

УДК: 524.523

О СВЯЗИ Н II-ОБЛАСТЕЙ С МОЛЕКУЛЯРНЫМИ
ОБЛАКАМИ ГАЛАКТИКИ

Л. В. МИРЗОЯН, В. В. АМБАРЯН

Поступила 12 ноября 1985

Обсуждаются результаты радионаблюдений в линии CO ($J = 1-0$) оптических Н II-областей. Приведены аргументы, подтверждающие генетическую связь Н II-областей с молекулярными облаками. Показано, что отсутствие ассоциированного CO-излучения у оптической Н II-области можно объяснить либо наблюдательной селекцией (низкой поверхностной яркостью), либо тем, что соответствующие Н II-области возбуждаются ОВ-звездами, уже вышедшими из своих «материнских» молекулярных облаков. Генетическая связь оптических Н II-областей с CO-облаками может быть рассмотрена как свидетельство в пользу того, что молекулярные облака являются составной частью звездных ассоциаций.

Открытие звездных ассоциаций как очагов звездообразования в Галактике, в которых процесс формирования звезд в настоящее время продолжается (см., например, [1]), стимулировало разнообразные наблюдения, подтверждающие новое представление об образовании звезд в современную эпоху.

Среди них важную информацию содержат радиоастрономические наблюдения молекулярных облаков, являющихся очагами звездообразования, с которыми очень часто связаны источники мазерного излучения Н₂O и OH, инфракрасные источники и другие весьма молодые нестационарные объекты.

В настоящей заметке рассматривается вопрос о связи молекулярных облаков с Н II-областями на основе наблюдательных данных.

С этой целью мы использовали результаты поисков CO-облаков в направлении оптических Н II-областей.

Обширный обзор радионаблюдений оптических Н II-областей в линии CO ($J = 1-0$) с $\lambda = 2.6$ мм был представлен Блитцем и Штарком [2]. Этот обзор содержит CO-наблюдения 352 Н II-областей (288 из каталога Шарплесса [3] и 64 — из карт Паломарского атласа).

Результаты этих радионаблюдений, представленных в табл. 1, показывают, что среди наблюдаемых оптических Н II-областей 242 (69%) ассоциированы, а 43 (12%) не ассоциированы с СО-облаками. Для остальных Н II-областей из этого обзора ассоциирование с СО-облаками либо вероятно, (29—8%), либо сомнительно или невероятно (38—11%).

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОНАБЛЮДЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ Н II-ОБЛАСТЕЙ
В ЛИНИИ СО ($J = 1 - 0$), СОГЛАСНО ОБЗОРУ БЛИТЦА И ШТАРКА [2]

| Н II-области | Из каталога Шарплесса [3] | Из карт Паломарского атласа | Всего |
|--|---------------------------|-----------------------------|-----------|
| Общее число | 288 | 64 | 352 |
| Из них: | | | |
| Ассоциированы с СО | 194 | 48 | 242 (69%) |
| Вероятно ассоциированы с СО | 26 | 3 | 29 (8%) |
| Сомнительное и невероятное ассоциирование с СО | 30 | 8 | 38 (11%) |
| Не ассоциированы с СО | 38 | 5 | 43 (12%) |

Исходя из того факта, что в ряде случаев установление ассоциирования оптических Н II-областей с СО-облаками затруднено из-за наличия нескольких компонентов радиальной скорости у них, Блицц и Штарк [2] считают, что в действительности около 80% исследованных оптических Н II-областей ассоциированы с молекулярными облаками.

Таким образом, рассмотренные данные СО-наблюдений оптических Н II-областей дают веское основание допустить, что наблюдаемая связь Н II-областей с молекулярными облаками не случайная, а генетическая. При справедливости этого допущения отсутствие ассоциированного СО-излучения у Н II-области может быть объяснено либо наблюдательной селекцией, либо тем, что она возбуждается ОВ-звездами, уже вышедшими из своего «материнского» молекулярного облака.

Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Очевидно, что первая из указанных причин — наблюдательная селекция может быть вызвана различием поверхностной яркости исследованных оптических Н II-областей. Имеющиеся наблюдательные данные об оптической яркости Н II-областей каталога Шарплесса [3] подтверждают это предположение.

Действительно, из наблюдаемых в СО-линии 288 оптических Н II-областей, согласно каталогу Шарплесса [3], 75 являются ярчайшими, 127 — промежуточной яркости и 86 — слабейшими.

Результаты обнаружения ассоциирования с СО-облаками для Н II-областей, входящих в каждую из этих трех групп, представлены в табл. 2.

Они свидетельствуют о том, что корреляция обнаружения радиолинии СО от оптической яркости Н II-области практически однозначная: чем слабее в оптических лучах Н II-области, тем больше среди них число Н II-областей, не ассоциированных с СО-облаками.

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ОПТИЧЕСКИХ Н II-ОБЛАСТЕЙ РАЗНЫХ ЯРКОСТЕЙ, ПО ШАРПЛЕССУ [3], В ЛИНИИ СО ($J = 1 - 0$), СОГЛАСНО ОБЗОРУ БЛИТЦА И ШТАРКА [2]

| Н II-области | Ассоциированы с СО | Вероятно ассоциированы с СО | Сомнительное и невероятное ассоциирование с СО | Не ассоциированы с СО |
|-----------------------|--------------------|-----------------------------|--|-----------------------|
| Ярчайшие | 65 (87 %) | 3 (4 %) | 4 (5 %) | 3 (4 %) |
| Промежуточной яркости | 85 (67 %) | 16 (13 %) | 13 (10 %) | 13 (10 %) |
| Слабейшие | 44 (51 %) | 7 (8 %) | 13 (15 %) | 22 (26 %) |

В результате, относительное число оптических Н II-областей, ассоциированных с СО-облаками, регулярно растет, а число Н II-областей, не ассоциированных с СО-облаками, убывает со средней оптической яркостью.

Данные обзора радионаблюдений оптических Н II-областей в непрерывном спектре (на частоте 1400 МГц), выполненного Фелли и Черчиллем [4], по-видимому, не противоречат этому выводу. Согласно этому обзору [4], из исследованных 168 Н II-областей из каталога Шарплесса [3] только 137 (80%) излучают на частоте 1400 МГц, а остальные не имеют заметного радиоизлучения.

Интересно отметить в связи с этим, что больше половины оптических Н II-областей, в направлении которых не обнаружено СО-радиоизлучение, являются слабейшими по яркости не только в оптической области спектра, но также, по всей вероятности, на частоте 1400 МГц. Вычисленная по данным обзора Фелли и Черчилля [4] средняя плотность потока на частоте 1400 МГц для 38 оптических Н II-областей, не ассоциированных с СО-облаками, более чем в 3 раза меньше, чем для 60 Н II-областей, ассоциированных с СО-облаками.

Важно отметить, что радионаблюдения Н II-областей в непрерывном спектре и в линии СО, в большинстве случаев, согласуются друг с другом. Так, например, около 60% радиоспокойных оптических Н II-областей из обзора Фелли и Черчилля [4], согласно исследованию Блитца и Штарка [2], не имеют ассоциированного СО-излучения.

Заслуживает внимания и тот факт, отмеченный Блитцем и Штарком [2], что 34% радиоспокойных Н II-областей из обзора Фелли и Черчилля [4] связаны с молекулярными облаками и, наоборот, 13% Н II-облас-

тей, показывающих сильное непрерывное излучение на частоте 1400 МГц, в линии СО, являются «голыми».

Рассмотренные выше данные можно рассматривать как веское свидетельство в пользу нашего допущения о том, что отсутствие ассоциированного СО-излучения у некоторых Н II-областей обусловлено наблюдательной селекцией. Иначе говоря, эта часть Н II-областей, у которых не обнаружено СО-излучение, на самом деле также связаны с молекулярными облаками.

Следовательно, доля Н II-областей, связанных с молекулярными облаками, должна быть заметно больше 80%.

Как было отмечено выше, имеется и вторая причина отсутствия ассоциированного СО-излучения у оптических Н II-областей. Именно, в некоторых случаях, отсутствие ассоциированного СО-излучения у оптической Н II-области может быть обусловлено тем, что соответствующая Н II-область возбуждается ОВ-звездами — «беглецами» из своего «материнского» молекулярного облака (Н II-области).

В пользу такого объяснения в этих случаях можно привести следующий примечательный результат. Согласно исследованию Круз-Гонзалес и др. [5], средний радиальный компонент пекулярных скоростей и среднее расстояние от плоскости симметрии Галактики (z -координата) для ОВ-звезд, находящихся внутри плотных Н II-областей, значительно меньше (14.6 км с^{-1} и 54 пк, соответственно), чем для ОВ-звезд, расположенных вне плотных Н II-областей (22.9 км с^{-1} и 108 пк, соответственно). Этот наблюдательный факт может быть просто объяснен как следствие того, что О-звезды (следует думать, что вообще все звезды, возбуждающие Н II-области), наблюдаемые вне плотных Н II-областей, являются выходцами из первоначально связанных с ними («материнских») Н II-областей.

Отметим далее, что в пользу представления о том, что некоторые Н II-области возбуждаются ОВ-звездами, уже вышедшими из мест своего формирования, свидетельствует также другой результат, полученный в той же работе Круз-Гонзалес и др. [5]. Оказывается, что более 20% О-звезд удаляются от областей своего формирования благодаря большим пространственным скоростям движения (звезды-«беглецы»). Очевидно, имеются основания считать, что этот результат, характеризующий большую дисперсию скоростей образующихся в ассоциациях звезд, относится не только к О-звездам.

Конечно, не все быстролетающие ОВ-звезды должны находиться в настоящее время вне «материнских» Н II-областей. В зависимости от своего возраста и пекулярной скорости некоторые из них могут еще находиться в них. В этих случаях соответствующие звезды и возбуждаемые ими Н II-области должны быть связаны с молекулярными облаками.

Некоторым подтверждением сказанного могут служить данные об О-звездах-«беглецах», ассоциированных и не ассоциированных с СО-облаками.

Из 72 О-звезд-«беглецов» из каталога Круз-Гонзалес и др. [5] 37 связаны с оптическими Н II-областями, включенными в список Шарплесса [3]. Согласно обзору Блитца и Штарка [2], 15 из этих Н II-областей ассоциированы, 3 — вероятно ассоциированы с молекулярными облаками СО, а одна является остатком сверхновой*. Остальные 18 оптических Н II-областей не ассоциированы с СО-облаками.

После исключения из рассмотрения остатка сверхновой и Н II-области, возбуждаемой О-звездой № 460 из каталога [3], у которой z -координата очень большая (1530 пк) для Н II-областей, ассоциированных и не ассоциированных с СО-облаками, мы вычислили среднюю пекулярную радиальную скорость — V_{rp} и z -координату (абсолютные величины), которые представлены в табл. 3 (во втором ее столбце приводятся числа Н II-областей — n).

Таблица 3

СРЕДНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ О-ЗВЕЗД-«БЕГЛЕЦОВ», ВОЗБУЖДАЮЩИХ Н II-ОБЛАСТИ, ВЫЧИСЛЕННЫЕ ПО РАБОТЕ КРУЗ-ГОНЗАЛЕС И ДР. [5]

| Н II-области | n | $ V_{rp} $ | $ z $ (пк) |
|---|-----|------------|------------|
| Ассоциированы или вероятно ассоциированы с СО | 18 | 79.6 | 43.9 |
| Не ассоциированы с СО или ассоциирование сомнительное и невероятное | 17 | 211.7 | 56.5 |

Данные табл. 3 можно рассматривать как подтверждение вышеуказанного допущения о пространственном распределении О-звезд-«беглецов» относительно молекулярных облаков.

С рассматриваемой точки зрения представляет определенный интерес наличие ассоциированного СО-излучения в зависимости от расположения оптической Н II-области относительно плоскости симметрии Галактики. Соответствующие данные представлены в табл. 4, где для каждой группы оптических Н II-областей отдельно приведены средняя z -координата и средняя галактическая широта — b (абсолютные величины). В скобках рядом с этими величинами указано число Н II-областей, для которых были выполнены вычисления.

Данные, относящиеся к z -координате, показывают, что Н II-области, не ассоциированные с СО-облаками, являются объектами, находящимися, в среднем, значительно дальше от плоскости симметрии Галактики, чем

* Возможно также, что некоторые из наблюдаемых Н II-областей, не показавших СО-излучения, могут оказаться планетарными туманностями.

остальные Н II-области. Это подтверждается и данными о средней галактической широте b исследованных Н II-областей, относящихся к большему числу объектов.

Таблица 4

АССОЦИИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ Н II-ОБЛАСТЕЙ С МОЛЕКУЛЯРНЫМИ ОБЛАКАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ПЛОСКОСТИ СИММЕТРИИ ГАЛАКТИКИ, СОГЛАСНО ОБЗОРУ БЛИТЦА И ШТАРКА [2]

| Н II-области | $ z $ (пк) | $ b $ |
|--|------------|------------------------|
| Ассоциированы с СО | 78.6 (122) | 4.3 ⁰ (194) |
| Вероятно ассоциированы с СО | 63.2 (12) | 1.5 (26) |
| Сомнительное и невероятное ассоциирование с СО | 37.2 (11) | 3.6 (30) |
| Не ассоциированы с СО | 188.3 (10) | 9.2 (38) |

Следовательно, указанный результат является дополнительным подтверждением представления о том, что среди оптических Н II-областей, не ассоциированных с СО-облаками, действительно, имеются Н II-области, возбуждаемые ОВ-звездами-«беглецами» из «материнских» молекулярных облаков.

Естественно, возникает вопрос об относительной эффективности двух рассмотренных выше причин: наблюдательной селекции и возбуждения оптических Н II-областей ОВ-звездами-беглецами, вследствие которых может быть отсутствие ассоциированного СО-излучения (молекулярные облака) у небольшой части Н II-областей.

Используя данные табл. 2 и 4, можно грубо оценить отношение чисел оптических Н II-областей, из обзора Блитца и Штарка [2], отсутствие у которых ассоциированного СО-излучения можно объяснить соответствующими причинами. Оказывается, что это отношение приблизительно равно 3, то есть наблюдательная селекция — значительно более эффективная причина.

Отметим, наконец, что о тесной связи оптических Н II-областей с молекулярными облаками свидетельствуют и данные, полученные Фичем, Трефферсом и Блитцом [6] об относительных скоростях ионизованного газа в Н II-областях и нейтрального газа в ассоциированных с ними молекулярных облаках. Согласно этим данным, для 151 оптической Н II-области нашей Галактики, ассоциированной с молекулярными СО-облаками, средняя разность скоростей составляет всего 1.4 ± 0.4 км с⁻¹ с дисперсией 4.6 км с⁻¹. Вместе с тем, они указывают на то, что основная масса ионизованного газа в большинстве исследованных Н II-областей стекает из ассоциированных с ними молекулярных облаков со скоростями 5—10 км с⁻¹.

Таким образом, рассмотренные выше наблюдательные данные дают веские основания заключить, что существует тесная связь между оптическими H II-областями и молекулярными облаками: каждая H II-область связана в настоящее время или была связана в период своего формирования с молекулярными облаками.

Следует отметить, однако, что для рассмотрения обратной задачи о том, все ли молекулярные облака связаны с оптическими H II-областями, имеющиеся в настоящее время наблюдательные данные далеко недостаточны. В пользу положительного ответа на этот вопрос можно лишь отметить, что в большинстве из отдельных исследованных случаев такая связь имеет место, а анализ радионаблюдений в линии CO ($J = 1-0$), выполненный Ковном, Конгом и Таддеусом [7], показал, что молекулярные облака, как и H II-области, распределяются в спиральных рукавах Галактики.

Наблюдательный факт связи H II-областей с молекулярными облаками, в свете генетической связи большинства H II-областей с возбуждающими их OB-звездами, составляющими характерное население OB-ассоциаций, в свою очередь, может быть рассмотрен как свидетельство в пользу того, что молекулярные облака являются составной частью звездных ассоциаций.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

ON THE CONNECTION OF HII-REGIONS WITH MOLECULAR CLOUDS OF GALAXY

L. V. MIRZOYAN, V. V. AMBARIAN

The results of the radio observations of optical HII-regions in CO-line ($J = 1-0$) are discussed. The arguments are given which testify the genetic connection of HII-regions with molecular clouds. It has been shown that the absence of the associated CO-emission in some HII-regions can be explained as a consequence of either observational selection (low surface brightness) or the fact that the corresponding HII-regions are excited by OB-stars which have already left their "placental" molecular clouds. The genetic connection of optical HII-regions with molecular clouds can be considered as an evidence in favour of the idea that the molecular clouds are components of stellar associations.

ЛИТЕРАТУРА

1. V. A. *Ambartsumian*, Discours Introductif au Symposium sur l'Evolution des Etoiles, Transactions of the IAU, Vol. 8, ed. P. Th. Oosterhoff, University Press, Cambridge, 1954, p. 665.
2. L. *Blitz*, A. A. *Stark*, Regions of Recent Star Formation, eds. R. S. Roger, P. E. Dewney, Reidel, Dordrecht-Boston-London, 1982, p. 251.
3. S. *Sharpless*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 4, 257, 1959.
4. M. *Felli*, E. *Churchwell*, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 5, 369, 1972.
5. C. *Cruz-Gonzalez*, E. *Recillas-Cruz*, R. *Costero*, M. *Peimbert*, S. *Torres-Peimbert*, *Rev. Mex. Astron. y Astrophys.*, 1, 211, 1974.
6. M. *Fich*, R. R. *Treffers*, L. *Blitz*, Regions of Recent Star Formation, eds. R. S. Roger, P. E. Dewney, Reidel, Dordrecht-Boston-London, 1982, p. 201.
7. R. S. *Cohen*, H. *Cong*, T. M. *Thaddeus*, *Astrophys. J.*, 239, L. 53, 1980.