

УДК 524.4

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ В ГАЛАКТИКЕ И ПРОЦЕСС ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ

Л.В.МИРЗОЯН

Поступила 19 июля 1995

Рассмотрена проблема нестационарности астрономических объектов и их систем и ее тесная связь с процессом формирования звезд на основе наблюдательных данных. Показано, что только благодаря открытию и изучению звездных ассоциаций окончательно выяснилась огромная роль звездной нестационарности в формировании звезд в Галактике (а также в других галактиках). Многие кинематические свойства звездных ассоциаций необъяснимы со старой точки зрения. Это дает основание сомневаться в справедливости классической гипотезы о формировании звезд из диффузной материи.

1. *Введение.* Космогонические процессы рождения и эволюции звезд и их систем во Вселенной трудно поддаются исследованию прежде всего из-за большой их длительности. Продолжительность процессов серьезных изменений состояний небесных тел, в огромном большинстве случаев, настолько превышает период всех астрономических наблюдений, что непосредственно заметить изменения, которые являются их результатом, невозможно.

Однако, к счастью, в жизни звезд и их систем существуют периоды, когда в них в ходе самого процесса развития или эволюции возникают новые силы, коренным образом меняющие их состояние. В этих случаях звезда или звездная система находится в неустойчивом или нестационарном состоянии. Это стало известно только в XX в. Благодаря этой особенности нестационарных состояний, космогонические исследования звезд и звездных систем начали развиваться в тесной связи с результатами астрономических наблюдений.

Амбарцумян [1-10] (см. также [11-13]), исследования которого заложили основы этого нового направления в космогонии, целиком опирающийся на разработанный им наблюдательный подход [10], своими уникальными исследованиями, вместе со своими учениками создал принципиально новые представления о рождении и эволюции звезд и звездных

систем. В частности, впервые на основе наблюдений было доказано, что звездообразование в нашей Галактике в настоящее время продолжается [5,6].

В настоящем обзоре рассматриваются наблюдательные данные о нестационарности звезд и звездных систем в нашей Галактике, с точки зрения представлений, развитых, в основном, в Бюраканской астрофизической обсерватории Национальной академии наук Армении, которые в дальнейшем привели к принципиально важным результатам по исследованию нестационарности во Вселенной, с точки зрения звездообразования.

2. Первые результаты исследования нестационарных явлений во Вселенной. До XX в. единственными известными нестационарными астрономическими объектами, в современном смысле слова, были короткопериодические кометы - в Солнечной системе и новые звезды в Галактике.

Наблюдаемые изменения этих объектов, сильно преобразуя их состояние, необратимы и исключают возможность возврата к прежним состояниям. В результате нестационарное физическое состояние этих объектов "быстро" меняется и они переходят в новое состояние.

Более глубокие изменения наблюдал эстонский астроном Гартвиг в 1885 г. вблизи ядра туманности Андромеды. Это была вспышка в соседней Галактике сверхновой, несравненно гораздо более мощной, подобно которой не наблюдалось около 400 лет. Хотя вспышки такой мощности наблюдались и в нашей звездной системе ранее, однако после открытия Гартвига выяснилось, что сверхновые звезды сильно отличаются от обыкновенных новых*. Они особая категория очень редких и необычно мощных взрывных явлений, происходящих в галактиках. Энергия, освобождаемая при вспышке сверхновых, сравнима с энергией, содержащейся в газовой звезде. Во время взрыва сверхновой, звезда переходит из одного состояния в качественно другое.

В результате взрыва сверхновых возникают гигантские туманности, которые непосредственно наблюдаются и кроме оптического излучения испускают и радиоизлучение. В качестве примера можно указать знаменитую Крабовидную туманность, которая возникла после взрыва сверхновой звезды, в нашей Галактике, впервые наблюдавшейся в 1054

* Почти за 2000 лет в Галактике вспыхнули 7-8 сверхновых, в то время как каждый год в ней вспыхивает около 30 новых.

г. в созвездии Тельца. Следует отметить, что частота вспышек сверхновых очень небольшая. Как сверхновые, могут вспыхнуть лишь немногие звезды.

Примеры взрывов сверхновых и новых наглядно демонстрируют, как из звезд возникают диффузные образования. Однако обратный процесс - возникновение плотного объекта из диффузной материи пока еще никто не наблюдал.

Глубокое рассмотрение этих проявлений нестационарности в Галактике, а в последующем и в других галактиках и их системах, показывает, что нестационарность их состояний всегда приводит к коренным изменениям этих объектов, к появлению новых состояний, не похожих на старые. Иначе говоря, рождение и эволюция космических объектов и их физических систем всегда тесно связаны с нестационарностью состояний этих образований.

В начале XX в. в нашей Галактике вспыхнула новая в созвездии Персея. Последствиями этой и других вспышек новых появились газовые оболочки (туманности), которые были выброшены новыми и расширялись с большими скоростями (порядка 1000 км/с).

Несколько позже оказалось возможным исследовать нестационарные явления у астрономических объектов, ранее считавшихся стационарными. Примечательным примером таких объектов являются звезды типа Вольф - Райе. Анализ спектров звезд Вольф - Райе показал, что из атмосфер этих звезд происходит непрерывное истечение вещества, из каждой звезды около 10^{-5} - 10^{-6} солнечной массы в год. Спокойное истечение вещества из этих звезд уже за несколько десятков тысяч лет, должно привести к существенной убыли массы звезды, к изменению ее физического состояния и к быстрой ее эволюции. Этот факт свидетельствует, что звезда постоянной яркости, казавшаяся неизменной, тоже может находиться в нестационарном состоянии. Относительное постоянство спектра большинства звезд типа Вольф - Райе, а следовательно, и процесса истечения вещества из их атмосфер, подтверждает, что за короткое (по космическим масштабам) время может происходить резкое изменение состояния звезды.

3. Нестационарность астрономических объектов и их систем. Исследования по изучению нестационарных явлений и их фундаментальное влияние на эволюцию звезд и звездных систем были начаты в Ленинградском университете в 30-х годах нашего столетия. Эти исследования [1-4], основанные на применении наблюдательного подхода

[10], привели к новым и важным представлениям о темпах и путях эволюции звезд и звездных систем.

Методами теоретической астрофизики было показано [1], что планетарные туманности не являются стационарными объектами и расширяются. Как и в случае новых звезд, здесь наблюдаются выбросы газовых масс, которые превращаются в туманности.

Анализ наблюдательных данных относительно звезд и звездных систем, входящих в Галактику, показал, что она, в противоположность общепринятым ранее представлениям, является звездной системой, в которой происходят бурные и подчас весьма быстрые изменения.

Применение принципов звездной динамики, разработанных в эти годы, к открытым звездным скоплениям [4], привело к неожиданному результату. Оказалось, что даже если открытые скопления находятся в стационарном состоянии, вследствие взаимодействия звезд скопления они должны постепенно "испаряться" - отдельные звезды системы с течением времени будут покидать скопление, подобно молекулам на поверхности жидкости. Расчеты показывают, что в результате процесса "испарения" многие открытые скопления Галактики должны будут исчезнуть всего лишь за несколько сот миллионов лет, а некоторые из них - даже в течение немногих десятков миллионов лет.

С другой стороны, принципы звездной динамики, в применении к совокупности визуально - двойных звезд Галактики, показали [2], что процессы распада звездных пар, происходящих вследствие их встреч со звездами окружающего поля, доминируют над процессами возникновения новых пар при случайных сближениях звезд.

В результате этого вездесущего процесса количество одиночных звезд в общем звездном поле Галактики постоянно растет. Следует особо подчеркнуть, что распад звездных скоплений и двойных звезд идет только и только в одном направлении: *распад и рассеяние*. Это направление и характеризует общую направленность космогонических процессов в нашей Галактике, и как показывают наблюдения, и в других галактиках.

Принципиальным результатом этих исследований явилось, в частности, установление конечной, так называемой "короткой шкалы" возраста Галактики и составляющих ее звезд. Открытие неизбежного распада звездных скоплений и менее крупных групп, например двойных звезд, за сравнительно короткие сроки показало, что Галактика, в ее современном состоянии, не могла бы существовать более 10^9 - 10^{10} лет

(по порядку величины).

Окончательное установление возраста нашей Галактики было достигнуто в работах Бока [14, 15] и Амбарцумяна [2, 16], которые на основе данных, относящихся к открытым звездным скоплениям и двойным звездам, опровергли пользующееся большим успехом утверждение Джинса [17, 18] о "долгой шкале" возраста нашей Галактики - 10^{10} - 10^{11} лет и доказали справедливость "короткой шкалы" ее возраста - 10^9 - 10^{10} лет*.

Следует добавить, что уже первые исследования нестационарных явлений: вспышки новых и эволюция открытых звездных скоплений свидетельствовали, что космическая нестационарность проявляется в двух формах, *динамической*, когда изменение внутреннего состояния системы постепенно приводит к коренным изменениям (распад и рассеяние материи) и *физической*, когда внезапный или непрерывный выброс материи из звезды приводит к необратимым изменениям ее состояния (рассеяние материи из более плотного состояния в менее плотное).

4. *Открытие звездных ассоциаций-звездных систем нового типа и явления нестационарности в них.* В 1947 г. Амбарцумян [5, 6] открыл существование в Галактике нового типа звездных систем, которые долгое время оставались неизвестными. Для открытия этих звездных систем служил основной фундаментальный наблюдательный факт-тенденция звезд - горячих гигантов и сверхгигантов спектральных классов О и В, а также карликовых звезд с эмиссионными линиями в спектрах (звезды типа Т Тельца) к скучиванию.

Например, Паннекук [19] в 1929 г. описал около десятка групп звезд - горячих гигантов и сверхгигантов, сконцентрированных в определенных областях неба. Однако, тогда не была понятна причина такой концентрации.

Как позже отметил Амбарцумян [5, 6], аналогичное скучивание наблюдается и в случае карликовых звезд с эмиссионными линиями, непрерывно меняющие свой блеск.

Было показано, что звезды спектральных классов О и В и карлики с эмиссионными линиями в спектрах имеют резко выраженную парциальную плотность и встречаются в пространстве группами.

* После этих работ двойные звезды оставались единственным аргументом в пользу "долгой шкалы" возраста нашей Галактики. Однако Амбарцумян [2, 16] показал, что теоретически правильное рассмотрение вопросов статистики двойных звезд также приводит к "короткой" эволюционной шкале.

В основе этого явления лежит глубокая закономерность. Указанные звезды имеют общее происхождение и, поэтому, наблюдаются вместе. Плотность звезд - горячих гигантов и сверхгигантов, с одной стороны, и карликовых звезд с эмиссионными линиями, с другой, меньше средней звездной плотности общего галактического звездного поля.

В этом смысле установление расширительных движений в звездных ассоциациях и их ядрах имело неоценимое значение в изучении процесса звздообразования в Галактике. Оно показало, что звезды в ассоциациях не могут долго существовать.

Амбарцумян [5, 6], оценив средние скорости звезд и размеры ассоциаций, определил максимальную продолжительность жизни ассоциаций - 10^7 лет. Отсюда следует, что ассоциации являются звездными системами, звезды которых удаляются от областей пространства, где они образовались.

В результате этой работы был открыт новый вид движений молодых звезд - расширение, разлет, удаление от областей их возникновения, *вид движений неизвестных раньше в звездной динамике* [9].

Неустойчивость звездных ассоциаций показывает, что процесс распада ассоциаций в Галактике идет непрерывно уже более миллиардов лет. Это означает, что процесс звездообразования, начатый в период возникновения Галактики, продолжается и в настоящую эпоху ее жизни.

Таким образом, результаты глубокого исследования новых систем, получившие название *звездных ассоциаций*, привели к открытию очагов звездообразования в нашей Галактике (и в других галактиках).

Оказалось, что существуют два типа звездных ассоциаций: ОВ и Т. Каждая из них может иметь от одного до нескольких ядер - центров звездообразования. Выяснилось, что все ассоциации, состоящие из горячих гигантов и сверхгигантов (ОВ - ассоциации), которые настолько близки, что в них можно открывать карликовые звезды с эмиссионными линиями в спектрах (типа Т Тельца), содержат и такие звезды. Однако обратное утверждение не верно. Многие ближайшие ассоциации карликовых звезд (Т - ассоциации) не содержат горячих гигантов и сверхгигантов. Эта особенность строения звездных ассоциаций пока до конца не понятна [5, 6, 11].

После открытия звездных ассоциаций стало очевидным [5], что эти системы находятся в состоянии динамической нестационарности.

Наблюдательные данные о движениях звезд, составляющих звездные

ассоциации, показывают, что они обладают скоростями, превышающими скорость отрыва от системы, вследствие этого убегают от областей пространства, где они возникали - от ядер звездных ассоциаций.

Этот теоретический вывод, полученный на основе наблюдательных данных [9], в 1952 г. был скоро подтвержден Блау [20, 21], показавшего, что собственные движения звезд ОВ-ассоциаций Персей II указывают на разлет этих звезд от центра звездообразования. При этом скорости удаления соответствовали представлению о крайней молодости этой системы.

Представление о расширении звездных ассоциаций типа ОВ получило вескую поддержку при рассмотрении собственных движений ОВ-звезд в случае ряда других ближайших ассоциаций (см., например, [12]).

В 1954 г. Блау и Морган [22, 23] открыли звезды ранних спектральных классов, "беглецов" из ОВ-ассоциаций, которые с необычно большими пространственными скоростями (порядка 100 км/с) миллионы лет назад вылетели из области, близкой к Трапедии Ориона (из ОВ-ассоциации), в противоположных направлениях. Это означало, что дисперсия скоростей звезд вылета из ассоциаций весьма значительна.

Позже Круз-Гонзалес и другие [24] показали, что среди О-звезд, "беглецы" из ОВ-ассоциаций составляют около 30%.

Расширение ОВ-ассоциаций было подтверждено статистическим рассмотрением лучевых скоростей ОВ-звезд, входящих в состав так называемой "синтетической ассоциации", состоящей из около 300 звезд горячих гигантов и сверхгигантов ближайших ОВ-ассоциаций [25]. "Синтетическая ассоциация" является одноядерным и лучевые скорости ОВ-звезд относительно центра характеризуют расширение ассоциаций. Было показано, что модуль средней лучевой скорости - $|V(r)|$ растет с расстоянием r от центра синтетической ассоциации, что является прямым следствием расширения ОВ-ассоциаций, составляющих синтетическую ассоциацию. Позже этот вывод подтвердился в работе автора и Мнацаканяна [26, 27] после математического усовершенствования метода.

Таким образом, можно констатировать, что динамическая нестационарность ОВ-ассоциаций в настоящее время не вызывает сомнений: ОВ-ассоциации после возникновения расширяются и распадаются. Лишь причина этой нестационарности является предметом неопределенности.

Имеются веские основания считать, что ОВ-звезды и звезды типа Т Тельца, составляющие характерное население звездных ассоциаций, оказавшиеся вдали от ассоциаций, в общем галактическом поле, являются на самом деле "беглецами" из материнских систем, благодаря большим скоростям вылета из центров звездообразования (см., например, исследование Круз-Гонзалес и др. [24]).

В более позднем исследовании Гиса и Болтона [28] анализ кинематических возрастов 36 ярких быстролетящих ОВ-звезд северного полушария позволил заключить, что все "беглецы" выброшены из ОВ-ассоциаций сразу после их формирования.

Новое подтверждение принадлежности крайне неустойчивых звезд типа Вольф-Райе к ОВ-ассоциациям было получено Лундстремом и Стенхолмом [29].

Если для ОВ-ассоциации имеются прямые свидетельства об их расширении и последующем распаде, то для Т-ассоциаций таких непосредственных свидетельств о расширении нет. Однако и в этом случае имеются косвенные наблюдения, подтверждающие их нестационарность.

В качестве веского аргумента о расширении Т-ассоциаций можно привести следующий примечательный факт [13]. Наблюдения свидетельствуют, что Т-ассоциации состоят только из звезд-карликов. В их составе гигантских звезд нет. Следовательно, после периода активности звезд типа Т-Тельца, Т-ассоциаций, если они не расширяются и распадаются, должны превратиться в открытые звездные скопления, состоящие из одних лишь карликовых звезд. Однако в Галактике нет открытых скоплений, состоящих из одних лишь карликовых звезд. Этот факт исключает наше предположение о стационарности Т-ассоциаций. Они как и ОВ-ассоциации нестационарны, расширяются и со временем распадаются.

Важным свидетельством в пользу расширения и последующего распада Т-ассоциаций является существование в них большого количества крайне неустойчивых и быстро распадающихся кратных систем, систем типа Трапеции. Их распад приводит к распаду самих Т-ассоциаций [30, 31] (см. следующий параграф).

5. Кратные системы типа Трапеции Ориона и их динамическая нестационарность. Огромное значение динамической нестационарности в звездных ассоциациях в процессе звездообразования

выдвинуло задачу определить, какими свойствами должны обладать ядра звездных ассоциаций. Естественно предположить, что они должны быть, прежде всего, нестационарными. Исходя из этого параметра, пространственную конфигурацию компонентов кратной системы можно разделить на нестационарные и стационарные. Только нестационарные кратные системы являются ядрами звездных ассоциаций.

По этому признаку Амбарцумян [32] разделил все кратные системы на две группы:

1) Кратные системы (независимо от числа членов), в составе которых имеются 3 звезды, взаимные пространственные расстояния между которыми одинакового порядка (не отличаются более чем 2.5-3.0 раза). Такие кратные системы называются системами *типа Трапеции* (прототипом этих систем является Трапеция Ориона). Движения звезд в этих кратных системах сильно отличаются от кеплеровских и такие системы сравнительно быстро распадаются. Системы типа Трапеции очень нестационарны и, как правило, являются ядрами ассоциаций.

2) Кратные системы, не имеющие конфигурацию типа Трапеции, называются кратными системами *обыкновенного типа*. В этих системах движения звезд кеплеровские или почти кеплеровские, вследствие чего эти системы почти стационарны. Поэтому они не могут быть ядрами ассоциаций.

Важно отметить, что вышеприведенное разделение относится к пространственным расстояниям звезд. На самом деле около 10% наблюдаемых кратных систем типа Трапеции, как показывает рассмотрение [33], являются псевдотрапециями, т.е. кажущимися Трапециями, в результате благоприятного проектирования на небесную сферу. Поэтому, в дальнейшем речь пойдет только о реальных кратных звездах типа Трапеции.

Имеются многочисленные прямые и косвенные свидетельства в пользу динамической неустойчивости кратных систем типа Трапеции*.

Принципиальный вывод о нестационарности и крайней молодости кратных систем типа Трапеции, основанный на наблюдениях, впервые был получен в начале 50-х годов на основе данных каталога Эйкенена [35]. Оказалось, что реальные кратные звезды типа Трапеции встречаются преимущественно, около 60%, среди молодых звезд (ярчайшая звезда

* О кратных системах типа Трапеции подробно см. [34].

этих систем является звездой спектрального класса O-B2). Этот результат позже подтвердился на более богатом наблюдательном материале Индекс каталога визуально двойных звезд [36].

Из полученного результата непосредственно следует, что продолжительность жизни реальных кратных систем звезд типа Трапеции должна быть короче продолжительности жизни OB-звезд. Этот результат означает, что кратные звезды типа Трапеции очень молодые и пока звезды в этих системах стареют, сама система успевает распасться либо полностью, либо частично, теряя часть своих членов и превращаясь в кратную систему обыкновенного типа. Вследствие этого, кратные системы типа Трапеции почти не встречаются среди старых звезд.

Этим обусловлен и тот наблюдаемый факт, что устойчивых кратных систем (обыкновенного типа) в Галактике гораздо больше, чем неустойчивых кратных звезд (типа Трапеции). Системы первого типа живут долго и со временем их число увеличивается за счет возникновения новых, а также распадающихся частично систем типа Трапеции, в то время как системы типа Трапеции регулярно распадаются.

Подсчеты времени распада кратных звезд типа Трапеции, проведенные с помощью формулы Амбарцумяна [37] для времени релаксации звездных скоплений подтверждают вывод об их крайней молодости. Время жизни кратной системы типа Трапеции зависит от полной энергии системы, но не может превышать 2×10^6 лет [33].

Свидетельства о молодости реальных кратных звезд типа Трапеции были получены также Агекином [38] и Шарплессом [39].

Первый из них на основе видимого распределения конфигураций тройных звезд теоретически восстановил их действительное распределение и показал [38], что в этом распределении доля реальных систем типа Трапеции наибольшая для тройных звезд, содержащих спектральные классы O и B. Это означало, что системы типа Трапеции на самом деле состоят из молодых звезд и являются молодыми образованиями.

Шарплесс [39] же, используя наблюдения кратных звезд типа Трапеции, находящихся в эмиссионных туманностях, показал, что наблюдается сильная тенденция ярчайших звезд этих систем иметь спектральные классы ранее O9, т.е. быть очень молодыми.

Очевидно, что наиболее надежные результаты о природе кратных систем типа Трапеции могут быть получены из их детального исследования, на основе астрономических наблюдений.

Первая работа, посвященная исследованию движений звезд в системе Трапеции Ориона, была выполнена в 1953г. Паренаго [40]. Рассмотрев шесть компонентов этой системы и используя все имеющиеся за 180 лет данные об их собственных движениях и лучевых скоростях, автор показал, что они находятся в хорошем согласии с предположением о расширении Трапеции Ориона [41].

Хотя последующие работы о Трапеции Ориона противоречивы, однако, тщательный анализ всех данных Паренаго [41] об этой системе, проведенный Салуквадзе [42] значительно позже (см. также [43]), показал, что ее расширение является реальным.

Заслуживает внимания большая работа Салуквадзе [44], посвященная астрометрическому исследованию около 40-кратных систем типа Трапеции, содержащих О-В2 звезды, из каталога Абастуманской астрофизической обсерватории [42]. Из них только для 15 систем имеются более 5 наблюдений, которые в большинстве случаев охватывают интервал времени более 100 лет. Подробное рассмотрение этих данных указывает на расширение 14-кратных систем из исследованных 15. Возможно, что одна из них псевдотрапеция.

Значительную научную ценность представляют работы по динамической эволюции реальных кратных систем типа Трапеции, если только начальные условия выбраны правильно.

В этом смысле характерно исследование Аллен и Поведа [45]. В этой работе при допущении отрицательной полной энергии системы исследована динамическая эволюция 30-кратных звезд типа Трапеции, каждая из которых состоит из шести массивных компонентов, имеет различные параметры строения и заключена в сферу радиуса 5000 а.е.

Основной результат вычислений динамической эволюции этих кратных систем свидетельствует, что $2/3$ часть рассмотренных систем, после 10^6 лет еще оставалась кратной системой типа Трапеции. По мнению Аллен и Поведа [45] этот результат находится в противоречии с представлением о динамической нестационарности систем типа Трапеции.

На самом деле, такой вывод основан на неправильной интерпретации полученного результата [46]. Действительно, результат Аллен и Поведы [45] показывает, что вероятность для кратной системы типа Трапеции сохранить свою пространственную конфигурацию в течение 10^6 лет равна $2/3$. Это означает, что уже за время 2×10^6 лет больше половины всех систем типа Трапеции рассмотренной выборки, точнее их $1 - (2/3)^2 = 5/9$

часть будет терять свою характерную конфигурацию и перестанет быть системой типа Трапеции. Иначе говоря, период полураспада звездных систем типа Трапеции, обладающих отрицательной полной энергией, меньше 2×10^6 лет. Этот результат находится в превосходном согласии представлением о крайней неустойчивости и быстром распаде кратных систем типа Трапеции [33].

6. Звездные системы положительной полной энергии.

Распирение звезд ОВ-ассоциаций в пространстве и последующий их распад, естественно окажутся возможными только тогда, когда полная кинетическая энергия системы превышает абсолютную величину энергии гравитационного взаимодействия соответствующих звезд.

Этот неизбежный вывод Амбарцумяна [9], основанный на наблюдениях звездных ассоциаций, привел к открытию в Галактике систем, обладающих положительной полной энергией [47].

Это прежде всего ОВ-ассоциации и небольшие системы, являющиеся ядрами ассоциаций, в виде открытых звездных скоплений типа О, по классификации Маркаряна [48] и кратные системы типа Трапеции [34,43] - центры звездообразования в ассоциациях.

Рассмотрение скоплений типа О [48], имеющих в своем составе небольшое число звезд, показывает, что они в течение своей жизни принципиально не могут обогащаться за счет звезд общего галактического звездного поля и превратится в скопления других типов (например, В-или А-типов [44]), обладающих гораздо большим числом членов. Этот путь для них запрещен с точки зрения звездной динамики.

Такова ситуация с распадающимися кратными системами типа Трапеции. Они, как показывают общетеоретическое, а также наблюдательное соображения, в большинстве случаев, если не всегда, являются звездными системами положительной полной энергии.

Таким образом, рассмотрение динамической нестационарности в нашей Галактике - в областях формирования звезд, привело к новому представлению о том, что среди звездных систем различного масштаба имеются такие, которые обладают полной положительной энергией и быстро распадаются. Во всех случаях известные нам системы с положительной полной энергией, как правило, являются составляющими звездных ассоциаций.

7. Разновременное формирование звезд в звездных ассоци-

ациях. В начальный период исследования звездных ассоциаций казалось, что звезды всей системы формируются вместе и "мгновенно" разлетаются от ядер ассоциаций - центров звездообразования. Однако дальнейшее рассмотрение показало, что почти во всех ассоциациях процесс звездообразования довольно длительный процесс и происходит разновременно.

Например, основываясь на собственных движениях звезд, Блау [20] определил "кинематический возраст" ассоциации Персей OB2 порядка 1.3×10^6 лет. Естественно, что этот возраст относится только к тем звездам, которые были использованы при исследовании расширения этой ассоциации. О собственных движениях других, более слабых звезд этой системы нам ничего не известно.

Более сложно положение в тех случаях, когда звездная ассоциация имеет несколько ядер - центров звездообразования, как это наблюдается в ассоциации Лебедь OB1 [49] и в некоторых других OB-ассоциациях.

Можно считать, что группы молодых звезд (одноядерные ассоциации или звезды "беглецы" из ассоциации и т.д.) являются частями (субсистемами) более протяженных систем, где в настоящее время идут процессы звездообразования. Это обстоятельство было специально учтено, когда была построена "синтетическая ассоциация", - суперпозиция субсистем OB-звезд вокруг ядер существующих OB-ассоциаций для изучения их расширения на основе лучевых скоростей OB-звезд [25].

Открытие быстролетающих OB-звезд "беглецов" из звездных ассоциаций, сначала Блау и Морганом [22,23], а позже Круз-Гонзалес и др. [27], показали, что процесс звездообразования в звездных ассоциациях длится, по крайней мере, миллионы лет.

Хотя нам ничего не известно о звездах-"беглецах" из ассоциации Орион OB1, существующие в настоящее время данные можно рассматривать как свидетельство в пользу представления о том, что в ассоциации Орион OB1 небольшие группы звезд были сформированы в прошлом, другие группы формировались позже, а некоторые группы формируются сейчас. Причем, все эти группы расширяются в настоящее время с разными скоростями.

Современные данные об ассоциации Орион OB1, таким образом, полностью подтверждают вывод о разновременном формировании звезд в звездных ассоциациях.

Первые указания Блау и Моргана [22,23] о существовании

быстролетящих ОВ-звезд из ассоциации Орион показали, что эти звезды сформированы в ней несколько миллионов лет назад, в области близкой к Трапедии Ориона.

Учитывая, что сама Трапедия Ориона является очень молодой и быстро распадающейся системой, можно допустить, что ее возраст меньше миллиона лет. Отсюда следует, что область Трапедии Ориона была областью звездообразования менее миллион лет назад.

Вместе с этим, основываясь на наблюдательных данных, относящихся к инфракрасным источникам, движениям СО газа и H_2O -мазеров можно утверждать, что в ассоциации Орион OB1 имеется небольшая область современного звездообразования. В этой ассоциации, в частности, наблюдается область активного звездообразования вблизи инфракрасного объекта IRC-2 (см., например, [50]).

Все это дает веское основание утверждать, что в звездных ассоциациях звезды формируются небольшими группами, в различных местах и в разное время.

8. *Групповое формирование звезд в звездных ассоциациях.* Еще до открытия звездных ассоциаций Амбарцумян [1,8] показал, что составляющие двойных звезд в Галактике не могли бы образоваться в результате случайных встреч со звездами галактического поля. Они имеют общее происхождение. Этот примечательный факт подтвердился после открытия звездных ассоциаций, которые содержат большое число двойных, тройных и большей кратности систем. Принципиально важным является существование кратных звезд типа Трапедии [32], которые встречаются среди молодых звезд и "быстро" распадаются. Такие системы многочисленны как в ОВ-ассоциациях, так и в Т-ассоциациях.

Статистическое исследование показывает, что нестационарные кратные системы звезд типа Трапедии, как правило, встречаются среди молодых звезд, причем наблюдательные данные полностью подтверждают это представление.

Факты, изложенные в этом разделе, посвященном кратным системам звезд типа Трапедии, однозначно указывают на групповое происхождение звезд [51].

Интересно отметить, что согласно наблюдательным данным [51] общее галактическое звездное поле очень богато кратными звездами обыкновенного типа, а звездные ассоциации богаты динамически нестационарными системами звезд типа Трапедии.

Это явление имеет свое естественное объяснение. Звезды формируются в звездных ассоциациях группами, как динамически устойчивыми, так и неустойчивыми (большей частью). Динамически устойчивые группы распадаются очень медленно, только при случайных близких встречах со звездами поля, а динамически неустойчивые группы (кратные системы типа Трапедии) несравненно быстро (полностью или частично). В результате общее галактическое звездное поле обогащается динамически устойчивыми кратными звездами, а звездные ассоциации динамически неустойчивыми (типа Трапедии) кратными системами.

Наблюдаемое распределение кратных систем (обыкновенных и типа Трапедии) в Галактике и в ассоциациях яркое доказательство в пользу группового формирования звезд.

9. Внутризвездная природа звездной нестационарности. Вспышки новых и сверхновых, излучение планетарных туманностей, поведение звезд типа Вольф-Райе, а также распад открытых звездных скоплений и двойных звезд, однозначно указывают, что во всех этих случаях источник наблюдаемой нестационарности находится внутри звезд.

Это представление получило веское свидетельство благодаря открытию звездных ассоциаций. Оказалось, что все звезды, составляющие звездные ассоциации обладают физической нестационарностью. Во всех известных случаях звезды и звездообразные объекты непрерывно или дискретно (иногда в виде направленных джетов) теряют материю, выбрасывая вещество в межзвездную среду.

Стала очевидной тесная связь между динамической нестационарностью звездных ассоциаций и физической нестационарностью составляющих ассоциации молодых звезд. Иначе говоря, физическая нестационарность всегда присуща молодым образованиям. Явление потери массы звездами получило всеобщее признание благодаря внеатмосферным наблюдениям спектров звезд.

Анализ обширных исследований по проявлениям истечений материи, основанных на результатах инфракрасных наблюдений явился исходным пунктом для вывода Гензеля и Даунса [52] о том, что истечение материи является почти всеобщим в ранней стадии эволюции звезд.

Подробное рассмотрение спектров звезд, источников СО с широкими линиями и объектов Хербига-Аро, привело Строма [53] к заключению, что истечение материи представляется общей характеристикой молодых звезд всех масс.

Исследование Шуля [54] показывает, что истечения материи из звезд весьма разнообразны по массе и скорости. Причем, принципиальное значение имеет тот факт, что наблюдения дают веские основания считать, что все проявления физической нестационарности молодых звезд имеют внутризвездное происхождение: энергия наблюдаемой нестационарности молодых звезд доставляется из их глубоких слоев.

Это представление, развитое впервые Амбарцумяном [55], после открытия звездных ассоциаций в дальнейшем поддерживалось Хербигом [56], Томасом [57], Хербстом [58] и другими.

Например, Хербиг [56] еще в 1958г. пришел к выводу, что источник активности звезд типа Т Тельца является внутренним.

К рассматриваемому вопросу прямое отношение имеет работа Дозан и др. [59], в которой приведены результаты наблюдений Ве-звезды 59 Лебеда в визуальной и далекой UV-областях (с помощью спутника "TUE") спектра, в течение 1978-1983гг. Это дало возможность детально следить за поведением звезды в двух атмосферных слоях.

Впервые было показано, что существует положительная корреляция между спектральными особенностями, возникающими в холодной оболочке звезды, излучающей эмиссионную линию H_{δ} и в тех ионизованных областях, которые излучают линии CIV и NV. На этой основе авторы работы [59] допускают, что энергия, генерируемая эти особенности спектра звезды, выносится из глубоких ее слоев, т.е. имеет внутризвездное происхождение.

Томас, один из авторов работы [59], в связи с этим, писал автору: "Сегодня большинство теоретиков утверждают, что истечение массы *возникает* в атмосферных явлениях. Мы думаем абсолютно не так: это должно быть субатмосферное нетепловое явление. По нашему мнению, большинство наблюдений Ве-звезд подтверждает это предложение". Это признание характерно тем, что Томас является известным теоретиком.

В этом духе высказываются и другие исследователи.

Исследование спектра Р Лебеда в далеком ультрафиолете с помощью спутника "Коперник" показало [60], что для объяснения непрерывного истечения материи из звезды следует, по-видимому, привлечь процессы внутренней динамической неустойчивости, а также учесть их возможное сходство с флуорами.

Внутренней, по всей вероятности, является и природа истечения материи из звезд типа Вольф-Райе, которое в ряде случаев является

более мощным.

По мощности истечения материи Of-звезды не уступают звездам типа Вольф-Райе. Для истечения материи из этих звезд, согласно исследованию Перси др. [61], только давление излучения оказывается недостаточным.

Аналогичные явления истечения материи имеют место и у звезд малых масс. Например, из карликовых звезд наблюдается непрерывное истечение материи (звезды типа Т Тельца и др.). Выброс струй и биполярных газовых оболочек обычное явление.

По мнению Эдвардса и Снелля [62] они характеризуют фазу ранней эволюции *всех звезд*, по крайней мере, с массами порядка одной солнечной массы.

10. *О причине расширения групп молодых звезд.* Расширение звездных ассоциаций и их ядер не вызывает сомнения. Однако его объяснение на основе старых представлений связано с непреодолимыми трудностями. Начнем с ученых, которые старались интерпретировать наблюдаемое расширение звездных ассоциаций естественным образом, не прибегая к экзотическим возможностям.

Первое объяснение происхождения расширяющихся звездных ассоциаций предложил Эпик [63] в 1953г. Оно было основано на наблюдаемых взрывах сверхновых. Согласно гипотезе Эпика расширение ассоциаций является следствием взрыва сверхновой: звезды, возникшие в оболочке разлетаются от сверхновой под влиянием его взрыва.

Однако, эта привлекательная интерпретация противоречит результатам наблюдений звездных ассоциаций. Она предполагает наличие только одного центра разбегания звезд в каждой ассоциации и, более важно, одновременное начало расширения для всех ее звезд. Между тем наблюдения звездных ассоциаций показывают, что они обычно имеют больше одного центра расширения, а звездообразование в ней продолжается в течение всей жизни каждой ассоциации.

Несколько иную гипотезу для объяснения возникновения расширяющейся звездной ассоциации разработали Оорт [64] и Оорт и Спитцер [65], основываясь на гипотезе о конденсации диффузной материи в звезды.

Предполагая, что до рождения звездной ассоциации вблизи ее центра существовала звезда типа О, расположенная внутри очень массивной диффузной туманности, главную роль рождения расширяющейся ассоциации они отводили этой звезде. Последняя, нагревала диффузную туманность и на границе ее внутренних нагретых и внешних холодных

слоев возникают области сжатого газа. Из этого сжатого газа затем под действием гравитационной неустойчивости формируются звезды, удаляющиеся от центра туманности.

Гипотеза Оорта-Спитцера имеет ряд принципиальных недостатков.

Кроме искусственного допущения о существовании уже готовых О-звезд, своеобразных родоначальников формирующихся звезд внутри массивной туманности, гипотеза Оорта-Спитцера находится в противоречии и с некоторыми другими наблюдательными данными, в свое время указанными Амбарцумяном [66].

К ним относится, в частности, существование в центральных областях туманностей, связанных с ОВ-ассоциациями, например в ассоциации Орион OB1, крайне молодых динамически неустойчивых кратных звезд типа Трапеции. Далее, в центральных частях некоторых газовых туманностей (NGG 2264, IC 1805 и др.), генетически связанных с ОВ-ассоциациями, имеются скопления звезд ранних спектральных классов, включая О, значительно меньших размеров, чем сами туманности [67].

Эти факты исключают возможность возникновения ОВ-ассоциации таким путем. Большие затруднения возникают и при объяснении формирования бысролетящих звезд из ОВ-ассоциаций. Например, при справедливости гипотезы Оорта-Спитцера, скорость возникающих звезд не может превышать 50 км/с [66].

Таким образом, приходится признать, что гипотеза Оорта-Спитцера не в состоянии объяснить комплекс наблюдательных данных об ОВ-ассоциациях.

Последние годы Ладой и др. [68] (см. также [69]) предприняты попытки объяснять образование расширяющихся звездных ассоциаций под влиянием внешних воздействий, которые представляются неубедительными.

Нам кажется, однако, что наблюдательные данные об ассоциациях и кратных системах типа Трапеции свидетельствуют в пользу предположения, что динамическая нестабильность является внутренней особенностью молодых звездных систем и обусловлена природой звездообразования.

В свете этого предположения можно принять, что звезды в каждой динамически нестационарной системе в начальный период их формирования приобретают скорости, превращающие скорость отрыва и удаляются от "материнского ядра". Можно также допускать, что энергия, требуемая для наблюдаемых движений звезд сосредоточена в материи, из которой

формируются звезды и звездные системы.

Не вдаваясь в подробности отметим только, что гипотеза Лада и др. [68,69] нам представляется необоснованной.

Принципиальное объяснение возникновения расширяющихся звездных ассоциаций пока не разработана, из-за неопределенностей, касающихся физических свойств сверхплотных протозвезд.

11. *Нестационарность является закономерной фазой формирования астрономических объектов.* До XX в. включительно, большая длительность космогонических процессов, по сравнению с астрономическими наблюдениями, препятствовала обнаружению изменений, которые являются результатом этих процессов.

К счастью, в жизни звезд и звездных систем, благодаря открытию звездных ассоциаций, были обнаружены нестационарные состояния, которые характеризуют развитие звезд и звездных систем.

Как отметил Амбарцумян [8], в нестационарных состояниях "быстрота происходящих изменений создает возможность либо наблюдать эти изменения непосредственно (вспышка новых, сверхновых и т.д.), либо делать выводы о них на основе очень многих косвенных данных (распад открытых звездных скоплений и ассоциаций, взрывы в ядрах галактик)".

Пример взрывов новых звезд, которые мыслились как результат исключительно редкого события: столкновение двух звезд показывает, как общее закономерное развитие звезды интерпретировалось искусственным образом. Аналогичное явление - существование сильно радиоизлучающих галактик - радиогалактик, в наше время пытались объяснить как результат столкновения двух галактик.

В рассматриваемых случаях оказалось справедливым представление о том, что нестационарность астрономических объектов является *закономерной фазой космической эволюции*. Причем, нестационарных объектов в Галактике, как и следовало ожидать, гораздо меньше, чем стационарных.

Интересно отметить, что именно в тех случаях, когда в малом объеме сосредоточена относительно большая масса, нестационарность является общим правилом [8].

Таким образом, нестационарные состояния обычно являются поворотным пунктом в развитии астрономического объекта, связанным с формированием новых тел (звездных ассоциаций) или с переходом объекта из одного класса в другой (вспышки сверхновых, приводящие к превращению звезды в туманность).

Подробное изучение нестационарных состояний приводит к более полному пониманию формирования космических объектов.

12. *Заключение.* За последние десятилетия, особенно после открытия звездных ассоциаций - очагов звездообразования в Галактике, применением наблюдательного подхода [10] к ранним стадиям эволюции звезд, получены принципиальные результаты о формировании звезд в Галактике.

Из полученных результатов следует подчеркнуть следующие:

1. Звездообразование в Галактике продолжается и в настоящее время, в современной стадии ее развития.
2. Звезды формируются в системах, большей частью динамически неустойчивых, которые сравнительно быстро распадаются, обогащая общее галактическое звездное поле.
3. Энергия распада молодых звездных систем (звездных ассоциаций и меньших систем) содержится в материи, из чего формируются звезды: она является характерной особенностью этой материи.
4. Звезды формируются группами: в большинстве случаев динамически нестационарными (кратные системы типа Трапеции) и стационарными.
5. Нестационарность звезд имеет внутризвездное происхождение.
6. Существуют звездные системы, обладающие положительной полной энергией.
7. Нестационарность является закономерной фазой формирования звезд, которая ведет к дезинтеграции и рассеянию материи. Эти процессы определяют направление эволюции космической материи.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория, Армения

INSTABILITY OF OBJECTS IN GALAXY AND STARFORMING PROCESS

L.V.MIRZOYAN

The problem of Nonstability of astronomical objects and their systems and its close connection with starforming process based on the observational data

is considered. It is shown that only owing to the discovery and study of stellar associations ascertained their enormous role in starformation in Galaxy (and other galaxies). Many kinematical properties of stellar associations are not explained from the old point of view. It gives grounds to have doubts in correctness of classical hypothesis on forming of stars from diffuse matter.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А.Амбарцумян, Изв. Пулковской обс., 13, № 114, 1, 1933.
2. В.А.Амбарцумян, Астрон. журн., 14, 20, 1937.
3. В.А.Амбарцумян, Уч. зап. ЛГУ, 3, № 17, 1938.
4. В.А.Амбарцумян, Уч. зап. ЛГУ, № 22, серия матем. наук (астрономия), 4, №19, 1938.
5. В.А.Амбарцумян, Эволюция звезд и астрофизика, АН Арм ССР, Ереван, 1947
6. V.A.Ambartsumian, Discours introductif an symposium des etoils, Transactions of the IAU, VOL VIII, ed. Oosterhoff, University press, Cambridge, 1954, p. 665.
7. В.А.Амбарцумян, Изв. АН Арм.ССР, серия ФМЕТ наук, 9, 83, 1956.
8. В.А.Амбарцумян, Проблемы современной космогонии, гл. 2, Наука, М., 1972.
9. В.А.Амбарцумян, Астрон. ж., 26, 3, 1949.
10. V.A.Ambartsumian, L.V.Mirzoyan, Asrtophys. Space Sci., 84, № 2, 1982.
11. Л.В.Мирзоян, Проблемы современной космогонии, ред. В.А.Амбарцумян, гл. II, Наука, М., 1972, с. 19-219.
12. Л.В.Мирзоян, Нестационарность и эволюция звезд, АН Армении, Ереван, 1981.
13. Л.В.Мирзоян, Ранние стадии эволюции звезд, АН Армении, Ереван, 1991.
14. B.Bok, Harvard Circ., № 384, 1934.
15. B.Bok, Observatory, 59, 76, 1936.
16. B.A.Ambartsumjan, Nature, 137, 537, 1936.
17. J.Jeans, Nature, 136, 432, 1935.
18. J.Jeans, Nature, 137, 537, 1956.
19. A.Pannekoek, in: Lehrbuch der Stellarstatistik of Prof. E.Pahlen, 1937, p. 537.
20. A.Blaauw, Bull.Astron. Inst. Netherl., 11, 405, 1952.

21. *J.Delhaye, A.Blaauw*, Bull. Astron. Inst. Netherl., 12, 72, 1953.
22. *A.Blaau, W.Morgan*, Astrophys. J., 119, 625, 1954.
23. *A.Blaauw*, Astrophys. J., 123, 408, 1956.
24. *C.Cruz - Gonzalez, E.Racillas - Cruz, R.Costero, M.Peimbert, S.Torres - Peimbert*, Rev. Mexicana Astron. Astrophys., 1, 211, 1974.
25. *Л.В.Мирзоян*, Сообщ. Бюраканской обс. 29, 81, 1961.
26. *L.V.Mirzoyan, M.A.Mnatsakanian*, Spiral Structure of Our Galaxy, IAU Symposium № 38, eds. W.Becker, G.Contopoulos, Reidel, Dordrecht, 1970, p. 295.
27. *Л.В.Мирзоян, М.А.Мнацаканян*, Астрофизика, 6, 411, 1970.
28. *D.R.Gies, C.T.Bolton*, Astrophys. J. Suppl., 61, 419, 1986.
29. *L.Lundstrom, B.Stenholm*, Astron. Astrophys. Suppl., 58, 163, 1984.
30. *Г.Н.Салуквадзе*, Бюлл. Абастуманнской астрофиз. обс. 62, 3, 1987.
31. *В.В.Амбарян*, Астрофизика, 28, 149, 1988.
32. *В.А.Амбарцумян*, Сообщ. Бюраканской обс., 15, 3, 1954.
33. *В.А.Амбарцумян*, ДАН Арм ССР, 13, 97, 1951.
34. *L.V.Mirzoyan*, Instability, Chaos and Predictability in Celestial Mechanics and Stellar Dynamics, IAU Colloquium 132, ed. K.B.Bhatnagar, Nova Science Publishers, Inc., 1992, p. 199.
35. *R.G.Altken*, New General Catalogue of Double Stars, Carnegie Institution, Washington, 1932.
36. *H.M.Jeffers, W.H. van den Boss, F.M.Greeby*, Index Catalogue of Visual Double Stars, Publ. Lick Obs. 21. 1963.
37. *В.А.Амбарцумян*, см. в кн.: *S.Chandraseckhar*, Principles of Stellar Dynamics, University of Chicago Press, Chicago, 1942.
38. *Т.А.Азекян*, Астрон. ж., 31, 544, 1954.
39. *S.Sharpless*, Astrophys. J., 119, 334, 1954.
40. *П.П.Паренаго*, Астрон. ж., 30, 249, 1953.
41. *П.П.Паренаго*, Труды ГАИШ, 25, 3, 1954.
42. *Г.Н.Салуквадзе*, Докторская диссертация, Бюракан, 19..
43. *Л.В.Мирзоян, Г.Н.Салуквадзе*, Астрофизика, 21, 399, 1984.
44. *Г.Н.Салуквадзе*, Астрофизика, 21, 399, 1984.
45. *C.Allen, A.Poveda*, in: The Stability of the Solar System and of Small Stellar Systems, IAU Symposium № 62, ed. Y.Kozai, Reidel, Dordrecht - Boston, 1974, p. 239.
46. *Л.В.Мирзоян, М.А.Мнацаканян*, Астрофизика, 11, 551, 1975.
47. *V.A.Ambartsumian*, Observatory, 75, 72, 1955.
48. *Б.Е.Маркарян*, Сообщ. Бюраканской обс., 5, 1950.
49. *В.А.Амбарцумян, Б.Е.Маркарян*, Сообщ. Бюраканской обс., 2, 3, 1949.
50. *N.Z.Scoville*, Infrared Astronomy, IAU Symposium № 96, eds. C.G.Winn-

- Williams, D.P.Cruikshank*, Reidel, Dordrecht, 1980, p. 187.
51. *L.V.Mirzoyan*, Binary and Multiple Stars as Tracers of Stellar Evolution, eds. Z.Kopal, J.Rahe, Reidel, Dordrecht, 1982, p. 61.
 52. *R.Genzel, D.Downes*, Highlights of Astronomy, ed. R.West, Reidel, Dordrecht, 1983, p. 689.
 53. *S.E.Strom*, Protostar and Planets II, eds. D.C.Black, M.S.Mattews, The University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1985, p. 17.
 54. *J.M.Shull*, Regions of Recent Star Formation, eds. R.S.Roger, P.E.Dewney, Reidel, Dordrecht - Boston - London, 1982, p. 91.
 55. *В.А.Амбарцумян*, Сообщ. Бюраканской обс. 13, 1954.
 56. *G.H.Herbig*, Proc. Vatican Conference on Stellar Populations, ed. D.J.K.'O Conntll S. E. Vatican Observatory, 1958, p. 127.
 57. *R.N.Thomas*, Stellar Atmospheric Structural Patterns, NASA, SP-471, 1983.
 58. *W.Herbst*, Publ. Astron. Soc. Pacific., 98, 1088, 1986.
 59. *V.Doazan, C.A.Crady, T.P.Snow, G.J.Peters, J.M.Marlborough, P.K.Barker, C.T.Bolton, B.Bourdonnean, L.V.Kuhi, R.W.Lyons, P.S.Polldan, R.Stalio, R.N.Thomas*, Astron. Astrophys. 152, 182, 1985.
 60. *V.A.Ambartzumian, L.V.Mirzoyan, T.P.Snow*, Astrophys. J., 226, 519, 1979.
 61. *P.Persi, Ferrari-Toniolo, G.R.Grazdalen*, Astrophys. J., 269, 625, 1983.
 62. *S.Edwards, R.L.Snell*, Astrophys. J., 281, 237, 1984.
 63. *B.J.Opik*, Irish Astron. J., 2, 219, 1953.
 64. *J.H.Oort*, Bull. Astron. Inst. Netherl., 12, 177, 1954.
 65. *J.H.Oort, L.Spitzer*, Astrophys. J. 121, 6, 1955.
 66. *V.A.Ambartzumian*, Rev. Mod. Phys. 30, 944, 1958.
 67. *W. Buscombe*, The Galaxy and The Magellanic Clouds, IAU-URSI Symposium № 20, Canberra, 1964, p. 24.
 68. *B.J.Elmegreen, C.J.Lada*, Astrophys. J., 214, 725, 1977.
 69. *G.J.Lada*, From OB-Associations to Protostrars, Preprint, Steward Obs. № 647, 1986.