

АСТРОНОМИЯ

Академик Г. А. ШАЙН и В. Ф. ГАЗЕ

**О СТРУКТУРЕ И МАССАХ НЕКОТОРЫХ ЯРКИХ ГАЗОВЫХ
ТУМАННОСТЕЙ ***

Важным свойством газовых туманностей является их прозрачность для линий субординатных серий и непрозрачность для линий, соответствующих переходам с основного уровня. Благодаря этому свойству до наблюдателя доходит излучение как от внешних, так и от внутренних слоев туманности. Тем самым открывается возможность изучения внутренней структуры диффузных газовых туманностей, отражающей в себе в известной мере те процессы в туманностях, которые имеют место сейчас или имели место в прошлом.

Для исследования структуры нами были получены снимки некоторых туманностей в лучах H_{α} с помощью весьма светосильных камер 450 и 640 мм ($F/1,4$). Такого рода снимки имеют преимущество над обычными фотографиями в интегральном свете, так как в последних структурные особенности могут оказаться сглаженными в связи с возможными различиями в распределении различного рода атомов и ионов. Другим преимуществом наших фотографий является то, что благодаря очень большой светосиле мы могли получить значительно более далекие внешние области туманности, чем это получалось ранее.

В отношении структуры мы имеем в туманностях очень большое разнообразие. Хотя под термином «диффузные газовые туманности» подразумеваются иррегулярные образования, тем не менее в распределении материи внутри туманности, повидимому, часто наблюдается довольно сильное отклонение от случайности. Давно были известны волокна в туманностях. Недавно мы могли выявить немалое число туманностей с периферийным распределением материи (1). Далее мы нашли, что имеется немалое число туманностей, характеризующихся преимущественной ориентацией волокон и других структурных деталей (2).

В этой работе мы рассматриваем другого рода систематические отклонения от случайного распределения материи, а именно, некоторую слоистость структуры. На рис. 1 представлены три туманности NGC 6523 (1а, 1б), 2237 (2) и 6618 (3). Для каждой из этих туманностей был получен ряд снимков с различной экспозицией, и это позволило полнее изучить структуру туманностей. В 6523 можно проследить последовательно первую, самую внутреннюю, почти замкнутую оболочку эллиптической формы, вторую оболочку из отдельных дуг, далее, отдельные неправильные дуги третьего, а может быть, и следующего внешнего образования и, наконец, материю аморфного вида. В туманности 2237 хорошо видны две оболочки, а может быть, и следы третьей. В туманности 6618 можно проследить в основном три образования на-

* Доклад о работе был прочитан в апреле 1951 г. в ГАО и ГАИШ.

подобие ветвей, исходящих из вытянутой центральной части: первой, самой яркой, с преимущественным направлением с запада на восток, второй, в основном на север, и третьей, наиболее слабой, на юг. Все это придает туманности до некоторой степени спиральный характер. В приведенных выше случаях структура в виде колец, слоев, подобия расходящихся ветвей, весьма далекая от аморфности и хаотичности, должна быть рассматриваема, вероятно, как результат систематических движений внутри туманности под действием каких-то сил.

Для выяснения природы упомянутой выше структуры, а также и других явлений в газовых туманностях весьма важно знать хотя бы приближенно значения масс этих туманностей. Как нетрудно видеть, поверхностная монохроматическая яркость туманности (очевидно, не зависящая от расстояния) будет зависеть исключительно от количества энергии E_λ излучаемой 1 см² поверхности туманности в 1 сек. Из этого значения E , пользуясь формулой $4\pi E_\lambda = n_3 h \nu_{32} A_{32}$, нетрудно получить число атомов n_3 , находящихся в цилиндре сечением в 1 см², ось которого совпадает с лучом зрения. Практически задача сводится к тому, чтобы наблюдаемую поверхностную яркость в звездных величинах в лучах H_α с 1 сек² дуги выразить в эрг · см⁻² сек⁻¹. Способ определения E_λ путем привязки к Солнцу был разработан В. А. Амбарцумяном (3), и мы следовали ему. Однако нас должно интересовать не столько число атомов n_3 , совершающих переход из третьего состояния во второе, сколько полное число водородных атомов в цилиндре с основанием в 1 см². Именно это позволило бы при знании размеров туманности оценить среднюю плотность материи и массу (подавляющее число атомов и ионов в туманности приходится на водород). Однако при очень значительном отклонении от термодинамического равновесия (очень малое значение коэффициента диллюции) переход от n_3 к n_1 (число атомов в основном нейтральном состоянии) и далее к n^+ (подавляющее число атомов в туманности ионизовано) может быть сделан лишь с очень небольшой точностью.

Можно выбрать несколько иной путь. В газовой ассамблее, состоящей из ионов, атомов и электронов, последние покажут наименьшее отклонение от условий термодинамического равновесия. Проблема значительно упрощается, когда совершающиеся процессы относят к электронным захватам как к стандарту. Для этого случая Д. Менцел дает формулу для количества энергии $E_{n'n}$, выделяемой единицей объема в секунду времени при переходе из состояния n' в n (4):

$$E_{n'n} = n^+ n_e \frac{6,99 \cdot 10^{-33}}{T_e^{3/2}} \frac{g}{8} b_3 Z^4 \frac{2RZ^2}{n^3} e^{hRZ^2/n_3 k T_e}, \quad (1)$$

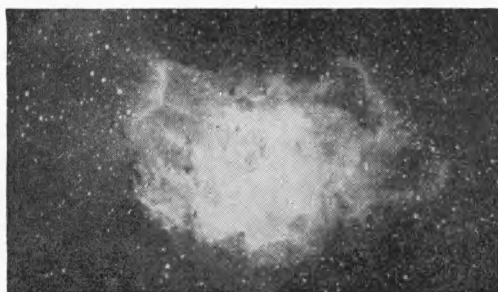
Отклонение от термодинамического равновесия определяется здесь множителем b_3 , который для линии H_α близок к 0,1. Так как для сильно ионизованного газа $n^+ = n_e$, то при знании линейных размеров туманности и ее фигуры можно из формулы (1) определить плотность протонов (практически всех водородных атомов), обойдя в известной степени большую трудность, связанную с очень сильным отклонением от термодинамического равновесия.

В результате, базируясь на формуле (1) и на измеренной поверхностной яркости туманности с 1 сек² дуги, можно было получить приближенное значение массы туманностей (скорее, вероятно, нижний предел) (см. табл. 1).

Рассмотренные туманности являются очень яркими, и поэтому такие большие полученные нами массы являются, вероятно, довольно редкими. Думается, что для многих небольших более слабых туманностей масса, вероятно, порядка десятка, единицы солнечной массы и меньше. Очень



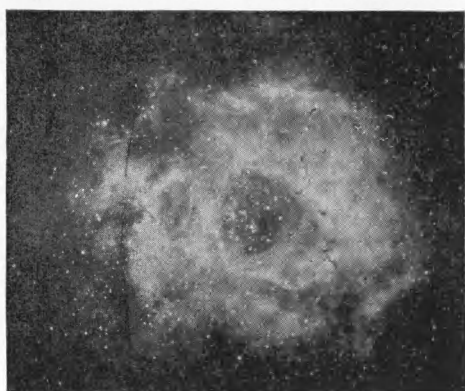
1a



1b



2



3

Рис. 1

важным является тот факт, что для трех рассмотренных ярких туманностей масса очень значительна, и по крайней мере для 6523 и 2237 — порядка нескольких тысяч солнечных масс, вероятно, даже порядка 10000. Вместе с тем можно грубо оценить, что масса 6523 и 2237, вероятно, во много или в несколько раз превосходит массу звезд, ответственных за их свечение. При таком соотношении в массах звезд и туманности едва ли можно думать, что туманная материя, по крайней мере в 6523 и 2237, является вторичным явлением по отношению к звездам (например, результатом простого выброса или истечения материи). Можно думать, что туманность и горячие звезды могли развиваться параллельными путями, имея общее происхождение, или что даже звезды образовались из туманности. Но вместе с тем очень возможно, что некоторая доля туманной материи могла быть выброшена горячими звездами.

Наличие частей обло-
лочек, колец, слоев и
ветвей в некоторых
диффузных туманно-
стях наталкивает на
тот вывод, что такая
структура обязана (те-
перь или в прошлом)
хотя бы небольшому
движению материи из
центральных областей,
вероятно, с преимуще-
ственным направлени-

Таблица 1

Туманность	Излучение $\text{эрг} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$	Плотность протонов в см^{-3}	Масса в един. Солнца
6523	$6,4 \cdot 10^{-3}$	90	5300
2237	$2,3 \cdot 10^{-3}$	46	10000
6618	$1,0 \cdot 10^{-2}$	190	450

ем наружу. Эти систематические движения должны сопровождаться турбулентными движениями, и, действительно, структура туманности говорит в пользу этого.

Аргументом в пользу гипотезы некоторого движения материи наружу является не только наличие остатков частей колец, слоев, ветвей, до некоторой степени симметрично расположенных по отношению к центральной части. На рис. 1 мы видим, что эти детали в 2237 и 6523, в особенности на краю, имеют характер утолщений наподобие волокон. Последние же естественно можно представить себе как результат столкновения отдельных масс материи либо вследствие того, что внутри туманности одни массы нагоняли другие, либо вследствие встречи с другими туманностями и межзвездной средой (эффект торможения). Далее, можно вспомнить, что существует значительное число туманностей с сосредоточением материи по периферии — явление, которое легче всего объяснить, как результат движения материи наружу под влиянием каких-то сил (¹). Вообще, идея о распространении материи наружу не должна казаться слишком произвольной. Хотя планетарные и диффузные газовые туманности очень различны, но для первых значительное расширение является наблюдательным фактом. Во всяком случае, некоторые туманности являются более или менее промежуточными между планетарными и диффузными.

В свете вышеприведенной интерпретации структуры рассмотренных туманностей большой массы, порядка нескольких тысяч солнечных масс, а также некоторых других соображений и фактов, в частности тенденции к сосредоточению туманностей в некоторых областях неба, как будто уже нельзя рассматривать туманную материю как какое-то вторичное явление по отношению к звездам. Это приводит к выводу, что туманная материя играет значительную и, вероятно, фундаментальную роль в проблеме происхождения и развития не только самих туманностей, но также горячих звезд класса O и B, с которыми они связаны генетически. Такое заключение мы имеем известное основание сделать пока в отношении только ярких газовых туманностей с очень большой массой.

С другой стороны, мы стоим перед фактом существования, наряду с малыми туманностями и слабыми обширными водородными полями, больших изолированных газовых или газо-пылевых массивных систем с массой порядка тысячи или нескольких тысяч солнечных масс и, возможно, и больше. Такие системы, размером порядка 8—20 парсек, вероятно, могут сделаться видимыми, когда они ассоциируются с довольно тесными группами горячих звезд класса O и BO. Имеются основания думать, что эти системы характеризуются систематическими и турбулентными движениями внутри туманности. Можно также высказать предположение, что отмечаемые во внегалактических туманностях отдельные места со слабым эмиссионным спектром представляют собой, вероятно, большие ассоциированные с группой горячих звезд газовые или газо-пылевые туманности, не менее значительные по массе и размеру, чем те, которые рассмотрены в настоящей статье.

Поступило
24 XII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. А. Шайн и В. Ф. Газе, Изв. Крымск. астрофиз. обс., 7, 87 (1951).
² Г. А. Шайн и В. Ф. Газе, ДАН, 82, № 6 (1952). ³ В. А. Амбарцумян, Zs. f. Ap., 6, 107 (1933). ⁴ D. Menzel, Ap. Journ., 85, 330 (1937).