

ХАРЛОУ ШЕПЛИ

ГАЛАКТИКИ

ОГИЗ-ГОСТЕХИЗДАТ-1947



Южный
X
полюс

Харлоу Шенн

ГАЛАКТИКИ

*Перевод с английского
проф. Г.Н. НЕУЙМИНА*

О Г И З

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1947 ЛЕНИНГРАД

Редактор *И. Е. Рахлин.*

Технический редактор *С. Н. Ахламов.*

Полписано к печати 29/XI 1947 г. 14,25 печ. л. + 1 вклейка.
12,17 уч.-изд. л. 34 000 тип. зн. в печ. л. Тираж 15 000 экз. А-10001.
Цена 4 р. Переплёт 2 р. Зак. № 103.

3-я типография «Красный пролетарий» треста «Полиграфкнига» ОГИЗа при
Совете Министров СССР. Москва, Краснопролетарская, 16.

ОГЛАВЛЕНИЕ

①	ГАЛАКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	5
	Введение (6). — Определения и терминология (12). — Измерение расстояний до звёзд (16). — Типы галактик (23).	
②	МАГЕЛЛАНОВЫ ЗВЁЗДНЫЕ ОБЛАКА	36
	Исследования Гарвардской станции в Перу (40). — Туманность 30 Золотой Рыбы, звёздные скопления и необычные звёзды-гиганты (45). — Сверхгигант S Золотой Рыбы (50).	
③	МАСТЕРСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ	56
	Обилие цефеид (58). — Связь между периодом и светимостью (61). — Многие ли гигантские звёзды являются цефеидами? (69). — Какой период встречается чаще всего? (71). — Индикатор гравитационного потенциала или что-то иное? (76). — Кривые блеска цефеид (78). — Кривая светимости для сверхгигантов (81). — Орудия, которые ещё недостаточно остры (85).	
④	МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ КАК ГАЛАКТИКА	89
	Шаровые звёздные скопления (90). — Толщина галактической системы (105). — Измерение пределов (110). — Подробнее о ядре галактики (116).	
⑤	СОСЕДНИЕ ГАЛАКТИКИ	121
	Тройная туманность в Андромеде и M 33 (121). — Два других неправильных соседа (140). — Необычайные спутники в Скульпторе и Печи (144).	
⑥	МЕТАГАЛАКТИКА	152
	Опись внутренней Метагалактики (153). — Область избегания (164). — Скопление галактик в созвездии Девы (167). —	

Скопление в созвездии Печи и другие (175). — Перепись галактик до 18-й величины (179).

7) РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ 183

Параметр плотности пространства (184). — Градиенты плотности (190). — Движения галактик (198). — Красное смещение и космогония (202). — Тенденции (209).

Послесловие 220

1

ГАЛАКТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

И автор этих глав и Вы, их читатель, оба мы оказываемся в положении путешественников, которые будут редко касаться твёрдой земли или иметь дело с современными событиями. Мы будем лишь изредка рассматривать что-либо, находящееся столь близко от нас, как звёзды, видимые невооружённым глазом. Предметом нашего анализа явятся излучения, которые зародились за тысячи или миллионы лет до того, как человек начал интересоваться окружающей его вселенной. Но, тем не менее, наши исследования будут носить практический характер; открытия и выводы из них будут иметь непосредственное значение для того, кто старается ориентироваться в загадках мира. Звёзды и галактики связаны с Солнцем, Солнце — со светом, а свет — с жизнью и мышлением. Много раз во время наших экскурсий в межзвёздное пространство мы будем оглядываться на планету, где установлены наши телескопы. Но главным образом наши взоры будут устремлены в глубины пространства и в отдалённое прошлое и будущее мира.

В наших быстрых путешествиях по звёздным облакам и галактикам мы часто должны будем останавливаться для детальных исследований. Наши орудия измерения и исследования должны время от времени заостряться,

а новые перспективы будут нуждаться в детальном рассмотрении, для того чтобы наметить цели дальнейших исследований. Такие остановки не будут скучными. Побочные экскурсии представляют интерес сами по себе, а создание орудий для измерения звёзд и галактик доставляет такое же удовлетворение, как и самое измерение и его истолкование.

Прежде чем мы начнём наше путешествие по звёздной вселенной — путешествие, которое уведёт нас от Млечного Пути к границам измеряемого пространства, — нужно будет дать определение галактик, кратко описать их и дать понятие о методе измерения столь удалённых объектов. Мы рассмотрим отдельные звёзды, подобные нашему Солнцу, опишем и используем группы звёзд, подобные Плеядам и шарообразному скоплению в Геркулесе, но большую часть нашего времени и места мы посвятим гораздо более обширным организациям звёзд — другим галактикам, которые лежат за пределами нашего Млечного Пути.

ВВЕДЕНИЕ

Как в прошлом, так и в последнее время большая спиральная туманность Андромеды играла важную роль в разрешении космических загадок. Она является самой заметной внешней галактикой, за исключением Магеллановых Облаков, которые, однако, невидимы для северных наблюдателей. Она известна с древних времён и отмечалась уже на средневековых звёздных картах. Туманный вид этого объекта и некоторых более ярких шаровых звёздных скоплений внушил Иммануилу Канту около двух столетий назад представление, которое вполне оправдалось в наше время. Он предположил, что по крайней мере некоторые из этих тусклых объектов, рассеянных среди ярких точкообразных звёзд, могут быть очень отдалёнными образованиями, состоящими в действительности из мириад звёзд. Их можно рассматривать как своего рода «острова вселенной», раскиданные в океане пустого пространства далеко вне пределов системы Млечного Пути, включаю-

щей наше Солнце и все звёзды, доступные невооружённому глазу.

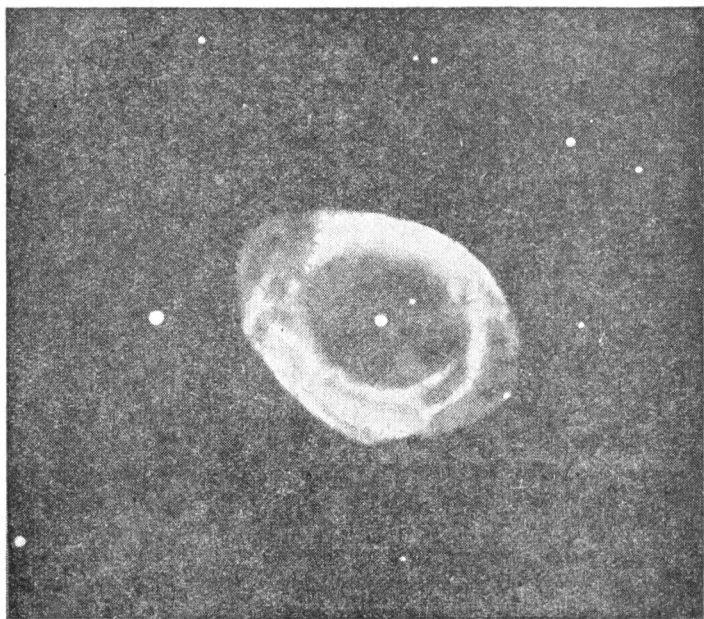
Эта гипотеза островной вселенной скромно существовала в течение всего XIX столетия, несмотря на скептическое отношение к ней со стороны некоторых из немногих писавших о ней авторов. Вильям Гершель, который в конце XVIII в. положил начало серьёзному изучению звёздных скоплений и туманностей, относился к ней также с сомнением, которое разделяли и другие учёные. Больше того, это была застывшая теория, и, хотя трудолюбивые телескопы Гершелей быстро увеличивали число известных туманных объектов, а после 1850 г. среди этих туманностей были открыты спиральные формы, вопросу о космической роли разных типов туманностей, открываемых большими телескопами, уделялось мало серьёзного внимания. Никто особенно этим не интересовался. Теории вселенной оставались в тени и не развивались.

Некоторые астрономы второй половины XIX в. (Николь, Проктор, Гор), рассматривая теорию островной вселенной, ввели и часто пользовались термином «внешняя галактика» для тех туманоподобных звёздных систем, которые, казалось, лежали вне пределов нашей плоской звёздной системы Млечного Пути. Если некоторые типы слабых туманностей были в действительности звёздными системами, туманными и не разделяющимися на звёзды только вследствие своего громадного расстояния от нас, и если они были сравнимы по структуре с нашей галактической системой, то имелись все основания и называть их галактиками*). Их нужно отличать от диффузных туманностей, состоящих из газа и лежащих среди звёзд нашей собственной Галактики. К таким туманностям относятся: туманность Ориона, кольцеобразная туманность в Лире, ракообразная туманность в Тельце. Они являются настоящими туманностями и ясно отличаются от внешних галактик и размещением по небу и внешним

*) Термины «внегалактические туманности» и «анегалактические туманности», употребляемые соответственно Э. П. Хабблом и К. Лундмарком, являются синонимами наших терминов «внешняя галактика» или просто «галактика».

видом. Многие галактики содержат в себе разные виды истинных туманностей наряду со звёздами, звёздными скоплениями и облаками пыли.

Космическое значение галактик и их место в пространстве оставались неясными вплоть до нашего времени.



Фиг. 1. Кольцевая туманность в Лире, возникшая, вероятно, в результате взрыва.

Даже когда их свет был исследован самым могущественным анализатором — астрономическим спектро스코пом — и спектры их оказались подобными спектру Солнца — указание на то, что они, вероятно, состоят из звёзд, а не из газов, подобно туманности Ориона, — даже и тогда астрономы XIX столетия оставались мало заинтересованными и неуверенными в том, лежат ли эти галактики внутри или вне нашей галактической системы. Центр

интересов лежал в то время в вопросе о размещении в пространстве звёзд, доступных невооружённому глазу, и в промерах ближайших к нам частей Млечного Пути. «Что ближе, то раньше», — таков был молчаливый и естественный лозунг. Серьёзное изучение горизонтов вселенной ещё ждало своей очереди.

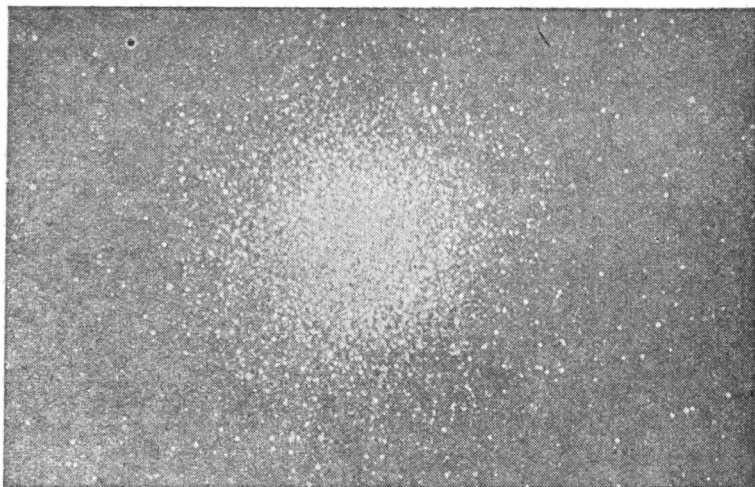
XX в. принёс с собою более точные и эффективные методы измерения звёздных расстояний. Триангуляционные способы были значительно усовершенствованы, и появились фотометрические способы, которые мы сейчас вкратце опишем. Раньше всего доступное нам пространство начала расширять фотометрия затменных двойных звёзд; затем появилась оценка светимостей*) звёзд и звёздных расстояний с помощью специальных критериев в звёздных спектрах, а вскоре развился могучий метод измерения звёздных расстояний при помощи переменных звёзд — цефеид, которому мы специально посвятим большую часть 3-й главы. С появлением последнего метода исчезло ограничение доступных для измерения звёздных расстояний несколькими сотнями световых лет, т. е. немногими миллионами миллиардов км. Наконец, мы получили возможность исследовать всю Галактику и обширные внегалактические пространства.

После того как развились различные фотометрические способы оценки расстояний, все в конечном счёте основанные на цефеидах, были изучены шаровые звёздные скопления. Их расстояния оказались удивительно большими. Представление о галактической системе как о диске диаметром всего в несколько тысяч световых лет скоро пришлось оставить. Наша Галактика (вернее, наше представление об её размерах) внезапно и сильно выросла. Шаровые скопления оказались членами галактической системы, и центр их оказался лежащим на расстоянии нескольких десятков тысяч световых лет от нас, в направлении созвездия Стрельца. Теперь был заложен

*) Не очень удачный, но вошедший в употребление перевод английского термина «luminosity» — светимость — означает полный световой поток, излучаемый звездой, который измеряется её абсолютным блеском. (Прим. перев.)

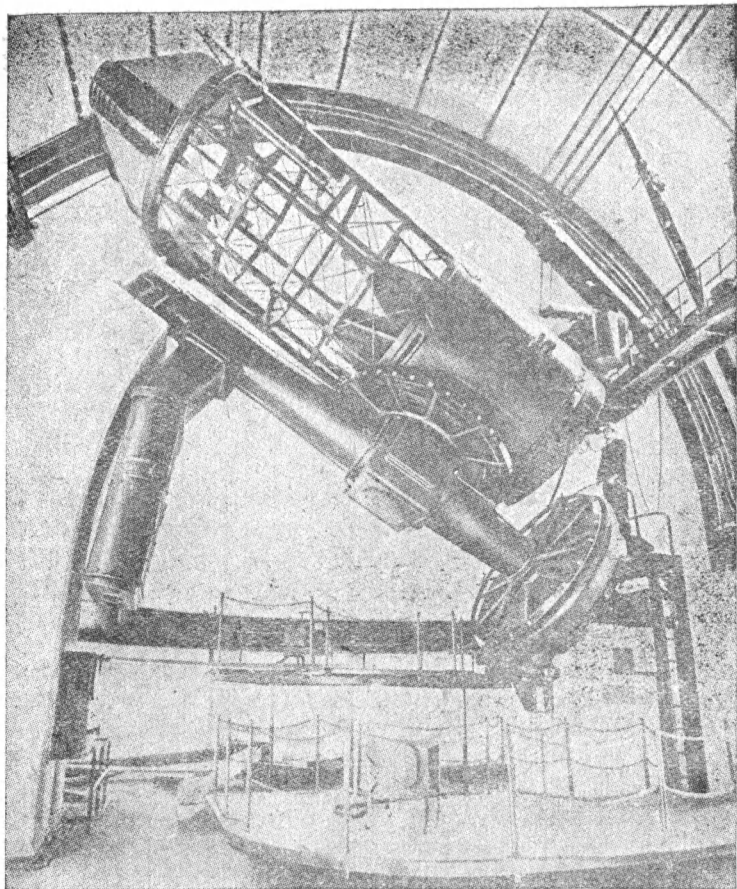
твёрдый фундамент для дальнейших исследований природы и местоположения спиральных галактик.

Тем временем спектроскопом были измерены лучевые скорости галактик и было открыто замечательное их свойство, известное под названием «красного смещения», которое было истолковано как свидетельство общего разбегания галактик. В течение некоторого времени при-



Фиг. 2. Южное шаровое скопление, занесённое в каталог Мессье под номером 55.

знанию громадных расстояний галактик, вытекающих из интерпретации спиральных туманностей как отдалённых островов вселенной, повидимому, противоречило открытие углового вращения некоторых ярких спиралей. Это вращение сказывалось в изменениях положений узлов туманности, заметных уже за довольно короткие промежутки времени. Однако измеримые угловые перемещения на таких громадных расстояниях должны были бы соответствовать совершенно недопустимым по своей величине истинным скоростям вращения. Но эти измерения углового вращения были очень трудны и неуве-



Фиг. 3. Большой рефлексор обсерватории Мак-Дональд в Тексасе — один из наиболее мощных инструментов, применяемых для анализа звёздного света.

ренны, и реальность их была окончательно опровергнута, когда в ближайших спиралях были найдены цефеиды. Последние дали возможность, как мы покажем дальше, с уверенностью определить положение спира-

лей в пространстве и подтвердили их громадные расстояния.

Как только в спиральных туманностях были обнаружены цефеиды и другие звёзды-гиганты, к галактикам стало возможным применять точно такие же способы определения расстояний, которыми за несколько лет до того успешно пользовались для шаровых скоплений. С этого времени началось активное исследование пространства за пределами Млечного Пути. Периоды и блеск цефеид, видимая звёздная величина самых ярких неизменяющихся звёзд, общая яркость галактик и их угловые диаметры — всё это теперь сделалось критерием для определения расстояний галактик, как раньше для шаровых скоплений. Для этого не было необходимости в новой технике измерений; нужны были только мощные телескопы, очень чувствительные фотографические пластинки и более тонкая стандартизация методов путём тщательного изучения движений и блеска ближайших к нам звёзд.

Теперь мы могли измерять миллионы световых лет с такой же уверенностью, с какой за десять лет до того измеряли сотни световых лет. Это было достигнуто около 20 лет тому назад.

Таков краткий исторический обзор быстро развивающегося предмета нашей беседы. Введение в детальное изучение галактик должно, кроме того, заключать несколько элементарных параграфов о технике измерения расстояний звёзд и галактик. Но прежде всего нам придётся заняться терминологией предмета. По счастью, в галактической астрономии применяются большей частью общепонятные выражения. Объяснение технических слов и выражений может быть поэтому кратким.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

Звёздной величиной в астрономии определяется блеск звезды *). Чем больше численное значение звёздной величины, тем слабее звезда. Например, многие из более яр-

*) А не геометрическая её величина. (Прим. перев.)

ких звёзд, видимых невооружённым глазом, — звёзды 1-й величины, самые слабые звёзды, доступные невооружённому глазу, 6-й величины, наиболее слабые звёзды, видимые в наибольшие современные телескопы, 18-й, а самые слабые звёзды, которые могут быть сфотографированы с помощью таких телескопов, 22-й величины. Звёздные величины изменяются, как логарифмы блеска.

Разница между *видимой звёздной величиной*, соответствующей видимому блеску звезды, и *абсолютной звёздной величиной* (соответствующей блеску звезды, какой она имела бы на единице расстояния) играет важную роль в измерении звёздных расстояний, как показано ниже, в этой же главе.

При помощи призмы или аналогичного спектроскопического приспособления излучение звезды или галактики может быть разложено на разные цвета, из которых оно состоит; каждый цвет характеризуется определённой длиной волны. Эта полоска окрашенного света — *спектр* — обычно перерезается тёмными линиями, вызванными поглощением света в звёздной атмосфере, лежащей над излучающей поверхностью звезды. Рисунок линий поглощения изменяется от звезды к звезде, и мы имеем таким образом разные *спектральные классы звёзд*. Они служат показателями разных температур, размеров, плотностей и состава атмосфер звёзд. Наиболее обычные спектральные классы гарвардской классификации спектров носят обозначения: В, А, F, G, K и М. Переходы между ними обозначаются числами от 0 до 9; таким образом мы имеем обозначения: А5, G0, K9 и т. п.

Если спектральные линии звезды обнаруживают «*красное смещение*», т. е. смещение к красному концу спектра (в сторону более длинных волн света), по сравнению с их нормальными положениями, то, рассматривая это смещение как следствие принципа Доплера, мы констатируем, что данная звезда или галактика удаляется от нас (имеет положительную *лучевую скорость*). Аналогично, если излучающий объект приближается, то в его спектре обнаруживается смещение линий к фиолетовому концу спектра (отрицательная *лучевая скорость*).

Лучевые скорости определяют движения к нам или от нас по лучу зрения, измеряемые в километрах в секунду. Поперечное движение, перпендикулярное к лучу зрения, называется *собственным движением* и измеряется в угловых единицах — градусах, минутах и секундах дуги в год (или столетие).

Фотометрически измеренными расстояниями называются такие, которые основаны на измерениях количества света. Существует много разных видов фотометров: в одних пользуются для измерений непосредственно человеческим глазом (визуальные фотометры), а в других — фотографической пластинкой (фотографические). Обычно при фотографической регистрации блеска звёзд пользуются синим светом, к которому наиболее чувствительны обычные фотографические пластинки. При употреблении пластинок, чувствительных к жёлтому или красному свету, мы получаем «жёлтые» или «красные» звёздные величины, использование которых в последнее время расширяется в связи с повышением чувствительности соответствующих эмульсий.

Разность между синей и жёлтой фотографическими звёздными величинами или между синей фотографической и визуальной величинами называется *колор-индексом*. Колор-индексы и спектральные классы тесно связаны друг с другом. Так, большие колор-индексы соответствуют красным звёздам спектральных классов K и M, средние колор-индексы, подобные колор-индексу нашего Солнца, связаны со звёздами классов F и G; наконец, малые колор-индексы относятся к голубоватым звёздам классов B и A.

Параллаксом звезды называется угол, под которым с этой звезды виден радиус земной орбиты. Чем меньше параллакс, тем больше расстояние звезды. Параллакс, выраженный в секундах, численно равен величине, обратной расстоянию, выраженному в единицах, называемых *парсеками*. Так, параллакс в одну секунду дуги ($1''$) соответствует расстоянию в один парсек (откуда и происходит удобное для запоминания название единицы). Параллакс в $0'',1$ означает расстояние в 10 парсеков; $0'',001$ — тысячу парсеков и т. д.

Расстояние, проходимое светом в один год — *световой год*, — является той единицей, которая обычно употребляется в этой книге; она эквивалентна 9,46 триллиона км. Один парсек равен 3,26 световых лет или немного меньше 31 триллиона км. *Килопарсек* и *мегапарсек*, которые являются подходящими единицами при измерении расстояний галактик, равны соответственно тысяче и миллиону парсеков.

Прямое восхождение и *склонение* — названия координат, которыми в астрономии обычно определяются положения на небе (сокращённые обозначения их α и δ). Они аналогичны применяемым на поверхности Земли долготе и широте.

Галактическая долгота и *галактическая широта* составляют другую систему, употребляющуюся для обозначения положения на небе по отношению к Млечному Пути. Экватором этой системы является круг Млечного Пути; её северный полюс лежит в созвездии Волос Вероники, а южный — в Скульпторе.

В обозначениях звёздных скоплений и туманностей используются символы NGC и IC; они относятся, соответственно, к «Новому генеральному каталогу» Дрейера (New General Catalogue,) и к его дополнениям (Index-Catalogue). Около сотни более ярких объектов были ещё раньше каталогизированы Ш. Мессье и сохранили свою нумерацию по этому каталогу, обозначаемую буквою М с соответственным номером. Таким образом, большая туманность Андромеды обозначается М 31 = NGC 224.

Переменные звёзды *цефеиды* получили своё имя от основной представительницы этого типа переменных звёзд — δ Цефея. По современным воззрениям это — одиночные звёзды очень большой светимости, которые периодически расширяются и сжимаются, следствием чего являются периодические изменения в их блеске, цвете, температуре, спектральном классе и других характеристиках. Эти пульсации позволяют легко обнаружить цефеиды благодаря непрерывному изменению их блеска. Кроме того, цефеиды это — звёзды-гиганты или сверхгиганты, и потому они заметно выделяются в числе наиболее ярких звёзд каждой галактики. Цефеиды, период

которых меньше одних суток, называются обычно переменными типа скоплений, так как переменные этого типа были прежде всего в большом количестве обнаружены в шаровых звёздных скоплениях *). Два других главных типа переменных звёзд — затменные и долгопериодические переменные — не играют существенной роли при изучении галактик.

Вспышки *новых* звёзд представляют собой очень бурные, но кратковременные явления. Новые звёзды это — в сущности переменные звёзды, но такие, которые начинают свои изменения чем-то вроде взрыва (фиг. 69). После яркой вспышки они постепенно снова слабеют, иногда обнаруживая при этом колебания блеска.

Периодом переменной звезды мы называем средний промежуток времени, необходимый для того, чтобы звезда прошла полный цикл своих изменений. Обычно он считается от максимума до максимума в случае цефеид и долгопериодических переменных и от минимума до минимума в случае затменных переменных.

Кривой блеска переменной звезды называется графическое изображение хода изменений её блеска. При этом обычно вертикальные координаты представляют звёздные величины, а горизонтальные — время в часах, днях или долях периода. Типичные кривые блеска можно видеть на фигурах 23, 25, 36, 37, 65 и 69.

Под *метагалактикой* мы будем понимать всеохватывающую систему галактик, звёздных скоплений, туманностей, звёзд, планет, межзвёздного газа и пыли и радиации. Практически это понятие идентично с понятием всей материальной вселенной.

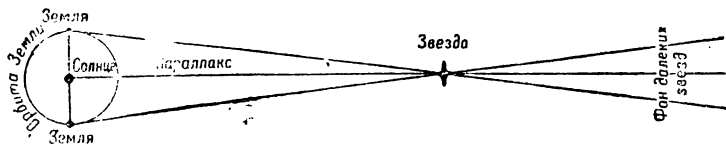
ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО ЗВЁЗД

Наша изоляция в пустоте окружающего пространства, очевидно, не даёт возможности применять при измерении звёздных расстояний геодезические жезлы и це-

*) Их называют также *короткопериодическими цефеидами*. Этим термином, как более общим, мы и будем пользоваться в дальнейшем. (Прим. перев.)

пи; но эта изоляция не препятствует пользоваться геодезическим методом триангуляции, по крайней мере при измерении расстояний до планет и ближайших звёзд.

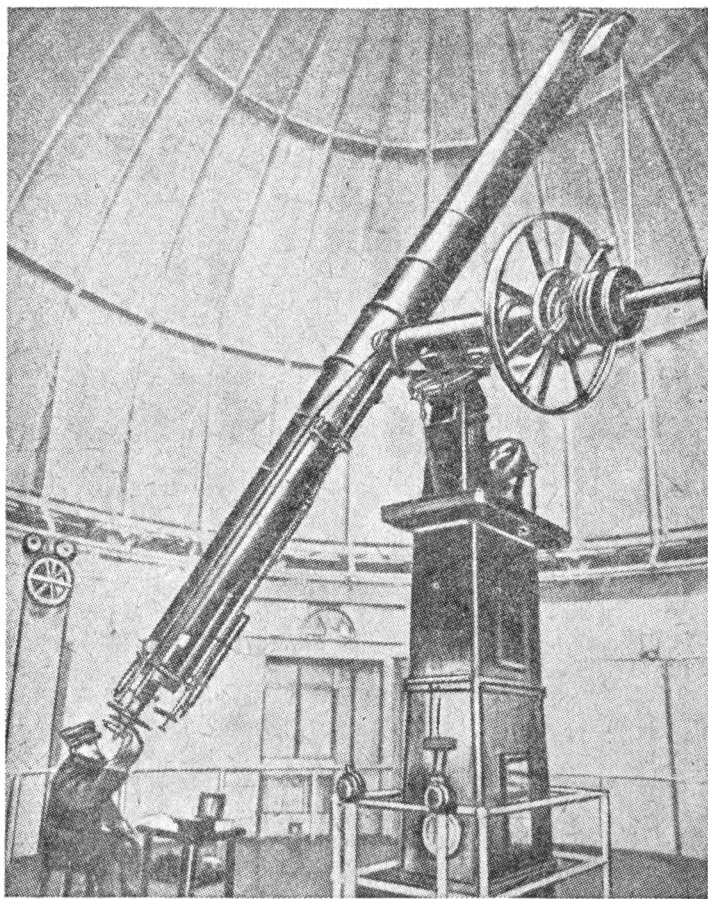
Когда геодезист хочет измерить расстояние до какой-нибудь недоступной точки, вроде отдалённого горного пика, он разбивает на поверхности земли длинный треугольник, одной из вершин которого служит эта точка. Затем он измеряет короткую сторону треугольника — базис — и при помощи теодолита, устанавливаемого на концах этой стороны, он получает угловые отсчёты, необходимые для решения этого треугольника и для вычисления расстояния избранного пункта.



Фиг. 4. Тригонометрический метод определения расстояния до звёзд.

Астроном для измерения расстояния до ближайших звёзд должен найти себе базис в солнечной системе. Обычно он пользуется при этом диаметром земной орбиты — базисом длиной около 299 миллионов км. Угловые отсчёты в соответственные моменты года (обычно с интервалом около 6 месяцев между ними) дают ему положение измеряемой близкой звезды относительно гораздо более удалённых звёзд фона неба и позволяют построить в пространстве треугольник, из которого и вычисляется расстояние до нашего небесного соседа.

В принципе такая триангуляция для измерения звёздных расстояний проста. Однако практическое её осуществление очень трудно, и она совсем не удаётся или даёт очень неточный результат, если расстояние превышает тысячу световых лет. В этом случае подлежащие измерению углы так малы, что теряются в неизбежных ошибках измерения и неточностях инструментов. Даже для надёжного определения расстояний в сто световых лет требуется чрезвычайно высокая точность измерений. По



Фиг. 5. Рефрактор обсерватории Ван-Флек Уэслейского университета.

инициативе и под руководством голландского проф. Каптейна и особенно д-ра Франка Шлезингера были разработаны фотографические методы измерения этих малых углов, построены специальные телескопы и, начиная с



Фиг. 6. Свечение возбуждённых межзвёздных газов в южной части Млечного Пути — результат происшедших столетия назад взрывов звезды η Киля.

1910 г., несколько обсерваторий в Америке, Европе и в Южной Африке получили сравнительно точные тригонометрические определения расстояний нескольких тысяч звёзд. Это работа исключительной важности. Она совершенно необходима при разработке методов для измерения более отдалённых частей вселенной; но такая триангуляция совершенно не может помочь нам непосредственно при измерении расстояний до звёздных скоплений и галактик, так как внутри ограниченной сферы её пригодности нет ни одного из этих объектов.

Если бы существовал один только триангуляционный метод, то наша задача измерения расстояний галактик могла бы показаться безнадёжной. Смотря на Млечный Путь, мы видим в малые телескопы тысячи звёзд, которые все лежат далеко за пределами пригодности этого метода, но как именно далеко, мы никогда не узнали бы, если бы тригонометрия была единственным ресурсом. Даже некоторые из звёзд, доступных невооружённому глазу, слишком далеки для триангуляций. Однако косвенным путём тригонометрические измерения близких к нам звёзд ведут нас и к Млечному Пути: они калибруют более могущественные методы.

Надо признать очень счастливым обстоятельством, что измерения близких и доступных нам звёзд дали возможность непосредственно стандартизовать более широко применимый фотометрический метод измерения звёздных расстояний. Могло бы быть совсем иначе. В Млечном Пути имеется много областей, где такая стандартизация или даже сам фотометрический метод были бы очень сложными, сомнительными и, может быть, даже невозможными. Например, хаотические тёмные и светлые туманности, которые мы видим на фиг. 6, делают погружённые в них звёзды мало подходящими для фотометрических измерений пространства.

Фотометрический метод, подобно тригонометрическому, прост в принципе, но труден на практике, а иногда может привести к сомнительным и ошибочным результатам. Мы можем объяснить его самым кратким образом, ска-

зав, что если мы каким-нибудь путём знаем истинный блеск звезды (её абсолютную звёздную величину), то мы можем вычислить и расстояние, если измерим её видимую звёздную величину, т. е. измерим количество света, дошедшее до нас от звезды через разделяющее нас пространство. Понятной иллюстрацией к этому является оценка относительных расстояний уличных фонарей по их относительной кажущейся яркости, если знать, что действительная яркость фонарей одна и та же.

Но в применении этого принципа к звёздам есть и трудности. Во-первых, звёзды очень различны по своему истинному блеску. Некоторые из них светят в десятки тысяч раз ярче Солнца, а другие во столько же раз слабее, и лишь для немногих из них истинный блеск может быть оценён достаточно уверенно и точно. Во-вторых, трудно точно измерить и аккуратно стандартизовать видимые величины звёзд. Наконец, иногда пыль и газ в пространстве между звёздами могут сильно ослабить свет по пути, так что простые формулы для прозрачного пространства становятся неприменимыми.

Несмотря на эти затруднения, фотометрический метод пригоден для практики и широко употребляется; он может применяться не только к звёздам, но, как мы уже упоминали, и к шаровым звёздным скоплениям и к галактикам. И как только мы сумеем оценить общую действительную яркость средней галактики — общую светимость всех миллионов составляющих её звёзд — мы можем отказаться от использования индивидуальных звёзд, вроде цефеид, и, пользуясь этой средней светимостью всей галактики как новым фотометрическим эталоном, проникать в пространство на расстояния в миллионы раз большие, чем это было возможно лишь несколько десятков лет тому назад, когда мы должны были ограничиваться только тригонометрическими методами. Принцип фотометрического измерения звёздных расстояний был известен во времена Ньютона, если не раньше, но его практическое развитие и широкое применение — дело наших дней, и это было подлинно революционным событием. Без него даже самое существо-

вание внешних галактик оставалось бы только гипотезой, и не могло бы возникнуть всё современное представление о вселенной.



Фиг. 7. Уличные фонари — рисунок, показывающий, что видимый блеск служит указателем расстояния при известной действительной силе света.

Главная трудность фотометрического метода лежит не в измерениях света и не в вычислениях, но в нахождении путей для уверенной оценки величин звёзд разных

типов, которые были бы легко распознаваемы и встречались бы всюду во вселенной. Эти звёзды должны обладать настолько большим истинным блеском, чтобы быть видимыми с очень больших расстояний. Пути, ведущие к этой цели, будут описаны в 3-й и 4-й главах.

Коль скоро мы умеем определять расстояния до больших звёздных образований, лежащих вне нашего Млечного Пути, мы можем из измерения их угловых размеров сейчас же найти их диаметры в километрах или световых годах. Зная диаметры, мы сравниваем между собою различные объекты и таким образом, естественно, подходим к установлению типов или классов галактик. Здесь возникают сами собою бесчисленные вопросы: каково число галактик, их распределение в пространстве, их отношение друг к другу и к нашей собственной Галактике, их внутренние движения, их форма, состав, происхождение, возраст, будущая судьба?

С такими вопросами мы, однако, слишком забежали бы вперёд в нашем изложении; кроме того, вопросов слишком много и в настоящее время далеко не на все из них можно ответить. Однако в этой предварительной главе необходимо ещё дать описание разных видов галактик и некоторые соображения об их числе.

ТИПЫ ГАЛАКТИК

Галактики чрезвычайно разнообразны и по блеску и по размерам. Имеются гигантские системы, подобные туманности Андромеды, которые в сто раз ярче и обширнее, чем карликовые галактики, вроде слабого спутника той же туманности Андромеды. Эти два соседних объекта представляют крайности по блеску и по размерам, средняя же галактика лежит приблизительно посередине между ними и в том и в другом отношениях.

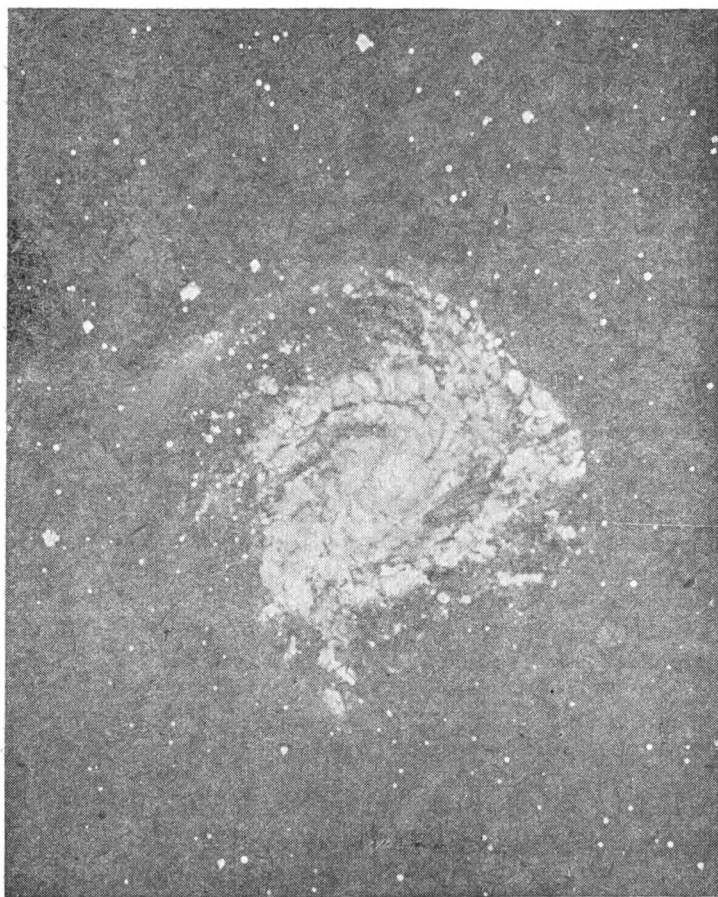
Благодаря такому разнообразию в блеске мы во всякие общие описи внешних галактик неизбежно вносим

отбор наиболее ярких систем, который может привести к неправильным заключениям. Карликовые галактики систематически ускользают из наших описей. Мы должны быть поэтому чрезвычайно осторожны, например, в таких заключениях, как: «три четверти всех галактик принадлежат к типу спиральных». Среди карликовых систем, которые с трудом фотографируются, пропорция типов может быть совсем другая, чем среди «средних» галактик или гигантских систем. Очевидно, что *средняя* галактика в такой неисправленной описи галактик может значительно отличаться по типу от средней галактики в данном объёме пространства, в котором известно всё, что в нём находится.



Фиг. 8. Светимость всех известных до сего времени звёзд, лежащих на расстоянии до 16 световых лет от Солнца (светимость Солнца принята за 1). Только 4 из них ярче Солнца и по крайней мере $\frac{1}{42}$ слабее его. Все не открытые до сих пор звёзды наверняка должны обладать очень малой светимостью.

Чтобы иллюстрировать этот довольно важный факт астрономической аналогией, заметим, что наше Солнце по своему истинному блеску долгое время считалось ниже средней звезды. Это положение совершенно справедливо, если говорить о звёздах, доступных невооружённому глазу, в число которых входят лишь близкие к нам карлики и могущие быть очень далёкими гиганты. Но недавно выяснилось, что если мы сравниваем Солнце со *всеми* звёздами в его окрестностях, как доступными невооружённому глазу, так и телескопическими (фиг. 8), то оно оказывается значительно выше средней звезды и по блеску и по размерам. Тщательные розыски открыли большое число карликовых звёзд. Вероятно, условия, открытые в непосредственных окрестностях Солнца, имеют место вообще в этой части Млечного Пути, а может быть,



Фиг. 9. Галактика М 83, убедительно показывающая своими живописными спиралями, что вселенную нельзя считать статичной.

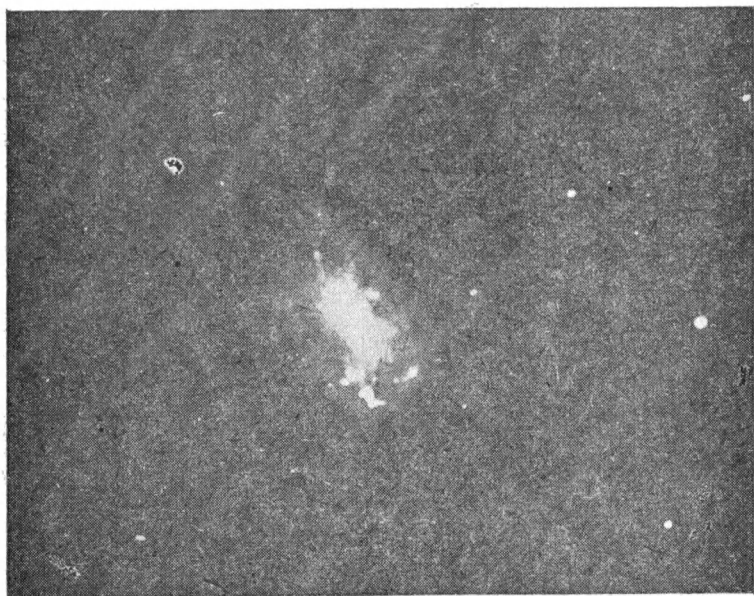
и в отдалённом центральном ядре последнего. Карликовые звёзды повсюду могут оказаться доминирующими.

Имея в виду опасность преждевременных обобщений, прежде чем у нас будет достаточно полная информация



Фиг. 10. Наблюдатель находится почти точно в плоскости этой видимой с ребра спиральной галактики, носящей обозначение NGC 4565.

о карликовых галактиках, мы можем сказать, что среди галактик, достаточно хорошо изученных и классифицированных до настоящего времени, около 75% относятся к спиральному типу. В спирали обычно имеется яркое ядро, приблизительно сфероидальной формы,



Фиг. 11. Неправильность этой галактики, составляющая резкий контраст с изящной симметрией предшествующей фотографии, напоминает совершенно хаотическое состояние.

и более плоская внешняя часть, в которой заметны спиральные ветви. Вся форма напоминает фигуру карманных часов или, часто, колеса с выдающейся втулкой для оси.

Около 20% галактик относится к сфероидальному или эллипсоидальному типу; они симметричны относительно центра или относительно оси, проходящей через центр, и не имеют резких границ и каких бы то ни было заметных структурных деталей.

Остальные внешние галактики неправильны по структуре и форме (типа Магеллановых Облаков) или представляют собой необычные варианты спирального и сфероидального типов.

Фотографии, помещённые в этой книге, показывают, что спиральные и сфероидальные системы легко допускают дальнейшие подразделения. Д-р К. Лундмарк и д-р Э. П. Хаббл разработали классификации, применимые к более ярким объектам, и ввели обозначения и названия для описания разных категорий галактик. Эти две системы классификации похожи и по принципу и в деталях, но английский астроном Дж. Рейнольдс правильно подчеркнул, что практически каждая галактика индивидуальна и отличается от всех других и что классы являются только удобными полками, но не должны приниматься слишком всерьёз. Мы применяем в этой книге для ярких галактик обозначения Хаббла с некоторым отличием: он применяет термин «эллиптическая» вместо нашего «сфероидальная» и «внегалактическая туманность» вместо нашего термина «галактика» *).

*) Разница в номенклатуре не очень важна, если только она не ведёт к путанице понятий, но очень жаль, что термин «галактика» не вошёл в более общее употребление для замены довольно громоздких и несколько двусмысленных синонимов «анегалактическая туманность» и «внегалактическая туманность». Как отметил Хаббл, термин «галактика» часто употреблялся астрономами второй половины XIX в. для обозначения внешних звёздных систем. Для неразрешимых внешних систем слово «туманность» ещё можно было бы применять, но оно никак не подходит к ярким галактикам, которые разделены на звёзды и оказываются сходными даже в деталях с нашей галактической системой. Говорить о Магеллановых Облаках, как о туманностях, было бы, очевидно, совершенно неподходящим. С другой стороны, в газовых «планетарных» туманностях и в диффузных туманностях, подобных туманности Ориона, мы имеем объекты, которые давно и совершенно правильно определяются термином «туманность».

Против слова «галактика» выдвигалось возражение, что это слово употребляется в английском языке ещё в смысле «собрание красивых дам или выдающихся лиц». Но на это можно было бы возразить, что слово «звезда» имеет ещё более распространённое другое значение на языке сцены, кино, спорта и журналистики. Надо надеяться, однако, что это не заставит астрономов заменить слово «звезда» каким-нибудь «астеризмом», «излучающей газовой сферой» или другим подобным термином. Хотя автор, подобно многим другим,

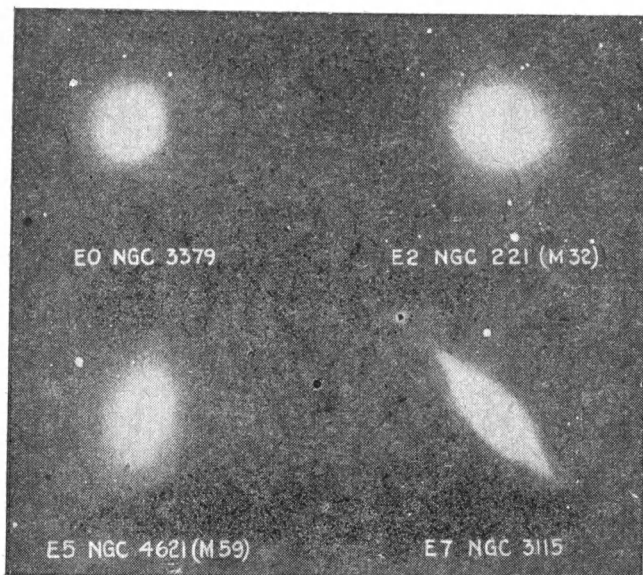
Детальные описания, а в особенности дальнейшие подразделения ярких сфероидальных и спиральных галактик, приводимые ниже, возможны только для тех систем, которые достаточно близки к нам для получения фотографий в крупном масштабе. Для 95% галактик, обнаруживаемых на специальных фотографиях, снимаемых для составления переписи галактик, такая классификация невозможна. Для них мы установили систему классов «Брюс-телескопа», основанную на двух параметрах: 1) *степени концентрации к центру* (шесть подразделений: от а — для полного отсутствия концентрации до f — для крайней степени концентрации) и 2) *форм сфотографированного изображения* (10 подразделений: от 10 — для кругового очертания до 1 — для крайней вытянутости). Эта система может при желании употребляться и для ярких галактик с добавлением к предыдущему буквенно-цифровому обозначению ещё буквы s для спиралей и буквы i для неправильных галактик; но классификация Хаббла проще и для настоящего времени достаточно удовлетворительна *).

Сфероидальные галактики. Яркие сфероидальные галактики классифицируются в настоящее время по форме видимого их изображения, т. е. по форме их проекции на плоскость, перпендикулярную к лучу зрения. Нет сомнения, что по мере более детального изучения концентрации света (и звёзд) в сфероидальных галактиках классы последних смогут быть разбиты на дальнейшие подразделения или расположены в систему с двумя параметрами, подобную принятой при классификации слабых туманностей «системе Брюс-телескопа».

предпочитает термин «галактика» термину «внегалактическая туманность», он считает очень полезным иногда употреблять прилагательное «туманный» для характеристики тех слабых размытых объектов, которые обнаруживает на фотографических пластинках служба отдалённых внешних галактик.

*) Таким образом a9 обозначает сплошное и почти круглое изображение; f1 — изображение с шириной в $\frac{1}{10}$ длины и резко концентрированное со звёздоподобным ядром; s5s — объект промежуточной концентрации с шириной, равной половине длины, и обнаруживающий спиральные ветви.

Когда, следуя классификации ярких сфероидальных туманностей Хаббла, мы даём обозначение E0 круговому изображению, оно может быть изображением либо действительно сферического объекта, либо системы сплюсненной, но видимой с плоской стороны. Наличие сплюснен-



Фиг. 12. Сфероидальные галактики четырёх различных степеней сжатия.

ных галактик легко допустить, если принять, как обычно, что сжатие газового, жидкого или составленного из звёзд сфероида является результатом и мерой его вращения вокруг оси. Комбинация силы тяготения и центробежной даёт сфероиды разной степени сжатия.

Очень удлинённые сфероидальные объекты (E7) являются, конечно, очень сплюснутыми галактиками, имеющими форму карманных часов, видимыми сбоку*). Фор-

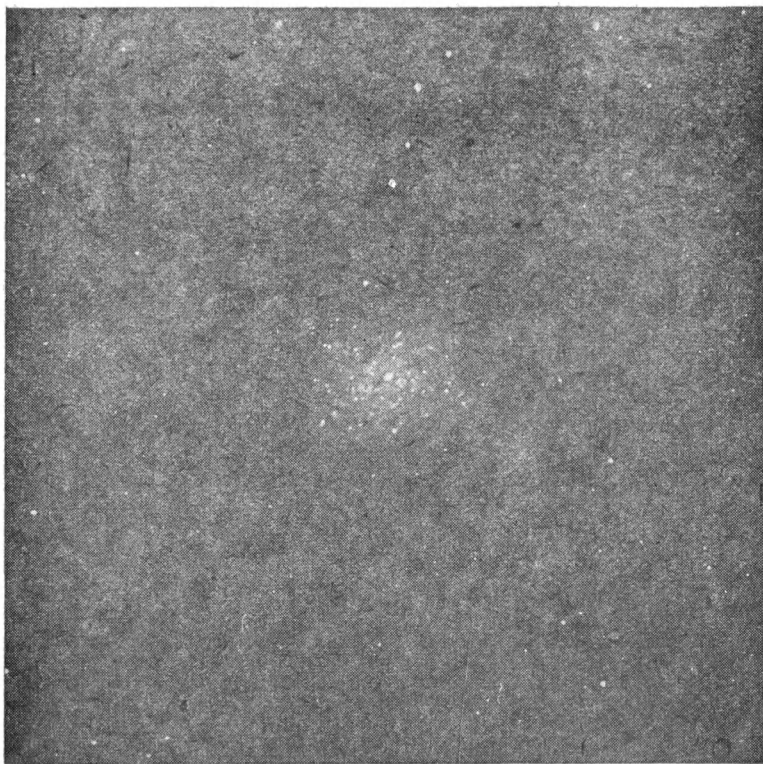
*) Такая система не может быть сигароподобным объектом ввиду неустойчивости подобных форм под действием тяготения.

мы сфероидальных галактик от E1 до E6 представляют переходы между крайними формами и могут явиться результатом самых разнообразных комбинаций сжатия и наклона. Про каждый данный объект мы можем только сказать, что он во всяком случае не менее плоск, чем представляется, а может быть, и гораздо плосче. При помощи статистических соображений можно получить некоторые, довольно неопределённые, заключения об относительной частоте разных степеней сжатия галактик. Что же касается отдельных объектов, то в будущем можно будет отделить сплюснутость от наклона путём точных измерений скоростей внутри сфероидальных галактик и при помощи тщательного изучения степени концентрации света вдоль разных радиусов. В настоящее время, однако, этот вопрос не представляет особой важности. Распределение наклонов может гораздо удобнее изучаться при помощи спиральных галактик, которые бесспорно плоски.

Для отдалённых галактик трудно различить очень вытянутые сфероидальные системы E7 и видимые сбоку спирали, которые показывают мало деталей внутреннего строения. Если расположить галактики в один непрерывный ряд, то, может быть, и по существу между этими двумя типами окажется мало различия. Поэтому Хаббл недавно предложил ввести связывающую их форму, S0, представляющую самую слабую, еле различимую степень спиральности.

Спиральные галактики. При классификации ярких спиралей мы начинаем ряд с типа Sa, в котором спиральные ветви могут быть легко обнаружены или хотя бы с достаточным основанием предполагаться. В них видно мало деталей. Тип Sb охватывает объекты, где ветви более отчётливы и, может быть, более широко развёрнуты. Структурные детали и разделение на отдельные узлы, заметные в ветвях типа Sb, делаются особо резко выраженными в широко открытых ветвях спиралей типа Sc, характерным примером которых является большая галактика M 83 (фиг. 9). В Гарвардской обсерватории мы ввели ещё одну дальнейшую ступень и пользуемся обозначением Sd для таких форм (подобных фиг. 13),

где разложение на узлы так значительно и так равномерно распределено по всей системе, что спиральные



Фиг. 13. Одна из полмиллиона галактик, найденных на Гарвардской обсерватории, впервые была открыта около 100 лет назад и принята сначала за комету. Её каталожное обозначение — NGC 7793; она относится к типу S1 и лежит на расстоянии около трёх миллионов световых лет. Оторванные клочья этой галактики рассеяны по всей пластинке.

ветви практически теряются. Во всех этих классах спиральные ветви исходят из центра галактики или откуда-то очень близко от центра.

При дальнейшем рассмотрении спиральных галактик нужно отметить некоторые особые пункты:

1. Есть серия спиральных форм, параллельная нормальному типу, описанному выше, в которой ветви исхо-



Фиг. 14. NGC 1097 — пересечённая спираль с выгнутой поперечной полосой и сложным ядром.

дят не из центрального ядра, а скорее от краёв окружающего его диска (фиг. 14). Обычно ветви начинаются от концов светлого стержня перемычки, которая пересекает по диаметру ядро и окружающий его диск. Эти так называемые пересечённые спирали (*barred spirals*) носят обозначения SBa, SBb и SBc с переходными типами SBab и SBbc.

2. Внешняя структура спиральных галактик далеко не исчерпывается одними спиральными ветвями; на общем фоне света (т. е. звёзд), окружающего ядро, вырываются ещё многочисленные сгущения. Мы увидим дальше, что количество света, испускаемого непосредственно спиральными ветвями, является лишь незначительной частью всего света туманности, подобно тому как корональные лучи во время полных солнечных затмений представляют лишь блики на фоне гораздо более массивной и излучающей больше света сплошной короны. Как корональные лучи, так и спиральные ветви столь заметны лишь благодаря контрасту.

3. Некоторые внешние галактики не имеют видимого ядра. В них или вообще нет ядра, или оно закрыто от нас огромными облаками поглощающего свет материала.

4. Подклассы галактик Sa, SBc, E5 и другие включают некоторые формы, значительно уклоняющиеся от обычного типа. Очевидно, ныне применяющаяся классификация имеет только предварительный характер и полезна лишь для временного руководства. В галактиках существуют асимметрии и известны переходы между правильными формами и хаотическими бесформенными объектами, подобными Магеллановым Облакам.

5. Возможность расположить яркие галактики в одну последовательность: E0—7, S0, Sa—d ещё не следует принимать как доказательство эволюционного развития одной формы из другой. Мы имеем в этой последовательности лишь практически удобный ряд, а не эволюционное дерево. В настоящее время было бы преждевременным при изучении галактик пытаться без достаточного основания заключать об эволюции одного типа из другого.

Ниже мы увидим, что в настоящее время получены фотографии сотен тысяч галактик; несколько сотен ближайших из них изучены более детально и, наконец, двенадцать или пятнадцать из последних лежат внутри сферы с радиусом в миллион световых лет (опись

карликовых галактик нельзя считать полной даже для такого малого расстояния). Среди столь обширного материала наиболее подходящими для детального изучения оказываются Магеллановы Облака. Две следующие главы будут посвящены этим неправильным системам, которые не только наиболее близки к нам, но и наиболее важны для нашего понимания внешних галактик. Они доставили самый богатый наблюдательный материал и дали толчок развитию наиболее плодотворных методов в изучении внешних галактик.

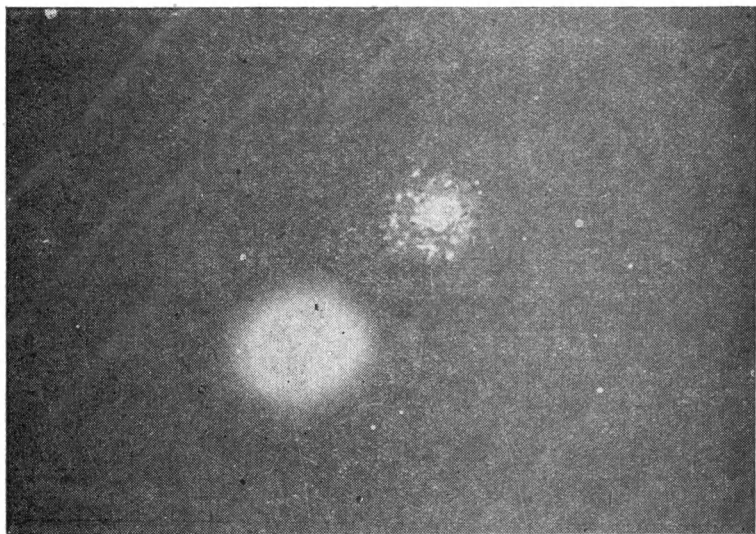
2

МАГЕЛЛАНОВЫ ЗВЁЗДНЫЕ ОБЛАКА

Астрономия галактик, наверное, развилась бы раньше на целое поколение, а может быть и на полстолетия, если бы на том месте, которое занимают Большое и Малое Магеллановы Облака находилась бы типичная спиральная или типичная сфероидальная галактика. Если бы спираль вроде NGC 4647 (фиг. 15) была бы от нас на расстоянии всего 80 000 световых лет, и спектры и движения её гигантских и сверхгигантских звёзд могли бы поэтому легко наблюдаться, многие из проблем последних сорока лет даже и не возникли бы. Мы могли бы давно знать, закручиваются или раскручиваются спиральные ветви, являются ли они поверхностным явлением в структуре галактик или лежат в основе её. И уже более ста лет назад мы знали бы, что спирали — это состоящие из звёзд внешние галактики, а совсем не таинственные туманные образования внутри нашего Млечного Пути, как когда-то считалось, и не планетные системы в стадии зарождения.

Равным образом, если бы на расстоянии всего 80 000 световых лет от нас была бы расположена сфероидальная галактика, подобная М 60 (фиг. 15), мы, вероятно, сэкономили бы много труда, потраченного на разгадку таких объектов. Если бы мы приложили достаточно усилий для её исследования, мы давно бы изучили законы

внутренних движений в сфероидальных галактиках и знали бы наверное, состоят ли они в основном из пыли или из очень мелких субкарликовых звёзд. Мы могли бы уяснить их отношение, с одной стороны, к шаровым звёздным скоплениям, а с другой, — к ядрам спиральных галактик. Но в действительности подобные проблемы



Фиг. 15. М 60 и NGC 4647. Пара галактик различного типа, "слишком далёкая для подробного исследования."

и теперь ещё не решены, а в некоторых случаях самая возможность их решения представляется недостижимой, потому что все типичные сфероидальные галактики очень далеки от нас и поэтому мало доступны для изучения.

Обитатели большой туманности Андромеды находятся в гораздо лучших условиях! Воображаемые астрономы в этой галактике имеют рядом с собой две малые сфероидальные галактики и великолепную спираль М 33 на расстоянии всего 180 000 световых лет. Они избежали нашей неудачи иметь своими ближайшими соседями два

неправильных звёздных облака, которые много лет могли истолковываться как оторванные участки нашего Млечного Пути. Только постепенно мы дошли до понимания того, что Магеллановы Облака представляют собою внешние системы, и начали оценивать тот факт, что их изучение даёт нам возможность исследовать интересный, но довольно редкий тип галактик. Теперь мы знаем, однако, что изучение их неправильной структуры и движений окажет нам мало пользы в разрешении тайны природы обычных галактик. Но мы должны находить лучшее применение тому, что имеем, и мы скоро увидим, что это лучшее оказалось поистине великолепным. Оно прямо чудесно!

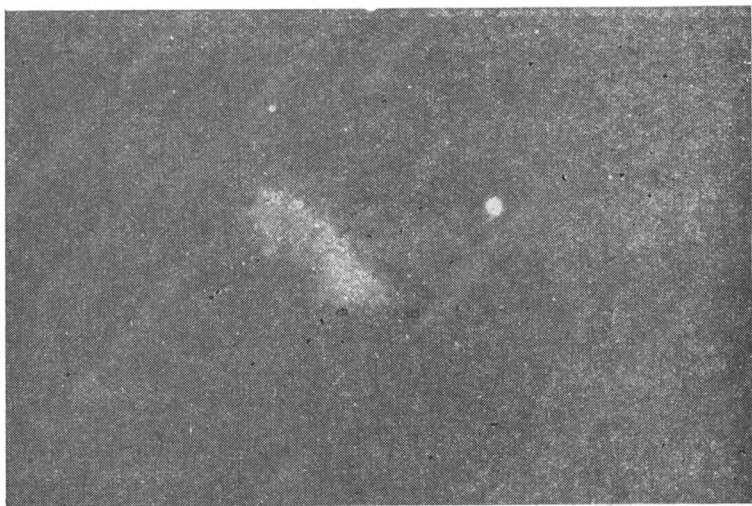
Португальские мореплаватели XV столетия называли эти звёздные облака Капскими Облаками, так как они замечали их на южном небе, когда в своём плаваньи их корабли приближались к мысу Доброй Надежды (Cape of Good Hope). Эти необычайного вида «Облачка» имели даже некоторое значение для кораблевождения: они и южный полюс неба находятся в вершинах приблизительно равностороннего треугольника; таким образом они помогали найти на небе местоположение южного полюса. Необычайный вид их так описывался Петером Мартиром: «Пройдя далее этого пункта, можно видеть здесь и там среди звёзд какие-то светящиеся белые облачка, подобные тем, которые видны вдоль небесной дороги, называемой *Lactea via*, т. е. белый млечный путь».

Другой писатель сообщает: «Два заметных облачка порядочной величины вращаются около места полюса, непрерывно то поднимаясь, то опускаясь, находясь таким образом в непрестанном круговращении вместе со звездой между ними, которая вращается на расстоянии XI градусов от полюса».

Называемые различно мореплавателями, эти странные объекты в астрономической литературе неизменно связываются с именем первого кругосветного путешественника. Лишь случайно тот или другой астроном пользуется терминами — Большое Облачко (*Nubecula Major*)

или Малое Облачко (Nubecula Minor). Пигафетта, спутник и историк Магеллана, впервые описал эти облака во время первого кругосветного путешествия в 1518—1521 гг., чем и объясняется связь этих соседних галактик с именем великого исследователя.

Меньшее из двух облаков лежит в созвездии Тукана. Большое Облако находится в основном в созвездии



Фиг. 16. Малое Облако. Направо от этой галактики лежит гигантское шаровое скопление 47 Тукана. (Подобную же пару см. на фиг. 87.)

Золотой Рыбы. Но оба Облака выходят за пределы своих основных созвездий. Они светятся в области неба, романтически связанной с экзотическими птицами и зверями, если судить по именам созвездий. Водяной Змей, Феникс, Летучая Рыба, Фламинго, Хамелеон, Индийская Муха и Райская Птица — таковы эти необычайные для нас созвездия в окрестностях южного полюса неба.

Было бы более удобным, если бы Магеллановы Облака лежали гораздо севернее. Их положение на небе значи-

тельно задержало их исследование, так как на десять обсерваторий в северном полушарии Земли приходится всего одна в южном. Мы увидим в дальнейшем, что практически вся работа по изучению этих важных систем за последние 50 лет проведена на южных станциях двух американских обсерваторий. Очевидно, что удобства земных астрономов совершенно не учитывались при расположении галактических систем.

ИССЛЕДОВАНИЯ ГАРВАРДСКОЙ СТАНЦИИ В ПЕРУ

Если наблюдать Магеллановы Облака невооружённым глазом, рассматривать их с помощью какого-нибудь из южных телескопов или даже фотографировать их с умеренными экспозициями, то они не кажутся очень большими. Малое Облако имеет менее 4° в диаметре. Большое — менее 8° . Оба они сравнимы по величине с некоторыми из звёздных облаков Млечного Пути, например, в созвездиях Лебедя и Щита. Даже такой поверхностный обзор обнаруживает в них многочисленные неправильности в форме, в концентрации звёзд, в составе; но они не представляются особенно интересными. Ещё в начале текущего столетия французский астроном Фламарион, суммируя сведения о Большом Облаке, говорил только о том, что оно содержит 291 отдельную туманность, 46 звёздных скоплений и 582 звезды. Описания, подобные этому, дают очень плохое представление о глубоком значении и поражающем богатстве этой ближайшей к нам внешней галактики. Они отражают лишь беглые наблюдения Джона Гершеля и немногих других учёных, путешествовавших в южное полушарие.

Настоящее исследование Магеллановых Облаков, открывшее собою астрономию галактик, началось лишь в 80-х годах XIX столетия.

В это время возникла южная астрономическая станция в Ареквипе (Перу), на которой в 1890 г. был установлен сильный фотографический телескоп. Этот 24-дюймовый широкоугольный рефрактор, чудовищно мощный инструмент для своего времени, и по сей час остаётся одним из наиболее активных и эффективных инструментов

для изучения звёзд, звёздных облаков и галактик. Новый рефрактор мог при экспозиции в один час фотографировать звёзды значительно слабее 16-й величины и покрывать на одной фотографической пластинке поле такой величины, как «ковш» Большой Медведицы.



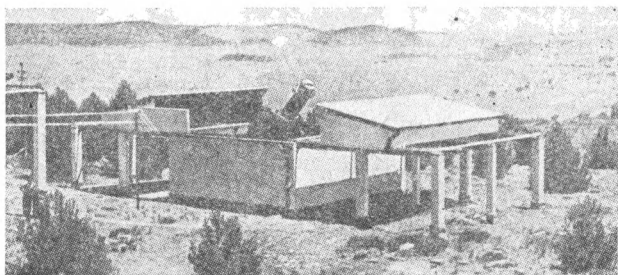
Фиг. 17. Станция Гарвардской обсерватории в Арекипе, 1890—1926.

Новый инструмент имел много обширных и разнообразных программных задач — ему надо было покрыть снимками всё небо, выполнить пионерскую работу по изучению богатой южной части Млечного Пути и т. д. Поэтому программа исследования Магеллановых Облаков могла продвигаться лишь медленно. Результат изучения их фотографий в течение нескольких первых лет можно вкратце суммировать следующими положениями:

1. В подтверждение прежних визуальных наблюдений Дж. Гершеля и других в Магеллановых Облаках обнаружено большое число звёздных скоплений и газовых туманностей.

2. Обнаружено поразительное богатство Облаков звёздами, которые надо считать не сотнями, а десятками тысяч.

На Облака смотрели уже 4 столетия, но видеть их по-настоящему стали только на рубеже последнего века. Их чудеса были открыты не ревностными путешественниками с палубы одинокого корабля, не исследователями неба на временной астрономической станции где-нибудь в Австралии, Южной Африке или Южной Америке и даже



Фиг. 18. Брюс-телескоп на Бойденской станции Гарвардской обсерватории в Блумфонтейне. Деревья скоро будут защищать инструмент от случайных ветров.

не теми гарвардскими астрономами, которые старательно экспонировали фотографические пластинки на мощной астрокамере у подножья горы Эль Мисти в Перу. Облака впервые увидела по-настоящему одна молодая женщина, сидевшая за рабочим столом в Кэмбридже (Массачусетс, США) с лупой в руке. Этой лупой она изучала сонмы маленьких чёрных пятнышек на стеклянных пластинках.

Сотрудница Гарвардской обсерватории мисс Генриетта С. Ливитт обладала даром видеть вещи по-настоящему и выводить нужные заключения из своих измерений. Она начала с того, что открыла в Магеллановых Облаках удивительные переменные звёзды, которые оказались впоследствии исключительно важными как для исследования внегалактических пространств, так и для измерения звёздных расстояний в системе нашего собственного Млечного Пути.

Ни она, ни другие первые исследователи пластинок Брюс-телескопа, конечно, никак не могли знать, что свет, идущий от Магеллановых Облаков, имеет возраст от 50 до 100 тысяч лет. В первое десятилетие текущего столетия такие расстояния были совершенно недоступны и, может быть, даже казались непостижимыми. Но учёному нередко приходится измерять что-нибудь, не зная, что в сущности он измеряет. Если измерения хороши, то производящий их может быть уверен, что рано или поздно они найдут должную интерпретацию.

Проф. Солон И. Бейли и мисс Ливитт были руководящими работниками в деле открытия и измерения отдалённых переменных звёзд, которые обнаруживались при помощи Брюс-телескопа и других инструментов Гарвардской обсерватории. Их непосредственной целью было открытие изменений в интенсивности света звёзд. Проф. Бейли специализировался на шаровых звёздных скоплениях, а мисс Ливитт — на Магеллановых Облаках. В 1906 г. она опубликовала список вновь открытых слабых переменных звёзд в обоих Магеллановых Облаках: 808 в Большом и 969 в Малом. В списке были даны положения этих переменных звёзд в подходящей системе координат, а также приводились их максимальные и минимальные звёздные величины в некоторой предварительной шкале. Было замечено, что амплитуда колебаний блеска была приблизительно равна одной звёздной величине, принадлежала ли звезда к числу самых ярких в Облаках, или была на пределе самых слабых звёзд, давших изображения на фотографической пластинке. В таком положении дело оставалось в течение некоторого времени, и мы пока оставим его до следующей главы, где мы рассмотрим астрономические орудия, которые астрономы смогли выковать из анализа этих данных.

Продолжая описание Магеллановых Облаков, мы отметим, что в дополнение к этим очень многочисленным переменным звёздам в Облаках рассеяны звёзды многих других типов. Переменные звёзды в Магеллановых Облаках повторяют типы, известные нам по нашей галактической системе и обнаруживаемые даже в окрестностях Солнца, среди звёзд, видимых невооружённым глазом.

Равным образом в Облаках встречаются красные гигантские звёзды, имеющиеся и в окрестностях Солнца, голубые гиганты и другие звёзды высокой светимости, отличающиеся различными особенностями в спектрах.

Работа мисс Анни Кэннон о спектрах наиболее ярких звёзд Магеллановых Облаков показала, что там среди звёзд обычных спектральных классов встречаются



Фиг. 19. Главная ось Большого Магелланова Облака (снято в Ареквипе).

в довольно значительном количестве также звёзды редких классов, которые в нашей собственной системе находятся главным образом, если не исключительно, в толще полосы Млечного Пути. Почти никогда их нельзя найти в высоких широтах, на значительных угловых расстояниях от Млечного Пути. Так как Облака находятся на значительном расстоянии от Млечного Пути, то мы находим в этом верный путь к отделению некоторых важных членов Магеллановых Облаков от большого количества проектирующихся на них звёзд нашей собственной системы. Если звезда необычайного спектрального класса, вроде новой звезды, классической цефеиды,

звезды типа Р Лебедя или звезды класса О, оказывается найденной в направлении Магеллановых Облаков, то мы можем сразу быть уверенными, что в действительности это член далёкого Облака, а не наш сосед — одна из звёзд переднего плана, составленного из звёзд нашей Галактики и проектирующегося на Облако. Таким же путём мы убеждаемся в действительной принадлежности к Облаку рассеянных звёздных скоплений и газовых туманностей, находимых в различных частях Облаков. Они не могут принадлежать к нашей собственной системе, потому что наши рассеянные звёздные скопления и газовые туманности очень редко находятся так далеко от Млечного Пути.

ТУМАННОСТЬ 30 ЗОЛОТОЙ РЫБЫ, ЗВЁЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ И НЕОБЫЧНЫЕ ЗВЁЗДЫ-ГИГАНТЫ

Самой заметной из газовых туманностей Магеллановых Облаков является туманность, которая носит обозначение 30 Золотой Рыбы. Она является и в действительности одним из двух или трёх самых грандиозных объектов этого рода, которые нам известны где бы то ни было во вселенной. Мы приводим фотографию этого величественного газового образования, полученную при помощи 60-дюймового рефлектора на южной станции Гарвардской обсерватории в Блумфонтейне, в Южной Африке (фиг. 20).

Расстояние Большого Магелланова Облака равно 75 000 световых лет, поэтому линейный диаметр этой широко растянувшейся туманности должен быть поразительно громаден. Сравним её с большой туманностью Ориона — великолепным объектом нашей собственной Галактики, отстоящим от нас приблизительно на одну тысячу световых лет. Обе они видимы невооружённым глазом, причём туманность Ориона кажется значительно ярче. Они имеют одинаковое газовое излучение, обе они связаны с плотной поглощающей материей, которая затемняет лежащие за ней звёзды. И та и другая туманности включают в себя яркие горячие звёзды и, несомненно,

обе туманности обязаны своим свечением высокотемпературной радиации этих звёзд. Но туманность Ориона по действительным размерам и количеству испускаемой радиации является пигмеем по сравнению с 30 Золотой



Фиг. 20. Деталь предыдущей фотографии — большая петлеобразная туманность.

Рыбы. Если бы последнюю поместить на месте туманности Ориона, она заполнила бы всё созвездие Ориона, а радиация от неё и от включённых в неё сверхгигантских звёзд была бы столь яркой, что давала бы заметные тени на земле. В нашей собственной Галактике мы не знаем ничего подобного, но очень далеко от нас, в неко-

торых других галактиках, мы нашли сверхгигантские газовые туманности, сравнимые с нею по величине.

Не так давно специальные фотографии в красном цвете, т. е. с красным фильтром, отсекающим голубую радиацию, из которой состоит преимущественно яркое газовое свечение, открыли нам в центре 30 Золотой Рыбы скопление не менее сотни сверхгигантских голубых звёзд, раскиданных на пространстве диаметром приблизительно в сто световых лет. Это грандиозное скопление гигантов в действительности примерно в сто раз ярче большого шарообразного скопления в Геркулесе. С большим правом, чем какое бы то ни было другое скопление звёзд в Большом Магеллановом Облаке, оно могло бы считаться ядром этой системы, хотя оно занимает и несколько эксцентрическое положение.

Магеллановы Облака содержат несколько, повидимому, типичных шаровых скоплений звёзд и многие десятки скоплений типа Плеяд. До сего времени мы знаем очень мало шаровых скоплений в Облаках; отдалённость и происходящая от этого компактность этих объектов делают их очень трудными для изучения. Зато значительное количество труда было посвящено каталогизации и измерению рассеянных скоплений; работы в этом направлении и сейчас деятельно развиваются. Один специальный результат этих исследований достоин упоминания, так как он имеет значение для исследования нескольких сотен рассеянных скоплений, известных нам до сего времени в нашей собственной галактической системе. Нужно будет, однако, предварительно отметить очевидную выгоду, которую представляет использование Магеллановых Облаков в качестве опоры для изучения организации нашей собственной Галактики.

Как было упомянуто выше, Облака содержат самые разнообразные звёзды, туманности и звёздные скопления. Хотя они и достаточно близки к нам, чтобы даже инструменты средней величины могли различать в них отдельные объекты, в то же время они и достаточно отдалены, чтобы мы могли рассматривать их объективно, со стороны. В этом и лежит их высокая ценность. Благодаря им можно, в некотором смысле, обойти тот вно-

сящий затруднения фактор, что мы наблюдаем объекты с самых различных расстояний — очень серьезная помеха в изучении ближайших звезд нашей собственной системы.

Мы можем с достаточным основанием предположить, что все звезды Магелланова Облака находятся приблизительно на одинаковом расстоянии от Земли. Тогда, если мы найдём, например, что звезды какого-нибудь особого типа кажутся отличающимися друг от друга по блеску, то это будет означать, что они и действительно разнятся друг от друга. Если на фотографической пластинке видимые звездные величины каких-нибудь звезд изменяются от 10-й до 17-й величины, то мы можем с достаточным основанием предполагать, что и абсолютные звездные величины самых ярких и самых слабых из этих звезд разнятся на 7 величин.

На самом деле Облака имеют какую-то толщину по лучу зрения, и звезда на передней стороне Облака будет несколько ярче, чем если бы она была на заднем краю. Но эта разница, зависящая от расположения звезд внутри Облака, сравнительно очень мала и ею вполне можно пренебречь при наших общих исследованиях. Мы можем сравнивать яркие и слабые звезды в Магеллановых Облаках, зная, что мы сравниваем их действительные яркости, и не считаться при этом с иллюзией, которую вносят существенно разные расстояния звезд от нас, как это бывает почти всегда внутри нашей Галактики.

Таким образом, сравнивая в Облаках звезду редкого класса О со стандартными звездами известной светимости, мы можем узнать, является ли такая звезда гигантом, сверхгигантом или обычной средней звездой. Это возможно и для многих других необычных объектов, истинный блеск которых мы хотели бы выяснить. Оба Облака дают таким образом исключительно счастливую возможность для сравнения яркостей разных редких необычных звезд и туманностей и приведения их к единой шкале. При обсуждении какой-нибудь эволюционной схемы или последовательности развития мы можем теперь быстро и уверенно оценить, где находится данный объект

в последовательностях яркостей и масс. Мы можем также иметь основания для суждения о том, на какой стадии развития этот объект находится.

Однако в настоящее время мы должны ограничить наши исследования светимостей только гигантскими и сверхгигантскими звёздами, потому что и эти ближайшие к нам галактики, тем не менее, столь удалены, что современные телескопы не могут дать на таких расстояниях изображений звёзд «главной последовательности», подобных нашему Солнцу. Мы вынуждены иметь дело только с такими звёздами, светимость которых больше светимости Солнца от 10 до 10 000 раз, и можем утешаться лишь тем соображением, что большая часть особенно интересных и важных звёзд относится именно к таким гигантам. Звёзды, подобные по светимости Солнцу, менее интересны и их чрезвычайно трудно наблюдать с расстояний, превышающих десять тысяч световых лет.

Возвращаясь к рассеянным звёздным скоплениям Большого Магелланова Облака, заметим, что, используя выгоды нашего внешнего положения, мы можем сравнить друг с другом размеры таких скоплений и блеск входящих в них индивидуальных звёзд, а отсюда сравнить и их суммарный блеск. Мы можем сравнить их также с рассеянными скоплениями нашей собственной Галактики — Плеядами и Гиадами. Исследования мои, а затем и д-ра Р. Дж. Трамплера на Ликской обсерватории показали, что все рассеянные звёздные скопления можно считать приблизительно одинаковых размеров, где бы они ни находились. С несколько меньшим основанием это можно сказать и про их блеск. Если же мы знаем, что дисперсия размеров и блеска звёздных скоплений около их средних значений не очень велика, то мы можем надеяться, что, используя эти средние значения и сравнивая их с измеренными угловыми размерами и блеском рассеянных звёздных скоплений нашего Млечного Пути, мы получим довольно верные оценки расстояний до этих скоплений. Этот метод надо рассматривать скорее как уловку, служащую для оценки расстояний отдалённых объектов, которые иначе было бы очень трудно определить. Он был бы совершенно точным,

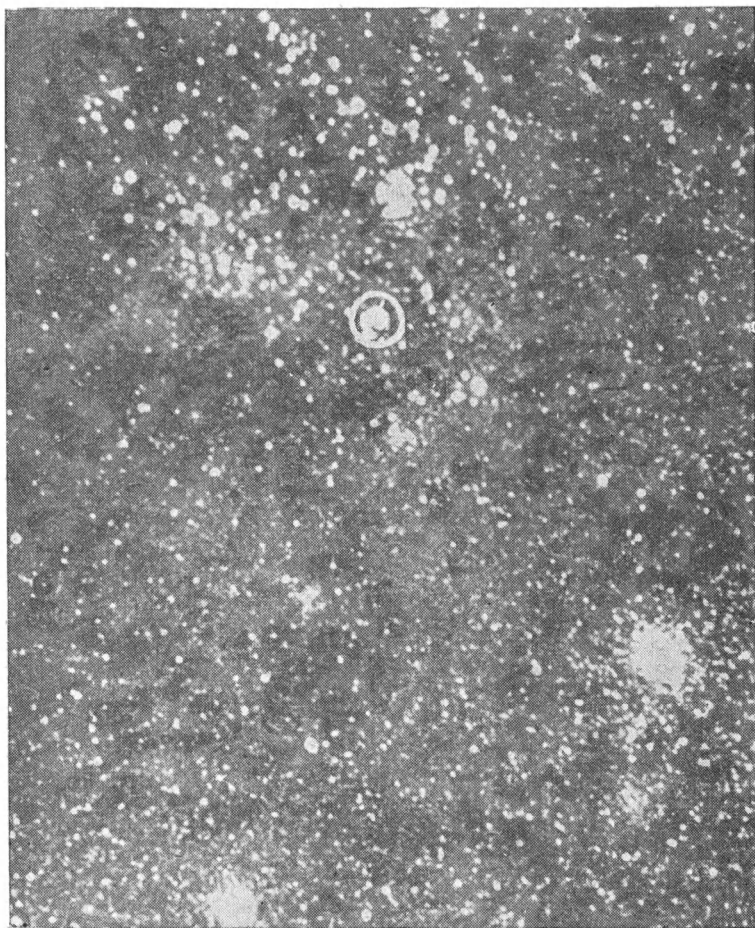
если бы все скопления были совершенно одинаковы, а пространство было свободно от пыли и газа.

В конце следующей главы мы снова прибегнем к этому методу, хотя и без особого успеха, и увидим, как глубокое изучение Магеллановых Облаков и учёт его результатов могут помочь нам лучше понять нашу собственную галактическую систему.

СВЕРХГИГАНТ S ЗОЛОТОЙ РЫБЫ

Прежде чем мы покинем звёздные скопления Большого Магелланова Облака, нам нужно обратить внимание на одно неправильное скопление, носящее номер NGC 1910 (фиг. 21). Оно имеет в диаметре около 200 световых лет и содержит не менее сотни гигантских и сверхгигантских звёзд. Особо замечательно оно необычайной звездой S Золотой Рыбы, которая является одной из самых ярких звёзд, известных во всей вселенной, хотя благодаря своей удалённости на 75 000 световых лет от нас она и представляется нам звёздочкой, значительно более слабой, чем доступные невооружённому глазу. S Золотой Рыбы является переменной звездой редкого типа, с неправильными колебаниями блеска и необычным спектром, типа Р Лебедя. Её видимый блеск колеблется от 8,2 до 9,4 звёздной величины, а в действительности она излучает в 500 000 раз больше света, чем Солнце, и по своим размерам она, несомненно, должна быть гигантом с диаметром, превосходящим, вероятно, диаметр орбиты Земли. Недавно д-р С. Гапошкин обнаружил, что эта звезда в действительности двойная, с одинаковыми компонентами, затемняющими взаимно друг друга с периодом в 40 лет.

S Золотой Рыбы является, несомненно, голубоватым, очень горячим и интенсивным излучателем энергии (или, вернее, парой излучателей). Многие красноватые сверхгигантские звёзды, рассеянные в облаке, испускают приблизительно столько же энергии, сколько и S Золотой Рыбы, но так как они являются гораздо менее интенсивными излучателями, то их диаметры должны быть соответственно гораздо больше, может быть, даже равными диаметру орбиты Юпитера. В этом случае большая



Фиг. 21. S Золотой рыбы — сверхгигантская переменная звезда, описанная в тексте, находится в центре кружка в рассеянном звёздном скоплении NGC 1910. В нижней части снимка видны два из шаровых скоплений Большого Магелланова Облака. Туманный фон снимка состоит из звёзд.

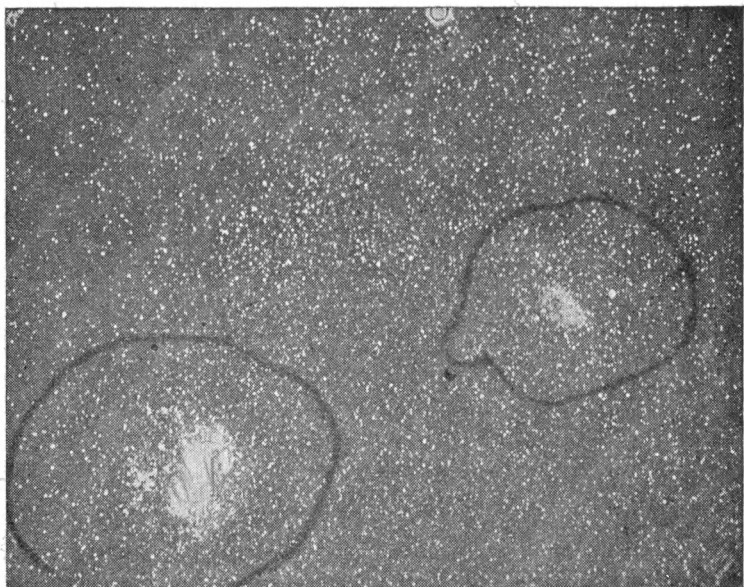
величина излучающей поверхности может объяснить наблюдаемое громадное количество энергии, испускаемой этими звёздами. Весьма вероятно, что многие из этих красных гигантов Магеллановых Облаков значительно превосходят по размерам самые крупные из ярких звёзд, соседних с Солнцем, даже такие огромные, как Антарес и Бетельгейзе. Совершенно несомненно, что они значительно превосходят такие звёзды по общему излучению.

Возможно, что S Золотой Рыбы была некогда сверхновой звездой. Несмотря на исключительно большую потерю энергии вследствие излучения, она не ослабела заметно за пятьдесят лет, в течение которых она наблюдается. Её спектр подтверждает её необычное происхождение. Некоторые обычные новые звёзды обнаруживают такое же очень медленное ослабление блеска после их взрывоподобного появления. Но нелегко представить себе двойную сверхновую звезду!

Как описано в следующей главе, с помощью переменных звёзд мы смогли определить расстояния до Малого Магелланова Облака в 84 000 световых лет, а до Большого — в 75 000. В этих цифрах есть некоторая неуверенность за счёт введённой поправки на поглощающие свет газы и пыль в нашем Млечном Пути. Эта межзвёздная среда снижает яркость объектов, видимых сквозь неё, так что они кажутся более слабыми (т. е. более далёкими), чем при совершенной прозрачности межзвёздной среды. Учёт поглощения был сделан на основании подсчётов далёких галактик на окружающем Облака фоне; техника его описана в одной из дальнейших глав. Поправка на этот эффект равна 0,3 звёздной величины.

Центры Облаков находятся друг от друга на расстоянии 21° , что соответствует приблизительно 30 000 световых лет. Расстояние же от края одного Облака до ближайшего края другого не превосходит диаметра Большого Облака. Мы вполне можем предположить, что оба эти объекта образуют двойную систему, связанную взаимным, хотя и очень слабым, тяготением.

В действительности, оба Облака гораздо ближе друг к другу, чем это может показаться на первый взгляд. Специальные фотографии и тщательные подсчёты слабых звёзд, а также упорные поиски отдалённых переменных звёзд и рассеянных скоплений значительно расширили



Фиг. 22. Расширенные площади Магеллановых Облаков и выступ у Малого Облака. Наверху у самого края Ахернар — α Эридана.

действительные пределы обеих систем. Таким образом, ныне каждое из Облаков представляется нам в виде неправильного сгущения звёзд, окружённого оболочкой, значительно менее населённой звёздами. Этот туман из звёзд окружает центральное образование, в котором концентрируется большая часть массы системы. Пределы, до которых раздвинуты границы Облаков исследованиями Гарвардской обсерватории, указаны на фиг. 22.

Дальнейшее продолжение Малого Магелланова Облака было обнаружено недавно на фотографиях с длительными экспозициями, сделанных в Южной Африке (некоторые из них экспонировались более двадцати часов). Это продолжение Малого Облака имеет вид крылышка, направленного в сторону Большого Облака, как это показано на рисунке. Оно показывает, что обе системы посредством этого слабого звёздного моста находятся почти в контакте.

Весьма возможно, что очень скоро мы сумеем показать, что внешние оболочки Магеллановых Облаков перекрывают друг друга, т. е. что оба видимых Облака являются лишь своего рода массивными неправильными ядрами во всеохватывающей оболочке. Как бы то ни было, сейчас представляется несомненным, что обе эти внешние галактики лежат внутри или у края звёздной оболочки нашей собственной галактической системы. Их расстояния от галактической плоскости равны приблизительно 40 000 и 60 000 световых лет; некоторые из наших шаровых скоплений и короткопериодических цефеид находятся на подобных же расстояниях от этой плоскости. Облака можно рассматривать как сравнительно небольшие спутники нашей гораздо большей Галактики, и нет сомнения, что они находятся под влиянием гравитационного поля последней. Эти соображения будут рассматриваться дальше, в 5-й главе, где мы будем изучать других соседей Млечного Пути.

Можно попытаться спросить, хотя и без надежды на непосредственный ответ, каково же было прошлое этих двух клочковатых галактик, которые лежат так близко от господствующей над ними нашей галактической системы? Каково их непосредственное будущее (в ближайший миллиард лет) и какова их окончательная судьба как членов метagalaktiki? Удаляются ли они от нас, сходятся с нами или движутся бок о бок? У нас есть на этот счёт лишь некоторые данные, которых недостаточно для решения наших вопросов.

Собственного движения Облаков до сего времени нельзя было с уверенностью обнаружить. В. Дж. Лейтен, пользуясь гарвардскими фотографиями, показал, что собст-

венное движение их исчезающе мало. Лучевые скорости Облаков измерялись Р. Э. Вилсоном по спектрограммам, полученным на южной станции Ликской обсерватории. Большое Магелланово Облако удаляется от Земли со скоростью около 270 км/сек , а Малое Облако, находящееся дальше от галактической плоскости, — со скоростью около 160 км/сек . Обе эти цифры отражают, главным образом, наше собственное быстрое движение внутри Галактики. Они измеряют скорость нашего вращения вокруг ядра Галактики, лежащего в направлении созвездия Стрельца. Исправляя их за наше вращательное движение, мы находим, что скорости Большого и Малого Облаков относительно ядра нашей Галактики равны приблизительно 0 и 59 км в секунду, соответственно.

Нужны более тщательные измерения лучевых скоростей, чтобы можно было с уверенностью сказать, что Малое Облако удаляется от нас. В этом отношении очень могут помочь также и измерения собственного движения. Через одно-два столетия положение выяснится с достаточной определённой.

3

МАСТЕРСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Как замечено в предыдущей главе, расположение Магеллановых Облаков в пространстве очень удобно для эффективного изучения структуры галактик, хотя их южное положение и делает их малодоступными для большинства астрономов. Отделяющее нас от Облаков расстояние — менее ста тысяч световых лет, и потому позволяет нам проводить изучение всех их гигантских и сверх гигантских звёзд. Их значительное угловое расстояние от звёздных облаков Млечного Пути освобождает Магеллановы Облака не только от влияния большей части газа и пыли, поглощающих свет в низких галактических широтах, но и от значительной части звёзд переднего плана, столь многочисленных вблизи Млечного Пути.

За последние десятилетия мы широко пользовались теми выгодами, которые представляет изучение этих соседних галактик. В результате такого изучения они оказались настоящим кладом для познания звёздной вселенной и послужили мастерской для создания очень важных астрономических методов. Мы увидим, что гипотезы, выводы и техника, выросшие на изучении звёзд Магеллановых Облаков, используются как для раскрытия тайны нашей собственной галактической систе-

мы, так и для понимания более отдалённых галактик. Представляется несомненным, что дальнейшие исследования этих двух внешних систем принесут в будущем новые открытия. Эти системы могут изучаться детально благодаря их близости и объективно вследствие их внешнего положения относительно нашей галактики.

Полезно, которую принесли Магеллановы Облака для решения проблем космогонии, может быть иллюстрирована следующим неполным списком, в котором мы укажем вклады в познание звёзд и галактик, внесённые изучением Облаков. Мы приведём их сейчас, не останавливаясь на объяснении отдельных пунктов и их значении:

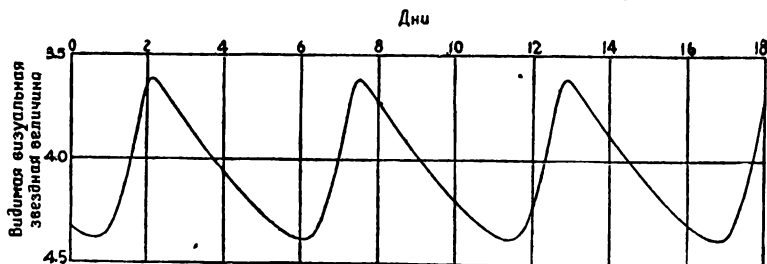
1. Связь между периодом и светимостью.
2. Общая кривая светимости, т. е. относительное число звёзд в последовательных интервалах блеска.
3. Внутренние движения в неправильных галактиках.
4. Сравнительное изучение размеров, светимостей и типов рассеянных звёздных скоплений.
5. Частота цефеид, т. е. число переменных цефеид по сравнению с числом гигантских звёзд других типов, такой же массы и блеска.
6. Зависимость характеристики кривой блеска цефеид от длины периода.
7. «Истинные» частоты периодов цефеид.
8. Зависимость периодов цефеид от их местоположения в галактике.
9. Интегральная светимость шаровых скоплений.
10. «Звёздный туман», окружающий галактики.

Почти все эти темы могут изучаться в Магеллановых Облаках лучше, чем где бы то ни было. О многих из них удобнее говорить в специальных работах, чем здесь. Некоторые из них касаются проблем звёздной эволюции, другие — размеров и структуры галактик. Многие из этих вопросов ещё ждут своего решения в недалёком будущем, и хотя почти все они имеют большое значение для космогонии, только немногие из них мы можем рассмотреть более или менее подробно в этой главе.

ОБИЛИЕ ЦЕФЕИД

Наиболее заметной особенностью Магеллановых Облаков, несомненно, является сравнительно большое число гигантских переменных звёзд, почти исключительно типа цефеид. Они легко доступны для подробного исследования и заметным образом выделяются среди ярких звёзд этих галактик. Практически все цефеиды в Магеллановых Облаках видны на хорошей фотографии, снятой с часовой экспозицией на Брюс-телескопе в Блумфонтейне.

В каждом из Облаков находится более чем вдвое больше типичных цефеид, чем их известно до сего времени

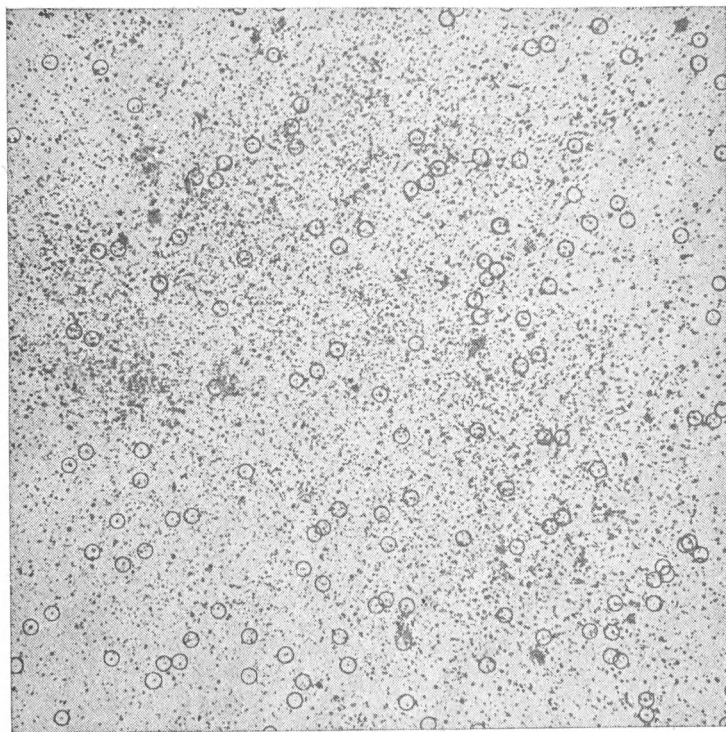


Фиг. 23. Кривая блеска типичной цефеиды, которая в течение столетий будет с монотонной точностью повторять свои колебания с периодом 5,37 дня.

во всей нашей, гораздо большей по размерам Галактике. Опись цефеид в Облаках исчерпывает их почти полностью, тогда как сведения о них в нашей галактической системе отрывочны и очень неполны. Их полноте серьезно мешает наличие межзвёздных скоплений поглощающей материи вдоль Млечного Пути, где преимущественно концентрируются типичные цефеиды. До сего времени обнаружено, вероятно, менее половины цефеид системы Млечного Пути.

Не менее 90% переменных звёзд, открытых в Магеллановых Облаках, являются типичными или «классическими» цефеидами (с периодами от одних до пятнадцати суток). В окрестностях же Солнца имеется лишь несколько этих

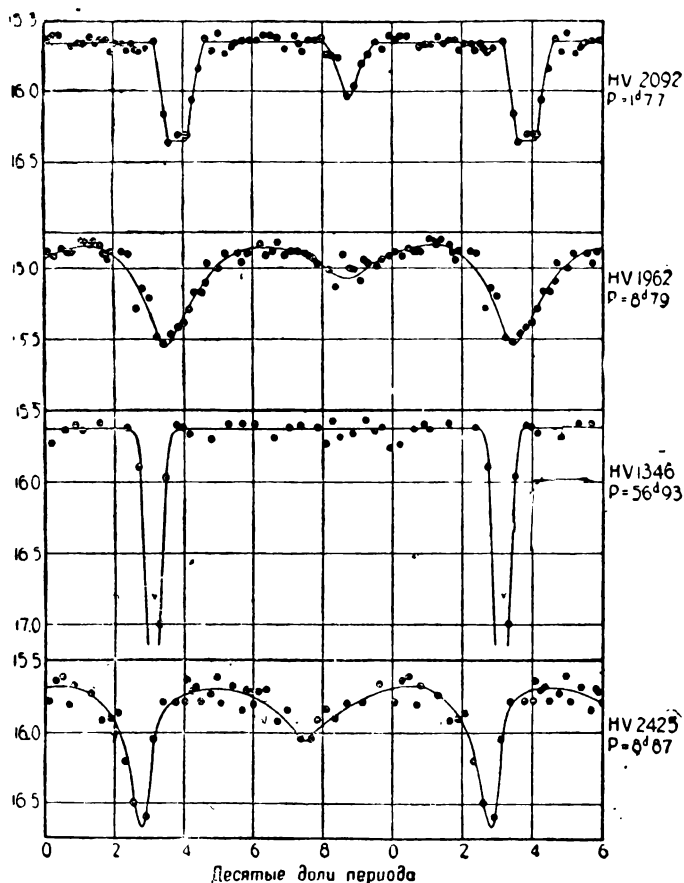
пульсирующих звёзд; к ним относятся Полярная звезда и δ Цефея, по которой получил название и весь класс. Согласно современным описаниям переменных звёзд в окрестностях Солнца, как и всюду в галактической си-



Фиг. 24. Кругками отмечены цефеиды в центральном ядре Малого Облака. Можно видеть также несколько газовых туманностей.

стеме, переменные других типов встречаются гораздо чаще, чем цефеиды. В галактической системе имеются сотни затменных переменных, тогда как в Магеллановых Облаках их известно лишь несколько, причём принадлежность их к Облакам ещё сомнительна. Мы имеем у себя более

тысячи короткопериодических цефеид, тогда как до сего времени в Магеллановых Облаках не обнаружено с уве-



Фиг. 25. Кривые блеска четырёх затменных переменных, которые были найдены в Малом Облаке наряду с очень большим количеством переменных типа цефеид. Вероятно, это «наши» переменные, проектирующиеся на гораздо более отдалённую внешнюю галактику.

ренностью ни одной такой звезды. Наконец, в галактической системе встречаются в большом количестве долгопе-

риодические переменные — звёзды, которые служат предметом тщательного внимания организованных наблюдателей переменных звёзд; таких звёзд мы практически не встречаем в Облаках.

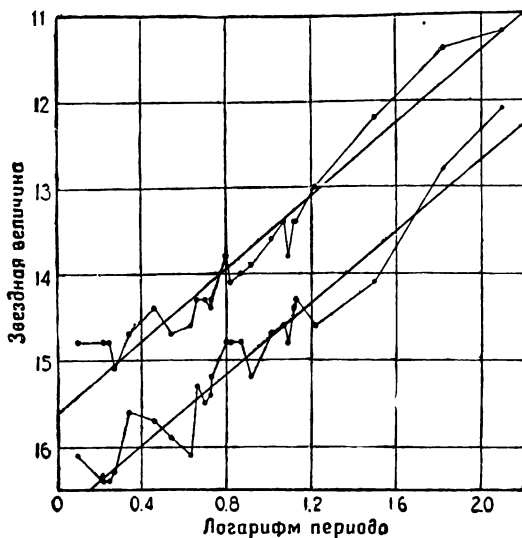
Показывает ли это преобладание в Магеллановых Облаках классических цефеид, что состав звёзд в неправильных галактиках по существу отличен от состава системы Млечного Пути? Этого заключения ещё нельзя сделать. Отсутствие в наших описях звёзд Облаков долгопериодических и затменных переменных может быть легко объяснено тем, что звёзды этих типов обладают сравнительно малой светимостью. Даже в максимуме блеска они недостаточно ярки, чтобы попасть в заметных количествах на наши фотографии Магеллановых Облаков. Мы фотографируем почти исключительно гиганты, которые в сто и более раз ярче Солнца.

СВЯЗЬ МЕЖДУ ПЕРИОДОМ И СВЕТИМОСТЬЮ

Через несколько лет после того, как мисс Ливитт открыла 1777 переменных звёзд в обоих Магеллановых Облаках и опубликовала их опись, она представила результаты исследования периодов некоторых из этих переменных. Для изучения она выбрала самые яркие переменные, а также несколько более слабых. Она сразу же обнаружила тот интересный факт, что если средний блеск данной переменной велик, то промежуток времени между двумя последовательными максимумами её блеска оказывается большим по сравнению с соответственным промежутком для более слабой звезды. Чем слабее переменная, тем короче её период.

График результатов, полученных мисс Ливитт для 25 переменных, воспроизведён на фиг. 26. Он имеет историческое значение. Мисс Ливитт и проф. Э. Пикеринг сразу же осознали, что если периоды изменения блеска зависят от самого блеска, то они должны быть связаны также и с другими физическими характеристиками звёзд: массой, плотностью и размером. Но, повидимому, они не предвидели, что эта связь между видимым блеском и периодом явится ключом к созданию одного из самых мощ-

ных астрономических орудий для измерения вселенной. Они не установили идентичности этих переменных из Магеллановых Облаков с давно известными переменными окрестностей Солнца — цефеидами. Они просто нашли любопытную особенность у звёзд Малого Магелланова Облака.

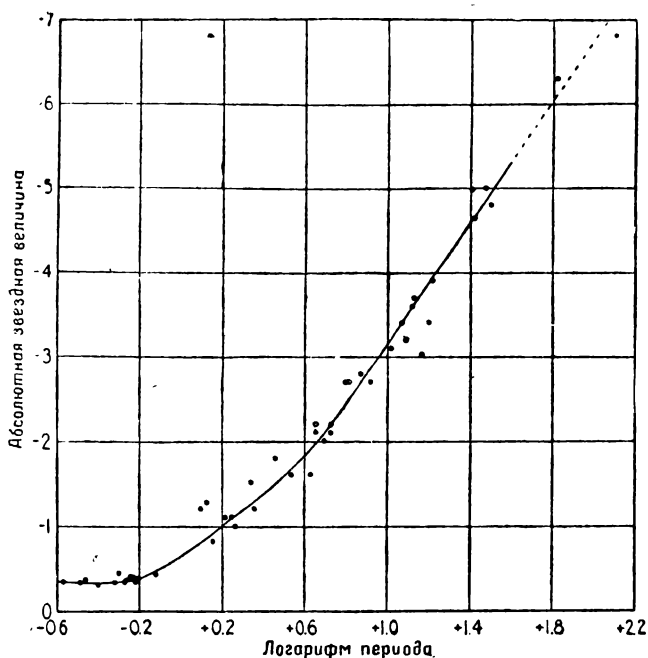


Фиг. 26. Оригинальный чертёж мисс Ливитт, показывающий для 25 переменных звёзд в Малом Облаке отдельно для максимумов и минимумов зависимость между фотографической звёздной величиной и логарифмом периода.

Вскоре после того как мисс Ливитт опубликовала открытую ею зависимость между периодом и звёздной величиной для небольшой части переменных звёзд, которые она открыла в Малом Магеллановом Облаке, проф. Эйнар Герцшпрунг и другие исследователи установили, что цефеиды системы Млечного Пути являются звёздами-гигантами. Это заключение с очевидностью вытекало из их движения и спектральных особенностей. Если галактические цефеиды и переменные Облаков сравнимы друг

с другом, то эти объекты 15-й и 16-й величин должны быть тоже гигантами. В таком случае они должны находиться на очень большом расстоянии, чтобы казаться столь слабыми.

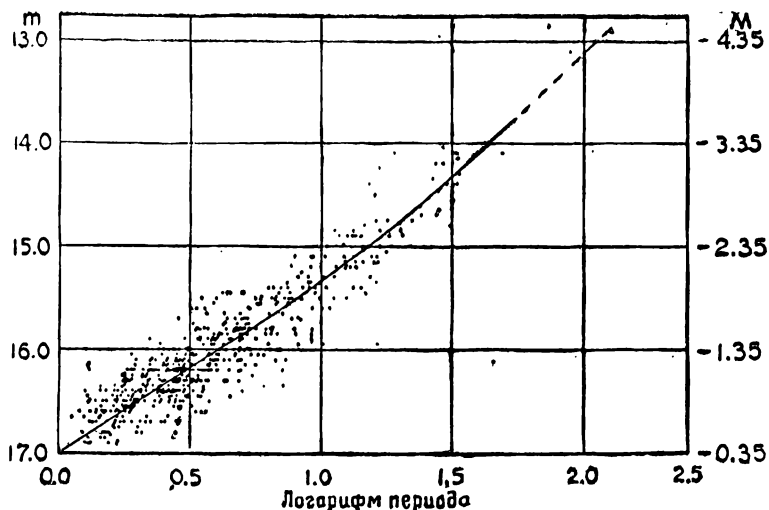
Автор этой книги продолжал эти исследования и дополнил работу мисс Ливитт изучением сходных перемен-



Фиг. 27. Зависимость период — светимость, выведенная по 25 герменным Малого Облака и цефеидам шаровых скоплений и галактической системы. Ординаты дают визуальные звёздные величины в абсолютной шкале.

ных звёзд, которые были найдены Бейли и другими в шаровых звёздных скоплениях. Большинство этих переменных относится к типу короткопериодических цефеид с периодами менее суток. Но среди них есть немного и классических цефеид; это дало возможность сопоставить все данные для получения общей кривой зависимо-

сти период — светимость.³ Новое исследование окончательно связало в один ряд как классические, так и короткопериодические цефеиды, несмотря на возражения, которые этот взгляд встречал в течение некоторого времени. Эти возражения питались подозрениями в том,



Фиг. 28. Современная диаграмма зависимости период — светимость, основанная, подобно кривой фиг. 26, только на Малом Облаке. Указаны как видимые, так и абсолютные величины (фотографические).

Существенно, что отдельные точки разбросаны около кривой.

что короткопериодические цефеиды являются карликами раз в 10 слабее того, чем это было принято мною. Новая работа превратила зависимость между периодом и видимой звёздной величиной в зависимость между периодом и светимостью. Моя первая кривая, определяющая эту зависимость, воспроизведена на фиг. 27. Фиг. 28 представляет наиболее существенную часть этой кривой, улучшенную по последним данным.

Кривая 1917 г. (фиг. 27) основана только на 25 переменных в Малом Облаке и небольшом количестве цефеид из галактической системы и разных шаровых скоплений.

Кривая же 1942 г. (фиг. 28) выведена по 564 переменным Малого Облака, изучение которых потребовало около 40 тысяч оценок блеска звёзд и установления однородной системы стандартов звёздных величин в Облаке.

Общий ход кривой зависимости период — светимость никогда не вызывал особого сомнения, но её нуль-пункт, начало её отсчёта, часто был под вопросом. Небольшое изменение первоначальной величины было сделано автором несколько лет назад.

Недавние обширные исследования, главным образом д-ра Ральфа Э. Вилсона, занимавшегося соседними галактическими цефеидами, показали, что с улучшенным значением нуль-пункта всё обстоит в порядке, и во всяком случае в настоящее время оно вполне удовлетворительно. Вопрос этот имеет громадное значение, потому что нуль-пункт зависимости период — светимость устанавливает абсолютную шкалу расстояний галактик. Без уверенности в значении нуль-пункта мы, пользуясь цефеидами, можем точно получить лишь отношения этих расстояний. Таким образом правильность всех громадных расстояний, с которыми ныне имеют дело космогонисты, по существу зависит от определения нами абсолютных звёздных величин цефеид, соседних с Солнцем. Необходимо отметить, что это определение светимостей соседних цефеид производится почти исключительно теми методами, которые в наше время называют подчас «старомодной астрономией», — точным измерением положений, параллаксов и движений ярких звёзд.

Теперь мы покажем, как на практике пользуются кривой период — светимость (фиг. 28) для измерения расстояний цефеид в нашем Млечном Пути или расстояния какой-нибудь далёкой внешней галактики, подобной туманности Андромеды. Это делается очень просто, раз установлена и тщательно прокалибрована зависимость между периодом и светимостью. Прежде всего должна быть найдена переменная звезда в нашей Галактике или в какой-нибудь другой. Затем, получив около сотни наблюдений блеска этой звезды в разные моменты, проверяют, действительно ли относится она к классу цефеид.

Затем, пользуясь точной шкалой звёздных величин, мы определяем амплитуду колебаний и среднее арифметическое между её звёздными величинами в максимуме и минимуме. Эта *средняя видимая величина*, *т*, которая теперь почти всегда определяется фотографическим путём, составляет половину необходимого наблюдательного материала.

Другой необходимый элемент — *длина периода*, *P* — тоже определяется по наблюдениям блеска звезды. Зная период и его логарифм, мы непосредственно получаем абсолютную звёздную величину *M* из кривой чертежа 28 или из таблицы или формулы, основанной на средней кривой этого чертежа. Например, простая формула

$$M = -0,28 - 1,74 \lg P$$

достаточно удовлетворительно представляет абсолютные звёздные величины всех цефеид с периодами от 1,2 до 40 суток.

Определив таким образом по длине периода абсолютную величину звезды, мы вычисляем расстояние по следующей, столь же простой формуле:

$$\lg d = 0,2 (m - M - \delta m) + 1,$$

где *d* есть расстояние звезды, выраженное в парсеках, а δm — поправка, которую нужно прибавлять к наблюденной средней звёздной величине *m* для учёта поглощения света звезды пылью и газом межзвёздного пространства *).

Если пространство практически прозрачно, как это имеет место в направлениях к полюсам Галактики, то δm может быть принято равным нулю, что упрощает вторую формулу. В тех направлениях, где поглощение имеет заметную величину, мы часто оказываемся в затруднении, потому что значение δm определить трудно.

*) Вывод этой основной формулы дан в книге Б. Бок и П. Бок «Млечный Путь» и в различных курсах.

Если же мы пренебрежём этой поправкой, то получим не действительное расстояние, а только его верхний предел. Так, для галактических цефеид в облаках Млечного Пути, где имеется много поглощающего материала, мы таким путём можем определить только то, что цефеиды удалены на расстояние, не большее, чем вычисленное. Если δm велико, то в действительности они могут быть гораздо ближе.

Для цефеиды, находящейся в звёздном скоплении или в какой-нибудь внешней галактике в направлении, далёком от обильных поглощающей пылью звёздных облаков Млечного Пути, — например в шаровом скоплении Мессье 3 (фиг. 29), мы можем с уверенностью принять, что δm меньше 0,2, и по приведённым формулам довольно точно вычислить расстояние этой цефеиды. Мы тогда, без всяких дальнейших измерений, будем знать не только расстояние этой цефеиды, но и всего скопления, состоящего из сотен тысяч и более звёзд.

Итак этот могущественный фотометрический метод, основанный на цефеидах, требует только определения из наблюдений периодов и видимых звёздных величин; по этим данным непосредственно вычисляются светимости и расстояния.

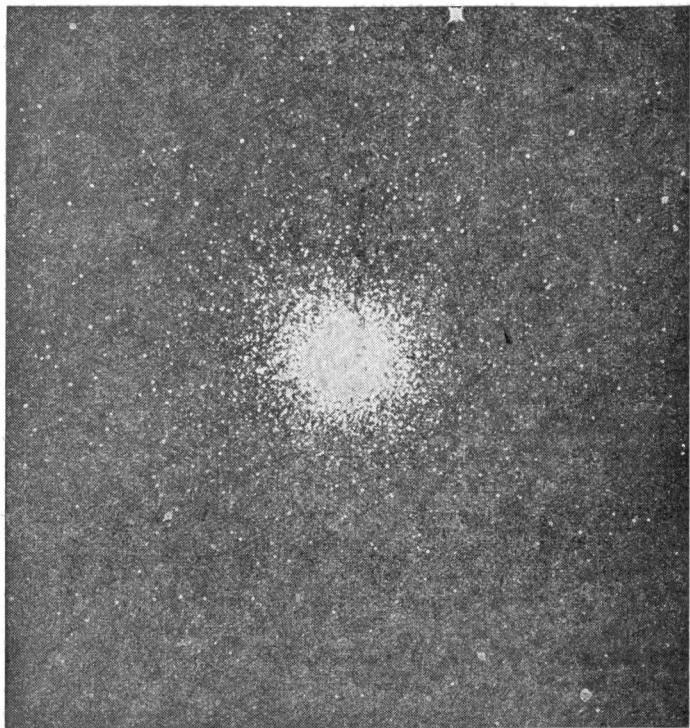
Так как с современными телескопами могут открываться и изучаться цефеиды со средними фотографическими величинами до девятнадцатой величины и такие цефеиды могут иметь периоды до 40 дней, то мы можем при помощи зависимости период — светимость непосредственно измерять громадные расстояния. Например, период в 40 дней даёт согласно первой формуле:

$$M = -0,28 - 1,74 \times 1,60 = -3,06.$$

Тогда вторая формула даст для звезды вдали от Млечного Пути:

$$\lg d = 0,2(19,0 + 3,06) + 1 = 5,412.$$

Таким образом расстояние, которое может быть измерено при помощи этой сверхгигантской цефеиды, равно 260 000 парсеков или приблизительно 850 000 све-



Фиг. 29. Шаровое скопление М 3, одно из самых ярких на северном небе, известное своими двумя сотнями короткопериодических цефеид.

товых лет. Вероятная погрешность этого результата, выраженная в процентах, будет значительно меньше, чем вероятная погрешность измерения старым тригонометрическим способом расстояния в тысячу световых лет. Мы видим, что Магеллановы Облака снабдили астрономов очень мощным рабочим инструментом.

МНОГИЕ ЛИ ГИГАНТСКИЕ ЗВЁЗДЫ ЯВЛЯЮТСЯ ЦЕФЕИДАМИ?

Восемьсот переменных звёзд, найденных мисс Ливитт при её первом обследовании Большого Магелланова Облака, были равномерно распределены по всему Облаку, как оно обычно представляется глазу или фотографируется. Несколько таких переменных были найдены и вне этих обычных границ. Фотографии, на которые опиралась работа мисс Ливитт, были немногочисленны. Много лет спустя с помощью новых фотографий оказалось возможным заново исследовать эту галактику и составить более полную перепись её цефеид. Гарвардские астрономы довели число известных переменных до 1346, сделав около 20 000 оценок звёздных величин в процессе подтверждения реальности подмеченных колебаний блеска. Все эти звёзды и около 150 таких, которые можно подозревать в переменности, нанесены (фиг. 30) на специальную диаграмму, которая выявляет основные структурные особенности Облака. Эту диаграмму можно непосредственно сравнить с фотографией Облака на фиг. 31.

В настоящее время известно, как это было показано на фиг. 22, что в действительности Облако занимает площадь, гораздо обширнее той, которая очерчена на фиг. 30. Главное тело системы лежит, однако, внутри нанесённой границы, охватывающей также и большую часть открытых переменных звёзд. На фотографии видно, что в центре Облака имеется основная ось, обведённая на диаграмме жирной сплошной линией. Имеются там и области большой плотности, отмеченные более тонкими сплошными границами, и площади, показанные пунктирными границами, средние по плотности между этими областями и общим полем Облака. Изучая по фотографии, как распределены переменные звёзды по этим областям, мы должны помнить, что на ней находятся и несколько тысяч звёзд нашей собственной галактической системы, проектирующихся на фон Облака.

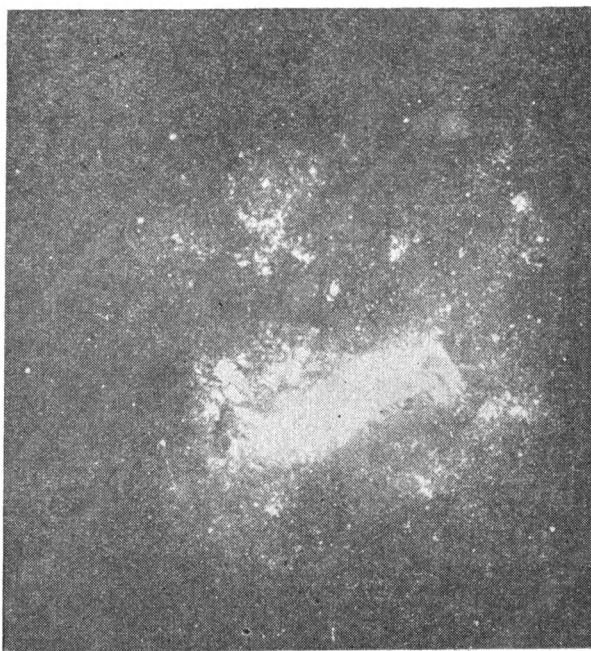
При анализе распределения переменных звёзд мы имеем удачную возможность сделать то, что лишь с боль-

шими затруднениями могло бы быть выполнено в нашей собственной галактической системе. Мы можем определить частоту цефеид по отношению к числу непременных звёзд. Оказывается, что около 2% всех сверхгигантских звёзд Большого Магелланова Облака между 13-й и 16-й



Фиг. 30. Схематическая карта Большого Облака с указанием положений цефеид. Верхняя часть Облака ещё не изучена подробно в отношении переменных звёзд.

фотографическими величинами являются цефеидами. Эта пропорция изменяется в зависимости от выбранного участка Облака, возрастая до 4% вдоль центральной оси и падая ниже 0,5% в наиболее разрежённых местах. Эта концентрация цефеид в наиболее плотных областях подобна известной тенденции классических цефеид нашей собственной системы скопляться в звёздных областях вдоль Млечного Пути.



Фиг. 31. Большое Магелланово Облако, сфотографированное в том же масштабе, в каком дана схема на противоположной странице. На обеих фигурах можно выделить ось, области, заполненные звёздными скоплениями, и обширные, сравнительно пустые пространства.

КАКОЙ ПЕРИОД ВСТРЕЧАЕТСЯ ЧАЩЕ ВСЕГО?

После многих лет упорного изучения переменных звёзд Магеллановых Облаков мы теперь можем с успехом исследовать как распределение цефеид по звёздной системе, так и распределение продолжительности их периодов. Мы пользуемся при этом, однако, не Большим Облаком, где до настоящего времени определено ещё слишком мало периодов, а Малым, в котором ныне известны периоды более чем 600 переменных.

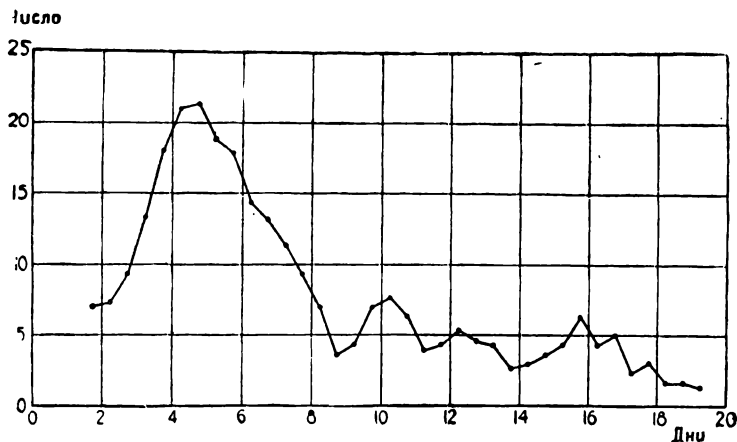
При этом изучении переменных звёзд Малого Облака мы прежде всего смотрели, не изменяется ли кривая период — светимость по форме или в отношении нуль-пункта от одного места Облака к другому. По какой-нибудь причине кривая могла бы быть, например, более пологой у краёв Облака, чем в центре. Или в какой-нибудь части Облака поглощающая материя могла ослабить все звёздные величины, снизив тем самым значение нуль-пункта, тогда как другой участок Облака был бы совершенно свободен от поглощения. Мы даже надеялись, предпринимая это исследование, найти в том или ином месте признаки заметных изменений кривой период — светимость. На этих изменениях мы могли бы построить хороший метод для измерения поглощения, вызываемого пылевыми частицами и газами в галактиках. Но никаких заметных изменений не было найдено. Нуль-пункт и ход кривой были одинаковыми как в самых плотных, так и в разрежённых внешних частях Облака. Если в Малом Магеллановом Облаке и есть пространственное поглощение, то оно должно быть в среднем довольно равномерно распределено по всему Облаку и не сконцентрировано ни на его периферии, ни в областях высокой звёздной плотности.

Недавно при изучении переменных звёзд Малого Магелланова Облака, которое проводилось автором с помощью мисс Виргинии Маккиббен, выявилось неожиданное явление. Мы и до сих пор ещё не знаем, что собственно это открытие означает. Повидимому, мы сделали два новых вклада в дело познания цефеид, которые продолжают оставаться самым важным классом известных астрономам звёзд.

Прежде всего мы нашли, что описи цефеид в галактической системе привели нас, повидимому, к ошибочному представлению о законе распределения их периодов. В течение многих лет мы молчаливо подразумевали, что распределение периодов таково, как на кривой фиг. 32, которая представляет сводку всех имеющихся данных для классических цефеид в системе Млечного Пути. Она показывает, что наиболее часто встречаются периоды от 4 до 5 суток; далее замечается определённая малочи-

сленность периодов между 1,0 и 2,5 суток, что всегда подчёркивалось как важная характеристика цефеид. Затем на кривой частоты имелся минимум около 9 суток и, как будто; два небольших максимума около 10 и 16 суток.

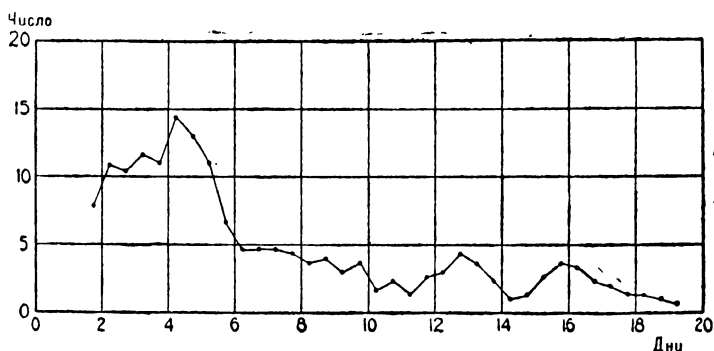
Предварительное обследование распределения периодов в Малом Магеллановом Облаке дало очень сходные результаты (фиг. 33). Казалось бы, мы имеем в этой форме



Фиг. 32. Частота периодов цефеид в галактической системе. Несколько цефеид с периодами, превышающими 20 дней, и многие короткопериодические цефеиды с периодами короче одного дня не нанесены на чертеже.

кривой частот «закон природы». Но очевидно, что вследствие эксцентричного нашего положения в галактической системе, большого размера этой системы и её запылённости мы можем произвести только очень неполную перепись галактических цефеид и получить очень ненадёжные сведения о распределении их периодов. Повидимому, первая сотня переменных звёзд Малого Магелланова Облака, периоды которых были измерены, подобралась так, что и здесь мы имели незаконченную картину.

Для уточнения вопроса нужно было определить все периоды всех известных цефеид в нескольких равномерно распределённых участках Малого Облака, и такой большой и надёжный образец мог бы дать истинную картину. Мы это сделали и получили результат, изображённый на фиг. 34, где сплошная линия представляет полученное распределение периодов в Малом Облаке, а пунктирная даёт для сравнения ход кривой частот для галактических цефеид. Таким образом истинная, или почти истинная, кривая распределения периодов даёт



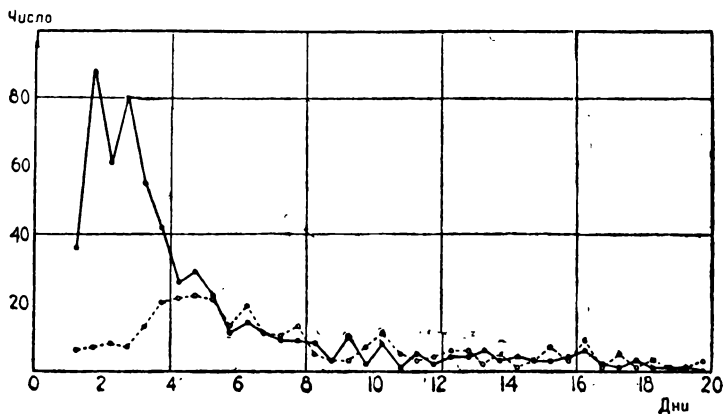
Фиг. 33. Распределение периодов в Малом Облаке по первоначальным исследованиям. Как и на фиг. 32, координатами являются число переменных и периоды, выраженные в днях.

максимум около двух суток, где раньше был минимум; она не обнаруживает ни минимума около 9 дней, ни максимума около 10.

Может быть, мы преувеличиваем значение распределения периодов. Но мы должны помнить, что цефеиды с их периодическими изменениями излучения, размера и температуры играют всё более важную роль как своего рода космические лаборатории. Многие теоретические исследования внутреннего строения звёзд и механизма звёздного излучения связаны с периодами цефеид и характером их изменений. Очень важно знать, что в действительности наиболее частый период цефеид на 2—3 дня короче, чем это вытекало из предыдущих исследований,

и что наиболее частые значения их плотности, размера и поверхностной температуры существенно отличны от тех, которые мы предполагали ранее. Полярная звезда с периодом 3,97 суток и δ Цефея с периодом 5,37 суток совсем не являются типичными цефеидами для всей вселенной.

Эта проблема может, однако, оказаться более сложной, чем это теперь кажется. В Большом Магеллановом Об-



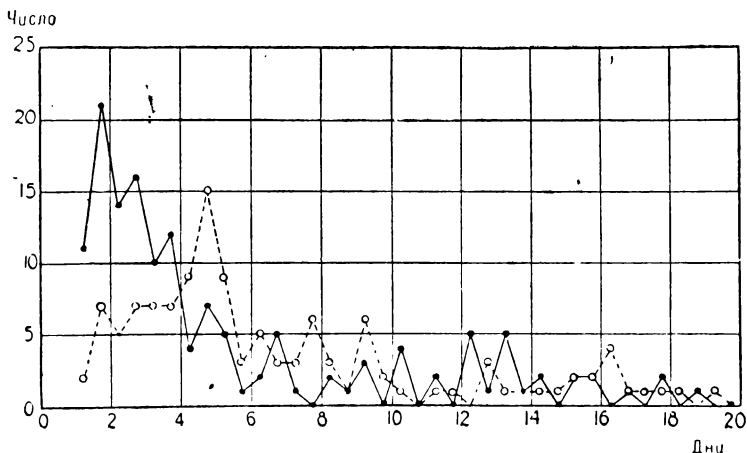
Фиг. 34. Позднейший вид кривой распределения периодов в Малом Облаке, значительно отличающейся от соответственной кривой для галактической системы, которая нанесена пунктирной линией с кружками.

лаке, где определено до настоящего времени 137 периодов, только один из них оказался короче 2,5 суток. Необходимо продолжить исследования для окончательной проверки этого неожиданного результата. Другие внешние галактики столь далеки от нас, что более слабые, быстро пульсирующие звёзды этих галактик ещё недоступны нашим телескопам.

Во всяком случае наш ларец сокровищ наградил нас ещё одним замечательным фактом, который может оказаться очень полезным орудием при исследовании недр звёзд.

ИНДИКАТОР ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ИЛИ ЧТО-ТО ИНОЕ?

Вторым интересным выводом из наших исследований распределения периодов является открытие, что *в среднем* цефеиды в областях высокой концентрации звёзд и, следовательно, значительного потенциала силы тяготения имеют определённо более длинные периоды, чем цефеиды



Фиг. 35. Распределение периодов во внутренней и внешней частях Малого Облака. Пунктирная линия соответствует внутренней области.

во внешних областях с низкой концентрацией. На фиг. 35 разница видна отчётливо. Сплошная линия представляет полностью исследованные области у краёв Малого Облака, в которых с трудом можно различить, где ещё имеется Облако и где начинаются только звёзды проектирующего поля нашей галактической системы. В этих внешних областях преобладают очень короткие периоды. Пунктирная линия показывает распределение периодов в самых внутренних частях главного тела Облака; здесь короткие периоды более редки. Удивительно, что могут существовать такие большие различия в среднем периоде, потому что они означают соответственные большие различия в

средней массе и светимости. Они подсказывают, что прошлая история этой звёздной системы начертана в её цефеидах, но мы, увы, ещё не знаем, как прочесть эти письма.

Может быть, в течение гипотетического «до-звёздного» состояния галактики её более массивный центр и периферия отличались по относительному содержанию различных химических элементов; может быть, размеры звёзд и скорость их эволюции как-то зависели от химического состава материи, из которой они сконденсировались. Эту точку зрения можно поддержать и другими соображениями.

Но может также быть, что вселенная очень стара и что динамические явления в истории Малого Магелланова Облака привели к тому положению, что менее массивные цефеиды с более короткими периодами оказались отброшенными во внешние области (где мы их теперь находим в таком изобилии) в результате встреч с более массивными звёздами центра, включавшими и цефеиды с более продолжительными периодами. Говоря иначе, может быть, эта странная особенность отражает действие принципа «равнораспределения энергии».

Но возможна и какая-нибудь другая, более удачная, интерпретация открытого явления, так как ни одна из приведённых гипотез не является окончательной. Очевидно, мы будем лучше подготовлены к обсуждению этого явления, если мы улучшим материал, даваемый наблюдениями. Надо определить положения, периоды и средние звёздные величины нескольких сотен остальных цефеид, открытых в Малом Магеллановом Облаке, и более глубоко использовать тот материал, который может дать Большое Облако по вопросу о распределении периодов.

Забегая несколько вперёд, мы можем здесь заметить, что ныне имеются доказательства, что и в нашей галактической системе массивные долгопериодические цефеиды обнаруживают сгущение в направлении ядра Галактики. Независимо от того, ответственны ли за это явление астрохимия или динамика галактик,—оно обещает стать очень важным орудием астрономического исследования.

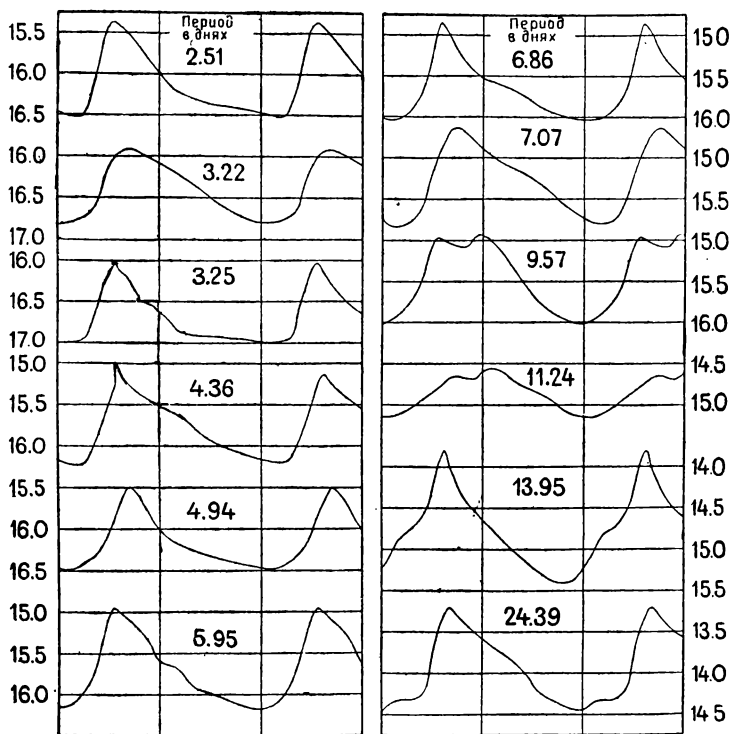
КРИВЫЕ БЛЕСКА ЦЕФЕИД

Если светимость и местоположение в звёздном поле тесно связаны с длиной периода цефеиды, то представляется возможным, что характер изменений блеска тоже зависит от длины периода. Несколько лет назад, занимаясь галактическими цефеидами, Герцшпрунг обнаружил наличие прогрессивного изменения формы кривой блеска параллельно с изменением длины периода. Кривые блеска для звёзд с периодом около 10 дней были обычно симметричными, тогда как для звёзд с периодами от 15 до 20 дней они обнаруживали большие амплитуды и определённую асимметрию.

Сравнительное изучение кривых блеска цефеид в Млечном Пути страдает от разных трудностей, связанных с применением фотографической фотометрии. Особенно трудно точное сравнение одной переменной с другой, если они далеко отстоят друг от друга. Сравнения могут быть сделаны с гораздо большим удобством в Магеллановых Облаках, где цефеиды с разными периодами близки друг к другу, все находятся на одной и той же фотографической пластинке и все легко могут быть изучены с помощью одной и той же серии стандартных звёзд сравнения.

Изучение кривых блеска цефеид в Магеллановых Облаках с целью сравнения их особенностей ещё мало продвинуто и не достигло высокой точности. На фиг. 36 дан, однако, небольшой ряд тщательно определённых кривых. Ординаты и абсциссы представляют, как обычно, блеск в звёздных величинах и время в долях периода переменной (фазу). Благодаря этому кривые блеска имеют одинаковую длину по горизонтали, какова бы ни была длина периода. Оказывается, что кривые блеска до некоторой степени отличаются друг от друга, даже при одной и той же длине периода. Таким образом цефеиды, повидимому, представляются очень индивидуализированными объектами. Однако есть и такие черты формы кривых, которые изменяются параллельно изменению периода. Мы видим также на диаграмме, что чем длиннее период, тем ярче звезда как в максимуме и в минимуме,

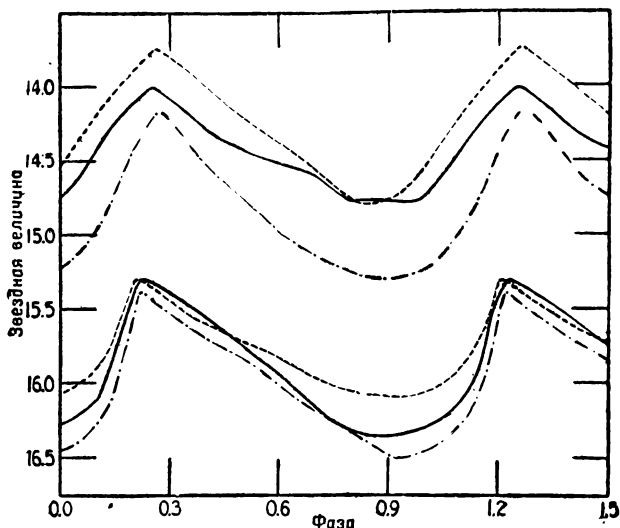
так, следовательно, и в среднем. Это постепенное изменение блеска выражает, конечно, в основном хорошо известное соотношение между периодом и светимостью.



Фиг. 36. Избранные кривые блеска цефеид Большого Облака, которые иллюстрируют разнообразие кривых и особую их форму для периодов, близких к 10 дням. Горизонтальная шкала выражена, как обычно, в долях периода.

Индивидуальность отдельных цефеид иллюстрируется также фиг. 37, где показано, как шесть звёзд почти в точности одинакового периода значительно различаются по блеску, хотя все они, конечно, находятся практи-

чески на одинаковом расстоянии от нас. Три из них ярче, а три значительно слабее средней величины. Является ли эта разница в блеске реальной или только видимой? Разумеется, яркие звёзды могут находиться на ближай-



Фиг. 37. Шесть кривых блеска цефеид Малого Облака, которые иллюстрируют эффект поглощения света или какие-то другие эффекты. Периоды всех шести звёзд почти не отличаются от 16,5 дня. Согласно зависимости период — светимость можно было бы ждать полного совмещения кривых, однако три звезды оказываются почему-то ненормально слабыми, а две звезды — ярче нормы.

шем к нам краю Облака, а слабые — на заднем, но это могло бы объяснить только малую долю разницы. Возможно также, что свет от слабых объектов помрачается благодаря местному поглощению (пылью или газом) внутри Малого Облака.

Разные другие факторы могут также способствовать разбросу индивидуальных значений вокруг средней кривой период — светимость; это явление лучше всего иллюстрируется раскиданностью точек, по которым проведена кривая период — светимость на фиг. 28. Дальнейшее ис-

следование отклоняющихся в разные стороны значений показало, однако, что среди цефеид данного периода имеется, повидимому, и реальная дисперсия светимостей. Соотношение между периодом и светимостью есть среднее соотношение. Его нельзя рассматривать как абсолютное и точное; данный период не обязательно требует одного определённого значения светимости. Таким образом при определении расстояния отдельной изолированной цефеиды или внешней галактики мы неизбежно допускаем некоторую погрешность, которая может достигнуть 10—15%. Поэтому для галактик всегда лучше пользоваться несколькими цефеидами, с тем, чтобы при получении среднего результата действие дисперсии было скомпенсировано.

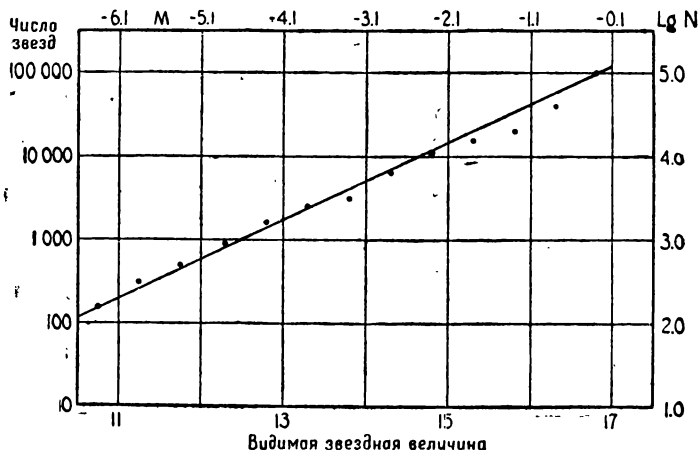
КРИВАЯ СВЕТИМОСТИ ДЛЯ СВЕРХГИГАНТОВ

После составления описи звёзд часто представляет интерес знать, как распределены они по размерам, по массам или по блеску, т. е. знать, как много имеется звёзд, например, различных определённых диаметров. Проще всего это показывает соответственная диаграмма. Кривая, показывающая число звёзд каждой абсолютной звёздной величины, называется обычно кривой светимости для этих звёзд. Кривая светимости для цефеид (которые включают небольшое количество сверхгигантов, очень много гигантов и совсем не содержат средних или карликовых звёзд) может иметь совсем другую форму, чем для красных гигантов, подобных Антаресу или Бетельгейзе.

Общая кривая светимости сваливает в кучу все типы звёзд вместе. Она является просто кривой частот абсолютной величины всех звёзд в звёздной системе, для которой или нет возможности различить разные типы звёзд, или это не считается существенным. Такая кривая представляет мало пользы при изучении звёздной эволюции. Но с того времени, как было установлено фундаментальное соотношение между массой звезды и её абсолютной величиной, общая кривая светимости в какой-нибудь звёздной системе даёт существенную инфор-

мацию о частоте масс и об общей массе звёздной системы.

Одной из самых трудно разрешимых проблем в астрономии Млечного Пути был вывод и анализ общей кривой светимости. Благодаря тому, что мы сами погружены в глубину нашей звёздной системы, для нас было крайне



Фиг. 38. Предварительная кривая распределения звёзд по блеску для Большого Облака. Каждая точка представляет общее число звёзд во всём Облаке, ярче соответственной величины. Вертикальная числовая шкала является «логарифмической». Прямая линия указывает, что, например, имеется 10 000 звёзд ярче фотографической величины 14,6, что соответствует абсолютной величине — 2,5.

затруднительно получить правильное объективное представление о ней. Нас вводит в заблуждение, во-первых, естественное влияние, которое оказывают на отбор звёзд, с одной стороны, ближайшие к нам звёзды, а с другой стороны — звёзды высокой светимости, хотя бы и очень удалённые. Ещё более того портят нам дело газ и пыль, наполняющие межзвёздное пространство и вмешивающиеся во все наши измерения звёздных величин.

Однако во внешней системе, подобной Магеллановым Облакам, эту проблему можно разрешать без таких затруднений. Там мы можем быть уверенными, что наши

описи звёзд данной звёздной величины являются полными; этой уверенности у нас никогда нет при работе в Млечном Пути. Но зато эта уверенность распространяется только на сверхгигантские и гигантские звёзды, потому что мы не можем ещё наблюдать более слабые объекты. Как видно из фиг. 38, для Большого Магелланова Облака наша кривая светимости простирается от ярчайших сверхгигантов, превосходящих по светимости Солнце более чем в 10 000 раз, до звёзд нулевой абсолютной величины, которые приблизительно в сто раз ярче Солнца. В настоящее время наши описи ещё не идут дальше.

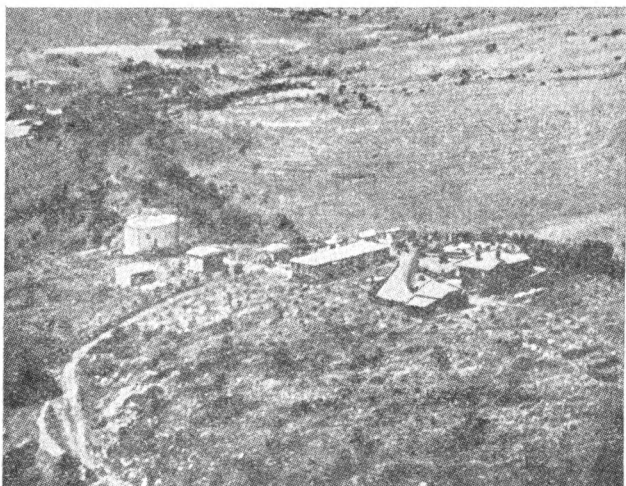
Перепись этих звёзд высокой светимости выполнена по методу выборочных площадок, распределённых по всему Облаку. Площадки избраны так, чтобы дать правильное представление о всём очень неравномерно рассеянном звёздном населении Облака. Результаты получились хотя и не очень точные, но показательные. Они позволяют составить следующую таблицу, которая иллюстрирует богатство звёздами этой соседней галактики:

Предварительная перепись сверхгигантских и гигантских звёзд в Большом Магеллановом Облаке

Абсолютная фотографическая звёздная величина	Общее число звёзд
Ярче — 5,0	735
От — 5,0 до — 4,5	943
» — 4,5 » — 4,0	1 460
» — 4,0 » — 3,5	2 401
» — 3,5 » — 3,0	3 262
» — 3,0 » — 2,5	6 832
» — 2,5 » — 2,0	11 077
» — 2,0 » — 1,5	16 082
» — 1,5 » — 1,0	23 172
» — 1,0 » — 0,5	45 073
» — 0,5 » 0,0	103 354
Всего ярче чем 0,0	214 391

Абсолютной звёздной величине — 5 соответствует на расстоянии Большого Магелланова Облака видимая звёзд-

ная величина 12,1 и светимость, в 15 000 раз бóльшая светимости Солнца; абсолютным величинам — 2,0 и 0,0 соответствуют светимости, в 1 000 и 170 раз превосходящие светимость Солнца. Чем более слабые звёзды мы берём, тем больше их находим. Если дальше число звёзд в интервале, равном одной звёздной величине, будет продолжать расти такими темпами, какие мы знаем в окрест-



Фиг. 39. Бойденская станция в Гарвард Копсе, вблизи Блумфонтейна, Южная Африка, где 10 фотографических телескопов следят за южными звёздами.

ностях Солнца, то общее число звёзд Большого Облака должно вырасти более чем до 20 миллиардов! Поражающе громадное число, но оно составляет, вероятно, не более $\frac{1}{10}$ числа звёзд в нашей собственной галактической системе.

Однако ход возрастания числа звёзд по мере уменьшения их блеска совершенно невозможно предсказать, и мы должны сознаться, что, за исключением сверхгигантских и гигантских звёзд, приведённых в нашей таблице, общая кривая светимости для Магеллановых Об-

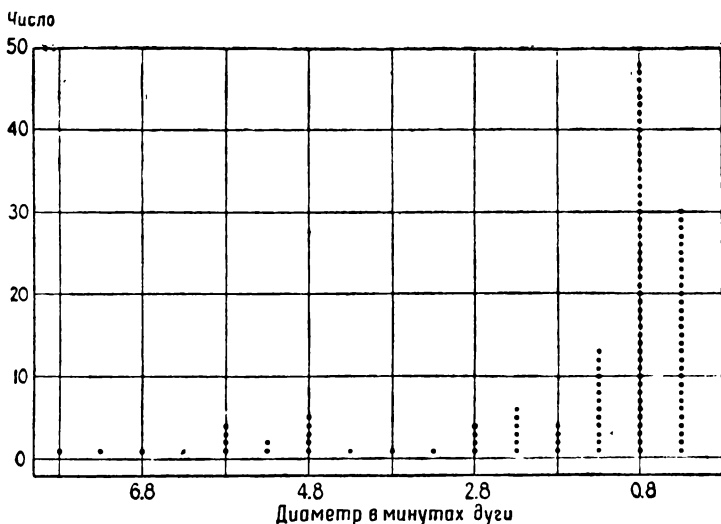
лаков неизвестна и не может быть определена. Невозможность для нас получить на наших снимках более слабые звёзды «главной последовательности» является как бы расплатой за ту объективность наблюдений, которую нам даёт отдалённость этих звёздных систем.

Позже мы увидим, что Большое Облако является, по видимому, средней галактикой как по размерам, так и по массе. Но это совсем не означает, что кривая светимости или характеристики цефеид для неё будут также типичными или средними; они могут быть совершенно другими в сфероидальных галактиках или в шаровых скоплениях спиральных систем. Характеристики звёзд, вероятно, изменяются также и от одной части галактики к другой. Разнородность звёздного состава выявляется не только в отдалённых спиралях и в Магеллановых Облаках, но и в нашей собственной Галактике. Окрестности Солнца и центральное галактическое ядро определённо несхожи друг с другом в этом отношении. Общие кривые светимости (без разделения звёзд на типы) для целых систем не дают поэтому очень многого для понимания галактик, исключая, может быть, сфероидальные галактики и шаровые скопления, где сверхгиганты редки, и преобладает, по видимому, однообразие.

ОРУДИЯ, КОТОРЫЕ ЕЩЁ НЕДОСТАТОЧНО ОСТРЫ

Разнообразие угловых размеров рассеянных звёздных скоплений, упоминавшееся в предыдущей главе, прекрасно видно в Большом Облаке, и нам нужно помнить, что это означает и разнообразие линейных размеров. Фиг. 40 хорошо иллюстрирует положение и указывает на безнадёжность попыток использовать гипотезу о том, что диаметры достаточно мало отличаются друг от друга, для того чтобы позволить определять расстояния скоплений Млечного Пути по угловым их диаметрам. В предположении равенства линейных размеров мы, например, могли бы заключить, что скопление, имеющее в два раза меньший угловой диаметр, чем другое, лежит в два раза дальше. Но дисперсия линейных диаметров слишком ве-

лика и, приписав какому-нибудь рассеянному скоплению в Млечном Пути *среднюю* величину, мы могли бы допустить ошибку в 100% в ту или другую сторону. Ошибка в диаметре вносит совершенно такую же ошибку в оценку расстояния. Остаётся справедливым только то, что в *среднем* различные звёздные скопления Млечного Пути с ма-

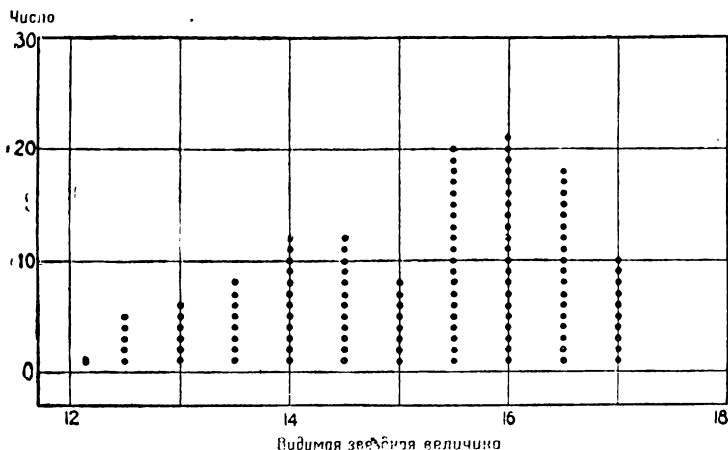


Фиг. 40. Частота диаметров рассеянных звёздных скоплений в Большом Облаке. Одна минута дуги соответствует на расстоянии Облака приблизительно двадцати двум световым годам.

лым угловым диаметром лежат дальше от нас, чем скопления с большим диаметром; но это и есть практически всё, что мы можем сказать в настоящее время. В Магеллановых Облаках и малые и большие скопления находятся на одинаковом расстоянии от нас.

Из фиг. 41 мы можем вынести разочарование также и относительно пользы, которую могут играть наиболее яркие звёзды рассеянных скоплений в качестве критерия расстояния. Здесь мы тоже встречаемся с очень широкой дисперсией в наивысших светимостях членов скопления. Мы могли бы надеяться, что, например, пятой по блеску

звездой скопления можно было бы пользоваться таким же способом, каким мы пользуемся цефеидой данного периода. Её абсолютная звёздная величина могла бы быть своего рода «постоянной природы». Но это не имеет места даже приблизительно. Во многих скоплениях 5-я звезда (по порядку от самой яркой) имеет светимость, в 5000 раз большую, чем Солнце, тогда как во многих других она



Фиг. 41. Большое разнообразие в блеске пятой по яркости звезды в рассеянных скоплениях Большого Облака. Для половины скоплений эти звёзды являются сверхгигантскими.

на три звёздных величины слабее, т. е. всего в 300 раз превышает светимость Солнца. (В то же время в шаровых скоплениях, так же как в скоплениях галактик, пятый, шестой или двадцать пятый объект является полезным критерием расстояния. В этих случаях абсолютные звёздные величины наиболее ярких объектов всегда остаются одинаковыми.)

Возможно, что наше изучение рассеянных скоплений Магеллановых Облаков позволит нам в будущем по-новому классифицировать звёздные скопления, и мы сможем перенести результаты и методы исследования с Облаков на нашу и другие галактики. Но этому должно пред-

шествовать получение обширной дополнительной информации о звёздных цветах и спектрах во всех звёздных подсистемах, входящих в Магеллановы Облака. Мы сможем тогда, с осмотрительностью пользуясь скоплениями определённых подклассов, найти практический путь использования диаметров и звёздных величин для оценки расстояний таких же скоплений в нашей Галактике.

В ожидании этого мы отметим, что и здесь Облака оказались нам полезными, показав, что некоторые орудия исследования пока ещё слишком тупы для применения их к измерениям звёздных расстояний и к изучению галактик.

4

МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ КАК ГАЛАКТИКА

Изумление охватывает каждого, кто впервые видит в телескоп большое звёздное скопление в Геркулесе. И нередко встречаешь недоверие или почтительное благоговение, когда объясняешь, что каждая блестящая точка его является звездой, гораздо более яркой, чем наше Солнце, и весь этот изумительный шаровой рой так далёк от нас, что свет, который мы видим, находился в пути более трёхсот столетий.

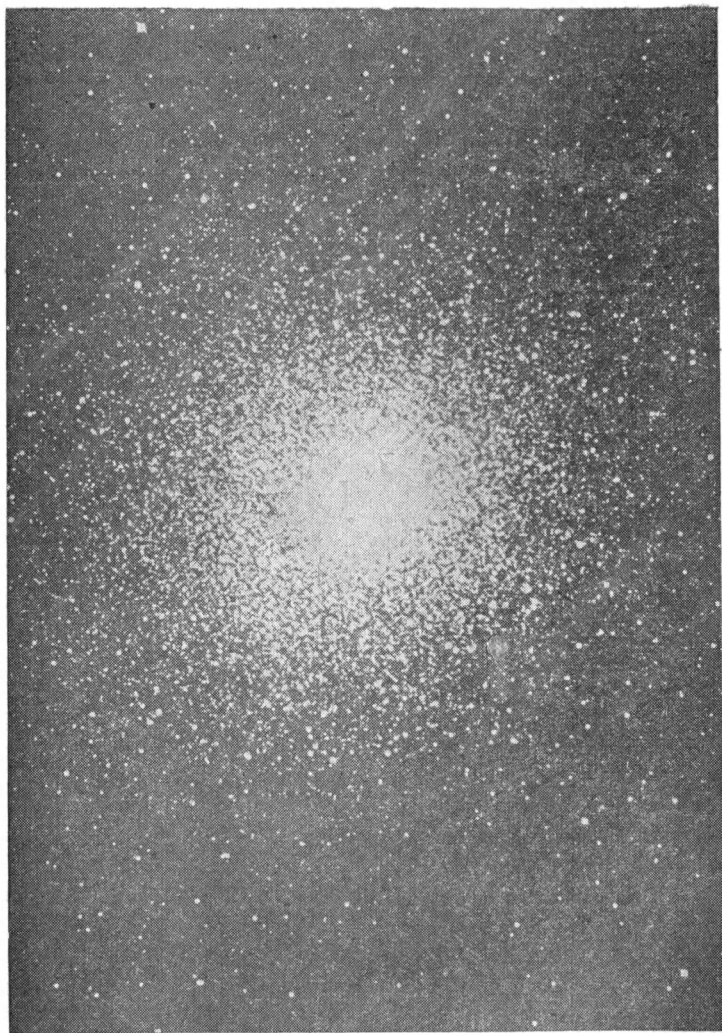
Звёздные скопления шаровой формы столь же много говорят мысли, как и глазу. Они доставили возможность установить два фундаментальных для нашего знания о галактиках факта. Во-первых, они ясно показали, что Солнце с планетами расположено в Млечном Пути эксцентрично, далеко от его центра в созвездии Стрельца. Во-вторых, благодаря своим цефеидам они позволили установить универсальность зависимости между периодом и светимостью, которая была выведена сначала из изучения другой галактики — Малого Магелланова Облака. Так как шаровые скопления сыграли большую роль в понимании Млечного Пути как галактики, то мы посвятим значительную часть этой главы, описывающей Млечный Путь как космическую единицу, рассмотрению скоплений и некоторых переменных звёзд, расположенных в особо важных местах.

ШАРОВЫЕ ЗВЁЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ

Скопление Геркулеса так тщательно изучалось в течение последних тридцати лет, что в настоящее время мы можем быть совершенно уверены в его громадном расстоянии от нас, в богатстве его звёздами и высокой светимости десяти тысяч наиболее ярких из этих звёзд. Мы знаем, что некоторые из его звёзд являются цефеидами, периоды которых служат верными показателями их абсолютной звёздной величины, а следовательно, и расстояния. По фону неба вокруг скопления, обильному слабыми отдалёнными галактиками, мы можем судить о чрезвычайной прозрачности пространства в направлении этого скопления. Отсюда мы заключаем, что наши измерения звёздных величин и расстояния не нуждаются в существенных поправках за поглощение света в пространстве.

Скопление Геркулеса (фиг. 42) обычно называется по номеру его в известном каталоге 44 туманностей и 57 звёздных скоплений разного рода, составленном около 160 лет назад французским ловцом комет Шарлем Мессье. Французскому астроному при его поисках комет нужно было иметь список таких постоянных объектов на небе, которые, не будучи кометами, представлялись в его маленький телескоп размытыми туманными пятнами и могли бы привести к недоразумениям. (И в наше время многие любители, а подчас и профессионалы-астрономы, найдя случайно один из этих объектов Мессье, телеграфируют в Международное бюро астрономических сообщений об открытии новой кометы.) Мессье несколько не интересовался скоплениями и туманностями как таковыми, и его каталог был для него только списком помех в его работе. Однако этот каталог сохранил для потомства его имя, почти забытое как имя охотника за кометами.

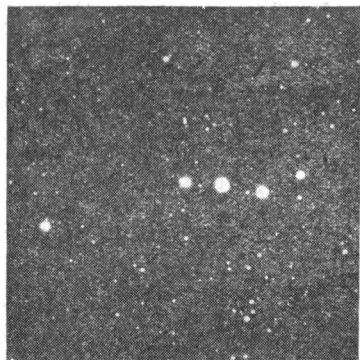
Мессье, конечно, не мог видеть отдельные звёзды в М 13 (скопление Геркулеса). Подобно 26 другим шаровым скоплениям его каталога, и этот мощный рой он описывает как *туманность без звёзд*. На долю Гершеля выпало разделить на звёзды большую часть ярких ша-



Фиг. 42. М 13 — большое скопление Геркулеса, видимое невооружённым глазом. Оно находится на расстоянии 31 000 световых лет.

ровых скоплений, а современные рефлекторы сделали это со слабыми скоплениями.

Наблюдатели начала этого столетия часто находили будто бы признаки спиральной или другой структуры в ярких шаровых скоплениях, но большие рефлекторы, которые обнаруживают в скоплениях уже не сотни, а десятки тысяч звёзд, показали ошибочность этих представлений.



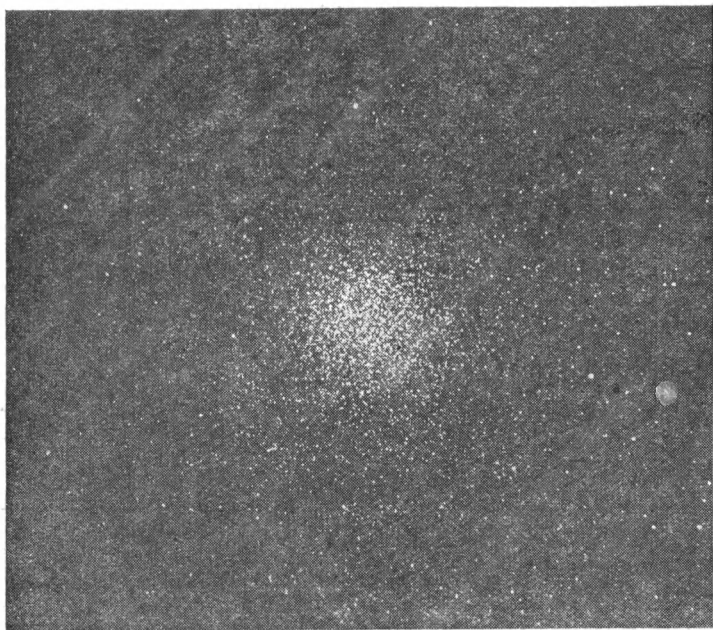
Фиг. 43. NGC 2419 (в середине фотографии) представляет собой шаровое скопление, столь отдалённое, что даже при трёхчасовой экспозиции оно даёт лишь туманное, лишённое структуры изображение. Это скопление в созвездии Рыси является «межгалактическим бродягой» (см. стр. 96).

Все известные шаровые скопления нашей Галактики (числом около ста) практически являются просто круглыми симметрично и равномерно концентрирующимися к центру, где скученность звёзд делается слишком большой для выделения отдельных слабых звёзд. Короткие экспозиции, подобные 3-минутному «ментальному» снимку (фиг. 44) большого скопления «Центавра», отчётливо выделяют более яркие центральные звёзды. Но когда мы с тем же самым 60-дюймовым рефлектором Гарвардской станции в Блумфонтейне доводим экспозицию

до звёзд 12-й величины, т. е. равных по светимости Солнцу, то мы «выжигаем» весь центр и можем исследовать только края скопления.

Изображения некоторых шаровых скоплений обнаруживают слабую удлинённость, причём длинная ось превышает более короткую на 10—15%. Таким удлинённым скоплением является «Центавра», что можно заметить при внимательном рассматривании его фотографии в малом масштабе на фиг. 46. Такие отклонения от круглой формы могут указывать на наличие эква-

ториальной выпуклости, вызванной вращением скопления около полярной оси, значительно наклонённой к лучу зрения. А может быть, они являются результатом каких-нибудь столкновений или встреч в прошлом, например, вызванных прохождением скопления через

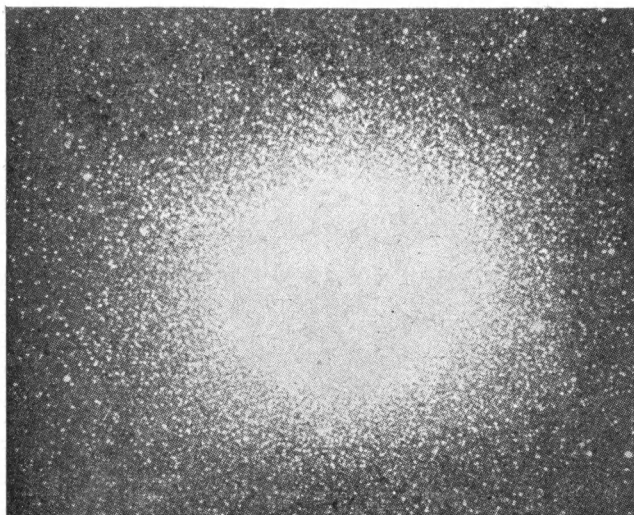


Фиг. 44. ω Центавра — снимок с трёхминутной экспозицией, на котором можно различить центральные яркие звёзды.

звёздные облака Млечного Пути. Возможно, что скопление и образовалось таким путём. Мы ещё очень далеки от объяснения динамики шаровых звёздных скоплений.

Скопление M13 широко известно, так как его близость к нам и положение на небе делают его доступным для 90% астрономов-наблюдателей. Оно может быть

видимо невооружённым глазом и нахождение его при помощи звёздной карты составляет одно из интересных упражнений для начинающего любителя. Это скопление должно было бы находиться в списке постоянно наблюдаемых объектов наряду с туманностью Андромеды (М 31, см. фиг. 56), которая является единственной внешней



Фиг. 45. ω Центавра — снимок с 75-минутной экспозицией, пере-
держанный в центре, но дающий гораздо более слабые звёзды.
(Снято тем же инструментом, что и фиг. 44.)

галактикой, доступной глазу наблюдателей в северном полушарии. (Однако её довольно трудно обнаружить; нужно искать её в совершенно ясные безлунные ночи и вдали от уличного освещения).

Список для любительских наблюдений невооружённым глазом должен включать и туманность Ориона (М 42), которая представляет собою подлинную туманность, расположенную на расстоянии более тысячи световых лет; должно в нём быть также κ и χ Персея, двой-

ное галактическое скопление в северной части Млечного Пути*). Эти четыре объекта являются типичными представителями четырёх важных категорий — шаровых скоплений, галактических скоплений, газовых туманностей и спиральных галактик; они все видимы невооружённым глазом и оставляют незабываемое впечатление при рассматривании в сильный бинокль или небольшие телескопы.

Наблюдатель, живущий на далёком юге, также может видеть туманность Ориона; в качестве представителей заметных простому глазу шаровых скоплений он может наблюдать ω Центавра и 47 Тукана. Магеллановы Облака будут представлять для него примеры внешних галактик. Наконец, М 7, М 11 или χ Южного Креста (на краю «Угольного мешка», фиг. 49) дадут ему возможность любоваться галактическими скоплениями. Ему будут доступны более богатые звёздные поля и более яркие туманности и скопления, чем те, которые имеем мы на севере.

Наиболее интересными шаровыми скоплениями надо считать:

М 3, находящееся близ полюса Галактики в созвездии Гончих Псов, известное своими многочисленными и хорошо изученными короткопериодическими цефеидами (фиг. 29);

М 22 в созвездии Стрельца, яркое и сравнительно близкое, недалёкое от галактического центра и рас-



Фиг. 46. ω Центавра — снимок в мелком масштабе для иллюстрации небольшой сплюснутости скопления, заметной и на фиг. 45.

*) Плеяды и Гиады — тоже галактические скопления, но они слишком уж легки для нахождения.

положенное среди большого звёздного облака в Млечном Пути (фиг. 104);

ω Центавра и 47 Тукана, очень заметные благодаря своей близости и гигантским действительным размерам;

М 4 в Скорпионе, хотя и не особенно яркое благодаря значительному поглощению света в этом направлении



Фиг. 47. Туманность Ориона — фотография в красном свете. Изображение очень похоже на рисунки прошлого столетия, но совершенно несходно с обычными современными снимками в синем свете.

пространство, но, возможно, лежащее ближе к нам, чем все остальные шаровые скопления;

М 62 — несколько неправильной по виду формы;

NGC 2419 в созвездии Рыси (фиг. 43), открытое Лампландом и изучавшееся Вальтером Бааде, который нашёл его расстояние столь большим (175 000 световых лет), что его можно рассматривать уже не как члена

нашей Галактики, а как «межгалактического бродягу» или свободного и независимого гражданина местной группы галактик.

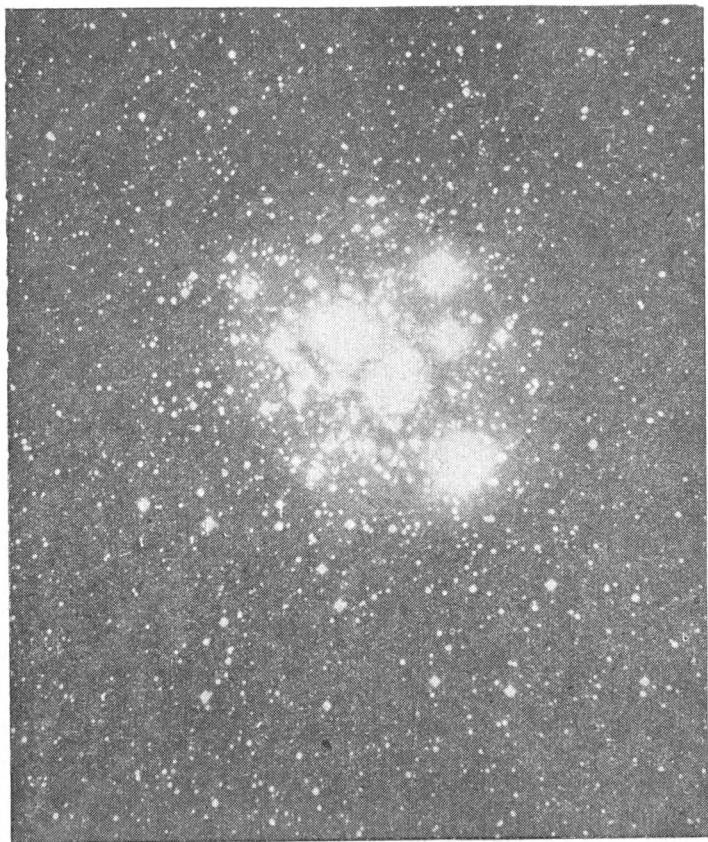
Но, несмотря на некоторые аномалии, все шаровые скопления очень схожи друг с другом. Автор разделяет их на 12 классов, руководствуясь степенью конденсации к центру, хотя наблюдаемая концентрация является до



Фиг. 48. Двойное звёздное скопление η и χ Персея — хороший объект для испытания зоркости глаза.

некоторой степени следствием их расстояний и силы применённого телескопа. Очень немногочисленные скопления, лишённые обычного для них большого количества гигантских звёзд, составляют особый класс, который мы называем «бедный гигантами». Их принадлежность к шаровым скоплениям выясняется только тогда, когда фотографии с очень длительными экспозициями выявляют в них звёзды средней и слабой светимости, принадлежащие к главной спектральной последовательности. При более коротких экспозициях они представляются очень разрежёнными скоплениями из нескольких звёзд. Этот

контраст классов шаровых скоплений хорошо иллюстрируется фиг. 50, где дана фотография пары шаровых

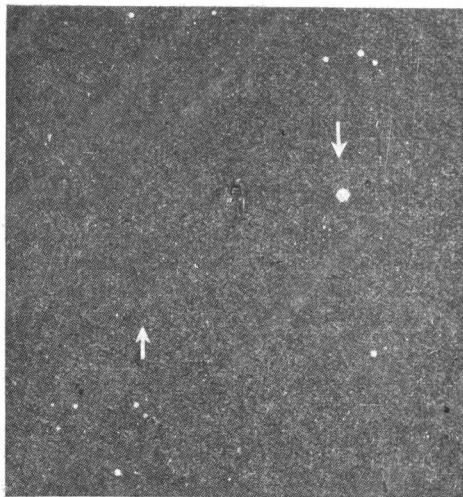


Фиг. 49. Яркое звёздное скопление γ Южного Креста, которое на снимках в мелком масштабе представляется свисающим в «Угольный Мешок» с одной из ветвей Млечного Пути. Масштаб этого снимка слишком крупен, чтобы захватить Крест или «Угольный Мешок».

скоплений в созвездии Волос Вероники — М 53 и NGC 5053. Первое из них относится к V классу, а второе, XI класса,

является одним из полдюжины известных скоплений типа «бедного гигантами».

Любопытно, что почти все шаровые скопления были открыты Мессье и Гершелями более ста лет назад, причём они были открыты как туманные объекты, а не как скопления звёзд. После 1900 г. к ним было добавлено лишь



Фиг. 50. NGC 5053 и М 53 — пара очень несхожих друг с другом шаровых скоплений в Волосах Вероники.

очень немного новых. Но понадобились большие рефлекторы, чтобы установить, что все эти размытые объекты в действительности являются скоплениями звёзд, а не туманностями или галактиками; эти же рефлекторы оказались необходимыми для детального анализа более ярких скоплений.

Повидимому, вся семья шаровых скоплений нашей Галактики ныне уже известна, за исключением тех объектов, которые закрыты от нас облаками поглощающей материи в направлении центра Галактики; она состоит приблизительно из сотни членов. К ним может добавиться ещё некоторое количество, с одной стороны,

благодаря тому, что фотография в красном свете сможет, вероятно, обнаружить некоторые из скоплений, закрытых поглощающей материей, с другой стороны, возможно, что некоторые из объектов на краях Млечного Пути, которые ныне считаются сфероидальными внешними галактиками, при фотографировании в крупном масштабе окажутся шаровыми скоплениями.

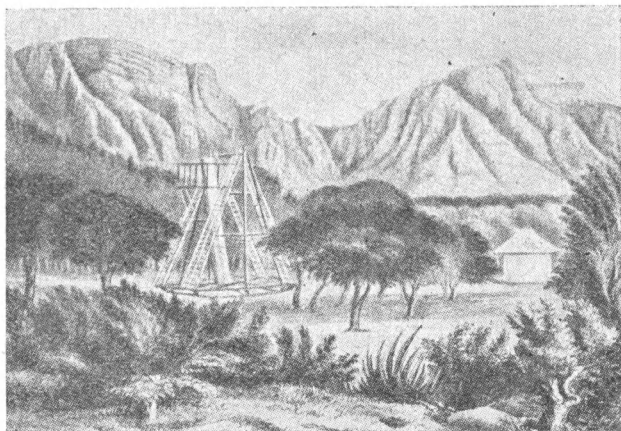
При изучении мною шаровых скоплений ещё до 1920 г. стало очевидно, что перепись их в основном закончена и что поэтому их можно изучать как единую *систему* скоплений. Когда были изучены определённые заново расстояния скоплений и их распределение по небу, сразу выяснились некоторые особенности этой системы. Прежде всего было найдено, что рассеянные звёздные скопления Млечного Пути типа Плеяд (галактические скопления, как мы их называем) определённо сконцентрированы к галактической плоскости; они погружены в богатые звёздные поля во всех частях пояса Млечного Пути. С другой стороны, шаровые скопления были найдены преимущественно в южной части неба и почти исключительно вне центральной полосы Млечного Пути. Это расположение скоплений, т. е. распределение их по галактической широте, показано на фиг. 52. Шаровые скопления находятся по обеим сторонам галактической плоскости; они обнаруживают сгущение к Млечному Пути, но вдруг совершенно исчезают при приближении к самой центральной зоне его.

Естественно, это дополняющее друг друга распределение шаровых и галактических скоплений может привести к мысли о возможности того, что шаровые скопления захватываются Млечным Путём, рассеиваются там и превращаются в галактические. Но мы не знаем ни одного скопления, которое находилось бы в переходной стадии; это можно только подозревать относительно одного или двух объектов.

Мы теперь знаем, что шаровые скопления гораздо более удалены от нас, чем галактические, и что видимое отсутствие шаровых скоплений в низких галактических широтах объясняется в основном поглощением света в пространстве. Кроме того, шаровые скопления, в про-

тивоположность галактическим, находятся не во всех галактических долготах, а резко концентрируются в созвездиях Скорпиона, Змееносца и Стрельца.

При моём первом анализе 93 известных к тому времени шаровых скоплений центр их системы был найден как раз на среднем круге Млечного Пути в южной его

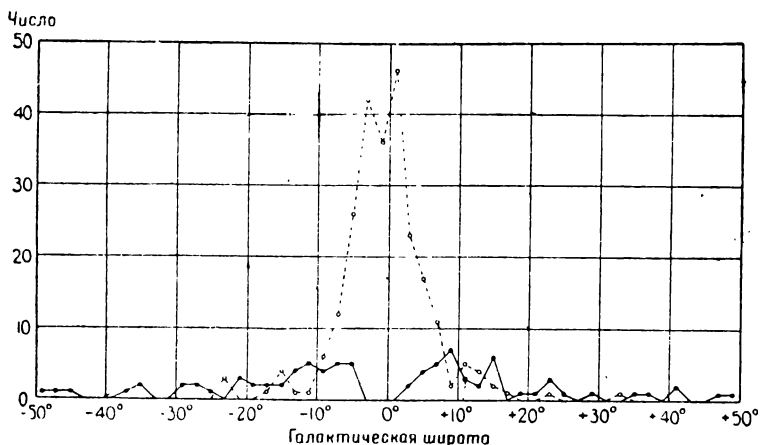


Фиг. 51. Несколько странный на вид телескоп Гершеля на Южно-африканской станции близ Кэптоуна.

части, вблизи того места, где сходятся границы трёх созвездий: Стрельца, Скорпиона и Змееносца. Прямое восхождение его равно 17 ч. 30 м., склонение— 30° , а галактическая долгота 325° . Улучшенные современные значения его координат мало отличаются от этого: долгота равна 327° , широта 0° , с вероятной ошибкой их значений на 1° . Этому соответствуют прямое восхождение 17 ч. 28 м. и склонение— 29° . В моих исследованиях шаровых скоплений довольно давно было сделано одно несколько смелое и гипотетическое предположение. Однако с того времени, как это предположение было впервые высказано, не было найдено ни одного факта, который бы ему противоречил.

Наоборот, многие исследования звёзд и галактик, повидимому, перевели это предположение из класса гипотез в класс установленных наблюдением истин.

Это предположение допускает, что система шаровых скоплений является своего рода костяком тела всей



Фиг. 52. Контраст между распределением по галактической широте шаровых и рассеянных звёздных скоплений. Чертёж показывает, что последние (обозначенные пунктирной линией) сгущаются к поясу Млечного Пути, близ широты 0° , тогда как шаровые скопления как бы избегают этой полосы.

галактической системы, т. е. что расположение в пространстве сотни шаровых скоплений показывает расположение миллиардов галактических звёзд. Отсюда было выведено, что центр нашей Галактики лежит в направлении созвездия Стрельца, так как именно здесь находится центр системы шаровых скоплений.

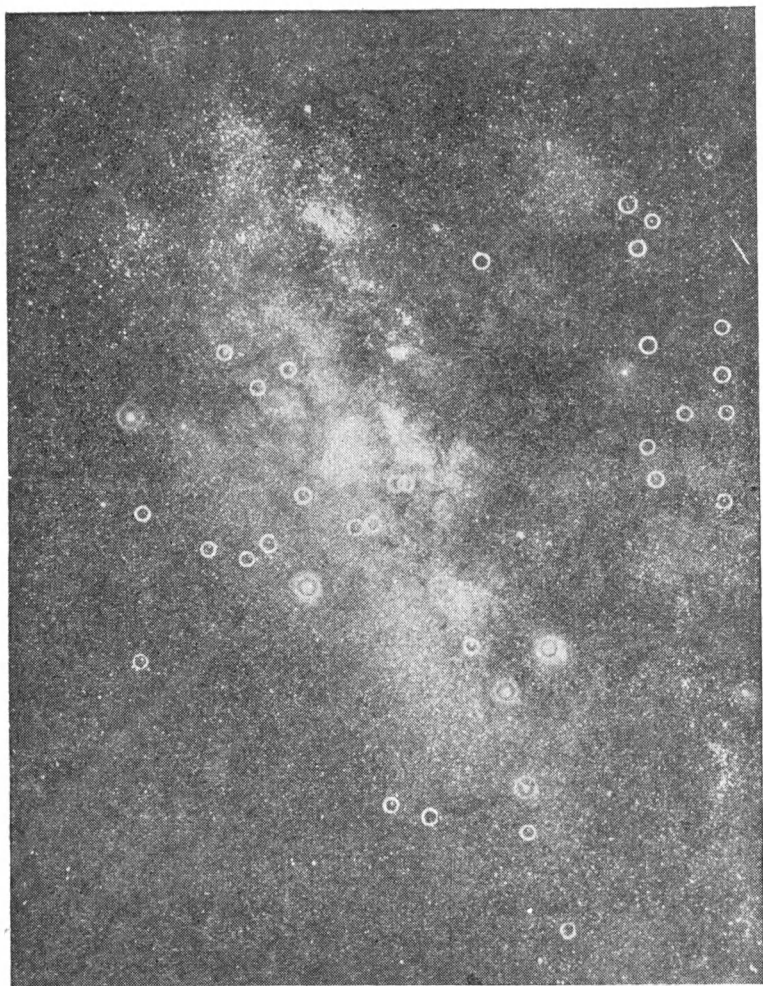
Следствием этих наблюдений и заключений явился пересмотр наших представлений о нашем собственном положении в звёздной системе. Гелиоцентрическая теория была удовлетворительной для планетной системы, но она уже не удовлетворяла представлениям о системе

звёзд. Оказалось, что Солнце нельзя больше считать расположенным в центре Галактики; оно отодвигалось на несколько десятков тысяч световых лет от её ядра.

Естественно было заключить, что тенденция шаровых скоплений находится, главным образом, в южном полушарии является следствием того обстоятельства, что они располагаются вокруг ядра дискообразной Галактики, а не вокруг наблюдателя. Это объясняло также причину того, что звёздные облака Млечного Пути кажутся несколько более яркими в направлении Стрельца и соседних созвездий, чем в других местах. Это происходит оттого, что расположенный на краю звёздной системы наблюдатель, повернувшись по направлению галактической долготы 325° и широты 0° , видит перед собой богатую звёздами область центрального ядра Галактики.

Некоторое представление о форме Галактики и о нашем положении в ней можно получить, если сравнить её с плоскими карманными часами. Наблюдатель на Земле помещён в центральной плоскости, около места секундной стрелки; галактический центр в Стрельце находится в центре часов. Мы видим пояс звёзд Млечного Пути, когда мы смотрим по направлению к окружающему часы ободку и, естественно, видим больше звёзд в направлении центра, чем в других направлениях (если исключить влияние облаков поглощающей материи). Когда мы из нашего эксцентрического положения смотрим сквозь переднюю и заднюю крышки часов, мы видим сравнительно мало звёзд. Если выразиться другим, более техническим языком, это означает, что видимая плотность звёзд на небе убывает с возрастанием галактической широты. Соотношение между числом звёзд и галактической широтой дало нам возможность вывести контуры нашей Галактики.

Сравнение с видимыми с ребра спиральными галактиками доставило существенную поддержку представлению о дискообразности нашей Галактики. Вся эта дискообразная система вращается вокруг центральной оси, аналогичной оси вращения часовой и минутной стрелок в нашей «модели» Галактики — карманных часах.



Фиг. 53. Тридцать шаровых скоплений — почти $\frac{1}{3}$ всех известных в галактической системе — видны сразу на одной мелкомасштабной фотографии ядра нашей Галактики. Кружки отмечают изображения скоплений.

Но Галактика вращается не как твёрдое тело: её вращение имеет разные угловые скорости на разных расстояниях от центра. Большая часть звёзд описывает, вероятно, несколько эллиптические, а не совершенно круговые пути.

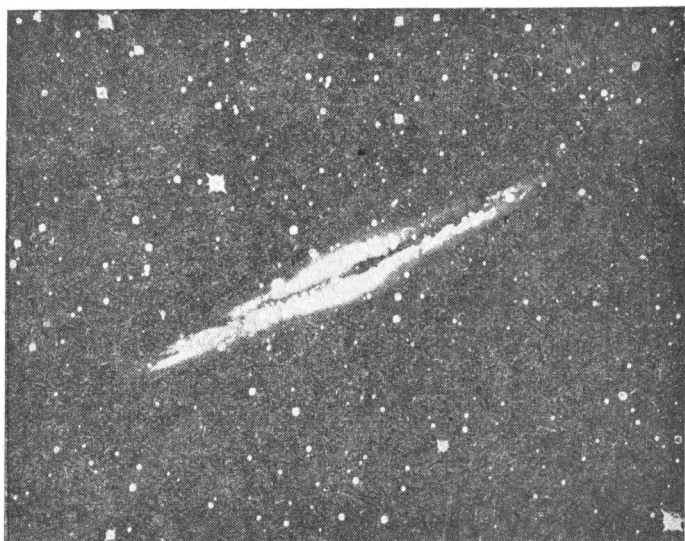
Подробности вращения и внутренней структуры Галактики рассмотрены в книге Б. Бок и П. Бок «Млечный Путь». Задачей настоящей книги является общее описание Галактики, как она представляется со стороны. Но прежде мы хотели бы подчеркнуть, что гипотеза о том, что шаровые скопления обрисовывают форму Галактики и определяют её центр, подтверждается многочисленными исследованиями распределения звёзд, данными звёздной динамики, а также движениями и сходными структурными чертами во внешних галактиках. Измерения лучевых скоростей и собственных движений показывают, что на нашем расстоянии от центра (около 30 000 световых лет) скорость движения по орбите равна приблизительно 300 км/сек, а время, требующееся для полного оборота, т. е. длина «космического года», измеряется приблизительно двумя миллионами земных столетий.

ТОЛЩИНА ГАЛАКТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Аналогия с плоскими часами даёт нам правильное представление о том, что диаметр Галактики в её плоскости в 5—10 раз превышает её толщину. Однако мы должны ввести два важных дополнения в эту аналогию. Во-первых, почти нет сомнения, что центральное ядро нашей Галактики сфероидально, подобно ядрам многих других галактик (фиг. 54). Мы должны были бы поэтому представить в часах центральную выпуклость, постепенно утончающуюся по направлению от центральной оси и покрывающую, вероятно, около четверти передней и задней стенок часов. Кроме того, не следует думать, что у Галактики имеются такие определённые границы, как у часов. Звёздное население постепенно становится более редким с увеличением расстояния от галактического ядра как вдоль плоскости Млечного Пути, так и в направлении, перпендикулярном к этой пло-

скости, подобно тому как земная атмосфера постепенно становится более разреженной с увеличением высоты над землей, и общая толщина ее поэтому весьма неопределенна.

С достаточной осторожностью мы могли бы сказать, что 99% звезд нашей Галактики находятся внутри дискообразной фигуры приблизительно следующих размеров:



Фиг. 54. NGC 891 в созвездии Андромеды с утолщенным центральным ядром.

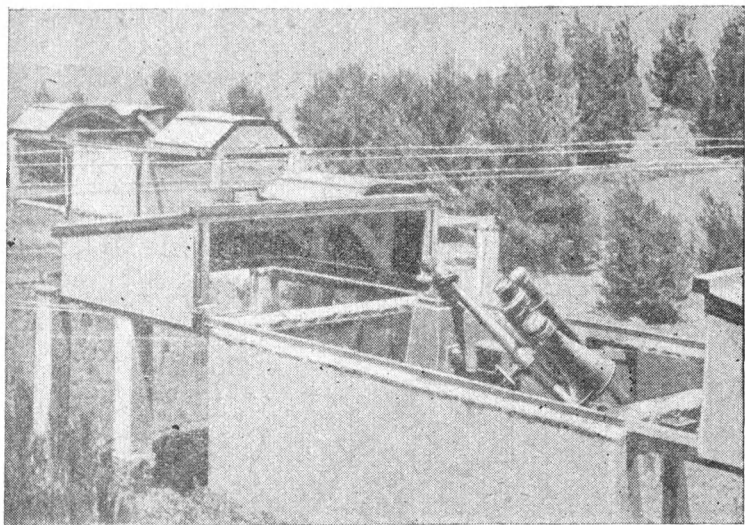
диаметр около 100 000 и толщина около 10 000 световых лет. Аналогично мы могли бы сказать и о земной атмосфере, что 99% ее массы лежит ниже высоты 32 км. Но лучшее, что мы можем сделать с определением размеров Галактики, находясь на нашей довольно невыгодной для наблюдения точке внутри нее, — это измерить расстояние до ее самых отдаленных членов по возможности во всех направлениях и таким образом получить минимальные ее размеры. Конечно, необходимо при этом убедиться,

что такие далёкие звёзды — действительно члены Галактики, а не межгалактические объекты. Возможно когда-нибудь мы будем знать законы распределения галактических звёзд настолько хорошо, что сможем точно оценить, какая часть массы всей системы лежит внутри тех или других заданных пределов.

Однако вопрос об общей толщине Галактики с её центральным выпирающим ядром нуждается в особом исследовании, так как «костяк» Галактики — система её шаровых скоплений — включает некоторое количество скоплений, лежащих в высоких галактических широтах и на больших расстояниях. Это значит, что существуют скопления, которые лежат значительно выше передней крышки и ниже задней крышки наших «часов». Они являются, повидимому, физическими членами Галактики. Нам надо убедиться, нет ли и отдельных звёзд, расположенных подобным образом. Если это так, то общая форма всей Галактики уже не будет похожа на часы. Она может быть сферической, или, вернее, состоять из центральной дискообразной фигуры, сходной с типичными спиральными галактиками, окружённой приблизительно шаровой оболочкой или «туманом» из отдельных звёзд.

Существование этой оболочки из галактических звёзд подозревалось уже довольно давно, поскольку слабые короткопериодические цефеиды обнаруживались порой в высоких широтах, часто недалеко от шаровых скоплений, но, повидимому, независимо от них. Реальность её окончательно установлена благодаря тщательным систематическим исследованиям слабых переменных звёзд в разных галактических широтах и долготах. Для открытия и измерения отдельных раскиданных переменных понадобились тысячи звёздных фотографий. Особенно полезными для нашей цели оказались короткопериодические цефеиды; они обладают значительной светимостью и, что особенно важно, встречаются по всему небу. Другие хорошие указатели расстояний — долгопериодические цефеиды и новые звёзды — не попадают в высокие широты и поэтому не могут особенно помочь при исследовании этой звёздной оболочки нашей Галактики.

На некоторых из негативов этой службы слабых переменных можно найти переменные до 18-й величины. Если такая переменная окажется короткопериодической цефеидой (средняя абсолютная звёздная величина таких звёзд равна нулю) и если на фотографиях вблизи неё мы находим много слабых внешних галактик (что



Фиг. 55. Меткоф-телескоп в Гарвард Копье (с приложенными к нему дополнительными камерами) — один из наиболее активных инструментов по изучению слабых переменных звёзд.

свидетельствует об отсутствии в этом направлении значительного поглощения в пространстве), то мы легко можем вычислить расстояние такой переменной. Оно окажется равным приблизительно 40 килопарсекам, или более чем 125 000 световых лет. Если, наконец, такая звезда находится в очень высокой галактической широте, близ полюса Млечного Пути, то измеренное расстояние является одновременно и расстоянием от галактической плоскости. Таким путём мы определили бы половину тол-

щины оболочки, окружающей дискообразную систему Галактики.

В действительности, мы ещё не находили в высоких галактических широтах столь далёких звёзд, но короткопериодические цефеиды на расстояниях от 30 до 50 тысяч световых лет известны с обеих сторон галактической плоскости. А так как такие переменные встречаются всё чаще по мере приближения к этой плоскости, мы можем с достаточной уверенностью считать их органической частью Галактики, а не межгалактическими звёздами. Из этого мы заключаем, что окружающий Галактику «туман» из звёзд имеет общую толщину, перпендикулярно к галактической плоскости, около 100 000 световых лет, если не больше.

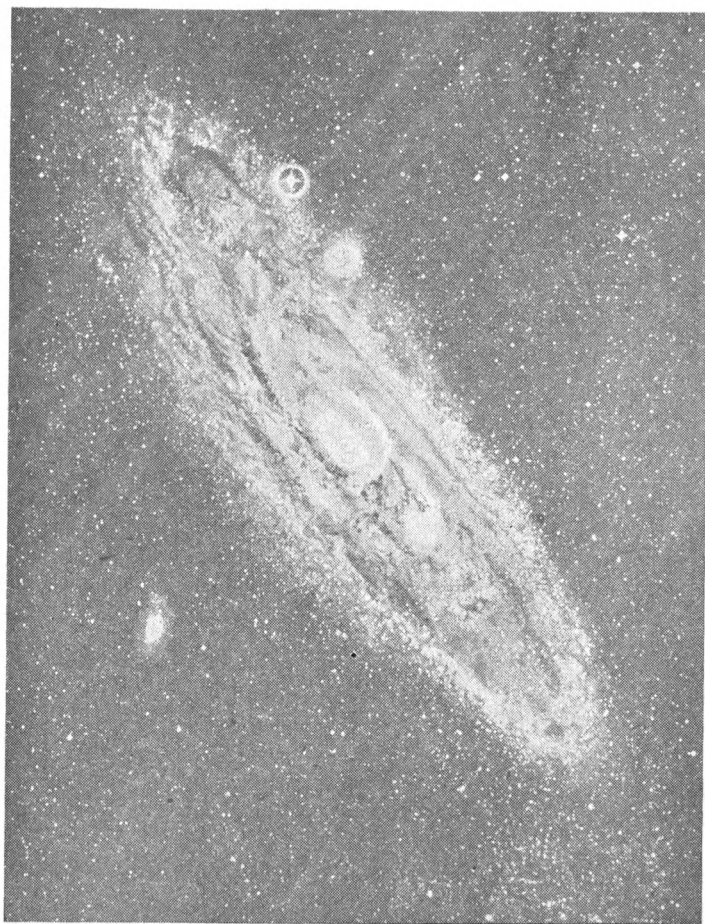
Наиболее общепринятым значением диаметра системы Млечного Пути надо теперь считать 100 000 световых лет. Уточнить эту величину трудно вследствие нашего неудобного расположения внутри системы и особенно вследствие тех помех, которые представляет наличие неправильных скоплений пыли и газа в низких галактических широтах. Здесь сейчас же возникают некоторые вопросы. А не существует ли и в плоскости Млечного Пути подобного звёздного «тумана», который мог бы значительно увеличить размеры Галактики также и в этой плоскости? Действительно ли короткопериодические цефеиды показывают, что галактическая система вместе с окружающим её «туманом» из звёзд приблизительно сферична по форме, заключая внутри тяжёлую центральную дискообразную систему, содержащую около 99% всех звёзд? Не распространяется ли этот звёздный «туман» вдаль и в низких широтах, придавая тем самым всей редкой звёздной оболочке Галактики форму несколько сжатого сфероида, может быть, только в два раза более вытянутого в плоскости Млечного Пути, чем в перпендикулярном направлении? Такой формы можно было бы ожидать, учитывая гравитационное притяжение заключённого внутри массивного сфероида. Может быть, дальнейшие наблюдения над звёздным «туманом» докажут правильность этой последней, более вероятной гипотезы.

ИЗМЕРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ

Измерение размера соседней с нами большой спиральной галактики в созвездии Андромеды может быть осуществлено без большого затруднения путём получения специальных фотографий с продолжительной экспозицией и измерения этих снимков с помощью денситометров. Некоторое затруднение вносят при этом звёзды нашей Галактики, которые в изобилии проектируются на изображение туманности Андромеды; эти звёзды особенно мешают, если мы ставим целью измерить тот исключительно слабый звёздный «туман», который простирается много дальше видимых или получаемых на обычных фотографиях пределов системы. Тем не менее, такие измерения были сделаны как фотографическим, так и фотоэлектрическим способами. Мы расскажем в следующей главе, что система Андромеды оказалась поразительно громадной по площади и объёму, если включить в неё все внешние области, обнаруженные денситометром.

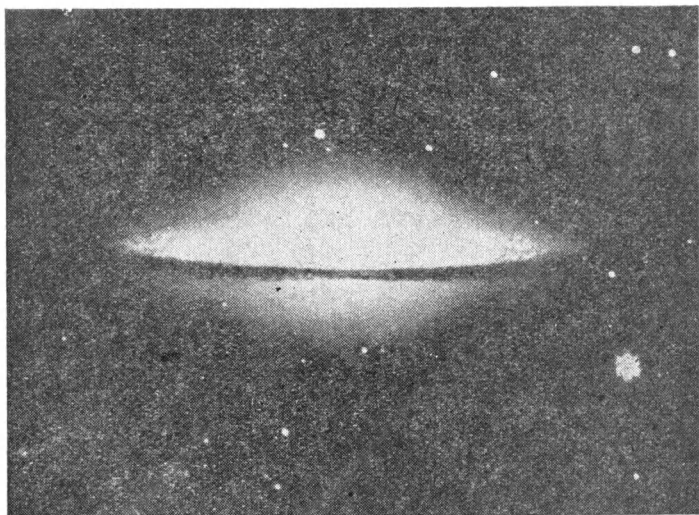
Измерение пределов в нашей собственной системе не столь просто. Однако метод исследования этой проблемы, применяемый в настоящее время Гарвардской обсерваторией, может дать уже через несколько лет довольно хорошую предварительную величину протяжённости главной дискообразной системы. Так как мы, очевидно, расположены эксцентрично, ближе к тому краю Галактики, который проектируется в направлении созвездий Возничего, Тельца и Близнецов, то мы можем воспользоваться близостью этого края для того, чтобы исследовать его природу и, в частности, заглянуть глубже в окружающий звёздный «туман» и лежащие за ним пространства.

Обыкновенно наше изучение межгалактических пространств, когда оно опирается на наблюдения галактик, должно ограничиваться наблюдениями в высоких галактических широтах, так как облака поглощающей материи закрывают от нас все галактики, расположенные в направлениях, близких к плоскости Млечного Пути. Но иногда мы можем успешно проводить наблюдения и в этих низких широтах. В направлении антицентра га-



Фиг. 56. Большая туманность Андромеды с двумя малыми спутниками.

лактической системы имеется тоже очень сильное пространственное поглощение. Мы не избавляемся от затемняющих облаков, если отвернёмся от созвездия Стрельца. Есть подозрение, что по периферии нашей Галактики расположено кольцо поглощающей материи, подобное тем, которые наблюдаются во многих внешних галактиках



Фиг. 57. NGC 4594 с плотной полосой экваториального поглощения, которая была бы очень досадным препятствием для астрономических наблюдений с этой галактики.

(фиг. 57). Однако в области антицентра в этой затемняющей материи имеется несколько полупрозрачных окон, довольно близких к плоскости Млечного Пути. Сквозь более тонкий слой материи в этих окнах могут тускло просвечивать многочисленные очень далёкие галактики. Вот в таких-то сравнительно прозрачных областях мы и можем лучше всего проводить наши исследования.

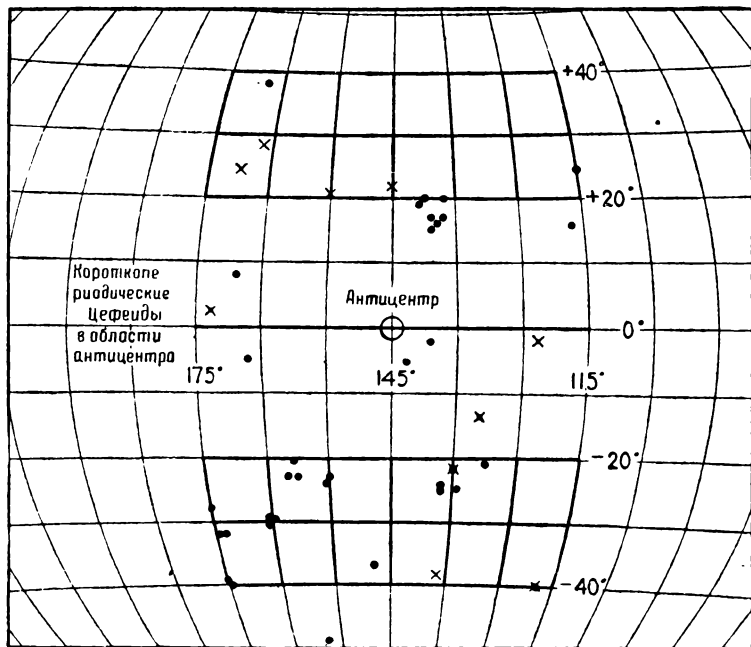
Легко задумать программу для изучения области антицентра и составить план наблюдений, но очень долго и кропотливо проводить эти исследования на практике.

Со всего неба по обе стороны Млечного Пути в радиусе около 40° вокруг антицентра должны быть получены многочисленные фотографии. Эти снимки получаются при помощи инструментов станции в Ок Ридже, которые могут обнаружить переменные до 17-й или 18-й величины. Некоторую помощь могут им при этом оказать телескопы в Кэмбридже и Блумфонтейне. С каждой из 160 отдельных площадок в этой области получают многочисленные снимки, сделанные в разные ночи в течение всего времени наблюдений; эти снимки будут тщательно сравнены друг с другом, и возможные изменения в размерах изображений каждой из нескольких миллионов заснятых звёзд будут старательно отмечены. Эти меняющиеся изображения укажут на переменные звёзды, дотоле большей частью неизвестные. Измерения таких изображений на большом числе пластинок дадут возможность установить тип переменных — затменные, долгопериодические, неправильные или иногда цефеиды. Вот эти цефеиды мы особенно и ищем, так как определение их периодов даст сейчас же и их абсолютные величины.

А если у нас будут как абсолютные, так и видимые величины, то мы непосредственно получим из них и фотометрически определённые расстояния (см. главу 3-ю).

Измерения расстояний переменных в области антицентра имеют, однако, мало значения, если мы не можем быть уверены, что они не искажены сильным поглощением света в пространстве, которое увеличивает оценку расстояния на какую-то неизвестную величину. Для выяснения этого вопроса является необходимой и другая фаза исследований антицентра. Есть возможность судить о том, насколько поглощение влияет на переменные звёзды в наших площадках. Эта возможность заключается в подсчёте количества внешних галактик на данной площадке, снятой с продолжительной экспозицией на широкоугольных камерах «ловцов галактик» — Брюс-рефрактора на южной станции, Меткоф-дублета и Джевет-рефлектора на северной. Если, например, мы находим где-нибудь на площади одного квадратного градуса 12 галактик до 17-й звёздной величины, мы должны заключить, что пространство в этом направлении прозрач-

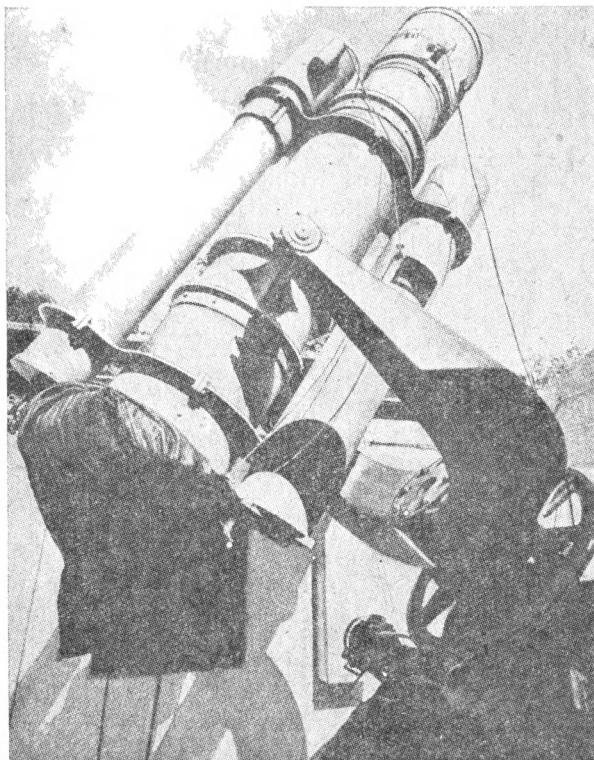
но, и наши измерения расстояний переменных звёзд надёжны и истинны. Но увы, может быть и иное объяснение этого факта — он может объясняться значительной



Фиг. 58. Положение антицентра в галактических координатах. Долготы возрастают справа налево; широты — вверх и вниз от экватора. Число короткопериодических цефеид, вероятно, увеличится в 10—20 раз по мере продвижения ведущихся в настоящее время исследований. Точки указывают положение короткопериодических цефеид, крестики — положение классических цефеид.

неравномерностью, существующей в распределении по небу галактик, которая неудачно проявилась как раз в изучаемой области. Возможно, что, несмотря на наличие какого-то поглощения (которое искажает измеренные расстояния), галактики на нашем снимке многочисленны только потому, что случайно эта площадь совпадает с такой областью неба, где галактики очень скупены. У нас

нет способа различить, какое именно из двух возможных объяснений имеет место в каждом случае. Единственное, что мы можем предпринять, это попытаться вы-



Фиг. 59. Меткофский 16-дюймовый дублет на Гарвардской станции в Ок Ридже (с дополнительными камерами); на нём получены фотографии сотен новых слабых галактик.

равнять такие местные неравномерности распределения и происходящие отсюда ошибки, применяя по возможности большие площади, работая с очень большим количеством площадок с переменными звёздами и с десятками тысяч галактик.

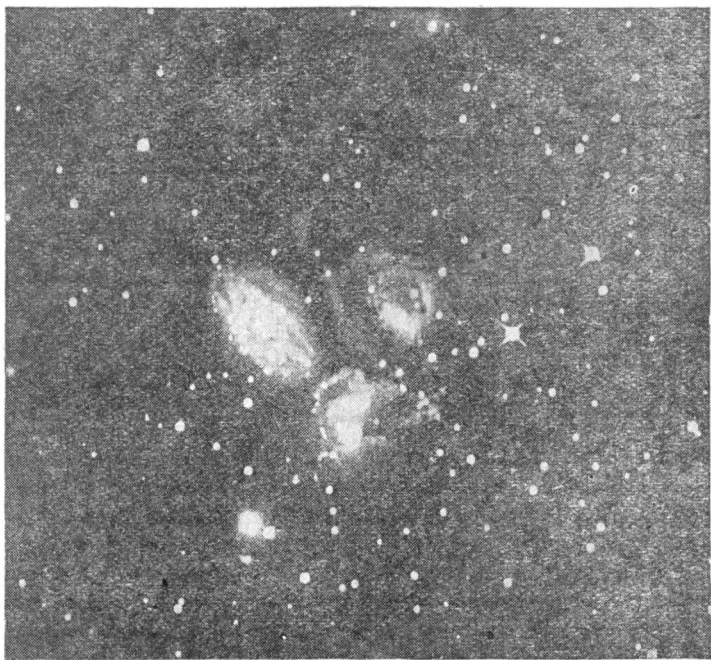
Исследования пределов Галактики в области антицентра и изучение звёздного «тумана» при помощи одновременных наблюдений переменных звёзд и галактик в Возничем, Тельце и прилегающих созвездиях очень сходны с теми работами, которые мы ведём и в других местах Млечного Пути и вне его. В частности, мы задались целью изучить протяжение нашей системы по направлению галактических полюсов; мы пытаемся найти контуры выпуклости в центре Галактики, поскольку они могут быть обнаружены изучением переменных звёзд в радиусе от 20 до 40° от направления на галактический центр.

В звёздных полях, которые лежат на краю большого сфероидального центрального ядра, звёзды, естественно, очень многочисленны, и переменные встречаются в изобилии. В то время как в высоких широтах на пластинку 8×10 дюймов, кроющую приблизительно 80 квадратных градусов, приходится около дюжины переменных звёзд, на краях ядра на такой пластинке отпечатывается более сотни переменных. В самых богатых звёздных облаках такие пластинки могут дать, при достаточной экспозиции, тысячу переменных звёзд. Но в этих особенно плотных областях, которые обычно лежат в очень низких широтах, мы не можем применять цефеиды для определения расстояний, потому что внешние галактики там совершенно закрыты тёмными массами, и нет возможности оценить поглощение в пространстве. Обычно наблюдатель имеет перед собою дилемму: богато переменными — бедно галактиками; богато галактиками — бедно переменными.

ПОДРОБНЕЕ О ЯДРЕ ГАЛАКТИКИ

Обычно принимают без особого рассмотрения, что наша звёздная система представляет собой гигантскую спиральную галактику развёрнутого типа. Такой взгляд находит подтверждение в большом числе разных признаков. Эти вопросы детально рассматриваются в 10-й главе книги Б. Бок и П. Бок «Млечный Путь». Найдено, что наше Солнце расположено очень далеко от центра системы, где-то вблизи тех мест, где начинается уже звёздный «туман», окружающий центральное дискообраз-

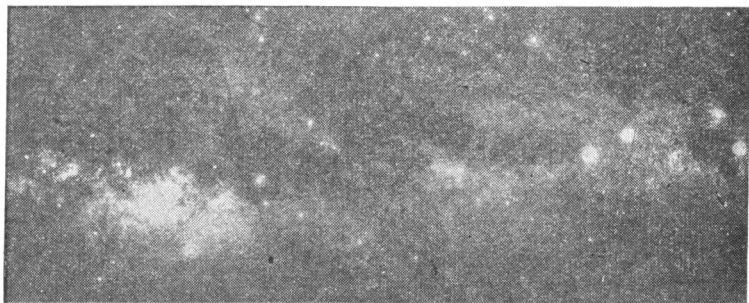
ное сгущение. Во **всяком** случае мы не сомневаемся в настоящее время, что **если** сфотографировать нашу Галактику откуда-нибудь из туманности Андромеды, то эти фотографии покажут, что почти вся спиральная структура нашей Галактики будет ближе к ядру, чем мы. Понадо-



Фиг. 60. Квинтет галактик Стефана в Пегасе.

бится чувствительный денситометр, чтобы заметить излучение непосредственно окружающих нас звёзд. Однако наблюдатель с туманности Андромеды мог бы легко заметить некоторые рассеянные галактические скопления и звёздные облака, лежащие ещё дальше от ядра, чем Солнце; такими были бы звёздные облака в Персее и Лебеде. Я подозреваю, что мы находимся в слабом внешнем продолжении одной из спиральных ветвей.

Однако возможно, что наша Галактика в конце концов окажется имеющей более сложное строение, чем простая одиночная спираль класса Sc. В наиболее простом случае здесь может быть осложнение, подобно тому, какое имело бы место, если бы одно из Магеллановых

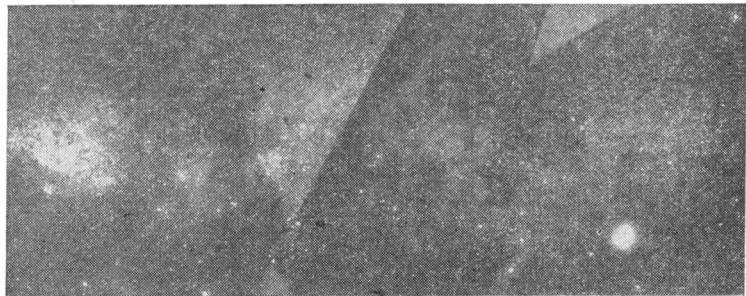


Фиг. 61. Составное изображение всей

Облаков пересекало в настоящее время нашу галактическую плоскость (а мы знаем четыре не очень далёкие от нас галактики такого типа). Ещё сложнее было бы положение, если бы система Млечного Пути оказалась запутанным комплексом нескольких галактик, подобно пятёрке Стефана (фиг. 60). В настоящее время, однако, общепринята, и пожалуй разумно, наиболее простая рабочая гипотеза, которая уподобляет нашу Галактику даже в деталях системам, подобным М 33 и туманности Андромеды.

Ядро нашей системы, обнаруживаемое распределением шаровых скоплений и явлением галактического вращения, требует особенного внимания. Его тайны частично закрыты от нас сильным поглощением. Значительная часть этой затемняющей материи находится от нас не на очень большом расстоянии, порядка нескольких сотен или тысяч световых лет, и не имеет ничего общего с ядром. Это, быть может, та пыль, которая образует тёмные пространства между спиральными ветвями. Но чем бы ни была эта поглощающая материя и где бы она ни была

расположена, она в большой степени скрывает от нас ядро и, может быть, даже закрывает его совсем. Однако есть указания, что между нами и самым ярким из звёздных облаков в Стрельце имеет место сравнительно малое поглощение света. Здесь мы можем видеть часть



южной половины Млечного Пути.

центрального ядра, хотя и несколько ослабленного поглощением. За ядром, однако, должно находиться много поглощающей пыли, так как в окрестностях центра совершенно не видно внешних галактик.

Сотни переменных звёзд, много звёздных скоплений и диффузных туманностей изучены в центральных областях. Но очень много остаётся ещё сделать в этой громадной центральной массе, которая находится от нас, повидимому, на расстоянии около 10 килопарсеков (33 000 световых лет) и которая управляет движением Солнца и определяет длину космического года.

Кроме непосредственных атак на галактический центр в синем, жёлтом и красном свете, некоторые сведения о нём можно получить и из изучения краёв центрального сфероида в средних широтах, как это было упомянуто на одной из предшествующих страниц. Полезные работы могут быть сделаны вдоль плоскости Млечного Пути к северу и к югу от ядра. Одним словом, весь квадрант неба вдоль галактического круга от Центавра до Щита требует тщательного изучения. Эта секция видна в левой

половине фиг. 61—сборной картины южной части Млечного Пути, составленной из фотографий, заснятых патрульными камерами*) в Блумфонтейне. Здесь в мелком масштабе видна вся масса света, доставляемого несколькими миллиардами звёзд. Эти фотографии также ясно показывают, как сильно врезаются тёмные полосы в светлые облака звёзд и как мы связаны в своих исследованиях хаотическими облаками поглощающего материала, который скрывает от нашей любознательности некоторые из тайн галактического ядра.

*) Патрульными камерами называются широкоугольные сравнительно небольшого размера фотографические камеры, задачей которых является по возможности частое фотографирование неба для регистрации всех могущих происходить на нём явлений (изменения блеска переменных звёзд, появление новых звёзд, комет и т. п.).
Прим. перев.)

5

СОСЕДНИЕ ГАЛАКТИКИ

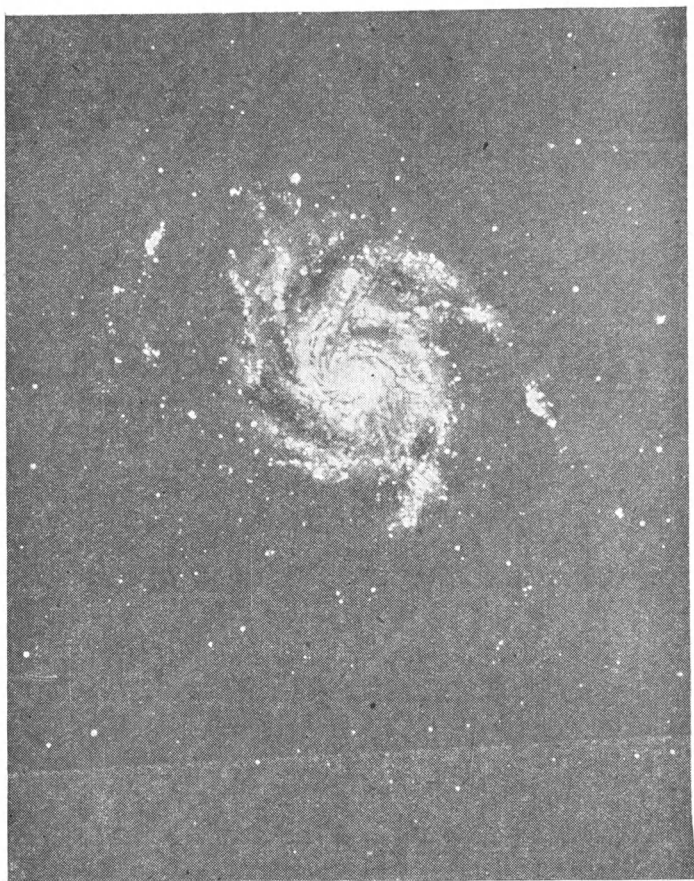
Соседство — понятие относительное и очень условное. Оно зависит от путей сообщения и от скорости передвижения, и от размера всей страны. Оно подразумевает большое количество чего-то «несоседнего».

Постоянным соседом Земли является Луна, кометы — это только посетители. За соседей Солнца можно считать звёзды внутри сферы радиусом в 50—100 световых лет; миллиарды звёзд Млечного Пути не подходят под это определение. Планеты и кометы не являются соседями Солнца; это скорее члены его семьи.

Соседство с Галактикой может быть определено так, что в число соседей войдут только Магеллановы Облака и несколько бродячих звёздных скоплений. Но можно расширить его радиус до миллиона световых лет; тогда надо будет считать соседями нашей Галактики все открытые до сего времени члены местной группы галактик. В настоящей главе мы и будем считать соседним этот более широкий объём пространства. Но такая сфера сравнительно невелика и практически оставляет за своими пределами всю известную и изучаемую нами вселенную — 99,99% её; тем не менее, она охватывает около 10^{58} км³.

ТРОЙНАЯ ТУМАННОСТЬ В АНДРОМЕДЕ И М 33

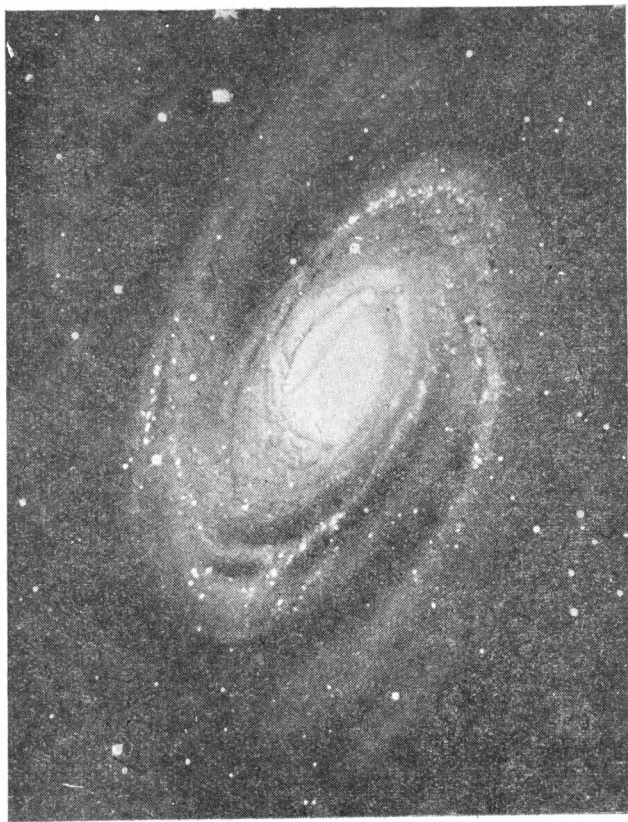
Наши ближайшие соседи — Магеллановы Облака — и их роль в деле изучения галактик была описана в двух предыдущих главах. Группа галактик в Андромеде расположена не так удобно. Их в десять раз большее рас-



Фиг. 62. М 101 хотя и соседняя галактика, но недостаточно близкая для того, чтобы считать её членом местной группы. Её красивые спирали изображены другим путём на фиг. 82.

стояние скрывает от нас некоторые их внутренние секреты, которые могли бы быть очень полезными и которые можно было бы легко изучить, находишь эти галактики на расстоянии всего 80 000 световых лет. Тем не менее, эта

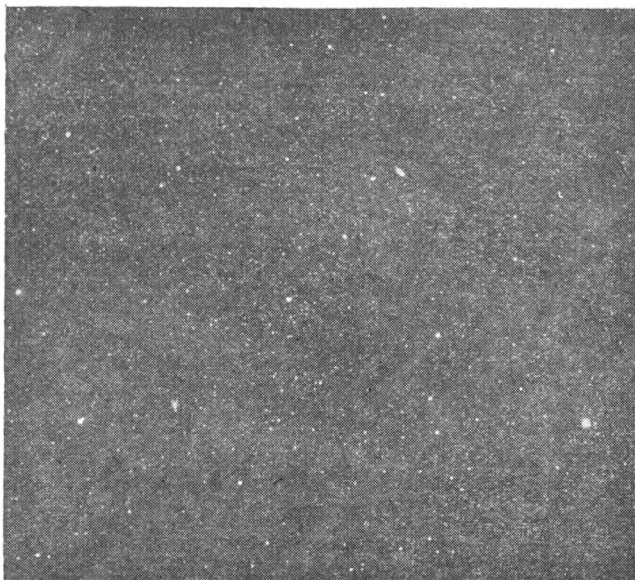
группа сыграла большую роль, подводя нас непосредственно к глубокому познанию обширной метagalактики.



Фиг. 63. Другая яркая и красивая соседняя галактика, М 81, отстоящая более чем на миллион световых лет и не входящая в состав местной группы.

Говоря фигурально, архипелаг в Андромеде (к которому я причисляю и спираль М 33 в соседнем маленьком созвездии Треугольника) послужил предварительным трамплином для нашего прыжка в метagalактические

оксаны пространства и времени, где мы с некоторым успехом изучаем тысячи других островов вселенной и где на космических горизонтах мерцает ещё миллион их.

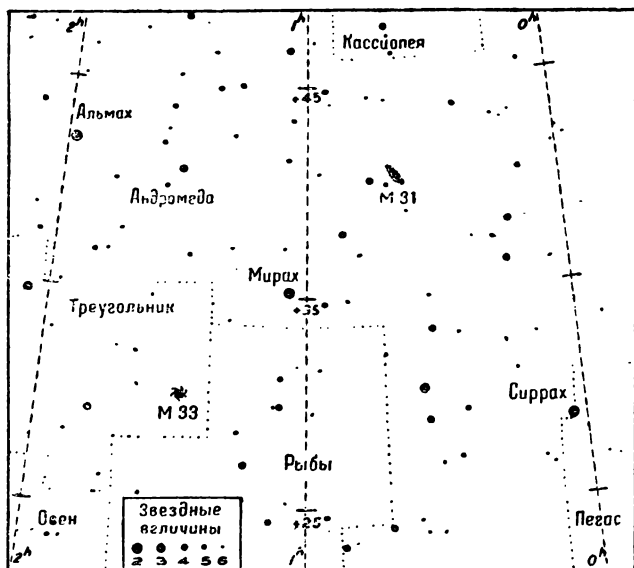


Фиг. 64а. Мелкомасштабная фотография, показывающая положение двух ближайших к нам спиралей М 31 и М 33. М 31 — выше центра справа, М 33 — ниже и левее центра. Как раз посередине между ними, почти в центре, лежит звезда 2-й величины Мирах. Яркая звезда ниже центра у правого края — очень яркая в фотографических лучах звезда Сиррах (α Андромеды), которая для глаза представляется тоже 2-й величины.

Каждый из этих четырёх соседей внёс, хотя и в разной мере, свой вклад в наши знания и в наши методы исследования. Сделаем сначала их предварительный обзор.

М 31, большая туманность Андромеды, доставила нам больше сведений, чем какая бы то ни было другая спираль, благодаря своим новым звёздам, цефеидам, сверхновой, большой лучевой скорости и вращению, опре-

делённому спектральным путём. Она доставляет северным наблюдателям единственную возможность видеть невооружённым глазом внешнюю галактику. При этом наблюдатель видит просто глазом предмет с расстояния более 7 миллионов триллионов километров и воспринимает

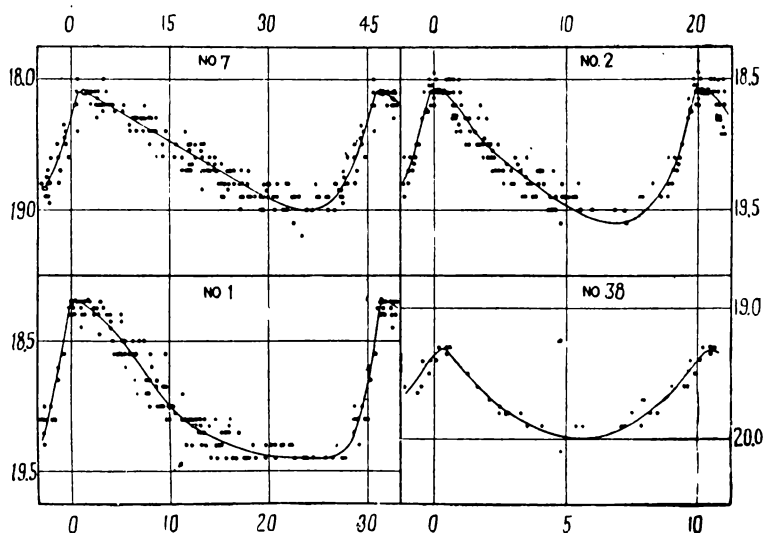


Фиг. 64б. Диаграмма, показывающая положение туманности Андромеды среди видимых невооружённым глазом северных звёзд.

световые колебания, возраст которых более чем в сто раз превышает возраст египетских пирамид.

М 32, более яркий из двух спутников туманности Андромеды, определённо показал нам благодаря работам Синклера Смита, что типичная сфероидальная галактика может быть совершенно лишена сверхгигантских звёзд, а возможно, бедна и обыкновенными гигантами. Недавно Вальтеру Бааде удалось сфотографировать отдельные гигантские звёзды этой галактики с помощью 100-дюймового рефлектора Маунт Вилсоновской обсерватории.

NGC 205, другой спутник, будучи на 6 звёздных величин слабее туманности Андромеды, тем не менее, является физическим членом группы. Он свидетельствует о наличии большого разнообразия размеров и яркостей галактик и наглядно указывает на частоту карликовых галактик, особенно в нашей части пространства, а в генети-



Фиг. 65. Несколько кривых блеска цефеид в туманности Андромеды по наблюдениям Хаббла на Маунт Вилсон.

ческой гипотезе, предлагаемой в следующей главе, служит связью с гигантскими шаровыми скоплениями.

М 33, подобно М 31, доставила, громадное количество сведений, характеризующих галактики вообще, особенно по части внутренних движений и относительного блеска переменных и непременных сверхгигантских звёзд.

Туманность Андромеды, М 31, к более детальному знакомству с которой мы переходим, имеет прямое восхождение 0 ч. 40 м. и склонение $+41^\circ$. Она довольно легко может быть найдена невооружённым глазом в ясные безлунные осенние ночи или зимние вечера. Отстоя на 21°

от плоскости Млечного Пути, она лежит в области, довольно богатой как звёздами, так и слабыми туманностями. Все эти звёзды — члены нашей Галактики, лежащие на сравнительно не очень большом расстоянии от Солнца, а туманности — далёкие внешние галактики, которые, за исключением двух спутников большой туманности Андромеды, вероятно, все удалены более чем на 10 миллионов световых лет. Богатство поля звёздами и, особенно, слабыми внешними галактиками свидетельствует о том, что между нами и тройной туманностью в Андромеде нет сильного пространственного поглощения.

Как далеки от нас туманность Андромеды и М 33, эти ближайшие и наилучше изученные спиральные галактики? Неопределённость ответа на этот вопрос является расплатой за то, что мы находимся внутри Галактики, обильной поглощающей материей. Несмотря на обширные исследования Хаббла, которые основаны на сотнях фотографий гигантских цефеид и новых звёзд в обеих этих спиральных, его оценки расстояния могут быть ошибочны более чем на 50 000 световых лет. Хаббл считает лучшей величиной 700 000, но я склонен оценивать их расстояние *не менее* чем в 750 000 световых лет. Вообще неопределённость в 10 и более процентов определяемой величины является обычной при галактических исследованиях. Здесь разница равна всего 7%, но причина её появления достойна внимания как иллюстрация методологии. Мы с Хабблом принимаем одинаковые значения для модуля расстояния $M - m$, определённые по многочисленным цефеидам, но расходимся в учёте поглощения в пространстве. Хаббл пользуется формулой, основанной на гипотезе постепенного равномерного увеличения поглощения по мере приближения к Млечному Пути — гипотезе, которая была бы правильной, если бы мы в Млечном Пути были погружены в однородное облако поглощающей материи. Лучше, однако, не пользоваться этим очень сомнительным предположением о равномерности, а определять поправку за поглощение в данной области непосредственно из наблюдения обилия далёких галактик в фоне этой области. Ясно, что если наблюдатель видит сквозь мглу много далёких объектов, то поглощение, ве-

роятно, мало. Если же видно мало или ничего не видно — поглощение света велико.

Фотографии с долгой экспозицией показывают чрезвычайное обилие далёких галактик вокруг М 33 и довольно богатое ими поле около тройной туманности Андромеды. Отсюда мы заключаем о малом значении поправки за поглощение и принимаем расстояние в 750 000 световых лет. Однако мы не можем быть абсолютно уверены в правильности результата нашей методики, потому что не исключена возможность того, что позади этих соседних спиралей в пространстве имеется реальное исключительное изобилие далёких галактик, значительно превышающее то количество их, которое наблюдается на окружающем фоне. Тогда тот факт, что мы наблюдаем около туманности Андромеды и М 33 число далёких галактик, нормальное для прозрачных областей неба, может быть вызван наличием сильного поглощения.

Подобным же образом бедность фона галактик вокруг Малого Магелланова Облака может быть объяснена не только наличием сильного поглощения, но и реальной бедностью галактиками пространства зади этого Облака. В главе 2-й (стр. 52) мы, положив, что малочисленность галактик фона вызвана сильным местным поглощением, приняли поэтому расстояние Малого Облака на 10% меньше, чем Хаббл, который и здесь вносил поправку за поглощение в предположении его равномерности.

Гипотеза об исключительном изобилии галактик, которое может отчасти компенсировать поглощение в полях М 31 и М 33, не так искусственна, как это может показаться с первого взгляда. В следующей главе мы увидим, что в распределении галактик в действительности существует чрезвычайная неравномерность. Имеется несколько обширных метагалактических облаков галактик, и одно из них может лежать как раз в направлении Андромеды и Треугольника.

Итак, мы должны признать неприятный факт, что, с одной стороны, неравномерность поглощения в пространстве, а с другой — неравномерность распределения галактик в метагалактическом пространстве лишают нас возможности точного измерения расстояний ближайших га-

лактик, как бы точно ни была лежащая в основе этого измерения фотометрия переменных и новых звёзд и с какою бы уверенностью мы ни установили основные величины: нуль-пункт кривой период — светимость, скорость света и стандарты видимых фотографических звёздных величин. Есть, правда, одна надежда найти выход из положения и даже одно преимущество такого положения. Надежда заключается в том, что, может быть, мы путём изучения цвета и движения сможем правильно оценить поглощение или обойти его. Довольно сомнительное преимущество современного положения вещей состоит в том, что ввиду неизбежной неточности, вносимой неравномерностью распределения пыли, газа и самых галактик, нам нет нужды добиваться чрезмерной точности в других частях процесса измерения метагалактического пространства.

Примем же расстояние группы в Андромеде в 750 000 световых лет с неуверенностью в 10% в ту или другую сторону. Расстояние М 33 можно считать таким же. Правда, её цефеиды данного периода оказываются ярче на $\frac{1}{10}$ звёздной величины, но она может быть и не расположена ближе, так как эта разница соответствует разнице в расстояниях лишь на 5%. Но М 33 лежит на расстоянии 14° от группы Андромеды, и нет основания думать, что поглощение в пространстве в обоих местах совершенно одинаково.

Принимая расстояние четырёх рассматриваемых соседних галактик в $\frac{3}{4}$ миллиона световых лет, или 0,23 мегапарсека, мы можем вычислить, что они ближе друг к другу, чем к нам, так как наибольшее взаимное расстояние между ними равно только 180 000 световых лет.

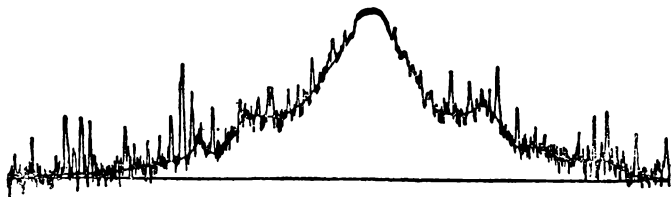
Как велики эти ближайшие галактики? Теперь, когда мы приняли определённую величину для их расстояния, ответ может быть дан в линейных мерах. Без знания расстояния мы могли бы указать только угловые размеры. Например, главное тело туманности Андромеды — та часть её, которая выходит на лучших фотографиях и с самыми хорошими телескопами — имеет около $40'$ в ширину и $160'$ в длину. Площадь её приблизительно в 7 раз превосходит площадь диска Луны или Солнца.

Зная расстояние в световых годах, мы легко вычислим по этим угловым размерам и линейные; оказывается, что длина туманности Андромеды равна 35 000 световых лет, а ширина — около 8700. Естественно предположить, что эта гигантская спираль в действительности круглая в своей экваториальной плоскости и что её эллиптическая форма является результатом наклона. Тогда отношение длины к ширине явится мерой наклона экваториальной плоскости относительно луча зрения. Оказывается, этот наклон составляет всего 15° , и мы, таким образом, видим спираль почти с ребра.

Непосредственно глазу, хотя бы вооружённому телескопом, туманность Андромеды не обнаруживает своих спиральных ветвей и кажется гораздо меньше, чем на хороших фотографиях, подобных той, которая дана на фиг. 56. Она представляется едва ли больше, чем звезда, видимая через туман. С другой стороны, микроденситометру — чувствительному аппарату, часто применяемому ныне при измерении звёздных фотографий, — она представляется гораздо большей, чем она непосредственно выглядит на лучшей фотографии, если негатив для денситометрического анализа соответственно экспонировать на подходящей для этого телескопической камере. Кривые денситометра показали, как указано в предыдущей главе, что границы этой галактики очень удалены от ядра. Несколько астрономов измерили этот редкий ореол из звёзд, который окружает главное тело системы. Предварительные измерения увеличили длину изображения с $160'$ до $270'$, а ширину — с $40'$ до $240'$ (фиг. 66). Вследствие этого площадь неба, занятая этой системой, оказывается увеличенной в 10 раз, т. е. равной приблизительно 14 квадратным градусам, что в семьдесят раз превышает полную Луну и составляет приблизительно $\frac{1}{3}$ площади «ковша» Большой Медведицы. Как по кажущимся размерам, так и в действительности это поистине гигантская галактика.

Так как большая и малая оси этого расширенного изображения туманности Андромеды лишь незначительно отличаются друг от друга, то в пространстве внешняя часть системы должна быть приблизительно шарообразной,

а не являться плоской и наклонной, подобно внутренней части. Если эти предварительные измерения полностью подтвердятся, то мы имеем перед собой довольно странную структуру: плоское колесо с выдающейся ступицей, окутанное обширным сфероидальным туманом, составленным из чего-то, что испускает слабое сияние, вероятнее всего — из звёзд, которые лежат за пределами мощности наших инструментов, звёзд, слишком слабых для инди-

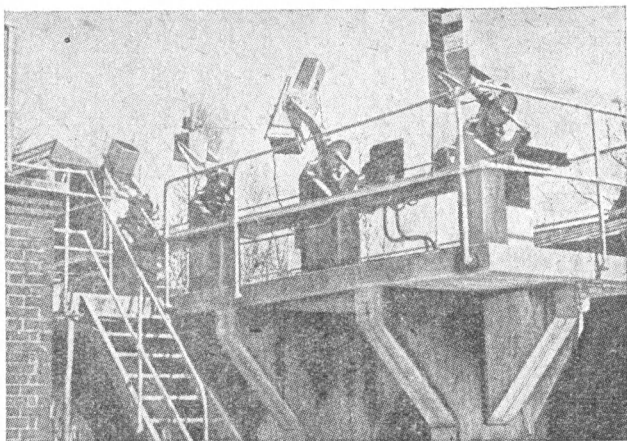


Фиг. 66. Регистрограмма, полученная на денситометре вдоль большой оси М 31. Отдельные зазубрины получились благодаря случайным звёздам и зернистости пластинки; сплошное свечение неразделяющегося звёздного фона М 31 отмечено основной плавной линией диаграммы.

видуальной регистрации, но способных общим свечением воздействовать на фотографическую пластинку.

Звёзды, составляющие эту оболочку, не все обязательно должны быть слабыми. Может быть, некоторые из них являются короткопериодическими цефеидами, подобно звёздам, находимым в аналогичном тумане вокруг нашей собственной Галактики (см. гл. 4-ю). Ни один из существующих или проектируемых телескопов не может дать изображений индивидуальных звёзд много слабее 22-й величины, по крайней мере до того времени, пока не увеличится существенно чувствительность фотографических пластинок и плёнок. Наше Солнце на расстоянии туманности Андромеды было бы более чем в 100 раз слабее этой предельной 22-й величины. Таким образом оболочка, окружающая все три члена тройной туманности Андромеды, может состоять из звёзд почти любого рода, кроме сверхгигантов, и всё-таки оставаться совершенно вне предела проникающей силы наших телескопов.

Массы двух больших соседних спиралей, М 31 и М 33, и численный состав их звёздного населения являются в настоящее время предметом теоретических исследований и вычислений. Главным препятствием для успеха в этом направлении является необходимость вести анализ и вычисления на основании не всегда достоверных предположений. Мы все, вероятно, могли бы согласиться



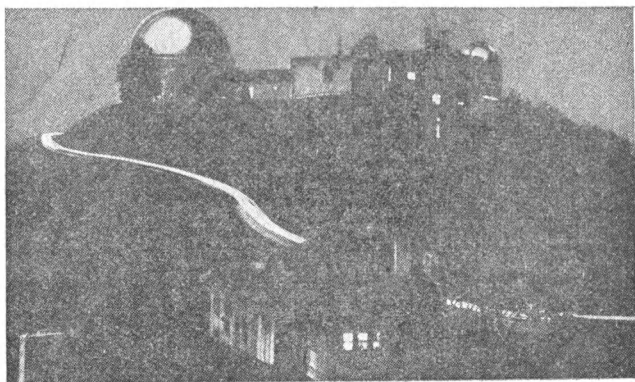
Фиг. 67. Патрульные камеры на станции Ок Ридж по ночам следят за состоянием сотен тысяч северных звёзд.

с тем, что масса туманности Андромеды не меньше, чем масса полмиллиарда солнц и не больше массы 500 миллиардов их. В действительности, мы можем пойти дальше и принять нижним и верхним пределами массы (и числа звёзд) один миллиард и двести миллиардов солнц.

Одним из путей для более точной оценки массы туманности Андромеды является использование её интегральной светимости, которая нам известна с такою же точностью, как и её расстояние. Хаббл даёт для интегральной светимости М 31, выражая её в абсолютных

звёздных величинах, — 17,5 звёздной величины. В переводе на более наглядное выражение это соответствует светимости в 1 600 000 000 раз большей светимости Солнца (неопределённость этой величины, к сожалению, составляет не менее 10%).

Если бы туманность Андромеды состояла только из звёзд главной последовательности класса G, подобных



Фиг. 68. Ликская обсерватория на горе Гамильтон в Калифорнии при лунном освещении.

Солнцу, мы сразу же могли бы определить как её численный состав (1 600 000 000 звёзд), так и массу (1 600 000 000 солнечных масс) по её интегральной светимости. Мы могли бы также получить довольно хорошую оценку общей массы туманности Андромеды и в том случае, если бы у нас были основания предполагать, что хотя звёзды её и не все подобны Солнцу, но *отношение* массы к количеству излучаемой энергии остаётся для них *в целом* таким же, как и у Солнца, т. е. для них $M:L=1,0$, если принять за единицу массы и светимости массу и светимость Солнца. Но мы могли бы оценить массу даже и тогда, если бы это отношение было иное, при условии, что мы знали бы его величину.

Многие из звёзд, которые составляют туманность Андромеды,—гиганты и сверхгиганты с большим излучением света на единицу массы, чем это имеет место у звёзд, подобных Солнцу; для них $M:L$ меньше среднего. Но, вероятно, большая часть звёзд слабее и плотнее Солнца, с меньшей излучающей способностью на единицу массы. Для этих карликов отношение $M:L$ много больше единицы. Ни для одной галактики, кроме нашей собственной, у нас нет сведений об относительных числах звёзд разного типа: сверхгигантов, гигантов, звёзд главной последовательности, карликов, субкарликов и частиц пыли. Для ориентировочных подсчётов мы можем предположить, что в среднем отношение $M:L$ всюду такое же, как и в окрестностях Солнца, в этой единственно доступной нам для такого изучения части вселенной. Здесь имеется много карликов и мало гигантов. Э. Эпик на основании такой гипотезы сделал несколько лет назад соответственное вычисление, получив для М 31 отношение $M:L$, равное 2,6, а общую массу равной 4,5 миллиарда солнечных масс. Однако в действительности отношение $M:L$, вероятно, очень меняется в различных частях как нашей Галактики, так и в Магеллановых Облаках, туманности Андромеды и повсюду. Мы можем найти $M:L=100$ и более во внешних частях больших спиралей, где может быть много массы, но мало света. Определение масс по светимостям является поэтому ненадёжным методом.

Лучшим методом было бы «прямое» измерение массы по движениям внутри спирали, обнаруживаемым смещениями спектральных линий. Он был бы лучшим, если бы мы знали, как им пользоваться, но ведь знание даётся временем и опытом. Последние трудные исследования, выполненные на Ликской обсерватории Бэбкоком относительно М 31 и Мэйоллом и Аллером относительно М 33, очень важны, но и до сего времени мы ни для одной спирали не знаем, как именно распределены звёзды и массы в тех областях, где измерены смещения линий и движения. Следовательно, мы не можем определённо интерпретировать и движения как функции масс. В своём современном состоянии этот метод даёт, по Мэйоллу и

Уайзе, общую массу М 31 порядка 100 миллиардов солнечной, а М 33 — менее 2 миллиардов.

Звёзды в спиральной туманности подчиняются совсем иному гравитационному режиму, чем тот, который господствует в солнечной системе, где практически вся масса сосредоточена в центральном теле, и управляющая движениями сила изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от центра. Но этот режим не похож и на тот, который имел бы место, если бы спираль была сплошным дискообразным телом с равномерной плотностью от центра до краёв, где сила была бы пропорциональна расстоянию от центра. В действительности истина лежит, вероятно, где-то посередине между этими двумя крайностями, и сложный закон, управляющий движениями звёзд, несомненно, изменяется с расстоянием как от ядра, так и от спиральных ветвей. Точное решение проблемы массы путём изучения смещений спектральных линий будет поэтому трудным, но оно не безнадежно, если спектральное и теоретическое изучение движений в спиральных и в других внешних галактиках будет энергично продолжаться. Но на многие годы вперед мы вынуждены будем ограничить исследования наблюдением только наиболее близких и ярких галактик. Будем надеяться, что эти соседи настолько типичны, что они дадут нам возможность вывести законы, пригодные всюду.

Есть ещё один метод нахождения масс внешних галактик, несколько худший тех методов, которые мы только что упоминали. Это теоретический вывод того, какой *должна* быть масса большой космической единицы, если исходить из основных свойств материи, времени и пространства. Однако наблюдаемое в природе разнообразие размеров и масс (хорошая иллюстрация этого — гигантская туманность Андромеды и её карликовый спутник) заранее компрометирует применение таких методов к отдельным галактикам. Только очень немногие из занимавшихся космогоническими теориями пользовались ими.

И, наконец, может быть, окажется возможным вывести средние массы из наблюдений движений групп галактик. Этот метод будет основан на наблюденных взаимодействиях между соседними системами и на их теории. Опять-

таким нам придётся допустить, что мы точно знаем лежащие в основе законы движения. Но возможно, что те простые допущения относительно действующей силы, которые хороши для планет и двойных звёзд, окажутся недостаточными, когда мы применим их в макрокосмическом масштабе скоплений галактик.

Что касается размеров трёх других членов соседней группы галактик в Андромеде и Треугольнике, то о них достаточно будет сказать только несколько фраз. Так как расстояния М 33 и двух спутников большой туманности, М 32 и NGC 205 приблизительно те же, что и М 31, то мы можем пользоваться для них тем же соотношением между угловыми и линейными размерами: $1' = 210$ световых лет. В следующей таблице светимости даны в миллионах светимостей Солнца. Для туманности Андромеды эта величина равна 1800, а для средней спирали — около 100.

	Угловые размеры	Линейные размеры			Свети- мость	Тип
М 33	90' × 60' 60' × 30'	19 000 × 12 500	световых	лет	160	Sc
М 32	8',5 × 7',5	12 500 × 6 000	»	»	30	E2
NGC 205	8' × 4'	1 800 × 1 600	»	»	7	E5
		1 700 × 850	»	»		

М 33 немного больше и ярче средней спирали наших каталогов. В предыдущей таблице для неё даны два ряда величин. Первый из них основывается на микроденситометрических кривых, снятых с негатива, полученного с продолжительной экспозицией на 4-дюймовой камере. Второй ряд величин относится к главному телу спирали, как оно видно на хорошей фотографии, снятой на большом рефлекторе (см. фиг. 102). Измеряемые размеры, и угловой и линейный, зависят от продолжительности экспозиции фотографии, и поэтому приведённые значения их всегда преуменьшены, если принять за действительные размеры те, которые включили бы все далеко рассеянные звёзды.

Мы оцениваем наклон М 33 в 30° , основываясь на непосредственных измерениях лучших фотографий. Микроденситометр, который даёт гораздо большие диаметры галактики, измеряет, вероятно, и здесь, как в туманности Андромеды, размеры разрежённой оболочки из звёзд, которая окружает дискообразную спираль.

Так как светимость средней галактики равна приблизительно светимости сотни миллионов солнц, то карлик NGC 205 со своей светимостью всего в 7 миллионов Солнц является столь же аномальным пигмеем среди галактик, сколь аномальным гигантом является туманность Андромеды.

Нужно задать ещё последний вопрос относительно этой группы четырёх соседних галактик: из какого рода звёзд они состоят?

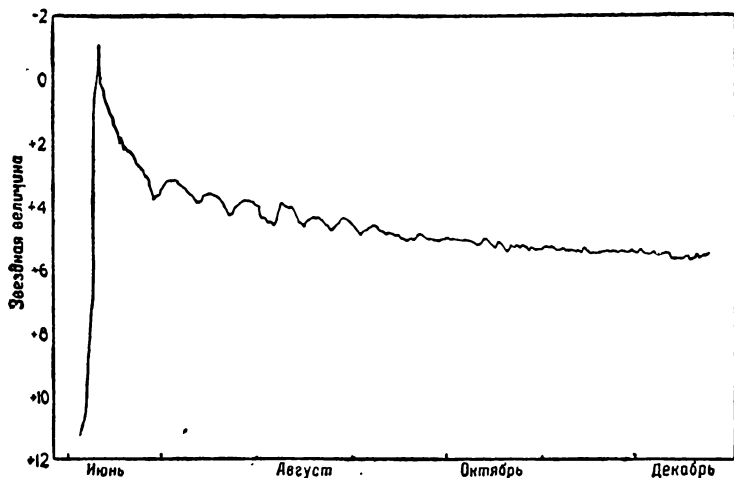
Самыми важными являются цефеиды. Около 50 их известно в М 31 и немного меньше в М 33. Имеются в них также новые звёзды и сверхгигантские непременные звёзды, которые можно выделить и определить их блеск. Изображения отдельных звёзд в М 32 и NGC 205 впервые были выявлены в 1943 г. на фотографиях, полученных Бааде с помощью 100-дюймового рефлектора.

Практически вся работа по открытию переменных и новых звёзд в этих четырёх галактиках выполнена Хабблом. Он отмечает, что хотя в туманности Андромеды за последнее время было открыто более сотни обыкновенных новых звёзд, тем не менее, перепись их далеко неполна, потому что система не находится под непрерывным наблюдением. Вероятно, каждый год в ней вспыхивают 25 или больше новых. Вспомним, что эта спираль относится к классу Sb. В М 33, класса Sc, отмечено только полдюжины новых, несмотря на тщательные наблюдения. А в галактиках ещё более рассеянного типа — Магеллановых Облаках — новые звёзды, повидимому, исключительно редки.

Частоту появления таких бурных явлений, как новые звёзды, нужно изучать в течение многих лет и во многих системах. Тем не менее, интересно отметить, что если современная частота появления новых в туманности

Андромеды сохраняется тысячелетиями, то сейчас около 20 миллионов извещений об этих явлениях находятся в пути от туманности Андромеды к Земле, записанные в колебаниях света — события прошлого для этой галактики, но ещё будущие — для нас.

В дополнение к цефеидам и новым звёздам во внешних частях обеих спиралей М 31 и М 33 можно отчётливо



Фиг. 69. Кривая блеска Новой Орла 1918 г., самой яркой новой, открытой со времени Новой Кеплера 1604 г.

заметить большое количество сверхгигантских звёзд. Мы мало что знаем о них. Они слишком слабы, а неразрешимый фон более слабых звёзд осложняет исследование тех из них, которые могут быть выделены, тем более, что расстояние от наблюдателя так велико, что целые группы звёзд, подобные Плеядам, должны сливаться воедино, и вследствие этого в них нельзя узнать скопления. Они выглядят как одиночные сверхгигантские звёзды. Кроме того, в этих галактиках было с несомненностью отождествлено некоторое количество больших рассеянных скоплений; то же касается газовых туманностей и звёздных облаков. Вокруг М 31 имеется также значительное

количество слабых размытых круглых пятнышек, которые могут быть шаровыми звёздными скоплениями, подобными шаровым скоплениям нашей собственной галактической системы. Эти скопления кажутся слабее и меньше, чем средние скопления нашей Галактики; вероятно, многие



Фиг. 70. Рабочий снимок туманности Андромеды, показывающий не только расположение её новых звёзд и гигантских цефеид (разметки Хаббла), но и её обоих спутников, М 32 и NGC 205.

из них являются плеядоподобными рассеянными скоплениями, случайно столь симметричными, что их можно принять за шаровые. Мы, повидимому, сможем полнее истолковать эти соседние спирали, используя те рабочие орудия, которые нам дала мастерская, описанная в одной из первых глав, т. е. Магеллановы Облака. Мы должны более детально исследовать сходные с интересующими нас объектами образования в Магеллановых Облаках; они

достаточно близки к нам, чтобы мы могли отличить рассеянные скопления от тесных, голубые звёзды от жёлтых, диффузные туманности от планетарных.

Исследования звёздного состава, однако, подвинулись настолько, что мы можем быть уверены, что наша Галактика, М 31, М 33 и другие открытые спиральные системы представляют собой системы одного рода и, вероятно, имеют не только близкий по характеристикам состав населения, но обладают и очень сходной структурой.

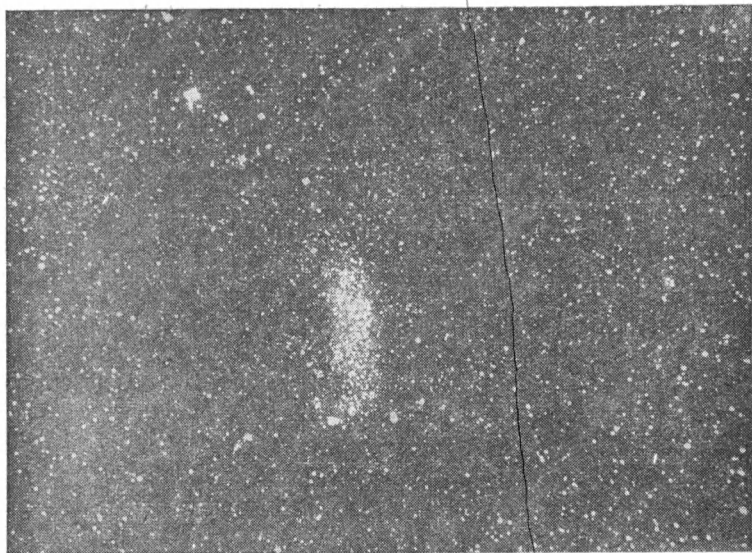
ДВА ДРУГИХ НЕПРАВИЛЬНЫХ СОСЕДА

До сего времени мы имели дело с семью членами местной группы галактик, которые мы бегло описали: галактическая система, Магеллановы Облака, туманность Андромеды с двумя своими спутниками и М 33. Теперь мы отметим ещё два члена группы. Одним является галактика Барнарда, которая носит название NGC 6822, а другой носит номер 1613 в «Index Catalogue» — дополнении к знаменитому «New General Catalogue», составленному Дж. Л. Э. Дрейером пятьдесят лет назад в помощь астрономам для систематического изучения скоплений и туманностей.

Эти два наших галактических соседа неправильны по форме, подобно Магеллановым Облакам, и оба являются карликами. По своей светимости они даже слабее, чем NGC 205. Неправильная структура и слабая светимость очень мешают нам при изучении населения метagalактики. К нашему смущению оказывается, что из девяти объектов, лежащих от нас ближе одного миллиона световых лет, четыре являются беспорядочными нагромождениями звёзд, тогда как в наших описях метagalактики в объёме радиусом до 10 миллионов световых лет только 3—4% галактик оказывается неправильной формы. Население метagalактики представляется нам состоящим на 75% из спиралей, несколько менее 20% являются сфероидальными галактиками и только остаток приходится на неправильные галактики.

Что же ошибочно? Является ли наша часть вселенной нетипичной или дело в какой-то неправильности наших

описей, или, наконец, это игра закона случайностей? Причина противоречия, повидимому, лежит в наших описях. Два из этих неправильных объектов отличаются очень слабой интегральной светимостью. Если бы они были помещены на расстоянии 50 миллионов световых лет, они бы вообще не были обнаружены даже на луч-

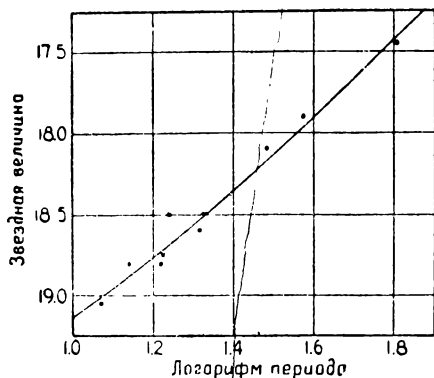


Фиг. 71. Галактика Барнарда, NGC 6822, тускло просвечивающаяся сквозь густое поле южных звезд.

ших наших фотографиях. Возможно также, что принятое процентное соотношение типов далёких галактик ошибочно. Если бы NGC 6822 или Малое Магелланово Облако были бы на границе доступного для фотографической пластинки, то мы могли бы не заметить неправильности их структуры и отнесли бы их к классу сфероидальных. Подобным же образом неправильный выступ может быть принят за спиральную ветвь.

Э. Барнард в 1884 г. при помощи небольшого телескопа заметил, недалеко от звёздных облаков южной ча-

сти Млечного Пути, слабое туманное пятнышко, которое потом получило название NGC 6822. Это — трудный объект, и требуется подходящий телескоп, для того чтобы обнаружить эту смесь звёзд с туманностью (фиг. 71). Наилучшим способом его изучения является, конечно, хорошая фотографическая пластинка. Визуальные наблюдения



Фиг. 72. Кривая период — светимость для галактики Барнарда (по Хабблу).

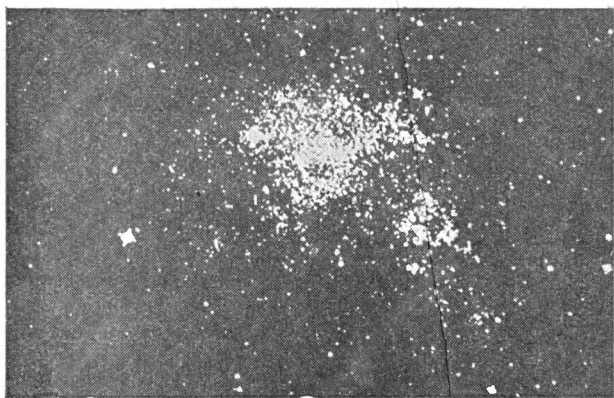
встречают затруднения, обычные при изучении слабо светящихся поверхностей. Хаббл отметил интересное обстоятельство, что этот объект хорошо заметен в 4-дюймовый телескоп при окуляре с малым увеличением, но в то же время он едва может быть различим в главном фокусе 100-дюймового рефлектора.

Галактика Барнарда, расположена в

созвездии Стрельца (прямое восхождение 19 ч. 42 м., склонение — 15°). Её расстояние, размеры и состав звёзд были изучены Хабблом. В ней было найдено одиннадцать цефеид и по ним легко определено её расстояние. Однако Млечный Путь находится всего в 20° от этой галактики, и поэтому неизвестное пространственное поглощение света неизбежно влияет на достоверность фотометрического измерения расстояния. NGC 6822 во многих отношениях походит на Магеллановы Облака. Её цефеиды очень типичны. На фиг. 72 воспроизведена кривая зависимости период — светимость для них. Мы снова замечаем, что переменность типа цефеид является широко распространённым свойством гигантских и сверхгигантских звёзд, вероятно во всей вселенной.

Расстояние галактики Барнарда (несколько больше полмиллиона световых лет) меньше, чем расстояние груп-

пы Андромеды, но больше, чем Магеллановых Облаков. В её спектре обнаруживается смещение к синему концу, показывающее, что NGC 6822 и наблюдатель сближаются друг с другом со скоростью около 160 км/сек. Но это видимое сближение всецело объясняется скоростью



Фиг 73. IC 1613, неправильная соседняя галактика, богатая цефеидами.

нашего обращения вокруг центра Галактики, так что NGC 6822 и центр Галактики практически неподвижны по отношению друг к другу. В отличие от Магеллановых Облаков эта более отдалённая карликовая галактика не может быть отнесена к классу спутников, так как она лежит много дальше самых отдалённых короткопериодических цефеид, открытых до сего времени в звёздном «тумане», окружающем Галактику.

Неправильная карликовая туманность IC 1613 (прямое восхождение 1 ч. 0 м., склонение $+1^{\circ}6'$) лежит вдали от плоскости Млечного Пути, и поэтому её расстояние и интегральная звёздная величина мало искажены поглощением в пространстве. Бааде держит эту крошечную галактику под тщательным наблюдением. По многим цефеидам он вывел предварительную величину её расстояния

в 900 000 световых лет. Интегральная абсолютная величина её — 10,5 — показывает, что светимость IC 1613 эквивалентна только 2 500 000 солнц — жалкий осколок по сравнению с нашей Галактикой, которая более чем в 1000 раз ярче IC 1613. Однако мы называем оба объекта галактиками.

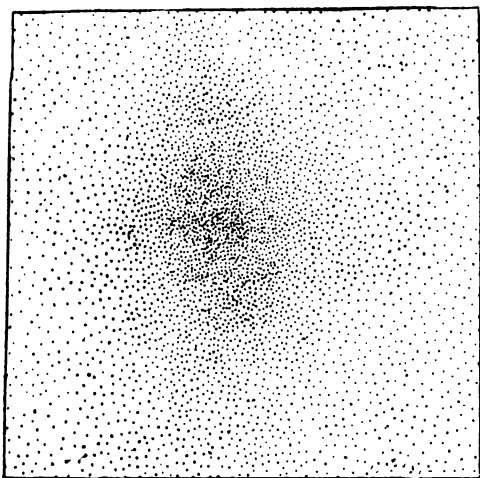
НЕОБЫЧАЙНЫЕ СПУТНИКИ В СКУЛЬПТОРЕ И ПЕЧИ

Мы были очень удивлены в 1938 г., когда на гарвардских пластинках неожиданно и совершенно случайно обнаружили два небесных объекта совершенно нового типа. Казалось, что вся последовательность галактик была уже известна; все формы были давно полностью описаны — это были спирали, сфероидальные и неправильные галактики со многими разновидностями спиральных форм.

Открытые в Скульпторе и в Печи объекты не укладывались естественным образом в существующий ряд и не были его логическим дополнением. Напротив, они вносили некоторые сомнения в нарисованную нами картину — внушали подозрения, что мы, может быть, совсем не так уж далеко продвинулись в познании мира галактик, как это мы воображали.

До сего времени об этих новых соседях известно не очень много. Я написал три небольшие работы о них; одну написали Бааде и Хаббл. Может быть, особенно много о них и нечего знать; они сравнительно просты. Пожалуй, самое важное, что они могут дать, заключается именно в самом факте установления наличия таких объектов, как членов нашей группы галактик, причём обладающих очень малыми светимостями. Они увеличивают число карликов в нашей семье до шести (из общего числа одиннадцати). Их слабая светимость особенно важна; она опрокидывает наши прежние представления и предположения о «средней галактике», которые могут нуждаться в серьёзных изменениях. Кроме того, пересмотру должны подвергнуться оценки и общего числа внешних галактик и общей массы метagalaktiki. И всё это сделали два туманных пятнышка на фотографии.

Мы не были удивлены, когда исследование пластинки № 18005, снятой нами на 24-дюймовом Брюс-телескопе, обнаружило на ней пару тысяч далёких слабых галактик (в дополнение, конечно, примерно к 30 000 звёзд нашей галактической системы). Пластика была хорошего качества, галактическая широта Скульптора высока — улов был приблизительно нормальный. Но, когда на маленьком кусочке этой пластинки обнаружился однообразный рой



Фиг. 74. Диаграмма, показывающая распределение звёзд в скоплении Скульптора. Изображён один квадратный градус.

едва видимых точек, мы сначала с трудом могли допустить, что в этом сборище точек на стеклянной пластинке метagalactica открыла нам что-то реальное и совершенно новое. Это скопление было подозрительно похоже на дефект слоя пластинки, отпечаток пальца при проявлении или какое-нибудь загрязнение в процессе изготовления пластинки.

Сплошной однообразный вид скопления в Скульпторе на фотографии довольно хорошо передаётся чертежом на фиг. 74, масштаб которого равен масштабу оригинальной

фотографии — один градус равен 6 см — но число точек которого нужно было бы увеличить в 2,5 раза, чтобы получить то число объектов, которое показывает пластинка № 18065 в квадратном градусе вокруг центра скопления. В действительности скопление выходит за пределы одного квадратного градуса. Оно имеет в диаметре около 75' и содержит десять тысяч членов ярче 19,5 звёздной величины.

Подозрение, что скопление Скульптора может быть дефектом пластинки, сразу исчезло, как только была получена контрольная фотография. Была также найдена в гарвардской коллекции одна старая пластинка, которая ещё в 1908 г. смутно зарегистрировала эту систему. Эта первая фотография была снята не на Брюс-рефракторе, наиболее мощном «ловце галактик» в южном полушарии, но при помощи крошечной патрульной камеры с диаметром объектива в 1 дюйм и фокусным расстоянием 13 дюймов. Пластинка была снята Бейли во время экспедиции в Южную Африку для выбора места для обсерватории; камера была направлена на южный полюс Галактики — область сравнительно бедную как яркими, так и слабыми звёздами. Фотография имела общее время экспозиции 23 ч. 16 м. Для получения экспозиции такой продолжительности были использованы лучшие части ночей 9, 10, 12, 13 и 14 октября. Усердие Бейли дало на пластинке около 80 000 галактических звёзд и очень смутный отпечаток нашего необычного скопления. Если бы положение скопления Скульптора не было нам заранее известно, когда мы, в поисках подтверждения, пересматривали эти старые южноафриканские пластинки, то это изображение легко могло бы остаться незамеченным или принято за одну из случайных неравномерностей фона фотографического слоя. Более современные и более светосильные патрульные камеры, применяемые в настоящее время на южной станции Гарвардской обсерватории, обнаруживают объект уже при экспозиции в 3 часа, но и они показывают его лишь в виде круглого, немного более плотного к центру пятна. Нужны большие рефлекторы, чтобы разрешить систему на индивидуальные составляющие.

Любопытно, что многие десятки имеющихся снимков этой области, снятых с инструментами промежуточной

величины, не показывают никакого следа её. Очень большие телескопы получают изображения индивидуальных составляющих скопления, а очень маленькие камеры, подобные бывшей у Бейли, могут благодаря мелкости масштаба дать изображение системы как целого.

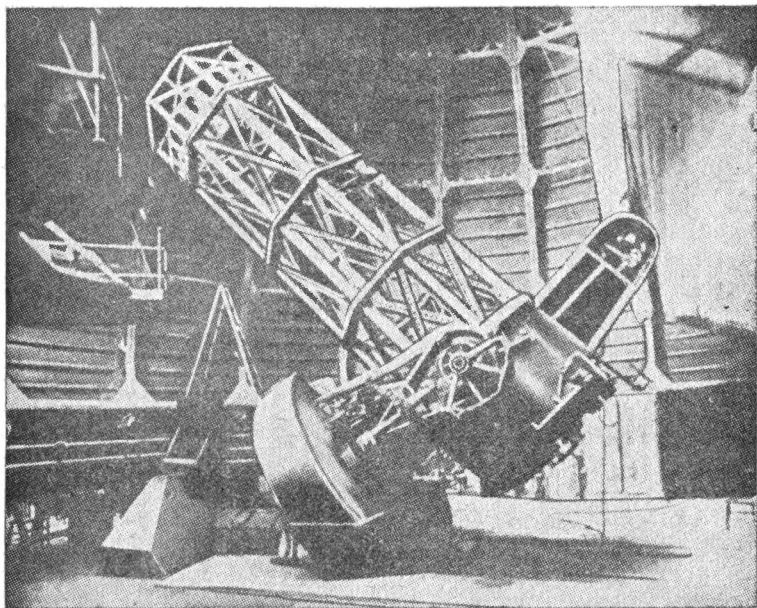
Пластика № 18005 серии Брюс-телескопа была снята в 1935 г. Франсуа Р. де Вийе, сотрудником Бойденской станции, в порядке текущей работы по фотографированию южного неба с 3-часовыми экспозициями для составления обзора галактик. Два года прошло, прежде чем эта пластинка подверглась обследованию при помощи микроскопа, и ещё один год, прежде чем было закончено подтверждение открытия и предварительное изучение его. Выяснилось, что эта пластинка (фирмы Крэмера) была ненормально высокой чувствительности. Если бы она имела нормальную чувствительность и атмосферные условия были бы средними, то скопление Скульптора не могло бы быть найдено.

Южноафриканский 60-дюймовый рефлектор окончательно доказал, что объекты, составляющие скопление в Скульпторе, — звёзды, а не слабые внешние галактики. Тут перед нами встала проблема дать объяснение этой системы. Если бы это было облако галактик, подобное тем, которое мы будем рассматривать в следующей главе, в этом не было бы ничего особенно необычного, хотя большое количество составляющих тоже выделяло бы его из других. Как облако звёзд скопление представлялось более загадочным. Лишь очень немногие из его звёзд были ярче 18-й величины, большая же часть их была слабее 19-й. Лежит ли эта группа внутри галактики или вне её? Или эта система должна быть очень удалённой, и её самые яркие звёзды являются гигантами, как обычно, или это скопление лежит внутри галактики, тогда её главные звёзды — карлики и кажутся слабыми потому, что они действительно имеют очень низкую светимость.

По счастью, цефеиды и на этот раз пришли нам на помощь. Две правильные переменные звезды типа цефеид, были измерены на гарвардских пластинках. К настоящему времени материал по этим звёздам ещё недостаточно

обилен, но он указывает расстояние в 80 килопарсеков (260 000 световых лет).

Скопление Скульптора находится в высоких широтах, и нам нет нужды в особом учёте пространственного погло-



Фиг. 75. 60-дюймовый рефлектор Маунт Вилсоновской обсерватории.

щения. И, действительно, две тысячи слабых галактик на пластинке, где было найдено скопление, подтверждают предположение о высокой прозрачности. Мы можем, кроме того, быть уверены, что заметного поглощения нет и внутри самой системы, так как некоторое количество внешних галактик, с расстоянием в десятки миллионов световых лет, видно как раз сквозь само разрежённое скопление звёзд.

Зная расстояние, мы вычисляем диаметр и находим, что скопление Скульптора имеет размеры галактики, а

не обычного звёздного скопления в галактической системе. Мы вычисляем также интегральную светимость и заключаем, что эта система, которая только в 3 раза дальше Магеллановых Облаков и должна поэтому рассматриваться как член нашей семьи галактик, является карликом по массе. Она больше чем IC 1613, но, вероятно, не столь ярка. Но IC 1613, подобно Магеллановым Облакам, не правильна по форме, тогда как скопление Скульптора совершенно симметрично. Его внутренняя часть, как показывает фиг. 74, слегка эллиптична, а внешние границы представляют почти точную окружность. Оно имеет форму шарового звёздного скопления при диаметре средней галактики; подобно шаровым звёздным скоплениям, оно лишено сверхгигантских звёзд, которые преобладают в обоих Магеллановых Облаках и в некоторых других неправильных галактиках. Система в Скульпторе отличается также от галактик магелланова типа отсутствием рассеянных скоплений и светлых газовых туманностей.

От спиральных галактик система Скульптора отличается очевидным отсутствием структурных деталей, а от сфероидальных — разрежённостью и прозрачностью. Вероятно, типичные сфероидальные галактики тоже не имеют сверхгигантских звёзд. Если одну из них отнести на расстояние скопления Скульптора — около четверти миллиона световых лет — и оставить из каждых десяти звёзд только одну, то остаток, вероятно, походил бы на скопление в Скульпторе. Есть указания, что некоторые из сфероидальных галактик насыщены большим количеством пыли. Возможно, что если такая переполненная пылью система была бы освобождена от пыли в процессе старения или благодаря небесным встречам, или каким-нибудь другим путём, то мы бы имели прозрачную систему малой светимости, похожую на скопление Скульптора. Эта гипотеза казалась бы мне ещё лучшей, если под частицами пыли подразумевать карликовые и субкарликовые звёзды. Такое прояснение, пожалуй, возможно в действительности в течение космических промежутков времени.

Предыдущие сравнения и соображения могут быть объединены, если сказать, что скопление Скульптора

является, может быть, переходным типом звёздных систем, похожим во многих отдельных отношениях на шаровые скопления, рассеянные скопления, сфероидальные галактики и Магеллановы Облака, но и отличающимся в то же время от всех них.

Вскоре после находки скопления в Скульпторе мы открыли на гарвардских пластинках подобное же скопление в созвездии Печи, и в течение некоторого времени казалось возможным, что такие очень трудные для нахождения объекты могут быть очень многочисленны не только в местной семье галактик, но и везде в пространстве. Мы систематически фотографировали небо подходящими камерами с целью проверить частоту звёздных систем такого типа. Мы получили 150 снимков в мелком масштабе, покрывающих несколько больше 15 000 квадратных градусов неба, в галактических широтах более 20° . Было покрыто более $1/3$ неба; мы нашли некоторое количество новых шаровых скоплений и несколько новых галактик типа Магеллановых Облаков, но не могли найти ни одной слабой симметричной карликовой галактики, похожей на две первые находки. Вероятно, они ещё будут открыты в нашем непосредственном соседстве или несколько дальше, но они не будут многочисленны. Возможность открыть подобные объекты с расстояния нескольких миллионов световых лет очень мала, и поэтому мы должны будем навсегда остаться в смущающей неуверенности относительно частоты таких карликовых галактик.

Система в Печи приблизительно в два раза дальше скопления Скульптора. Она имеет два или три связанных с нею шаровых скопления, которые помогли оценить её расстояние. Следующая табличка (стр. 151) даёт некоторые числовые данные относительно этих систем. Дальнейшие исследования с большими рефлекторами смогут внести поправки к величинам расстояний и размеров.

Надо признать удачным, что некоторые из соседних галактик настолько далеко отстоят от плоскости Млечного Пути, что мы можем не беспокоиться об учёте пространственного поглощения. Остаётся очень вероятным, что существуют ещё и другие члены местной группы,

которые целиком или частично скрыты от нас поглощающей материей в низких галактических широтах. Хаббл считает возможными членами местной группы три спирали: NGC 6946, IC 10 и IC 342. Они близки к Млечному Пути, затемнены межзвёздной пылью, и поэтому мы не можем как следует их исследовать. О близости этих объектов можно догадаться, с одной стороны, по их малой лучевой скорости (они, может быть, даже совсем не удаляются от нас), а с другой—по их большим угловым размерам.

	Скульптор	Печь
Прямое восхождение (1900)	0 ^h 55 ^m .4	2 ^h 35 ^m .6
Склонение (1900)	—34°14′	—34°53′
Галактическая широта	—83°	—61°
Интегральная фотографическая звёздная величина	9,0	9,0
Звёздная величина самых ярких звёзд	17,8	19,3
Средний угловой диаметр	75′	65′
Расстояние в световых годах	250 000	500 000
Диаметр в световых годах	5 500	9 500
Интегральная абсолютная величина	—10,5	—12,0
Интегральная светимость (в миллионах солнц)	3	11

Окончательный список соседей Галактики включит несомненно ещё несколько тусклых неправильных карликов, подобных IC 1613. Четыре или пять кандидатов на допущение в местную группу уже найдены на пластинках, полученных в Ок Ридже, Блумфонтейне и на Паломаре. По крайней мере один из них, найденный Цвикки шмидтовской камерой на Паломаре, лежит, согласно исследованиям Бааде, повидимому, ближе миллиона световых лет и будет поэтому достоин принятия в наш семейный круг *).

*) Согласно исследованию В. Бааде, опубликованному в 1944 г., близкими соседями Галактики оказались две карликовые эллиптические туманности NGC 147 и NGC 185. (Прим. перев.)

6

МЕТАГАЛАКТИКА

«Густо населённая область! Тихий ход!» — таков был бы наиболее подходящий дорожный сигнал в окрестностях нашей Галактики. Последствием чрезмерной скорости могло бы быть ужасное столкновение с одной из расположенных в этой области галактик. В пределах расстояния в миллион световых лет мы насчитали дюжину галактик, причём две из них могут претендовать на звание самых крупных галактик во всей известной нам части вселенной.

Как только мы покидаем нашу местную группу галактик, население заметно редее, согласно нашим последним описям. Если мы распространим нашу перепись до 3 миллионов световых лет, увеличив тем самым в 27 раз объём пространства, охваченный переписью, то мы добавим всего какую-нибудь дюжину объектов. Тщательные поиски в будущем, вероятно, удвоят это число за счёт неизвестных ещё ныне слабых карликовых галактик, составляющих значительную часть населения наших окрестностей. Но мы чувствуем уверенность, что и окончательный подсчёт всех галактик в этом объёме покажет, что среднее количество материи в единице пространства, занятого местной группой, останется в 10, а может быть и в 50 раз больше среднего значения для остального изученного пространства.

А образуют ли более удалённые галактики группы, подобные нашей? Многие образуют, а некоторые и нет. Лучшим путём отыскать ответ на этот вопрос будет иссле-

дование распределения галактик по небу, а затем, после измерения расстояний, и распределения их в пространстве.

Мы только что видели, как трудны и неуверенны измерения расстояний даже сравнительно близких систем, вроде туманности Андромеды. Это положение отнюдь не улучшается с нашим продвижением в глубины пространства. Тем не менее, используя видимые звёздные величины и угловые диаметры галактик, мы сможем получить представление о распределении их в пространстве, подобно тому, как мы знаем их размещение по небу. Тогда мы сможем судить о том, свойственно ли обычным галактикам образовывать сообщества или существовать независимо.

ОПИСЬ ВНУТРЕННЕЙ МЕТАГАЛАКТИКИ

Каталоги звёздных скоплений и туманностей, составленные обоими Гершелями около 100 лет назад, послужили основой для «Нового генерального каталога» Дрейера. Этот каталог, опубликованный в 1890 г., сделался настольной книгой для всех астрономов, работавших в области туманностей, скоплений и прочих далёких объектов. За этим каталогом в 1895 и 1910 гг. последовали два дополнения. Все три каталога охватывают 13 226 объектов. Несколько сотен их было впоследствии исключено: там оказались дважды занесённые объекты, ошибки, двойные или кратные звёзды, а может быть, и кое-какие кометы, которые давно ушли своим путём.

Многие астрономы пытались выделить в этом списке истинные газовые туманности, внешние галактики и звёздные скопления, нанести их на карты и изучить таким образом распределение всех объектов, включённых в NGC и IC. Из этих исследований было получено несколько полезных выводов, но материал оказывался всегда слишком неоднородным. Гершелевские «черпки» в их пионерских поисках туманных объектов были более полны в одних частях неба, чем в других. Позднейшие фотографические обзоры неба кое-где глубоко проникали в пространство и давали много объектов на небольшой площади. Поэтому нанесение на карту всех объектов NGC и IC иногда ошибочно указывало на скопления галактик там,

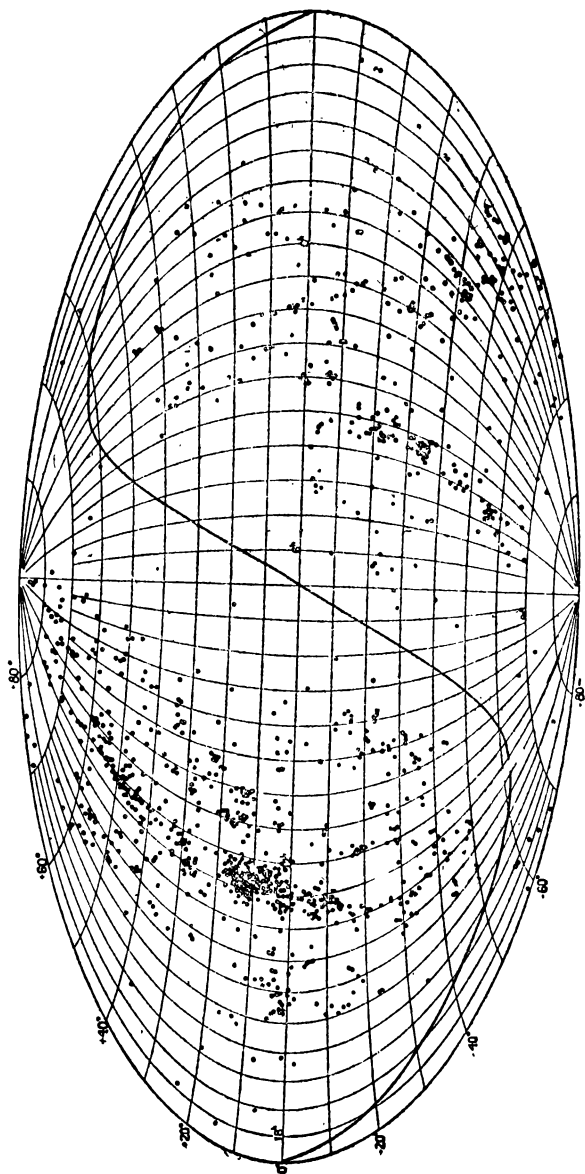
где, по существу, можно было говорить только о глубине или тщательности исследования пространства в данном направлении.

Учитывая неоднородность NGC, гарвардские исследователи скоплений и галактик несколько лет назад предприняли предварительный общий обзор ярких галактик всего неба фотографическим путём. По разным практическим соображениям мы решили в первую очередь составить новый однородный список всех галактик ярче 13-й фотографической величины. Результатом этой работы явился каталог, опубликованный во 2-й части 88-го тома «Анналов Гарвардской обсерватории».

Для изучения внутренней метagalактики этот каталог Шепли-Эмз оказался очень полезным, оправдав большой труд, затраченный на его составление. Он содержит только 1249 объектов, но на его составление ушло два года, несмотря на то, что почти все необходимые фотографии уже были в нашем распоряжении. Надо было проверить положение каждого объекта и измерить фотографическую звёздную величину его по трём пластинкам. Надо было установить много специальных рядов стандартных звёзд, для того чтобы сделать звёздные величины однородными по всему небу. Были измерены угловые диаметры и уточнена классификация объектов.

За исключением 61, все галактики этого каталога уже были занесены за столетие перед тем в NGC (однако без очень нужных сведений об их звёздной величине). Из остальных 61 объектов 48 входили в IC, а 13 ещё вообще не были зарегистрированы. В наших намерениях было включить в каталог все галактики до 13-й величины, однако, фактически он может считаться полным лишь до 12,8 величины.

Звёздные величины галактик оценивались на мелко-масштабных пластинках, полученных с патрульными камерами. На таких пластинках можно достаточно удобно непосредственно сравнивать изображение галактик с изображениями соседних звёзд; за малыми исключениями, они выглядят очень схоже. Эти сравнения производились, конечно, со всей необходимой тщательностью, и полученные результаты оказались даже лучше, чем могли рас-



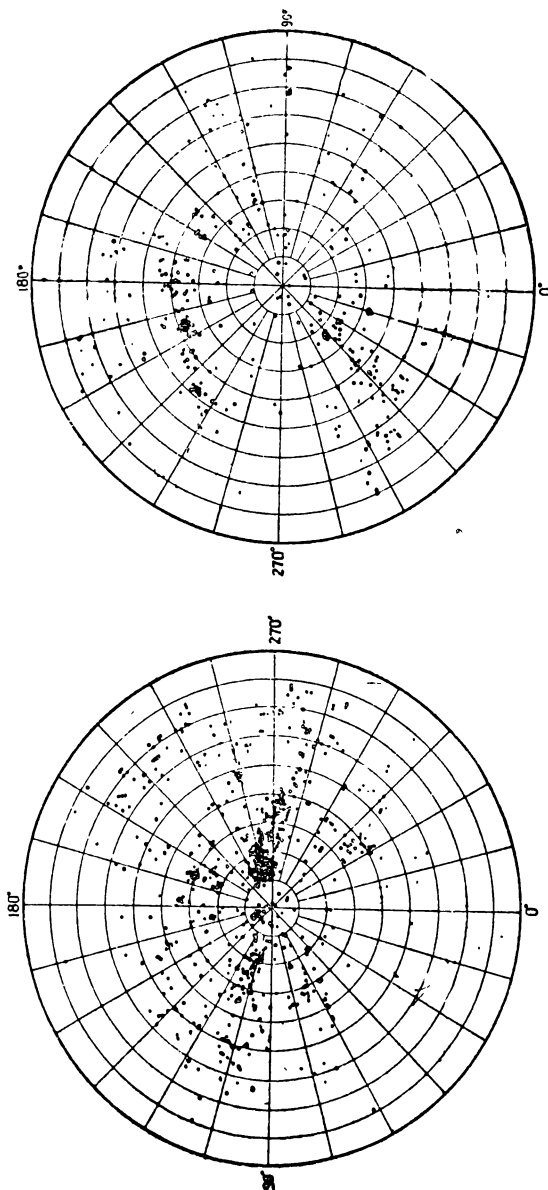
Фиг. 76. Небесная сфера в равноплоскостной проекции Айтова, на которую нанесены положения одной тысячи наиболее ярких галактик (из каталога Шепли-Эмз).

считывать наблюдатели. С тех пор как в 1932 г. была закончена 2-я часть 88-го тома гарвардских анналов, дополнительные определения некоторых звёздных величин были сделаны более точными методами. Как нуль-пункт системы звёздных величин, так и шкала её потребовали лишь очень маленьких улучшений. Если бы мы пытались определить звёздные величины галактик по пластинкам, снятым большими телескопами, мы пошли бы по неверному пути, потому что там изображения звёзд и галактик слишком отличались бы по внешнему виду для надёжной фотометрии. Так иногда крошечные патрульные камеры дают просто и точно то, чего не могут дать гигантские телескопы, если не прибегать к сложным вспомогательным приспособлениям.

Расположение галактик до 13-й величины, вошедших в этот список, иллюстрируется на фиг. 76 и 77. На первом рисунке дана репродукция карты всего неба в равноплощадной проекции Аитова. Каждая чёрная точка представляет положение одной внешней галактики. Северный полюс неба находится наверху диаграммы; средняя горизонтальная линия — небесный экватор. Изогнутая кривая изображает галактический экватор — проекцию средней линии Млечного Пути на небесную сферу.

Два обстоятельства вырисовываются совершенно отчётливо на этой карте объектов гарвардского каталога: пятнистость в распределении и почти полное отсутствие внешних галактик в областях, близких к галактическому экватору. Мы уже знаем из предыдущих глав, почему не видно галактик вблизи этого круга, в низких галактических широтах. Они просто закрываются поглощающей материей вблизи нашей галактической плоскости или, по крайней мере, ослабляются до блеска слабее 13-й величины. В результате прозрачной остаётся приблизительно только половина неба. Вполне допустимо предположить, что в случае отсутствия пыли в нашей Галактике мы имели бы приблизительно вдвое больше галактик ярче 13-й величины, чем их внесено в наш каталог.

На фиг. 77 расположение этих ярких галактик показано в других координатах, уже галактических, а не экваториальных, причём оба галактических полушария



Фиг. 77. Другая карта ярких галактик, основанная на том же каталоге. Разделена на два галактических полушария: северное — слева и южное — справа. Гибкое заметной особенностью как этого, так и предыдущего чертежа является неравномерность в распределении галактик.

разделены по галактическому экватору. Эта диаграмма опять обнаруживает пятнистое распределение и показывает большее богатство галактиками северного полушария: с северной стороны Млечного Пути их находится 823, а с южной — только 426. Уменьшение количества точек к краям снова подчёркивает эффект влияния на нашу опись поглощения в пространстве, так как края полушария соответствуют низким галактическим широтам.

Карты распределения не обнаруживают сколько-нибудь заметного систематического увеличения числа галактик с возрастанием расстояния от Млечного Пути. Нет заметной концентрации к полюсам Галактики. Если бы она и существовала, она была бы замаскирована более заметными неправильностями в распределении. Мы займёмся этими неравномерностями позже, а сейчас рассмотрим распределение этих ярких галактик по расстоянию.

Нетрудно вычислить, как далеко в пространстве лежит туманность 13-й величины. Расстояние d в световых годах получается из формулы, подобной той, которую мы имели в 3-й главе:

$$\lg d = 0,2(m - \delta m - M) + 1,5.$$

Если мы положим $\delta m = 0$, пренебрегая на время поглощением в пространстве, и примем абсолютную звёздную величину *средней* галактики $M = -15,2$ *), мы вычислим, что расстояние наиболее далёкой средней туманности нашего каталога равно 14 миллионам световых лет.

Если бы все галактики имели такую среднюю светимость, то мы могли бы сказать, что наш обзор простирается до этого расстояния. Но это не так, и границы нашего обзора ближе для карликов и дальше для гигантов. Например, карликовая галактика с $M = -12,2$, видимой 13-й величины, должна отстоять только на $1/4$ расстояния, вычисленного для средней галактики; все такие карлики, лежащие на расстоянии от четырёх до четырнадцати миллионов световых лет, будут представляться слишком слабыми для того, чтобы попасть в наш

*) Обычно принимаемая величина, когда объекты выбираются, как здесь, по их видимому блеску.

каталог объектов до 13-й величины. С другой стороны, гигантские галактики с абсолютной величиной — 16,7 могут отстоять в два раза дальше предельной границы средних галактик и всё ещё казаться 13-й величины. Другими словами, наш каталог включает гигантские галактики до расстояния приблизительно в 20 миллионов световых лет, но очень неполон для карликовых галактик уже за пределами четырёх-пяти миллионов световых лет.

Принимая во внимание, кроме того, наличие пространственного поглощения, мы скажем, что *в среднем* наша опись ярких галактик охватывает ближайшие 10 миллионов световых лет, за исключением низких широт, где нам мешает межзвёздное поглощение. В этих областях наша опись может только кое-где проникать приблизительно на такое расстояние.

Здесь будет уместно прервать ход наших рассуждений по рассмотрению расстояний галактик для двух дополнительных замечаний. Первое относится к единицам измерения. При измерениях в метagalактике оказалось более удобным пользоваться мегапарсеками, чем световыми годами. Мегапарсек был нами определён в 1-й главе как миллион парсеков или 3 260 000 световых лет. Это есть расстояние, с которого радиус земной орбиты (149,5 миллиона км) представляется под углом в одну миллионную секунды дуги.

Второе замечание мы посвятим вопросу о том, на какое расстояние мы можем в настоящее время проникнуть с помощью самых могучих телескопов и самых чувствительных пластинок. Для вычисления этого может служить уже упоминавшаяся формула: $\lg d = 0,2(m - \delta m - M) + 1,5$. Положим, что мы ведём вычисление для области, близкой к галактическому полюсу; здесь поглощение в пространстве исчезающе мало, и поэтому $\delta m = 0$. Самые слабые внешние галактики, до сего времени снятые на самом мощном рефлекторе мира (на маунт-вилсоновском 100-дюймовике), имеют видимую величину приблизительно $m = 21,0$, после соответственной поправки на красное смещение. Мы имеем основание допустить, что некоторые из этих слабейших объектов являются сверхгигантскими галактиками, подобными туманности Андромеды с $M = -17,5$. Это весьма

возможно, хотя мы и не можем указать на какое-нибудь отдельное изображение и сказать, что именно это туманное пятнышко является изображением такой сверхгигантской галактики. Мы можем только считать очень вероятным, что среди сотен пятнышек на пределе видимости на пластинке имеется некоторое количество представителей и таких сверхгигантских систем. Тогда формула даёт

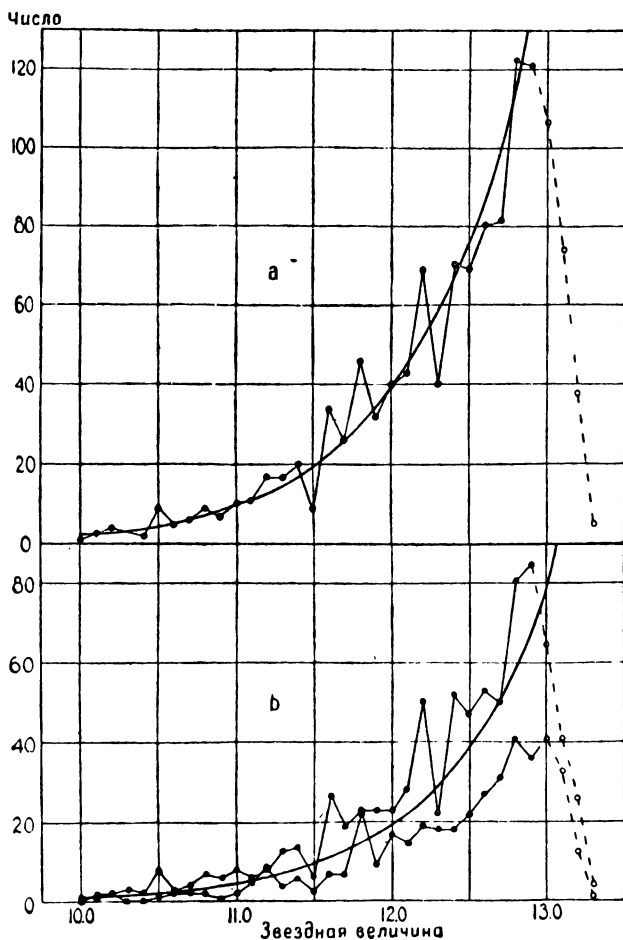
$$\lg d = 0,2(21,0 + 17,5) + 1,5 = 9,2,$$

$$d = 1\,600\,000\,000 \text{ световых лет} = 490 \text{ мегапарсекам.}$$

Мы получаем фотографию такой галактики при помощи света, который в течение 16 миллионов столетий проделал путь около 15 000 000 000 000 000 000 км.

Вернёмся теперь к распределению по расстоянию ярких туманностей внутренней метagalактики. Мы знаем с большой точностью положение на небе (т. е. прямое восхождение и склонение) каждого из этих объектов, но вследствие разнообразия светимостей галактик мы затрудняемся точно определить его место по лучу зрения. Десятков для двух более близких галактик мы можем определить расстояние непосредственно из измерений блеска входящих в них сверхгигантских звёзд. Но для сотен всех остальных всё, что мы можем сделать, это определить, как часто встречаются объекты различных видимых звёздных величин (как это сделано на фиг. 78а для материала каталога Шепли-Эмз), и вычислить, какому распределению по расстояниям соответствует это для средних галактик. Пренебрегая поглощением в пространстве, на что у нас есть основания в высоких галактических широтах, мы можем вычислить, что средняя галактика, будучи 11-й величины (кривая даёт их около дюжины), лежит на расстоянии 1,74 мегапарсека, будучи 12-й величины — на 2,75 мегапарсека и, наконец, будучи 13-й величины — на 4,37 мегапарсека.

Плавная линия, нанесённая на фиг. 78а, показывает, какая была бы частота видимых звёздных величин галактик, если бы галактики были распределены в пространстве совершенно равномерно, т. е. если бы там не было ни группировок, ни систематического возрастания или уменьшения числа их, но всюду на данный объём про-



Фиг. 78. Распределение по видимым звёздным величинам галактик, нанесённых на двух предыдущих фигурах. Вертикальные координаты — числа галактик, приходящихся на интервал в одну десятую звёздной величины. Горизонтальные координаты — видимые фотографические величины галактик. Верхний чертёж (а) относится ко всему небу. Нижний чертёж (б) — к двум галактическим полушариям по отдельности, причём линия с меньшим числом галактик относится к южному полушарию.

странства приходилось бы одно и то же число галактик, где бы этот объём ни находился.

Предположение равномерности, выраженное плавной кривой, требует, чтобы N — число галактик, более ярких, чем какая-нибудь данная видимая звёздная величина m , — было связано с этой видимой звёздной величиной формулой *) $\lg N = 0,6 (m - m_1)$, где m_1 есть постоянная, но-

*) Для вывода этой простой, но очень важной формулы, которую можно назвать формулой равномерной плотности пространства, необходимо вспомнить определение звёздной величины как обыкновенного логарифма интенсивности света I , умноженного на 2,5. Численно звёздная величина возрастает с уменьшением интенсивности, так что m пропорциональна $\lg \frac{1}{I}$. Удобно выражать разность двух звёздных величин через отношение соответственных интенсивностей

$$m - m_1 = 2,5 \lg \frac{I_1}{I},$$

где m_1 и I_1 можно считать стандартами звёздной величины и интенсивности света, к которым отнесены другие величины. Преобразуем эту формулу так, чтобы заменить интенсивность света числами галактик и получить соотношение между видимыми звёздными величинами и плотностью населения метагалактического пространства.

Так как интенсивность распространяющегося света меняется обратно пропорционально квадрату расстояния, то мы имеем

$$\frac{I_1}{I} = \frac{d^2}{d_1^2}.$$

Объём пространства V , радиусом которого является d (например, объём метагалактического пространства в виде конуса с раскрытием в 1° и высотой d), изменяется, конечно, пропорционально кубу d ; таким образом

$$\frac{I_1}{I} = \frac{d^2}{d_1^2} = \frac{V^{2/3}}{V_1^{2/3}}.$$

Отсюда

$$2,5 \lg \frac{V^{2/3}}{V_1^{2/3}} = m - m_1$$

или

$$\lg \frac{V}{V_1} = 0,6 (m - m_1).$$

Если пространство равномерно населено галактиками, то их число N должно возрасти с расстоянием пропорционально объёму

сящая название *параметра пространственной плотности*. Это отношение остаётся справедливым и в том случае, если в действительности светимости галактик и неодинаковы при условии, что относительные числа карликовых, нормальных и гигантских галактик остаются без изменения во всех частях рассматриваемого пространства. Эта формула будет истолкована далее, в 7-й главе.

Фиг. 78а как будто показывает, что распределение галактик в пространстве не очень отличается от равномерного; плавная линия довольно хорошо совпадает с наблюденной кривой. Но на кривых 78b, где северное и южное полушария разделены, видно, что это совпадение случайно: согласие между наблюдениями и гипотезой равномерности плохое; очевидна неоднородность пространственного распределения галактик. Распределение по небу на картах 76 и 77 также подчёркивает наличие ясно выраженных группировок в некоторых областях. Ввиду того значения, которое имеет это явление для космогонии, мы займёмся им более подробно, но прежде мы обратим внимание на совершенно необитаемую небесную пустыню вдоль Млечного Пути — пустыню для

пространства. Отсюда $\frac{V}{N} = \frac{V_1}{N_1}$, где V_1 и N_1 относятся к пространству, определяемому d_1 и l_1 . Следовательно,

$$\lg \frac{N}{N_1} = 0,6 (m - m_1).$$

Если предельная звёздная величина m_1 какой-нибудь «стандартной» описи галактик выбрана так, что она соответствует расстоянию d_1 и объёму V_1 , достаточно большому, чтобы включить как раз одну галактику, тогда $N_1 = 1$, и мы имеем:

$$\lg N = 0,6 (m - m_1).$$

Эту формулу мы будем часто применять при исследовании числа галактик данной видимой звёздной величины в различных статистических обзорах.

На практике оказалось удобным за единицу объёма брать объём, опирающийся только на один квадратный градус площади неба. Отсюда m_1 должна быть очень слабой, чтобы обеспечить достаточную глубину и объём, способный включить в среднем одну среднюю галактику. Мы увидим дальше, что фотографическая величина 15,2, повидимому, является довольно хорошим средним значением m_1 — параметра пространственной плотности — для всего неба в целом.

галактик, разумеется, тогда как для прочих небесных объектов — звёзд, туманностей, звёздных скоплений и пыли — эта область является наиболее густо населённой. Эта небесная Сахара так запылена, что не только галактики, но большая часть отдалённых звёзд Млечного Пути оказывается скрытой от наших как визуальных, так и фотографических наблюдений.

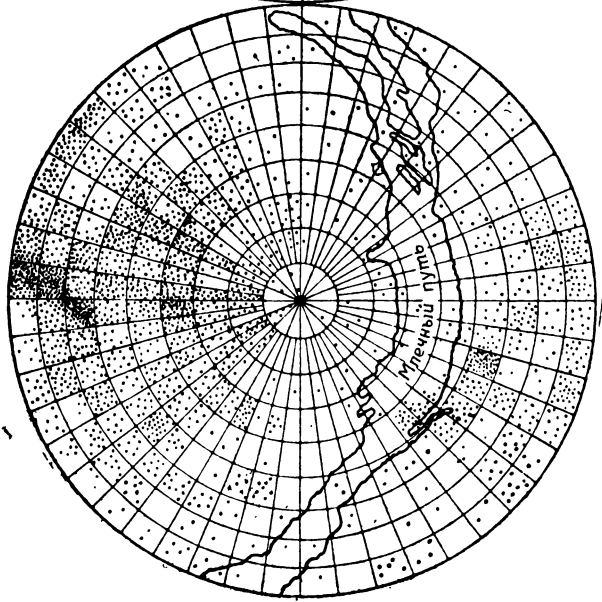
ОБЛАСТЬ ИЗБЕГАНИЯ

Наиболее резко выраженной неравномерностью в распределении галактик является высокая их плотность в высоких широтах по сравнению с плотностью близ галактического экватора. Область, «избегаемая» галактиками и известная специалистам уже в течение столетия, наиболее ясно была выявлена Ричардом Проктором около 70 лет назад на его картах объектов, занесённых в «Генеральный каталог» Джона Гершеля. Одна из его карт дана на фиг. 79.

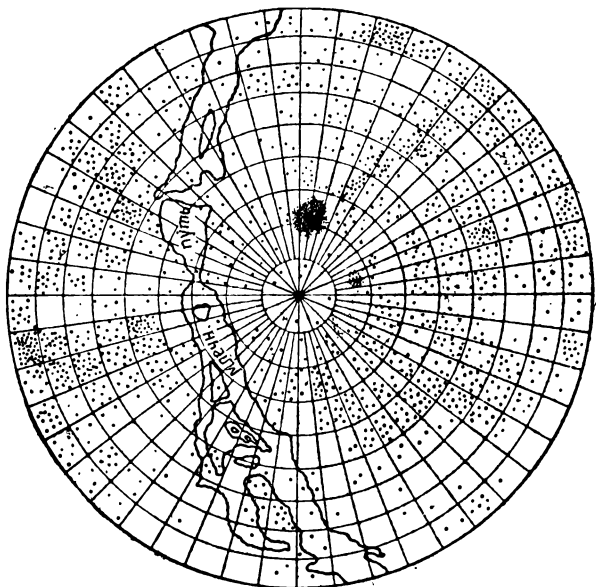
Аналогичная, но гораздо более узкая область избегания для шаровых скоплений в нашей Галактике уже упоминалась в 4-й главе. Узкая зона избегания для шаровых скоплений и широкая для внешних галактик имеют одну и ту же общую причину — пространственное поглощение, затемняющее часть объектов. Зона избегания для внешних галактик выявляется также и на обзорных площадках, полученных Хабблом (фиг. 80). Его площадки, подобно тем, которые сейчас снимаются в Гарварде, не только выявляют те области, где свет от далёких галактик совершенно закрыт, но вблизи краёв Млечного Пути они помогают также измерить количество поглощения света в пространстве.

Если работать в областях, отстоящих на 30 и более градусов от Млечного Пути, то можно в первом приближении пренебрегать поглощением в пространстве. Это несомненно вполне допустимо в пределах 50° от галактических полюсов, так как реальные неравномерности в распределении галактик в высоких широтах (фиг. 77) маскируют следы возможного пространственного поглощения в этих областях.

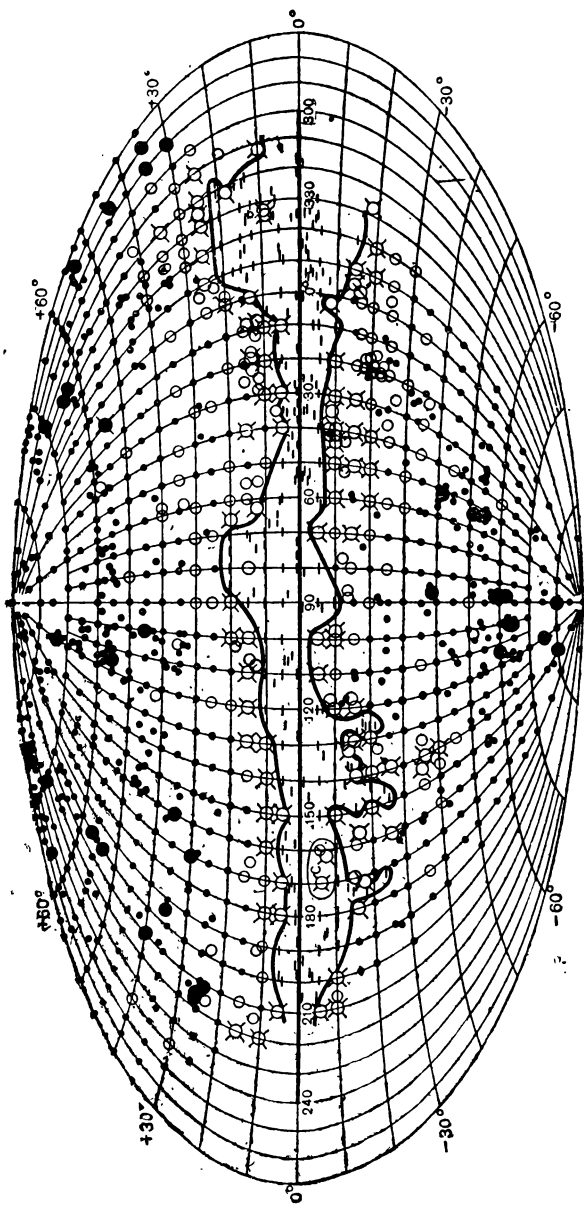
Северное полушарие



Южное полушарие



Фиг. 79. Первая карта Проктора расположения внешних галактик, которая выявляет важный факт наличия «зоны избегания». Густые кучки точек недалеко от центра правого полушария представляют туманности и скопления в Магеллановых Облаках.



Фиг. 80. Чертёж Хаббла, показывающий «зону избегания».

СКОПЛЕНИЕ ГАЛАКТИК В СОЗВЕЗДИИ ДЕВЫ

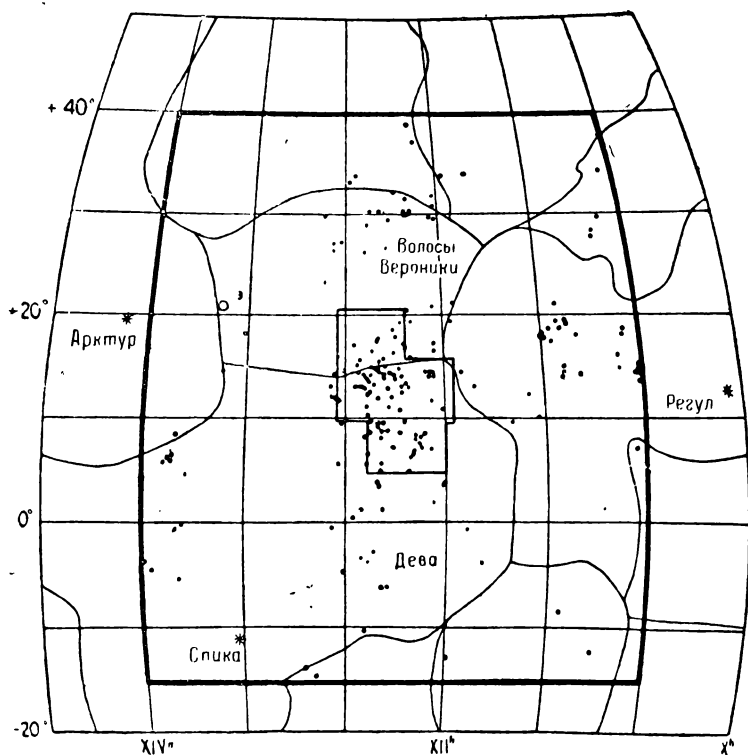
В нашей описи галактик до 13-й величины наиболее заметным сгущением их является то, центр которого расположен вблизи прямого восхождения 12 ч. 30 м. и склонения $+12^\circ$. Эта группа лежит, главным образом, в созвездии Девы. Имеется также значительная, но более разрежённая группировка к северу от скопления в Деве, протягивающаяся приблизительно на сорок градусов по созвездиям Волосы Вероники, Рысь и Большая Медведица *). В южном полушарии есть яркая группа в созвездии Печи и другие — в созвездии Золотой Рыбы и Журавля. Сейчас мы посвятим несколько обзорных параграфов скоплению в Деве.

Положение и состав. Для астрономов является очень удачным, что большая сверхсистема галактик, гораздо более обширная, чем наша местная группа, расположена в области, очень удобной для деятельного исследования. Скопление Девы лежит достаточно близко к небесному экватору, чтобы его было удобно изучать во всех главных обсерваториях земного шара. В то же время оно достаточно удалено от галактического экватора с его массами поглощающей материи, чтобы можно было без особых осложнений вести в нём фотометрические измерения расстояний. Оно лежит приблизительно на расстоянии 2,5 мегапарсека от нас, т. е. довольно близко в масштабах метагалактики, и все его члены доступны средним по размеру визуальным астрономическим трубам и малым фотографическим камерам.

Карта на фиг. 81 показывает расположение сотни наиболее ярких членов группы в Деве. Центр группировки находится недалеко от середины треугольника, образованного яркими звёздами: Регулум, Спикой и Арктуром. Ни один из членов её недоступен невооружённому глазу,

*) В своём анализе распределения галактик ярче 12,7 величины (закрывающих более половины тех, которые находятся в каталоге Шепли-Эмз) Катц и Мальдерс показали, что вероятность того, что такое расположение является делом случая, равна только 1:420 000 000. Другими словами, эта группировка должна быть реальным скоплением.

так как восемь миллионов световых лет разделяющего нас пространства настолько ослабляют свет, что даже гигантские галактики этой группы могут быть видны лишь при помощи телескопа.



Фиг. 81. Скопление галактик в Деве (в центре треугольника — Арктур, Спика, Регул).

Если мы продолжим опись галактик в этой группе на более слабые объекты — например до 15-й величины, то мы приблизительно удвоим число галактик, которые можно считать её членами. Но эти более слабые объекты группы уже трудно отличить от многочисленных слабых галактик общего фона неба.

Типы галактик, разложение их на звёзды и относительные размеры. Группе галактик в Деве было уделено много внимания. Мы знаем, что около $\frac{3}{4}$ её членов относится к спиральным формам, а остальные являются сфероидальными. В скоплении Девы почти не имеется настоящих неправильных систем типа Магеллановых Облаков. Некоторые из спиралей имеют причудливые, необычные формы, но большая часть их относится к категории «хорошо развитых», которую мы обозначаем Sc. Значительное число этих Sc спиралей было разложено, т. е. внутри каждой галактики были выделены некоторые отдельные сверхгигантские звёзды, для которых были оценены их видимые величины. Вероятно, все объекты скопления типа Sc, начиная от 10,5 до 15-й величины, могут быть разложены таким образом, а возможно, и многие спирали типа Sb. Спирали типа Sa и сфероидальные галактики представляют больше трудностей не столько благодаря их компактности, как вследствие отсутствия сверхгигантских звёзд в этих «малоразвитых» галактиках. Их же обычные гигантские звёзды и, тем более, звёзды главной последовательности, подобные нашему Солнцу, слишком слабы для телескопов нашего времени или недалёкого будущего. Наоборот, системы «магелланова» типа, если бы они только имелись в скоплении Девы, могли бы быть разрешены, так как они обычно бывают богаты сверхгигантскими звёздами, подобно нашим Магеллановым Облакам.

Интересно, что относительное количество спиральных и сфероидальных галактик остаётся одинаковым для всех галактик скопления в Деве, независимо от того, рассматриваем ли мы самые яркие или самые слабые объекты.

Надо отметить также, что для каждой данной яркости (и массы?) размеры индивидуальных систем оказались очень схожими для всех типов галактик, если только фотографические экспозиции брать достаточно продолжительными, для того чтобы на фотографиях выявлялись и слабые внешние части сфероидальных галактик. Значение этого интересного факта мы тоже используем как в этой, так и в следующей главах.

Скорости и массы. Лучевые скорости многих галактик скопления Девы были измерены преимущественно Хьюмасоном на Маунт-Вилсоновской обсерватории. Вся группа как *целое* оказалась удаляющейся от нашей Галактики со скоростью около 1100 км/сек , но внутри неё движения очень разнообразны: лучевые скорости отдельных её членов отличаются друг от друга более чем на 2400 км/сек .

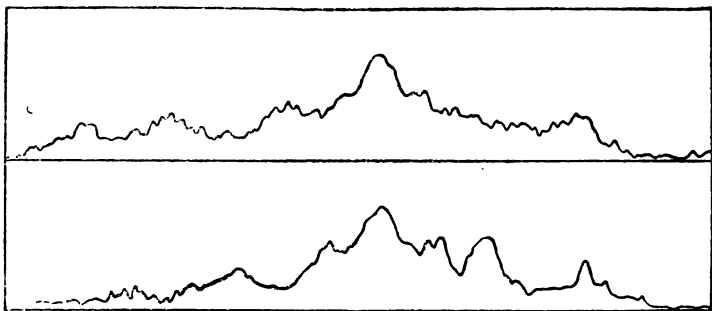
Используя эти скорости и сделав некоторые предположения относительно их истолкования, Синклер Смит вычислил, какой бы могла быть общая масса всего скопления. Она оказалась огромной; разделив её между отдельными членами скопления, известными до сего времени, мы получили бы массу каждой галактики эквивалентной массе 200 миллиардов солнц. Эта масса кажется чересчур большой, если принять во внимание, что количество света, испускаемое в среднем каждой галактикой, равно свету только 100 миллионов солнц. Из этого противоречия можно найти выход, предположив, что большое количество вещества в скоплении Девы не светится и находится в пространстве между светящимися галактиками. Возможно также, что быстрые внутренние движения в скоплении не следует целиком приписывать гравитационному взаимодействию отдельных галактик, и их поэтому нельзя считать показателем большой массы. Для решения вопроса необходимо дальнейшее накопление наблюдательного материала и дальнейший анализ.

Спектральные классы и цвета. Средний спектральный класс галактик в Деве (и всюду, где они были исследованы) близок к классу Солнца, G0. Встречаются среди них и спектры класса F, но большая часть относится к классу G; спектры нескольких неправильных галактик и галактик типа Sc обнаруживают особенности, которые, вероятно, указывают на наличие в них очень ярких туманностей или групп горячих голубых звёзд. Можно отметить, что смесь всех обычных спектральных классов — O, B, A, F, G, K, M, N — дала бы что-то сходное с классом G.

Цвета галактик были измерены Стеббинсом и Уитфордом, Уипплом, Зейфертом и другими с одинаковым

результатом, сводящимся к тому, что цвет их в общем таков, какого можно было бы ожидать при данном спектре в случае отсутствия серьёзного покраснения света в пространстве. Таким образом цвета свидетельствуют о высокой прозрачности пространства в направлении скопления в Деве, а может быть, и об отсутствии заметного поглощения и внутри самого скопления.

Спиральные ветви. За последнее время мисс Паттерсон получила важные результаты при детальном изу-

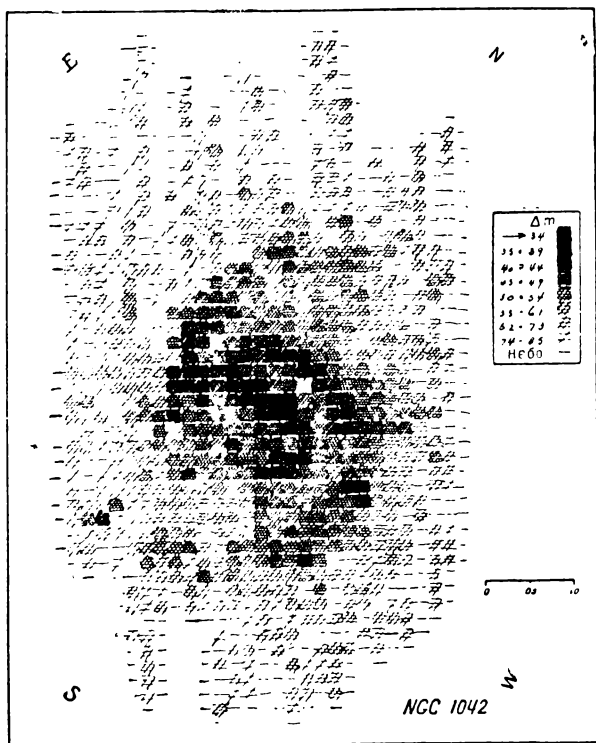


Фиг. 82. Микроденситограммы с фотографии спирали М 101 (см. также фиг. 62). Разрезы пересекают ядро и спиральную структуру с севера на юг (верхняя кривая) и с востока на запад и оба регистрируют спиральные ветви в виде вторичных волн на кривых. Вертикальная координата представляет плотность фотографического изображения, что соответствует яркости в галактике.

чении распределения света во многих спиральных и сфероидальных галактиках скопления Девы. Результаты некоторых её исследований иллюстрированы фиг. 82 и 83. Они имеют целью способствовать нашему познанию внутренней структуры больших звёздных систем.

Мы до сего времени ещё не вполне понимаем спиральную структуру, которая, повидимому, преобладает более чем в $\frac{2}{3}$ всех ярких галактик скопления Девы. Эта проблема является одной из самых фундаментальных и, несомненно, одной из самых трудных задач галактической механики. Может быть, изучение движений в нашей собственной Галактике поможет нам разрешить проблему спиралей,

но возможно, что, наоборот, разгадка спиралей окажет нам помощь в распутывании загадок нашей Галактики. Фотографии мисс Паттерсон были получены со специальным телескопом на станции Гарвардской обсерватории в Ок



Фиг. 83. Исследование с помощью микроденситометра спирали NGC 1042, видимой «плашмя». Нанесённые фотометрические измерения отчётливо вырисовывают спиральные ветви.

Ридже и исследованы при помощи микроденситометра. Эти снимки выявили тот важный факт, что в спиральных галактиках от самых спиральных ветвей исходит не более 20% (а часто меньше) всего света. Значительное количество света находится в пространстве между ветвями.

Свет спиральных ветвей переоценивался, может быть, потому, что они выступали по контрасту на более слабом, но, как теперь выяснилось, более важном фоне. Современные измерения показали, как уже было замечено раньше, что диаметры спиральных и сфероидальных галактик приблизительно одинаковы, и одновременно обнаружили, что эти галактики распространяются гораздо дальше от ядер, чем видимые ветви спиралей. Поэтому представляется возможным, что материал ветвей не выброшен из ядра, как обычно предполагалось, а является скорее конденсацией или концентрацией в бесструктурной массе неразделимых звёзд галактики.

Тем не менее, движение материала в ветвях играет очень важную роль в проблеме динамики галактик. Хаббл и Мэйолл недавно получили данные, которые как будто окончательно подтверждают прежние заключения В. М. Слайфера о том, что вращающаяся спираль «тащит» за собой свои ветви. Но Линдبلاد находит некоторые указания на то, что, наоборот, ветви идут впереди и даже, что в одной и той же вращающейся системе (NGC 2681) имеются ветви,двигающиеся в противоположных направлениях. Эти очень трудные наблюдения должны производиться с самыми светосильными спектрографами и на самых мощных телескопах. Надо полагать, что в недалёком будущем мы с большей уверенностью, чем это возможно теперь, сможем оценить значение спиральных ветвей в галактиках.

З а м е ч а н и я о б о с о б ы х ф о р м а х. Особенностью спиральных галактик является частота отклонений от нормальных форм как в структуре спиральных ветвей, так и в ядрах. В 1-й главе мы уже упоминали о пересечённых спиралах и их подразделениях. Встречаются также тарелкообразные туманности (фиг. 84) и уже совершенно «патологические» формы (как называет их Бааде), подобные NGC 5128 (фиг. 103) и системе в виде «кольца с хвостом»—NGC 4038-9, изображённой на фиг. 85.

Теории, которые удовлетворительно объясняют сравнительно простые спирали типа Sc, подобные M31 и наиболее обычным типам галактик в скоплении Девы, должны быть достаточно гибкими, для того чтобы учесть и эти

отклоняющиеся от обычного формы. Истолкователю их,



Фиг. 84. Пара «тарелкообразных» спиралей, которые, вероятно, представляют разновидность типа пересечённых спиралей.



Фиг. 85. Галактика NGC 4038-9 типа «кольца с хвостом». Это — исключительно редкая форма внешних систем; довольно удивительно, что на расстоянии меньше 1° от этой находится другая, почти идентичная, но с хвостом вверх (NGC 4027).

возможно, придётся прибегнуть даже к гипотезе о столкновениях галактик. На это будут иметься некоторые основания, так как индивидуальные галактики не так далеко удалены друг от друга, чтобы считать их встречи исключительно редкими, если взять достаточно длинные промежутки времени. Возможно, что для объяснения аномалий придётся прибегнуть к предположению каких-нибудь особенностей в образовании таких галактик. Ведь мы находимся только у порога познания галактик, и впереди нас, несомненно, предстоит исследовать ещё много тёмных и загадочных фактов.

П р и н а д л е ж и т ли Млечный Путь к облаку галактик в Деве? Возвращаясь к картам, показывающим расположение скопления в Деве (фиг. 76 и 77), мы замечаем, что к югу от основного скопления имеется придаток, тянувшийся приблизительно на 30° к созвездию Центавра. Является ли он частью сверхсистемы в

Деве? Если это так, то общая длина последней должна

превышать три миллиона световых лет. К северу от основного скопления имеются также разбросанные яркие галактики, многие из которых имеют такой же блеск и, вероятно, находятся на таком же расстоянии от нас, как и члены скопления Девы. Являются ли и они частью той же физической системы? Если это так, то мы должны бы говорить уже не о скоплении в Деве, а о целом облаке. Мы могли бы задать вопрос, как это делает Цвикки, не является ли и Млечный Путь частью этого большого облака, которое включает в себя как небольшое скопление, расположенное около нас — нашу местную группу, так и много более богатое скопление в северной части Девы.

Постепенно всё больше усиливается подозрение, что значительная часть галактик в пределах приблизительно 20 миллионов световых лет является не свободными индивидуумами в метагалактическом пространстве, но входит в отдельные рассеянные группы. Находятся ли эти группы в процессе разложения или формирования? Для получения ответа надо подождать. Для этого хватит миллиарда лет, а может быть, и гораздо меньше, в зависимости от успехов математического анализа пространства, времени и движения.

СКОПЛЕНИЕ В СОЗВЕЗДИИ ПЕЧИ И ДРУГИЕ

В таблице, помещённой ниже, мы сообщаем некоторые сведения о нескольких ярких объектах в созвездии Печи, которые так расположены друг относительно друга, что было бы невероятно, чтобы их взаимная близость была делом случая. Они должны составлять реальную колонию галактик, взаимно действующих друг на друга.

В некоторых группах, подобных этой, самой яркой галактикой является галактика сфероидального типа. В этой группе такой галактикой является NGC 1316. Но существуют сфероидальные галактики и карликового типа — напомним необычайное звёздное скопление в Скульпторе, описанное в 5-й главе как один из карликовых членов нашей местной группы галактик. Если бы галактика Скульптора находилась на расстоянии NGC 1316 и была расположена рядом с ней, контраст был бы поразителен.

Так как группа галактик в Печи находится от нас, вероятно, на расстоянии около 8 миллионов световых лет, то карликовая галактика Скульптора казалась бы на таком расстоянии в 400 раз слабее NGC 1316 и вряд ли могла бы быть легко обнаружена.

Этот контраст в светимости ещё раз подчёркивает, что наши исследования различных групп внешних галактик как ближних, так и дальних всегда отягощены отбором, поскольку мы наиболее легко изучаем гигантские галактики. Наши переписи членов какого-нибудь скопления полны относительно ярких, а иногда и средних объектов, но мы до сего времени ничего не знаем о карликовых и субкарликовых системах, за исключением нашей местной группы. Мы можем только допустить вероятность их существования, но вынуждены оставлять их без внимания в последующих рассуждениях о скоплениях галактик.

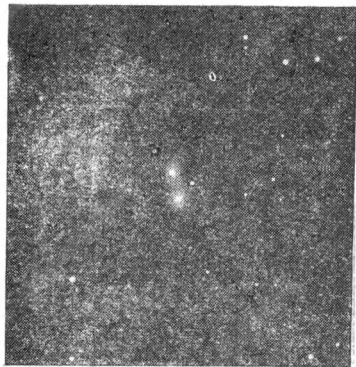
Скопление ярких галактик в созвездии Печи

NGC	Тип	Звёздная величина ☉	Прямое восхожде- ние	Склонение
1316	Сфероидальная	10,1	3 ^h 20 ^m ,7	—37°25′
1317	Спиральная	12,2	3 20 ,8	—37 17
1326	Пересечённая спиральная . . .	11,8	3 22 ,0	—36 39
1350	Пересечённая спиральная . . .	11,8	3 29 ,1	—33 38
1351	Сфероидальная	12,8	3 28 ,6	—35 2
1365	Пересечённая спиральная . . .	11,2	3 31 ,8	—36 18
1374	Сфероидальная	12,4	3 33 ,4	—35 24
1379	Сфероидальная	12,3	3 34 ,2	—35 37
1380	Спиральная	11,4	3 34 ,6	—35 9
1381	Спиральная	12,6	3 34 ,7	—35 28
1385	Пересечённая спиральная . . .	12,4	3 35 ,0	—36 10
1387	Сфероидальная	12,1	3 35 ,1	—35 41
1389	Сфероидальная	12,8	3 35 ,3	—35 55
1399	Сфероидальная	10,9	3 36 ,6	—35 37
1404	Сфероидальная	11,5	3 37 ,0	—35 45
1427	Сфероидальная	12,4	3 40 ,4	—35 34
1437	Спиральная	12,9	3 41 ,7	—36 1

К счастью, имеются, повидимому, достаточно убедительные указания на то, что дисперсия светимостей в группах галактик обычно не превышает пяти звёздных

величин и что чаще всего встречающиеся члены какого-нибудь скопления галактик всего на 2,5—3 звёздных величины слабее самого яркого члена системы. С другой стороны, самые слабые карлики приблизительно на столько же величин слабее средних галактик системы. Такая приблизительно дисперсия существует в скоплении Девы и почти такая в нашей местной группе, где только галактическая система и туманность Андромеды являются гигантами.

Постольку, поскольку мы можем доверять этим предварительным данным о дисперсии в пять звёздных величин в скоплениях галактик, мы можем оценивать расстояния довольно богатых скоплений галактик, пользуясь фотометрией только немногих самых ярких членов, которые мы легко можем видеть и измерять. Мы будем иметь при этом среднюю «статистическую» достоверность. Малочисленные группы, подобные скоплению в Печи, не могут надёжно измеряться при помощи этой простой процедуры. Но для более многочисленных групп мы просто оцениваем видимые звёздные величины наиболее ярких объектов в скоплении галактик, оцениваем также поправку на поглощение в пространстве и предполагаем, конечно, что абсолютные звёздные величины галактик и дисперсия их являются нормальными. Так как абсолютная величина средней галактики равна приблизительно —14,2 звёздной величины, то абсолютная величина Ярких галактик скопления близка к —17-й величине, и мы можем пользоваться её видимой величиной m как указателем расстояния, так как всё, что нам надо знать для определения последнего, это модуль $m - M$. Абсолютная звёздная величина пятой по блеску галактики,



Фиг. 86. Пара перекрывающихся друг друга сфероидальных галактик.

согласно Хабблу, приблизительно — 16,4; и эта пятая галактика представляет для определения расстояния богатого скопления галактик более надёжный критерий, подобно тому как пятая по блеску звезда представляла такой же критерий для определения расстояния шарового звёздного скопления. В обоих случаях употребление пятого по блеску объекта вместо самого яркого уменьшает ошибку, которую может ввести случайно проектирующийся на скопление более близкий яркий объект.

Таким образом выходит, что благодаря знаниям и технике, полученным из изучения скоплений звёзд и галактик, мы можем из измерений одного только видимого блеска определять расстояния в сотню миллионов световых лет и более и достаточно удовлетворительно оценивать, как



Фиг. 87. Пара галактик, одна из которых «магелланового» типа, а другая — сфероидальная. Соображения вероятности говорят за то, что они связаны физически, но они напоминают подобную же пару — 47 Тукана и Малое Магелланово Облако (фиг. 16), компоненты которой связаны лишь принадлежностью к нашей местной группе галактик.

велика в среднем ошибка такого определения. Эта ошибка не слишком велика, по крайней мере, если не уходить слишком далеко в пространство и в области очень слабых объектов, где мы встречаемся уже с неопределённостью в шкале звёздных величин, в поправке на красное смещение и, может быть, даже с поправкой на кривизну пространства.

В настоящее время нам известно 25 скоплений галактик, столь же богатых, как соседнее скопление Девы, или ещё более богатых. Имеется сотня групп, столь же населённых, как наша местная группа галактик; встре-

чаются буквально тысячи неравномерностей в распределении, которые похожи на физические группы. Куда бы мы ни обратились, всюду мы наблюдаем тенденцию к

образованию группировок. Часто встречаются и двойные галактики, подобные изображённым на фиг. 86 и 87. Имеется полная аналогия с распределением звёзд в нашей Галактике, где мы также находим организации объектов, начиная с двойных и тройных звёзд и кончая шаровыми скоплениями, содержащими миллионы звёзд.

ПЕРЕПИСЬ ГАЛАКТИК ДО 18-й ВЕЛИЧИНЫ

Фотография, воспроизведённая на фиг. 88, показывает одну из ярких соседних спиралей, каталогизирован-



Фиг. 88. На фотографии с четырьмя довольно яркими галактиками обнаруживается также много слабых и более далёких спиралей (указаны стрелками).

ных во 2-й части 88-го тома гарвардских анналов, а также с полдюжины более слабых спиралей. На оригинальном негативе можно, кроме того, обнаружить некоторое количество ещё более слабых объектов, которые, как учит нас опыт, представляют изображения более

отдалённых галактик. На репродукции они видны очень плохо, а то и совсем не видны, но две из поставленных на ней стрелочек показывают местоположение этих типичных представителей отдалённого внегалактического мира. Этот еле заметный фон на пластинках для описи галактик до 13-й величины внушает соблазн проникнуть глубже в пространство.

Около 15 лет назад Гарвардская обсерватория начала такую более глубокую перепись. Она намечена, повидимому, разумно: с одной стороны, — не настолько глубокой, чтобы охватить практически бесчисленные галактики, которые встречаются по одной на несколько миллионов кубических световых лет, а с другой, — достаточно глубокой, чтобы данные её доставили достаточно большое количество материала для решения таких космических проблем, как следующие:

1. Природа отклонений от равномерности в распределении галактик во всём окружающем нас объёме пространства, с радиусом приблизительно в сто миллионов световых лет.

2. Статистика скоплений галактик и значение этих скоплений в развитии метagalaktики.

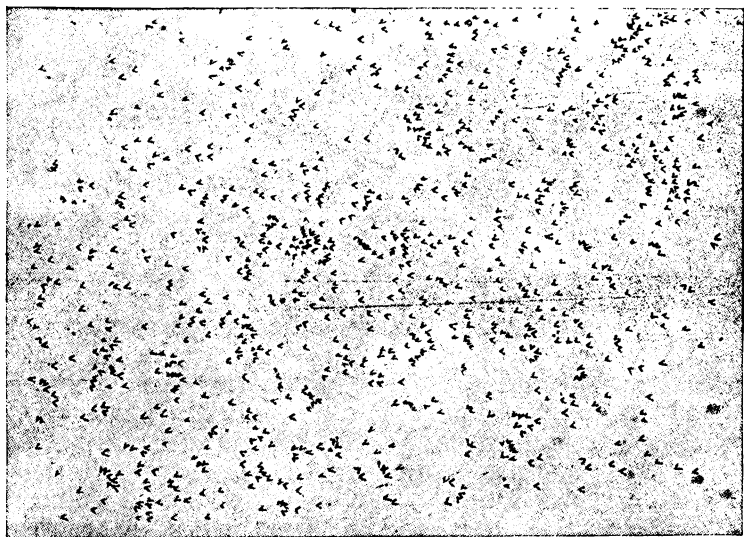
3. Распределение поглощающего свет материала в нашей собственной Галактике, обнаруживаемое видимостью внешних галактик вдоль краёв Млечного Пути.

4. Средняя плотность материи в доступном исследованию внегалактическом пространстве.

5. Наличие заметных градиентов крупного масштаба в численности галактик в изучаемом пространстве.

Эта перепись должна покрыть всё небо. Фотографии для южного полушария получаются 24-дюймовым Брюс-рефрактором, установленным в Гарвард Копье, близ Блумфонтейна, в Южной Африке. Обзор северного неба основывается на пластинках, снятых 16-дюймовым Меткоф-рефрактором, помещающимся в Ок Ридже в 40 км к северо-западу от Кэмбриджа (Массачузетс, США). Оба эти инструмента одного типа. Они, конечно, могли бы быть значительно улучшены заменой их объективов более современными, но в настоящий момент они всё-таки являются лучшими из существующих инструментов для

регистрации галактик, работающими в соответственных полушариях Земли. Хотя они проникают в пространство не так глубоко, как большие рефлекторы, зато они обладают значительным преимуществом перед последними в том, что покрывают гораздо более обширные поля. Каждый из них фотографирует на пластинке сразу около 30 квад-



Фиг. 89. Типичная 3-часовая фотография Меткофским дублетом в Ок Ридже, показывающая под микроскопом тысячу ранее неизвестных слабых галактик, положения которых указаны стрелками.

ратных градусов, тогда как обычный большой рефлектор даёт на фотографии менее одного квадратного градуса. В течение трёхчасовой экспозиции эти инструменты запечатлевают на высокочувствительной пластинке звёзды несколько слабее 18-й величины—отсюда название переписи. Надо, однако, отметить, что галактики только тогда удовлетворительно выходят и идентифицируются на пластинке, если они более чем на полвеличины ярче предельных звёзд этой пластинки. Ближе к предель-

ной яркости галактики выходят только частично. Таким образом «перепись до 18-й величины» не включает реально все галактики до 18-й величины. Она может претендовать на полноту только до величины 17,6.

Вся программа будет закончена в два или три года, поскольку дело идёт о получении фотографий, но исследование этих пластинок и изучение материала должны продолжиться не менее десятка лет. Тем временем многие из пластинок будут получены повторно, и глубина проникновения на северном небе будет увеличена при помощи рефлекторов типа Шмидта, которые соединяют большое поле рефрактора со светосилой рефлектора.

В настоящее время на пластинках с длительными экспозициями исследовано несколько более половины неба. На них отмечено пятьсот тысяч новых галактик для метагалактической переписи и десятки тысяч из них уже измерены для определения их звёздных величин.

Ещё глубже 18-й величины идут подсчёты галактик Хаббла на его площадках. Пластинки с долгой экспозицией на 100-дюймовом телескопе дают ему галактики 20-й величины и даже слабее. При фотографировании площадок он их выбирал так, чтобы получить по крайней мере предварительное представление о составе галактического населения внутри всего пространства, доступного самому могучему в мире инструменту исследования. Общее число галактик, заснятых при таком выборочном обзоре, конечно, незначительно по сравнению со всей массой, снятой телескопами Брюс и Меткоф при их покрывающем всё небо обзоре. Оба способа исследования дополняют друг друга, и картины метагалактики, даваемые обоими, вполне совпадают.

К каким результатам приводят эти современные исследования метагалактики, будет рассказано в следующей главе.

РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

Тайна происхождения и судьбы физической вселенной неизбежно приводит к множеству вопросов у всех, кто знакомится с пространствами метagalактики и промежутками времени, необходимыми для происходящих в ней процессов. Откуда эта вселенная появилась? Куда она идёт и что представляет собой тот человек, который пишет о ней книги и читает их? Несомненно, эти вопросы окрашены интересом к самому себе, так как судьба галактик связана с судьбой звёзд, Солнца и его планет, с жизнью на земной поверхности. Но в этой заключительной главе мы не будем заниматься основными «как?» и «почему?»; мы будем продолжать изложение наших отрывочных наблюдений и объяснений их, которые ведут к законченной картине звёздного мира. А великий синтез мы оставим философам.

Называя эту главу «Расширяющаяся вселенная», мы, конечно, имели в виду тот общеизвестный факт, что галактики представляются удаляющимися друг от друга. Если, однако, впоследствии будет убедительно доказано, что красное смещение *) в спектрах галактик может быть удовлетворительно объяснено без помощи теории физического расширения метagalактики, тогда это название

*) См. стр. 14 этой книги, где дано определение красного смещения, а также дальнейшие страницы настоящей главы, где оно объясняется. Все галактики обнаруживают красное смещение тем большее, чем больше их расстояние.

мы будем считать относящимся к совершенно бесспорному факту расширения «вселенной» наших сведений о вселенной. Это последнее расширение не только совершенно несомненно, но прямо изумительно по скорости. Тогда как вселенная галактик удваивает свой радиус в лучшем случае за 13 сотен миллионов лет, область известного нам во вселенной утроила свой радиус в течение одного поколения.

Техника исследования, почти во всех областях науки, также быстро расширяется как по разнообразию, так и по мощности. Успехи нашего знания охватывают не только галактики и строение звёзд, но и мельчайшие частицы материи и их поведение в микрокосмосе молекул, атомов и фотонов.

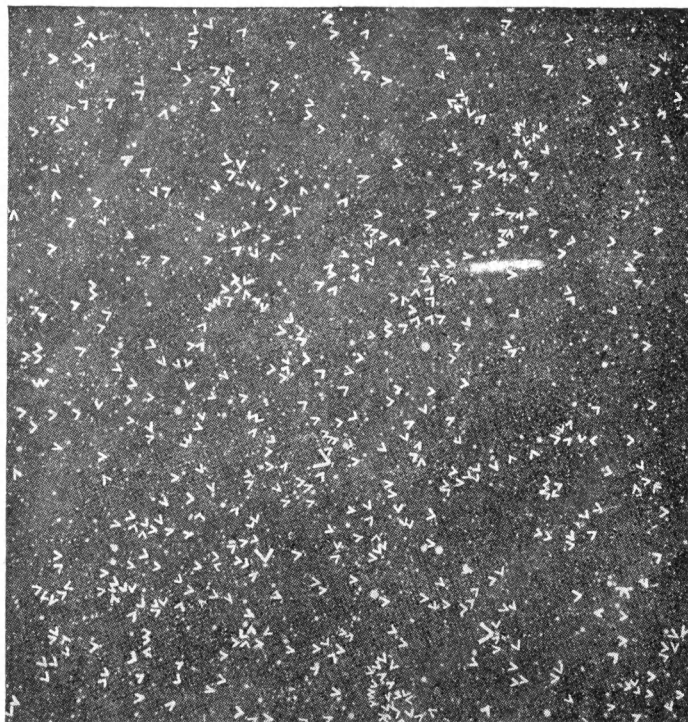
Новая техника развивается с каждым годом. Нас ждёт много захватывающих достижений. Видеть, как далеко могут пойти в нашем мире человеческое умение и разум, не менее интересно, чем наблюдать, что случается со сталкивающимися галактиками, взрывающимися сверхновыми звёздами, рассеивающимися кометами и замирающей радиацией.

ПАРАМЕТР ПЛОТНОСТИ ПРОСТРАНСТВА

Когда мы заканчивали предыдущую главу, мы проникли на расстояние сотни миллионов световых лет в область галактик 18-й величины. Поучительно исследовать подробнее какую-нибудь часть этого метагалактического мира.

Фиг. 90 даёт представление о распределении слабых галактик на центральных девяти квадратных градусах пластинки Брюс-телескопа № 20309, снятой с трёхчасовой экспозицией в средней галактической широте. 659 маленьких стрелок указывают те места, где тщательное исследование оригинального негатива при помощи лупы открыло новые галактики, не зарегистрированные до этого ни в каком каталоге и, вероятно, заснятые впервые лишь на этой пластинке. Большие стрелки указывают те три галактики, которые были известны ранее. Они занесены в каталог NGC и хорошо заметны даже

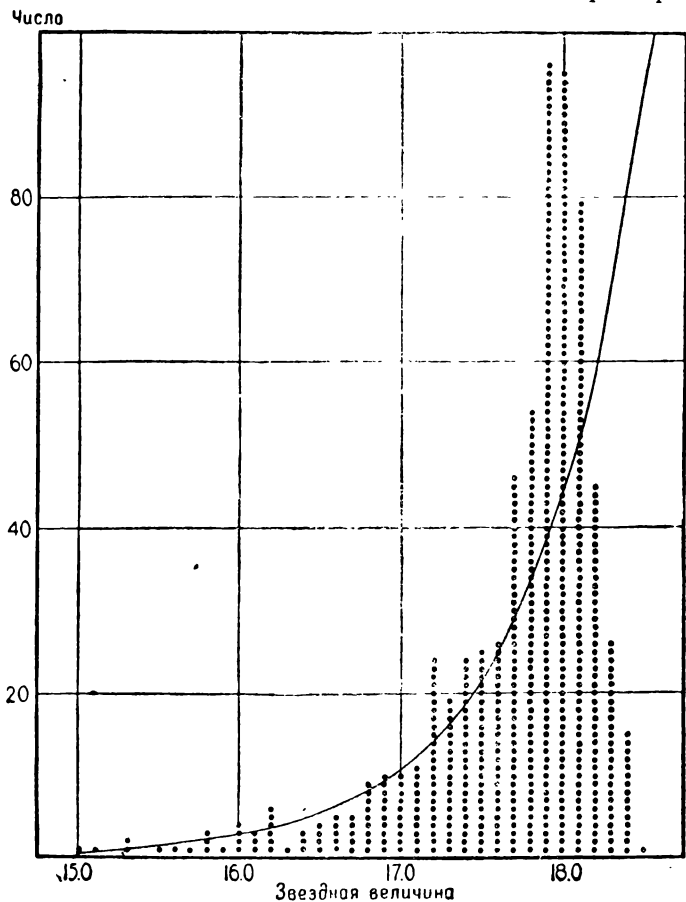
на репродукции, тогда как бóльшая часть более слабых объектов пропала в процессе воспроизведения снимка.



Фиг. 90. Площадка в 9 квадратных градусов в центре фотографии, полученной Брюс-телескопом с 3-часовой экспозицией; большие стрелки указывают три ранее известные галактики, а малые отмечают 659 слабых галактик, которые только теперь включены в опись метagalактики.

Слабые новые галактики, найденные на этой пластинке, относятся к разным видимым величинам. Диаграмма на фиг. 91 показывает их распределение по звёздным величинам. По вертикальной оси отложены

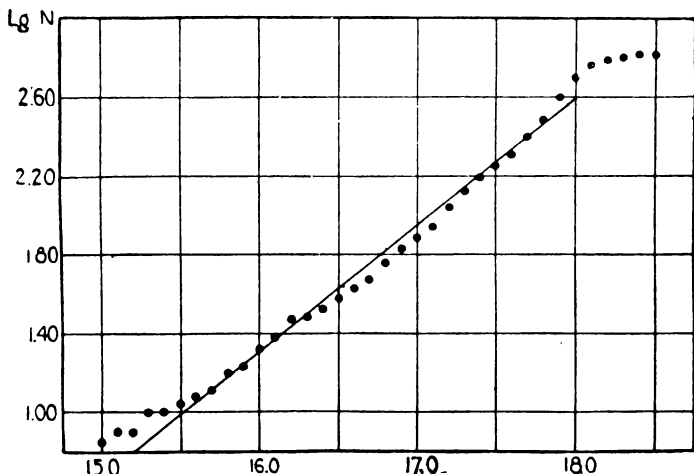
числа галактик каждой звёздной величины, а по горизонтальной — звёздные величины. Она даёт учёт увеличения числа галактик, по мере того как наша фотография



Фиг. 91. Распределение по видимым звёздным величинам галактик, впервые обнаруженных на фотографии фиг. 90.

проникает всё глубже и дальше в метагалактику. Величина 17,9 составляет предел, до которого учёт галактик можно считать полным.

Сплошная линия этой диаграммы даёт то распределение числа галактик, которое мы имели бы, если бы пространство в том направлении, где снята пластинка № 20309, было равномерно населено галактиками обычного типа. Очевидно, что фактическое число галактик не вполне совпадает с этой теоретической кривой. Мы обнаруживаем избыток галактик около 18-й величины и



Фиг. 92. Логарифмическая диаграмма, основанная на результатах предыдущего чертежа. Наклон прямой является важной характеристикой природы пространства.

недостачу их около 16,5 величины; в общем подъём кривой наблюдаемого распределения близ 17-й величины слишком крут для гипотезы равномерного распределения. Возможно, что мы попали на расстоянии 30 — 40 мегапарсеков в метагалактическое облако. Это объяснило бы избыток числа галактик и крутизну кривой распределения.

Чтобы объяснить более специально технику исследования пространства, отложим на диаграмме логарифмы чисел галактик ярче каждой данной звёздной величины (а не самые числа, как на фиг. 91). Мы получим кривую, воспроизведённую на фиг. 92. Прямая линия

между точками даёт наилучшее простое представление их распределения. Она представляет равномерное распределение. Уравнение этой линии *) может быть написано в виде

$$\lg N = b(m - m_1),$$

где N — число галактик до данной видимой величины m , приходящееся на один квадратный градус, а b и m_1 — постоянные, определяющие, соответственно, наклон прямой и её нуль-пункт. Обычно мы называем b *коэффициентом градиента плотности*, а m_1 — *параметром плотности пространства*. Последний, очевидно, представляет ту звёздную величину, которой надо достичь, чтобы найти *одну* галактику на квадратный градус **). В нашем примере m_1 оказывается равным 15,5. Если пространство населено весьма неравномерно, то величина m_1 имеет только местный смысл и не представляет космического значения ***).

Для пластинки, изображённой на фиг. 90, коэффициент градиента плотности $b = 0,66$. Если бы коэффициент b был в точности равен 0,6, то плотность галактик в том направлении пространства, в каком была снята эта фотография, была бы совершенно равномерна. Это

*) Соотношение равномерности выведено и объяснено в предыдущей главе.

**) Для проверки этого определения заметим, что когда m равно m_1 , правая часть уравнения становится нулём, а отсюда N оказывается единицей. Значение m_1 определяется просто подсчётом галактик каждой измеренной величины; надо сказать, однако, что самое измерение их звёздных величин — далеко не простая задача.

***) Для иллюстрации применения предыдущего соотношения предположим, что мы имеем дело по крайней мере с приблизительно равномерным распределением галактик в пространстве, т. е. $b = 0,6$. Тогда, если мы найдём в среднем одну галактику 15,5 величины на квадратный градус (как это имеет место для нашей пластинки № 20309), то мы должны найти в среднем 4 галактики, если мы спустимся до величины 16,5, 16 — до 17,5 величины и т. д. Двигаясь в обратном направлении, понадобилось бы 4 квадратных градуса, чтобы получить одну галактику 14,5 величины или ярче, 16 градусов для получения одной галактики 13,5 величины или ярче и около 325 пластинок со средней плотностью галактик, подобной фиг. 90, чтобы получить одну галактику 10-й величины или ярче.

значит, что каждая единица объёма метagalактического пространства содержала бы одно и то же число галактик разного вида и, таким образом, материя была бы равномерно распределена (порциями, подобными по размеру галактикам) во всём пространстве, охваченном снимком.

Так как параметр плотности пространства m_1 реально определяет число галактик средней величины в единице объёма пространства, то он является очень важной величиной. Его численное значение играет большую роль в самых фундаментальных проблемах космогонии: интерпретации природы пространства — времени, возрасте вселенной и других важных вопросах подобного рода. Если, например, его средняя численная величина равна, как мы полагаем, приблизительно 15,2, это значит, что на кубический мегапарсек метagalактического пространства приходится 5 или 6 средних галактик (за исключением скоплений галактик). Но если бы m_1 было равно 14,2, тогда в том же пространстве находилось бы вчетверо больше галактик, плотность материи в пространстве была бы соответственно в четыре раза больше, и процесс расхождения галактик оказался бы гораздо менее продвинутым.

Несколько забегаая вперёд, мы отметим здесь, что чем меньше значение m_1 , тем «моложе» расширение; чем больше этот параметр, тем дальше мы находимся на пути к бесконечному разделению галактик и к нулевой плотности пространства. Так как галактики расходятся и становятся всё слабее, то m_1 увеличивается с течением времени. Когда-нибудь, примерно через десять миллиардов лет, m_1 будет слабее 27-й величины и тогда можно будет на всём небе с трудом получить фотографии какого-нибудь десятка, другого галактик, в то время как сейчас мы можем иметь фотографии миллиона их.

Мы, однако, не можем полностью использовать космическое значение параметра плотности пространства вследствие подозрения, что его величина меняется от одной точки пространства к другой, а, главным образом, вследствие нашего неведения относительно масс индивидуальных галактических систем. Мы до сего времени не можем сказать, что такое-то количество галактик в кубическом мегапарсеке равносильно стольким-то граммам материи в куби-

ческом сантиметре. Мы до сего времени не знаем, сколько звёзд или грамм материи содержит средняя галактика. Поэтому имеется разрыв между знанием числа галактик в единице объёма и знанием средней плотности материи в пространстве.

ГРАДИЕНТЫ ПЛОТНОСТИ

Есть ли какие-нибудь указания на наличие центра метагалактики? Обнаружено ли какое-нибудь свидетельство существования её края? Показали ли наши наблюдения какую-нибудь тенденцию к систематической концентрации или систематическому разрежению галактик (т. е. количества вещества) во время наших полётов на миллионы световых лет по метагалактическому пространству?

Мы нашли много случаев неравномерности в распределении галактик, но есть ли общая тенденция, которая могла бы подсказать нам форму или структуру метагалактики, подобную структуре звёздного скопления с плотным ядром и разрежённой периферией или аналогичную структуре плоской спирали нашей Галактики?

Для сохранения времени мы не будем углубляться в собранные факты и их изучение, а ограничимся окончательным ответом: «Нет границы!». Нет никакого признака границы или даже указания на то, что такая граница могла бы быть найдена при достаточном углублении вдаль. Если бы наш измерительный жезл был длиннее пятисот миллионов световых лет или более чувствителен к мельчайшим изменениям плотности, то мы, может быть, могли бы найти падение плотности галактик в каком-нибудь направлении или, наоборот, тенденцию сгущаться по направлению к какому-то центральному скоплению; может быть, мы открыли бы какой-нибудь намёк на то, что пространство конечно и искривлено или, что вероятнее всего, мы попрежнему не нашли бы никаких границ или значительной разницы в густоте галактик.

Границы метагалактической системы, если они и существуют, ускользают от нашего познания, но наши сведения о её внутренней структуре быстро возрастают. Мы

уже заметили среди галактик гигантов и карликов и много других разнообразных типов. Мы получили фотографии двойных, тройных галактик и более сложных сочетаний их. Мы знаем значительное количество групп и несколько очень богатых скоплений галактик. Другими словами, мы нашли, что среди галактик нет ни полной идентичности самих объектов, ни монотонного однообразия в их распределении; однако, заметно преобладание организованности. Мы находим также громадные облака галактик неправильных очертаний — облака, которые напоминают скорее хаос, чем упорядоченность. Тут организация как бы ещё не вполне завершена. Несомненно, что многое должно измениться, прежде чем метагалактика достигнет «гладкой» структуры (если только она вообще её когда-нибудь достигнет).

Когда мы замечаем большую неравномерность в распределении галактик в низких галактических широтах, мы можем попытаться найти этому объяснение в наличии поглощающего материала в межзвёздных пространствах нашей Галактики. Но мы находим значительные неправильности в распределении галактик во многих областях также и в высоких широтах. Эти неправильности не могут быть приписаны влиянию пыли и газа, лежащих в этом направлении. Мы должны считать их неравномерностями большого масштаба в самой метагалактической структуре.

Фиг. 77 в 6-й главе иллюстрирует неоднородность распределения галактик внутри объёма радиусом около 10 миллионов световых лет. Некоторое число других неоднородностей большого масштаба было найдено внутри пространства, изучаемого в наши дни; мы остановимся на трёх или четырёх из них.

Исследователи распределения галактик давно заметили, что небо в северном галактическом полушарии (созвездия Девы, Волос Вероники, Волопаса, Большой Медведицы, Гончих Псов и др.) богаче галактиками, чем противоположное южное полушарие (созвездия Рыб, Кита, Скульптора, Водолея, Пегаса и др.). Некоторые считали, что наблюдаемая разница в густоте галактик в двух полушариях является результатом поглощения

света внутри галактической системы. Они указывали, что число галактик с северной стороны больше потому, что Солнце лежит немного к северу от галактической плоскости, а следовательно, и ближе к северной границе предполагавшегося однородного поглощающего слоя, окутывающего Галактику. Против такого простого истолкования асимметрии распределения можно выдвинуть ряд возражений. Одним из таких возражений могло бы быть указание на отсутствие заметной разницы в цветах звёзд и галактик, которая должна была бы быть в таком случае; однако это возражение может встретить контр-возражения. Вторым возражением против этой гипотезы поглощения является её недостаточность, так как гораздо большие расхождения в числах наблюдаемых галактик в разных областях одного и того же полушария остаются ею необъяснёнными. Но самым существенным возражением, совершенно исключающим гипотезу поглощения, является то, что эта неравномерность исчезает в последних обзорах галактик. Оказывается, что галактики 18-й величины и слабее одинаково многочисленны в обоих полушариях.

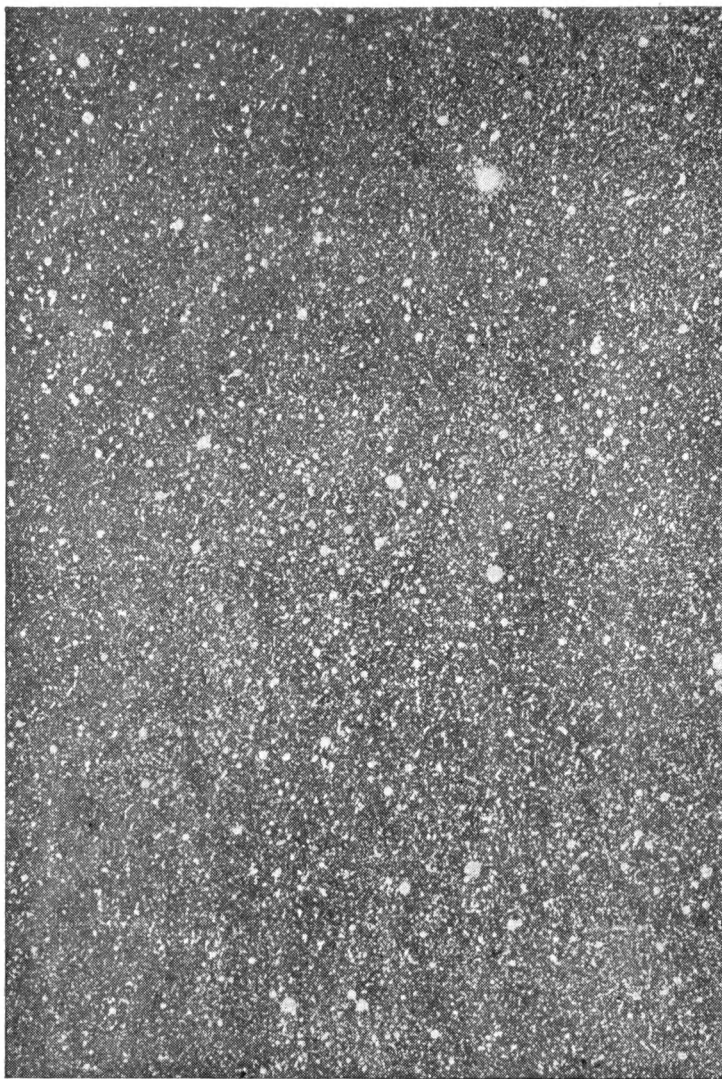
Таким образом наблюдаемая разница между северным и южным полушариями в числе галактик до 13-й величины (фиг. 77) есть только структурная деталь внутренней метagalaktiki. Богатое скопление галактик в Деве в значительной мере усиливает эту неравномерность, но последняя остаётся и после исключения влияния этой мощной организации.

Несколько лет назад автор предпринял количественное исследование этой разницы между югом и севером, столь заметной в 12-й и 13-й величинах и, повидимому, отсутствующей в 20-й. Был исследован вопрос о наличии этой разницы для средних между ними величин и расстояний. Были проведены подсчёты галактик на двадцати площадках в высоких северных широтах и в таком же количестве южных. Отношения чисел северных галактик к южным для величины между шестнадцатой и семнадцатой оказались следующими:

Звёздная величина	16,0	16,1	16,6	17,1	17,6
Отношение	1,25	1,11	1,44	1,55	1,09

Для галактик с фотографическими звёздными величинами от 12-й до 13-й отношение оказалось равным 1,4, если исключить из расчёта скопления ярких галактик в созвездиях Девы и Печи. Для всех галактик от 14-й до 18-й величины вместе оно тоже равно 1,4. Таким образом в этом объёме пространства северное галактическое полушарие представляется богаче южного на 40%. Нужно подчеркнуть, что, сравнивая галактики 17-й величины по одну сторону от Млечного Пути с такими же галактиками по другую его сторону, мы не имеем дело с небольшими расстояниями или местными неправильностями. Эти объекты находятся в областях, отстоящих приблизительно на 200 миллионов световых лет друг от друга. Но мы не можем ещё в настоящее время решить, зависит ли эта заметная разница в густоте галактик от наличия за северными созвездиями большого облака галактик, на расстоянии около 100 миллионов световых лет, или эта разница является указанием на существование общего непрерывного возрастания плотности галактик по направлению от юга к северу. Для этого мы должны предварительно знать относительную частоту галактик между 13-й и 16-й величинами на больших площадях обоих полушарий. Нам нужно также увеличить число областей, в которых исследованы более слабые галактики, прежде чем мы сможем считать твёрдо доказанным наличие этого общего градиента плотности с юга на север поперёк галактической плоскости.

Несмотря на более редкое население южного галактического полушария, которое мы обнаруживаем, сравнивая число галактик до 18-й величины в высоких широтах обоих полушарий, южное полушарие имеет, по крайней мере, две значительные неправильности в виде обширных облаков галактик. Об одном из них мы уже упоминали в главе 5-й, когда мы говорили, что даже в сравнительно низких галактических широтах в окрестностях туманности Андромеды и её отдалённого соседа, М 33, имеется богатый фон слабых и далёких галактик. Наша перепись галактик до 18-й величины ещё не закончена для этой области; поэтому мы не можем ещё уточнить распространения этого облака галактик, которое тянется

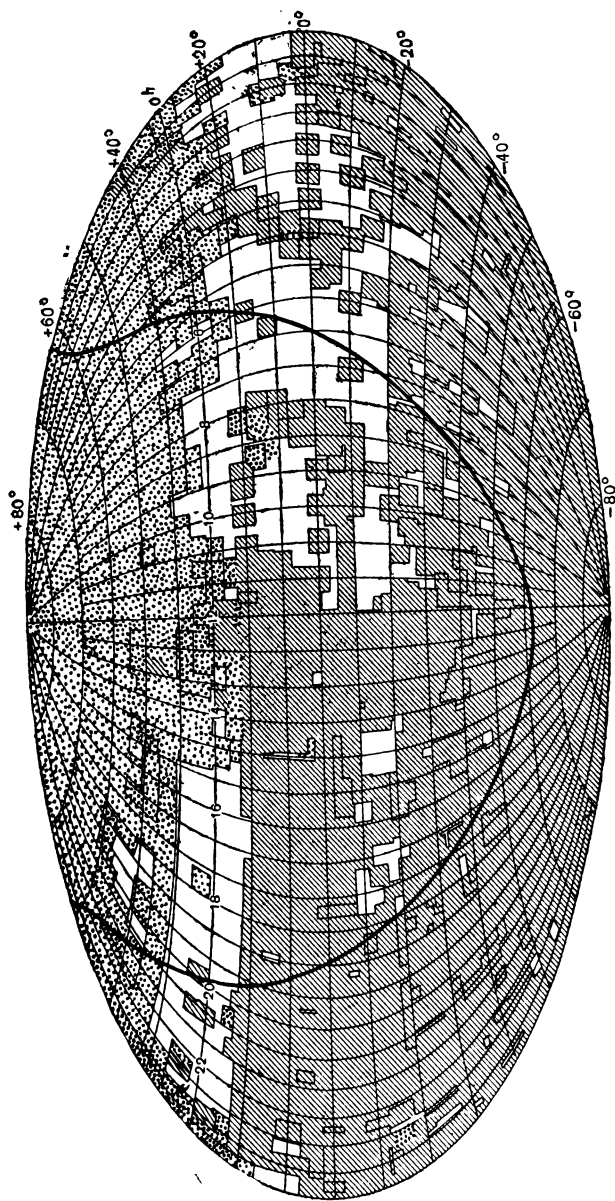


Фиг. 93. Звёздное поле в созвездии Щита и скопление NGC 6712.

от Млечного Пути через Андромеду в Треугольник, Рыбы и Пегас. Оно включает десятки тысяч слабых галактик.

Гораздо яснее вырисовывается другое метагалактическое облако, которое является частью слоя галактик, наиболее богатого, повидимому, в далёких южных созвездиях Живописца и Золотой Рыбы. В этой области, удалённой более чем на 100 миллионов световых лет, плотность материи в пространстве должна быть, повидимому, по крайней мере на 50% больше, чем в других равноудалённых областях южного галактического полушария. Такое различие, несомненно, имеет очень важное значение, так как здесь мы имеем дело с неравномерностями крупных масштабов, способными повлиять на самое наше представление о метагалактике; но мы до сего времени ещё не в состоянии истолковать их значение. В течение ближайших лет мы нанесём на карты более подробно всё южное небо и получим диаграммы распределения нескольких сот тысяч галактик. Тогда мы увидим, имеются ли плавные изменения плотности галактик поперёк луча зрения от одной части неба к другой. А когда будет завершено более тщательное исследование видимых звёздных величин галактик, тогда станет ясным, имеются или нет также существенные градиенты *радиальной* плотности, т. е. заметные увеличения или уменьшения в числе галактик, по мере продвижения по лучу зрения от нашей Галактики в каком-нибудь одном или во всех направлениях. Исследования звёздных величин, выполненные до сего времени на отдельных пластинках, показали, что «местные» радиальные неправильности встречаются в изобилии в форме как постепенных, так и внезапных отклонений от равномерного распределения, по мере того как мы продвигаемся вдаль, считая число встречающихся галактик.

Несмотря на эти широко распространённые в космосе облака галактик, в больших масштабах мы, повидимому, встречаем равномерность распределения. Так, если мы будем рассматривать ещё бóльшие объёмы пространства, объединив весь материал для целой половины неба, то мы найдём в среднем равномерное распределение, т. е.



Фиг. 94. Карта неба, показывающая состояние гарвардской описи галактик до 18-й величины. Заштрихованные площади сняты в Южной Африке, покрытые точками — в Ок-Фидже. (Диаграмма, 1942 г.)

коэффициент градиента плотности*) окажется равным 0,6. Этот результат основывается на распределении в пространстве более чем 100 000 галактик, измеренных гарвардскими наблюдателями, и он подкрепляет прежние результаты, полученные Хабблом на выборочных площадках на Маунт Вильсон. Этот вывод настолько важен, что его следует повторить, — когда рассматриваются очень большие площади и глубины неба, средняя величина коэффициента градиента плотности почти в точности равна 0,6, и отсюда пространственная плотность галактик оказывается в *среднем* равномерной внутри сферы диаметром около полмиллиарда световых лет, несмотря на присутствие больших скоплений галактик, громадных облаков их и обширных областей с редким населением.

Если и есть общее разрежение или сгущение галактик с расстоянием, то оно так мало и становится заметным только на таких громадных расстояниях, что мы не можем быть уверенными в его реальности. Величины галактик слабее 18-й очень трудно аккуратно измерить, так как наши стандарты столь слабого блеска по точности даже приблизительно не могут сравняться со стандартами для более ярких звёзд и галактик. Из своих исследований Хаббл (после введения соответствующих поправок на красное смещение) нашёл, что может существовать общий радиальный градиент, который на расстоянии в четверть миллиона световых лет даёт увеличение плотности, несколько меньшее 20%. Твёрдое установление такого факта было бы очень многозначительно. Хаббл, естественно, предпочитал бы думать, что плотность равномерна. Это ведёт к более простому представлению о вселенной. Поэтому, для того чтобы устроить *кажущееся* возрастание плотности с расстоянием и восстановить существующую в действительности равномерность, он предлагает отказаться от истолкования красного смещения как результата скорости удаления, а следовательно, и от гипотезы расширяющейся вселенной. Он вводит вместо неё некоторый новый принцип, объясняющий красное смещение и кажущийся градиент радиальной плотности. Но са-

*) См. стр. 188 и примечание.

мое наличие радиального градиента Хаббла до сего времени строго не доказано. Можно легко показать, что если маунт-вилсоновские подсчёты, лежащие в основе заключений, анализировать отдельно для двух галактических полушарий, то градиент в северном полушарии оказывается неощутимым. Более того, общее изменение с расстоянием очень незначительно по сравнению с другими градиентами, которые не устраняются поправками теории относительности.

Радиальные градиенты плотности, определяемые фотометрически, конечно, труднее обнаружить, чем градиенты в поперечном направлении. Моя работа над 75 000 слабых галактик в южном галактическом полушарии обнаружила поперечный градиент — изменение частоты галактик на квадратный градус при пересечении расстояния в 2 000 000 световых лет — значительно больший, чем радиальный градиент, подозреваемый Хабблом и приведший его к сомнениям в существовании кривизны пространства и связанного с ней расширения вселенной. Очевидно, мы ещё мало знаем об этих вещах.

ДВИЖЕНИЯ ГАЛАКТИК

Мы закончили предыдущий обзор градиентов плотности в метagalактике не вполне объяснёнными ссылками на расширяющуюся вселенную и релятивистскую космогонию. Будет уместно подойти к этому вопросу более систематично, исходя из наших сведений о движениях галактик.

Два или три десятилетия назад, когда мы ещё не были уверены, находятся ли спирали вблизи нас, среди слабых звёзд нашей Галактики, или, может быть, далеко вне её, были естественны попытки проверить это при помощи поисков собственного движения спиралей. Близость соседних с нами звёзд легко распознаётся по тому, что их угловое перемещение достаточно велико, для того чтобы его было легко подметить, повторяя измерения положений этих звёзд из года в год, или, по крайней мере, через десятки или сотни лет. Более далёкие звёзды, именно потому, что они далеки от нас, обнаруживают очень ма-

лое так называемое собственное движение или угловое перемещение, несмотря на то что их скорость, перпендикулярная к лучу зрения, может быть и очень значительна. Таким образом собственное движение является грубым



Фиг. 95. Южная спиральная галактика — NGC 1566.

указателем расстояния: малое движение соответствует большому расстоянию.

Адриан ван Маанен, выполняя свою обширную программу по определению собственных движений и расстояний галактических звёзд, произвёл очень ценные попытки определить собственные движения ближайших к нам га-

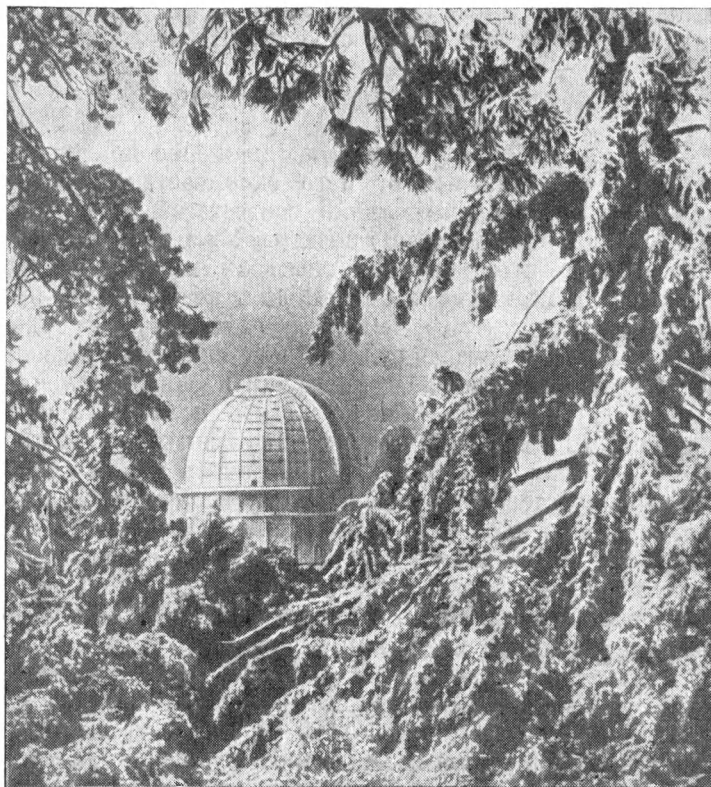
лактик. Его измерения ядер спиральных галактик не обнаружили заметных собственных движений в течение интервалов времени, разделяющих его первые и последние снимки. Если бы эти пластинки были разделены тысячью или десятью тысячами лет, дело могло бы обстоять иначе, потому что мы теперь знаем довольно достоверно, что некоторые из галактик имеют скорости во много сотен километров в секунду и они могли бы обнаружить измеримые угловые смещения при достаточно больших промежутках времени.

Если бы мы могли сохранить современные фотографии галактик в течение нескольких столетий, а затем сделать повторные фотографии для сравнения с первыми, то мы имели бы ценные данные о собственных движениях во внутренней метagalактике и тем самым получили бы возможность анализа структуры и динамики некоторых более близких групп галактик. А через пару, другую тысячелетий мы могли бы изучить скопление галактик в Деве так же хорошо, как мы знаем теперь соседние с нами звёздные скопления в Тельце: Плеяды и Гиады.

Вследствие громадного расстояния слабых внешних галактик на их видимую неподвижность на небесной сфере настолько можно полагаться, что в применении к ним мы можем перевернуть обычный метод и, вместо того чтобы пытаться измерять их движение по отношению к соседним опорным звёздам, использовать эти слабые галактики как неподвижные опорные точки в пространстве, относительно которых и измерять собственные движения окружающих их звёзд.

Тогда как движения галактик поперёк луча зрения в настоящее время недоступны для измерения, их движения вдоль луча зрения, обнаруживаемые спектроскопически благодаря известному доплеровскому смещению, могут быть измерены для нескольких тысяч более ярких систем при помощи светосильных спектрографов на больших рефлекторах. До сих пор эти лучевые движения измерены для нескольких сот галактик; дело это очень не простое, и точность этих определений несравненно ниже точности таких определений для звёзд.

Известные до сего времени лучевые скорости галактик в основном получены одним специалистом, Милтоном Хьюмасоном на Маунт-Вилсоновской обсерватории. Измерение лучевых скоростей очень отдалённых галактик



Фиг. 96. Башня 100-дюймового рефлектора на Маунт Вилсон зимой.

является одним из наиболее выдающихся достижений, полученных при помощи 100-дюймового рефлектора, величайшего действующего телескопа в мире. Для этой работы необходимы очень большие рефлекторы, так как

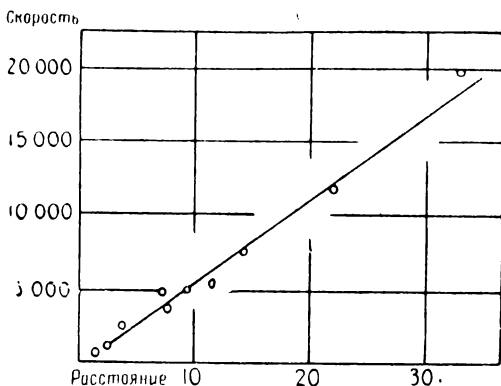
свет, приходящий из внегалактического пространства, чрезвычайно слаб. Для того чтобы можно было определить по спектрограммам лучевые скорости галактик, этот свет к тому же должен быть растянут в довольно длинную полосу, без чего нельзя распознать подробности спектра; только самые крупные инструменты собирают достаточное для этого количество света.

КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ И КОСМОГОНИЯ

Согласно принципу Доплера, движение по лучу зрения к наблюдателю или от него сказывается в спектре смещением спектральных линий соответственно к фиолетовому или красному концу спектра. Уже довольно давно было открыто, что смещения в спектрах всех галактик, за исключением нескольких ближайших, всегда направлены к красному концу и что, чем слабее галактика, тем больше по величине это смещение. Так как слабость галактики связана с её расстоянием, то после накопления достаточного количества материала оказалось, что красное смещение является, если не точной мерой, то во всяком случае хорошим указателем расстояния. Хаббл вывел хорошо теперь известное простое соотношение между величиной красного смещения и расстоянием. Так как мы объясняем красное смещение для галактик, как и для звёзд, как прямой результат радиального движения по направлению от наблюдателя, то может быть составлено простое соотношение между расстоянием и лучевой скоростью. Графически это соотношение изображено на фиг. 97. Она показывает, что на расстоянии миллиона световых лет галактики удаляются со скоростью около 160 км/сек . На расстоянии двух миллионов световых лет скорость удаления достигает 320 км/сек , а на расстоянии десяти миллионов световых лет — уже более 1500 км/сек .

До тех пор пока измеренные скорости не превосходили нескольких сот километров в секунду, никто не колебался истолковывать эти красные смещения как результат движения по лучу зрения. Скорости такого порядка известны и для звёзд и не вызывают сомнений. Но когда исследования Хьюмасона достигли объектов,

отстоящих более чем на сто миллионов световых лет, и красные смещения стали соответствовать скоростям в 20 — 30 тысяч км/сек, то это начало внушать беспокойство. Некоторые астрономы стали предполагать, что, может быть, в этих отдалённых пространствах имеется ещё какая-то другая причина, кроме лучевого движения, которая может вызывать наблюдаемое смещение в спектрах. Некоторым слабым галактикам, удалённым на рас-



Фиг. 97. Зависимость между расстояниями галактик (в мегапарсеках) и величиной красного смещения в их спектрах, выраженного в лучевых скоростях удаления (км/сек). (Диаграмма основана на данных Хаббла.)

стояние около 250 миллионов световых лет, Хьюмасон приписал скорости в 40 тысяч км/сек. Значит ли это, что галактики, вчетверо более далёкие, будут иметь скорость в четыре раза большую? Значит ли это, что если бы мы могли получить спектрограммы галактик в 7—8 раз более далёких, то нашли бы там смещения, соответствующие скорости около 300 тысяч км/сек, т. е. скорости света?

Причина сомнений ясна. Учёные не представляют в настоящее время возможности реальных скоростей, превышающих скорость света. Но, может быть, такое беспокойство преждевременно? Соотношение между расстоянием и лучевой скоростью, оказавшееся приблизительно ли-

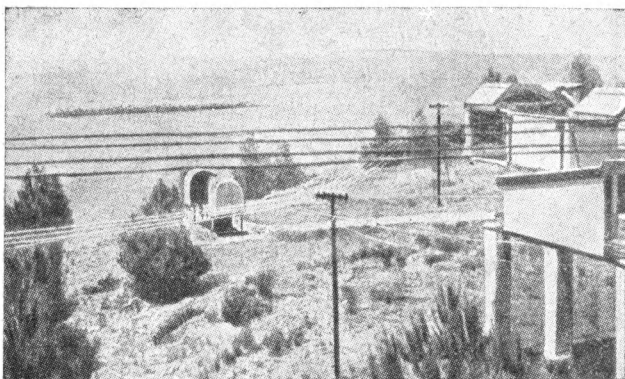
нейным для первой сотни миллионов световых лет, не проверено для более отдалённых расстояний. Некоторое отклонение от прямолинейности представляется очень вероятным. В наши дни 200-дюймовый рефлектор на горе Паломар, с самым мощным спектрографическим оборудованием, может обнаружить характер соотношения между расстоянием и красным смещением на расстояниях до миллиарда световых лет. Нам нужно для этого иметь не только значительное количество очень трудных измерений смещений в спектрах отдалённых галактик, но и точные определения звёздных величин слабых звёзд и галактик. Совершенная необходимость сведений последнего рода подчёркивает важность исследований и прогресса в области фотографической и другой фотометрической техники.

Может быть, было бы лучше всего подождать дальнейшего накопления наблюдений, касающихся распределения в пространстве блеска, цветов и движений галактик в отдалённых областях метagalактической системы, прежде чем делать какие-нибудь заключения, основанные на прямолинейной экстраполяции соотношения между красным смещением и расстоянием. Но не терпеливые учёные уже предприняли попытки найти какие-нибудь другие причины красного смещения, кроме лучевой скорости. Не мог ли бы, например, свет от отдалённых галактик становиться краснее с течением времени? Те кванты радиации, которые в конце концов дали наши спектрограммы, находились в пути сотни миллионов лет, с тех пор как они были выброшены звёздами отдалённых галактик. Пройденное ими пространство содержит пыль и газ и, кроме того, всюду пронизано радиацией миллионов звёзд. Не могли ли эти кванты потерять по пути часть своей энергии и поэтому увеличить длину волн, т. е. сдвинуться к красному концу спектра?

Существует также гипотеза о том, что раньше атомы всех элементов были больше, чем теперь. Радиация от отдалённых областей метagalактики зародилась в очень отдалённые времена. Если за время её прохождения до нас, т. е. за сотни миллионов лет, атомы во всей вселенной постепенно изменялись в размере, то легко пред-

ставить, что соответственно изменялся и характер радиации. Мы поэтому не можем теперь непосредственно сравнивать прежний свет от молодых атомов с современным светом, испускаемым атомами наших образцов сравнения. Наблюдаемое красное смещение может указывать не на движение, а на молодость тех атомов, которые когда-то породили радиацию. Такая гипотеза является, конечно, чисто умозрительной и не очень убедительной.

С ббльшим основанием мы могли бы задать такой вопрос: «А уверены ли мы, что так называемые основные



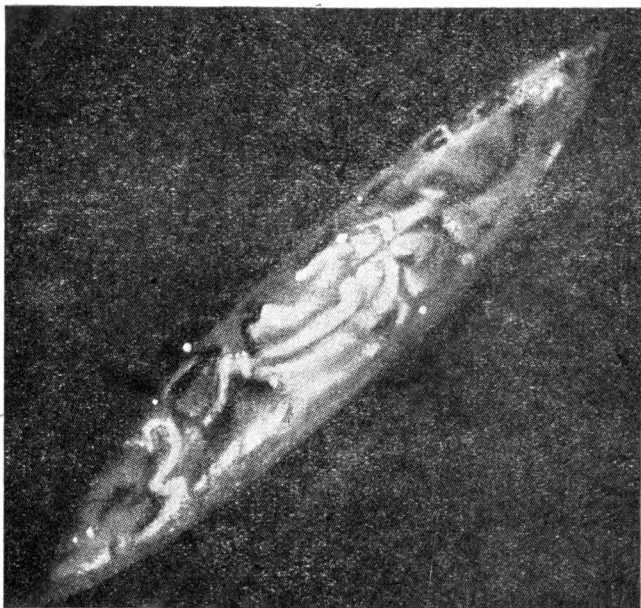
Фиг. 98. Вид на южноафриканские степи с Гарвард Кбпье.

«постоянные» природы (например, постоянные тяготения и излучения) являются на самом деле постоянными? Не меняют ли они постепенно свою величину на протяжении тех долгих промежутков времени, с какими мы имеем дело при измерении света галактик 18-й величины?» Если держаться воззрения, что галактики, звёзды, планеты, животные и даже сами атомы непрерывно развиваются, то какие у нас основания исключать из общего правила сами законы природы и категорически отрицать возможности их изменения во времени и в пространстве?

Ясно без дальнейших объяснений, что если «постоянные» непостоянны, то не имеет никакого смысла стараться истолковать спектральное смещение как результат ско-

рости удаления, да вообще нет смысла рационально истолковывать что бы то ни было в космическом масштабе.

К счастью, мы не должны сейчас настойчиво искать выбора между этими чисто умозрительными гипотезами для объяснения красного смещения. Совершенно независимо мы нашли в теории относительности указание на то,



Фиг. 99. NGC 253, одна из больших южных галактик, замечательная своей внутренней структурой без заметного центрального ядра.
(Рисунок по гарвардской фотографии.)

что отдалённые галактики должны удаляться. Правда, теория не предсказывает прямо скорости удаления, но расширение вселенной оказывается вполне совместимым с основной теорией, которая тщательно проверена и является общепринятой для соседней с нами части астрономического мира. Как бы мы ни сомневались в применении теории относительности к явлениям на границах измери-

мого пространства, мы можем быть совершенно уверены в её действительности и даже необходимости для нашей части вселенной. Движение перигелия Меркурия, красное смещение в спектрах звёзд очень большой плотности и, наконец, притяжение света материей, выражающееся искривлением вблизи Солнца лучей от звёзд, измеряемых во время солнечных затмений, — вот те общеизвестные астрономические доказательства того, что небольшие изменения, внесённые Эйнштейном в теорию тяготения Ньютона, вполне оправдываются.

Хотя изменения, вносимые теорией относительности, исчезающе малы в солнечной системе и могут быть, за небольшими исключениями, оставлены без внимания в пределах Галактики, они играют довольно большую роль во внешней метagalактике и являются абсолютно преобладающими тогда, когда мы пытаемся составить общее представление о совокупности света, пространства и времени. У краёв доступного познанию пространства возникают неясности отчасти потому, что нет достаточно определённых наблюдений, а отчасти потому, что мир превосходит наше понимание в настоящее время, а может быть, и всегда будет превосходить его. Мы ищем удовлетворительной теоретической модели мира — чего-то, что можно себе ясно представить. Для упрощения неизбежно возникающих математических и физических проблем приходится делать некоторые дополнительные предположения и допущения. Мы знаем, например, что в вопросе о материи и движении во вселенной истина лежит где-то между материей без движения и движением без материи; но кто знает, сколько материи и сколько движения имеется в настоящее время? *)

Эти неизбежные предположения вносят неопределённость в задачу и вместе с недостаточностью имеющегося в настоящее время наблюдательного материала допускают различные решения её. Мы можем логически вывести

*) При чтении этой странно звучащей фразы необходимо учитывать различие между физической и философской терминологией. Физики (и астрономы) обычно называют материей только тела (частицы), обладающие не равной нулю «массой покоя», но не радиа-

релятивистские модели мира разного рода. В одной модели вселенная может попеременно то расширяться, то сжиматься. Согласно другой, вселенная сначала сжималась, и в это время из какого-то изначального состояния материи образовались звёзды, а теперь, в другой фазе существования, она перешла к бесконечному расширению, стремясь к нулевой плотности и полному рассеянию тепла. Или материя космоса могла быть выброшена в бесконечное расширение из какого-то извечного состояния мёртвого равновесия, или, наконец, она образовалась катастрофически несколько миллиардов лет назад из единого всеобъемлющего первобытного атома*).

Очевидно, релятивистская картина вселенной в настоящее время ещё неясна. Конечно или бесконечна вселенная в пространстве — нельзя считать установленным. Бесконечность во времени может быть несимметричной, различаясь в прошлом и в будущем, и, вероятно, это зависит от скорости и от массы. Работая над этими загадками, в будущем можно будет разрешить по крайней

цию, «масса покоя» которой равна нулю. Тела, обладающие отличной от нуля «массой покоя», могут не только перемещаться, но и покоиться в какой-либо системе отсчёта, радиация же (фотоны) движется (со скоростью света) в любой системе отсчёта. Очевидно, однако, что если мы имеем в виду философские понятия материи и движения, то радиация так же материальна, как и упомянутые тела, а последним присуще движение: нет движения без материи, как нет материи без движения. (Прим. ред.)

*) Автор приводит здесь основные типы поведения *однородной* вселенной, получаемые в результате математического исследования релятивистских уравнений для такой вселенной. В большинстве из этих типов расширению должно предшествовать мгновенное состояние бесконечно большой плотности («особое состояние»). Это обстоятельство послужило поводом для утверждения о «возникновении» вселенной «из точки» или «из атома» (Лемэтр). Однако эти утверждения абсолютно необоснованны. Математические уравнения написаны для состояний вселенной, сравнительно близких к современному, и потому они заведомо непригодны для описания ранней стадии расширения. Впрочем, приводимые автором книги данные показывают, что предположения об однородности вселенной очень грубы. Реальная вселенная, очевидно, является неоднородной. В такой вселенной разные участки её могут обладать совершенно различными свойствами. Весьма возможно, что наблюдаемое нами расширение охватывает не всю вселенную, а лишь ограниченную область её. (Прим. ред.)

мере часть их. Они далеко не совершенно безнадежны, но скептический Джемс Джинс пишет: «Как Вы видите, перед нами целый букет гипотез, между которыми можно выбирать. Вы можете верить в любую, которая Вам нравится, но Вы не должны быть уверены ни в одной из них. Лично я не склонен верить ни в одну. Мне представляются ещё совершенно открытыми вопросы о том, конечно или бесконечно пространство, имеет ли оно кривизну или плоско, изменяются ли по величине так называемые постоянные природы или они действительно неизменны, если вообще эти вопросы имеют какой-нибудь смысл». И он заканчивает следующей цитатой из Р. Л. Стивенсона: «Движение к цели, полное надежд, отрадней самого прибытья».

ТЕНДЕНЦИИ

При выборе заглавия для этого раздела я имел в виду тенденции как в развитии самих галактик, так и в направлении мыслей и работ, посвящённых им. Мне представляется наиболее вероятным, что галактики рассеиваются в метagalактическом пространстве и что наблюдаемая нами часть вселенной расширяется. Если мыслить пространство бесконечным, то это расширение следовало бы рассматривать как расхождение самих галактик. Если же предпочесть конечное сферическое пространство, тогда лучше было бы сказать, что расширением охвачено само пространство, увлекающее за собой галактики.

Скорость галактик такова, что радиус вселенной *) должен удваиваться каждые 1 300 000 000 лет, если предположить, что скорость каждой отдельной туманности возрастает с течением времени. Если скорости останутся всегда такими же, как в настоящее время, то вселенная

*) Термин «радиус вселенной» первоначально появился в применении к моделям вселенной со сферическим пространством. В применении к бесконечной вселенной увеличение её «радиуса» означает просто увеличение расстояний между любой парой удалённых галактик (т. е. увеличение всех метagalактических расстояний); (Прим. ред.)

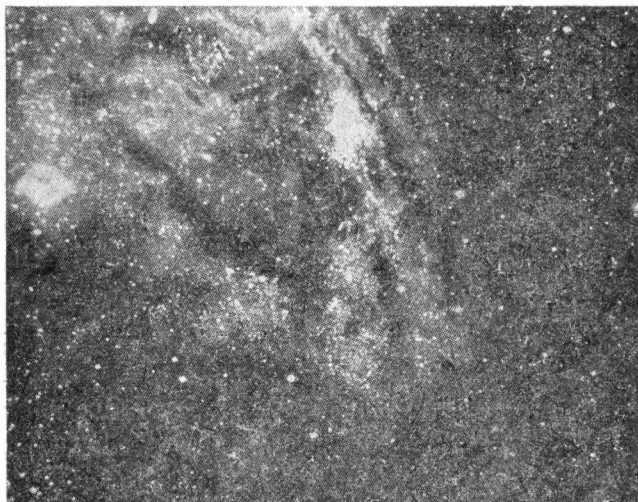
удвоит свой радиус в 2 000 000 000 лет. Мы можем распространить эту фантастическую хронологию и в прошлое с некоторыми интересными результатами. Мы находим, например, что приблизительно два миллиарда лет



Фиг. 100. Группа из трёх наклонённых спиралей (NGC 7582, 7590, 7599).

тому назад все галактики находились очень близко друг к другу, если каждая из них двигалась с такой же скоростью, как и теперь, в течение всего этого долгого промежутка времени. В эту эпоху истории вселенной средняя плотность материи в пространстве была исклю-

чительно велика. Прежде чем достаточно продвинулось расширение, звёзды, вероятно, могли сравнительно часто сталкиваться. Это создавало благоприятные условия для образования таких осколков, как планеты, кометы, метеоры. Может быть, космические лучи тоже произошли благодаря бурным процессам тех дней.



Фиг. 101. Сверхгигантские звёзды, обнаруживаемые во внешних ветвях туманности Андромеды.

Если даже скорости в прошлом не всегда были равны их современным значениям, но постепенно ускорялись со времени начала расширения, то всё-таки несколько миллиардов лет назад метagalactica, несомненно, была гораздо более сконцентрированной. Повидимому, единственная возможность избежать представления об этой чрезвычайной концентрации лежит в отрицании того, что наблюдаемые красные смещения вызываются радиальными движениями, или вообще в отрицании пригодности наших наблюдений для истолкования вселенной.

Возраст самых древних земных минералов и количество радиоактивных элементов в Земле и Солнце определяют возраст нашей планетной системы тоже в несколько миллиардов лет. Случайно ли это совпадение или оно указывает на причинную связь между концентрацией вселенной и происхождением Земли?

Изучение природы звёздных скоплений в Млечном Пути, как показал Бок, даёт приблизительно тот же возраст и для нашей Галактики. То обстоятельство, что возраст Земли, Галактики и начало метагалактического расширения — всё, повидимому, указывает на одну и ту же не очень отдалённую эпоху, наводит на размышления. Не нашли ли мы таким образом возраст вселенной?

Однако мы не должны принимать этого совпадения слишком всерьёз; очень трудно предположить, что всю прошлую жизнь звёзд можно вмести́ть в короткий промежуток времени в несколько миллиардов лет. Затруднительно также представить, что шаровые скопления, и, как указал Цвикки, громадные сферические скопления галактик могли бы быть столь недавнего происхождения. Хотя в последние годы была тенденция, в общем благоприятная именно такой «короткой» шкале времени, которую подсказывало расширение вселенной, но каждый чувствовал неудобства её чрезвычайно малой продолжительности. Кажется маловероятным, чтобы вся величественная вселенная была бы лишь незначительно старше возрастом, чем древнейшие породы на поверхности нашей маленькой планеты или чем жизнь в трещинах скал.

Измерения радиоактивности земных пород, движений галактик и скорости рассеивания скоплений в нашем Млечном Пути — всё это вполне определённые экспериментальные процедуры. Все, кто производит такие измерения, стоят на чисто научной почве и пользуются научной техникой. Но когда мы начинаем обсуждать условия, которые предшествовали расширению вселенной, или вопрос о происхождении самой материи — той материи, из которой образовались каким-то неизвестным образом звёзды, планеты и галактики, — мы уже не можем претендовать на научную обоснованность. Предположение аббата Лемэтра, что несколько десятков мил-

лиардов лет назад произошло что-то вроде радиоактивного взрыва в едином всеохватывающем первобытном атоме — это предположение представляет некоторые удобства, так как оно может объяснить обилие космической радиации и начало великого расширения вселенной. Эта гипотеза может помочь разъяснению загадок происхождения планетных систем. Однако Эддингтон полагает, что начало расширения может и не быть столь бурным. Он предпочитает спокойствие первоначальной статической вселенной Эйнштейна, где все главные силы уравновешены. Прочитируем его самого:

«Я представляю себе первоначальное состояние вещей как равномерное распределение протонов и электронов, чрезвычайно разрежённых и наполняющих всё (сферическое) пространство. В этом состоянии почти полного равновесия сил вселенная пребывала неопределённо долгое время, пока не получила преобладания присущая ей неустойчивость... Не было оснований для того, чтобы что-нибудь начало происходить в ней. Но в конце концов маленькие неправильные изменения в её состоянии складывались друг с другом, и началась эволюция. Первой ступенью её было образование конденсаций, которые впоследствии дали начало галактикам. Здесь, как мы видели, началось расширение, которое затем автоматически увеличивало свою скорость до той, которую мы наблюдаем в наше время в расхождении спиральных туманностей. Уплотнение материи в конденсациях дало начало различным эволюционным процессам: эволюции звёзд, эволюции более сложных химических элементов, эволюции планет и жизни».

Мы рассматривали выше тенденции в развитии вселенной и при этом перешли довольно скоро с почвы научно обоснованных, законных выводов в область заманчивых космических умозрительных предположений. Возвращаясь к индивидуальным галактикам, мы можем спросить себя, имеются ли какие-нибудь указания на то, что галактики с течением времени увеличиваются в раз-

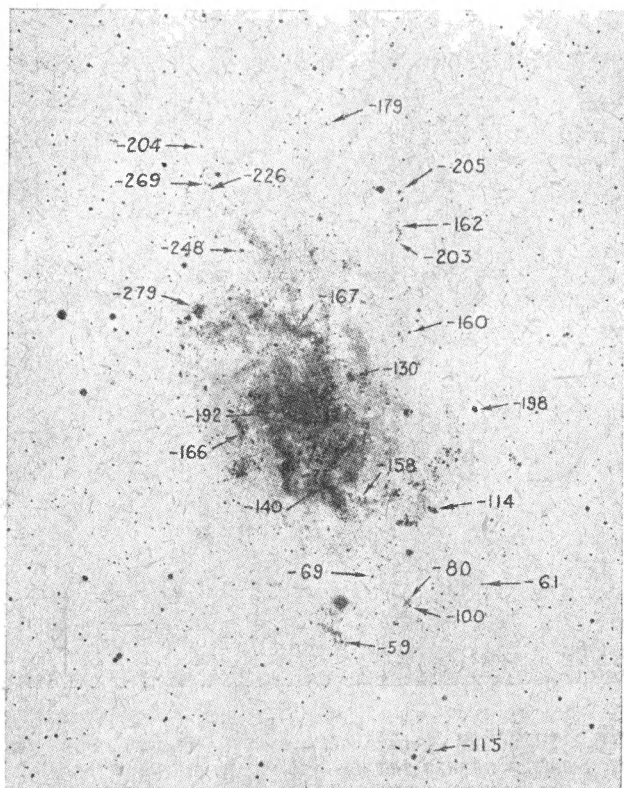
мере или сокращаются, или испытывают какую-нибудь внутреннюю эволюцию? Промежуток времени наших наблюдений над галактиками, конечно, слишком мал, чтобы мы могли заметить какие-нибудь изменения; их можно только подозревать.

В некоторых спиральных типа Sc были замечены взрывы сверхновых звёзд. В некоторых из них за полстолетия, в течение которого мы фотографируем галактики, появилось даже по две или три сверхновых. Если частота этих грандиозных взрывов поддерживалась на таком же уровне в течение всех последних двух миллиардов лет, тогда значительный процент всех звёзд в такой галактике должен был подвергнуться изменениям поистине катастрофического характера. Явление сверхновых звёзд, констатированное нами, может быть гораздо более важным фактором в эволюции звёзд и галактик, чем мы предполагали до сего времени. Этот вид скачкообразного изменения во вселенной заслуживает самого внимательного изучения; медленная эволюция далеко не всегда является преобладающей.

Галактики вращаются, и, согласно последним важным исследованиям Бэбкока, Уайзе, Мэйолла и Аллера над вращением ярких спиралей М 31 и М 33 (фиг. 102), их внутренние вращательные движения очень необычны, хотя они и не противоречат теории тяготения. Внутри как нашей, так и других галактик должны действовать мощные разрывающие силы, способные разложить постепенно облака звёзд и многие звёздные скопления. Рассеяние внутренних звёздных организаций в галактиках является, повидимому, неизбежным. Боку удалось даже предсказать продолжительность существования некоторых звёздных скоплений в нашей Галактике. Тенденция развития всех этих открытых спиралей направлена определённо в сторону выглаживания в них всех неоднородностей.

Каков будет конечный продукт развития отдельных спиралей, если оно будет продолжаться достаточно долго? Вероятно, это развитие не будет испытывать значительных возмущений со стороны, так как галактики находятся на довольно больших расстояниях друг от друга

и всё больше раздвигаются. Конечно возможно, что Магеллановы Облака случайно прошли через нашу галак-



Фиг. 102. Негатив спирали М 33 с отметками тех точек, для которых были измерены лучевые скорости Мэйоллом и Аллером при их исследовании вращения спирали. Цифры дают лучевую скорость соответственного места в км/сек.

тическую плоскость, произведя соответствующие возмущения, но вообще такие явления редки, и внутренняя эволюция галактики является её «частным делом».

Возможность, что конечным продуктом эволюции спиралей, подобных нашей, являются сфероидальные галактики, заслуживает серьёзного рассмотрения. Это предлагается просто как рабочая гипотеза. При таком плане



Фиг. 103. NGC 5128 — «патологический» объект с необычным спектром. Каждая полная теория структуры галактик должна учитывать и такие аномальные формы;

тенденция эволюции галактик ведёт от неправильных галактик типа Магеллановых Облаков к наиболее открытым спиральям (оба эти типа характеризуются обилием сверхгигантских звёзд и ярких звёздных скоплений). Затем эволюция проходит через другие типы спиралей, описанные в 1-й главе, к эллиптическим и сферическим системам. Недавно мы обнаружили, что спиральные ветви

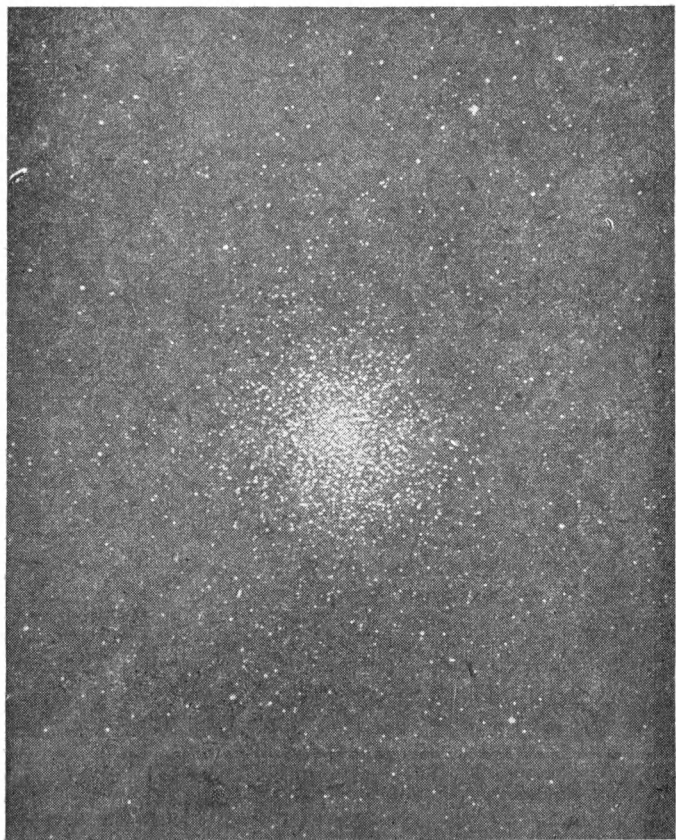
галактик представляют скорее конденсации в окружающем их звёздном поле, чем извержения из центрального ядра *). В пользу предлагаемой гипотезы развития говорит также и тесное сходство в структуре, размерах и, вероятно, звёздном составе между ядрами спиралей и сфероидальными галактиками, а также большими шаровыми скоплениями, подобными ω Центавра.

Благоприятным для нашей гипотезы обстоятельством является также постепенное исчезновение сверхгигантских звёзд (имеющих, вероятно, малую продолжительность существования) по мере перехода от неправильных к спиральным и далее к сфероидальным формам галактик. В спиральных типа Sa встречается лишь очень мало звёзд большой светимости, а в сфероидальных галактиках они практически совершенно отсутствуют. Общепринятый порядок эволюции от сплошных сфероидов к открытым спиральям требует появления сверхгигантских звёзд и звёздных скоплений на поздних стадиях истории галактики — процесс, кажущийся мне неприемлемым.

Но как бы ни развивались галактики и каково бы ни было направление их развития вдоль нашей классификации, совершенно очевидно, что время, необходимое для перехода галактики из одного типа в другой, должно быть очень велико. Его трудно уложить в промежуток нескольких миллиардов лет. Эта «короткая» шкала времени представляется слишком тесной для развития мощных галактик. Может быть, мы могли бы понять развитие больших звёздных систем, разбив его на две части с разными скоростями процессов. В первый период, характеризующий «молодость» вселенной, процесс развития заключался в быстром взрывоподобном размещении материи; этот процесс собрал звёздную материю в отдельные галактики разнообразных размеров и форм, примерно соответствующих современным. Следующий период характеризуется более медленной скоростью динамических и лучистых процессов, которые мы наблюдаем в настоящее время. Если наша рабочая гипотеза правильна, то эти процессы в течение долгого времени могут привести

*) См. стр. 173.

неправильные галактики и открытые спирали, обильные сгущениями и узлами, к выглаживанию, а может быть,



Фиг. 104. Звёздное скопление М 22 в Стрельце.

и к округлению. Эволюция всех несферических систем будет направлена в сторону больших шаровых скоплений.

Является загадочным существование довольно многих двойных галактик смешанных типов (см. фиг. 15), где

один компонент представляет открытую спираль, а другой — сфероидальную галактику. Это заставляет предполагать между ними большую разницу в развитии, если не в возрасте. Откуда же такая разница, если они развивались вместе? Можно было бы предположить возможность взаимного захвата, но с точки зрения динамики такой процесс не очень понятен. Гипотеза двух скоростей развития, особенно образование в едином первоначальном взрыве вполне выраженных спиралей и сфероидов, тоже не очень удовлетворительна.

Мы можем быть приведены нашими размышлениями опять к очень длинной шкале времени, которая позволила бы медленно развиваться скоплениям и галактикам, в то время как звёзды быстро старились бы и умирали.

Но гораздо большее значение для проверки всяких гипотез имеют хорошо поставленные наблюдения. Можно наметить десятки неразрешённых загадок, касающихся галактик. В нашей борьбе с тайнами метagalaktiki мы ещё далеки от конца, которого нельзя даже предвидеть. Больше измерений, больше установленных соотношений, больше глубокого теоретического анализа!.. А затем мы можем вернуться к неразрешённым загадкам и пытливым размышлениям.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Автор настоящей книги · проф. Х. Шепли в течение 25 лет является директором Гарвардской астрономической обсерватории, ведущей с конца прошлого столетия исследования строения вселенной. Самим проф. Х. Шепли или под его непосредственным руководством проведены многочисленные исследования звёзд и звёздных систем, входящих в состав нашей Галактики, а также разнообразные исследования далёких галактик.

Работы Гарвардской обсерватории составляют основу всей книги Х. Шепли «Галактики». Работы других обсерваторий (особенно — не американских) отражены в ней несравненно менее полно. Имена советских астрономов не упоминаются в ней ни разу. Отсюда, однако, не следует, что советские астрономы совсем не занимаются изучением тех разделов астрономии, которым посвящена настоящая книга. Отметим только некоторые из них — те, которые ближе всего касаются вопросов, изложенных Х. Шепли. Кривая зависимости между периодом и светимостью у цефеид недавно была уточнена Б. В. Кукаркиным на основе материала, ещё более обширного, чем тот, который использован Шепли при построении кривой, изображённой на фиг. 28. Аналогичное уточнение характеристик было проведено им и для других типов переменных звёзд. Это дало ему возможность тщательно изучить пространственное распределение переменных звёзд в нашей Галактике и сделать новый шаг вперёд в изучении звёздного «тумана», окружающего дискообразную систему Галактики (см. стр. 105—109). Оказалось, что переменные звёзды некоторых типов хотя и встречаются выше передней крышки и ниже задней крышки «часов», но всё же они не распространяются так далеко во

все стороны, как короткопериодические цефеиды, образующие шаровой звёздный «туман». Эти заключения о сложной структуре звёздного «тумана» подтверждаются исследованиями П. П. Паренаго, изучавшего движения переменных звёзд различных типов. Изучение далёких объектов затрудняется наличием внутри Галактики облаков поглощающей материи. П. П. Паренаго детально исследовал межзвёздное поглощение света по различным направлениям и разработал новый метод для его учёта.

Совершенно особое отношение к себе заслуживает последняя глава книги — «Расширяющаяся вселенная». Она посвящена попыткам познать строение всей вселенной в целом. Широкий интерес к этим вопросам возник около 20 лет назад, когда, с одной стороны, наблюдениями было установлено красное смещение в спектрах далёких галактик, а, с другой стороны, среди «моделей вселенной», вычисленных с помощью теории относительности, было получено несколько моделей расширяющейся вселенной, которые, казалось, подводят теоретический фундамент под наблюдающееся красное смещение. Истолковывая красное смещение как результат расширения вселенной, мы получаем столь большую скорость расширения, что всего около 2 миллиардов лет назад вся вселенная должна была заключаться в очень небольшом объёме. А если так, то открывается широкое поле для спекуляций о том, что именно тогда произошло само сотворение мира. Подобная возможность «научного обоснования» сотворения мира, связанная с расширяющейся вселенной, предопределила её исключительную модность на западе. При этом иногда сознательно, иногда бессознательно игнорируется исключительная шаткость и ненадёжность как теоретических, так и наблюдательных оснований теорий расширяющейся вселенной.

В последней главе своей книги Х. Шепли отдаёт дань этой моде. Эта глава изобилует указаниями на недостаточность наших современных знаний и необоснованный, ненаучный характер большинства гипотез. В то же время автор проявляет большую терпимость, — он даже находит «некоторые удобства» в совершенно фантастических взглядах аббата Лемэтра и без единого критического замечания цитирует не менее странные высказывания Эддингтона.

Когда речь идёт о вселенной в целом, позиция Шепли не всегда до конца материалистична и даже там, где она материалистична, его формулировки не всегда достаточно чётки. Например, последняя глава начинается словами о «тайне происхождения физической вселенной». Очевидно, термином «физическая вселенная» автор стремится пояснить читателю, что речь идёт не о происхождении всей вселенной в целом, а о происхождении структурных свойств той области, которая доступна нашим наблюдениям.

Из слов Шепли: «Бесконечность во времени может быть не симметричной,...» (стр. 208) видно, что он не сомневается, что вселенная вечна, но в вопросе о протяжённости вселенной в пространстве Шепли, вместо чёткого материалистического признания её бесконечности, считает вопрос нерешённым (см. стр. 208—209). На стр. 212 упоминается «вопрос о происхождении материи». Между тем следовало бы говорить не о происхождении, а о круговороте и преобразованиях материи.

С самого начала последней главы читатели предупреждаются о необходимости с недоверием относиться к гипотезе расширяющейся вселенной. Шепли пишет об этом в шутовском тоне:

«Называя эту главу «Расширяющаяся вселенная», мы, конечно, имели в виду тот общеизвестный факт, что галактики представляются расходящимися друг от друга. Если, однако, впоследствии будет убедительно доказано, что красное смещение в спектрах галактик может быть удовлетворительно объяснено без помощи теории физического расширения метагалактики, тогда это название мы будем считать относящимся к совершенно бесспорному факту расширения «вселенной» наших сведений о вселенной».

Излагая далее наблюдательные данные о распределении галактик в пространстве и об их движениях, Шепли подчёркивает, что для суждения о структуре вселенной в целом важны результаты наблюдений наиболее удалённых, а потому наиболее слабых галактик.

Хаббл — астроном Маунт-Вилсоновской обсерватории (США), внесший, пожалуй, не меньший чем Шепли, вклад в дело изучения далёких галактик — на основании своих наблюдений склонен отказаться от гипотезы расширя-

щейся вселенной и предлагает искать другое объяснение красным смещениям.

Неполнота и неточность наших сведений о далёких галактиках заставляет Шепли закончить параграф о градиентах плотности словами: «Очевидно, мы ещё мало знаем об этих вещах» (стр. 198).

Красные смещения, наблюдаемые в спектрах наиболее далёких галактик, соответствуют лучевым скоростям в несколько десятков тысяч км/сек. Если нам удастся проникнуть ещё в несколько раз дальше в глубины пространства, мы рискуем приблизиться к опасному пределу — к скорости света. Поэтому на стр. 204 Шепли пишет: «Может быть было бы лучше всего подождать дальнейшего накопления наблюдений, касающихся распределения в пространстве блеска, цветов и движений галактик в далёких областях метagalактической системы, прежде чем делать какие-нибудь заключения, основанные на прямолинейной экстраполяции соотношения между красным смещением и расстоянием. Но нетерпеливые учёные уже предприняли попытки найти какие-нибудь другие причины красного смещения, кроме лучевой скорости». Изложив несколько «чисто умозрительных гипотез», содержащих подобные попытки, Шепли как будто с удовлетворением отмечает, что разбегание галактик оказывается вполне совместимым с теориями вселенной, базирующимися на теории относительности (так называемая релятивистская космология). Однако на следующей странице он вынужден признать крайнюю шаткость этих теорий: «Для упрощения неизбежно возникающих математических и физических проблем приходится делать некоторые дополнительные предположения и допущения... Эти неизбежные предположения вносят неопределённость в задачу и вместе с недостаточностью имеющегося в настоящее время наблюдательного материала допускают различные решения её» (стр. 207). Шепли заканчивает параграф скептической цитатой из Джинса: «Как Вы видите, перед нами целый букет гипотез, между которыми можно выбирать. Вы можете верить в любую, которая Вам нравится, но Вы не должны быть уверены ни в одной из них. Лично я не склонен верить ни в одну».

Шепли почему-то совершенно не отмечает основной порок, присущий всем «моделям вселенной» из этого букета — все они вычислены для случая *однородной* вселенной, — однородной в том смысле, что вся она приблизительно равномерно заполнена материей и потому её свойства во всех точках одинаковы. В таких моделях расширение или сжатие хотя бы малой области автоматически означает расширение или сжатие всей вселенной.

Однако реальная вселенная вовсе не обязана быть однородной. Собственные исследования Шепли, описанные им на стр. 190—198, выявляют существенную неравномерность в пространственном распределении галактик. А в неоднородной вселенной мы не имеем права свойства наблюдаемой нами области приписывать всей вселенной в целом. В неоднородной вселенной в одних областях может идти расширение, которое когда-либо сменится сжатием, а в это время в других областях идёт сжатие, которое когда-либо сменится расширением.

Очевидно, именно эти возможности учитывает Шепли, высказывая свой личный взгляд: «Мне представляется наиболее вероятным, что галактики рассеиваются в метagalактическом пространстве и что наблюдаемая нами часть вселенной расширяется». В отличие от Хаббла, Шепли не склонен искать новых объяснений красных смещений, отличных от лучевой скорости, но даже в этом случае можно говорить лишь о расширении наблюдаемой нами части вселенной.

Не следует, однако, думать, что один только учёт неоднородности вселенной позволит получить правильную теорию её строения. Современной физике известны явления, протекающие во вселенной, законы которых остаются неразгаданными. Примером могут служить космические лучи, вестники каких-то совершенно неизвестных нам процессов. Процесс ломки старых физических теорий, начавшийся на рубеже XIX и XX столетий, ещё продолжается. Наши знания о свойствах материи непрерывно обогащаются и потому от космологии середины XX в. надо требовать более широкого охвата, чем тот, который свойственен релятивистской космологии, созданной в основном в двадцатых годах.

Вернёмся к последней главе книги Шепли. «Фантастическая хронология» (выражение Шепли) расширяющейся вселенной (точнее — расширяющейся однородной вселенной) приводит к заключению, что «приблизительно два миллиарда лет тому назад все галактики находились очень близко друг к другу». Исследования содержания радиоактивных элементов в земной коре показали, что её возраст тоже около двух миллиардов лет. Изучение звёздных скоплений, расположенных внутри нашей Галактики, показало, что срок их распада тоже составляет 2—3 миллиарда лет. Эту оценку темпа распада скоплений большинство иностранных астрономов почему-то рассматривает как оценку их возраста или даже возраста нашей Галактики. «Не нашли ли мы таким образом возраст Вселенной?», — спрашивает Шепли и тут же призывает «не принимать это совпадение слишком всерьёз». Отметив, что возраст звёзд и срок распада шаровых звёздных скоплений не укладывается в эту короткую шкалу времени, Шепли пишет (стр. 212):

«Измерения радиоактивности земных пород, движений галактик и скорости рассеивания скоплений в нашем Млечном Пути — всё это вполне определённые экспериментальные процедуры. Все, кто производит такие измерения, стоят на чисто научной почве и пользуются научной техникой. Но когда мы начинаем обсуждать условия, которые предшествовали расширению вселенной, или вопрос о происхождении самой материи,... — мы уже не можем претендовать на научную обоснованность».

Попытки познать вселенную в целом Шепли называет «заманчивыми космическими умозрительными предположениями».

Для некоторых западных читателей книги Шепли эти «умозрительные предположения» заманчивы просто своей фантастичностью, для других — возможностью «обосновать» сотворение мира.

Советские читатели увидят в увлечении расширяющейся вселенной наглядный пример того, как «реакционные поползновения порождаются самим прогрессом науки» (Ленин, «Материализм и эмпириокритицизм», Госполитиздат, 1945, стр. 272). Советские читатели найдут в послед-

ней главе книги Шепли интересный фактический материал об отдалённых частях пространства, доступного сейчас нашим наблюдениям, и увидят, что этого материала пока что недостаточно для надёжных суждений о вселенной в целом. Для этого потребуется ещё много труда и от наблюдателей, и от теоретиков. В своей работе они должны руководствоваться основным положением материалистической философии — вселенная бесконечна во времени и в пространстве. В бесконечной вселенной происходит «вечный круговорот, в котором движется материя, — круговорот, который завершает свою траекторию лишь в такие промежутки времени, для которых наш земной год уже не может служить достаточной единицей измерения; . . . круговорот, в котором каждая конечная форма существования материи — безразлично, солнце или туманность, отдельные животные или животный вид, химическое соединение или разложение — одинаково переходяща и в котором ничто не вечно, кроме вечно изменяющейся, вечно движущейся материи и законов её движения и изменения». (Энгельс, Диалектика природы, Госполитиздат, 1941, стр. 20).

Б. Ю. Левин

ней главе книги Шепли интересный фактический материал об отдалённейших частях пространства, доступного сейчас нашим наблюдениям, и увидят, что этого материала пока что недостаточно для надёжных суждений о вселенной в целом. Для этого потребуется ещё много труда и от наблюдателей, и от теоретиков. В своей работе они должны руководствоваться основным положением материалистической философии — вселенная бесконечна во времени и в пространстве. В бесконечной вселенной происходит «вечный круговорот, в котором движется материя, — круговорот, который завершает свою траекторию лишь в такие промежутки времени, для которых наш земной год уже не может служить достаточной единицей измерения; . . . круговорот, в котором каждая конечная форма существования материи — безразлично, солнце или туманность, отдельные животные или животный вид, химическое соединение или разложение — одинаково переходяща и в котором ничто не вечно, кроме вечно изменяющейся, вечно движущейся материи и законов её движения и изменения». (Энгельс, Дialeктика природы, Госполитиздат, 1941, стр. 20).

Б. Ю. Левин

Опечатки

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
197	14 снизу	миллиона	миллиарда	Ред.
197	9 снизу	устроить	устранить	Тип.

ОГИЗ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
«ГОСТЕХИЗДАТ»

Москва, Орликов пер., 3

СЕРИЯ КНИГ ПО АСТРОНОМИИ

1. Г. ДИМИТРОВ и Д. БЭКЕР. Телескопы и принадлежности к ним.
2. Ф. УИППЛ. Земля, Луна и планеты (готовится к печати);
3. Ф. ВАТСОН. Между планетами;
4. Б. БОК и П. БОК. Млечный Путь (готовится к печати).
5. Х. ШЕПЛИ. Галактики.
6. Л. АЛЛЕР и Л. ГОЛЬДБЕРГ. Атомы, звёзды и туманности (готовится к печати).