

А. И. ЛЕБЕДИНСКИЙ

**ДИНАМИКА ДИФFUЗНЫХ ТУМАННОСТЕЙ**

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 25 VIII 1953)

1. Межзвездный газ, не содержащий пыли, при освещении дилуцированным излучением звезд, согласно (1), приобретает температуру  $T$ , сравнимую с эффективной температурой освещающих звезд, т. е.  $T \approx 10^4$ . В противоположность этому газ, содержащий примесь пыли и не нагреваемый излучением звезд, приходит в тепловое равновесие с пылью, и в нем устанавливается такая же температура, как и у пылинок, т. е. температура, близкая к абсолютному нулю.

Межзвездный газ поглощает радиацию звезд, диссоциирующую молекулы или ионизирующую атомы. Из соображений, изложенных в (2) следует, что в основном это радиация с частотами, превышающими частоту предела серии Лаймана. Эту радиацию, для краткости, мы будем называть ультрафиолетовой.

Согласно (2) туманности, содержащие пыль, устойчиво существуют только за пределами областей, освещенных ультрафиолетовым излучением горячих звезд; газ в этих туманностях состоит в основном из молекулярного водорода и, может быть, гелия. Благодаря наличию пыли и отсутствию ультрафиолетовой радиации газ в пылевых туманностях холодный. Эти туманности мы будем называть холодными в отличие от горячих эмиссионных туманностей, в которых  $T \approx 10^4$ .

Разогревание холодной туманности при внезапном освещении ее светом горячих звезд может произойти в относительно короткие сроки. Согласно Стремгрену (3) звезда типа  $O_6 - O_7$  поддерживает своим излучением ионизацию  $10^{62} n^{-1}$  атомов водорода, где  $n$  — число атомов в  $1 \text{ см}^3$ . Энергия, необходимая для разогревания, диссоциации и ионизации такого количества атомов, излучается звездой  $O_6 - O_7$  за время  $t \approx 10^{13} n^{-1}$  сек., и если, в соответствии с оценками (4),  $n \approx 50$ , то  $t = 10^4$  лет. В действительности как приближение горячей звезды к туманности, так и процесс возгорания горячего гиганта, образующегося из звезды-карлика внутри самой туманности (5), длится намного дольше  $10^4$  лет, и поэтому разогревание туманностей происходит лишь по мере увеличения плотности ионизирующей их ультрафиолетовой радиации.

Холодная туманность, имевшая более или менее устойчивую конфигурацию, т. е. такая туманность, в которой хотя бы приблизительно выполнялись вириальные соотношения, становится неустойчивой вследствие быстрого разогрева. Увеличение ее температуры от нескольких абсолютных градусов до  $10^4$  приводит к повышению давления в тысячи раз, а следовательно, приводит к полной неуравновешенности давления как внутренними, так и внешними силами. В результате туманность начинает расширяться со скоростью звука  $v$  и через некоторое время рассеивается в пространстве.

Излучение единицы объема туманности пропорционально квадрату плотности газа. Поэтому при пропорциональном увеличении размеров туманности поверхностная яркость убывает обратно пропорционально примерно 5-й степени любого ее диаметра, и увеличение размеров вдвое делает туманность практически не наблюдаемой. При поперечнике туманности 10 пс и  $v = 10$  км/сек удвоение размеров происходит менее чем за  $10^6$  лет.

2. Темные туманности всегда имеют неправильную форму, кажутся изорванными и клочковатыми. В силу соображений, изложенных в (4), они, вероятно, и быть иными не могут. В туманностях сложной формы, быстро разогревшихся и пришедших в состояние расширения, должно наблюдаться очень сложное распределение скоростей. Не учитывая этого, Хэббл (6), сопоставив лучевые скорости нескольких туманностей и освещающих их звезд, установил различие скоростей и пришел к выводу о случайном характере связи между звездами и туманностями. В действительности же различие скоростей объясняется тем, что вещество туманностей удаляется со звуковой скоростью от освещающих его звезд.

Туманность в Орионе — единственная, в которой распределение лучевых скоростей достаточно подробно изучено. Интерпретация этих скоростей как вращения туманности приводит к очень высокому значению плотности газа, порядка  $10^{-18}$  г/см<sup>3</sup>, и оставляет непонятным наличие огромной дисперсии наблюдаемых скоростей в центральной части, где лучевая скорость должна быть близка к нулю. На якобы приближающемся к нам крае туманности наблюдаются значения лучевой скорости (в км/сек (7)): —1; —4; —5; —6; —4; +4; 0; на удаляющемся крае: +6; +4; +6; +7; +7; в центральной части: +1; —5; —3; +4; —1; +2; +4; +3; —8; +2; 0,0.

Наблюдаемое распределение скоростей в туманности Ориона согласуется с предположением об экспансии: а) дисперсия скоростей в центральной части больше, чем на периферии туманности, что является следствием проектирования друг на друга приближающихся и удаляющихся слоев; б) максимальная наблюдаемая разность скоростей 15 км/сек соответствует скорости расширения 7,5 км/сек; в) внешний вид туманности наводит на мысль, что это уплощенный объект, наклоненный к лучу зрения, вследствие чего один край кажется приближающимся, а другой удаляющимся.

Горячий газ, не ограниченный стенками или давлением внешней среды, неизбежно должен расширяться со звуковой скоростью. В частности, должны расширяться и планетарные туманности, газ которых нагрет до температуры в десятки тысяч градусов. Наблюдаемая в планетарных туманностях скорость расширения порядка 20 км/сек примерно равна скорости звука при температуре этих туманностей.

Особую трудность в вопросе о происхождении планетарных туманностей представляет объяснение наблюдаемого их вращения, соответствующего колоссальному удельному моменту количества движения, на много порядков превосходящему моменты вращения как звезд, так и диффузных туманностей. Однако, каково бы ни было решение проблемы вращения, наблюдаемое расширение следует считать неизбежным следствием наблюдаемой температуры газа планетарных туманностей.

3. Рассмотрим случай возникновения одной или одновременно нескольких горячих звезд внутри очень массивной и протяженной холодной туманности. Предположим, что поток излучаемой этими звездами ультрафиолетовой радиации, недостаточный для того, чтобы нагреть всю туманность, нагревает и ионизирует только некоторый объем внутри нее. Нагретый газ, расширяясь со звуковой скоростью, образует в окружающем его холодном газе ударную волну уплотнения, движущуюся со сверхзвуковой скоростью. В центральной части волны, там, где находятся освещающие звезды, образуется минимум плотности — разрежение.

Вступая в волну, газ уплотняется в 4—6 раз, а в центральной полости

плотность меньше, чем та, которая была в туманности до образования волны; следовательно, грубо говоря, плотность в центре раз в 10 меньше, чем вблизи фронта волны, а излучательная способность единицы объема, пропорциональная квадрату плотности, в 100 раз меньше. Благодаря этому туманность выглядит как светящаяся скорлупа звезд.

Рассмотрим теперь случай приближения горячей звезды или группы горячих звезд к холодной туманности. Если туманность невелика, то она нагреется, ионизируется и рассеется в пространстве прежде, чем звезда войдет в нее. Если же туманность велика по сравнению с радиусом, в пределах которого газ ионизируется излучением рассматриваемых звезд, то звезды пройдут сквозь туманность, рассекая ее как снаряд воздух, т. е. образуя коническую ударную волну, в которой светится главным образом фронт волны. Поскольку радиация нагревает газ на расстоянии нескольких парсек впереди волны, то, точнее говоря, волна должна иметь форму не конуса, а конуса, переходящего в полусферу, в центре которой находится звезда, т. е. конуса с тупой вершиной.

Нам не удалось найти конические туманности на опубликованных фотографиях, а туманности, имеющие форму сферической скорлупы, согласно (8) встречаются часто. Значит, горячие гиганты не залетают в туманности извне, а возникают внутри туманностей и связаны с туманностями генетически.

Косвенным подтверждением генетической связи горячих гигантов с туманностями являются статистические данные. В. А. Амбарцумян и Ш. К. Горделадзе (6) вычислили вероятности освещения туманностей звездами различных типов. При предполагавшейся ими случайной связи звезд с туманностями эти вероятности должны были оказаться пропорциональными наблюдаемым числам туманностей, освещенных соответствующими типами звезд. В действительности же, как это отмечено в (7), вычисленным вероятностям пропорциональны числа туманностей, освещенных звездами типов А—М, тогда как туманностей, освещенных звездами О—В, наблюдается в несколько раз больше, чем следовало ожидать при случайной связи звезд и туманностей.

4. При прохождении ударной волны, вызванной расширяющимся газом с  $T \approx 10^4$ , молекулы  $H_2$  приобретают энергию теплового движения порядка 1 эв. При столкновениях с пылинками эта энергия передается пылинкам, а затем излучается или расходуется на испарение. Если масса молекул пылинок раз в 10 больше массы молекул  $H_2$ , то при каждом ударе молекулы  $H_2$  передают примерно 10% своей энергии ( $\approx 0,1$  эв), т. е. энергию, по всей вероятности, недостаточную для испарения молекул пылинок. В таком случае, несмотря на наличие некоторой доли быстрых молекул и атомов, образовавшихся в результате диссоциации при столкновениях быстрых молекул, газ при отсутствии нагревающего ультрафиолетового излучения может остыть прежде, чем испарится вся пыль.

На фотографиях туманностей (см., например, (9), фотографии №№ 14 и 39) видны небольшие, резко очерченные темные включения, часть которых квалифицируется как глобулы. Возможно, что эти темные включения представляют собой сжимаемое ударными волнами газово-пылевое вещество, со всех сторон окруженное сжимающим его горячим газом.

5. Изложенные соображения позволяют уточнить вопрос о балансе диффузного вещества в Галактике. Большая часть диффузного вещества входит в состав холодных туманностей и состоит из молекулярного газа и твердых пылинок. Звезды-карлики, захватывая диффузное вещество холодных туманностей, застревают в них и превращаются в горячих гигантов, как это было описано в (5). Скопления карликов, застревая в

холодных туманностях, порождают группы практически одновременно возникающих горячих гигантов (10).

Туманность, в которой возникли горячие гиганты, нагреваясь, превращается в светлую туманность и рассеивается в галактическом пространстве. То же самое может происходить и при столкновении туманностей (11). Впоследствии атомы рассеявшейся туманности застревают в других холодных туманностях, утрачивают свою кинетическую энергию при столкновениях с молекулами и, наконец, попадая на поверхность пылинки, сами входят в состав молекул. Таким образом вещество рассеивающихся горячих туманностей распределяется между холодными туманностями.

Горячий гигант, возгораясь в холодной туманности, нагревает туманность и тем самым исключает возможность дальнейшего превращения в этой туманности звезд-карликов в гиганты, ибо карлики могут захватывать в существенных количествах только очень холодный газ. При групповом захвате, когда в туманность погружено скопление звезд-карликов, вслед за первой звездой возгораются все те, которые уже совершили захват и окружены достаточно плотным облаком захваченного вещества. Судя по туманностям, описанным в (8), время существенного увеличения ультрафиолетового излучения разгорающегося голубого гиганта меньше, чем  $10^6$  лет, тогда как весь процесс захвата длится  $10^7$  лет.

Горячие гиганты образуются тем чаще, чем больше холодных туманностей и чем эти туманности холоднее и плотнее. С другой стороны, холодных туманностей тем меньше, чем чаще образуются горячие гиганты, разрушающие их. Взаимоотношение здесь такое же, как между видом животных-хищников и видом, служащим им пищей. Число объектов обоих видов регулируется процессом их взаимоотношений.

Ленинградский государственный  
педагогический институт  
им. А. И. Герцена

Поступило  
15 VII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. Eddington, *The Internal Constitution of the Stars*, Cambridge, 1924, p. 373—391. <sup>2</sup> А. И. Лебединский, ДАН, 92, № 3 (1953). <sup>3</sup> В. Strömgren, *Aph. J.*, 89, 526 (1939); *Астрофиз. сборн.* под ред. Н. Н. Парийского, М., 1949. <sup>4</sup> А. И. Лебединский, ДАН, 84, № 2 (1952). <sup>5</sup> Л. Э. Гуревич, А. И. Лебединский, ДАН, 83, № 6 (1952). <sup>6</sup> В. А. Амбарцумян, З. Р. Мустель, А. Б. Северный, В. В. Соболев, *Теоретическая астрофизика*, М., 1952, стр. 596—599. <sup>7</sup> Б. А. Воронцов-Вельяминов, *Газовые туманности и новые звезды*, М., 1948, фотогр. 11 и стр. 46. <sup>8</sup> Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, *Астр. журн.*, 30, № 2, 134 (1953). <sup>9</sup> Г. А. Шайн, В. Ф. Газе, *Атлас диффузных газовых туманностей*, М., 1952. <sup>10</sup> А. И. Лебединский, ДАН, 84, № 3 (1952). <sup>11</sup> J. H. Oort, *M. N.*, 106, 159 (1946).