

АСТРОНОМИЯ

Академик Г. А. ШАЙН и В. Ф. ГАЗЕ

**О ДВИЖЕНИЯХ В ДИФFUЗНЫХ ЭМИССИОННЫХ
ТУМАННОСТЯХ**

Очень часто большие эмиссионные диффузные туманности имеют настолько хаотические причудливые формы, что нестабильность таких образований самоочевидна. Но и в случае туманностей с более упорядоченной структурой и даже более или менее сферических по форме не остается впечатления, что здесь имеет место гравитационное сжатие и уравнивание слоев вследствие гидростатического равновесия.

Уже из общих физических соображений следует, что должно иметь место известное движение материи из туманности в окружающую гораздо менее плотную и холодную межзвездную среду (¹⁻³). Расширению и, в конечном счете, распаду туманностей должны способствовать также такие факторы, как дифференциальное галактическое вращение, встречи туманностей между собой и с горячими звездами, давление радиации и др. Недавно мы указали на вероятное расширение некоторых диффузных туманностей как на наблюдаемое явление (⁴).

Имеются две возможности для изучения движения в туманностях: 1) измерение радиальных скоростей и собственных движений; 2) исследование структуры туманностей. Первый метод может быть применен лишь в единичных случаях, так как необходимые данные могут быть получены только очень редко. Наиболее полные наблюдательные данные мы имеем для NGC 1976 в Орионе.

С одной стороны, известно, что поглощение в этой туманности очень значительно, достигая 2 величин для возбуждающих звезд Трапеции θ' Ориона, находящихся, повидимому, близ центра наиболее плотной области туманности. Основания для такого вывода следующие: 1) большое значение для С. Е.; 2) выявление скопления слабых звезд в инфракрасных лучах (⁵); 3) интерпретация наблюдаемых флуктуаций в яркости, а также в радиальных скоростях в рамках гипотезы о локально-изотропной турбулентности приводит к значению около 0,12 пс для толщины излучающего слоя, имеющего оптическую толщину, равную единице (^{6, 7}). Все это позволяет сделать заключение, что мы наблюдаем в основном передние слои туманности. Более глубокие слои доходят до нас во всяком случае очень ослабленными.

С другой стороны, можно считать твердо установленным, что наблюдаемые радиальные скорости для туманности и для возбуждающих звезд θ' Ориона отличаются на 11,5 км/сек (соответственно, +17,5 и +29,1 км/сек). Можно оценить, что эта разность известна с точностью $\pm 1,0$ км/сек. На долю красного смещения для звезд можно отнести около +1,6 км/сек. В свете того, что наблюдаются в основном лишь передние слои, мы, вероятно, должны отнести наблюдаемую разность —10 км/сек (туманность минус звезды) за счет расширения туманности со скоростью порядка скорости звука.

Рассмотренный выше метод может быть применен и к наиболее яркой центральной части туманности NGC 6523. Радиальная скорость для туманности и возбуждающей звезды равна здесь -3 и $+9$ км/сек, соответственно. Казалось бы, наблюдаемую разность -12 км/сек можно также интерпретировать как аргумент в пользу расширения туманности со скоростью порядка скорости звука. Однако к этому выводу следует отнестись с осторожностью: во-первых, скорости известны здесь с небольшой точностью, а, во-вторых, С. Е. для звезды здесь небольшой, и мы не уверены, что действительно наблюдаем в основном передние слои туманности. Имеются еще 2—3 случая, когда известны радиальные скорости для возбуждающих звезд и туманности (NGC 6514, NGC 1499 и др.). Однако малая точность определения скорости, особые структурные особенности туманности и другие обстоятельства не позволяют получить здесь ответа на вопрос о расширении туманностей. Следует только отметить, что в свете гипотезы о существовании групп туманностей, неустойчивых как системы, а также о неустойчивости отдельных туманностей можно ожидать различия между скоростями для возбуждающих горячих звезд и туманностей, если даже последние связаны между собою генетически.

Некоторые указания на движение материи в туманности можно получить на основании изучения структуры туманностей. Мы уже отметили существование довольно распространенного и в Галактике и во внегалактических системах класса туманностей с преимущественным сосредоточением материи по периферии в виде остатков кольца, дуг и других деталей. Такая структура, несомненно, является результатом преимущественного движения из центральных областей наружу. В пользу этого также говорит волокнистая структура этих пограничных деталей, обусловленная, вероятно, сжатием слоев при встрече отдельных масс между собою и с окружающей межзвездной средой ⁽⁴⁾. Примером может служить IC 1805 + S 3 (см. рис. 1 а на вклейке). В редких случаях, когда эти движения очень значительны, они могут быть обнаружены не только по структуре, но и непосредственно по скоростям (например, в NGC 1952, NGC 6960, NGC 6992-5).

Известно несколько туманностей, чрезвычайно вытянутых в одном направлении. Такова, например, NGC 1499. На наших снимках мы могли обнаружить, что туманность простирается на $4^{\circ}5$. Трудно отказаться от вывода, что по каким-то причинам здесь имело место движение материи в одном преимущественном направлении — род «космического газового потока» ⁽⁴⁾. Другим замечательным примером являются простирающиеся на $6^{\circ}5$ параллельные струистые следы S 108, S 48, которые мы нашли около α^2 , α^1 Лебеда и далее далеко к SW ⁽⁴⁾. Наличие подобного феномена получило подтверждение ⁽⁸⁾. Очень возможно, что это поразительное явление связано с эффектом межзвездного магнитного поля ⁽⁴⁾. В некоторых туманностях наблюдается также растянутость отдельных деталей в гораздо меньшем масштабе, — вероятно, как результат малых локальных газовых потоков вследствие различия температуры и давления в разных местах, а возможно, также под влиянием магнитного поля. Подобные детали в виде полос и более узких струй наблюдаются, например, в NGC 1976 в Орионе.

Если расширение туманностей и рассеяние материи играет большую роль в жизни туманности, то в более или менее близких ее окрестностях можно ожидать массу рассеянной слабо светящейся материи. Во многих случаях картина будет осложнена ограниченностью зоны ионизации, вероятным взаимодействием рассеянной материи с окружающей средой, эффектом экранирования и т. д. В качестве примера наличия рассеянной материи вокруг основной туманности можно привести NGC 1976 (см. рис. 1 б). При большой экспозиции вместо обычного размера $50' \times 40'$ мы имеем за счет рассеянной материи $2^{\circ}4 \times 2^{\circ}0$. Таким образом, в отноше-



a



б

Рис. 1. *a* — Туманность IC 1805, масштаб 1 мм=1'; *б*—туманность NGC 1976, масштаб 1 мм=0',8

нии NGC 1976 имеется определенное указание, с одной стороны, на значительное рассеяние материи в далекой внешней области, а с другой, как мы видели выше, на расширение туманности в ее центральной плотной части.

Сильная размытость границ и наличие слабо светящейся материи вокруг основной туманности и даже наличие как бы оторвавшихся деталей являются скорее характерными чертами большинства значительных эмиссионных туманностей ⁽⁹⁾. Вообще размытость границ может быть обусловлена разными причинами. Однако наблюдаемый характер размытости и структурные особенности в большинстве случаев трудно объяснить иначе, как в основном рассеянием материи. Расширение туманностей и рассеяние материи происходят, повидимому, далеко неодинаково в различных туманностях. Так, в NGC 1976 имеется сильное иррегулярное уплотнение близ центра, очень большое слабое диффузное поле и далекое слабое кольцообразное образование. С другой стороны, в NGC 2244 (которая, судя по остаткам колец, также расширяется) имеется очень разреженная центральная часть, слабое внешнее диффузное поле и отдельные оторвавшиеся детали. Другим примером расширяющейся туманности является IC 1805 + S 3, но ее структура (см. рис. 1 а) очень отличается и от NGC 1976 и от NGC 2244. Наконец, из многих других примеров упомянем IC 405 с ее волокнистой сеткой на границе (напоминающей до некоторой степени сетку Крабовидной туманности NGC 1952) и большим диффузным полем во внешней области ⁽⁹⁾.

Из сравнения четырех приведенных выше примеров видно, что либо характер движения в разных туманностях весьма различен, либо движение материи наружу сказывается весьма различно на структуре разных туманностей. Но можно сказать, что большей частью общим является обширное слабое поле диффузной материи, а в более редких случаях известное сосредоточение материи по периферии. Необходимо учесть, что в некоторых случаях ограниченность зоны ионизации не позволяет получить верного представления о действительных окрестностях туманности.

На первый взгляд может казаться, что эффект рассеяния материи, как он выявляется при обозрении границ и окрестностей диффузных туманностей, есть нечто само собою подразумевающееся. Однако подобное явление не обнаруживается, за очень малым исключением, в планетарных туманностях и, следовательно, здесь могут играть роль возраст образования и другие факторы.

Исходя из того, что в большинстве случаев на границе и в окрестностях больших туманностей наблюдается слабо светящаяся диффузная материя, мы должны признать рассеяние материи важным фактором в жизни эмиссионных диффузных туманностей. Однако наблюдаемая картина представляется гораздо более сложной, чем та, которую можно было бы ожидать в результате лишь одного движения, обусловленного различием температуры и давления в более горячих и в более холодных областях. Хотя последний фактор, несомненно, является одним из главных, но в тех или других случаях, очевидно, могут играть большую роль и другие причины: начальные специфические условия, дифференциальное галактическое вращение, давление радиации и др. В некоторых случаях наблюдаемая структура, вероятно, находится в связи с движениями, обусловленными нестационарной природой таких образований в начальную эпоху. Таковы, например, некоторые периферийные туманности, связанные или, вероятно, связанные с Сверхновыми или Новыми (NGC 1952, IC 443, NGC 6960, NGC 6992-5, S 147)

В интересующей нас проблеме мы должны считаться с возможностью влияния магнитного поля на устойчивость туманностей. В предположении, что при турбулентности должно установиться равенство между плотностью кинетической энергии $\frac{1}{2}\rho v^2$ и плотностью магнитной

энергии $\frac{1}{8\pi} H^2$ можно было оценить магнитные поля в NGC 1976, $H \cong 3 \cdot 10^{-4}$ эрст. ⁽⁶⁾. Вместе с тем следует считаться с тем, что многие туманности, в том числе NGC 1976, представляют собою более или менее аморфное образование, на которое накладывается очень мало понятная в рамках газокINETических представлений структура в виде волокон, струй и полос. Но при наличии в туманности магнитного поля туманность как бы пронизывается силовыми линиями в виде запутанного клубка нитей, и это может оказать известное влияние и на структуру и на стабильность туманности. Последний эффект оценить нельзя, но, по крайней мере, он, очевидно, не доминирует, чтобы воспрепятствовать известному рассеянию материи и расширению туманностей, которые во многих случаях наблюдаются. Признание последнего факта имеет ряд следствий, из которых можно подчеркнуть, что расширение эмиссионных туманностей и рассеяние материи следует рассматривать, очевидно, как весьма неблагоприятный фактор для образования звезд в туманностях, находящихся в эмиссионной стадии ($T \sim 10^4$).

Поступило
26 IV 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. M. Burgers, *Probl. of Cosm. Aerodyn.*, 1951, p. 59. ² L. Spitzer, *Cent. Symposia Harv. Obs. Mon.*, 7, 87 (1948). ³ А. И. Лебединский, *ДАН*, 92, № 5, 911 (1953). ⁴ Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 8, 80 (1952); *Астр. журн.*, 30, № 2, 130, 135 (1953). ⁵ W. Baade, R. Minkowsky, *Ap. J.*, 86, 119 (1937). ⁶ С. Б. Пикельнер, Г. А. Шайн, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 11, 22 (1954). ⁷ S. Hoerner, *Zs. f. Ap.*, 30, 17 (1951). ⁸ В. Вок, *Sky and Telescope*, 13, December, 1953. ⁹ Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, *Атлас диффузных газовых туманностей*, М., 1952.