

С.А.КАПЛАН

ЭКРАННОЕ ПОСОБИЕ



МЕЖЗВЕЗДНАЯ
СРЕДА
И ПРОИСХОЖДЕНИЕ
ЗВЕЗД

С. А. Каплан

МЕЖЗВЕЗДНАЯ
СРЕДА
И ПРОИСХОЖДЕНИЕ
ЗВЕЗД

[Сопроводительный текст к серии диапозитивов]

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1978

В экранном пособии рассказывается о межзвездной среде галактик, которая играет определяющую роль в важнейшем процессе во Вселенной — формировании звезд; излагаются современные представления об этом процессе, о свойствах межзвездной среды и о путях ее эволюции.

Данное пособие рассчитано на лекторов планетариев, преподавателей вузов, учителей средних школ, а также на широкий круг слушателей, интересующихся проблемами современной астрофизики.

СПИСОК ДИАПОЗИТИВОВ

1. Очаг звездообразования (рисунок).
2. Первые рисунки газовых туманностей.
3. Первые рисунки галактик.
4. Яркие и темные туманности (фото).
5. Спектры туманностей (рисунок).
6. Туманности через светофильтры (фото).
7. Оптические и радионаблюдения туманностей (фото).
8. Крабовидная туманность — мощный источник оптического и радиоизлучения (фото).
9. Туманность Ориона (фото).
10. Две яркие туманности в созвездии Стрельца (фото).
11. Планетарные туманности (фото).
12. Эмиссионные газовые туманности и темная туманность «Конская голова» (фото).
13. Свойства частиц космической пыли (схема).
14. Энергетические уровни межзвездных молекул и межзвездные мазеры (схема).
15. Распределение межзвездного водорода в Галактике (рисунок).
16. Вертикальная структура водородного слоя в Галактике (рисунок).
17. Структура межзвездной среды над галактической плоскостью (фото).
18. Распределение синхротронного радиоизлучения — по небесной сфере (рисунок).
19. Магнитное поле в Галактике (рисунок).
20. Вращение галактик (фото).
- 21—23. Фотографии галактик.
24. Образование и эволюция звезд (рисунок).

Диапозитив 1 **ОЧАГ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ**

На рисунке с некоторой долей фантазии изображена туманность, состоящая из газа и пыли, в которой происходит возникновение звезд. В самом центре — недавно образовавшаяся очень яркая звезда. Недалеко от нее — также несколько новых звезд, но менее ярких. Эти звезды ионизуют газ и заставляют его светиться. Комбинация зеленых и красных цветов появляется из-за того, что больше всего излучения генерируются дважды ионизованными ионами кислорода, имеющего очень сильные зеленые линии в самом спектре, а также водородом и однократно ионизованными ионами серы и азота, у которых сильные красные линии. Такую цветовую гамму мы увидим и на документальных фотографиях туманностей. Голубым цветом отмечены области, где свет звезд отражается маленькими пылевыми частицами, которых много в туманности, изображенной на диапозитиве. В левом верхнем углу расположена вновь образовавшаяся звезда, которая тоже ионизует газ (красный цвет), но большая часть ее света отражается на пыли (синий цвет).

Звезды образуются из туманностей при сжатии ее газопылевого вещества под действием собственного тяготения. Чтобы «преодолеть» сопротивление сжатию из-за давления газа, необходимо, чтобы в процессе сжатия происходило бы охлаждение вещества. Роль «холодильника» для сжимающихся протозвезд (т. е. объектов, находящихся в промежуточном состоянии между туманностями и звездами) обычно и играют пылевые частицы, а также молекулы газа. Они превращают тепловую энергию сжатия в инфракрасное излучение, которое уходит из области сжатия. На рисунке черно-красными точками изображены такие протозвезды.

Подробнее процесс сжатия газа туманностей с образованием сначала протозвезд, а затем и звезд изложен на с. 50—62 брошюры «Межзвездная среда и происхождение звезд», М., издательство «Знание», 1977.

Диапозитив 2 **ПЕРВЫЕ РИСУНКИ ГАЗОВЫХ ТУМАННОСТЕЙ**

История открытия туманностей интересна тем, что, пытаясь понять это явление, астрономы еще двести лет назад как бы инстинктивно чувствовали, что здесь скрывается загадка происхождения звезд и планетных систем.

Первое описание настоящей газовой туманности Ориона было дано в 1659 г. «Астрономы, — писал голландский ученый Х. Гюйгенс, — помещают в Орионовом мече три звезды, весьма близкие одна к другой. Когда в 1656 году я случайно наблюдал одну из этих звезд, которая занимает середину группы, я открыл вместо одной двенадцать, что, впрочем, часто случается при наблюдениях в телескопы. Из этих звезд три почти касались друг друга, а четыре другие, какказалось, блестели через облако, так что окружающее их пространство было гораздо светлее остального неба, совершенно черного. Охотно верилось, что это отверстие в небе, сквозь которое видно пространство более блестящее».

На диапозитиве слева изображен рисунок туманности Ориона, полученный еще в «дофотографическую» эпоху. Уже тогда была замечена ее сложная структура.

Вторая газовая туманность была открыта польским астрономом Я. Гевелием в 1665 г. Она расположена в созвездии Стрельца, и ее изображение на диапозитиве справа. Обе туманности в дальнейшем интенсивно исследовались многими поколениями астрономов и сейчас считается, что они являются одними из наиболее заметных очагов звездообразования.

К середине XVIII в. было известно всего шесть туманностей, из них только указанные выше две были газовые (но тогда этого не знали). Затем число открываемых туманностей стало быстро расти. Ныне известная Крабовидная туманность в созвездии Тельца была открыта в 1758 г. Это тоже газовый объект, но здесь уже нет образования звезд — наоборот, такие туманности

возникают при вспышках звезд, находящихся в конце своего эволюционного пути.

В 1771 г. французский астроном Ш. Мессье составил первый каталог туманностей, в который занес 103 объекта. Все туманности этого каталога обозначаются буквой M и номером в каталоге. Например, Крабовидная туманность обозначается как M 1, туманность в Орионе имеет обозначение M 42 и M 43 (она состоит из двух частей), туманность в Стрельце M 20 и т. д. Но в каталоге Мессье нет разделения на собственно газовые туманности и звездные скопления или галактики. Например, туманность Андромеды занесена в каталог Мессье под номером M 31. Каталог Мессье содержит все наиболее яркие объекты.

После Мессье новые каталоги туманностей составлял английский астроном В. Гершель. Свой первый каталог, содержащий около 1000 звездных скоплений и туманностей, он опубликовал в 1786 г., второй появился через три года, а третий каталог, где было описано еще около 500 туманностей, появился в 1802 г.

Обозначения туманностей номерами из каталогов Гершеля не получили широкого распространения в наше время. В 1888 г. английский астроном И. Дрейер составил «Новый общий каталог туманностей и звездных скоплений», а в 1895 и 1908 гг. — два дополнения к этому каталогу. Этот каталог включает свыше 13 000 объектов. Туманности и звездные скопления из каталога Дрейера обозначаются буквами NGC, а из дополнений — буквами IC с указанием номера в каталоге и в дополнениях. Например, Крабовидная туманность обозначается либо как M 1, либо как NGC 1952, туманность Ориона — NGC 1976, туманность в созвездии Стрельца — NGC 6514 и т. д. Туманность в созвездии Киля, которой нет в каталоге Мессье, обозначается как NGC 3372. Свои номера в каталоге Дрейера имеют и другие галактики. Туманность Андромеды (M 31) имеет также обозначение NGC 224.

И в наше время продолжается составление каталогов туманностей, звездных скоплений и галактик. В такие каталоги входят как старые, уже известные объекты, так и новые, только что обнаруженные. Новые каталоги составляют уже по определенным признакам.

Например, каталог газовых туманностей со сложной, часто волокнистой структурой был составлен советски-

ми астрономами В. Ф. Газе и Г. А. Шайном в Симеизе и поэтому обозначается буквой S. Туманность Ориона в этом каталоге: S 66, туманность «Лагуна» S 126. Большой каталог галактик, у которых усилено излучение в ультрафиолетовой части спектра, составлен советским астрономом Б. Е. Маркаряном. Объекты из этого списка так и называются «галактики Маркаряна» с соответствующим номером. Составляют свои каталоги и радиоастрономы. Известна серия кембриджских каталогов (обозначения 3С, 4С) куда включены объекты с сильным радиоизлучением. Газовые туманности с заметным радиоизлучением перечислены в каталоге американского радиоастронома Г. Вестерхаута (обозначение W) и т. д.

Диапозитив 3 ПЕРВЫЕ РИСУНКИ ГАЛАКТИК

Особый интерес представляют газовые туманности — области, где, как уже упоминалось, происходит процесс образования новых звезд. Но важно также знать, как распределены туманности и очаги звездообразования в звездных системах — галактиках. Как мы уже отмечали, первые астрономы, исследовавшие «туманные объекты» на небе, не могли отличить звездные системы от газовых туманностей. Да они и не подозревали о том, что могут существовать различные звездные системы.

На диапозитиве приведен рисунок «дофотографической» эпохи «туманных объектов». Слева рисунок уже упоминавшейся туманности Андромеды (M 31), справа рисунок туманности M 99. То, что наша Галактика может быть похожа на эти объекты, долго никому не приходило в голову. Так как истинную картину структуры галактики искажает поглощение света звезд. Впервые указал на роль поглощения света звезд известный русский астроном, основатель Пулковской обсерватории, Василий Яковлевич Струве в 1847 г.

В середине XIX в. начинает складываться представление о том, что некоторые туманные пятна есть другие, как тогда говорили, «островные вселенные». В частности, так считал Д. Росс, который смог построить самые крупные по тому времени телескопы. Но долгое время не было доказательств, и только в двадцатых годах XX в. стало ясно, что наша Галактика представляет со-

бой рядовую спиральную галактику — одну из многих миллиардов галактик, наблюдаемых сейчас в Метагалактике, доступную для наших современных инструментов область Вселенной.

Диапозитив 4 ЯРКИЕ И ТЕМНЫЕ ТУМАННОСТИ

На диапозитиве слева — фотография туманности NGC 5146 в созвездии Лебедя, обладающей свойством, которое заметил еще В. Гершель: вокруг яркой туманности видно звезд меньше, чем вдали от нее. Это привело некоторых астрономов прошлых веков к представлению о том, что в туманностях скапливается темное вещество и происходит образование звезд.

На диапозитиве справа — фотография сложной системы, состоящей из туманностей NGC 2337, 2338, 2339, расположенных вокруг звездного скопления NGC 2244, где, по современным представлениям, идет быстрый процесс образования новых звезд. Первая стадия образования протозвезд, называемая стадией глобул, видна на фотографии в виде небольших черных образований (т. е. сгущения газопылевого вещества, в которых происходит его быстрое охлаждение, облегчающее дальнейшее сжатие).

Диапозитив 5 СПЕКТРЫ ТУМАННОСТЕЙ

Наибольшая информация в настоящее время достигается не с помощью прямого фотографирования, а спектральным методом. Для того чтобы понять этот метод, приведем краткое объяснение процессов, происходящих в ионизованных областях межзвездной среды, так называемых зонах HII. (Более подробное описание см. на 5—14 с. брошюры «Межзвездная среда и происхождение звезд».)

Если недалеко от скопления межзвездного газа находится горячая звезда (она может возникнуть в этом скоплении) и если она излучает настолько много ультрафиолетовых квантов, что последние ионизуют значительную часть атомов межзвездного водорода вокруг нее, то здесь образуется светящаяся туманность — зона HII. Есть несколько механизмов, с помощью ко-

торых ультрафиолетовое излучение звезды превращается в свечение туманности. Рассмотрим их. При каждой ионизации ультрафиолетовый квант тратит часть своей энергии на отрыв электрона от атома, а остальное получает этот электрон в виде кинетической энергии. Оказавшись в свободном пространстве, электрон, двигающийся с большими скоростями, чем другие электроны, сталкивается с ними и отдает им свою энергию. Поэтому ионизация межзвездного водорода сопровождается одновременным нагревом межзвездного газа. Температура газа в зонах HII обычно достигает 10 000 К, в то время как в других областях межзвездного пространства она много ниже и даже опускается до 4—5 К, то есть близка к абсолютному нулю температуры.

Плотный газ, нагретый, до температуры в 10 000 К, должен давать непрерывный спектр излучения с темными линиями поглощения. В верхней части диапозитива изображен схематически такой спектр, возникающий в атмосферах горячих звезд. Сплошное свечение во всех цветах радуги возникает в плотных слоях атмосферы звезд (называемых фотосферой), а темные линии появляются благодаря поглощению этого излучения в более разряженном слое атмосферы звезды (его иногда называют обращающим слоем), расположенным выше.

Но газовые туманности в межзвездном пространстве отнюдь не представляют собой плотного газа, и поэтому если они и дают непрерывный спектр, то очень слабый. Оптический спектр газовой туманности состоит из отдельных линий разного цвета (см. среднюю часть диапозитива). Происхождение их следующее.

Во-первых, электроны в туманностях могут опять захватываться протонами и тогда снова образуются атомы водорода. Но если при ионизации электрон отрывался с первого уровня, то есть с орбиты, расположенной ближе всех к ядру атома, то захватываться он может на любую орбиту, как близкую к ядру, так и далекую. Если электрон был захвачен не на первую орбиту, то он после захвата начинает «перескакивать» с одной орбиты на другую (каждый раз на более близкую к ядру) до тех пор, пока он не окажется опять на первой орбите. При каждом таком «перескоке» излучается квант электромагнитной волны. Иными словами, получается, что первоначальный ультрафиолетовый квант, затраченный на ионизацию, теперь возвращается в излучение не в виде

одного ультрафиолетового кванта, а в виде нескольких квантов разных частот и разных диапазонов. Разумеется, полная энергия суммы всех этих квантов не больше энергии первоначального ультрафиолетового кванта.

Пока электрон «перескакивает» с орбиты на орбиту на больших расстояниях от ядра, он излучает кванты с настолько малой энергией, что они наблюдаются в радиодиапазоне. Такое излучение называется рекомбинационными радиолиниями. Возможность использования рекомбинационных радиолиний для исследования туманностей была показана советским астрономом Н. С. Кардашевым в 1959 г. Теперь радиоастрономы широко пользуются радиолиниями водорода, гелия, углерода для того, чтобы определить температуру и плотность газа, а также относительное обилие гелия в туманностях.

«Перескакивая» ближе к ядру, электроны начинают излучать сначала инфракрасные, а затем и оптические кванты. Инфракрасные кванты наблюдать трудно, они не проходят через земную атмосферу, а оптическое излучение мы видим. Особенно заметны красные линии водорода, которые образуются при перескоках электронов с четвертой и третьей орбиты на вторую. Эти линии принадлежат к так называемой бальмеровской серии излучения водорода. В схематическом спектре (см. диапозитив) эти линии обозначены буквами Н с греческим индексом, определяющим номер линии в этой серии. Именно эти линии водорода, очень интенсивные, поскольку водорода много и они придают туманностям красный цвет (мы видим их на цветных фотографиях на последующих диапозитивах).

Другие химические элементы светятся при помощи иного механизма. У атомов и ионов этих элементов есть так называемые низкорасположенные метастабильные уровни. Это означает, что недалеко от ядра есть свободная орбита для электронов, но обладающая таким свойством, что электрон не может быстро «перепрыгнуть» с этой орбиты на более близкую к ядру. Поэтому в земных лабораториях такие «перескоки» вообще почти не наблюдаются. Но в межзвездном пространстве атомы и ионы очень далеко стоят друг от друга, сталкиваются крайне редко, и если у какого-либо атома или иона электрон все же очутится на метастабильной орбите, то у него все равно не будет другого выбора, как в конце

концов «перескочить» на самую низкую свободную орбиту. Расчет показал, что электроны с большой энергией, которые быстро двигаются, достаточно часто сталкиваются с атомами и ионами и при этом обладают достаточной энергией для того, чтобы перебросить на метастабильную орбиту электроны атома или иона, сидящие на низких орбитах. При этом электрон отдает им свою энергию и сам «медленно» улетает. Обратный «перескок» с метастабильной орбиты и излучает квант видимого света. Иными словами, в этом механизме кинетическая энергия электронов превращается в отдельные кванты электромагнитных волн, преимущественно оптического диапазона.

Наибольшей эффективностью обладает ион дважды ионизованного атома кислорода (обозначение ОIII). Здесь при переходе с метастабильного уровня излучается пара близко расположенных зеленых линий. Именно это излучение и придает зеленый цвет некоторым областям туманностей, который хорошо заметен как на первом диапозитиве, так и на некоторых последующих.

Однократно ионизованный атом кислорода (обозначение ОII) излучает голубые линии, а однократно ионизованные атомы азота и серы дают красные линии также, как и атомы водорода. На диапозитиве изображен схематический спектр излучения туманностей в разных спектральных линиях. Высота линий соответствует относительной интенсивности излучения, выраженной в логарифмической шкале. Можно убедиться, что наиболее интенсивны красные и зеленые линии, отсюда и отмеченная выше комбинация красных и зеленых цветов в туманностях.

На диапозитиве изображен слабый непрерывный спектр туманности (вблизи шкалы длин волн в ангстремах). Здесь непрерывный спектр возникает следующим образом. Когда свободный электрон пролетает мимо протона, он сначала ускоряется притяжением этого протона, а затем после прохождения ближайшего расстояния начинает замедляться. Как при торможении, так и при ускорении электроны взаимодействуют с электромагнитными волнами. Торможение электрона связано с потерей кинетической энергии, которая, следовательно, уходит в электромагнитное излучение, а при ускорении электрон поглощает электромагнитные волны.

Когда электрон пролетает далеко от ядра, то в этом

механизме излучаются и поглощаются радиоволны, когда он пролетает близко к протону, то излучаются и поглощаются кванты оптических частот. Такой непрерывный спектр оптического диапазона изображен на диапозитиве. (Случай радиоизлучения будет рассмотрен ниже.)

Диапозитив 6 ТУМАННОСТИ ЧЕРЕЗ СВЕТОФИЛЬТРЫ

Так как газовые туманности излучают свет в отдельных спектральных линиях, то много информации об этих объектах можно получить, если фотографировать эти туманности через узкие светофильтры, пропускающие излучение только в одной линии. Такой метод исследования туманностей был впервые предложен советским астрофизиком Г. А. Шайном. На диапозитиве изображена туманность в созвездии Киля (NGC 3372). Слева — большая цветная фотография этой туманности, полученная в обычном свете. Общий цвет розовато-зеленый, с темными прогалинами и более яркими звездами.

На диапозитиве справа — составная фотография, полученная наложением двух изображений: одного, полученного через красный фильтр, другого, полученного через зеленый фильтр. Первое изображение показывает распределение излучения водорода, а также однократно ионизованных атомов азота и серы, второе изображение показывает излучение кислорода двухкратно ионизованного. Очевидно, что там, где преобладает зеленый цвет, там выше степень ионизации и несколько больше температура газа. Следует также обратить внимание на клочковатую структуру всей туманности, в которой сейчас происходит интенсивное образование новых звезд. Только с помощью фотографий через фильтры можно выявить тонкую структуру туманности.

Диапозитив 7 ОПТИЧЕСКИЕ И РАДИОНАБЛЮДЕНИЯ ТУМАННОСТЕЙ

Применение радиоастрономических методов исследования туманностей открыло новые возможности получать информацию о состоянии вещества в этих очагах звездообразования.

На левом снимке (см. диапозитив) дана оптическая

фотография туманности NGC 6888, полученная при помощи светофильтра, пропускающего излучение в красных линиях водорода и однократно ионизованного азота. Как видно, туманность имеет форму оболочки, расширяющейся в межзвездном пространстве. Заметна и сложная структура, состоящая из ярких волокон и узлов.

На правом снимке — та же туманность, в том же масштабе, что и на левом снимке, но получен он при помощи радиотелескопа, «настроенного» на прием радиоизлучения с длиной волны в 21,26 см. Видно, что «радиоизображение» имеет ту же форму, что и оптическое изображение, и ту же структуру. Только меньше разрешающая способность и поэтому заметно меньше деталей.

То, что радиоизображение оказалось близким к оптическому изображению, легко объяснить. Механизмы радио и оптического излучения также близки по своей природе. В обоих случаях излучение возникает тогда, когда электрон как бы налетает на протон или ион. Если он пролетает мимо иона на далеком расстоянии, возникает радиоизлучение, если на близком расстоянии, так, что электрон может возбудить атом или ион или рекомбинировать, то возникает оптическое излучение. Относительное число близких и далеких прохождений электронов мимо протонов или ионов зависит от температуры, но не зависит от плотности вещества. Поэтому, если температура газа по всей туманности одинакова, а плотности газа могут при этом сильно меняться, то структура оптического изображения и радиоизображения должна быть одна и та же, что и видно на этом диапозитиве.

Таким образом радиоастрономия может также «строить» изображения туманностей. При этом здесь есть важное преимущество по сравнению с оптической астрономией. Если мы исследуем далекие туманности, то свет от них сильно ослабляется благодаря его поглощению частицами космической пыли, заполняющими большую часть межзвездного пространства. Радиоволны пылью не поглощаются, а межзвездный ионизованный газ также слабо влияет на это излучение. Поэтому в радиоизлучении можно увидеть туманности, расположенные очень далеко, даже на противоположном краю Галактики, в то время как в оптическом излучении вид-

ны только относительно близко расположенные туманности.

Надо отметить, что, принимая радиоизлучение туманностей, радиоастрономы обычно не получают таких фотографий, которая дана на этом диапозитиве. Здесь это сделано для иллюстрации и сравнения оптического и радиометров. Принимаемое космическое радиоизлучение записывается либо на магнитную ленту, либо на перфокарты и потом с помощью ЭВМ по этим записям строятся изофоты — линии равной интенсивности радиоизлучения.

Диапозитив 8

КРАБОВИДНАЯ ТУМАННОСТЬ — МОЩНЫЙ ИСТОЧНИК ОПТИЧЕСКОГО И РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

На диапозитиве две фотографии одного из самых интересных объектов на небе — Крабовидной туманности (M 1). Эта туманность возникла на месте, где в 1054 г. вспыхнула очень яркая звезда, блеск которой превосходил блеск планеты Венера. Она была видна даже днем. Правда, эту звезду в Европе не видели, по-видимому, из-за погодных условий, но в Китае ее наблюдали.

Такие вспыхивающие звезды называются сверхновыми, хотя в действительности это звезды, прошедшие уже существенную часть своего эволюционного пути и использовавшие часть своих запасов ядерного горючего. При такой вспышке часть вещества звезды выбрасывается с большой скоростью в межзвездное пространство, а ее остаток сжимается и образует нейтронную звезду, на определенном этапе представляющую собой пульсар.

На фотографиях изображены оболочки сброшенной сверхновой 1054 г. Остаток ее (пульсар Крабовидной туманности) — слабая звездочка, расположенная недалеко от ее центра и на этих фотографиях незаметная.

Левый снимок получен через светофильтр, пропускающий уже хорошо нам известные красные линии водорода и азота. Очевидно, что такая сложная структура создается свечением обычного газа туманностей, также нагреветого до температуры порядка 10 000 К. От обычных туманностей этот снимок отличается лишь тем, что практически вся туманность состоит как бы из сетки

волокон, здесь нет протяженных однородных масс газа. Анализ этого снимка показывает, что размеры волокон в десятки раз меньше их длины и плотность газа здесь достигает значений порядка 10^3 протонов и электронов в одном куб. см.

На правом снимке приведено изображение Крабовидной туманности, полученное через светофильтр, который не пропускает ни одной линии излучения газа в туманности, здесь светится только непрерывный спектр. Непрерывный спектр газовых туманностей очень слабый, и поэтому если сфотографировать обычную газовую туманность через светофильтр, не пропускающий спектральных линий, то на снимке почти ничего не получится. Здесь же мы видим очень сильное излучение.

И. С. Шкловский в 1953 г. показал, что непрерывное излучение Крабовидной туманности обеспечивается синхротронным механизмом, который дает ее радио, оптическое и даже рентгеновское излучение. Излучение возникает при вращении в магнитном поле электронов, двигающихся со скоростями, близкими к скоростям света. Чем больше энергия электронов, тем более «жесткое» излучение они генерируют. Этот механизм излучения не имеет ничего общего с механизмом излучения при столкновениях электронов с протонами и ионами. Именно поэтому оба изображения Крабовидной туманности, полученные, в так сказать, «столкновительном» и «синхротронном» механизмах излучения, так различаются.

Диапозитив 9 ТУМАННОСТЬ ОРИОНА

На диапозитиве приведены две фотографии самой яркой туманности на небе — туманности Ориона (M 42 и M 43).

Слева — фотография, полученная с помощью четырехметрового оптического телескопа. Центральная часть ее передержана, поэтому отчетливо видна лишь структура внешних слоев. Туманность состоит как бы из двух частей, каждая из которых имеет свой номер в каталоге Мессье. Верхняя (большая часть) — M 42, нижняя (меньшая часть) — M 43. Однако в действительности это одна туманность. Фотография получена путем ком-

бинаций отдельных фотографий, снятых через красный, зеленый и голубой фильтры, подобранные так, чтобы при печатании каждого из этих снимков на общем позитиве получилась бы по возможности правильная передача цвета.

Вторая фотография показывает, что вся туманность Ориона представляет собой большое газовое облако, состоящее из водорода (красная линия) и других элементов. Зелено-голубое свечение кислорода заметно только в более плотных частях туманности. В верхней части левой фотографии видны небольшие голубые туманности, но здесь светится отраженным светом пыль. На правом снимке это свечение «забивается» более мощным излучением водорода.

Туманность Ориона представляет собой комплекс газа и пыли, расположенный на расстоянии примерно 500 пс от Солнца (около 1500 световых лет). Вся туманность окружена невидимой на снимках оболочкой из нейтрального водорода, которая дает излучение только в радиодиапазоне. Радиус оболочки около 40 пс и ее толщина примерно равна 30 пс. Общая масса оболочки составляет примерно 10^5 масс Солнца.

Процесс звездообразования происходит в центральной части туманности, отличающейся большей плотностью вещества, примерно 10^3 — 10^4 протонов, электронов и атомов в одном куб. см. Здесь газ перемешан с пылью, но пыли по плотности не более 1% от плотности газа. Вновь образующиеся звезды оказываются очень горячими и ионизируют окружающий газ. В нашу эпоху в центральной части туманности можно увидеть несколько очень ярких звезд (на снимке они не получились из-за передержки фотографии), образующих так называемую систему трапеции Ориона. Этим звездам не более миллиона лет, и их соседство с газом и пылью наглядно подтверждает модель образования звезд из газа и пыли.

В туманности Ориона есть и более молодые звезды, но они еще не успели дать сильное ультрафиолетовое свечение, способное ионизовать окружающий газ. Эти звезды пока наблюдаются главным образом по их инфракрасному свечению. Центральная часть туманности Ориона — «котел», где сейчас образуются звезды, имеет размер около 0,6 пс и массу, в несколько раз большую массы Солнца.

Диапозитив 10

ДВЕ ЯРКИЕ ТУМАННОСТИ В СОЗВЕЗДИИ СТРЕЛЬЦА

На левом снимке — фотография туманности, называемая «Тройной» или «Трехраздельной». Ее обозначение — М 20. На правом — туманность, называемая «Лагуной» (М 8).

Эти туманности тоже представляют собой очаги звездообразования. В «Тройной» туманности хорошо видны тонкие прожилки темной материи (из-за которых она и получила свое название). Это сжатый плотный газ с пылью, вероятно, при низкой температуре. Поэтому он и не светится. Такое сжатие газа и пыли является необходимым этапом в процессе образования звезд. Но уже образовавшиеся звезды ионизуют остальной газ, что дает характерное красное свечение, хорошо видное на снимке.

Внизу снимка туманности «Тройной» видная яркая звезда, освещая пылевое облако — оно отражает синий цвет.

В туманности «Лагуна» также видны сжатые темные области, но они менее заметны. Зато здесь больше видно молодых горячих звезд и протяженные области ионизованного светящегося красным светом водорода.

Диапозитив 11

ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ

Еще В. Гершель обнаружил, что некоторые из газовых туманностей имеют правильную округлую форму. При наблюдениях в телескопы они из-за этого кажутся похожими на планеты. Такие туманности названы планетарными, хотя, конечно, никакого отношения к планетам они не имеют.

На диапозитиве приведена фотография известной планетарной туманности («Гантель»). Ее обозначение М 27, форма округлая, показывающая, что у планетарных туманностей существует более или менее сферическая оболочка. У туманности «Гантель» и внутри оболочки есть много вещества, а, например, у «Кольцевой» туманности оболочка внутри полая. Общее у туманностей и то, что оболочка светится красным цветом, а более внутренние части — зеленые. Это означает, что тем-

пература и состояние ионизации в оболочке ниже, чем внутри нее. Поэтому в оболочке мы наблюдаем преимущественно линии водорода, а внутри — дважды ионизованные атомы кислорода.

У каждой планетарной туманности есть очень горячая центральная звезда. Ее излучение ионизует и освещает всю туманность. Механизм свечения такой же, как и у всех газовых туманностей, — дробление ультрафиолетовых квантов, излучаемых звездой, в оптические и радиокванты.

В отличие от других газовых туманностей планетарные туманности не являются очагами звездообразования, а возникают в процессе эволюции звезд также, как и туманности типа Крабовидной. Только планетарные туманности соответствуют как бы спокойному этапу этой эволюции, а Крабовидная — взрывному этапу.

Диапозитив 12

ЭМИССИОННЫЕ ГАЗОВЫЕ ТУМАННОСТИ И ТЕМНАЯ ТУМАННОСТЬ «КОНСКАЯ ГОЛОВА»

На диапозитиве — цветная фотография области неба в созвездии Ориона, богатая светлыми и темными туманностями. Слева — очень яркая звезда Ориона (самая восточная в хорошо заметном на небе поясе Ориона). Видны вместе со своими дифракционными картинами и другие яркие звезды этого созвездия. В левом нижнем углу видна эмиссионная газовая туманность NGC 2024. В средней части фотографии — более слабая туманность, а на ее фоне — темная туманность, удивительно похожая на конскую голову и поэтому так и называемая. Ее обозначение 1C 434. Хотя в этой туманности есть и холодный газ и пыль, но плотность вещества, по-видимому, недостаточна для того, чтобы сжать этот газ, и, вероятно, эти туманности не являются очагами звездообразования.

Диапозитив 13

СВОЙСТВА ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ

Существование космической пыли проявляется как при поглощении ею света звезд, так и при отражении этого света. Поэтому пылевые туманности иногда делят на поглощающие и отражающие. В действительности

это одни и те же туманности, но их свечение зависит от взаимного расположения пылевой материи и ярких звезд.

Как по свойствам поглощения, так и по особенностям отражения света можно исследовать характеристики частиц космической пыли. На левом графике (см. диапозитив) приведены кривые поглощения света (коэффициент экстинкции) и отражения света (альбедо) частицами космической пыли в зависимости от длины волны. Точнее, на горизонтальной оси отложены величины, равные единице, деленной на длину волны света в микронах. Обе кривые получены на основании данных многочисленных наблюдений. Рассмотрим эти кривые.

Кривая поглощения (зеленая линия) показывает, что поглощение света частицами космической пыли инфракрасного излучения (т. е. электромагнитными волнами с длиной волны больше микрона) очень мало — пыль почти прозрачна для инфракрасного излучения. По мере уменьшения длины волны поглощение растет, и в первом максимуме кривой экстинкции, которая приходится на ультрафиолетовое излучение с длиной волны, равной 2200 Å-022 микрона, коэффициент экстинкции в 10^4 раз больше, чем в инфракрасной области спектра. При дальнейшем уменьшении длины волны поглощение сначала ослабевает, но потом опять быстро растет, и на известной до сих пор границе исследуемого ультрафиолетового спектра с длиной волны около 1000 Å-0,1 микрона коэффициент экстинкции уже на пять порядков больше, чем в инфракрасной области спектра.

Коэффициент альбедо (красная линия) — отношение количества света, рассеянного пылинкой во все стороны, к количеству излучения, падающего на эту пылинку. Величина альбедо нанесена на более короткой левой шкале. Видно, что в оптической области спектра при длине волны от 0,5 до 0,3 микрона величина альбедо примерно равна 0,5—0,4. Это означает, что пылинки рассеивают примерно половину падающего на них излучения. Затем в ультрафиолетовой области спектра (там, где быстро растет коэффициент экстинкции), альбедо быстро падает до 0,1. Это означает, что частицы не рассеивают излучение, а просто поглощают его, превращают в теплоту, нагревающую пылинки. Но на еще более коротких волнах величина альбедо опять растет и в да-

лекой ультрафиолетовой области спектра даже стремится к единице. Поэтому очень короткие электромагнитные волны не поглощаются пылинками, а рассеиваются.

Кроме поглощения и рассеяния света, частицы космической пыли играют большую роль и в образовании межзвездных молекул. Атомы водорода, кислорода и других элементов, попадая на поверхность пылинок, сначала прилипают к ней (адсорбируются), затем как бы мигрируют по этой поверхности и вступают в химические реакции. Образующиеся молекулы «отлипают» от поверхности пылинок и улетают в межзвездное пространство, где они разрушаются под действием ультрафиолетового излучения или при столкновении с частицами космических лучей.

Схема такого образования молекул и их разрушения изображена на правом рисунке диапозитива, где также схематически нарисована структура пылинки.

Диапозитив 14

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ МЕЖЗВЕЗДНЫХ МОЛЕКУЛ И МЕЖЗВЕЗДНЫЕ МАЗЕРЫ

Открытие существования в межзвездном пространстве молекул, в том числе и довольно сложных органических соединений, привело к настоящему перевороту в исследовании межзвездной среды. Особое впечатление на астрономов произвело открытие межзвездных молекулярных мазеров. Результаты исследования молекул в межзвездном пространстве трудно изобразить в графической форме (подробнее см. брошюру «Межзвездная среда и происхождение звезд», с. 14—27).

На графике (см. диапозитив) изображен схематический рисунок молекулы гидроксила (OH), состоящей из двух атомов — водорода и кислорода. Они изображены условно шариками. Один из электронов этой молекулы является как бы общим, принадлежащим обоим атомам. Его движение схематически изображено в виде заштрихованной красным цветом гантели. Молекула вращается вокруг оси, перпендикулярной линии, соединяющей два атома, и в зависимости от того, направлена ли область движения электрона вдоль оси вращения или находится в плоскости вращения. Энергия молекулы может быть различной, как и показано на этом графике (Λ — удвоение). Кроме того, у ядра атома водорода

(т. е. протона) есть спин, его собственный механический момент, который может быть направлен либо параллельно оси вращения, либо антипараллельно ей. Из-за этого появляется добавочное расщепление уровней энергии, которых всего оказывается четыре. Следует обратить внимание, что рисунок не в масштабе. При переходе между парой верхних и парой нижних уровней возникает радиоизлучение, частоты которого в мегагерцах можно определить по числам справа, определяющим «расстояние» по шкале частот от основного, самого нижнего уровня. Все четыре возможных перехода дают четыре радиолинии с длинами волн около 18 см. Все четыре линии наблюдаются в межзвездном пространстве, но в очень разных условиях. В частности, оказалось, что есть так называемые космические мазеры I типа, в которых очень усилено излучение в главных линиях (сплошные линии на графике), а излучения в других линиях, называемых спутниками, совсем не наблюдаются. Космические мазеры I типа связаны с очень плотными зонами ионизованного водорода и, вероятно, образуются сжатием газа на границах этих зон. Анализ наблюдений показывает, что в местах излучения космического мазера концентрация частиц достигает 10^7 или даже больше частиц в куб. см. По-видимому, это уже не межзвездная среда, а плотные протозвезды.

В космических мазерах II типа усилены линии-спутники (штриховые), излучение в главных линиях слабое. Большой частью такие космические мазеры связаны с холодными инфракрасными звездами, в атмосферах которых, по-видимому, и создаются условия, благоприятные для усиления радиоизлучения.

Диапозитив 15

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖЗВЕЗДНОГО ВОДОРОДА В ГАЛАКТИКАХ

До сих пор мы рассматривали свойства отдельных туманностей. Теперь посмотрим на структуру межзвездной среды в целом. Каждая галактика, состоящая из сотен миллиардов звезд, имеет некоторое количество межзвездной среды. У разных типов галактик процент массы вещества, содержащегося в межзвездной среде, различен. В нашей Галактике и подобной ей так называемых спиральных галактиках около 2% всей их массы

сосредоточено в межзвездной среде, представляющей из себя сравнительно тонкий слой, расположенный в центральной плоскости симметрии. На диапозитивах 21—23 будут приведены фотографии таких галактик.

На левом рисунке диапозитива дано распределение нейтрального водорода в нашей Галактике, т. е. распределение областей газа, где больше плотность водорода, атомы которого остались неионизованными. Области с большой плотностью показаны черными полосами. Красным кружком отмечено положение Солнца, а числа на краях рисунка показывают галактические долготы в плоскости симметрии. Перерыв в ходе кривых в пределах углов от 330° до 0° и затем до 10° связан с тем, что в этих направлениях из-за большого числа атомов водорода на луче зрения мы не можем различать детальную структуру. Распределение нейтральных атомов водорода наблюдается по излучению ими радиоквантов с длиной волны около 21 см (подробнее этот механизм излучения описан в брошюре «Межзвездная среда и происхождение звезд» на с. 27—33).

На левой части диапозитива видно, что межзвездный нейтральный водород распределен в Галактике в виде отдельных ветвей, по которым можно проследить спиральную структуру. Более подробный анализ показывает, что угол наклона спиральных ветвей к концентрическим окружностям примерно равен 7° .

На правом рисунке красными пятнами показано распределение зон ионизованного водорода в Галактике. Голубыми линиями изображены положения спиральных ветвей, как их можно проследить по свечению звезд более ярких, чем обычные звезды типа Солнца.

Таким образом, и нейтральный и ионизированный водород концентрируется преимущественно к спиральным рукавам. В тех местах, где больше плотность межзвездной среды, происходит ее конденсация в протозвезды, затем превращающиеся в звезды, создающие в свою очередь ионизованные зоны — туманности.

Диапозитив 16 ВЕРТИКАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ВОДОРОДНОГО СЛОЯ В ГАЛАКТИКЕ

На предыдущем диапозитиве было показано распределение межзвездного водорода в плоскости симметрии

Галактики. Но, как оказалось, сам водородный слой в нашей Галактике, во-первых, не плоский, а во-вторых, не однородный по своей толщине. На рисунке (см. диапозитив) показано, что слой межзвездного водорода как бы изогнут: в одной половине Галактики он изогнут вверх (желто-коричневые линии), в другой половине Галактики — вниз (синие линии). Глубина тона соответствует увеличению высоты над плоскостью Галактики как «вверх», так и «вниз» подобно тому, как это делается на географических картах, а числа этих линий определяют отклонение к северу (знак +) и к югу (знак —) от плоскости Галактики, выраженные в парсеках. Слой межзвездной среды изогнут только на периферии, за пределами орбиты Солнца в Галактике (вне зеленого круга). Общая величина изгиба дает отклонение от галактической плоскости на 600—1000 пс.

К краям слой межзвездного водорода не только изгибается, но и утолщается.

В средней части Галактики слой межзвездного водорода представляет собой сравнительно плоский диск, на который налагается лишь спиральная структура. Средняя концентрация атомов водорода в этом диске около 0,7 атомов водорода в одном куб. см. Толщина диска равна примерно 400 пс. = $1.2 \cdot 10^{21}$ см. К периферии диска толщина растет, слой изгибается, но концентрация атомов водорода в этом слое быстро падает.

Диапозитив 17 СТРУКТУРА МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЫ НАД ГАЛАКТИЧЕСКОЙ ПЛОСКОСТЬЮ

На предыдущих диапозитивах (16, 15) было показано распределение межзвездного водорода в плоскости симметрии галактик или вблизи этой плоскости. Действительно, здесь сосредоточена основная часть массы межзвездной среды. Но некоторая ее часть находится и на больших расстояниях от плоскости симметрии галактик. Такую среду называют «высокоширотной», понимая под этим то, что в нашей Галактике межзвездная среда, находящаяся на больших высотах над галактической плоскостью, наблюдается на высоких широтах, если отсчитывать широту места на небе от галактической плоскости.

Вверху показано распределение нейтрального «высокоширотного» водорода в нашей Галактике. По горизонтальной оси (проведенной по середине снимка) отложены галактические долготы, по вертикальной оси — галактические широты. Ноль в галактических долготах соответствует направлению на центр Галактики. Этот снимок получен примерно так же, как и снимок радиоизлучения (см. диапозитив 7). Энергия потока радиоизмерения на волне 21 см, генерируемая атомами водорода, с помощью ЭВМ переводилась в величину почернения на снимке. Часть неба в галактических долготах от 240° до 360° осталась неисследованной этим методом. На снимке видно, что межзвездный водород, во-первых, действительно встречается высоко над плоскостью Галактики, во-вторых, здесь же можно заметить и изгиб слоя — в галактических долготах от 0° до 60° к северу, в галактических долготах от 130° до 190° к югу; в-третьих, видно, что «высокоширотный» водород имеет как бы клочковатую, сложную структуру.

Происхождение «высокоширотного» водорода еще не совсем ясно. Предполагается, что, может быть, это остатки не сконденсированного в галактике межгалактического газа, который продолжает падать на плоскость Галактики.

Внизу фотография туманности Андромеды — ближайшей к нам другой галактике, очень похожей по своим свойствам на нашу Галактику. На эту фотографию белыми линиями нанесены кривые равной интенсивности радиоизлучения межзвездной среды этой галактики на волне 11 см. Здесь это излучение генерируется как ионизированным водородом, так и релятивистскими электронами. Можно увидеть следующее. Во-первых, радиоизлучение концентрируется к центру (концентрические окружности показывают, уменьшение интенсивности от центра); во-вторых, видно, что там, где имеются темные полосы (скопление пылевой материи), интенсивность радиоизлучения больше, в-третьих, заметное излучение наблюдается и на больших высотах над плоскостью симметрии этой галактики. Расположенные на верхней шкале числа с буквами N и S перед ними показывают положение спиральных рукавов в северной и южной части галактики, соответственно и номер спирального рукава.

Диапозитив 18

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИНХРОТРОННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ПО НЕБЕСНОЙ СФЕРЕ

Как известно, в межзвездном пространстве, кроме обычного газа и межзвездной пыли, имеются также частицы космических лучей — электроны, протоны, атомные ядра, двигающиеся со скоростями, очень близкими к скорости света. Эти частицы тоже генерируют электромагнитное излучение. Электроны космических лучей, двигаясь по спиральным траекториям в межзвездных магнитных полях генерируют синхротронное радиоизлучение на волнах с длинами от нескольких сантиметров до десятка метров.

График (см. диапозитив) показывает распределение по небесной сфере синхротронного радиоизлучения на волне длиной 2 м. По горизонтальным осям отложены галактические долготы, по вертикальным осям — галактические широты. Сразу видна концентрация излучения к галактической плоскости (широта 0°) и к галактическому центру (долгота 0°). Это означает, что вблизи плоскости Галактики и в направлении ее центра большая концентрация частиц космических лучей.

Диапозитив 19

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В ГАЛАКТИКЕ

В число компонент межзвездной среды входит и магнитное поле с величиной магнитной индукции порядка нескольких микрогаусс. Это магнитное поле можно исследовать по наблюдениям поляризации света звезд и поляризации синхротронного излучения. На графике (см. диапозитив) маленькие черточки показывают направление магнитных силовых линий, полученных по данным таких наблюдений. Этот рисунок напоминает картину, которая возникает, если на картонку, положенную на магнит, насыпать железные опилки. Направление черточек показывает направление магнитных силовых линий.

На этом же графике, но синими линиями показано направление магнитных силовых линий, которые получаются, если провести их через отдельные направления черных черточек. Они показывают, что в окрестностях Солнца имеется среднее направление магнитного поля,

идущее под углом около 40° к направлению на центр Галактики. С другой стороны, по многим другим данным мы знаем, что магнитное поле в Галактике расположено так, что магнитные силовые линии идут как бы вдоль спиральных рукавов.

Диапозитив 20 ВРАЩЕНИЕ ГАЛАКТИК

Подавляющее большинство галактик вращаются вокруг оси, перпендикулярной плоскости симметрии и проходящей через центр Галактики.

Вращение нашей Галактики было открыто в 1925 г. голландским астрономом Я. Оортом по исследованию движения звезд. Как было показано, Солнце вместе с другими звездами двигается по окружности, вокруг центра Галактики. Радиус этой орбиты равен 10 кпс, или $3 \cdot 10^{22}$ см., скорость движения Солнца — 250 км/с, т. е. полный оборот в Галактике Солнце совершает примерно за 250 млн. лет.

Однако вращение Галактики неоднородно, она не вращается, как вращался бы твердый диск. Максимальная скорость вращения находится на окружности, радиус которой около 9 кпс, где скорость вращения достигает 280 км/с. На расстоянии около 4 кпс от центра Галактики скорость вращения около 210 км/с, а на расстоянии в 15 кпс, т. е. много больше орбиты Солнца, скорость вращения равна 195 км/с.

Во вращении Галактик принимает участие и межзвездная среда. В частности, по наблюдениям движения межзвездного нейтрального водорода можно определить скорости вращения Галактик с большей точностью, чем по скоростям движения звезд.

На диапозитиве показано вращение спиральной галактики, M 81, определенное по линии излучения нейтрального водорода 21 см.

Чтобы понять построение изображения, представим себе вращающийся диск, наклоненный под некоторым углом к лучу зрения. При вращении одна часть диска будет приближаться к нам, другая — удаляться. Если вращающийся диск излучает в спектральных линиях, то линии будут смещены из-за эффекта Доплера. Линии, излучаемые приближающейся частью диска, смещаются в сторону уменьшения длины волны, т. е. к синей облас-

ти спектра, а линии, излучаемые удаляющейся частью диска, смещаются в сторону увеличения длины волны, в сторону красной части спектра.

На фотографии данного диапозитива также показано смещение радиолинии водорода, излучаемого вращающимся диском межзвездной среды. Конечно, как сами радиолинии, так и их смещение из-за эффекта Доплера не имеет «цвета» — все они остаются в радиодиапазоне. С помощью ЭВМ смещения линий излучения на волне 21 см приведены в цвет. В левой части диапозитива приведен перевод цвета изображения в лучевую скорость приближения (синий цвет) или удаления (красный цвет).

Фотография наглядно показывает вращение диска межзвездной среды вместе со спиральными рукавами. Максимальная линейная скорость вращения на концах большого диаметра видимого изображения, где направление скорости вращения имеет минимальный угол с лучом зрения. На концах малой оси изображения галактик скорость вращения направлена перпендикулярно лучу зрения, и здесь нет доплеровского смещения (желтый цвет на изображении). Скорость вращения распределена сравнительно регулярно за исключением одной области в галактике M 81 (слева на изображении), где появилось красное пятно в окружении желто-зеленого цвета. По-видимому, здесь есть большая масса межзвездного газа, которая не принимает участия в общем вращении, а удаляется от галактики под действием притяжения со стороны еще дальше расположенных масс газа в левом верхнем углу.

Диапозитив 21—23 ФОТОГРАФИИ ГАЛАКТИК

На этих диапозитивах фотографии других галактик или их частей, показывающих сложную и разнообразную структуру как галактик, так и межзвездной среды.

На диапозитиве 21 слева — фотография самой большой из известных туманностей (зон ионизованного водорода). Эта туманность называется 30 Дорадус или 30 Золотой Рыбки. Она находится не в нашей Галактике, а в спутнике Галактики — так называемом Большом Магеллановом Облаке. Размер этой туманности примерно в 50 раз больше размера туманности Ориона, и она осве-

щается и ионизуется более, чем сотней горячих звезд. Справа — фотография шарового скопления М3 —звездной системы, состоящей из старых звезд.

На диапозитиве 22 — фотографии двух спиральных галактик. Слева — спиральная галактика М 51. Снимок, отличающийся высоким качеством изображения, был получен при помощи самого крупного в мире советского оптического телескопа с диаметром зеркала в шесть метров, расположенного на склонах горы Пастухова на Северном Кавказе. На этой фотографии видна четкая структура хорошо развитых спиральных рукавов с яркими горячими звездами и зонами ионизованного водорода, с темными полосами холодного водорода и космической пыли.

На том же 22 диапозитиве справа — спиральная галактика другого типа («спиральная галактика с баром»). Расположенная в центральной части этой галактики (NGC 1365) «перемычка» (бар) состоит из более старых звезд. Его вращение вокруг оси, проходящей через центр бара, и образует спиральные рукава, как это хорошо видно на снимке. Здесь видно, что существование в галактике старых звезд облегчает появление спиральных рукавов, а с ними и образование новых звезд.

На диапозитиве 23 — интересная по своей структуре галактика М 104 под названием «Сомбреро».

В этой галактике есть и старые звезды (они видны как утолщение в центральной части), и очень хорошо выраженный диск слоя межзвездной среды, состоящий из темной поглощающей свет космической пыли. Плотность и толщина этого диска с несомненностью свидетельствует о том, что здесь должно иметь место интенсивное звездообразование и что галактика «Сомбреро» должна непрерывно обогащаться новыми звездами.

Диапозитив 24 ОБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД

В серии диапозитивов приведена вся последовательность наблюдательных данных, иллюстрированных фотографиями и графиками, которые показывают, как тесно связаны между собой свойства межзвездной среды и условия образования звезд из этой среды. К сожалению, сам процесс формирования звезд, их сжатие к плотному состоянию и последующее возгорание термоядерных

реакций наблюдать очень трудно. Главным образом это связано с тем, что сжатие протозвезд происходит в непрозрачных темных туманностях. Но постепенно накапливается все больше данных, позволяющих построить по крайней мере качественную картину, а во многих случаях проследить и количественно весь процесс конденсации звезд. (Подробнее см. брошюру «Межзвездная среда и происхождение звезд» с. 45—62.)

На этом заключительном диапозитиве приведен рисунок (схематическое изображение без соблюдения масштабов), на котором показано, как из межзвездной туманности сжимается звезда сначала красного цвета, потом при дальнейшем сжатии она разогревается, включаются термоядерные источники энергии, звезда становится горячей (белой) и долгое время остается такой, пока не иссякнут термоядерные источники энергии в ее центральной части. Затем в ней образуется плотное гелиевое ядро, а сама звезда «раздувается», становится сначала желтой, а затем красным сверхгигантом. Догорают остатки ядерного горючего вокруг центрального ядра. Когда и они кончатся, звезда опять начнет сжиматься, при этом она разогревается, но затем сжимается до состояния белого карлика, нейтронной звезды или вообще уходит в «черную дыру». В процессе эволюции часть вещества звезды выбрасывается из нее либо спокойно (планетарные туманности), либо при взрывах (сверхновые — Крабовидная туманность), которое опять потом поступает в межзвездную среду. Но остальная часть остается в плотных звездах или «черных дырах» уже навсегда. Поэтому содержание межзвездной среды в галактиках непрерывно уменьшается.

В настоящее время в связи с дальнейшим прогрессом молекулярной радиоастрономии и инфракрасной астрономии советским ученым, располагающим замечательной современной аппаратурой, удалось получить значительное количество новой важной информации. Однако предстоит еще многое сделать, прежде чем будет создана более полная и более конкретная картина важнейшего явления в мире — процесса образования звезд.

ЛИТЕРАТУРА

- Происхождение и эволюция галактик и звезд. Ред. Пикельнер С. Б. М., «Наука», 1976.
- Шкловский И. С. Звезды. Их рождение, жизнь и смерть. М., «Наука», 1977.
- Каплан С. А. Физика звезд. М., «Наука», 1977.
- Каплан С. А. Межзвездная среда и происхождение звезд. М., «Знание», 1977.
- Дибай Э. А. Нестационарные явления в галактиках. М., «Знание», 1977.
- Ефремов Ю. Н. Переменные звезды. М., «Знание», 1975.
- Жданов Г. Б. Новые данные о космических лучах. М., «Знание», 1974.
- Засов А. В. Галактики. М., «Знание», 1976.
- Современные проблемы астрофизики. Сборник. М., «Знание», 1974, 1976, 1977.
- Стрельницкий В. С. Межзвездные молекулы. М., «Знание», 1974.
- Хромов Г. С. Планетарные туманности. М., «Знание», 1975.
- Чаругин В. М. Реликтовое излучение. М., «Знание», 1975.

Самуил Аронович Каплан
МЕЖЗВЕЗДНАЯ СРЕДА
И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗВЕЗД
(Сопроводительный текст к серии диапозитивов)

Редактор В. В. Титова
Художник Е. Андреева
Обложка художника О. С. Белова
Художественный редактор Т. С. Егорова
Техн. редактор Т. В. Луговская
Корректор В. Е. Калинина

А 03286. Индекс заказа 88838. Сдано в набор 25/IV-78 г. Подписано к печати 14/VI-78 г. Формат бумаги 84×108 $\frac{1}{32}$. Бумага типографская № 3. Бум. л. 0,5. Печ. л. 1,0. Усл. печ. л. 1,68.
Уч.-изд. л. 1,50. Тираж 5100 экз. Издательство «Знание». 101835, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 860. Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.
Цена 5 коп.