

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 15

НОЯБРЬ, 1979

ВЫПУСК 4

УДК 523.872

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ R MON И NGC 2261. II

Дж. А. ГРИНСТЕГН, М. А. КАЗАРЯН, Т. Ю. МАГАКЯН, Э. Е. ХАЧИКЯН

Поступила 16 мая 1979

Выполнен анализ наблюдательного материала для туманности NGC 2261 и ее ядра R Mon. Показано, что лучевая скорость линий поглощения R Mon мало меняется со временем, в среднем составляя -40 км/с. Лучевая скорость по эмиссионным линиям равна $+53$ км/с по линии Fe II и $+29$ км/с по линиям H.

Фиолетовое смещение линий поглощения в спектре NGC 2261 относительно R Mon сохраняется со временем. Лучевая скорость линий [O II] у NGC 2261 не согласуется со значениями для других линий этой туманности, а также с лучевыми скоростями других объектов в ее окрестностях.

Предложена модель туманности, в которой неподвижный относительно звезды пылевой конус обтекается плотным слабо возбужденным газом, движущимся с ускорением вдоль направления оси конуса. Считается, что линии поглощения, присутствующие только в спектре туманности, возникают в газовом слое на фоне отраженного непрерывного спектра R Mon.

В настоящей статье, являющейся продолжением [1], сделана попытка анализа имеющегося наблюдательного материала по NGC 2261 и R Mon. Делаются заключения относительно физических характеристик NGC 2261 и ее ядра R Mon и предложена качественная модель туманности.

1. R Mon. а) *Спектральный тип и классификация.* В настоящее время отнесение наблюдаемого ядра туманности NGC 2261 R Mon к молодым объектам (так называемому «орлиному населению») является общепризнанным. Как было показано Хербигом [2], оно не является звездой, а напоминает треугольник со сторонами в $5''$. Однако эта, своего рода, «кома» отличается от малых околозвездных туманностей некоторых звезд типа Т Тау (сама Т Тау, HL Тау), в спектрах которых содержится богатый

набор сильных запрещенных эмиссий, в то время, как у R Моп наблюдаются только довольно слабые линии [S II], [Fe II] и, возможно, еще [O I] [1, 3]. Кроме того, инфракрасные и поляризметрические наблюдения указывают на присутствие в ней больших масс пыли [4—11]. Направления поляризации у R Моп и самых близких к ней частей туманности мало отличаются. Поэтому можно согласиться с существующим мнением, что звезда глубоко погружена в толщу пылевой туманности и недоступна непосредственным наблюдениям.

Линейчатый спектр R Моп изучался систематически с 1941 г. [1—3, 12—16]. По довольно узким линиям поглощения подорда и ионизованного кальция он условно классифицируется как Аер. Но этот спектр полностью определяется внутренней, околозвездной оболочкой, поскольку все линии узки и имеют большие отрицательные лучевые скорости (см. ниже). Спектральный класс R Моп остается неизвестным; в частности, фотосферного спектра поглощения, наблюдающегося у звезд типа Т Тау, здесь не имеется. По эмиссионному спектру имеется сходство с V 380 Ori и Lk H. 120 [14, 17].

По-видимому, R Моп не относится к звездам типа Т Тау, как предполагал Джой [12]. Это было отмечено Хербигом еще в 1960 г., включившим R Моп в класс звезд Ве/Ае, связанных с туманностями [14]. Авторы также склонны считать, что R Моп является звездой раннего класса. По нашим спектрограммам у линий поглощения бальмеровской серии, начиная с H_{α} — H_{δ} , длинноволновые края линий более размыты и кажутся имеющими крылья, в то время как коротковолновые края очень резки. Такой асимметричной картины и следовало бы ожидать, если вращательное уширение линий не очень велико; у первых членов серии ее мешают рассмотреть эмиссионные компоненты. Многие другие Ве/Ае-звезды также имеют широкие крылья у бальмеровских линий поглощения [14, 18]. Высокая светимость R Моп также лучше согласуется с предположением о ее раннем спектральном классе.

После опубликования нашей первой статьи [1] 28 марта 1978 г. была получена еще одна спектрограмма R Моп (U 36) с помощью телескопа ЭТА-2.6 Бюраканской обсерватории и спектрографа UAGS [19]. При небольшой дисперсии ≈ 135 А/мм разрешение оказалось достаточно хорошим для сравнения со спектрами, описанными ранее. Обнаружено возрастание интенсивностей линий [Fe II] относительно Fe II.

6) *Профили линий.* Первые члены бальмеровской серии (до H_{δ}) и линия К Ca II (линия H блендируется с H_{δ}) имеют двугорбый вид: бальмеровские линии полностью соответствуют профилям III типа P Cyg по классификации Билса [20]. Есть основания считать, что провал, разделяющий эмиссионные линии H_{α} и H_{β} на два компонента, вызван погло-

щением. Этот абсорбционный компонент опускается на наших спектрах ниже уровня континуума, начиная с H_1 , а при дальнейшем возрастании номера линии наблюдается плавный переход от двугорбых профилей к чисто абсорбционным линиям. Можно заподозрить существование также и других, более слабых абсорбционных компонентов, как у некоторых звезд Ве/Ае из списка Хербига [21].

На спектрограмме U 36 линии H_2 и H_3 имеют, как и раньше, сложные профили. У H_2 наблюдаются уже только следы эмиссии с красной стороны. Что касается линии К Са II, то она, как и на спектрах в [1], имеет эмиссионные компоненты почти равной интенсивности. Однако в данном случае центральная абсорбция стала несколько сильнее, и, по-видимому, опускается ниже континуума. Из эмиссионных компонентов, в отличие от предыдущих спектрограмм, сильнее длинноволновый. Ранее соотношение интенсивностей их было обратным и при этом противоположным наблюдающемуся у бальмеровских линий.

Для объяснения вида профилей линий R Mon, на наш взгляд, лучше подходит гипотеза о протяженной расширяющейся атмосфере. Для образования профилей III типа, согласно Билсу [20] и Кюн [23, 24] оболочка должна расширяться с замедлением, что оспаривалось, в частности, Ван Блеркомом [22], но приведенные им профили соответствуют I, а не III типу P Cyg. Во всяком случае, предположение о выбросе вещества из оболочки R Mon кажется естественным и согласуется с наблюдательными данными.

в) *Лучевые скорости.* Вопрос о лучевых скоростях линий R Mon заслуживает особого внимания из-за наличия нескольких их систем. •

Как было указано нами [1], по эмиссионным линиям Fe II $V_r = +48$ км/с. Это значение V_r согласуется со значением $+58$ км/с, приведенным Стоктоном и др. [3]. По водородным же линиям лучевая скорость, по нашим измерениям, в среднем близка к $+100$ км/с. Это кажущееся противоречие исчезает, если заметить, что эта большая скорость измерена по длинноволновым (более интенсивным) эмиссионным компонентам бальмеровских линий. Для профилей III типа P Cyg она не должна совпадать с истинной лучевой скоростью звезды. Хербиг [25] отмечает, что лучевая скорость линии H_2 , измеренная по двугорбому профилю, взятому как целое, достаточно близка к собственной скорости звезды, определенной по фотосферному абсорбционному спектру, а также к скоростям других эмиссионных линий в красной области спектра. Скорость линии H_1 по середине профиля на спектрограммах Pd 12740 и Pd 11542 составляет $+37$ и $+22$ км/с, соответственно. В пределах ошибок измере-

* Здесь и ввиду в статье используются гелиоцентрические лучевые скорости.

ний эти значения лучше согласуются со скоростями, определенными по линиям Fe II, хотя остается некоторое различие.

Скорость по линиям Fe II, которые не искажены абсорбциями, должна быть, по-видимому, ближе к истинной скорости R Моп. Но эта скорость не согласуется с радионаблюдениями в линии CO (см. ниже) и вообще велика для объектов орionoва населения. Возможно, что это различие связано со структурой оболочки.

Для понимания физической природы туманности NGC 2261 очень важны возможные изменения V_r абсорбционных линий R Моп со временем. Наличием таких изменений и «разверткой» их по туманности Стоктон и др. [3] объясняют сильное фиолетовое смещение этих линий в спектре NGC 2261. Сопоставим поэтому доступные измерения V_r (табл. 1). С целью увеличить число данных мы измерили V_r также по спектрограмме ES 361, полученной Хербигом и любезно предоставленной нам для обработки, и по новой пластинке U 36.

Таблица 1

ЛУЧЕВАЯ СКОРОСТЬ АБСОРБЦИОННЫХ ЛИНИЙ
В СПЕКТРЕ R МОН

Спектрограмма	V_r (км/с)	Дата
Джой [12]	-12	30.10.1941
ES 361	-52 - 27	19.1.1963
R* 10399	-20 ± 9	7.1.1968
N 3366	-60 - 43	2.2.1968
Pd 11542	-38 (H α)	17.12.1969
Pd 12733	-45 - 21	9.2.1972
Pd 12740	-49 (H α)	21.2.1972
Зайцева и Колотилов [26]	-110 (H α)	13 и 20.3.1972
Стоктон и др. [3]	-27 ± 9	1-4.1974
U 36	-65 - 51	23.3.1978

Несмотря на довольно большой период времени, охваченный наблюдениями, скорости различаются, в общем, незначительно. Можно предполагать, что разброс вызван частично ошибками, а частично — переменностью V_r . Тем не менее, значения порядка — 220 км/с, которые наблюдаются в туманности и которые, по гипотезе «развертки» [3], должны наблюдаться в некоторые моменты также и у R Моп, здесь отсутствуют.

Из общего ряда выпадают лишь значения V_r , полученные Джоем [12] и Зайцевой и Колотиловым [26]. Данные Джоя получены по единственной спектрограмме невысокой дисперсии и представляются недостаточно надежными. Что же касается измерений [26], то, сопоставляя их с

нашими данными, следует допустить, что отрицательная скорость абсорбционных линий за время порядка 20 суток возрасла более чем вдвое.

Это значение, полученное по абсорбционному обращению в $H\alpha$, пока является единственным. Наконец, дисперсия спектра U 36 недостаточна для уверенных измерений V_r , и этим, вероятно, вызвана большая среднеквадратическая ошибка. Лучевая скорость абсорбционных линий в спектре R Mon, вероятно, колеблется, но не показывает изменений больше ± 40 км/с.

2. NGC 2261. а) *Описание*. Среди других кометарных туманностей NGC 2261 выделяется сильной переменностью формы, открытой Хабблом в 1916 г. [27]. С того времени переменность туманности была прослежена на протяжении примерно сорока лет. За последние двадцать лет, однако, заметных изменений ее формы не наблюдается.

Фотометрические, колориметрические и поляриметрические наблюдения туманности проводились неоднократно [10, 28—31]. Было надежно установлено, что она по интегральной яркости превосходит R Mon (нарушается соотношение Хаббла), но наблюдаемая поляризация и показатели цвета не противоречат ее отражательной природе. То же относится к ее непрерывному спектру [15, 16]. Что же касается ее линейчатого спектра, то, как неоднократно отмечалось в литературе [1—3, 15, 16, 32], некоторые факты заставляют сомневаться в его чисто отражательном характере.

б) *Спектр туманности*. Спектральные исследования NGC 2261, начиная с пионерской работы Слайфера [33], остаются еще немногочисленными. Основные наблюдательные данные содержатся в работах [1, 3, 13, 15, 16]*.

Если в туманности присутствует дополнительная эмиссия и абсорбция в линиях, это должно внести различия со спектром R Mon. Такие различия действительно есть.

Сперва рассмотрим эмиссионный спектр NGC 2261. Эквивалентные ширины большинства линий металлов (Fe II, Ti II и др.) в спектрах R Mon и туманности согласуются друг с другом, а соответствующие лучевые скорости неизменны. Поэтому можно полагать, что эти линии являются результатом отражения спектра R Mon на пыли.

Более сложно обстоит дело с эмиссионными компонентами линий водорода и ионизованного кальция, а также с линией λ 3727 [O II], которая отдельно будет рассмотрена ниже. Для бальмеровских линий увеличение

* В статье [1] по недоразумению высота щели при получении спектров N 3358, N 3367 и N 3377 была указана неправильно, вследствие чего на рис. 5 статьи [1] масштаб оказался завышен. Картина распределения лучевых скоростей абсорбционных линий по туманности приведена на рис. 1 настоящей статьи.

эквивалентных ширин их эмиссионных компонентов в туманности по сравнению с R Моп [1, 16] в работе [3] объясняется проектированием на NGC 2261 внешней части области H II NGC 2264. Однако постоянство этого эффекта, как следовало бы ожидать в таком случае, по-видимому, не соблюдается, согласно [13] и нашим наблюдениям. Во всяком случае, судя по тому, что эмиссия Ca II в туманности определенно наблюдается, наличие эмиссии подорода также возможно. В частности, поляризация излучения R Моп несколько меньше в H_β, чем в соседних участках спектра — как будто увеличивается доля неотраженного излучения по сравнению с континуумом. Возможно, что некоторая часть эмиссии H_β возникает снаружи пылевой оболочки R Моп. Правда, наблюдаемое различие [10] почти не выходит за пределы ошибок, а для NGC 2261 наблюдения такого рода пока не проводились.

Что же касается линий H и K Ca II, то их эмиссионные компоненты должны, очевидно, возникать в самой туманности или иметь отражательную природу, поскольку в обычных областях H II эти линии не наблюдаются. В [15] отмечается, что в принципе в туманности может присутствовать слабая собственная эмиссия, но она будет маскироваться отраженным спектром R Моп. Нам, возможно, удалось выявить следы этой эмиссии. Рассмотрим профили линий H_γ, H_β и K по спектрограммам N 3367 и N 3377 на разных расстояниях от R Моп (рис. 2). Первая из спектрограмм соответствует восточному, а вторая — западному краю туманности. Видно, что на спектрограмме N 3377 линия K имеет эмиссионный компонент с фиолетовой стороны, а на N 3367 — с красной; эти компоненты появляются с удалением от R Моп. Растет также и поглощение — на спектрограмме N 3377 линия K вначале вообще невидима. Похожая картина описана для линии K в [3], хотя наблюдения разделены шестью годами. Если придерживаться идеи о «развертке» спектра R Моп по туманности, то остается непонятным, как для разных краев туманности могут образоваться прямо противоположные профили линии K. В профилях H_γ и H_β наблюдаются следы того же эффекта: на спектрограмме N 3377 линии H_γ и H_β имеют двугорбый вид вдоль всего спектра, а на спектрограмме N 3367 они имеют коротковолновый эмиссионный компонент только вначале, затем он исчезает.

Если считать, что дополнительная эмиссия действительно относится к туманности, то ее смещение в разные стороны от абсорбционной линии для разных краев туманности наводит на мысль о вращении, вследствие чего западный край ее должен приближаться к нам, восточный же — удаляться. Скорость вращения оценить трудно из-за сильного влияния линий поглощения. Максимальные сдвиги эмиссионных компонентов линии K дают: $V \sin i \approx 230$ км/с, но реальная скорость, вероятно, меньше.



Рис. 1. Лучевые скорости, определенные по линиям поглощения в спектре NGC 2261. Приведенные значения усреднены по измерениям нескольких спектрограмм.

К ст. Дж. А. Гринстейна и др.

В абсорбционном спектре туманности NGC 2261 можно считать достаточно надежно установленными два эффекта. Первый из них — сильное фиолетовое смещение линий поглощения, растущее с удалением от R Mon.

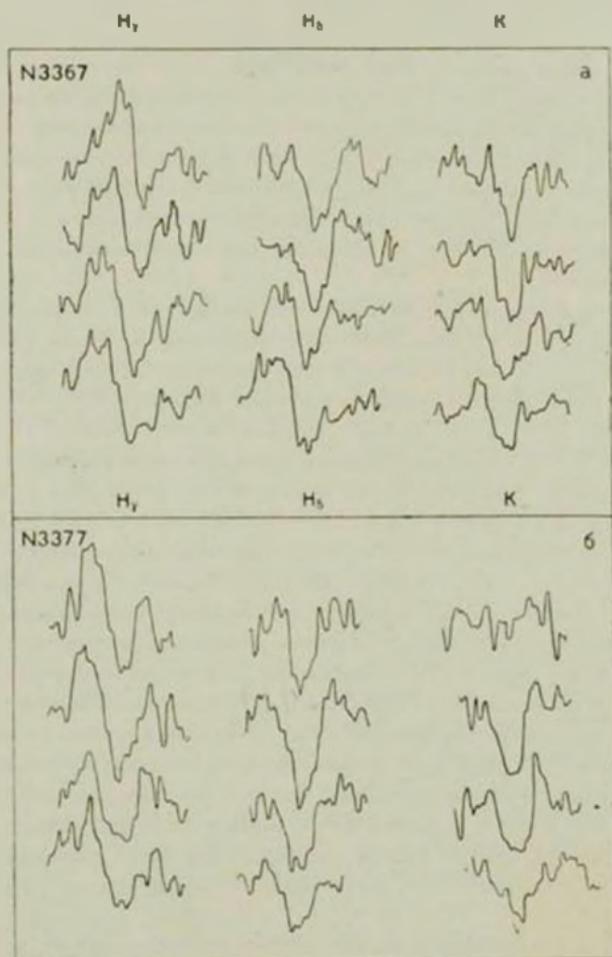


Рис. 2. Профилы линий H_{γ} , H_{β} и K в спектре NGC 2261 а — восточный край; б — западный край. Возрастание расстояния от R Mon соответствует направлению сверху вниз.

Сопоставляя рис. 1 и график, приведенный в работе [3], можно сделать весьма важный для дальнейшего обсуждения вывод: распределение V по туманности в 1968 г. и 1974 г. было практически одним и тем же. Ско-

рости порядка — 200 ÷ — 220 км/с достигаются в обоих случаях из расстояния 60—70" к северу от R Моп, а небольшие расхождения в градиенте, скорее всего, вызваны различной ориентацией щели спектрографа в [1] и [3] и ошибками. Поскольку размеры охваченной измерениями части туманности не более одного светового года, вероятность же застать случайно два одинаковых распределения очень мала, ясно, что развертка во времени не может объяснить наблюдаемое совпадение распределений. Если к этому добавить отмеченную выше небольшую переменность V линий поглощения R Моп, становится очевидным, что фиолетовое смещение линий поглощения — явление достаточно постоянное и присущее самой туманности. Спектры, полученные одним из авторов (Дж. А. Г.) еще в 1948 г. и описанные в работе [13], также указывают на присутствие фиолетового смещения.

Другим важным эффектом является усиление в туманности абсорбционных линий [1, 3, 13, 15]. Наиболее хорошо оно выражено в случае линий H и K Ca II, но наблюдается и для бальмеровских абсорбций. Некоторые линии поглощения вообще отсутствуют в спектре R Моп, но наблюдаются у NGC 2261. Это дублет линий λ 3759 — λ 3761 (13) и линия λ 3685 (14) Ti II (в скобках указаны номера мультиплетов), некоторые линии Fe I, линия λ 4226 Ca I. Последняя и еще более десяти линий помимо приведенных в статье [1]: Fe I (4), (20), (23), (42) и (45) были обнаружены на спектрограмме Pe 10818 при повторном рассмотрении.

Возникновение в туманности дополнительных линий поглощения, по-видимому, сходно с образованием межзвездных линий поглощения в спектрах звезд. Здесь линии поглощения возникают при прохождении отраженного пылью света R Моп через слой достаточно плотного, слабо возбужденного газа. Отличие от межзвездной среды заключается в присутствии линий поглощения, образующихся и с метастабильных уровней. Рассматривая схемы уровней этих элементов, легко заметить, что линии Fe I и Ti II возникают с метастабильных уровней энергии около 0.6—1.6 эВ. В то же время уровни с энергией 2.7—3.2 эВ у Fe II должны быть заселены слабо, иначе, можно думать, наблюдались бы и наиболее сильные линии Fe II с этих уровней. Таким образом, возбуждение оказывается весьма низким.

При таких физических условиях в спектре NGC 2261 не должны наблюдаться линии Ti I, Sr I, Mn I, поскольку металлы почти полностью ионизованы: Fe I и Ca I должны давать слабые линии в силу своей большей распространенности. Среди других линий поглощения должны наблюдаться резонансные дублеты Na I и K I, сильные линии Ti II в области λ 3400 — λ 3000 А, а также, возможно, ИК-триплет Ca II. Присутствие в поглощении бальмеровских линий, вероятно, связано с метастабильностью уровня 2s.

в) *Линии [O II]*. Присутствие линий λ 3729 — λ 3726 в спектре NGC 2261 заслуживает особого внимания. В [3] была высказана мысль о том, что эти линии на самом деле принадлежат большой области H II вокруг NGC 2264 и проектируются на NGC 2261. В пользу этого выдвигались три аргумента: эти линии наблюдаются также на $4'$ и на $15'$ к югу от R Mon; их лучевая скорость близка к таковой для звезд в NGC 2264; отношение интенсивностей компонентов дублета близко к нижнему пределу электронной плотности. Согласно [3], все эффекты проекции будут иметь место, если NGC 2261 находится дальше NGC 2264 или на том же расстоянии. Рассмотрим эти аргументы.

Отношение интенсивностей линий [O II] довольно сильно меняется поперек NGC 2261 и местами соответствует высокой плотности [34], маловероятной для края области H II. Если бы проектирующаяся туманность имела такую плотность, она была бы легко заметна.

К югу от NGC 2261 находится большая эмиссионная туманность, в виде кольца (Mop Loop), считающаяся остатком сверхновой. С севера она примыкает к комплексу NGC 2264, а с юго-запада к туманности Розетка (NGC 2244). NGC 2261 лежит в относительно темном канале между основной частью NGC 2264 и наиболее яркой северной частью Mop Loop. Впрочем, в [35] предположено, что эта яркая дуга является внешней частью NGC 2264 или, по крайней мере, в этой области налагается свечение от NGC 2264 и Mop Loop. Это возможно, так как лучевые скорости NGC 2264 и этой дуги практически совпадают [36]. Решение этого вопроса, а также точное знание расстояния до Mop Loop очень важно, так как именно этот участок внешних туманностей может налагаться на NGC 2261 и создавать дополнительную эмиссию в [O II] и в бальмеровских линиях. Наблюдения [O II] в [3] также были проведены к югу от R Mon, где яркость дуги возрастает. Но сделанное в [3] заключение о близости V_c линий [O II] и V_c звезд в NGC 2264 представляется нам необоснованным.

Хотя средняя V_c звезд и близка к V_c туманности NGC 2264, для сравнения с линиями [O II] лучше, по-видимому, брать измерения, относящиеся именно к туманностям в этой области (см. сводку в [36]). Непосредственно видно, что V_c как основной части NGC 2264, так и дуги почти одинакова и составляет в среднем $+18$ км/с по линиям H_α , H_β и радиолиниям молекул (или -17.1 км/с только по H_α). Скорости же линий [O II] в NGC 2261 и ее окрестностях составляют $+2$ и $+6$ км/с по двум спектрам [3] и $+6 \pm 2$ км/с, по спектру Fe 10818 (V_c усреднено по высоте щели). Хотя среднеквадратичная ошибка в работе [3] не указана, согласие получается очень хорошее, и по крайней мере для наших измерений разница между $+6$ и $+7$ км/с и $+17$ и $+18$ км/с лежит за пределами ошибок. Данные по лучевым

скоростям для R Моп, NGC 2261 и других объектов в области сведены в табл. 2, из которой видно, что V_r СО-излучения от R Моп и NGC 2261 неплохо согласуется, но-первых, с V_r формальдегида в темных глобулах около R Моп и, во-вторых, с V_r эмиссионных линий R Моп. К сожалению, в работах [3] и [12] не указано, какие из линий измерялись и каким участкам сложных профилей соответствует приведенная V_r . Допуская, что V_r по СО и есть истинная лучевая скорость объекта, мы видим, что она несколько выше, чем средняя V_r звезд в NGC 2264, но все же достаточно близка к ней. С другой стороны, V_r линий [O II] не согласуется ни с одним из других значений, приведенных в табл. 2, так что вопрос о происхождении этих линий в спектре NGC 2261 требует дальнейшего исследования.

Таблица 2

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ В ОБЛАСТИ NGC 2261

Объект; спектр. линии	V_r (км/с)	Примечания
R Моп (линии Fe II)	+53	Усреднено по [1] и [3]
R Моп (линии H α как целое)	-29	Среднее из значений, приведенных в статье
R Моп (эмиссионные линии)	+27	[3]; не указано, какие именно, как измерены
R Моп (эмиссионные линии)	+21	[12]; те же замечания
СО от R Моп и NGC 2261	-24.4	[37, 38]
[O II] в NGC 2261 и в югу от нее	-6	[3] и данная статья
Звезд в NGC 2264	-16	Среднее по [39]
H II в основной части NGC 2264	-17.3	Среднее по данным в [35]
H II в дуге в югу от NGC 2261	-17.6	Среднее по [36] и [40]
Молекулы в NGC 2261	+18.8	Среднее по сводке в [38]
H I в области темной полосы	+37	Область I' в [41]
H $_2$ CO в поглощении в глобулах в северо-востоку от R Моп	+20.5—22.1	[42]
OH там же	-18.7	[43]
H II в Моп Loop	-25.0	[36]
H II в NGC 2244	+33.1	[36]

г) *Расстояние.* Все полученные до сих пор оценки расстояния до R Моп и NGC 2261 являются косвенными [32, 44]; не вполне надежна и оценка по межзвездным линиям Na I. Оценки группируются вокруг значений 600—1000 пс, свидетельствующих о связи NGC 2261 с ассоциацией Моп OB I и около 300—400 пс, делающих NGC 2261 вдвое ближе, чем эта ассоциация.

Допущение о связи R Mon с ассоциацией Mon OB I кажется вполне естественным. Ему не противоречат и лучевые скорости как самого объекта, так и межзвездных линий. Высокая светимость R Mon, получаемая при этом ($M_V \approx 1.5$ при $m_1 = 11$) необычна для звезд типа T Тау, но нормальна для Be/Ae-звезд. Однако большие угловые размеры NGC 2261 (одна из самых больших кометарных туманностей) как будто говорят в пользу ее близости.

Значение избытка цвета, оцененное Бемом и др. [45], представляется ненадежным, поскольку фотометрические сканы, полученные ими и Кьюи [46], совершенно непохожи, а сканы Кьюи различаются также и между собой — очевидно, ввиду переменности R Mon.

К тому же $E(B-V)$ для скопления NGC 2264 составляет всего 0^m10 [47], и избыток цвета в основном должен возникать, вероятно, в пылевой оболочке R Mon.

д) *Модель туманности*^{*}. Рассмотренные выше данные позволяют, по-видимому, предложить следующую простую качественную модель туманности.

Видимая часть NGC 2261 представляет собой пылевой конус, переходящий затем в цилиндр. Следуя Джонсону [32], мы принимаем следы эллиптического кольца у северного края туманности за проекцию основания этого цилиндра. Конус, видимо, полый относительно пылевой составляющей, а ось его направлена под углом к картинной плоскости так, что северная (широкая) часть ближе к нам. При рассеянии света R Mon пылью стенок этого конуса образуется непрерывный спектр туманности вместе с теми линиями, которые имеют чисто отражательное происхождение. Ввиду отсутствия заметных изменений V , этих линий пыль должна быть практически неподвижна по лучу зрения. Таким образом, пылевой конус не имеет достаточно быстрого вращения ни вокруг оси симметрии, ни вокруг перпендикулярной к ней оси, лежащей в плоскости неба. Однако нельзя исключить вращение конуса вокруг R Mon в плоскости неба. Более того, некоторая искривленность его, хорошо заметная на снимках с небольшой экспозицией, указывает на возможность подобного вращательного движения (против часовой стрелки).

Пылевой конус окружен другим, более широким конусом слабозвужденного и достаточно плотного газа. Проектируясь на источник отраженного непрерывного спектра, каковым является пыль, слой газа создает дополнительные линии поглощения, описанные выше. Усиление этих линий при удалении от R Mon можно объяснить либо увеличением плотнос-

^{*} Когда статья была готова к печати, была получена работа Арии и Бечиса (Ар. J., 226, 455, 1978), в которой также предложена модель туманности NGC 2261, не затрагивающая, однако, спектральные особенности объекта.

сти газового слоя, либо его расширением, что представляется более вероятным. Плотность этого слоя можно было бы в принципе оценить по эквивалентным ширинам линий поглощения, однако такая оценка будет очень ненадежной из-за незнания основных физических параметров, а также толщины слоя. Во всяком случае, плотность не может быть очень низкой, так как эквивалентные ширины линий поглощения достигают заметных значений, особенно при удалении от R Моп к северу. Но электронная плотность и температура должны быть невысоки, как это можно заключить из рассмотрения набора наблюдающихся линий (см. выше).

Поскольку линии поглощения смещены в фиолетовую сторону, поглощающий слой должен иметь значительную скорость. Смещение можно объяснить, приняв, что плотный газ движется от R Моп, обтекая пылевой конус. Из-за наклона последнего проекция этой скорости на луч зрения будет давать отрицательные лучевые скорости. Измеряя отношение размеров основания конуса, можно оценить наклон его оси к картинной плоскости в $30\text{--}40^\circ$. Раствор конуса составляет примерно 60° , так что движение газа будет происходить под углом около 60° к картинной плоскости. Тогда у верхнего края конуса скорость должна достигать $V, \csc 60^\circ = 250$ км/с, около звезды скорость меньше и составляет примерно 80 км/с. Возрастание скорости может происходить в результате сохранения момента при уменьшении плотности газа. Возможны и другие ускоряющие механизмы.

Отсутствие линий поглощения с красным смещением можно объяснить тем, что если даже пылевые стенки конуса были бы оптически тонки, чтобы можно было наблюдать противоположную сторону, линии поглощения все равно не образовались бы, так как они возникают на фоне непрерывного спектра пылевой составляющей.

Таким образом, мы приходим к выводу о наличии в туманности потоков быстро движущейся газовой материи. Можно сделать два предположения — либо ее источником является R Моп, либо пылевой конус и R Моп, как целое, движутся через плотное облако газа. В первом случае следует иметь в виду, что у самой R Моп сильно смещенные линии поглощения отсутствуют. Поэтому либо выброс должен иметь направленный характер, либо ускорение движущегося газа должно происходить не по всем направлениям, а только вдоль конуса. На то, что конус обтекается газом со стороны R Моп, указывают, как можно думать, и наблюдавшиеся ранее в NGC 2261 маленькие кометообразные структуры, ориентированные аналогично большому конусу [32].

Что же касается второго предположения, то необходимо отметить, что NGC 2261, хотя и лежит в области, где присутствует поглощение, сама, по-видимому, не имеет тесной связи с заметными темными облаками, а противоположность многим другим кометарным туманностям. Пока неиз-

вестно, достаточна ли плотность окружающей NGC 2261 среды для возникновения столь сильных линий поглощения. В этом случае движение R Mon по отношению к облаку должно быть направлено к югу. К сожалению, данные о собственном движении R Mon отсутствуют.

Ориентация NGC 2261 по отношению к NGC 2264 противоположна той, которую имеют несколько сходные с ней по форме каплевидные пылевые глобулы в NGC 2244 [48]. Поэтому ориентацию NGC 2261 и направление сбегания ее конуса нельзя объяснить так, как это предполагается для глобул [48]

3. *Заключение.* Рассмотрение наблюдательных данных приводит нас к представлению о NGC 2261 как о необычном и заметно отличающемся от простых отражательных туманностей объекте. Такие явления, как образование в туманности линий поглощения, наличие сложных движений газа, переменность эмиссионных линий представляют значительный интерес. Дальнейшие наблюдения с большим разрешением помогут решить вопрос о том, является ли NGC 2261 уникальным объектом, или же некоторые ее физические особенности присущи и другим кометарным туманностям.

Авторы благодарят академика В. А. Амбарцумяна за постоянное внимание к работе и ценные замечания.

Калифорнийский технологический
институт
Бюроканская астрофизическая
обсерватория
Ереванский государственный
университет

A SPECTROPHOTOMETRY OF NGC 2261 AND R MON. II

J. L. GREENSTEIN, M. A. KAZARIAN, T. Yu. MAGHAKIAN, E. Ye. KHACHIKIAN

The observational data of the nebula NGC 2261 and its core R Mon have been discussed. It is shown that radial velocity of R Mon absorption lines undergoes small variations in time with the mean value -40 km/s. Emission lines have radial velocities $+53$ km/s (Fe II lines) and $+29$ km/s (hydrogen lines). The violet shift of the absorption lines in the NGC 2261 spectrum relative to star is constant. The radial velocity of [O II] lines in NGC 2261 doesn't agree with that of other lines in this nebula and with radial velocities of other objects in the environment.

A model of the nebula is suggested: the slightly excited dense gas flows over the motionless relative to star dust cone, moving with acceleration along the axis of the cone. There are absorption lines present only in the spectrum of the nebula. It is suggested that these lines are produced in the gas layer on the background of the reflected star continuum.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Дж. Л. Гринстейн, М. А. Казарян, Т. Ю. Мазакян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 12, 587, 1976.
2. G. H. Herbig, *Ap. J.*, 152, 439, 1968.
3. A. Stockton, D. Chesley, S. Chesley, *Ap. J.*, 199, 406, 1975.
4. E. E. Mendoza, *Ap. J.*, 151, 977, 1968.
5. F. G. Low, H. L. Johnson, D. E. Kleinmann, A. S. Latham, S. L. Gettel, *Ap. J.*, 160, 531, 1970.
6. M. Cohen, *M. N.*, 161, 105, 1973.
7. B. H. Zellner, *A. J.*, 75, 182, 1970.
8. B. H. Zellner, K. Serkowski, *P. A. S. P.*, 84, 619, 1972.
9. N. J. Woolf, H. S. Stockman, E. A. Beaver, *Bull. AAS.* 8, 336, 1976.
10. T. J. Jones, H. M. Dyck, *Ap. J.*, 220, 159, 1978.
11. M. Cohen, R. D. Schwartz, *M. N.*, 174, 137, 1976.
12. A. H. Joy, *Ap. J.*, 102, 168, 1945.
13. J. L. Greenstein, *Ap. J.*, 107, 375, 1948; *Harvard Observ. Monographs*, No. 7, 19, 1948.
14. G. H. Herbig, *Ap. J.*, Suppl. ser., 4, 337, 1960.
15. Э. А. Дибай, *Астрон. ж.*, 43, 903, 1966.
16. М. А. Казарян, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 8, 17, 1972.
17. M. V. Penston, P. M. Keane, *M. N.*, 180, 407, 1977.
18. S. E. Strom, K. M. Strom, J. Yost, L. Carrasco, G. Grasdalen, *Ap. J.*, 173, 353, 1972.
19. Т. Ю. Мазакян, *Астрофизика*, 14, 524, 1978.
20. C. S. Walsh, *Publ. Dom. Obs.*, 9, 1, 1951.
21. L. M. Garrison, C. M. Anderson, *Ap. J.*, 218, 438, 1978.
22. D. van Blerkom, *Ap. J.*, 221, 186, 1978.
23. L. V. Kuhl, *Ap. J.*, 140, 1409, 1964.
24. P. Kuun, L. V. Kuhl, *Ap. J.*, 199, 143, 1975.
25. G. H. Herbig, *Ap. J.*, 214, 747, 1977.
26. Г. В. Зайцева, Е. А. Кологизов, *Астрофизика*, 9, 185, 1973.
27. E. Hubble, *Ap. J.*, 44, 190, 1916.
28. Э. Е. Хачикян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 25, 67, 1958.
29. Э. С. Парсмяян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 30, 52, 1962.
30. R. Hall, *Ap. J.*, 139, 759, 1964.
31. M. T. Brack, *M. N.*, 166, 123, 1974.
32. H. M. Johnson, *A. J.*, 71, 224, 1966.
33. V. M. Slipher, *Bull. Lowell Obs.*, 3, 63, 1918.
34. Дж. Л. Гринстейн, М. А. Казарян, Э. Е. Хачикян, *Письма АЖ*, 1, № 9, 26, 1975.

35. R. P. Kirshner, T. R. Gull, R. A. R. Parker, *Astron. Astrophys., Suppl. ser.*, **31**, 261, 1978.
36. R. D. Davies, K. H. Elliot, C. Goudis, J. Meaburn, N. J. Tabbatt, *Astron. Astrophys., Suppl. ser.*, **31**, 271, 1978.
37. W. J. Wilson, P. R. Schwartz, E. E. Epstein, *Ap. J.*, **183**, 871, 1973.
38. R. B. Loren, P. A. Vanden Bout, J. H. Davis, *Ap. J.*, **185**, L 67, 1973.
39. K. M. Strom, S. E. Strom, J. Yost, *Ap. J.*, **165**, 479, 1971.
40. Y. P. Georgelin, Y. M. Georgelin, *Astron. Astrophys.*, **6**, 349, 1970.
41. E. Ratmond, *B. A. N.*, **18**, 191, 1966.
42. L. J. Rickard, P. Palmer, D. Buhl, B. Zuckerman, *Ap. J.*, **213**, 659, 1977.
43. K. W. Riegel, R. M. Crutcher, *Ap. J.*, **172**, L 107, 1972.
44. Дж. А. Гринсгейн, М. А. Казарян, Т. Ю. Мазакян, Э. Е. Хачикян, *Астрон. цирку.* № 947, **1**, 1977.
45. K. H. Bohm, W. A. Stegmund, R. D. Schwartz, *Astron. Astrophys.*, **50**, 361, 1976.
46. L. V. Kuhl, *Astron. Astrophys., Suppl. ser.*, **15**, 47, 1974.
47. К. Ленз, *Астрофизические формулы*, т. 2, М., 1978, стр. 233.
48. G. H. Herbig, *P. A. S. P.*, **86**, 604, 1974.