

К 100-летию со дня рождения
академика В.А.Амбарцумяна

ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОБЛАКА

А.Л.ГЮЛЬБУДАГЯН

Поступила 15 декабря 2008

Предложенная В.А.Амбарцумяном гипотеза образования звезд из дозвездных сверхплотных тел - протозвезд явилась альтернативой существующим в 50-х годах прошлого века (да и сейчас не особенно видоизмененных) гипотез образования звезд путем аккреции и последующего коллапса (в разных модификациях). Основные выводы Амбарцумяна были сделаны на основе анализа имеющихся к тому времени наблюдательных данных. В данной статье представлены как основополагающие идеи Амбарцумяна, так и некоторые современные гипотезы звездообразования. Представлены также некоторые результаты исследований молекулярных облаков и областей звездообразования. Отмечена одна из отличительных особенностей молодых звездообразных объектов (МЗО) - истечение вещества из этих объектов (молекулярное, в виде струй и т.д.), явление, важность которого для эволюции звезд отметил Амбарцумян еще в 1937г. Рассмотрены также радиальные системы темных глобул, а также связанные с областями звездообразования объекты Х-А, комстарные туманности, тесные системы типа трапеции (состоящие из МЗО).

Ключевые слова: *звезды; молекулярные облака; протозвезды*

1. *Введение.* До работ В.А.Амбарцумяна по звездообразованию была распространена идея об одновременном рождении звезд и их одновременной смерти. Амбарцумян показал, что процесс звездообразования является продолжающимся событием, которое имело место в прошлом, продолжается сейчас и будет иметь место в будущем, причем в звездных ассоциациях и из протозвезд:

"Для краткости мы будем говорить, что и звезды, и туманности возникают из протозвезд.

Можно предположить, что протозвезды обладают большой массой и малым радиусом. Звездные группы возникают в результате деления протозвезды на ряд частей. Образовавшиеся малые массы (порядка массы звезды) дозвездного вещества неустойчивы и быстро превращаются в обычное вещество, образуя звезды. Оставшаяся вне звезд масса бывшей протозвезды образует туманность. При этих превращениях часто энергия, сосредоточенная ранее в протозвезде, превращается в кинетическую энергию расширения туманности и звездной группы" [1].

Амбарцумян в [2] отмечал: *"Заслуживает внимания присутствие в Ассоциациях, наряду со звездами ранних типов, гигантских газовых туманностей. Конечно, это еще не доказательство того, что звезды ассоциации возникают*

непосредственно из туманностей. Но это указывает во всяком случае на эволюционную связь между звездами ранних типов и газовыми туманностями", а в [3]: "По моему личному мнению будущие наблюдения покажут, что звездные ассоциации и расширяющиеся туманности формируются совместно.

Короче говоря, я полагаю, что мы должны отказаться от старой идеи формирования звезд из диффузной материи и предположить, что как диффузная материя, так и звезды возникают одновременно в результате разделения протозвезд".

2. Молекулярные облака. Начиная с середины 70-х, молекулярный водород стал одним из основных объектов изучения физики межзвездной среды. Исследование распределения H_2 в Галактике привело к обнаружению нового элемента структуры диска нашей Галактики - молекулярного кольца - области повышенной концентрации H_2 в кольце $R=(4-8)$ кпк. В этом кольце мы имеем также высокую концентрацию звездных ассоциаций, областей звездообразования, НП областей, пульсаров, остатков сверхновых, источников диффузного γ -излучения, синхротронного излучения. Основная масса H_2 сосредоточена в гигантских молекулярных облаках (температура 10-100 К, плотность $\sim 3 \cdot 10^2 \text{ см}^{-3}$, размеры ~ 50 пк) и в молекулярных комплексах (температура 10-100 К, плотность $\sim 10^2 \text{ см}^{-3}$, размеры >100 пк) [4,5].

Сейчас известно, что ОВ-звезды рождаются главным образом в молекулярных облаках в областях звездообразования, при образовании звезд молекулярные облака разрушаются частично или полностью [6]. Недавние наблюдения японских астрономов показали, что $\sim 24\%$ гигантских молекулярных облаков не содержат звезд, $\sim 53\%$ связаны с НП областями, $\sim 24\%$ связаны с с НП областями, и с молодыми скоплениями звезд [7].

Внутри некоторых гигантских молекулярных облаков имеются горячие ядра. Горячие молекулярные ядра характеризуются температурой газа, превосходящей 100 К и богатой химией, наблюдаемой в молекулярных линиях на субмм длинах волн. Предполагается, что эти горячие ядра представляют раннюю эволюционную фазу образования звезд больших масс, где из протозвезд происходит активное истечение, а ультракомпактные области НП еще не образованы [8]. Молодые звездообразные объекты (МЗО) обычно состоят из центрального протозвездного объекта, окруженного оболочкой и плоским диском. Для характеристики МЗО вводятся классы: 0, 1, 2 и 3, причем вдоль этой последовательности уменьшается степень истечения [9,10]. Особенно интересна фаза класс 0 не только потому, что многие свойства будущей звезды определяются в течение этой фазы, но в основном из-за мощных истечений, которые могут иметь существенное воздействие на окружающую межзвездную среду: они формируют молекулярные облака, могут образовать в них каверны, могут сжать пылевые оболочки. Наблюдения этой фазы затруднены: горячее звездообразное ядро объекта класс 0 так затемнено, что объект не обнаруживается до midIR, кроме того, эта фаза короткая - несколько раз 10^3 лет [11].

Кроме гигантских молекулярных облаков в нашей Галактике при-

существуют также маленькие непрозрачные облака, состоящие из пыли и газа. Такими объектами являются глобулы Бока (или Барнарда), глобулы и слоновые хоботы в областях НП, а также кометарные глобулы [12-14].

3. Гипотезы звездообразования. Наиболее распространенной гипотезой о звездообразовании является гипотеза об аккреции внутри молекулярных облаков с последующим коллапсом, что приводит к образованию новых звезд. Однако этот механизм встречает затруднение, согласно которому новые звезды должны образовываться глубоко внутри молекулярных облаков, наблюдения же показывают, что многие ОВ-звезды образуются близ поверхности молекулярных облаков [15].

В литературе сейчас распространена точка зрения, согласно которой яркие звезды ранних спектральных классов образуются в гигантских молекулярных облаках, преимущественно на их периферии. Предполагается, что процесс звездообразования далее распространяется вдоль молекулярного облака [16]. Однако мы можем привести пример довольно обширного комплекса, в котором звездообразование в основном завершилось в нескольких местах на периферии молекулярного облака, но продолжается в центральной области этого облака, т.е. здесь нет прохождения волны звездообразования вдоль облака, а этот процесс происходит в разных областях облака независимо от их места.

Рассмотрим обширный комплекс, состоящий из областей НП Sh254 - Sh258 на расстоянии 2.4-2.6 кпк [17] (см. рис.1,а и б). Область Sh 254 наиболее старая, уже успела довольно расшириться и ослабла. Области Sh 255 и Sh 257 - довольно яркие обычные области НП. Области Sh 258 и Sh 256 маленькие, еще не развитые. Между областями Sh 255 и Sh 257 расположена полоса из плотного молекулярного облака. В этом облаке расположены два компактных объекта ММ1 и ММ2, видимые в миллиметровом диапазоне, а также скопление инфракрасных звезд (рядом с ММ2). Плотные молекулярные

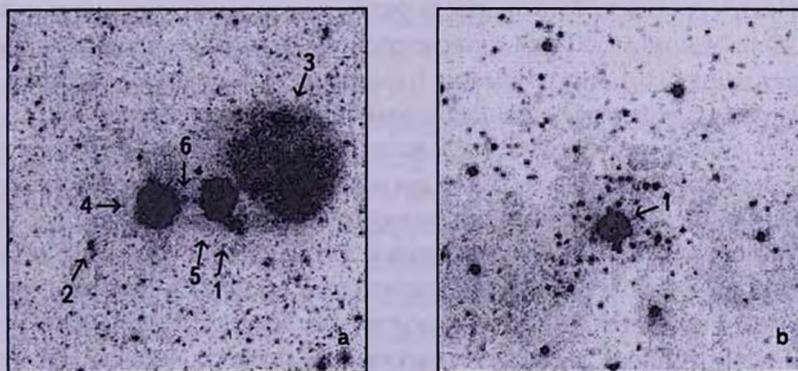


Рис.1а. DSS2 R изображение областей НП Sh 254 - Sh 258. Здесь 1 - Sh 256 и 2 - Sh 258 - компактные области НП, 3 - Sh 254, 4 - Sh 255 и 5 - Sh 257 - развитые области НП, 6 - вышедшие из молекулярного облака звезды из инфракрасного скопления (см. рис. 1б). Размеры изображения 30'x30', север - сверху, восток - слева. б. 2MASS K изображение области между Sh 255 и Sh 257. Здесь 1 - горячая область H_2 ; вокруг нее - ИК скопление звезд внутри молекулярного облака. Размеры изображения 6'x6', север - сверху, восток - слева.

конденсации MM1 и MM2, содержащие протозвезды, имеют сходные физические условия. Их масса $\sim 300 M_{\odot}$ и светимость $(5-10) \cdot 10^4 L_{\odot}$ в 0.3 пк [17]. Фактически в молекулярном облаке мы наблюдаем два этапа: ультракомпактные области НП, содержащие протозвезды, и следующую за ней стадию скопления звезд, видимых в ближнем ИК. В данном комплексе волна звездообразования не могла быть спусковым механизмом, так как звездообразование происходило в разных местах и в разное время независимо от их местоположения.

Чтобы избежать некоторых затруднений при построении теории звездообразования, была предложена иерархическая каскадная фрагментация. Согласно [5] иерархическая каскадная фрагментация, разработанная в [18,19], состоит в следующем. Вначале имеем массивное облако разреженного газа, коллапсирующего под действием собственной гравитации. Оптически прозрачный газ вначале эффективно охлаждается излучением, поэтому при сжатии температура газа остается неизменной, а выделяющаяся гравитационная энергия выводится излучением. Но при изотермическом росте плотности джинсовская масса M_J уменьшается (так как $M_J \sim (T^3/\rho)^{1/2}$), поэтому существующие в начальном облаке области повышенной плотности могут стать гравитационно неустойчивыми и начнут сжиматься уже под действием собственной гравитации. Так в облаке возникает система гравитационно-связанных облаков меньшего масштаба. Этот процесс идет, пока на каком-то этапе фрагменты оказываются оптически непрозрачными и, следовательно, не могут участвовать в дальнейшей фрагментации. Эти последние фрагменты и дадут начало протозвездам. Основными препятствиями фрагментации являются турбулентность и вращение.

Чтобы избежать противоречия в процессе звездообразования, которое заключается в том, что для аккреции и последующего коллапса необходимо иметь плотные тела глубоко внутри молекулярных облаков, были предложены различного вида спусковые механизмы образования новых звезд. Эти спусковые механизмы в основном приводят к уплотнению отдельных частей молекулярных облаков, после чего уже следуют аккреция и коллапс части молекулярного облака с последующим образованием новых звезд.

Блау нашел [16], что во многих ближайших ассоциациях составляющие их звезды удается разделить на подгруппы, причем пространственное распределение подгрупп соответствует последовательности возрастов, начиная с очень старых звезд на одном краю ассоциации и кончая относительно молодыми на другом краю, причем подгруппы располагаются параллельно плоскости Галактики. Обычно наиболее старая подгруппа имеет наибольшие размеры в данной ассоциации, а наиболее молодая - наименьшие размеры и больше связана с межзвездным веществом, чем другие подгруппы. Предполагается, что образование ОВ-подгрупп представляет систематический процесс, который начинается на одном конце гигантского молекулярного облака и затем протекает вдоль всего облака в виде последовательной серии звездообразования. Блау нашел, что типичная разница в возрасте двух соседних подгрупп примерно $(2-4) \cdot 10^5$ лет, такой же порядок имеет задержка между последовательными стадиями звездообразования. Согласно грубым оценкам, пространственное разделение

соседних подгрупп составляет 10–40 пк, что соответствует распространению процесса звездообразования ОВ-звезд вдоль облака со скоростью 5–10 км/с.

Было показано статистически, что светимости МЗО коррелируют с массой родительских молекулярных облаков, а самые яркие МЗО находятся в молекулярных облаках рядом с областями НП [20]. Этот результат еще раз подтверждает генетическую связь МЗО и молекулярных облаков.

Предполагается, что первичным спусковым механизмом звездообразования являются волны плотности. После образования первой подгруппы ОВ-звезд и ионизованной области НП вокруг этой подгруппы к процессу звездообразования подключаются другие спусковые механизмы: расширяющиеся области НП, звездные ветры, столкновения молекулярных облаков и т.д. Остановимся подробнее на этих механизмах.

3.1. Спусковые механизмы звездообразования. Волны плотности.

Регулярность галактических спиральных структур объяснить довольно трудно, поскольку галактическое дифференциальное вращение должно уничтожить за несколько периодов обращения любую характерную деталь спирального рукава. Линь и Шу разработали теорию [21], согласно которой спиральная волновая структура высокой плотности вращается вокруг центра Галактики подобно жесткому телу с определенной угловой скоростью. Фудзимото показал [22], что галактическая спиральная волна плотности будет образовывать крупномасштабную ударную волну в межзвездной среде. Волна плотности может служить начальным спусковым механизмом для образования последовательности подгрупп ОВ-ассоциации. Однако до сих пор не было сделано попыток провести вычисления результатов прохождения галактической ударной волны через массивное молекулярное облако.

3.2. Ионизация и ударные волны. Лада [23] и Элмегрин [24] предположили, что давление фронтов ионизации, вызванное ОВ-звездами, может привести к образованию новых подгрупп ОВ-звезд. Это происходит следующим образом. ОВ-звезды образуют вокруг себя зону НП, которая с одной стороны граничит с молекулярным облаком. От ионизационного фронта отделяется ударная волна, образуя слой, в который втекает вещество молекулярного облака. Область между фронтами излучает, создавая слой, вначале стабильный по отношению к возмущениям, пока вещество не будет достаточным для возникновения гравитационной неустойчивости. Нарастание этой неустойчивости приводит к образованию еще одной ОВ-подгруппы. Эта модель дает механизм, который обеспечивает диссипацию молекулярных облаков и последовательность образования подгрупп.

3.3. Сверхновые. Эпик предположил [25], что после взрыва сверхновой, оболочка образованная из материала, выметенного остатком сверхновой, может быть неустойчивой и способна дать рождение новой звезде. Сансизи [26] получил доказательства существования расширяющихся оболочек, состоящих из НП в направлении ассоциаций Peg OB2 и Sco OB2. Создается впечатление, что эти оболочки должны быть связаны с недавним образо-

ванием ОВ-звезд. Они могут быть вызваны взрывом сверхновой.

3.4. *Спуск звездообразования молекулярными сверхоболочками.* Этот механизм фактически является продолжением предыдущего. ОВ-звезды вызывают звездообразование, когда они молодые и близки к молекулярному газу в течение времени $1 \cdot 10^6$ лет. После этой фазы, массивные члены, чьи массы больше $8 M_{\odot}$, в ОВ-ассоциации развиваются в сверхновую, которая высвобождает энергию $\sim 10^{51}$ эрг при взрыве и может быть очень эффективной при ускорении межзвездной среды на 100-1000 пк. Аккумулированная масса, образованная множеством взрывных волн и градиентом давления горячего газа из сверхновой, образует примерно сферическую оболочку плотного межзвездного вещества, которое становится гравитационно неустойчивым для образования звезд в нем [27]. Типичное время жизни сверхоболочки $30 \cdot 10^6$ лет, намного дольше, чем вызванное НП, и после этого будет трудно обнаружить сферическую форму без дальнейшего поступления энергии. Сверхоболочка не является отдельной от вызванной НП спусковой фазой, но является продолжающимся процессом, следующим за ним. Оба процесса могут существовать вместе, как у ОВ-ассоциаций в Орионе. Однако нужно отметить, что роль этих сверхоболочек в спуске звездообразования не была ясна до недавнего времени, так как расширяющийся газ имеет низкую плотность, которая не способствует активному звездообразованию. Сверхоболочка Орион-Эридан также показывает мало признаков индуцированного звездообразования, кроме нескольких маленьких молекулярных сгущений [28], в резком контрасте с активным звездообразованием в самих молекулярных облаках в Орионе, где звездообразование главным образом вызвано областями НП.

Недавнее обнаружение сверхоболочки Carina Flare [29] является первым случаем образования массивных звезд в сверхоболочке. Спуск в Carina Flare ставит вопрос, как эффективность звездообразования сверхоболочек существенна вдоль Галактики. Многие сверхоболочки, кажется, не вызывают звездообразование. Мы должны наблюдать плотный молекулярный газ, который напрямую связан с происходящим звездообразованием вдоль большой высоты (z), чтобы лучше понять вклад сверхоболочек. Первая попытка обзора молекулярных сверхоболочек с высоким разрешением с радиотелескопом NANTEN (^{12}CO наблюдения, Лас Кампанас, Чили) выявила 9 оболочек, 7 из которых новые. Их радиусы 50-230 пк, возрасты $2 \cdot 10^6$ лет - $1 \cdot 10^7$ лет [29]. Исследуемая площадь соответствует 1/5 галактического диска до 4 кпк. 8 молекулярных сверхоболочек пространственно хорошо коррелируют с галактическими спиральными рукавами. Связь со спиральными рукавами можно было ожидать из связи с ОВ-ассоциациями, в то время как частота несколько меньше ожидаемого, означая, что только часть ОВ-ассоциаций, окруженных богатыми оболочками НП, может образовывать молекулярные сверхоболочки. Общая масса, включенная в эти молекулярные сверхоболочки на z выше 150 пк, $\sim 10^6 M_{\odot}$, очень мала, менее 1% (по сравнению с 15% молекулярной массы, заключенной в диске исследуемой области). Можно предположить, что только малая часть газа при больших z может быть признана за сверхоболочку,

возможно потому что форма в виде арки сверхоболочки теряется за $\sim 10^6$ лет из-за дифференциального вращения Галактики. Нужно также отметить, что обнаружение связанных звезд становится очень трудным на расстояниях более 2 кпк около плоскости Галактики, затрудняя исследование звезд второго поколения, образованных спуском [29].

Другой аспект - роль оболочек при образовании очень массивных звезд и/или богатых скоплений звезд, например скопления η Car, где необычно массивные звезды Галактики могли образоваться под действием сверхоболочки [30]. Скопление η Car находится на том же расстоянии, что и Carina Flag. Если скопление η Car имеет возраст $(3-5) \cdot 10^6$ лет, можно предположить, что спуск от оболочки может играть роль при образовании скопления путем эффективного собирания газа по большому объему в малый объем, что невозможно без действия сверхоболочки.

3.5. *Столкновения облаков.* Лорен предположил [31], что столкновения между двумя молекулярными облаками вызывают образование массивных звезд, имеющих отношение к NGC 1333. Блитц считает [32], что гигантские молекулярные комплексы состоят из меньших облаков, столкновения между которыми могут приводить к образованию звезд, поскольку обычно относительные движения этих облаков происходят со сверхзвуковыми скоростями.

3.6. *Звездные ветры.* Блитц высказал предположение [33], что звездные ветры от ОВ-звезд могут выметать наружу достаточно много вещества, которое может стать гравитационно неустойчивым. Поскольку воздействие сильных звездных ветров заключается в значительном увеличении радиуса области НП по сравнению со значением в отсутствие ветра [34], из этого следует, что ветры могут оказывать значительное давление на окружающую межзвездную среду, что в свою очередь влияет на образование новых звезд.

3.7. *Взаимодействие галактики с галактикой.* Этот вид взаимодействия (т.е. столкновение между галактиками), если действительно имеет место, может существенно увеличить степень звездообразования. Недавно были найдены молекулярные облака в наиболее близкой и яркой приливной структуре: Магеллановом Мосте [35]. Авторы [35] считают, что облака в Магеллановом Мосте скорее образованы приливным столкновением, чем выброшены из ММО. Это подтверждается малым типичным временем жизни облаков, наблюдаемых в СО ($\sim 10^7$ лет), что намного меньше $200 \cdot 10^6$ лет - возраста самого моста. Звездообразование распространено вдоль всего моста (~ 1 кпк).

Необходимо фокусироваться на границе между областями НП и молекулярными облаками, чтобы увидеть, как спусковой механизм функционирует под действием зон НП. Обзор плотного молекулярного газа, взаимодействующего с областями НП, был проведен в направлении 23 южных областей НП внутри 4 кпк, от $l=230^\circ$ до $l=20^\circ$, галактический центр включительно [36]. В результате этого исследования были обнаружены 57 молекулярных облаков

с плотностями около 10^3 см^{-3} , со средней массой $\sim 1000 M_{\odot}$. Они показывают широкую дисперсию скоростей (5-10) км/с, типичную для взаимодействующих облаков, а облака образуют звезды, что представлено более чем 120-ю связанными с ними протозвездными источниками в далеком ИК (источники FIR).

Эта выборка была использована для оценки, насколько звездообразование различно между молекулярным газом, взаимодействующим с областью НП, и остальным молекулярным газом. Эти области были получены, разделив молекулярное облако на две части: ближе к НП и остальная часть облака. Этот анализ для 57 облаков ведет к выводу, что количество протозвездных источников увеличивается в 2 раза во взаимодействующих областях, чем в остальных, а эти источники примерно в 10 раз более яркие, чем для остальных частей. Эти различия по-видимому вызваны эффектом НП областей и не могут быть вызваны молекулярными свойствами внутри облаков, так как молекулярная плотность и массы существенно не различаются между обоими областями. FIR светимость протозвезд равна $\sim 10^4 L_{\odot}$ и $\sim 10^3 L_{\odot}$, соответственно, во взаимодействующих и в остальных областях. Эффективность звездообразования, измеренная как отношение массы образованных звезд к суммарной массе облаков и звезд, оценивается в 3.5 раз больше во взаимодействующих областях, чем в остальных, если использовать типичное отношение масса/светимость для звезд. Общая степень образования звезд $4 M_{\odot}/\text{год}$ по всей Галактике, вызванная областями НП, может обеспечить 10-30% этого числа [36].

Примерно такие же гипотезы звездообразования были предложены и во время работ Амбарцумяна по звездным ассоциациям. Амбарцумян тогда отмечал [1]: *"Все эти гипотезы оказались несостоятельными. Дело в том, что космические явления, а тем более явления, сопровождающие возникновение и эволюцию звезд, качественно отличны от процессов, происходящих в значительно меньших масштабах. Само собой разумеется, что атомы и молекулы вещества, где бы они ни находились - в нашей Галактике, в туманности Андромеды или в физической лаборатории - обладают тождественными свойствами. Однако в космических условиях мы имеем дело со столь большими количествами вещества и со столь длительными сроками развития, что в ходе процессов связываются и подчас приобретают важнейшее значение такие глубокие свойства вещества, которые в обычных условиях не играют никакой роли"*. Интересно, что примерно такого же мнения был Альвен в [37], где он отмечал, что законы электродинамики в космических масштабах могут отличаться от этих же законов в земных условиях (из-за больших размеров, малых плотностей, малых температур и т.д.).

4. *Радиальные системы темных глобул.* После образования вновь возникшие звезды вытесняют газ и пыль из своего непосредственного окружения. Образуется обширная область НП вокруг ранних звезд. Наблюдения показывают, что в молекулярных облаках есть области повышенной плотности размерами (0.1-0.3) пк, в которых сосредоточена основная масса облаков [38,39]. Когда ионизационный фронт доходит до этих областей, они испаряются, если находятся близко от ионизирующих звезд, и

испаряются частично, если располагаются дальше. При еще большем расстоянии они сохраняются и обтекаются ионизационным фронтом, а позади них образуются хвосты из ионизованного вещества молекулярного облака. Эти последние плотные области образуют глобулы радиальных систем. Темные глобулы расположены радиально относительно центральных ярких звезд - большие их оси как бы исходят из этих звезд. Некоторые из глобул имеют отростки, доходящие до расположенных дальше слоновых хоботов. Слоновые хоботы, которые имеют вид длинных отростков с округлыми или прямоугольными вершинами, имеющими резкие границы (вершины направлены в сторону центральных звезд), большими осями также направлены на центральные звезды. Многие слоновые хоботы соединяются, образуя широкие темные комплексы. Ионизованная область входит в эти комплексы в промежутках между слоновыми хоботами.

В литературе рассматривается несколько радиальных систем: в туманности Гама, вокруг звезды λ Ориона, в туманности "Розетка" [40-42,14]. Мы просмотрели карты Паломарского атласа с целью поиска новых радиальных систем темных глобул. В результате этого поиска найдено около 20 радиальных систем, в центре которых расположены в основном звезды класса O, окруженные областями НП [43-45]. В центре трех из этих систем, содержащих области НП, ярких звезд не обнаружено. Предполагается, что между этими звездами и нами имеются темные туманности, которые скрывают эти звезды. Их можно обнаружить в ИК цвете. Нами сделана попытка обнаружения этих звезд с помощью каталога IRAS [44]. Чтобы определить, какие ИК цвета будут у этих звезд, мы отождествили 40 звезд типов O-B1 нашей Галактики с объектами из каталога точечных источников IRAS [46]. Из этих 40 звезд почти у всех отсутствуют потоки на 60 и 100 мкм, у 7 звезд поток на 25 мкм $F_{25} > F_{12}$, для остальных $F_{12}/F_{25} = (2-4)$. В результате найдены источники IRAS, удовлетворяющие одному из этих полученных критериев и расположенные в центральных областях вышеупомянутых радиальных систем. Эти источники могут быть теми яркими звездами, которые образовали области НП и радиальные системы темных глобул.

Найдены также радиальные системы, не связанные с областями НП. Таких систем 6. Системы без областей НП представляют особый интерес, так как они фактически являются следующей за областью НП стадией: центральные звезды слабеют, область НП превращается со временем в область НП (или же вымывается, если центральные звезды имеют мощную радиацию и звездный ветер или же произошел взрыв сверхновой в этой области). Подобные радиальные системы интересны и с точки зрения звездной эволюции, так как они дают нам возможность узнать об эволюции звезд ранних классов (центральных звезд радиальных систем). Время жизни подобных радиальных систем по-видимому меньше времени жизни обычных систем (с областями НП), так как их в несколько раз меньше, чем обычных систем. Можно предположить, что подобные системы при дальнейшей эволюции распадаются на отдельные независимые глобулы под действием дифференциального

вращения Галактики [44].

В ассоциации Сер OB 2 нами выявлены несколько радиальных систем темных глобул. Многие глобулы связаны с нестационарными объектами - звездами типа Т Тельца, объектами Херbiga-Аро. В [47] мы задались целью найти точечные источники IRAS, погруженные в эти глобулы. Эти источники могут быть звездами малых или промежуточных масс на ранней стадии эволюции. Были применены несколько критериев для достоверности принадлежности ИК-излучения этим точечным источникам, в том числе критерий $L(\text{bol}) \gg L(\text{ext. htg.})$. Здесь $L(\text{bol})$ - болометрическое излучение источника, $L(\text{ext. htg.})$ - полученный вклад от внешнего нагрева (от O-B3 звезд). Источники IRAS, которые имеют $L(\text{bol}) \gg L(\text{ext. htg.})$, почти определенно имеют преобладание излучения внутреннего источника. В результате этой работы выявлены 15 точечных источников IRAS, погруженных в темные

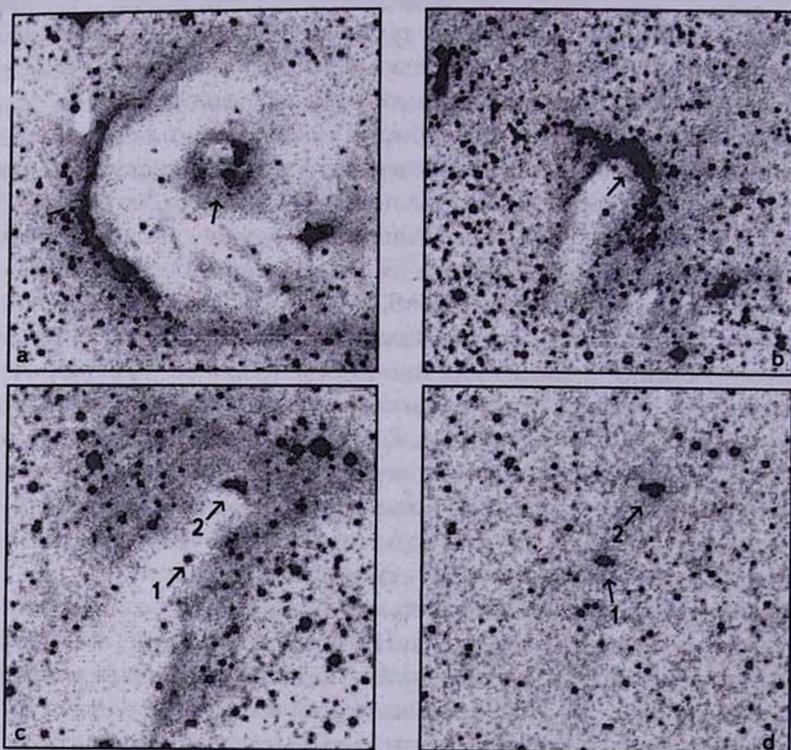


Рис.2. Изображения глобул, входящих в OB-ассоциацию Сер OB 2: а. DSS2 R изображение глобулы, связанной с точечным источником IRAS 21353+5717 (стрелкой показано место точечного источника, в центре глобулы), б. DSS2 R изображение глобулы, связанной с точечным источником IRAS 21388+5622 (стрелкой показано место точечного источника, близ границы глобулы), в. DSS2 R изображение глобулы, связанной с точечным источником IRAS 21445+5712, 1 - точечный источник IRAS (в центре глобулы), 2 - группа M30 (тесная система типа трапеции) близ границы глобулы, д. 2MASS K изображение глобулы, связанной с точечным источником IRAS 21445+5712, 1 - точечный источник IRAS (в центре глобулы), 2 - группа M30 близ границы глобулы. Размеры изображений 6'х6', север - сверху, восток - слева.

глобулы из ассоциации Сер OB 2. Это так называемые молодые звездные объекты, которые образуются из протозвезд и после определенного развития превращаются в звезды, в данном случае в основном в звезды типа Т Тельца или Ae/Be Хербига. В литературе преобладает мнение, что звезды малых и промежуточных масс образуются при прохождении волн плотности через молекулярное облако. Предполагается, что при этом звезды возникают на границе темных глобул, где происходит столкновение с ударной волной (близ яркого ободка, см., напр., [48]).

На примере вышеприведенных 15-ти точечных источников IRAS, погруженных в темные глобулы ассоциации Сер OB 2, попытаемся выяснить, насколько верно это утверждение. Просмотрев все эти 15 глобул и связанные с ними точечные объекты IRAS, можно утверждать, что 9 источников находятся в центральных областях глобул, а 6 источников - на периферии, т.е. большинство источников расположены далеко от границ глобул. Если предположить, что распределение источников по поверхности глобул равновероятно и что глобула представляет сферу с радиусом R , то мы будем иметь, что периферические 6 источников расположены в области $r = (0.77 - 1.0)R$, а центральные 9 источников - в области $r = (0 - 0.77)R$. Здесь r - расстояние МЗО от центра глобулы, R - радиус глобулы. Этот результат дает нам право утверждать, что механизм образования новых звезд путем воздействия ударных волн на темные глобулы, если и существует в действительности, то он далеко не основной. На рис.2 приведены некоторые из этих глобул, среди которых есть МЗО, находящиеся в центре глобулы, и МЗО близ границы глобулы, а у глобулы, связанной с IRAS 21445+5712, точечный источник расположен в центре глобулы, а близ границы глобулы расположена группа МЗО (рис.3с



Рис.3. DSS2 R изображения тесных систем типа трапеции: а. Тгар 8 из 4-х звезд (в центре изображения), б. Тгар 10 из 9 звезд (цепочка в центре изображения). Размеры изображений 6'х6', север - сверху, восток - слева.

и d), так что в одной и той же глобуле МЗО расположены как в центре, так и близ границы.

Во многих областях звездообразования имеются тесные системы типа трапеции, содержащие звезды типа Т Тельца и/или МЗО. В [44] приведен

список подобных систем, состоящих в основном из звезд типа Т Тельца. На рис.3 представлены две подобные системы. Имеются системы типа трапеции из МЗО, невидимые в оптике, но видимые в радио и ИК, так как они погружены в молекулярные облака. Примеры подобных систем приведены в [49]. Недавно обнаружена подобная система [50], состоящая из протозвезд, где расстояния между компонентами ~ 80 а.е. Это объект НМС 29.96, в котором данные субмм наблюдений континуума разрешили ранее найденное горячее молекулярное ядро на 4 источника, которые составляют систему типа трапеции.

Как отмечено в [6], в больших комплексах молекулярных облаков, связанных с Орионом и W4 (IC 1805), нет данных о том, что образование О-звезд происходит вдоль всего комплекса, наоборот, за последние 10^7 лет образование О-звезд происходило только на одном конце комплекса. В оставшейся части комплекса, размерами ~ 90 пк и примыкающей к $O_1 A$ и $O_1 B$, заполненной облаками с массой $10^3 M_{\odot}$, звезды класса О не возникали. Однако повсеместно вдоль всего комплекса наблюдаются многочисленные звезды типа Т Тельца и объекты Хербига-Аро (первые объекты Хербига-Аро как раз были обнаружены в этой области), т.е. звездообразование идет вдоль всего комплекса. Это означает, что для образования звезд малых масс не обязательно присутствие вблизи ярких звезд с большими массами. Это также означает, что механизм воздействия звездного ветра и/или ударной волны на темные глобулы с последующим образованием звезд малых масс, если и имеет место в действительности, то не является единственным, так как в данной области не только нет ярких звезд, из которых должен был поступать звездный ветер, но и почти нет звезд малых масс, связанных с темными глобулами.

5. Некоторые типы объектов, связанных с областями звездообразования. Амбарцумян обратил внимание на объекты, встречающиеся с нестационарными молодыми звездами, на кометарные туманности и объекты Хербига-Аро.

Кометарные туманности (у Амбарцумяна кометообразные) являются маленькими туманностями определенной формы, физически связанными в основном с нестационарными звездами - типа Т Тельца, Ae/Be Хербига и др. Многие кометарные туманности связаны с объектами Хербига-Аро и яркими струями (джетами). Первый каталог кометарных туманностей был составлен Парсамян и Петросян [51] (см. также статьи Парсамян [52,53]).

В [54] Амбарцумян отмечал: *"Не вызывает никаких сомнений, что кометообразные туманности не могут быть статическими образованиями. Трудно представить, чтобы силы, действующие в окрестности звезды, приводили к длительному сохранению наблюдаемой формы. Поэтому или нужно считать, что такая туманность существует весьма короткое время, или допустить возможность сравнительно длительного стационарного течения вещества.*

Таким образом, переменные звезды, связанные с кометообразными туманностями, охватывают всю Главную последовательность, область горячих звезд и, по-видимому, область сверхгигантов. Это означает, что явление кометообразных туманностей играет более важную роль в эволюции

звезд, чем кажется с первого взгляда.

Все сказанное заставляет считать, что кометообразные туманности играют очень большую роль в процессе развития звезд и на изучение этих туманностей следует обратить особое внимание".

Значение объектов Хербига-Аро в процессе звездообразования впервые было подчеркнуто Амбарцумяном [55].

Объекты Хербига-Аро были открыты независимо друг от друга Хербигом [56] и Аро [57]. Это звездообразные сгущения, спектр которых состоит из сильных линий излучения и слабого, почти незаметного непрерывного спектра. Хербиг в [58] приводит следующее определение: "Объекты Хербига-Аро имеют характерный эмиссионный спектр: эмиссионные линии водорода сильные, [OI] и [SII] необычно интенсивные. Линии [NII] также сильные, а у объектов, покраснение которых (из-за поглощения) незначительно, присутствует также дублет [OII] 3726-3729".

Первые объекты Хербига-Аро были найдены южнее туманности Ориона, но в последующем новые объекты были обнаружены в Орионе, Тельце, Персее и т.д. Все известные объекты Хербига-Аро встречаются в областях с большим поглощением, которые, как правило, богаты звездами типа Т Тельца. Было установлено, что спектры объектов Хербига-Аро похожи на спектры остатков сверхновых [59]. В связи с этим, по аналогии с остатками сверхновых считается, что спектры объектов Хербига-Аро образуются в охлажденных областях ударных волн. Предполагается, что эти волны возникают при прохождении вещества, выброшенного из соседних нестационарных звезд.

Роль мазеров в процессах звездообразования, их тенденция встречаться гнездами в несколько десятков объектов, которые разлетаются со скоростями в несколько десятков км/с, их связь с компактными областями НII была отмечена Амбарцумяном в 1981г. на докладе, посвященном 100 летию кафедры астрофизики ЛГУ.

Мазеры, обнаруживаемые в нашей Галактике и в других галактиках, являются источниками радиоизлучения, в которых происходит усиление тепловой эмиссии газа в спектральных линиях молекул за счет преобладания процессов индуцированного излучения над поглощением. Это означает, что в космических мазерах происходят те же физические процессы индуцированного усиления, что и в лабораторных мазерах. От обычных тепловых источников радиоизлучения их отличают отношения интенсивностей различных линий, нехарактерные для тепловой эмиссии, а также часто очень высокая интенсивность и степень поляризации излучения в линиях. Излучение космических мазеров характеризуется сильной переменностью. Самыми сильными космическими мазерами являются мазеры H_2O , OH и SiO [60].

Многие мазеры воды, реже гидроксила, связаны с областями звездообразования. Эти мазеры обычно представляют собой скопление маленьких (10^{10} - 10^{14}) см деталей, расположенных в гнездах размерами (10^{16} - 10^{17}) см. В гнезде может быть несколько десятков таких образований, движущихся относительно друг друга со скоростями в десятки и сотни км/с. Конденсации

являются плотными сгустками с плотностями газа (10^7-10^{11}) см⁻³ и массами ($10^{24}-10^{28}$) г. Совокупность эмпирических данных о мазерах воды укладывается в модель, предложенную Шкловским и развитую Стрельницким и Сюняевым [61]. Согласно этой модели, каждое мазерное гнездо образовано недавно родившейся протозвездой. Она должна обладать очень мощным звездным ветром - до $10^{-3} M_{\odot}$ /год. Оттекающее вещество поглощает и переизлучает основную часть излучения звезды в ИК диапазоне. Согласно этой модели, разлетающийся от очень молодой звезды поток газа сжимает имеющиеся в околосредной среде сгустки и газодинамическим напором ускоряет их в противоположном от звезды направлении. В энергию мазерного излучения перерабатывается ИК-излучение протозвезды как непосредственно, так и через ударные волны, порожденные давлением излучения.

Как известно, мазеры воды были найдены на 22.2 ГГц (переход $6_{16}-5_{23}$ паров воды). Мазеры воды в основном связаны с областями звездообразования. Имея в виду это обстоятельство, мы предприняли с радиоастрономами Смитсоновского центра Гарвардского университета поиск новых мазеров воды около объектов GGD (это объекты, внешне похожие на Хербига-Аро) [62]. Этот поиск был проведен в несколько этапов. В результате было обнаружено 11 новых мазеров воды, из которых GGD37 = Сер А оказался одним из самых ярких из известных мазеров H₂O [63]. Многие мазеры показали сильную переменность, что свидетельствует о целесообразности продолжения этих поисков и в дальнейшем. Переменностью водяных мазеров долго и плодотворно занимался Мартиросян с сотрудниками [64].

Из многих протозвезд наблюдается истечение. Протозвездные истечения обнаруживаются радиативным охлаждением ударной волны ионизованного газа, порожденной ими. Со времен их обнаружения 30 лет назад [65] биполярные истечения, образованные рождающимися звездами, были наблюдаемы на эмиссии в мм диапазоне (молекулы CO, CS, SiO [66,67] и ионов, например HCO⁺ [68]). В оптических длинах волн, наиболее принятыми являются эмиссионный дублет [SII], дублет на 6717 Å и 6731 Å и H α [69,70]. Недавним прибавлением к арсеналу техники изображений истечений является IRAC на борту Spitzer Space Telescope, содержащий полосы пропускания, прозрачные для линий H₂ [71]. Еще в 1937г. Амбарцумян [72] как будто предвидел роль истечения в звездной эволюции: *"Изучение упомянутых четырех видов объектов (новые, сверхновые, ядра планетарных туманностей, звезды типа WR) указывает на тот путь, по которому проходит развитие многих звезд. Это - взрывы, сопровождающиеся выбрасыванием больших масс материи, и непрерывное истечение материи. Следуют ли все звезды этому пути, и если нет, то каков другой возможный путь развития? Мы имеем пока слишком мало данных для ответа на эти вопросы"*.

6. *Звездообразование близ ядра нашей Галактики.* В центре нашей Галактики находится массивный объект Sgr A*. На 3 мм размеры этого тела оцениваются как $1.4 \cdot 10^{12}$ см, масса оценивается как $2 \cdot 10^6 M_{\odot}$ [73]. В окрестности этого объекта расположены молодые голубые очень яркие звезды,

сверхгиганты класса В. Некоторые из этих звезд очень богаты гелием и от них дует звездный ветер, скорость которого достигает ~ 1000 км/с [74]. Подобные звезды очень редки вне центра нашей Галактики. Эти звезды образуют цепочки, одна - из шести, вторая - из четырех звезд. Среднее расстояние между соседними звездами в этих цепочках ~ 0.03 пк, т.е. эти цепочки являются тесными системами типа трапеции. Эти звезды вместе с Sgr A* расположены в полости (~ 2.7 пк, предполагается, что эта полость была выдута вышеупомянутыми голубыми звездами) внутри молекулярного облака. Размеры этого облака ~ 7.5 пк. В [73] отмечается, что Sgr A* излучает на 4-6 порядков меньше энергии, чем мы могли ожидать при аккреции на черную дыру. Если мы примем точку зрения Амбарцумяна, то Sgr A* должен быть одним из сверхплотных тел, распад которых приводит к образованию новых ОВ-ассоциаций и облаков [1]: *"... ядра гигантских галактик могут содержать в себе объекты очень большой массы и малой светимости. Такими свойствами должны обладать протозвезды, состоящие из дозвездного вещества"*. Возможно, что одно из таких тел около Sgr A* (или часть самого Sgr A*) распалось в прошлом, образовав молекулярные облака, цепочки голубых звезд, а также поздние сверхгиганты (которые, согласно Амбарцумяну, присутствуют в ОВ-ассоциациях).

В близкой окрестности Sgr A* - в области радиусом 0.1 пк, расположена группа из 20-ти звезд, среди них есть звезды, образующие системы типа трапеции. Это звезды, включенные в три системы: 1 - звезды S9, S10, S11; 2 - звезды S1, S2, S3 и 3 - звезды S4, S5, S6. В этих системах среднее расстояние между звездами ~ 0.004 пк. Спектры большинства этих звезд соответствуют типам O9-B0.5 Главной последовательности, с массами 15 - 20 M_{\odot} [75]. Исследование некоторых из этих звезд приводит к выводу о кеплеровском вращении вокруг Sgr A* со скоростями ~ 1000 км/с [75]. Эти системы являются наиболее тесными из известных систем, состоящих из ранних звезд.

Мы можем предположить, что Sgr A* является гипотетическим сверхплотным телом, которое наблюдается в радио- и ИК-областях. Скорость Sgr A* не больше 15 км/с, болометрическая светимость $\sim 10^{38}$ эрг/с [73]. Амбарцумян предсказывал [1]: *"... ядра гигантских галактик могут содержать в себе объекты очень большой массы и малой светимости. Такими свойствами должны обладать протозвезды, состоящие из дозвездного вещества"* и в [55]: *"... в природе могут происходить процессы выбросов из ядер галактик относительно небольших масс. Эти выброшенные массы могут в короткие сроки превращаться в конгломераты, состоящие из молодых нестационарных звезд, межзвездного газа и облаков частиц высокой энергии"*. Это предсказывание довольно хорошо согласуется с конгломератом вокруг Sgr A*. Здесь можно привести еще один пример выброса из ядра галактики сверхплотного тела с последующим образованием конгломерата из ярких звезд раннего типа, молекулярных облаков и частиц высокой энергии. Это выброс из ядра галактики NGC 5128 (Cen A) [76-78]. Сравнительная близость галактики (~ 5 Мпк) позволяет наблюдать в оптике конденсации, находящиеся в струе, выброшенной из ядра. Выброс состоит из диффузного вещества, компактных эмиссионных объектов (компактных областей) и цепочек

голубых звезд. Эти звезды образуют цепочки, в которых имеются системы типа трапеции по три, четыре в каждой системе. Среднее расстояние между объектами в системах ~70 пк. Из-за больших размеров эти системы похожи скорее на ядра сверхассоциаций (сами сверхассоциации достигают размеров ~1 кпк).

7. Заключение. Идеи В.А.Амбарцумяна об образовании новых звезд актуальны и сегодня. Плодотворной оказалась концепция Амбарцумяна по анализу имеющихся наблюдательных фактов, в отличие от принятого среди астрономов направления, где в основу исследования ставилось умозрение, и только окончательные выводы подлежали сравнению с наблюдениями.

В статье приводится несколько современных гипотез звездообразования, даются также некоторые гипотетические спусковые механизмы, приводящие к звездообразованию. Подчеркнута роль молекулярных облаков в процессе образования новых звезд. Рассмотрены также некоторые крайне молодые объекты, связанные с областями звездообразования - мазеры воды, кометарные туманности, объекты Хербига-Аро, тесные системы типа трапеции (состоящие из YSO). На актуальность изучения этих объектов в свое время обратил внимание Амбарцумян. В статье приведены примеры современных исследований некоторых молекулярных облаков, радиальных систем темных глобул и областей звездообразования.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения, e-mail: agyulb@bao.sci.am

STAR FORMATION AND MOLECULAR CLOUDS

A.L.GYULBUDAGHIAN

The hypothesis suggested by V.A.Ambartsumian of formation of stars out of protostellar superdense bodies - protostars was an alternative for the existing in 50-es of last century (and not changed a lot nowadays) hypotheses of star formation by accretion and collapse (in different modifications). The main conclusions of Ambartsumian were made on the basis of analysis of observational data existing in that time. In this paper the main ideas of Ambartsumian as well as several modern hypotheses of star formation are given. Several results of investigations of molecular clouds and star-forming regions are also given. One of the distinctive peculiarities of young stellar objects (YSO) is the outflow from such objects (molecular outflows, jet-like outflows et cet.), phenomena, the importance of which for evolution of stars Ambartsumian mentioned still in 1937. Radial systems of dark globules, and also connected with star-forming regions HH objects, cometary nebulae, trapezium-like tight systems (containing YSOs) are also discussed.

Key words: *stars:formation:molecular clouds:protostars*

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А.Амбарцумян, Вестник АН СССР, 11, 45, 1957.
2. В.А.Амбарцумян, Доклад на VIII съезде МАС, Рим, Изд. АН СССР, М. 1952.
3. V.A.Ambartsumian, Observatory, 75, 72, 1955.
4. D.D.Clayton, in "Protostars and Planets", ed. T.Gehrels, Tuscon, Univ. Arizona Press, 1978, p.1.
5. П.С.Марочник, А.А.Сучков, "Галактика", М. Наука. 1984.
6. C.J.Lada, L.Blitz, B.G.Elmeegreen, in "Protostars and Planets", ed. T.Gehrels, Univ. Arizona Press, 1978, p.341.
7. A.Kawamura, T.Minamidani, Y.Mizuno et al., in "Triggered Star Formation in a turbulent Interstellar Medium", eds. B.G.Elmeegreen, J.Palous, Cambridge Univ. Press, 2006, p.101.
8. H.Beuther, E.B.Churchwell, C.F.McKee, J.C.Tan, in "Protostars and Planets", V, 2007, p.165.
9. C.Lada, in "Star-Forming Regions", eds. M.Peimbert, J.Jugaku, Dordrecht, Kluwer, p.1.
10. P.Andre, D.Ward-Thompson, M.Barsony, Astrophys. J., 406, 124, 1993.
11. R.Henriksen, P.Andre, S.Bontempi, Astron. Astrophys., 323, 549, 1997.
12. B.Bok, The Milky Way, Harvard University Press, 1981.
13. B.Bok, Proc. Astron. Soc. Pacif., 90, 489, 1978.
14. B.Reipurth, Astron. Astrophys., 117, 183, 1983.
15. W.W.Morgan, S.Sharpless, D.E.Osterbrock, Astron. J., 57, 3, 1952.
16. A.Blaauw, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 2, 213, 1964.
17. V.Minier, M.G.Burton, T.Hill, Astron. Astrophys., 429, 345, 2005.
18. F.Hoyle, Astrophys. J., 118, 513, 1953.
19. J.Silk, Astrophys. J., 256, 514, 1982.
20. K.Dobashi, Y.Yonekura, T.Matsumoto, Publ. Astron. Soc. Japan, 53, 85, 2001.
21. C.C.Lin, F.H.Shu, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 55, 229, 1966.
22. M.Fujimoto, Non-Stable Phenomena in Galaxies, IAU Symp. N29, 1966, p.453.
23. C.Lada, Astrophys. J. Suppl. Ser., 32, 603, 1976.
24. B.G.Elmeegreen, Astrophys. J., 214, 725, 1972.
25. E.Opik, Irish. Astron. J., 2, 219, 1953.
26. R.Sancizj, Astron. Astrophys., 53, 159, 1976.
27. J.Palous, S.Ehlerova, New Astron. Review, 44, 363, 2000.
28. M.Kun, Proc.Astron. Soc. Japan, 53, 1063, 2001.
29. K.Matsunaga, Proc. Astron. Soc. Japan, 53, 1003, 2001.
30. N.Mizuno, A.Kawamura, T.Onishi, in "Triggered Star Formation in a Turbulent Interstellar Medium", eds. B.G.Elmeegreen, J.Palous, Cambridge Univ. Press, 2006, p.128.
31. R.B.Loren, Astrophys. J., 209, 456, 1976.
32. L.Blitz, in Proceedings of the Gregyrog workshop on Giant Molecular Clouds, 1978.
33. L.Blitz, PhD Thesis, Univ. of Columbia, New York, NY, 1979.
34. J.Castor, R.McCray, R.Weaver, Astrophys. J., 200, L107, 1975.
35. N.Mizuno, E.Muller, H.Maella et al., Astrophys. Lett., 643, 107, 2006.
36. R.Yamaguchi, Proc. Astron. Soc. Japan, 51, 791, 1999.
37. Х.Альвен, Космическая плазма, М. Мир, 1983.

38. *R.L.Snell*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **45**, 121, 1981.
39. *H.Underrechts, C.M.Walmsley, G.Winnewisser*, *Astron. Astrophys.*, **111**, 339, 1982.
40. *G.H.Herbig*, *Proc. Astron. Soc. Pacif.*, **86**, 604, 1974.
41. *T.G.Hawarden, P.W.Brand*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **175**, 1913, 1976.
42. *A.Sandqvist*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **177**, 69P, 1976.
43. *C.Carrasco-Gonzalez, R.Lopez, A.L.Gyulbudaghian, G.Anglada, C.W.Lee*, *Astron. Astrophys.*, **445**, L43, 2006.
44. *А.Л.Гюльбудагян*, Докторская диссертация, Ереван, 2001.
45. *А.Л.Гюльбудагян*, *Астрофизика*, **23**, 295, 1985.
46. *IRAS Point Source Catalog, Version 2*, 1988, Washington, D.C.
47. *R.D.Schwartz, A.L.Gyulbudaghian, B.Wilking*, *Astrophys. J.*, **370**, 263, 1991.
48. *B.Lefloch, B.Lazareff*, *Astron. Astrophys.*, **289**, 559, 1994.
49. *А.Л.Гюльбудагян*, *Астрофизика*, **19**, 747, 1983.
50. *H.Beuther*, in "Triggered Star Formation in a Turbulent Interstellar Medium", eds. *B.G.Elmegreen, J.Palous*, Cambridge Univ. Press, 2006, p.148.
51. *Э.С.Парсамян, В.М.Петросян*, *Сообщ. Бюраканской обс.*, **61**, 104, 1989.
52. *Э.С.Парсамян, М.Мендес*, *Астрофизика*, **10**, 65, 1974.
53. *P Peimbert, E.S.Parsamian, K.G.Gasparian, A.S.Melkonian, G.B.Ohanian*, *Astrofizika*, **35**, 352, 1991.
54. *В.А.Амбарцумян*, *Вопросы космогонии*, **4**, 76, 1955.
55. *В.А.Амбарцумян*, *Сообщ. Бюраканской обс.*, **13**, 3, 1954.
56. *G.H.Herbig*, *Astrophys. J.*, **113**, 697, 1951.
57. *G.Haro*, *Astrophys. J.*, **115**, 572, 1952.
58. *G.H.Herbig*, in *Non-Periodic Phenomena in Variable Stars*, IAU Colloquim, Budapest, 1968, p.75.
59. *R.D.Schwartz*, *Astrophys. J.*, **243**, 197, 1981.
60. *Н.Бочкарев*, *Основы физики межзвездной среды*, М., изд-во МГУ, 1992.
61. *В.С.Стрельницкий, З.А.Сюняев*, *Астрон. ж.*, **49**, 704, 1972.
62. *A.L.Gyulbudaghian, Yu.I.Glushkov, E.K.Denisyuk*, *Astrophys. J.*, **224**, L137, 1978.
63. *L.F.Rodriguez, J.M.Moran, D.F.Dickinson, A.L.Gyulbudaghian*, *Astrophys. J.*, **226**, 115, 1978.
64. *R.M.Martirosian*, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.*, **24**, 83, 1990.
65. *B.Zuckerman, T.Kuiper, O.Rodriguez-Kuiper*, *Astrophys. J.*, **209**, L137, 1976.
66. *J.Bally, C.Lada*, *Astrophys. J.*, **265**, 824, 1983.
67. *C.J.Chandler, J.S.Richer*, *Astrophys. J.*, **555**, 139, 2001.
68. *J.Rawlings, M.P.Redman, E.Keto, D.A.Williams*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **351**, 1054, 2004.
69. *R.Mundt, J.W.Fried*, *Astrophys. J.*, **274**, L83, 1983.
70. *B.Reipurth, J.Bally*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **39**, 403, 2001.
71. *M.D.Smith, A.Rosen*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **357**, 1370, 2005.
72. *В.А.Амбарцумян*, *Уч. Зап. ЛГУ*, **N17**, 96, 1937.
73. *C.H.Townes*, in "Unresolved problems of the Milky Way", ed. *L.Blitz*, P.Teuben, Kluwer Acad. Publ., 1996, p.149.
74. *T.J.Davidge*, *Astron. J.*, **114**, 2586, 1997.
75. *R.Genzel, A.Eckart, T.Ott, F.Eisenhauer*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **291**, 219, 1997.
76. *P.Osmer*, *Astrophys. J.*, **226**, L79, 1978.
77. *M.Blanco, J.Graham, B.Lasker, P.Osmer*, *Astrophys. J.*, **198**, L63, 1975.
78. *А.Л.Гюльбудагян*, *Астрофизика*, **33**, 395, 1990.