя (и на этот раз «немного» — это действительно немного) температура плазмы падает настолько (ниже общей массы электрона и позитрона в энергетических единицах), что происходит процесс аннигиляции электрон-позитронных пар. Этот процесс несколько повышает температуру реликтовых фотонов, остающихся в термодинамическом равновесии с плазмой, но практически не затрагивает первичные нейтрино.

Данное обстоятельство позволяет оценить температуру реликтовых нейтрино по отношению к температуре реликтовых фотонов. Так, на сегодняшний момент времени, спустя 13 с лишним миллиардов лет, фотоны «остыли» примерно до 2,7 К, а нейтрино, соответственно, до чуть меньше 2 К¹.

Такая небольшая температура (и, соответственно, энергия) делает заведомо безнадежными в обозримом будущем попытки прямого детектирования космологических нейтрино в наземных условиях — ведь с веществом очень слабо взаимодействуют даже значительно более «мощные» нейтрино солнечные.

Но зато, с другой стороны, если мы оценим число реликтовых нейтрино, их окажется очень, очень много. Собственно, общее число нейтрино и антинейтрино всех сортов будет лишь немного уступать числу реликтовых фотонов, приближаясь к 350 частицам в любом кубическом сантиметре во Вселенной.

И даже очень маленькая их масса, помноженная на такое огромное число, будет оказывать вполне ощутимое влияние на космологические наблюдательные данные — на крупномас-

¹ Подчеркнем на всякий случай — речь идет о реликтовых нейтрино, «остатках» Большого Взрыва. Солнечные нейтрино — это совсем иное дело, их энергия гораздо выше. — *Примеч. авт.*

штабную структуру и анизотропию реликтового излучения, например. Таким образом, как мы уже говорили, из подобных наблюдений можно получить ограничения на массу нейтрино.

Замечательно, что на сегодняшний момент строгость этих ограничений (казалось бы, сильно косвенных) существенно превышает достигнутую в земных лабораториях!

Однако вернемся к эволюции нашей Вселенной. В период с 1 по 200 секунду идет процесс первичного нуклеосинтеза, о котором мы уже рассказывали. Общий химсостав Вселенной закладывается именно в эти секунды. Образуются ядра водорода, дейтерия, гелия, гелия-3, и немного лития.

Все более тяжелые элементы, как мы уже тоже говорили, образуются позже, в недрах звезд. Однако их общее количество и сейчас, по большому счету, слишком ничтожно, чтобы «тягаться» с водородом и гелием.

И — с темной материей.

Но что это такое — до сих пор остается предметом гипотез и предположений, так что рассказ о ней мы отложим до последней части этой главы.

С окончанием первичного нуклеосинтеза, когда температура падает примерно до миллиарда градусов, наступает и конец периода «ранней» Вселенной. Именно такую классификацию предложил знаменитый физик и космолог Стивен Вайнберг в своей замечательной книге «Первые три минуты», и своей актуальности она (и книга, и классификация) не потеряла и поныне.

Следующий «ключевой» момент эволюции Вселенной наступит уже очень не скоро — через целых 50 тысяч лет. Характеризует его переход от стадии доминирования излучения к стадии доминирования вещества.

Ведь, как мы уже говорили, плотность энергии вещества падает как куб размеров Вселенной, в то время как плотность энергии излучения — как четвертая степень. Ясно поэтому, что такой момент обязательно должен был рано или поздно наступить.

Уравнение состояния сменяется на так называемое «пылевидное»: давление равно нулю. Впрочем, справедливости ради,

относится это скорее к темной материи, не испытывающей воздействия излучения. Барионная же, «обычная» материя от «тесных объятий» излучения еще не избавилась, для нее переход к материально-доминированной стадии пока мало что значит.

Зато темная материя, рост возмущений в которой на радиационно-доминированной стадии хотя и происходил, но был очень сильно подавлен, получает возможность «развернуться» в полный рост, чем и не замедляет воспользоваться. Начиная (точнее, сильно ускоряя) процесс гравитационного сгущивания и подготавливая гравитационные «ямы» для барионной материи.

Увеличение размеров Вселенной, кстати, на данном этапе несколько ускоряется — теперь они растут пропорционально времени в степени $2/3$.

Наконец, через 300 000 лет после рождения Вселенной «долгожданный миг свободы» настает и для обычного вещества. Температура Вселенной падает до 3000 К, и происходит рекомбинация водорода — ядра получают возможность захватить электроны¹.

Вселенная «очищается», излучение получает возможность распространяться свободно, тем самым, в свою очередь, освобождая и вещество от своего влияния. Барионное вещество начинает постепенно «сползать» в гравитационные ямы, подготовленные темной материей, запуская тем самым процесс образования крупномасштабной структуры Вселенной.

И результаты этого процесса начинают появляться уже в первой половине первого миллиарда жизни Вселенной — начинают образовываться первые квазары, галактики, скопления и сверхскопления галактик. Зажигаются первые звезды.

Давно уже умершие, чтобы дать жизнь нам...

Что ж, наш рассказ близится к концу. Последним на сегодняшний день ключевым этапом эволюции Вселенной является

¹ Рекомбинация гелия происходит раньше — еще на радиационно-доминированной стадии. — *Примеч. авт.*

наступивший около 7 с лишним миллиардов лет назад этап доминирования космологической постоянной.

Впрочем, точнее будет сказать, что наступил этап доминирования темной энергии, ведь космологическая постоянная — не единственная из рассматриваемых кандидатур на эту роль. Более того, число «игроков» может быть больше одного!

Единым для всех кандидатур является условие на уравнение состояния — давление этой субстанции обязательно должно быть отрицательным, причем модуль его должен превышать $1/3$ от плотности энергии. Это нужно, чтобы обеспечить необходимые силы отталкивания в космологическом масштабе.

Если коэффициент пропорциональности между давлением и плотностью энергии (так называемый «параметр уравнения состояния» w) лежит в промежутке от минус $1/3$ до -1 , то такой подкласс темной энергии называется «квинтэссенцией», ее плотность может уменьшаться со временем — хотя и медленней, чем плотность обычной материи (барионной и темной).

Если параметр w точно равен -1 — то это уже привычная нам космологическая постоянная с неизменной плотностью.

Весьма экзотический случай, когда w даже меньше -1 , называется «фантомной энергией». К каким интересным (но несколько неприятным) последствиям может привести ее возможное существование, мы расскажем в последней главе.

Как бы то ни было, около семи миллиардов лет назад наша Вселенная снова перешла на ускоренный режим расширения. Пока он не экспоненциальный, ведь доля материи еще весьма существенная по сравнению с долей темной энергии (примерно 3 к 7), но дальше разрыв будет только все больше и больше возрастать. Вселенная будет расширяться все быстрее и быстрее.

...Через огромное количество лет погаснет последняя звезда, потом испарится последняя черная дыра, распадется последний протон. И Вселенная наша будет представлять собой чудовищно огромное и практически совершенно пустое пространство, заполненное очень-очень разреженным фотонно-электронным газом.

Безрадостная картина, не правда ли?

Но значит ли это, что тогда же настанет и конец истории человечества — если не убившего себя до тех пор, то невообразимо далеко ушедшего по дороге познания, и невообразимо могущественного?

Человеческая мысль не может смириться со столь бесславным концом. И об этом — наш следующий рассказ.

Ну, а пока кратко перечислим основные характеристики нашей Вселенной в современную эпоху — как их определяют данные пятого года выполнения миссии WMAP.

Возраст нашей Вселенной — примерно 13,7 млрд лет. Геометрия — «плоская», возможное отличие параметра полной плотности от 1 — не более, чем во втором знаке. Величина постоянной Хаббла составляет около 70 (км/с)/Мпк. На долю темной энергии приходится порядка 70% полной плотности Вселенной. «Светящееся» барионное вещество (звезды, галактики, газ и пыль, в том числе невидимые нам) — не более 5%. Темная материя — 20 с лишним процентов.

Наконец, доля массивных нейтрино в лучшем случае может составлять около 2%. Впрочем, по сравнению с долей барионной материи это вполне солидная величина, практически одного порядка.

Что же до ограничений на параметр уравнения состояния темной энергии, то они пока не позволяют сделать однозначный выбор между квинтэссенцией, космологической постоянной и фантомной энергией.

Другие характеристики Вселенной мы перечислять не будем — они потребовали бы долгого объяснения своей сути. А нас ждет, возможно, самая увлекательная часть рассказа о космологии.

6. «...В ТО ВРЕМЯ КАК ВЕЛИКИЙ ОКЕАН ИСТИНЫ РАССТИЛАЕТСЯ ПЕРЕДО МНОЙ НЕИССЛЕДОВАННЫМ»

В этой последней части радела, посвященного космологии, мы расскажем о ее загадках и нерешенных вопросах. А также о пока еще гипотетических, но неизменно захватывающих дух попытках ответа на данные вопросы.

И начнем мы с того самого, «наивного» и даже «некорректного», как мы сказали, вопроса о том, что же было в самом начале Вселенной.

Однако вопрос этот обладает такой притягательной силой, что не прекращаются попытки дать на него ответ, отличный от уже приведенного нами ранее. Скорее всего, абсолютно правильного, но несколько скучноватого, не правда ли?

Итак, один из вариантов ответа — в самом начале была сингулярность.

Думаем, тут у многих возникнет желание пожать плечами — «и что, дескать? Про космологическую сингулярность нам и так все уши уже прожужжали».

Да, на первый взгляд, ответ даже немного смахивает на издательский. Что в начале была сингулярность — считалось еще на самой заре современной космологии, при анализе самых первых космологических моделей. И на протяжении дальнейшей истории космологии как раз неоднократно делались попытки уйти от появления сингулярности, свидетельствующей о недостатке наших знаний об условиях, при которых она возникает.

А тут мы вдруг покорно возвращаемся обратно...

Но весь вопрос — какая это сингулярность. Вспомним, где еще мы встречаемся с ней?

Ну конечно же — в черных дырах!

Так, может быть, между этими двумя сингулярностями есть много общего? И вдруг — представим себе это на минутку — это и вовсе одно и то же?

Вещество, которое сколлапсировало в черную дыру и «угодило» в сингулярность не может, конечно, вернуться обратно. Но, оказывается, есть гипотезы¹, в которых за коллапсом может последовать новое расширение — только уже не в нашу Вселенную, а в другую, которую это расширение и создает.

Причем масса новой Вселенной отнюдь не обязана быть равна массе «исходной» черной дыры, вовсе нет. Так как гравитационная энергия имеет обратный знак к положительной энергии, связанной с массой, возможно «воспроизводство» массы — при условии, что исходный баланс энергий сохраняется.

Так что Вселенная-«дитя» вполне может стать массивнее Вселенной-«матери». И в этой юной Вселенной тоже, в свою очередь, могут возникнуть черные дыры, а значит, соответственно, и Вселенные-«внуки». И далее, далее, далее, в бесконечной цепи «рождений»...

А так как черные дыры, служащие «воротами» (в один конец, правда), постепенно, как известно, испаряются, то, рано или поздно, Вселенные-«дети» обретают «независимость».

Кстати, именно в таком способе — «Вселенная в черной дыре» — заключается одна из попыток решения «информационного парадокса» черных дыр, о котором мы рассказывали ранее.

Но тогда нам остается сделать лишь еще один шаг — предположить, что и наша Вселенная тоже была «рождена» таким же способом. И где-то есть (хотя, возможно, уже давно закрылась) «пуповина», ведущая к нашей «родительской» Вселенной.

А если при этом еще вспомнить о гипотезах создания черных дыр в лабораторных условиях (не с нашим современным уров-

¹ На всякий случай подчеркнем, что все (или почти все), о чем будет рассказано в этой главе, является гипотезами. Статус теории — более высок, его еще надо «заслужить». — Примеч. авт.

нем, конечно)... И учесть, что есть теоретическая возможность оказать влияние на характеристики создающейся Вселенной... Картина и вовсе захватит дух, не правда ли? Особенно если представить в роли «подопытной» Вселенной — нашу.

Что ж, по сравнению с такими перспективами второй вариант «начала» Вселенной выглядит даже бледновато, пожалуй. Исходя из него, наша Вселенная могла родиться просто... из ничего.

Если полная энергия Вселенной равна нулю, то такие рождение законы квантовой физики не запрещают. Ну, а как может быть равна нулю полная энергия Вселенной, наполненной сейчас огромным количеством звезд, галактик и их скоплений, мы уже объяснили немного выше.

Кстати, как было сказано во второй части этой главы, равенство полной энергии нулю гарантировало бы, что наша Вселенная является «плоской», т. е. ее плотность в точности равна критической плотности. А мы уже знаем, что реальное положение дел в нашей Вселенной близко к такому варианту... Хотя, конечно, необходимое точное равенство доказать пока возможным не представляется.

И еще несколько слов по этому поводу — для более «продвинутого» читателя. Первые модели инфляции предполагали обязательное существование тех или иных глобальных квантовых процессов в начальные моменты эволюции Вселенной — либо вышеописанного рождения «из ничего», либо процесса «подбарьерного туннелирования» из метастабильного состояния (либо того и другого).

Для данных процессов требуется равенство полной энергии Вселенной нулю — так что до сих пор в популярной литературе встречается утверждение, что инфляция решает проблему «плоскостности» именно тем, что постулирует точное равенство полной и критической плотности Вселенной.

Это не так. «Современные» инфляционные модели вовсе не требуют выполнения данного условия. А проблему плоскостности, как уже было сказано, они решают громадными размерами Вселенной в конце периода инфляции.

И вот как раз современные модели инфляции, например — «хаотической» инфляции, разработанной Андреем Линде, предлагают третий вариант рождения Вселенной. Вариант, носящий название «вечная» инфляция.

Или же, более поэтически — «вечно юная Вселенная».

И, несмотря на всю свою поэтичность, название это более глубокое, чем кажется на первый взгляд, оно до некоторой степени отражает саму суть идеи. Ведь мы же знаем, кто в древнегреческой мифологии была вечно юной и вечно прекрасной.

Конечно же — Афродита, «рожденная из пены морской». И наша Вселенная тоже была рождена из «пены». Из пространственно-временной пены.

Но нет никаких оснований считать, что вся эта «пена» начала расширяться и положила начало нашей Вселенной. Нет, гораздо более вероятно, что на нашу Вселенную «пошел» только небольшой ее «кусочек». Другие же «кусочки», если в них сложились условия, подходящие для начала инфляции (какие это условия конкретно — мы не будем сейчас обсуждать) могли начать расширяться «раньше», другие «позже», положив начало совсем другим вселенным.

Более того, если мы рассмотрим «кусочек» (или, лучше сказать, область), которая только-только начала расширяться, то в самом-самом начале, при существующих тогда огромных плотностях энергии, велик уровень квантовых флуктуаций. И поэтому внутри этой области может возникнуть подобласть, где величина скалярного поля будет выше. Эта подобласть начнет расширяться еще быстрее, «обособившись» от остальной части. А в ней, в свою очередь, тоже может возникнуть такая подобласть.

И так — без конца.

Что же мы видим? Картина одной-единственной (пусть и громадной) Вселенной исчезает. Вместо нее появляется захватывающая дух Метавселенная, в которой наша Вселенная является лишь одной из бесчисленного множества других.

Более того, непрерывно идет процесс рождения все новых и новых вселенных. Так как условия в них вполне могут быть раз-

личны, то некоторые вселенные быстро «схлопываются» обратно и «возвращаются» в состояние пространственно-временной пены. Но обязательно есть (не могут не быть!) и такие, эволюция которых идет достаточно долго для образования в них упорядоченных структур.

И может быть даже — кто знает! — и возникновения разумной жизни.

Кстати, момент, связанный с «различными условиями», на самом деле один из важнейших. Дело в том, что ученых давно мучил один вопрос: почему же наша Вселенная именно такая, какая есть? Почему фундаментальные константы имеют такую величину, почему массы элементарных частиц именно такие, а не какие-либо другие?

Вопрос этот не столь умозрителен, как может показаться. Ведь, оказывается, если мы даже немного «пошевелим» значения констант, то привычный нам мир просто исчезнет.

Так, достаточно массе электрона совсем немного, не более чем в два раза подрасти (а его малая масса представляет собой одну из загадок современной физики — ведь тот же протон, и абсолютное большинство других частиц массивнее электрона более чем в тысячу раз) — как темп протон-протонного термоядерного цикла в центре Солнца резко ускорится. И ни о каких «спокойных» миллиардах лет горения водорода, потребных для развития жизни на Земле — и речи уже идти не будет.

Еще немного увеличим массу электрона — и все протоны во Вселенной превратятся в нейтроны. К немного другим по форме, но столь же катастрофическим по сути последствиям приведет увеличение разности масс нейтрона и протона.

Еще жестче ограничены силы ядерного взаимодействия. Чуть-чуть сильнее (менее, чем на 10%) — весь водород во Вселенной на стадии первичного нуклеосинтеза превращается в гелий. Чуть-чуть слабее (даже на 5%) — образование гелия становится, наоборот, невозможным.

Подобные же ограничения можно получить и на силы слабого взаимодействия, и на величину гравитационной постоянной.

Более того, можно показать, что все многообразие траекторий, по которым движутся тела в пространстве, возможно только в мире, где число пространственных измерений в точности равно 3 — как в нашей Вселенной.

В мире, где число пространственных измерений больше трех, невозможно существование замкнутых орбит (и планет вокруг звезд, и электронов «вокруг» ядер¹. Любое тело неизбежно либо упадет на притягивающий центр, либо уйдет на бесконечность.

Если число измерений будет меньше, то наоборот, невозможен будет «свободный» полет, тот же электрон никак не получится «оторвать» от атома. То же — с вполне катастрофическими последствиями.

Список счастливых «совпадений» можно продолжить, и окажется он весьма длинным.

Так что наш мир оказался очень точно «настроен». Но никаких механизмов такой «настройки» не известно — не было известно тогда, когда впервые возник данный вопрос, и не известно сейчас.

Для решения данной проблемы был выдвинут так называемый «антропный принцип», суть которого лучше всего сформулировал советский космолог А.Л. Зельманов: «Мы являемся свидетелями определенного типа процессов потому, что процессы иного типа протекают без свидетелей», т. е. — если бы наша Вселенная была бы другой, то нас бы в ней просто не было и некому было бы задавать такие «наивные» вопросы.

Но все-таки, несмотря на столь остроумные формулировки, «антропный принцип» сильно отдавал философией, причем философией чисто умозрительной². Так что полностью устроить ученых он, все-таки, не мог.

¹ С электронами ситуация, конечно, более сложная — классическое понятие «орбиты» к ним неприменимо. Но итоговые выводы остаются в силе. — *Примеч. авт.*

² Не являясь специалистами в области философии, авторы все же надеются, что умозрительной является не вся философия целиком. — *Примеч. авт.*

Однако и острота проблемы во время появления «антропного принципа» была определенно меньше, чем сейчас. Можно было считать, например, что есть некие, пока не известные нам принципы, которые с неизбежностью приводят именно к такому набору фундаментальных констант. Наконец, можно было просто считать их как априорную данность, не нуждающуюся в объяснении.

Все изменила теория суперструн. Эта теория, в которой элементарные «точечные» частицы «заменяются» на некие одномерные струны, различные моды колебаний которых соответствуют разным типам элементарных частиц¹, несмотря на все возникшие сложности, является одной из наиболее перспективных кандидатур на роль «Единой теории поля». Или же, как это часто называется в популярной литературе — на роль «Теории Всего», объединяющей в себе все четыре типа фундаментальных взаимодействий: сильного, слабого, электромагнитного и гравитационного.

И первой проблемой стало то, что данная теория (точнее — теории, их существует несколько разновидностей) оперирует числом пространственных измерений, сильно бóльшим, чем наши три. Например — одиннадцатью. Но «лишние» измерения при переходе от уровней энергии, где «царит» единая теория, к более низким — «сжимаются», или, как это обычно называется «компактифицируются», проявляясь только на расстояниях, близких к планковским.

Так почему же «сжалось» именно нужное число измерений?

Второй, и даже более серьезной проблемой оказалось то обстоятельство, что в рамках суперструнных теорий привычные нам фундаментальные константы и массы элементарных частиц действительно являются «производными» от констант более высокого порядка (например, от своего рода «модуля упругости», «жесткости» струны). Только вот механизма, который бы обе-

¹ Приставка «супер-» появляется из-за «наложенных» на теорию струн идей «суперсимметрии», которые мы не будем здесь обсуждать. — *Примеч. авт.*

спечил «перевод» данных «сверхфундаментальных» констант именно в те, с которыми мы имеем дело — эти теории предложить пока не могут.

Напротив, одна и та же теория при переходе к низкоэнергетическому пределу (окружающему нас миру) может дать огромное число (до 10^{100}) самых разных комбинаций «обычных» констант, среди которых наш мир абсолютно ничем не выделен.

И вот тут как раз на помощь приходит теория «вечной инфляции» (хотя — вот парадокс! — совместить условия для данного режима инфляции с механизмами суперструнных теорий оказалось весьма и весьма непросто).

Да, у нас рождается огромное количество самых разных вселенных. Да, в каждой из них случайным образом реализуется свой набор условий. Ну, а мы живем в такой Вселенной, в которой набор этих условий оказался подходящим для жизни нашего типа, вот и все.

В других вселенных могут быть другие фундаментальные константы, другое число пространственных (а может — и временных?) измерений. Там может быть абсолютно пусто, а может и нет. Быть может, там тоже со временем возникают галактики, звезды и планеты. Планеты, на которых способна зародиться жизнь — скорее всего, совсем-совсем не похожая на нашу.

И, чем черт не шутит, вдруг эта жизнь в ходе своей эволюции поднимется до стадии разумных существ? Тоже совсем не похожих на нас — но которых будут мучить такие же вопросы.

Одним из которых, безусловно, станет — а почему их Вселенная именно такая, а не какая-либо другая? И, наверное, кто-нибудь из лучших их представителей тоже рано или поздно придумает «антропный принцип» — пусть и назовет его, конечно, совсем по-другому.

Но вполне возможны, думаем, и вселенные, во всем похожие на нашу. И когда наша станет совсем непригодной для жизни — может быть, наши запредельно далекие потомки найдут способ в одну из таких вселенных перебраться. Ну, или создадут ее сами.

Если успеют, конечно.

Как мы уже сказали в конце предыдущего раздела, современные данные пока не позволяют сделать однозначный выбор в пользу типа темной энергии в нашей Вселенной. И одна из кандидатур — уже упомянутая «фантомная энергия».

Тем «неприятным» ее свойством, на которое мы намекнули, является вытекающая из ее уравнения состояния (напомним, параметр уравнения состояния w меньше -1) способность *увеличивать* свою плотность со временем. И потому в мире, где она есть, возможен новый вариант «конца» Вселенной — так называемый Big Rip («Большой Разрыв»). За *конечное* время (в некоторых моделях — «всего» несколько десятков миллиардов лет) размеры Вселенной и при этом ее плотность возрастают до бесконечности.

Так что столь же бесконечные силы «разрывают» на части все — начиная от скоплений галактик, заканчивая субатомными частицами. Впрочем, так как для разрыва, например, галактики бесконечные силы отнюдь не требуются — их разорвет «немного» раньше.

Космологами придуманы и другие возможные типы космологических катастроф, которые, правда, являются более «слабыми». Так что субатомные частицы, например, как с энтузиазмом отмечают исследующие эти варианты ученые, имеют все шансы катаклизм пережить.

Что ж, здоровый (или нездоровый — это уж как посмотреть) цинизм ученым тоже отнюдь не чужд.

Впрочем, не будем уподобляться персонажу анекдота, на лекции по астрономии облегченно переведшему дух, узнав, что наше Солнце погаснет через 5 миллиардов, а не через 5 миллионов лет, как ему поначалу слышалось. Вернемся к более насущным вопросам и поговорим о космологической постоянной.

После ослепительных картин рождения Вселенной, вопрос этот может показаться даже несколько мелковатым, но, уверяем, космологов он волнует гораздо больше, чем величественное, но сильно гипотетическое здание той же Мультивселенной.

Что же такое космологическая постоянная?

Казалось бы, ответ уж был дан — так проявляется действие физического вакуума. Увы, если начать разбираться глубже, то к «ответу» этому возникнет очень, очень много новых вопросов.

Например, можно подсчитать ожидаемую плотность энергии физического вакуума. Вакуум представляет собой, как мы уже говорили, наинизшее состояние всех квантовых полей. Любое квантовое поле можно представить в виде совокупности квантовых осцилляторов — до некоторой степени (в математическом, конечно, смысле) «похожих» на обычные маятники и характеризующиеся «частотой» своих «колебаний». В силу законов квантовой физики у этих осцилляторов существуют так называемые «нулевые» колебания, т. е. даже в своем наинизшем состоянии осциллятор обладает некоторой энергией.

Таким образом, энергию вакуума получить очень легко — мы возьмем и просуммируем все эти «минимальные» энергии всех квантовых осцилляторов со всеми возможными частотами, т. е. суммируем от нулевой частоты до бесконечной и получаем... бесконечность.

М-да, как-то неловко получилось, не правда ли? Ведь такой вакуум через гравитационное воздействие будет оказывать гигантское — собственно, тоже бесконечное влияние на Вселенную.

Разумеется, эту плотность энергии можно попробовать как-то ограничить. Но первое приходящее на ум ограничение — планковская плотность энергии — делу помогает не сильно. Бесконечность или около 5×10^{93} г/см³ — прикладная разница невелика.

Еще можно ограничить предельный размер колебаний размером Вселенной. Увы, это тоже проблему не решает. Ведь плотность энергии, соответствующая космологической постоянной (порядка 7×10^{-30} г/см³, как мы уже говорили), более чем на 120 порядков (в 10^{120} раз!) ниже планковской.

Можно придумать механизм, который как-то ограничивает или компенсирует энергию вакуума, или тем или иным способом не позволяет ему влиять на эволюцию Вселенной — но очень трудно дать разумное объяснение, почему эта компенсация на-

столько «виртуозна», т. е. не полная, а оставляющая крохотную «утечку».

Одна из таких возможностей на первый взгляд возникла в так называемой «теории бран», являющейся одним из вариантов теории суперструн. «Брана» — это сокращение от слова «мембрана», и в рамках этой теории не все остальные пространственные измерения, кроме трех, компактифицировались к планковским размерам. Еще одно, например (но не обязательно одно) «сжалось» не до конца, «остановившись» на достаточно макроскопических размерах — порядка миллиметра или даже больше.

Однако палец, условно говоря, мы в это измерение засунуть не можем — все частицы и все взаимодействия могут распространяться только в пределах «обычных» трех измерений.

Все — кроме гравитации.

Гравитация «чувствует» все измерения без исключения. Так что, например, при вспышках Сверхновых часть энергии, уносимая гравитацией в дополнительные измерения, на взгляд со стороны, может «исчезать» непонятно куда.

Вообще, в этой теории есть очень много интересных моментов. Например, черные дыры в ней могут образовываться при гораздо меньших плотностях энергии, чем в «классической» физике (роль которой на этот раз исполняет ОТО). Причем, в зависимости от параметров модели (числа и «размера» измерений) — вплоть до доступных в современных ускорителях. Но все это, впрочем, тема другого разговора.

Интересным для нашего разговора представляется следующий момент: если мы попробуем оценить частоту (и, соответственно, длину волны) квантового осциллятора, при суммировании до энергии которого «набирается» наблюдаемая величина космологической постоянной, то у нас получится около 1 миллиметра. Очень близко к теоретически ожидаемому размеру дополнительного измерения...

Но не спешите потирать руки — вообще-то связь между дополнительными измерениями и предельной частотой вовсе не очевидна. Ведь мы же говорили, что все поля, кроме гравита-

ционного, дополнительных измерений вообще не чувствуют! И чем-то «ограничивать» они себя вовсе не обязаны.

Ученые очень хитроумны, так что кое-какие ответы они приготовили и на этот вопрос. Мы не будем их здесь касаться, потому что статус их гипотетичности еще выше, чем «средний» по этому разделу. Тем более, что даже если и позволяя связать космологическую постоянную и физический вакуум, они ничего не говорят о других возможных типах темной энергии: квинтэссенции и фантомной энергии.

Так что более популярным ответом на вопрос об их природе является то, что все они — разновидности скалярного поля. Примерно такого же (но не обязательно того же самого) поля, что «двигало» эволюцией нашей Вселенной в ее начальные моменты, и которое вовсе не обязано иметь уравнение состояния, в точности равное вакуумному.

Например, в достаточно популярных моделях «гибридной» инфляции эволюцией Вселенной управляют два поля (а иногда и больше). И хотя обычно они имеют сопоставимую величину, это условие строгим не является.

Так что второе поле, будучи абсолютно не существенным в силу исключительно малой величины (по сравнению с основным) в начальные моменты — после его «распада» постепенно «копило силы» и вышло к настоящему моменту на первое место по плотности энергии во Вселенной.

Еще более такой сценарий становится понятен в случае фантомной энергии. Но, хотя такая субстанция гипотетически требуется для построения столь же гипотетических «кротовых нор» («гиперпространственных туннелей», являющихся, впрочем, темой другого разговора) — в силу причин, о которых мы рассказали немного выше, ее присутствие во Вселенной является определено не самым желанным событием.

Увы, как уже было сказано, ни одного «экспериментального» примера фундаментального скалярного поля наука на данный момент пока не знает. И вопрос о природе темной энергии остается одним из самых актуальных в современной космологии.

Ну, и совсем уж «приземленным», думаем, теперь покажется разговор о темной материи.

Но даже и с ней дело пока представляется не менее темным, чем она сама. Скорее даже более — ведь темную материю, как мы уже не раз говорили, скорее можно назвать совершенно прозрачной, чего никак нельзя сказать про вопрос о ее природе.

И для начала нужно отделить «темную материю» от «скрытой массы». В русскоязычной литературе эти два термина зачастую используются как синонимы, но на самом деле, разница между ними есть.

Термин «скрытая масса» более широк — он включает в себя и объекты из «обычной», барионной материи, которые пока недоступны нашему наблюдению из-за несовершенства аппаратуры. Например, такими объектами могут быть коричневые карлики, из которых частично могут состоять гало галактик, как показывают результаты экспериментов по обнаружению событий гравитационного микролинзирования, проведенных, в частности, американскими и австралийскими учеными (эксперимент MACHO) и группой французских и чилийских ученых (эксперимент EROS).

Но вся «скрытая масса» не может состоять из одних только пока не обнаруженных объектов из барионной материи (для которых сейчас часто используется термин «темные барионы»). Очень строгие ограничения на общую величину барионной компоненты накладывают, например, данные по первичному нуклеосинтезу, а также данные по анизотропии реликтового излучения. Не стоит забывать и про аргумент о скорости образования структуры Вселенной, который мы приводили ранее.

Так что около четверти полной плотности Вселенной обязательно должны быть в виде какой-то другой, небарионной формы материи. Именно эта доля массы Вселенной и называется «темной материей». С обычным веществом она может взаимодействовать только гравитационным образом и еще, возможно, с помощью сил слабого взаимодействия, темп которых в глобаль-

ном масштабе слишком мал на современной стадии эволюции Вселенной.

Что же это может быть за материя?

Один из кандидатов хорошо известен — это массивные нейтрино. Однако, как мы уже говорили, их доля (не более 2% полной плотности) слишком мала по сравнению с требуемой величиной.

Более того, нейтрино обычно выделяют в отдельный подвид темной материи — так называемую «горячую темную материю». Термин связан со скоростями частиц — в свою очередь зависящими от массы, которая у нейтрино, как известно, очень мала. Кстати, именно из-за того, что нейтрино являются «горячей» материей, и вытекают столь сильные ограничения на их долю — ибо «горячие» частицы должны оказывать достаточно специфическое влияние на наблюдательные данные, деталей которого мы касаться здесь не будем.

Значит, неизвестная нам темная материя должна быть, во-первых, небарионной, а, во-вторых — «холодной», т. е. достаточно массивной.

И исторически, пожалуй, первый кандидат тут — «вездесущие» черные дыры. Первичные черные дыры, возникавшие в самые начальные моменты эволюции Вселенной.

За последнее время были получены достаточно строгие ограничения на возможный диапазон их масс (понятно, например, что слишком «легкие» черные дыры давно уже должны были испариться к настоящему моменту времени), но полностью данная возможность пока не закрыта.

Тем не менее, большинство ученых склоняется к тому, что частицы темной материи являются все же частицами элементарными. Только — пока не открытыми. Общее название этого класса частиц — WIMP'ы (Weakly interacting massive particle — слабо взаимодействующие массивные частицы), а одни из наиболее «популярных» представителей — аксионы и нейтралино.

Они не обязательно должны быть совершенно равномерно распределены по Галактике — возможно, например, что они об-

разуют своего рода гигантские «облака», в которые периодически может попадать Солнечная система (никаких катастрофических последствий, конечно, при этом происходить в принципе не может). Способны они также и «накапливаться» в центре Солнца и даже Земли — что открывает интересные перспективы для их возможного обнаружения.

А поиск этих частиц сейчас активно идет — например, в наземных детекторах CDMS в США, DRIFT в США и Великобритании, DAMA/LIBRA в Италии. А также в спутниковой миссии PAMELA — совместном проекте Италии, России, Германии и Швеции, запуск которой был осуществлен 15 июня 2006 года с космодрома Байконур.

Надежного результата пока не получено (самыми многообещающими при этом выглядят данные PAMELA), но ученые полны оптимизма. И их совсем не смущает, что такие частицы не укладываются в рамки Стандартной Модели элементарных частиц.

В конце концов, массивные нейтрино тоже заступили за эти границы — пусть и не очень далеко. А значит — приходит время менять модель.

И можно быть уверенными, что когда это станет действительно необходимо — сделано это будет безусловно.

Быть может, несколькими загадками при этом станет меньше. Но всего их в космологии накопилось столько (а мы поведали только о малой их доли), что можно и должно признать: вопросов пока много больше, чем ответов.

И это, на самом деле, замечательно.

ЧАСТЬ VII

**ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ
АСТРОНОМИЯ**

1. ЛЮБИТЕЛИ — КТО ОНИ?

Теперь, поговорив о тайнах Вселенной, мы напоследок рассмотрим вопрос: может ли любой человек, не астроном, продолжить знакомство с небесными объектами уже не в теоретическом, а в практическом плане? Ответ: да, может. В мире насчитываются сотни тысяч, если не миллионы астрономов-любителей, регулярно наблюдающих небо в небольшие, в том числе самодельные астрономические инструменты.

Если подходить беспристрастно, то многих великих астрономов прошлого можно назвать продвинутыми любителями, или, по меньшей мере, они начинали как любители. Уильям Гершель был музыкантом, а до высокого профессионализма в астрономии поднялся самостоятельно, Ян Гевелий был пивоваром, исследователь малых планет Ольберс — врачом, его «коллега» по астрономической специализации Гольдшмидт — художником, лорд Росс заседал в британском парламенте и т. д. Список неастрономических профессий знаменитых астрономов очень велик. Скажем более: если бы не энтузиазм влюбленных в небо одиночек, современное состояние астрономии было бы довольно плачевным...

Может возникнуть вопрос: но какой прок в любительстве сейчас, когда никакие усилия отдельного человека не приведут к постройке чего-либо подобного VLT или «Хаббл»? Ответ: разница между астрономией любительской и астрономией профессиональной аналогична разнице между рыбалкой с удочкой и ловлей трески тралом. Второе — работа. Первое — удовольствие.

Нет нужды произносить слова в защиту явления, которое приносит удовольствие и притом безвредно для окружающих.

Впрочем, и в наши дни случается, что любители астрономии приносят пользу науке. А иногда и не приносят, хотя могли бы

принести. Например. Система ориентации АМС «Галилео» использовала несколько «опорных» ярких звезд, чьи характеристики считались заведомо известными. И вот в июне 2000 года аппарат потерял одну из них, а именно звезду Дельта Парусов. Как выяснилось, причина сбоя крылась не в неисправности бортовой аппаратуры, а в самой звезде. Она оказалась затменно-переменной и каждые 45 суток на несколько часов уменьшала свой блеск с 1,96 до 2,3 зв. величины. Ослабление блеска вроде и небольшое, но его оказалось достаточно, чтобы система ориентации не опознала звезду. Позднее выяснилось, что за несколько лет до этого на переменность звезды указывал астроном-любитель из Аргентины Себастьян Отеро. Правда, на его сообщение не обратили внимания, но в этом он, согласитесь, не виноват. Вспомните турецкого астронома из «Маленького принца» Экзюпери и то, что научное сообщество обратило внимание на его доклад лишь тогда, когда турок оделся по-европейски. Пожалуй, феска и шальвары того астронома и принадлежность наблюдателя к любителям — явления одного порядка в глазах иных «жрецов науки»...

Хотя это их проблемы, конечно.

Увлечаться астрономией можно по-разному. Существует несколько классификаций (часто полуплутиковых) любителей астрономии; нам по душе следующая.

1. ТЕОРЕТИКИ. Это люди, увлеченные раскрытием глобальных тайн Вселенной. Часто их интересы лежат на стыке астрономии и философии. Телескоп им не слишком нужен — достаточно выложенных в сеть фотографий, особенно «глубоких проколов», сделанных «Хабблом».

2. СПОРТСМЕНЫ. Данная категория любителей весьма активна в плане наблюдений. Мечта — открыть комету, астероид, вспышку новой звезды, Сверхновую в другой галактике, зафиксировать нестационарное явление на Луне и т. д. Если такой возможности не представляется, любители данной категории с увлечением соревнуются между собой. Пожалуй, самый извест-

ный вид соревнования — «марафон Мессье», заключающийся в том, чтобы пронаблюдать за одну ночь все 109 (ну, или сколько получится) объектов каталога Мессье. Есть и соревнования, не требующие телескопа, — например, кто первым увидит на небе серп Луны после новолуния.

3. ЭСТЕТЫ. Обнаружив на небе, что-либо необычное, они не поторопятся сообщить об этом всему миру. В первую очередь их интересует красота, и ради нее они готовы мерзнуть до утра, неторопливо наводя телескоп то на один небесный объект, то на другой. Иногда их привлекает наблюдение астеризмов — групп звезд, редко являющихся скоплением, поскольку расстояния до них, как правило, весьма различны, но зато образующих на небе какую-либо фигуру, часто забавную (рис. 47).

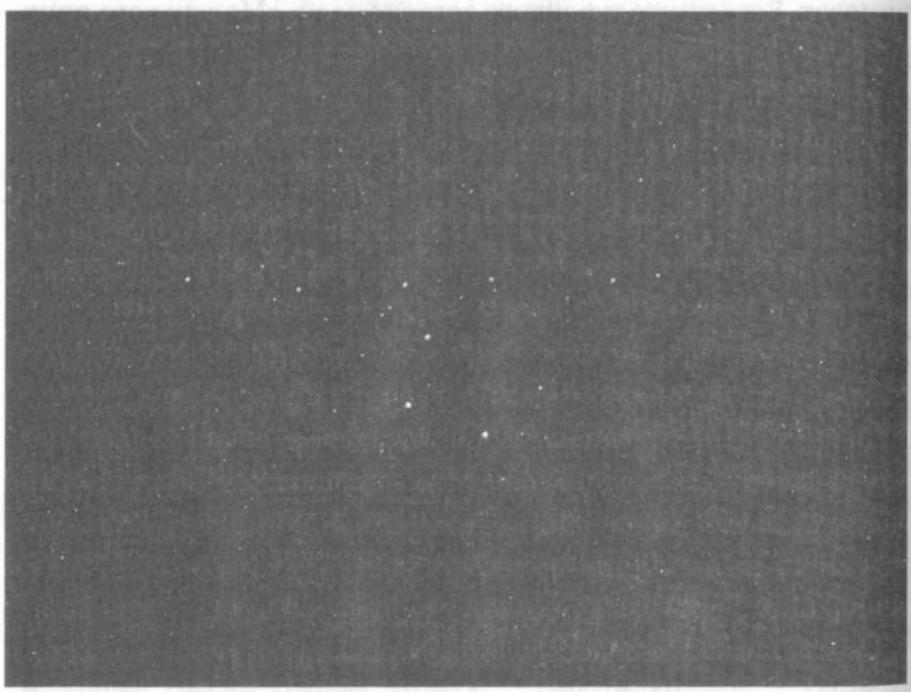


Рис. 47. Астеризм «Вешалка»

В общем-то рисунки некоторых созвездий («ковш» Большой Медведицы, «утюг» Льва, «чайник» Стрельца» и др.) — тоже астеризмы. К науке это, естественно, не относится никаким бо-

ком, но как хобби имеет все права на существование. По нашему мнению (которое мы, однако, никому не навязываем), наблюдение неба ради чистого удовольствия более приличествует человеку разумному, чем испускание бессмысленных воплей футбольным болельщиком во время матча...

Честолюбие эстетов проявляется где угодно, только не в астрономии. Если они и соревнуются, то сами с собой: «Вчера я не видел спиральных рукавов в М81, а сегодня вижу. Ай да я!» С некоторой натяжкой сюда же можно отнести астрофотографов.

Вообще существует громадная разница между рассматриванием объекта в телескоп и на фото. С одной стороны, качественные снимки туманных объектов всегда более подробны и красочны, чем то, что видит в окуляр человеческий глаз. Вспомним хотя бы тот факт, что цветочувствительные клетки сетчатки — колбочки — требуют значительной освещенности; если же ее нет, то работают лишь нечувствительные к цветовой гамме палочки (поэтому ночью все кошки серы). Чтобы глаз мог различить яркие краски Большой Туманности Ориона М42, потребуется довольно крупный — во всяком случае для любителя — инструмент. Что до не самых ярких галактик, то они, нередко очень красивые на фото, предстают при визуальных наблюдениях просто-напросто слабыми серыми пятнышками округлой или продолговатой формы. Но, с другой стороны, удовольствие лично навести телескоп на слабый объект и увидеть его в поле зрения окуляра ни с чем не сравнимо. Такого ощущения рассматривание фотоснимка никогда не даст!

4. ТЕЛЕСКОПОСТРОИТЕЛИ. Представителей этой категории сманила оптика. Иногда они наблюдают небо, но оно интересно им в первую очередь как средство для окончательного тестирования своих оптических систем. Главный источник удовольствия для этих любителей — создать своими руками точную оптическую поверхность и построить на ее основе телескоп, который будет «как настоящий». Скажем более: оптика любителейских

телескопов нередко получается лучше «фирменной»! Добиться такого результата — само по себе высокое наслаждение.

Понятно, что на практике «чистые» разновидности встречаются нечасто, большинство любителей совмещает в себе качества двух, а то и более разновидностей. Например, один из авторов данной книги, пишущий эти строки, относится в равной степени к эстетам и телескопостроителям, временами получая громадное удовольствие то от одного, то от другого. Вдобавок невозможно в полной мере насладиться красотами неба, имея в своем распоряжении инструмент посредственного качества. Какое уж тут эстетическое наслаждение, когда при попытке разрешить на звезды шаровое скопление наблюдатель видит не алмазную россыпь звезд, а некий рябой туман! Лучший способ получить телескоп заведомо хорошего качества — построить его самому, а уж если и тогда нет ожидаемого результата, то некого винить...

Но могут ли любители в наше время принести пользу науке? Могут, хотя и меньшую, чем, скажем, в XVIII веке. Например, несмотря на автоматические орбитальные телескопы типа IRAS или LINEAR, часть комет еще и сегодня открывается любителями (и заслуженно получает имя первооткрывателя). Любитель может открыть астероид и присвоить ему имя. Новые и Сверхновые звезды, нестационарные явления на Луне — об этом уже говорилось. Мониторинг некоторых переменных звезд, до которых у астрономов «не доходят руки». Наблюдение покрытий звезд астероидами, что важно для уточнения формул небесной механики. Наблюдение оптического послесвечения гамма-вспышек. Наблюдение метеорных потоков. И так далее... Случается, что любительские наблюдения «дают работу» крупнейшим астрономическим инструментам!

Но если даже у вас нет желания внести вклад в науку, ответьте: просто наблюдать небо — разве это худшее из придуманных человечеством занятий?

Есть среди любителей и фанаты Солнца, предпочитающие наблюдать днем, а по ночам спать, как все нормальные люди.

Категорически предупреждаем: если у вас обыкновенный, а не специальный солнечный телескоп, пользуйтесь апертурными фильтрами или отбрасывайте изображение на экран. Любитель острых ощущений, задумавший взглянуть на Солнце в мало-мальски крупный телескоп прямо через окуляр, почти наверняка распрощается со зрением. Поверьте, на свете есть более приятные звуки, чем шкворчание подгоревшего глазного яблока. По той же причине не следует днем подпускать к телескопу детей, не обеспечив присмотр за ними. Правда, Ломоносов наблюдал прохождение Венеры через «не весьма густо закопченное стекло», а некоторые астрономы прошлого и вовсе смотрели на Солнце в телескоп без всяких фильтров, но, во-первых, они делали это только на закате, когда яркость Солнца ослаблена толщиной атмосферы, а во-вторых, стоит ли рисковать зрением, когда можно легко обойтись без этого?

2. «ХОЧУ ТЕЛЕСКОП — КАКОЙ ВЫБРАТЬ?»

Считается, что астроном-любитель немислим без телескопа. Это не совсем так. Существуют объекты, которые вполне «по силам» биноклю, монокуляру, подзорной трубе и даже невооруженному глазу. Метеорные потоки, зодиакальный свет, серебристые облака (традиционно числящиеся «по ведомству» астрономии), полярные сияния, затмения Солнца и Луны можно наблюдать без всякой оптики. Комета Хейла–Боппа (см. рис. 14) была прекрасно видна невооруженным глазом даже в центре Москвы. В годы максимума солнечной активности невооруженный глаз иногда способен различить наиболее крупные солнечные пятна — понятно, на восходе или закате либо через фильтр. При ясном спокойном небе и отсутствии засветки вам не понадобится телескоп, чтобы увидеть продолговатое пятно Туманности Андромеды М31, а люди с особо острым зрением найдут Туманность Треугольника М33 и шаровое скопление М13. В горах туманная полоса Млечного Пути распадается на яркие облака, иногда даже дающие тень!

Бинокль с большим полем зрения намного предпочтительнее телескопа при наблюдении протяженных объектов, таких, например, как комплекс водородных туманностей в Лебеде («Северная Америка», «Пеликан», «Рыбачья сеть»). Более того, некоторые любители утверждают, что лучшим инструментом для наблюдения «Северной Америки» является такой несовершенный (зато имеющий большое поле зрения) оптический прибор, как театральный бинокль!

И все же если у вас имеется бинокль с диаметром объектива от 50 мм и увеличением не менее 10 крат — приобретите звездный атлас и поищите на небе хотя бы рассеянные звездные скопления. То, что невооруженному глазу подчас представляется едва заметным туманным пятнышком, на поверку оказывается сияющей

звездной россыпью. Прекрасный объект — двойное рассеянное скопление Хи и Аш Персея. Наведите бинокль на Альбирео («голову» Лебеда) или Мицар и убедитесь в двойственности этих звезд. Найдите «Северную Америку» в Лебеде и «Калифорнию» в Персее. А зимним вечером насладитесь великолепной Туманностью Ориона М42. Если вы не почувствуете радостное волнение — значит, увлечение наблюдательной астрономией не для вас.

Но если вам захочется продолжить, то довольно скоро вы обнаружите, что доступных вашему биноклю и пока еще не известных вам объектов на небе больше не осталось — по крайней мере на данной географической широте. Тогда встанет вопрос: что делать?

Можно приобрести более мощный бинокль, особенно для поездок. Но настоящий любитель астрономических наблюдений — это наблюдатель с телескопом.

В наше время любителю, как правило, нетрудно купить небольшой телескоп в специализированном магазине или заказать по почте. На рынке присутствуют как отечественные производители, так и зарубежные (последние, увы, преобладают). Количество моделей довольно велико. Ценовой разброс — значителен. Как наиболее грамотно выбрать то, что нужно?

Мнение любителей почти единодушно: рефлектор перестает быть детской игрушкой и становится астрономическим инструментом начиная с апертуры примерно 100–110 мм. Для рефракторов-ахроматов эта величина может быть снижена до 90 мм, для апохроматов — до 80 мм. Более скромные инструменты часто приобретаются в качестве подарка для любознательного подростка или могут быть использованы кем угодно для первичного знакомства с небом. Однако тут имеется подводный камень: маленький телескоп, да еще установленный на балконе в мегаполисе, покажет немного, и шанс разочароваться довольно велик.

В самом деле, что можно наблюдать на небе при столь жестких условиях? Детали на поверхности Луны, пятна на Солнце (обязательно с апертурным фильтром!), планеты, несколько рассеянных звездных скоплений, несколько ярких туманностей... И все. Не маловато ли?

Итак, чем больше диаметр объектива, тем лучше? Так, да не так. Во-первых, цена. Во-вторых, габариты и масса. В-третьих, астроклимат. При сильной турбуленции атмосферы небольшой телескоп может оказаться предпочтительнее крупного. Чем больше апертура телескопа, тем более спокойная атмосфера необходима ему для того, чтобы его преимущества проявились в полной мере. Если в Подмосковье для любителя со 150-мм рефлектором годится как минимум каждая пятая ночь, то любитель с 500-мм «монстром» (встречаются и такие, да-да!) будет вынужден караулить не просто хорошее, а исключительно хорошее небо. А оно в указанных широтах бывает 2–3 ночи в году... Практика давно показала: наблюдателю, находящемуся в средней полосе России, практически бессмысленно использовать более чем 300-мм инструмент. Впрочем, и такой любительский телескоп считается крупным.

Чутьочку теории «на пальцах». Что такое турбуленция атмосферы? Это множество локальных хаотичных потоков воздуха разной температуры, каждый из которых имеет свои оптические свойства. В частности, показатель преломления у теплого и холодного воздуха несколько различен, даже в том случае, когда температурная разница между «теплым» и «холодным» крайне невелика. На практике это означает, что если мы сфокусировали изображение небесного объекта при холодном воздухе, получив тем самым резкое изображение, то при смене воздуха с холодного на теплый изображение мгновенно окажется не в фокусе. В атмосфере хаотично перемещаются как бы положительные и отрицательные линзы, причем характерный диаметр этих линз — около 30 см. Если мы используем телескоп с апертурой свыше 30 см, то в поле зрения всегда попадает сразу несколько таких «линз», и точная фокусировка изображения становится невозможной. Но если мы наблюдаем небо в меньший телескоп, то «линзы» проплывают через поле зрения поочередно. Как следствие, дрожащее и размытое изображение периодически успокаивается на долю секунды или даже на несколько секунд — как повезет, — давая наблюдателю возможность фиксировать мелкие детали небесных объектов. Например, 150-мм рефлектор с качественной

оптикой почти во всякую безоблачную ночь уверенно разрешает на компоненты Кастор (Альфа Близнецов) или четверную систему Эпсилон Лиры, в то время как 350–400-мм инструмент чаще всего не может этого сделать, хотя его разрешающая способность теоретически много выше.

На юге и в горах астроклимат, конечно, значительно лучше. Но все же и там предпочтительнее начинать знакомство с небом, имея в своем распоряжении сравнительно небольшой инструмент, который (и это в-четвертых) гораздо легче обслуживать.

По нашему мнению (которое мы, однако, не навязываем), 150-мм рефлектор — вполне достойный инструмент для начинающего любителя с серьезными намерениями. Рефрактор примерно той же проникающей силы может иметь диаметр объектива 120–130 мм. Связано это с тем, что рефрактор не имеет центрального экранирования и потерь света на отражениях от зеркал.

Телескоп такой апертуры покажет многое: довольно мелкие детали лунного ландшафта, подробности на дисках планет, спутники Юпитера и Сатурна, деление Кассини, Уран, почти все объекты каталога Мессье и немало дип-скай объектов¹ каталога Дрейера... При хороших атмосферных условиях он позволит вам различить подробности строения ряда шаровых скоплений и планетарных туманностей, а также галактик М31, М51, М64, М82 и некоторых других. Обычно такого телескопа хватает любителю на несколько лет, прежде чем он задумается о приобретении или постройке более крупного инструмента. К этому времени начинающий любитель уже становится любителем опытным и четко понимает, какой инструмент ему нужен. При этом и старый телескоп нередко продолжает использоваться в качестве «походного», при неважной атмосфере и т. д.

Бывает и такое: первый телескоп любителя становится для него и последним — при том, что любительство он не бросает. Упаси нас боже «прописывать» всем любителям астрономии наблюдательский фанатизм! Если любитель считает, что данный

¹ Объекты глубокого космоса. — *Примеч. авт.*

телескоп отвечает всем его желаниям, то кто же станет возражать?

Склонность раскладывать все по полочкам заставляет нас задать вам несколько вопросов. От правильного ответа на них зависит, ошибетесь вы или нет в выборе своего первого телескопа.

1. Какую сумму вы готовы выложить за покупку?

«Чем мех дороже, тем он лучше», — справедливо сказано в старой кинокомедии. Безусловно, в пределах одного класса инструментов желательно выбирать более дорогую модель. Можно почти не сомневаться, что и оптика у нее будет качественнее, и проблем с использованием она доставит меньше. Но на каком классе остановить свой выбор?

2. Рефрактор или рефлектор?

Если вы не чересчур богаты, забудьте пока о катадиоптрических системах, рефлекторах Кассегрена и Ричи-Кретьена и рефракторах-ахроматах. Будет лучше вспомнить о них впоследствии, когда (и если) первый телескоп станет вам мал. Остаются рефлектор Ньютона и рефрактор-ахромат. Обе системы имеют свои достоинства и недостатки. Труба рефлектора, как правило, короче, а кроме того, наблюдать в окуляр, расположенный близ входного отверстия телескопа, гораздо удобнее. Зато рефрактор меньше нуждается в настройке, не страдает от воздушных токов внутри трубы, не требует «отстойки» после выноса из тепла на холод и за счет отсутствия центрального экранирования дает несколько более четкие изображения Луны и планет. Изображения эти, однако, при больших увеличениях имеют цветной ореол (хроматизм!), из-за чего изображения двойных звезд разных цветов проигрывают в эстетике. В общем и целом можно дать следующую приблизительную рекомендацию: для объектов Солнечной системы больше подходит рефрактор; для двойных звезд и дип-скай объектов — рефлектор.

3. Визуал или астрофото?

Телескоп требует монтировки — механического устройства, к которому он крепится, которое не дает ему трястись и с помощью которого его можно наводить на интересующие вас небес-

ные объекты. Монтировки бывают двух основных типов: азимутальные и экваториальные. Оба типа могут иметь часовой привод, а могут и не иметь. В экваториальных монтировках часовой привод более простой, тогда как в азимутальных он требует компьютерного управления.

Если вы не собираетесь фотографировать небесные объекты, согласны мириться с тем, что небо постоянно «плывет» вследствие вращения Земли, но хотите иметь достаточно мощный (скажем, 200–250-мм) инструмент при скромных денежных вложениях, то идеальный вариант — рефлектор Ньютона на простейшей азимутальной монтировке Добсона (рис. 48). Такие телескопы весьма недороги, они в большом количестве производятся фирмами и самостоятельно изготавливаются любителями телескопостроения. Гениальность конструкции монтировки Добсона в том и заключается, что смастерить ее можно «на коленке» за два вечера. Приходится, однако, мириться с тем, что при большом увеличении роскошный Сатурн с полосами на диске и кольцами с хорошо заметным делением Кассини пронесется через поле зрения за какие-нибудь 20 секунд...



Рис. 48. Любительский рефлектор Ньютона на монтировке Добсона

Скажем сразу: астрофотография — дело для новичка трудное, требующее солидных материальных вложений и знания множества существенных нюансов. Поэтому настоятельно рекомендуем: ваш первый телескоп должен быть в первую очередь визуальным инструментом. Если же он в принципе позволяет фотографировать небо и если вам захочется делать с его помощью снимки — пожалуйста! Это даже желательно. Снимков экстракласса вы не получите, но вполне можете овладеть основами данного искусства.

4. Есть ли возможность выезжать на наблюдения?

Как уже не раз говорилось выше, балкон в городской квартире — плохое место для наблюдений. Владельцы загородной дачи могут наблюдать там и даже построить для своего инструмента башню с куполом, павильон с откатывающейся на роликах крышей или астрономическую будку. Телескоп при этом может иметь почти любую апертуру.

Если дачи нет, но есть автомобиль и желание выезжать на наблюдения за город, то многое определяется вместимостью багажника. Наконец, если нет ни того, ни другого, а есть только пламенное желание наблюдать небо, то остается лишь вариант с рюкзаком и электричкой. Грамотно сконструированный 200-мм «Ньютон» на монтировке Добсона остается еще вполне транспортабельным.

5. Одиночка или коллектив?

Настоятельно советуем поискать себе подобных и хотя бы время от времени проводить совместные выезды для наблюдений. Что не может позволить себе одиночка, то вполне по силам группе, пусть даже состоящей всего из двух-трех человек. Например, группа единомышленников может приобрести и вывозить за город достаточно солидные инструменты. Не говоря уже о бесценном наблюдательном опыте, приобретаемом от товарищей по увлечению...

3. «А МОЖЕТ, ПОСТРОИТЬ ТЕЛЕСКОП САМОМУ?»

Это не так просто. Но это притягательно для многих — недавно в классификации астрономов-любителей телескопостроители выделены в отдельный таксон. Сплошь и рядом любители телескопостроения имеют возможность купить самый «навороченный» телескоп, однако предпочитают «тереть стекло» самостоятельно. Кстати сказать, из этих «стеклотеров» выросло несколько руководителей фирм, специализирующихся на производстве любительской (и не только) астрономической оптики.

Существует миф: постройка телескопа обойдется дешевле, чем его покупка. Это не так. Если скрупулезно подсчитать все расходы, то, может быть, и дешевле не намного... но если подсчитать время, затраченное на данную работу, и прикинуть его стоимость, то результаты получатся самые удручающие. Итак: если вам страстно хочется наблюдать небо, но вы не ощущаете желания заниматься шлифовкой и полировкой стекла, то советуем купить телескоп, а не пытаться изготовить его самостоятельно.

Впрочем, иногда можно купить готовый комплект оптики и смастерить телескоп на его основе. И уж совсем просто сделать «телескоп» с объективом из положительной очковой линзы. Не ждите только хороших результатов...

Типичный самодельный любительский телескоп — рефлектор Ньютона. Он же наиболее удобен в эксплуатации. Рефрактор заставит любителя изготовить четыре оптически точные поверхности вместо одной, да еще из строго определенных сортов стекла, причем две поверхности — выпуклые, а оптический контроль выпуклых поверхностей весьма непросто.

Рефлекторы Кассегрена и Ричи–Кретьена требуют большей точности изготовления и не имеют серьезных эксплуатационных преимуществ перед «Ньютоном». На первый взгляд кажется симпатичным рефлектор Грегори (две вогнутые поверхности, прямые изображения), но длинная труба и большое центральное экранирование сводят его преимущества на нет. Брахит Куттера чрезвычайно чувствителен к разъюстировке и т. д.

Несведущие люди иногда задают вопросы, способные повергнуть телескопостроителя в гомерический хохот. Например: «Наверное, для рефлектора можно использовать отражатель прожектора?» Нет, нельзя. Не годятся также вогнутые сферические зеркала, используемые женщинами во время нанесения макияжа. Точность этих зеркал совершенно недостаточна для астрономических целей.

Настоящий телескопостроитель шлифует стеклянные диски сам, затем полирует их и направленной полировкой (фигуризацией) придает им оптически точную форму. Любознательного читателя мы отсылаем за подробностями к замечательным книгам М.С. Навашина и Л.Л. Сикорука (см. перечень литературы в конце книги). На этих книгах выучилось уже не одно поколение самодеятельных телескопостроителей.

На первый случай оба указанных автора советуют начинающему телескопостроителю ограничиться диаметром зеркала 150 мм и выбрать достаточно большое фокусное расстояние, чтобы можно было без потери качества ограничиться сферическим зеркалом, удобным в изготовлении и контроле. И нам остается только склониться перед мудростью этого совета. Испортить свое зеркало неумелой параболизацией вы всегда успеете, а возврат к исходной сферической поверхности может занять десятки часов кропотливой работы...

Кстати. «Каждый аккуратный и терпеливый человек, в том числе школьник, без большого труда и затрат может сделать себе настоящий телескоп с зеркалом от 10 до 15 см диаметром», — писал более полувека назад Б.А. Воронцов-Вельяминов. Это

действительно так, однако ключевыми словами здесь являются «аккуратный и терпеливый». Чем более вы флегматик, тем больше у вас шансов. Сангвиник не доведет дело до конца, холерик разобьет стеклянную заготовку задолго до ее превращения в зеркало телескопа, меланхолик скиснет при первой же неудаче. К счастью, в большинстве людей классические темпераменты смешаны в более или менее гармоничном сочетании. Однако если вашего флегматизма недостает для того, чтобы изо дня в день заниматься столь монотонной работой, как шлифовка и полировка, то выбирайте одно из двух: либо воспитывайте в себе упорство наряду с умением не впадать в истерику при самой крупной неудаче, либо направьте стопы в магазин, торгующий телескопами.

И только освоив основные приемы работы, научившись читать теневые картины Фуко, испытав свой первый телескоп и четко уяснив его достоинства и недостатки, переходите к более крупному или более сложному инструменту. Какому именно — решать только вам.

Грубая и тонкая шлифовка будущего зеркала, заключающаяся в вышлифовывании в нем сферического углубления и доведении его поверхности до столь тонкой шероховатости, с которой уже справится полировка, вообще говоря, процесс несложный и легко алгоритмизируемый. Иное дело — полировка и фигуризация. Полировальная смола (фетр категорически не годится), используемая как рабочее вещество полировальника, сплошь и рядом ведет себя довольно замысловатым образом, особенно если это не фабричная смола, а самодельная, из битума и канифоли. Авторы книг по любительскому телескопостроению (Чикин, Максотов, Навашин, Сикорук, Наумов) с полным на то основанием описывают лишь основные закономерности полировки, не забывая упомянуть о том, что полировка астрономической оптики — скорее искусство, чем ремесло, и алгоритмизации не поддается. Многие секреты полировки любителю придется постигать самому. Со временем большинство

любителей начинает находить особое удовольствие в борьбе с непокорной смолой, но поначалу это занятие не для слабонервных, ибо испортить почти готовое зеркало проще простого, а восстановить его фигуру — примерно то же самое, что начать всю работу заново.

Помимо изготовления главного и вторичного зеркал любителю придется алюминировать их в вакуумной камере или посеребрить в кустарных условиях, изготовить оправы, трубу, купить или изготовить окулярный узел, искатель и, конечно, монтировку. Много? Но дорогу осилит идущий, а законная гордость любителя, построившего телескоп, доставляет ему ни с чем не сравнимое удовольствие. Дерзайте! Особенно бояться не следует — к настоящему времени количество телескопов, построенных любителями, исчисляется многими сотнями тысяч.

В существенном выигрыше оказываются любители телескопостроения, объединившиеся в клуб. Если постройка шлифовально-полировального станка, хорошей оптической скамьи и изготовление эталонных зеркал для автоколлимационных — наиболее точных — испытаний оптики может оказаться не по силам любителю-одиночке, то коллектив единомышленников способен на многое. Любители со стажем могут найти в клубе применение своим способностям, а новички быстро учатся. Показателен опыт секции телескопостроения московского отделения АГО (астрономо-геодезического объединения), где любители, в том числе начинающие, изготавливают зеркала достаточно быстро и качественно.

Мы уже говорили о том, что в отличие от профессионала, у которого зеркала стоят «на потоке», не связанный с «планом по валу» любитель при должном терпении может добиться лучшего качества своих изделий. На практике так зачастую и происходит, причем любители, объединенные в клубы, опять-таки имеют преимущество над одиночками, так как обычно в их распоряжении находится более качественные инструменты для оптического контроля и более качественные материалы, не го-

вора уже о дельных советах и прямой помощи со стороны более искушенных коллег.

Опытный любитель телескопостроения может построить уникальный инструмент, подобный которому вряд ли когда-нибудь появится в продаже. Один из наиболее ярких примеров — постройка полутораметрового (!) телескопа Ньютона с фокусным расстоянием 6 м, выполненная четырьмя пенсионерами из Калифорнии. Постройка столь крупного инструмента растянулась на годы, один из четырех энтузиастов успел умереть за это время, но трое других довели дело до конца и даже выстроили для своего гиганта башню с куполом. Это, конечно, предельный случай, но вообще количество крупных самодельных любительских рефлекторов (500 мм и более) в мире довольно велико. Вспомните, однако, что мы говорили о влиянии астроклимата, и сами решите: нужен ли вам подобный «монстр»?

Изготовление мениска или (особенно!) корректирующей пластинки Шмидта для катадиоптрических систем — дело сложное, хлопотное и далеко не всякому по плечу. Хочется отметить О.В. Санковича, впервые в России (тогда еще СССР) изготовившего в любительских условиях пластинку Шмидта хорошего качества. Не можем мы обойти вниманием и 470-мм телескоп системы Клевцова, построенный В.Н. Ивановым и размещенный в прицепе легкового автомобиля (рис. 49). Пытливость побуждает многих любителей строить телескопы самых разных, иногда диковинных оптических систем. Наконец, любитель может построить телескоп-бинокляр (рис. 50), несколько превосходящий светосилой и удобством наблюдений одиночную трубу. Простор для творчества необычайный!

Монтировку с часовым приводом (и уж тем более с компьютерным управлением) лучше приобрести, чем изготавливать самостоятельно. Впрочем, если вы имеете доступ к металлообрабатывающим станкам и желание возиться с механикой, то можно попробовать. Как знать, не удастся ли вам создать более совершенную конструкцию, чем те, что уже имеются?

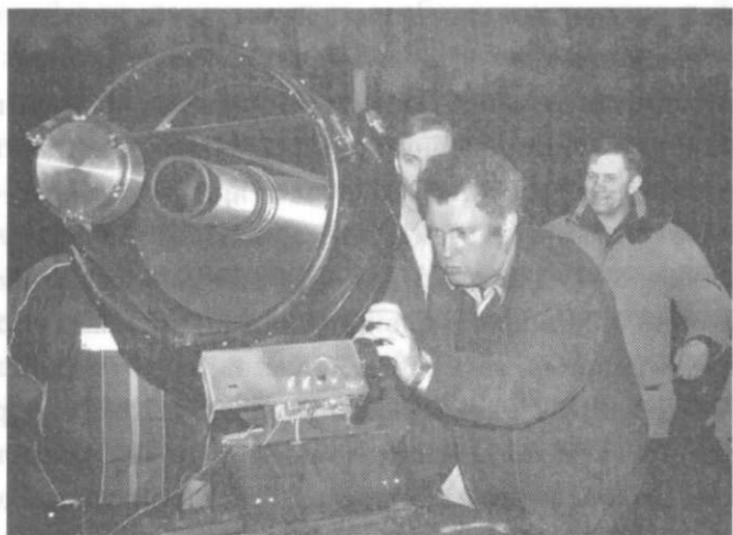


Рис. 49. Самодельный телескоп системы Клевцова

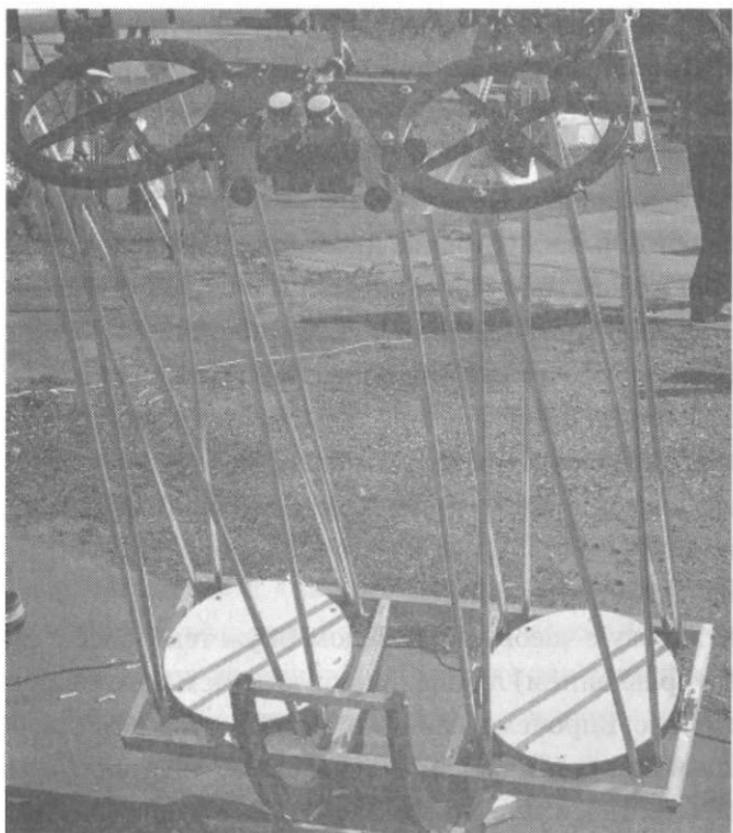


Рис. 50. Самодельный бинокуляр-рефлектор

4. ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ

Идеальное место для астрономических наблюдений должно быть удалено от населенных пунктов и иметь открытый во все стороны обзор. Особенно к югу — ведь в Северном полушарии астрономические объекты кульминируют (т. е. находятся на максимальной высоте над горизонтом) на юге. Открытость горизонта к востоку и западу менее важна, а к северу — еще менее. Мы не призываем любителей обязательно выбираться для наблюдений в голую степь (или, что было бы лучше, на горное плато), но если юг закрыт или засвечен, это плохо.

Очень часто основным местом наблюдений является приусадебный участок, где строения и деревья чаще всего не позволяют обозреть все небо с одной точки и телескоп приходится таскать с места на место. Некоторые выходят из положения, строя башню с куполом или высокий павильон с откатывающейся крышей, но не всякий на это решится. Многие вынуждены наблюдать с балконов городских квартир, и мы настоятельно советуем этим любителям использовать любую оказию для выезда с инструментом за город, если только их астрономические интересы не ограничиваются Луной и планетами.

Чистота неба и отсутствие засветки — первейшие необходимые требования, предъявляемые к месту, облюбованному для наблюдений. Вместе с тем хорошо, когда поблизости есть теплое помещение, где можно погреться, выпить кофе или чаю и пересмотреть свои планы наблюдений, коль скоро в этом возникнет необходимость. Плохо, если поблизости всю ночь горит фонарь. Плохо, когда рядом проходит железная дорога — если вы не ощутите вибрацию почвы от проходящих поездов, то ее почувствует ваш инструмент. Плохо, если загородное место наблюдений низкое и сырое — поднимется туман и уж наверняка покроет оптику вашего телескопа мельчайшими капельками росы, если только оптика не запотела еще раньше. А главное, на витающих в воз-

духе капельках тумана будет рассеиваться свет, откуда бы он ни взялся, и наблюдения слабых объектов станут невозможными.

В конце лета, осенью и зимой автор этих строк применяет простейший тест на прозрачность неба: если рядом с яркой звездой Бета Андромеды хорошо видна эллиптическая галактика NGC404, т. е. смысл поискать на небе слабые туманные объекты либо тесные звездные пары; если же галактика «тонет» в ореоле звезды — пиши пропало, остается рассматривать лишь Луну, планеты и ярчайшие из рассеянных скоплений. Любой наблюдатель без труда может подобрать для себя такие же «тестовые» объекты, исходя из своих потребностей и возможностей своего инструмента. Вначале, однако, следует ориентироваться на Млечный Путь: если его полоса хорошо видна спустя одну-две минуты адаптации глаз к темноте, то ночь, возможно, будет благоприятствовать наблюдениям.

Адаптация глаз к темноте — фактор необходимейший. Бесмысленно начинать наблюдения, если вы не провели в полной темноте хотя бы 15 минут (лучше — полчаса). Лишь после указанного времени ваш глаз станет достаточно чувствителен к слабому свету далеких звездных скоплений, галактик и туманностей. Кстати, за это время ваш телескоп более или менее примет температуру окружающей среды и, надо надеяться, будет строить достаточно приличные изображения.

Часто во время наблюдений возникает необходимость рассмотреть звездную карту, найти запропастившийся окуляр и т. д. Для этого пользуйтесь несильным красным фонариком — красный цвет почти не сбивает темновую адаптацию глаз. Зато очень сильно сбивают ее проезжающие поблизости автомобили с включенными фарами, неожиданно вспыхивающий свет в окнах окрестных домов и даже курильщики со своими зажигалками.

Заметим в скобках, что наблюдатель-курильщик страдает еще по одной причине: курение вызывает сужение сосудов конечностей, из-за чего сильнее зябнут ноги, а замерзший наблюдатель — плохой наблюдатель. Категорически противопоказан алкоголь! «Повышая градус», вы резко теряете в чувствительно-

сти сетчатки. Если желание пропустить рюмочку все-таки непереносимо — зачехлите лучше телескоп и отложите наблюдения до следующей ночи.

Опытный наблюдатель тепло одет и обут, сыт, не взвинчен, имеет складной столик, стул и принадлежности под рукой, благодаря чему наблюдает комфортно и успевает много больше, чем тот, кто лишен этих элементарных удобств. Опыт подскажет наблюдателю провести к месту наблюдений электричество (если не для часового привода монтировки, то для фена, с помощью коего сгоняется роса с запотевшей оптики), иметь поблизости термос с кофе и несколько карамелек в кармане. Последнее не шутка — опытный наблюдатель знает, что углеводы благотворно сказываются на чувствительности сетчатки, и если, несмотря на ухищрения (наблюдение боковым зрением, покачивание трубы телескопа), искомый слабый объект не найден или виден на уровне «глюка» — самое время похрустеть карамелькой, это подчас помогает.

Перед поиском слабого объекта полезно секунд 15 интенсивно подышать. Приняв глазом к окуляру, неопытный наблюдатель инстинктивно задерживает дыхание — и очень зря. Сетчатка чувствительна к кислородному голоданию. Провентиливав как следует легкие и насытив кровь кислородом, вы увидите больше.

Сказанное в первую очередь относится к наблюдениям дипскай объектов — галактик, эмиссионных или отражательных газовых туманностей, шаровых и рассеянных скоплений, планетарных туманностей. Впрочем, и для рассматривания деталей на дисках планет описанные простейшие меры окажутся отнюдь не лишними.

Наконец, есть еще личный опыт, приобретаемый во время наблюдений. Часто бывает, что новичок никак не может обнаружить какой-нибудь слабый объект, в то время как его более опытный товарищ видит его уверенно. Тут уже не помогут никакие рекомендации — поможет только длительная тренировка.

Что совсем не обязательно, так это закрывать «нерабочий» глаз. Немного потренировавшись, вы сможете держать свобод-

ный глаз открытым, ничего не теряя в качестве наблюдаемой картины. Опытные наблюдатели так и делают.

Ведите дневник наблюдений! Чтобы не отрываться от окуляра, можно пользоваться диктофоном. Записывайте или надиктовывайте свое описание наблюдаемого объекта. При необходимости укажите также тип и параметры используемого инструмента, место наблюдения и качество неба (по Данжону—Куде, Пиккерингу или собственным критериям). Без дневника вы обречены повторяться, вместо того чтобы двигаться вперед.

Довольно бессмысленно приступать к наблюдениям без программы, хотя бы предварительной. В ее составлении вам помогут звездные карты и ваши же дневниковые записи. Положите себе, например, следующее: «Сегодня я наблюдаю галактики в созвездии Гончих Псов», — и не отвлекайтесь на другое, разве что внешние обстоятельства заставят скорректировать планы. Наметьте на этот случай «запасные» объекты.

Лучшее время для наблюдений — весна и осень, хотя и августовские ночи бывают очень хороши и притом не слишком холодны, что, согласитесь, приятно. С середины мая до конца июля средняя полоса России попадает в зону так называемых астрономических сумерек, когда по-настоящему темного неба нет. Еще хуже дело обстоит на Севере. Например, в Мурманской области любители астрономических наблюдений могут предаться своему увлечению с относительным комфортом, пожалуй, лишь в сентябре-октябре. Южные широты, конечно, гораздо благоприятнее.

Поздней осенью иногда выпадают особенно хорошие ночи — прозрачные и без турбуленции. Именно в такие редкие ночи крупные инструменты могут показать все, на что они способны.

Весна — время наблюдать галактики. На юге располагаются исключительно богатые галактиками созвездия Девы и Волос Вероники, Большая Медведица в начале ночи висит в зените, южнее располагаются Гончие Псы, Малый Лев и Лев, также очень богатые этими замечательными объектами. Чудесная пора для «дип-скайщиков»!

Зимние наблюдения не то чтобы невозможны, но затруднены. Мешает отражение света от снега и, конечно, холод. Отчасти помогают унты и термобелье, но берегите глаза! Переохлаждение глазного яблока, находящегося рядом с холодным окуляром, еще никому пользы не приносило.

Пользу правильной организации наблюдений хорошо иллюстрирует одна история. Как известно, предыдущее возвращение к Солнцу кометы Галлея, имеющей период обращения около 76 лет, состоялось в начале 1986 года. И кто же первым визуально обнаружил приближающуюся комету? Любитель. В ночь с 23 на 24 января 1985 года американский любитель астрономии Стивен О'Меара нашел комету в виде крайне слабого туманного пятнышка 19,6^m.

Разумеется, его подняли на смех — столь слабый объект считался недоступным для визуальных любительских наблюдений. Сфотографировать — это еще может быть, но увидеть глазом? Нет, нет, этого не может быть! Однако вскоре пришло подтверждение: наблюдаемый вид кометы в точности соответствовал описанию О'Меара. И тут уже любители всего мира всколыхнулись: «Как ему это удалось?»

Оказалось, что можно «накопить и машину купить». О'Меара боролся за каждую десятую звездной величины — и выиграл. Во-первых, он пользовался весьма крупным по любительским меркам 60-см телескопом. Во-вторых, этот телескоп стоял на горе Мауна-Кеа (многие астрономические обсерватории выделяют любителям площадки для наблюдений, есть таковые и на Мауна-Кеа). Большая высота над уровнем моря, отсутствие пыли и спокойный воздух делают это место едва ли не лучшим на Земле в плане наблюдений неба. В-третьих, зеркала телескопа имели свежее покрытие. В-четвертых, О'Меара точно знал, чего хотел, и тщательно готовился — в частности, в течение нескольких дней избегал выходить в светлое время суток из комнаты с зашторенными окнами и носил темные очки, чтобы увеличить чувствительность сетчатки... Теперь он заслуженно пользуется репутацией одного из лучших наблюдателей и написал несколько книг

(к сожалению, у нас пока не переведенных) по теории и практике астрономических наблюдений.

Мы отчетливо понимаем, что подавляющее большинство любителей астрономических наблюдений лишено возможности регулярно выезжать на Гавайи или хотя бы на Канары. Но и обычная загородная поездка может дать многое. Как правило, лучшая ночь — вторая после прихода устойчивого антициклона. Правда, наиболее прозрачна первая ночь, но турбуленция еще очень велика. Чем дольше держится антициклон, тем сильнее запыляется атмосфера, уменьшая реальную проникающую силу телескопа. Если для наблюдателей Луны, планет и вообще ярких объектов это не имеет большого значения, то «дип-скайщикам», пытающимся увидеть протяженные, но слабые туманности или насладиться зрелищем призрачной галактики на черном небе, пыль испортит все удовольствие. Пыль всегда засвечена — даже в безлунную ночь и вдали от искусственных источников света. Свет небесных объектов, рассеиваясь на пылинках, уже не делает небо таким черным, каким ему следовало бы быть. И хотя теперь «дип-скайщики» вооружены окулярными фильтрами, более или менее успешно отсекающими паразитные эмиссионные линии земного происхождения, они хорошо знают «правило второй ночи».

5. ПЕРСПЕКТИВЫ ЛЮБИТЕЛЬСТВА

Что делает телескоп даже у очень активного наблюдателя? Чаще всего простаивает без толку даже при вполне пригодном небе. Заработок наблюдателя не зависит от часов, проведенных за наблюдениями, — в противном случае этот человек уже не любитель, а профессионал. Наблюдатель тоже человек, ему иногда и спать надо. Но обидно, что любительские инструменты, особенно крупные, нечасто используются, да и находятся не там, где следовало бы, с точки зрения астроклимата.

Выход из этой ситуации в принципе есть — использование крупного инструмента не одним человеком, а группой в режиме разделения времени. Но каждый ли владелец хорошего инструмента подпустит другого к «железу» без контроля со своей стороны? А уж если все равно приходится вставать с дивана и отправляться на наблюдения, то куда приятнее наблюдать самому, чем уступать это удовольствие другому!

Выход из этой ситуации есть — создание роботизированных телескопов, программы работы которых задаются через Интернет. Тут и к «железу» приходится прикасаться редко, и гораздо легче договориться с друзьями об используемом времени. Наблюдатель может оставаться на диване в комфортной позе, получая по сети снимки интересующих его объектов. Личное присутствие необходимо лишь изредка — «смахнуть пыль».

Первое, куда можно поставить роботизированный телескоп, — в автоматически раскрывающуюся будку или павильон на даче. Второе, и это гораздо лучше, — на территории какой-нибудь астрономической обсерватории, где и астроклимат лучше, и посторонних меньше. Причем не обязательно на территории страны проживания. Привлекательна, например, обсерватория на плато Майданак в Узбекистане — месте, по-видимому, с лучшим

астроклиматом в Евразии. Можно предположить, что в будущем астрономические обсерватории начнут конкурировать между собой, привлекая любителей, а сдача внаем площадей под павильоны для любительских роботизированных телескопов станет одной из статей их дохода.

Роботизированные любительские телескопы уже работают и в России, и по всему миру. Наверняка со временем их станет больше, и не в разы — на порядки. Любитель-одиночка может «не потянуть» роботизированный телескоп по средствам, но группе единомышленников это вполне под силу.

В России уже существуют неплохо оснащенные частные астрономические обсерватории. Несомненно, будут появляться и новые, хотя и не так быстро, как роботизированные телескопы, — все-таки создание полноценной обсерватории требует солидных средств.

Сплошь и рядом СМИ сообщают то об астероиде, прошедшем близко от Земли, то о комете, открытой уже после прохождения ею перигелия, и обыватель недоумевает: «Как же так? Ведь в мире столько обсерваторий! Чем же там занимаются эти астрономы? Почему просмотрели?»

Потому и просмотрели, что небо огромно, а поле зрения телескопа малó. Вести мониторинг *всего* неба, отслеживая малейшие изменения, — совершенно непосильная задача. Для нее не хватит ни инструментов, ни наблюдателей, ни возможностей быстрой обработки результатов. И тут любители могут закрыть хотя бы некоторые «дыры» — да они это и делают.

В целом можно считать, что развитие любительской астрономии повторяет развитие астрономии профессиональной — с известным запозданием, конечно. Так, в области фотографии уже крайне мало используется фотопленка — почти все любители перешли на цифровые камеры и ПЗС-матрицы. В области телескопостроения можно ожидать появления весьма крупных телескопов с адаптивной оптикой, а в области методологии — освоения любителями, пусть немногими, оптической интерферометрии.

Наконец — как знать? — не появятся ли лет этак через 20–30 любительские спутники с роботизированными телескопами на борту, пусть и не такими большими, как «Хаббл»? Спутники, построенные коллективами (например, студенческими), уже существуют, есть и орбитальный телескоп. Почему бы не соединить две идеи в одну?

Но все же можно уверенно предсказать, что и спустя десятилетия очень и очень многие любители, причем не только начинающие, будут по-прежнему вытаскивать свой небольшой телескоп на газон и изучать небо по старинке — визуально. Не в том дело, что они малоимущие или ретрограды, — просто в визуальных наблюдениях есть своя прелесть.

6. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Трудно найти зрелище более печальное, чем телескоп, годами пылящийся в чулане и не используемый. Вспышка интереса к наблюдательной астрономии может оказаться кратковременной и погаснуть, не найдя подпитки со стороны. Обычно отговариваются дефицитом времени, хотя совершенно ясно, что дефицит времени образуется там, где существует дефицит интереса. А между тем сколько еще тайн могла бы открыть вам Вселенная!

Любительская астрономия — пока еще не самый комфортный вид хобби. Недостаточная транспортабельность крупных инструментов, ночной холод, желание поспать — все это мешающие факторы. Но главный из них — непонимание окружающих, в первую очередь родных и близких. Репутация человека «не от мира сего», которую рискует приобрести астроном-любитель, — еще полбеда. Гораздо хуже отсутствие рядом единомышленников. С кем поделиться радостью открытия нового? Кто по достоинству оценит виртуозно проведенное наблюдение, качественное астрофото, нетривиальное техническое решение в телескопостроении?

Жена и другие члены семьи? Вряд ли. Хороший вариант реакции домашних на увлечение астрономией, пожалуй, такой: «Пусть мается своей дурью, лишь бы не пил». О плохих вариантах и говорить не хочется.

Моральную поддержку и «отдушину» может дать только коллектив. О великой пользе клубов мы говорили уже не раз, больше не будем. Но как быть, если любителю не удастся ни вступить в уже существующий астрономический клуб, ни объединить единомышленников вокруг себя? Ведь это реальный модус вивенди для тех, кто живет вдали от крупных городов.

Можно общаться с себе подобными на форумах астрономических сайтов, хоть это и паллиатив. А можно время от времени посещать специальные съезды любителей астрономии — фестивали, стар-пати и т. д. (рис. 51).

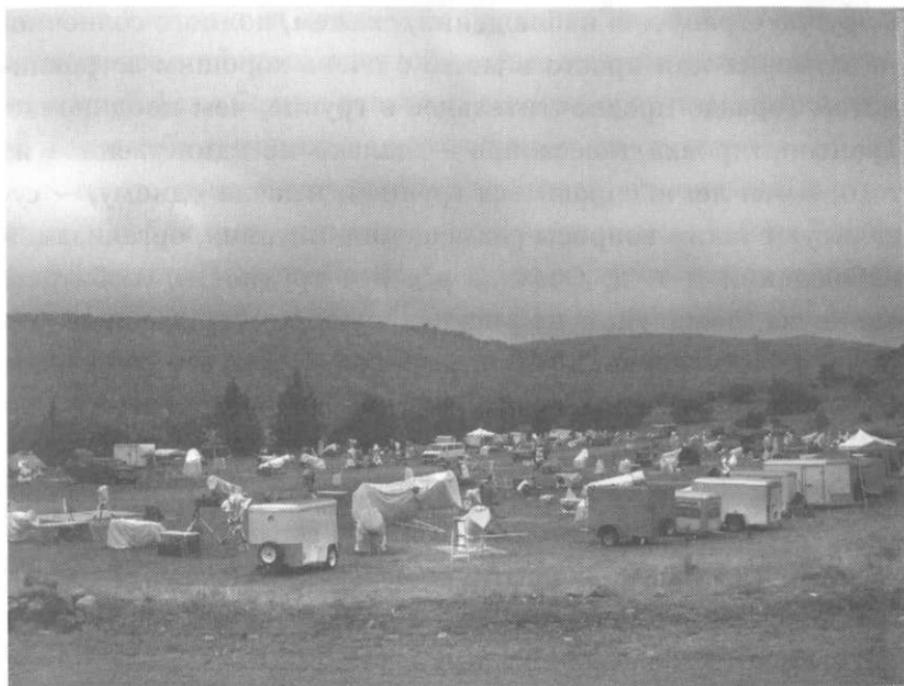


Рис. 51. Рядовое Star Party. США, Техас. В ожидании неба...

Фестивали любителей астрономии проводятся в России и на Украине — московский и новосибирский «астрофесты», «Южные ночи» в Крыму, астрономический фестиваль в Харькове и др. Это хорошее начинание, но по масштабам оно, увы, пока не идет ни в какое сравнение с астрономическими мероприятиями, проводимыми в США. Но как за океаном, так и у нас любой участник астрономического мероприятия может посетить интересующую его лекцию или практикум, понаблюдать небо в самые разные инструменты, купить недостающие аксессуары и, конечно, набраться опыта у более опытных коллег. (Примечательно, что делиться опытом считается у любителей астрономии хорошим тоном.) И тогда вы почувствуете, несколько вы не одиноки.

Конечно, наблюдение неба в телескоп — процесс, можно сказать, интимный, не терпящий толчеи и суеты вокруг наблюдателя. Двое у одного телескопа — это, пожалуй, максимум для серьезных наблюдений, и то если эти двое понимают друг друга с полуслова. Но согласитесь также, что выезжать в другую страну для наблюдений, скажем, полного солнечного затмения или просто в место с очень хорошим астроклиматом гораздо предпочтительнее в группе, чем поодиночке. Транспортировка телескопов — далеко не единственное из того, с чем легче справиться группой, нежели одному, — существуют также вопросы размещения, питания, организации наблюдений и т. д. Осознав все эти трудности, любитель-одиночка, пожалуй, и не рискнет предпринять дальнюю поездку, зато коллектив с толковым лидером сделает это без особого труда. Что лучше — наблюдать в хорошем месте «с толпой» или вообще не попасть в это место?

Некоторые астрономические события лучше наблюдать расщепленной группой или несколькими группами — это, прежде всего, затмения, покрытия и метеоры. Затмения и покрытия, конечно, прогнозируются, и любитель, узнав прогноз, может выбрать наилучшее, казалось бы, место для наблюдений. Но тут вмешивается погода, и может оказаться, что именно во время затмения небо в данной точке затянуто облаками, а значит, любитель, поверивший метеосайтам, зря проделал долгий путь. Вот лишь один пример. 1 августа 2008 года через территорию Сибири и Алтая прошла полоса полного солнечного затмения. Несколько групп наблюдателей из московского астроклуба расщепоточились вдоль полосы от Новосибирска до почти границы с Монголией. Результаты следующие.

Новосибирск и окрестности. С утра — облачно, но во второй половине дня хорошие метеоусловия. Полная фаза затмения (примерно в 17 ч 45 мин) наблюдалась прекрасно.

Барнаул. Распогодилось незадолго до полной фазы. Наблюдения прошли успешно.

Горно-Алтайск. Сплошная облачность, дождь.

Поселок Чемал Горно-Алтайской АО. С утра держалась прекрасная погода, но за 2 минуты (!) до полной фазы пришла грозовая туча и испортила наблюдателям весь праздник.

Около 250 км к югу от Чемала по Чуйскому тракту. До трети неба в кучевых облаках. Из двух групп наблюдателей, расположившихся в 2 км друг от друга, одна группа наблюдала полную фазу затмения во всей красе, а другой повезло меньше — как раз во время полной фазы Солнце оказалось закрыто облачком, возникшим на ясном небе за считанные минуты буквально «из ничего».

А теперь представьте, что все любители астрономии, съехавшиеся наблюдать затмение, сгруппировались бы в Горно-Алтайске или Чемале. Имела бы в таком случае смысл экспедиция на затмение?

Еще больше смысла в рассредоточении при наблюдениях покрытий звезд астероидами. В этом случае на капризы погоды накладывается неуверенность прогноза полосы наблюдаемости явления. Что до наблюдения метеоров, то два наблюдателя, находясь на расстоянии в несколько десятков километров друг от друга, могут зарисовать путь по небу одного и того же метеора, чтобы затем из простых геометрических построений найти его истинный путь в атмосфере.

Есть, наконец, и такое астрономическое мероприятие — День тротуарной астрономии. Он международный и проводится обычно в мае. В этот день клубы любителей астрономии выносят на тротуар телескопы для того, чтобы любой, кто пожелает, мог взглянуть на небо вооруженным глазом. Разумеется, телескоп поневоле наводится на самые простые и выигрышные объекты — Луну, Юпитер, Сатурн. Целью этого мероприятия не является вербовка прохожих в члены клуба. Цель тут другая — обратить внимание окружающих на то, что мы живем в неизмеримо более сложном и интересном мире, чем мир повседневной нашей обыденности. Дети принимают это сразу и с восторгом, зато взрослые сплошь и рядом подозревают подвох, когда в ответ на вопрос: «А сколько стоит посмотреть в телескоп?» — слышат: «Да нисколько!»

Если хотите чего-то для сравнения, то вот вам типичная картина: платный телескоп на набережной где-нибудь в Ялте, Коктебеле или Сочи в курортный сезон. В громоздкой жестяной трубе одного из таких телескопов, разрисованной звездами и кометами и наводящей своими размерами на мысль о 200-мм апертуре, прятался маленький фабричный «Алькор» с зеркалом 65 мм — типичная игрушка для подростка, а не серьезный телескоп. Правда, хозяйка этого, с позволения сказать, «инструмента» оказалась еще сравнительно честной и позволила заглянуть внутрь трубы. Бывает хуже. Один из таких коммерсантов настолько ловко и быстро наводил свою трубу на Юпитер, Сатурн и т. д., а главное, изображения были настолько качественными, что случившиеся поблизости любители астрономии заинтересовались данным феноменом. В трубе «телескопа» у этого жучка оказались диапозитивы, сменяемые нажатием незаметной кнопки! Любознательные простаки платили ему деньги за картинки, которые любой желающий может увидеть в популярной книжке по астрономии или скачать из Интернета! Если кто-то думает, что марктовеновские персонажи а-ля Герцог и Дофин уже перевелись, то крупно ошибается.

Не хочется заканчивать книжку рассказом о жуликах, а посему укажем еще на одно преимущество организованного астрономического мероприятия: нередко его можно провести на территории настоящей астрономической обсерватории и даже иногда организовать наблюдения на профессиональных инструментах. Дирекция обсерватории почти наверняка не станет иметь дело с влюбленными в небо одиночками, зато с клубами и организациями, проводящими мероприятие, — очень может быть.

Наблюдайте, учитесь, открывайте новое! И да улыбнется вам Удача!

ЛИТЕРАТУРА

1. Амнуэль П.Н. Загадки для знатоков: История открытия и исследования пульсаров. М.: Знание, 1988.
2. Вайнберг С. Мечты об окончательной теории. М.: УРСС, 2007.
3. Гребеников Е.А., Рябов Ю.А. Поиски и открытия планет. М.: Наука, 1975.
4. Грин Б. Элегантная Вселенная. М.: УРСС, 2004.
5. Еськов К.Ю. История Земли и жизни на ней. М.: МИРОС, 2000.
6. Ефремов Ю.Н. Звездные острова. Фрязино: Век 2, 2005.
7. Ефремов Ю.Н. Млечный Путь. Фрязино: Век 2, 2006.
8. Зигель Ф.Ю. Астрономы наблюдают. М.: Наука, 1985.
9. Климишин И.А. Релятивистская астрономия. М.: Наука, 1989.
10. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии, изд. 5-е. М.: УРСС, 2002.
11. Лидсей Д.Э. Рождение Вселенной. М.: Весь Мир, 2005.
12. Липунов В.М. В мире двойных звезд. М.: Наука, 1986.
13. Мухин Л.М. Мир Астрономии. М.: Молодая гвардия, 1987.
14. Навашин М.С. Телескоп астронома-любителя, изд. 3-е. М.: Наука, 1975.
15. Новиков И.Д. Как взорвалась Вселенная. М.: Наука, 1988.
16. Новиков И.Д. Куда течет река времени? М.: Молодая гвардия, 1990.
17. Новиков И.Д. Эволюция Вселенной. М.: Наука, 1990.
18. Пенроуз Р. Новый ум короля. М.: УРСС, 2003.
19. Прошлое и будущее Вселенной. М.: Наука, 1986.

20. *Рябов Ю.А.* Движение небесных тел. М.: Наука, 1988.
21. *Сажин М.В.* Современная космология в популярном изложении. М.: УРСС, 2002.
22. *Сикорук Л.Л.* Телескопы для любителей астрономии, изд. 2-е. М.: Наука, 1990.
23. *Сурдин В.Г.* Неуловимая планета. Фрязино: Век 2, 2006.
24. *Сурдин В.Г.* Рождение звезд. М.: УРСС, 1997.
25. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1986.
26. *Ходж П.* Галактики. М.: Наука, 1992.
27. *Хокинг С.* От большого взрыва до черных дыр. М.: Мир, 1990.
28. *Чаран Д.М.* Объяснение Вселенной. Новая эра физики. М.: Техносфера, 2007.
29. *Черепашук А.М.* Черные дыры во Вселенной. Фрязино: Век 2, 2005.
30. *Черепашук А.М., Чернин А.Д.* Вселенная, жизнь, черные дыры. Фрязино: Век 2, 2003.
31. *Шкловский И.С.* Вселенная, жизнь, разум, изд. 5-е. М.: Наука, 1980.
32. *Шкловский И.С.* Звезды: их рождение, жизнь и смерть, изд. 3-е. М.: Наука, 1984.

Научно-популярное издание

ОТКРЫТИЯ, КОТОРЫЕ ПОТЯСАЛИ МИР

**Громов Александр Николаевич
Малиновский Александр Михайлович**

ВСЕЛЕННАЯ. ВОПРОСОВ БОЛЬШЕ, ЧЕМ ОТВЕТОВ

*Директор редакции И. Е. Федосова
Ответственный редактор В. А. Обручев
Дизайн переплета М. А. Левыкин*

ООО «Издательство «Эксмо»
127299, Москва, ул. Клары Цеткин, д. 18/5. Тел. 411-68-86, 956-39-21.
Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru

Подписано в печать 08.06.2009. Формат 60х90 ¹/₁₆.
Печать офсетная. Бумага тип. Усл. печ. л. 26,0 + вкл.
Доп. тираж 3000 экз. Заказ № 3950

Отпечатано с готовых файлов заказчика в ОАО «ИПК
«Ульяновский Дом печати». 432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14



Рис. 15. Комета C/2001Q4(NEAT) в рассеянном скоплении Ясли (M44)

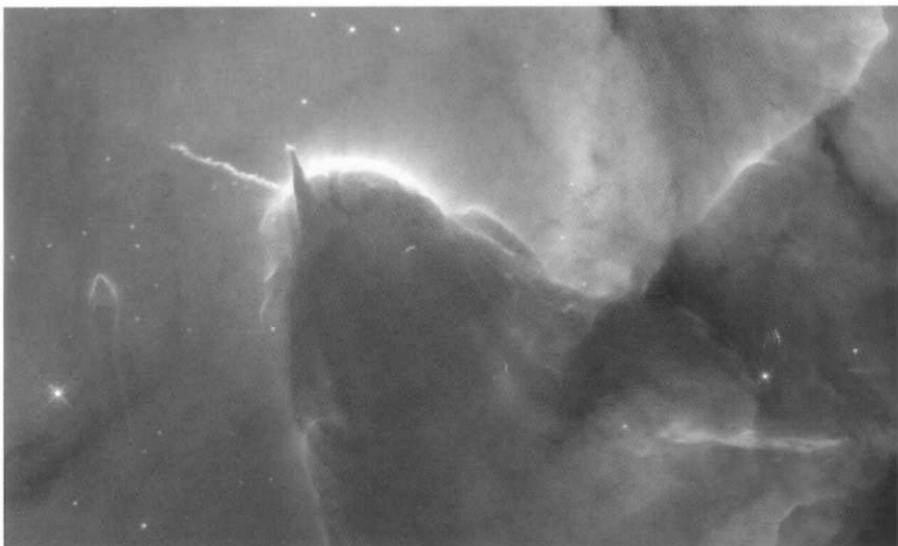


Рис. 18. Область звездообразования в туманности «Трифид» (M20)



Рис. 19. Планетарная туманность «Кольцо» (M57)



Рис. 20. Планетарная туманность «Геликс» (NGC 7293)



Рис. 25. Галактика типа Sc (NGC2442)



Рис. 26. Галактика типа Sc, наблюдаемая с ребра



Рис. 27. Галактика с сильно развитым баром (NGC7479)



Рис. 28. Неправильная галактика Большое Магелланово Облако



Рис. 21. Туманность Андромеды (M31) со спутниками M21 (вверху) и M110 (внизу). Любительский снимок А.А. Орешко

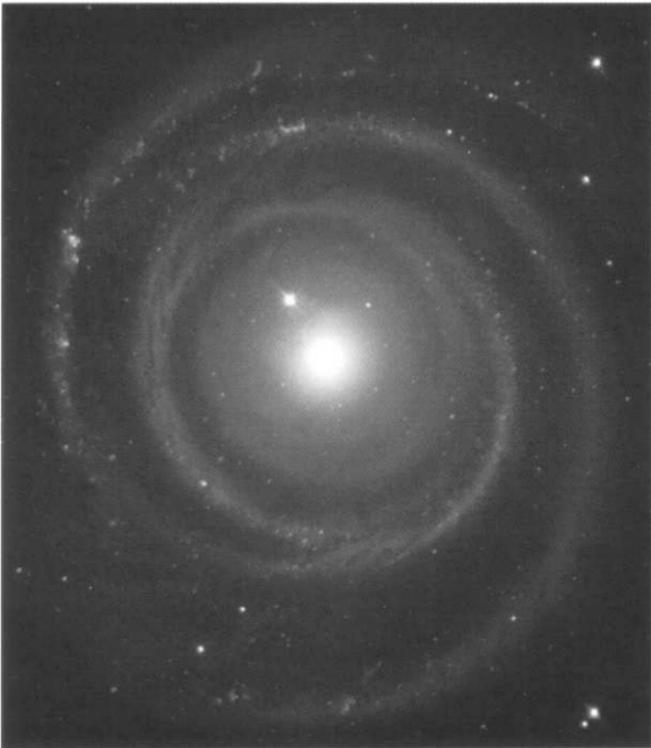


Рис. 22. Галактика типа Sa (NGC 4622).

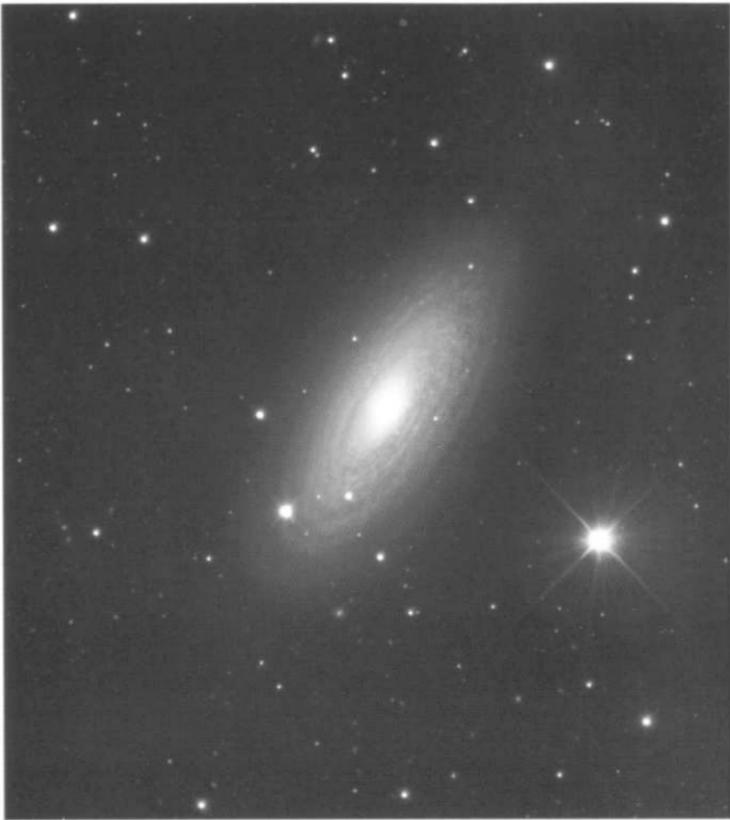
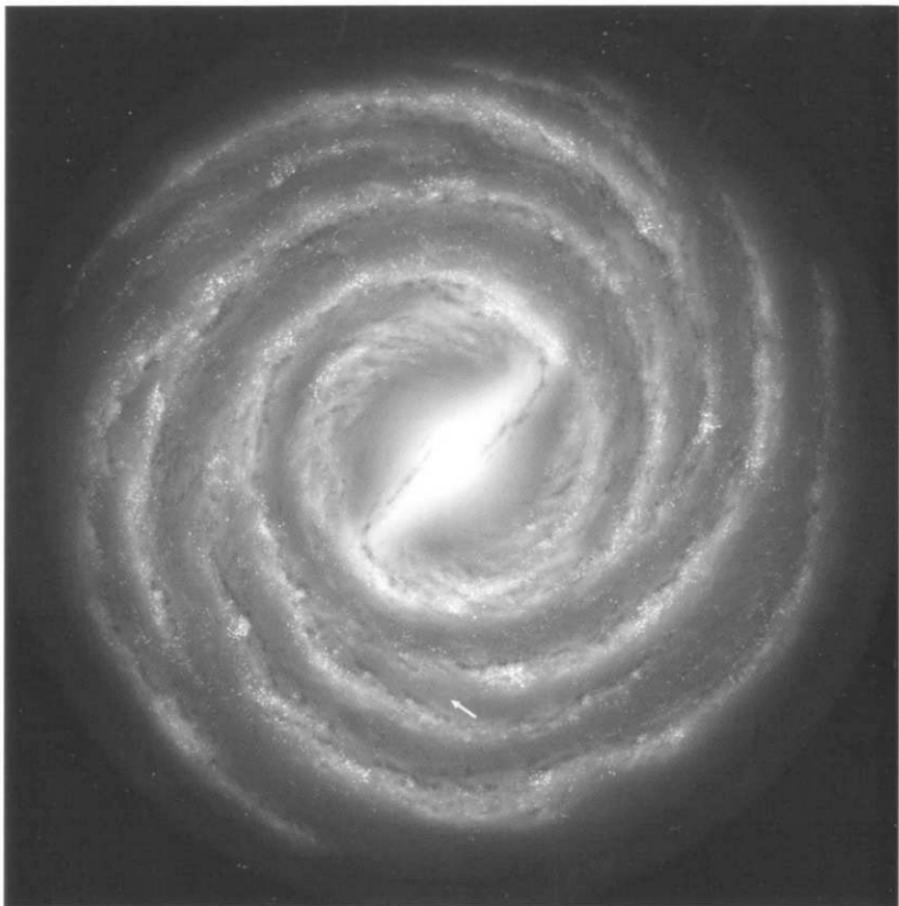


Рис. 23. Галактика типа Sb (NGC2841)



Рис. 24. Галактика типа Sa, наблюдаемая почти с ребра («Сомбреро», M104). Хорошо видна пылевая прослойка



*Рис. 29. Наша Галактика (реконструкция).
Положение Солнца указано стрелкой*



Рис. 30. Галактика М109, похожая на нашу



Рис. 31. Шаровое скопление М13

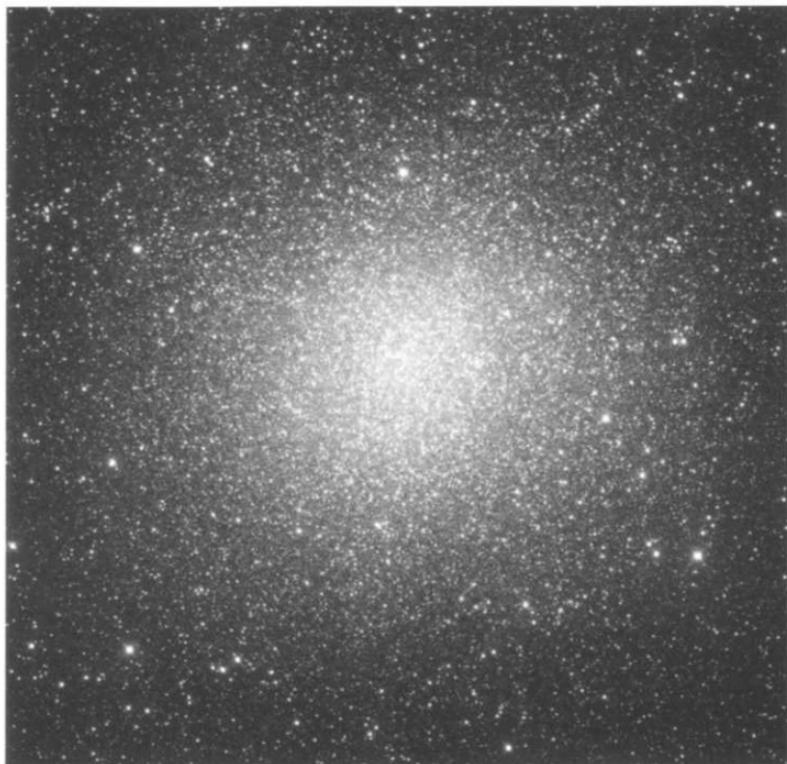


Рис. 32. Шаровое скопление Омега Центавра



Рис. 33. Туманность Треугольника (M33)



Рис. 34. Пара взаимодействующих галактик NGC4438 (слева) и NGC4435 близ центра скопления в Деве



Рис. 35. Галактики M81 (слева) и M82

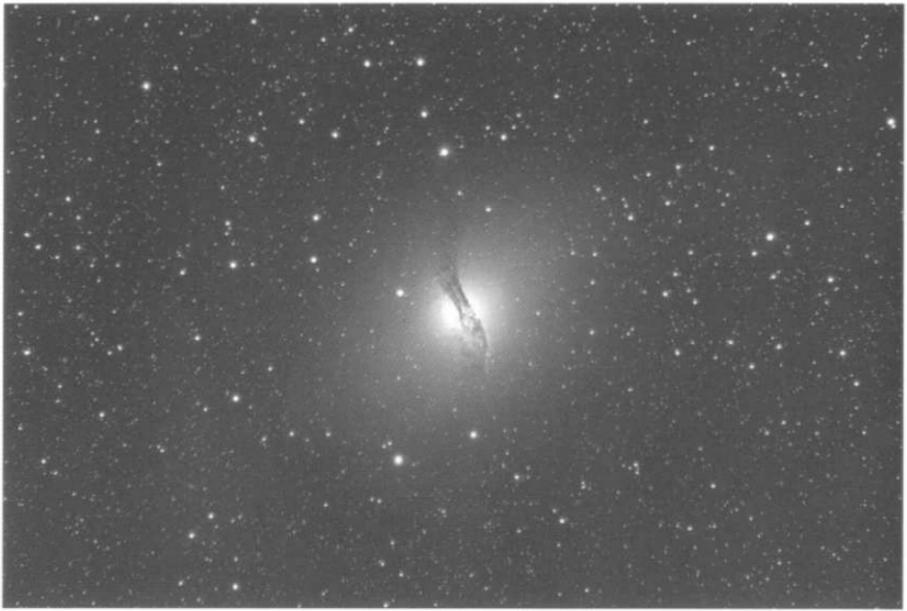


Рис. 36. Радиогалактика Центавр А (NGC5128)

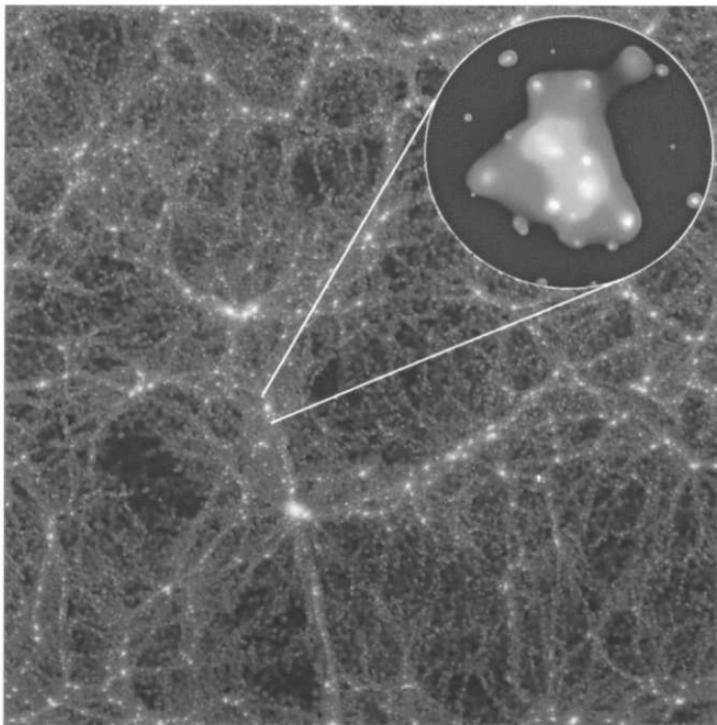


Рис. 38. Компьютерная модель крупномасштабной структуры Вселенной



*Рис. 40. Скопление галактик
в Волосах Вероники*



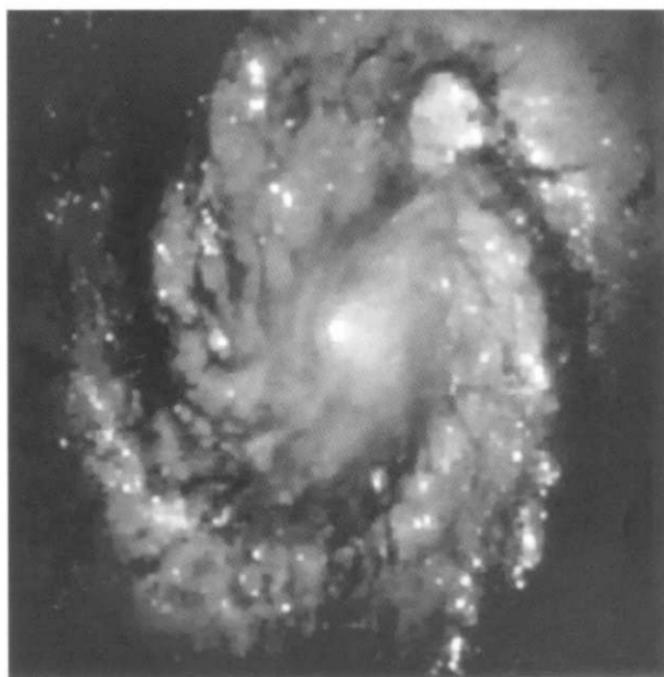
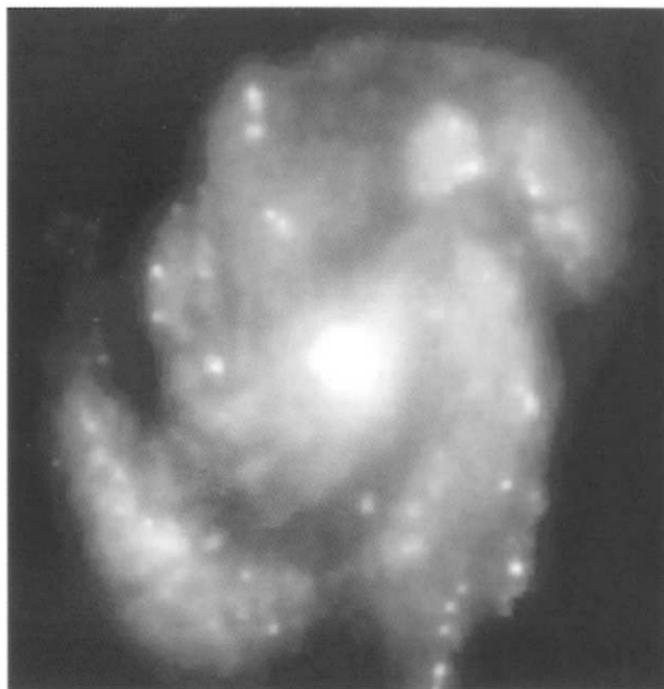
*Рис. 41. Центр скопления
в Деве*



Рис. 42. Галактика М61



Рис. 43. Галактика М100



*Рис. 44. Галактика М100. Два снимка «Хаббла».
Первый — до устранения дефекта оптической системы.
Второй — после*