

Заметим, однако, что последние работы Меррилла и Билса показали, что распределение межзвездного газа в нашей галактике нельзя считать совершенно непрерывным и что отдельные сгущения этого газа движутся в пространстве с различными скоростями. Особенно показательна в этом отношении работа Билса, установившего, что у ряда звезд межзвездные линии разделены на две компоненты, как если бы свет от этих звезд прошел через два поглощающих облака, обладающих различными радиальными скоростями. Разность радиальных скоростей двух облаков, определенная по различным межзвездным линиям, при этом получается примерно одинаковая.

В свете этих фактов приведенная теория интенсивностей межзвездных линий, пренебрегающая облакообразным распределением межзвездного газа, представляется лишь самым грубым приближением.

**б. Межзвездные эмиссионные линии.** Поглощая излучение окружающих звезд, ионы межзвездного кальция его рассеивают по всем направлениям. Поэтому в низких галактических широтах на темном фоне неба должны наблюдаться очень слабые эмиссионные линии *H* и *K*. Интересно, однако, что, возбуждаясь под действием излучения звезд, ионы  $\text{Ca}^+$  могут спонтанно перейти как назад в основное состояние, так и в метастабильное состояние  $3D$ , откуда опять попадут в нормальное состояние, излучая запрещенный инфракрасный дублет  $1S-3D$ . Надо думать, что в этой линии эмиссия будет несколько сильнее, потому что кванты *H* и *K* могут быть поглощены вторично, и опять будет существовать вероятность излучения запрещенного дублета и т. д. Поскольку для обнаружения эмиссии необходимо вести спектрографирование возможно более низких галактических широт, то большой помехой будет фон слабых звезд, т. е. Млечный Путь, так как нетрудно понять, что интенсивность рассматриваемых линий будет в несколько раз меньше, чем интенсивность спектра Млечного Пути в рассматриваемой области длин волн.

## IX. ДИФFUЗНЫЕ ТУМАННОСТИ

Мы видели, что излучение планетарной туманности возбуждается ее центральной звездой. Выше уже упоминалось, что свечение диффузных туманностей также вызывается звездами, их освещающими. Однако, в то время как у планетарных туманностей освещающая звезда расположена в центре симметрии, у диффузных туманностей, вследствие неправильности формы, вообще нет центра симметрии, и освещающая звезда часто находится вне пределов туманности. Поэтому иногда трудно решить, какая же из звезд вызывает свечение данной диффузной туманности.

Как уже упоминалось, Габблу удалось показать, что каждой диффузной туманности можно привести в соответствие некоторую звезду — обычно сверх-гигант, которая находится вблизи

нее и вызывает свечение туманности. Когда туманность имеет непрерывный спектр, эта звезда оказывается спектрального типа более позднего, чем  $B_1$ . Если же туманность обладает спектром, состоящим из эмиссионных линий, она бывает связана со звездой более раннего спектрального типа, чем  $B_1$ . Те же туманности, которые связаны со звездами типа  $B_1$ , дают смешанный спектр (непрерывный с линиями излучения). Уже эта зависимость спектра туманности от спектрального типа звезды является блестящим подтверждением гипотезы Габбла о том, что рассматриваемые звезды являются причиной свечения туманностей. Кроме того, надо отметить, что у туманности с непрерывным спектром последний идентичен по характеру со спектром освещающей звезды. Поэтому нет никаких сомнений, что эти туманности представляют собою скопления небольших твердых частиц, рассеивающих по всем направлениям свет звезды. Иными словами, мы имеем здесь дело с простым отражением света.

Туманности с эмиссионным спектром состоят из газов, преобразующих коротковолновое излучение освещающих их горячих звезд в длинноволновое излучение, и механизм их возбуждения таков же, как и механизм возбуждения планетарных туманностей.

Габбл показал, что если для каждой диффузной туманности определить расстояние  $a$  от освещающей звезды в угловой мере, на котором туманность имеет некоторую стандартную поверхностную яркость, то из эмпирических данных оказывается, что  $a$  связана с видимой величиной звезды следующим соотношением:

$$m + 5 \lg a = \text{const.} \quad (9.1)$$

Это соотношение удовлетворяется с большой степенью точности. С другой стороны, оно непосредственно следует из гипотезы о том, что диффузные туманности освещаются звездами. В самом деле, обозначим через  $i$  видимую яркость звезды, а через  $I$  яркость ее на расстоянии 10 парсек (абсолютная яркость). Освещенность пылевой туманности, частицы которой расположены в некоторой плоскости, перпендикулярной направлению лучей, от звезды будет пропорциональна  $\frac{I}{\Delta^2}$ , где  $\Delta$  — расстояние рассматриваемой точки туманности до звезды. При постоянной отражательной способности туманности (например, если туманность отражает практически весь свет звезды) поверхностная яркость будет также пропорциональна  $\frac{I}{\Delta^2}$ . Как известно, она не зависит от расстояния. Следовательно, если мы берем у различных туманностей точки, соответствующие некоторой стандартной поверхностной яркости, то в этих точках расстояние  $\Delta$  удовлетворяет равенству:

$$\Delta^2 = CI. \quad (2)$$

где  $C$  — постоянная.

С другой стороны, если  $r$  — расстояние в парсеках от нас до туманности, то

$$a = \frac{D}{r} \cos \theta, \quad (9.3)$$

где  $\theta$  — угол, образуемый радиусом-вектором, проведенным от звезды к рассматриваемой точке туманности с плоскостью касательной к небесной сфере. Подставляя (9.3) в (9.2), находим:

$$a^2 = \frac{CI}{r^2} \cos^2 \theta. \quad (9.4)$$

Но видимая яркость звезды  $i$  связана с абсолютной яркостью  $I$  соотношением:

$$i = 100 \frac{I}{r^2}. \quad (9.5)$$

Сравнивая (9.4) и (9.5), получаем:

$$a^2 = \frac{C}{100} i \cos^2 \theta,$$

или, переходя к логарифмам:

$$2 \lg a - \lg i - 2 \lg \cos \theta = \lg \frac{C}{100}.$$

Отсюда, заменяя:

$$-\lg i = 0,4 m - C',$$

где  $m$  — видимая величина звезды, находим:

$$5 \lg a + m + 5 \lg \cos \theta = \text{const}. \quad (9.6)$$

Угол  $\theta$  нам обычно неизвестен, и соотношение (9.6) не может быть проверено точно. Но заменяя  $\lg \cos \theta$  его средним значением, мы получим уравнение (9.1), которое находится в хорошем согласии с наблюдениями. Если на графике отложить по одной оси  $m$ , а по другой  $\lg a$ , то уравнение (9.1) представит прямую линию. На самом деле существует некоторая дисперсия точек около этой прямой, связанная с тем, что  $\lg \cos \theta$  уклоняется у разных туманностей от своего среднего значения. Кроме того некоторая дисперсия возникает также по той причине, что альbedo всех туманностей неодинаковы.

Интересно, что соотношение (9.1) выполняется не только для диффузных туманностей с непрерывным спектром, но также и для эмиссионных туманностей. Этот факт является несколько неожиданным, ибо в этом случае мы имеем не простое отражение, а процесс, аналогичный тому, который происходит в планетарных туманностях. Выполнение соотношения (9.1) для эмиссионных туманностей свидетельствует о том, что от единицы поверхности туманности излучается в совокупности отдельных эмиссионных линий количество энергии, пропорциональное количеству энергии, падающей на эту единицу поверхности в видимой и фотографической частях спектра. Между тем можно сказать, что количество энергии, излучаемое в спектральных

линиях единицей поверхности туманности, зависит от количества звездного излучения за границей лаймановской серии, падающего на  $1 \text{ см}^2$  поверхности туманности.

Поэтому соблюдение соотношения (9.1) указывает на то, что отношение количества энергии, падающей на  $1 \text{ см}^2$  в видимых лучах, к количеству энергии, падающей на ту же площадь в далекой ультрафиолетовой части спектра, постоянно при переходе от туманности к туманности. Но это означает постоянство температур поверхностей освещающих звезд. Мы знаем, что, действительно, звезды, освещающие диффузные туманности с эмиссионным спектром, принадлежат к весьма узкому участку спектральной классификации, именно к типу  $B_0$  и  $O$ , с линиями поглощения. Как правило, не встречается диффузных туманностей, освещаемых звездами типа Вольфа-Райе. Таким образом температуры звезд, освещающих диффузные туманности, заключены в интервале  $20\,000\text{—}27\,000^\circ$ . Что касается того, что постоянная в правой части уравнения (9.1) примерно одна и та же для отражающих и эмиссионных туманностей, то это — случайное обстоятельство. При другой температуре звезд, освещающих эмиссионные туманности, эти постоянные отличались бы между собою.

**1. Характер связи между диффузными туманностями и освещающими их звездами.** Расстояние туманностей от освещающих их звезд измеряется часто несколькими парсеками. Спрашивается, существует ли между диффузными туманностями и освещающими их звездами генетическая связь, или их связь носит чисто случайный характер? Иными словами, спрашивается, имеют ли они (звезда и туманность) общее происхождение и общее движение или, случайно сблизившись, находятся временно вблизи друг друга? Вопрос этот был поставлен еще Габблом. Габбл проанализировал радиальные скорости нескольких туманностей и, сравнив их с радиальными скоростями освещающих их звезд, пришел к выводу, что связь носит чисто временный характер.

Однако вывод Габбла, основанный на радиальных скоростях всего лишь пяти звезд, известных не вполне достоверно, нуждается в серьезной проверке. Эта проверка была произведена Горделадзе и автором следующим путем.

Если туманности лишь случайно встречаются с освещающими их звездами, то число туманностей, освещенных в каждый момент звездами того или иного спектрального типа, должно быть пропорционально вероятности для туманности находиться внутри одного из объемов пространства, освещенных звездами данного спектрального типа. Очевидно, что каждая звезда освещает вокруг себя со степенью освещенности, превосходящей некоторый, доступный для наших инструментов предел, некоторый сферический объем пространства. Радиус этой сферы пропорционален корню квадратному из ее действительной яркости, т. е.

$$\lg \Delta = C - 0,2M,$$

где  $M$  — абсолютная величина звезды.

Объем этой сферы пропорционален кубу радиуса, т. е.  
 $\lg V = C_1 - 0,6M.$  (9.7)

Так, например, расчет показывает, что звезды с абсолютной величиной  $M=0$ , освещают“ вокруг себя приблизительно 1 куб. парсек, а звезды с абсолютной величиной  $M=-5$ —около 1 000 куб. парсек. Вне этого объема туманность уже не будет настолько освещена звездой, чтобы быть доступной нашим инструментам (поверхностная яркость отраженного света будет очень мала).

Очевидно далее, что объемы, освещенные всей совокупностью звезд того или иного спектрального типа, будут относиться как  $n\bar{V}$ , где  $\bar{V}$ —средний объем, освещенный звездами данного типа, а  $n$ —число звезд данного типа в единице объема. Средний объем  $\bar{V}$  может быть получен путем усреднения объема  $V(M)$ , вычисленного по формуле (9.7), следующим образом:

$$\bar{V} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(M) V(M) dM}{\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(M) dM},$$

где  $\varphi(M)$ —функция светимости для данного спектрального типа, показывающая, сколько звезд данного типа в единице объема имеют абсолютную величину  $M$ . Таким образом вероятность для туманности быть освещенной звездой данного спектрального типа может быть вычислена из одних лишь звездно-статистических данных. Если, действительно, связь между туманностями и освещающими их звездами случайная, то число наблюдаемых туманностей, освещенных звездами того или иного типа, должно быть пропорционально  $n\bar{V}$ . В таблице 14 дается для каждого спектрального типа число  $N$  наблюдаемых туманностей, освещенных звездами этого типа, и доля пространства  $n\bar{V}$ , освещаемая звездами того же типа.

Мы видим, что гипотеза о случайном характере связи великоленно объясняет преобладание среди рефлекссионных туманностей таких, которые связаны с звездами типов  $B_1-B_9$ , и вообще находится в согласии с наблюдениями. Сверх ожидания, отношение числа эмиссионных туманностей (связанных с типами  $B_0$  и  $O$ ) к числу всех туманностей тоже находится в некотором соответствии с долей объема мирового пространства, освещенного звездами типа  $B_0$  и  $O$ . Тем самым напрашивается вывод, что одна и та же туманность вблизи звезды позднего типа является рефлекссионной, а вблизи звезд  $B_0$  и  $O$ —эмиссионной, т. е., когда к пылевой туманности приближается звезда типа  $B_0$

Таблица 14

<i>Sp</i>	<i>N</i>	<i>nV</i>
<i>O</i>	11	$0,2 \cdot 10^{-4}$
<i>B<sub>0</sub></i>	7	0,6
<i>B<sub>1</sub>-B<sub>9</sub></i>	54	2,9
<i>A</i>	5	0,8
<i>F</i>	2	0,25
<i>G</i>	1	0,18
<i>K</i>	2	0,25
<i>M</i>	0	0,02

или  $O$ , то эта туманность превращается в газовую (полностью или частично). С этой точки зрения заслуживает упоминания тот факт, что, по наблюдениям, среди рефлексионных туманностей нет таких, которые были бы освещены звездами  $B_0$  и  $O$ . Между тем, если бы пылевые туманности при приближении к таким звездам продолжали оставаться чисто пылевыми, они должны были бы давать непрерывный спектр того же типа ( $B_0$  или  $O$ ). Мы пока не знаем, каков механизм выделения газов из пыли при приближении туманности к горячей звезде, но очень вероятно, что этот механизм физически тождественен с механизмом истечения газов из твердых частиц ядра кометы при приближении последней к Солнцу.

Поскольку не все диффузные туманности находятся внутри объемов, освещенных звездами, то несомненно, что многие диффузные туманности должны остаться неизвестными для нас. Оказывается, что сумма всех объемов, освещенных всеми звездами, составляет примерно  $\frac{1}{2000}$  объема всей галактики. Поэтому полное число всех диффузных туманностей на доступном расстоянии должно быть примерно в 2000 раз больше, чем число наблюдаемых, т. е. освещенных туманностей.

Изложенная точка зрения не позволяет установить непосредственную эволюционную связь между планетарными туманностями и диффузными туманностями, и возможно, что механизм образования диффузной туманности сильно отличается от механизма образования планетарной туманности.

Интересно отметить, что, обладая способностью рассеивать падающее на них излучение, диффузные туманности тем самым ослабляют свет звезд, находящихся за ними. Так например, известно, что туманность Ориона сильно ослабляет свет лежащих за нею звезд.

Очевидно, что это свойство диффузных туманностей производить ослабление света находящихся за ними звезд они сохраняют и в тех случаях, когда они не освещены. Если это ослабление будет сильным (больше звездной величины), то это будет бросаться в глаза, и мы будем наблюдать „темную“ туманность. Среди очень большого числа неосвещенных туманностей некоторые по крайней мере обладают такой оптической толщиной.

Таким образом мы приходим к заключению, что „темные“ туманности и „светлые“ туманности являются объектами одного и того же рода, т. е. частными случаями многочисленного класса диффузных туманностей.

## Х. КОМЕТЫ

**1. Отталкивательная сила, испытываемая молекулами газов, входящих в комету.** Как известно, при приближении кометы к Солнцу из ядра ее происходит истечение газов по направлению к солнцу. Эти газы главным образом ( $C_2$ ,  $CN$ ), а также пылевые частички, согласно механической теории кометных форм Бреди-