

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 12

МАЙ, 1967

ВЫПУСК 2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПАКТНЫХ ОБЛАСТЕЙ НII В ГАЛАКТИКЕ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА

Т. Б. ПЯТУНИНА

Поступила 25 марта 1975

Пересмотрена 3 июля 1975

Показано, что холодные компактные области НII, возбуждаемые поздними О и ранними В звездами, располагаются преимущественно во внутренних спиральных рукавах Галактики, т. е. в рукавах Наугольник—Щит и Стрелец, в то время как горячие, возбуждаемые ранними О-звездами, преимущественно в рукаве Киль—Лебедь.

В предыдущей работе автора [1] по данным радиоконтинуума были получены распределения электронной температуры и плотности в зависимости от расстояния до центра возбуждения для 44 областей НII. Там же было показано, что все исследованные области НII могут быть разделены на две отличающиеся по ряду признаков группы: (1) горячие, с температурой в центре $T_{ee} > 7000^\circ\text{K}$, и (2) холодные, с $T_{ee} \leq 7000^\circ\text{K}$. Высказывалось предположение, что различие электронных температур в областях НII, принадлежащих разным группам, определяется, в основном, спектральным составом ионизирующего излучения. Поскольку значения электронной температуры вычислены нами по наблюдениям в радиоконтинууме, зависимость электронной температуры от спектра возбуждающих звезд предоставляет возможность грубой спектральной классификации возбуждающих звезд по радиоданным, свободным от поглощения в межзвездной среде, что особенно важно для гигантских областей НII, половина из которых вообще не отождествляется с какими-либо следами оптического излучения. Поэтому в настоящей работе это предположение обсуждается в свете новых данных, а также исследуется пространственное распределение областей НII разных типов в Галактике.

Остановимся прежде всего на отождествлении областей НII и возбуждающих их звезд. Отождествления исследованных областей НII взяты, в основном, из каталога Шавера и Госса [2] и дополнены автором по

опубликованным за последнее время данным. Из 44 исследованных областей НII отождествлена всего 21, только 11 отождествленных областей НII обнаруживают хотя бы частичную корреляцию распределений яркости в радиодиапазоне и в оптике. В этих областях НII осуществлен поиск возбуждающих звезд. В шести областях НII обнаружены вероятные возбуждающие звезды. Все они принадлежат к спектральным классам более ранним, чем О7. Очевидно, что объяснений этому может быть только два: либо гигантские области НII возбуждаются только звездами спектрального класса О9 и более ранних, как считают Мецгер и др. [3], либо возбуждающие звезды более поздних спектральных классов ненаблюдаемы в силу каких-то причин.

Если считать, что гигантские области НII возбуждаются исключительно звездами более ранними, чем О9, то значительный процент источников с $T_{\text{eff}} \leq 7000^\circ\text{K}$ в нашей выборке [1] может быть объяснен только при аффективном «охлаждении» ионизирующего излучения в пределах самой туманности. Причиной такого «охлаждения» может быть селективное поглощение наиболее энергичных квантов лаймановского континуума пылью. Так, Мецгер, Смит и Чарчвелл [3] полагают, что пыль поглощает кванты за пределом ионизации гелия ($\lambda < 504 \text{ \AA}$) в четыре раза более аффективно, чем кванты ($912 \text{ \AA} > \lambda > 504 \text{ \AA}$). В результате, средняя энергия, приходящаяся на один L_{H} -фотон, уменьшается, ионизирующее излучение «охлаждается». Энергия же, поглощенная пылью, переизлучается в инфракрасном диапазоне. Очевидно, что в таком случае наиболее мощные источники инфракрасного излучения должны быть связаны с низкотемпературными областями НII. Из-за отсутствия измерений в широком спектральном диапазоне полную инфракрасную светимость можно определить лишь для очень небольшого числа областей НII. Поэтому ограничимся статистикой обнаружений. Из 24 областей НII с $T_{\text{eff}} > 7000^\circ\text{K}$ в ИК-диапазоне обнаружено 18, а из 20 областей НII с $T_{\text{eff}} \leq 7000^\circ\text{K}$ только 3. Правда, холодные области НII имеют значительно более низкие потоки радиоизлучения, чем горячие. Если это вызвано большей удаленностью холодных областей НII от Солнца, то аналогичное соотношение будет наблюдаться и в инфракрасном диапазоне. Поэтому возможна некоторая наблюдательная селекция инфракрасных источников, связанных с исследованными областями НII. Минимальный поток радиоизлучения в выборке обнаруженных ИК-источников составляет ~ 20 ед. л. как для горячих, так и для холодных областей НII. Если ограничить выборку только источниками, поток от которых на высоких частотах превышает 20 единиц, то статистика будет такова: 22 горячие области НII — 18 инфракрасных источников, 9 холодных областей НII — 3 инфракрасных источника. Как видим, статистика явно противоречит предположению о том, что «охлаждение» ионизирующего излучения в областях НII с низкой температурой обусловлено пылью. Поэтому следует принять, что холодные области НII возбуждаются звездами с

низкой эффективной температурой: либо звездами умеренной массы ($M \leq 20 M_{\odot}$), находящимися на главной последовательности нулевого возраста, либо массивными протозвездами-сверхгигантами. В связи с этим интересно отметить, что в 6 из 44 исследованных областей НII обнаружены источники мазерного излучения OH/H₂O, которые, как полагают в настоящее время, связаны с коллапсом массивных протозвезд [4]. Все зоны, в которых обнаружено это излучение, имеют температуры выше 10000°K. То есть скопления, возбуждающие горячие области НII, либо моложе скоплений, возбуждающих холодные области НII, и именно поэтому не содержат коллапсирующих звезд, либо связанные с ними звезды более массивны, поскольку величина энергии, выделяющейся при коллапсе и определяющей накачку OH/H₂O мазера, прямо зависит от массы.

Рассмотрим возможность чисто наблюдательной селекции, препятствующей обнаружению возбуждающих звезд поздних спектральных классов. Ангерхофер, Чарчвелл и Уолмслей [5], исследуя радионизлучение оптически наблюдаемых областей НII из каталога Шарплесса, пришли к выводу, что области, возбуждаемые ранними О-звездами, как правило, ограничены по плотности, в то же время области, возбуждаемые более поздними звездами, ионизационно ограничены. Так как в газовой-пылевой комплекс, которым принадлежат гигантские области НII, очень велико поглощение, то вероятность отождествления ионизационно-ограниченной области НII должна быть ниже, чем области НII, ограниченной по плотности. Поэтому в том случае, если соотношение, найденное Ангерхофером и др. [5], выполняется и для гигантских областей НII, вероятность отождествления тех из них, которые возбуждаются поздними О- и ранними В-звездами, должна быть существенно ниже чем тех, которые возбуждаются ранними О-звездами. Таким образом, принадлежность всех отождествленных возбуждающих звезд к ранним О-звездам может быть объяснена чисто наблюдательной селекцией. Выдвинутому нами предположению о зависимости T_{ex} от спектра возбуждающих звезд это объяснение не противоречит. Действительно, хотя статистическая значимость расхождений между гистограммами T_{ex} для неотожествленных (рис. 1а) и отождествленных (рис. 1б) областей НII невелика, она скорее подтверждает, чем опровергает это предположение. Как видно из рис. 1с, безусловное большинство источников, у которых распределения яркости в оптике и радиодиапазоне коррелируют, имеют $T_{\text{ex}} > 7000^{\circ}\text{K}$ и все источники с отождествленными возбуждающими звездами — $T_{\text{ex}} \geq 9000^{\circ}\text{K}$.

Косвенным свидетельством того, ограничена ли область НII ионизационно или по плотности, может служить также соотношение размеров центрального плотного ядра области НII и разреженной оболочки. Структура типа ядро—оболочка является наиболее общей для гигантских областей НII, причем ядро характеризует вероятно ту конденсацию в первич-

ном облаке, из которой образовались возбуждающие звезды, а оболочка — периферические, менее плотные его части. Поэтому обширные оболочки должны чаще встречаться у ограниченных по плотности областей НII. Из рис. 2 видно, что горячие области НII в нашей выборке действительно имеют более развитые по сравнению с холодными оболочки.

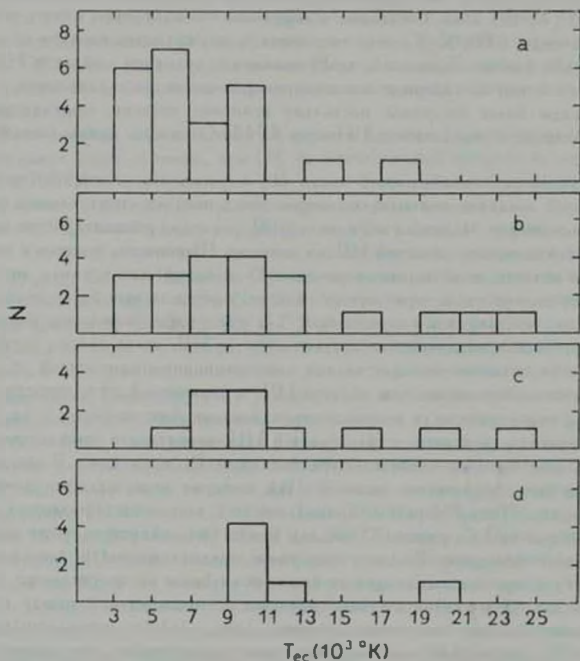


Рис. 1. Распределение электронных температур для (а) — неотождествленных источников, (б) — отождествленных источников, (с) — источников, в которых наблюдается хотя бы частичная корреляция распределений яркости в радиодиапазоне и в оптике, (d) — источников, в которых отождествлены вероятные возбуждающие звезды.

Таким образом, приведенная статистика отождествлений, мощности инфракрасного излучения, а также мазерного излучения в молекулярных линиях $\text{OH}/\text{H}_2\text{O}$, степени развития оболочки подтверждают сделанное ранее предположение о том, что горячие области НII возбуждаются ранними

О-звездами, в то время как холодные — поздними О-звездами и ранними В. Подтверждением этого вывода служит и статистика параметров возбуждения U. Из рис. 3 видно, что максимальный параметр возбуждения для горячих областей НII примерно в два раза выше, чем для холодных, что соответствует расхождению светимостей возбуждающих звезд на порядок. Примерно на порядок отличаются и потоки в L_r -континууме для звезд (О6—О7), с одной стороны, и (О9.5—В0), с другой. Однако максимальное значение параметров возбуждения для холодных областей НII около 150, что требует не менее 100 звезд О9.5 на главной последовательности нулевого возраста, либо около 5 звезд сверхгигантов. Первое требует сильных локальных отклонений от функции первичных масс Солпитера с резким обрывом при $M > 20 M_\odot$, второе — длиной шкалы эволюции гигантских областей НII, сравнимой со временем эволюции массивных возбуждающих звезд, т. е. $\sim 10^4$ лет.

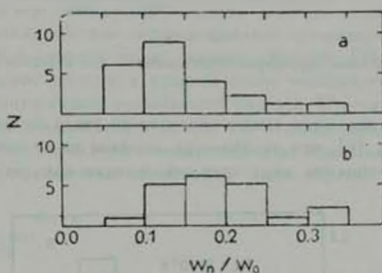


Рис. 2. Отношение размера горячего ядра W_h к полному размеру области НII W_0 для областей НII разных типов: (а) — горячих с $T_{\text{eff}} > 7000^\circ\text{K}$, (б) — холодных с $T_{\text{eff}} \leq 7000^\circ\text{K}$.

Для исследования пространственного распределения областей НII в Галактике удобно использовать галактические расстояния D_G , т. е. расстояния от источников до центра Галактики. Распределения D_G для областей НII разных типов приведены на рис. 4. Холодные области НII располагаются, в среднем, ближе к центру Галактики и заселяют, в основном, внутренние спиральные рукава, рукав Наугольник—Щит ($D_G = 5\text{—}6$ клс) и рукав Стрелец ($D_G = 8\text{—}9$ клс). В то же время рукав Киль—Лебедь ($D_G = 10\text{—}11$ клс) заселен почти исключительно горячими областями НII.

Как было показано выше, звезды, возбуждающие холодные области НII, либо менее массивные, либо более старые по сравнению со звездами, возбуждающими горячие области НII. В принципе, расщепление спирального рукава на различные возрастные группы возможно и действительно

наблюдается во внешних галактиках. Однако величина смещения спирального узора за 10^9 лет составит в окрестности Солнца не более 100 пс. Вре-

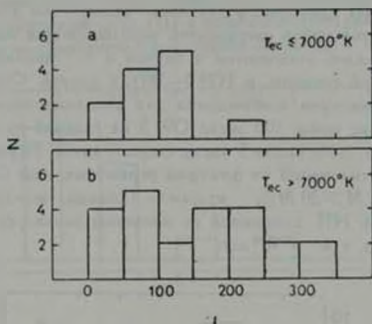


Рис. 3. Распределение параметров возбуждения U для холодных (а) и горячих (б) областей HII.

менной масштаб эволюции самого спирального узора составляет, вероятно, не менее 10^9 лет [6], что на два—три порядка выше времени эволюции O-звезд. Таким образом, различная локализация холодных и горячих об-

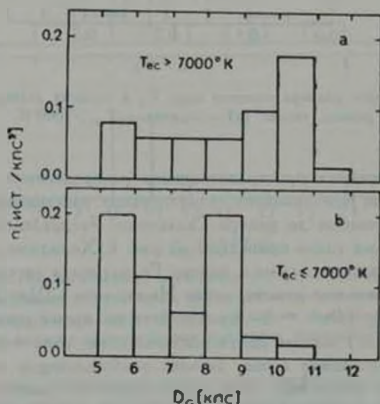


Рис. 4. Распределение областей HII разных типов по расстояниям до центра Галактики D_G .

ластей HII, вероятно, в первую очередь вызвана локальными условиями звездообразования в различных частях Галактики.

В 1971 году Сирл [7], а позднее Бенвенути и др. [8] обнаружили систематическое повышение степени возбуждения в областях HII, принадлежащих галактикам Sc, при удалении от галактических ядер. Сирл полагает, что это вызвано уменьшением относительного обилия кислорода и азота во внешних частях галактик, в то время как Бенвенути и др. основной причиной считают повышение температуры возбуждающих звезд в областях HII, расположенных во внешних частях галактик. Отметим, однако, что, как показал Тальбот [9], эффективность и скорость звездообразования существенным образом зависят от относительного обилия тяжелых элементов, и, таким образом, от аномалии химсостава мы вновь можем прийти к аномалии возбуждающих звезд.

В рамках волновой теории спиральной структуры основным фактором, способствующим уплотнению облаков межзвездного газа и развитию гравитационной неустойчивости, является система ударных волн, возникающих при взаимодействии дифференциально вращающегося газа со спиральной волной плотности. Как показал Робертс [10], эффективность уплотнения газовых облаков в ударной волне уменьшается с увеличением расстояния от внутреннего резонансного радиуса. И хотя численные оценки произвести сложно, можно полагать, что условия звездообразования во внутренних частях Галактики благоприятствуют образованию звезд малой массы, так как критическая джинсовская масса обратно пропорциональна плотности.

Ленинградский филиал
САО АН СССР

THE DISTRIBUTION OF COMPACT REGIONS HII IN THE GALAXY AND THE PECULARITY OF THEIR HEAT REGIME

T. B. PYATUNINA

The compact HII regions with low electron temperature populate mostly inner spiral arms of our Galaxy (the Norma — Scutum and the Sagittarius arms). The outer Cygnus — Carina arm is populated almost completely by hot HII regions.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Б. Пятунина. Изв. САО АН СССР. 7. 101, 1974.
2. P. A. Shaver, W. M. Goss, Austr. J. Phys., Astrophys., Suppl. ser., 14, 133, 1970.
3. P. G. Mezger, L. Smith, E. E. Churchwell, Astron. Astrophys., 32, 269, 1974.
4. П. Мецгер. Космическая газодинамика, Мир, М., 1972, стр. 385.
5. P. Angerhofer, E. E. Churchwell, M. Walmsley, Astron. Gesellschaft Mitt., 32, 269, 1973.
6. A. Toomre, Ap. J., 158, 899, 1969.
7. L. Searle, Ap. J., 168, 327, 1971.
8. P. Benvenuti, S. D'Odorico, V. Peimbert, Astron. Astrophys., 28, 447, 1973.
9. R. J. Tulbot, Jr. Ap. J., 189, 209, 1974.
10. W. W. Roberts, Ap. J., 158, 123, 1969.