









А.Т. Майлыбаев¹ , В.А. Захожай², Н.Ш. Алимгазина¹ ,
 А.М. Демесинова¹ , А.Ж. Сагынтаева¹ , А.Б. Манапбаева¹ ,
 А.К. Куратова¹ , А.Ж. Наурзбаева¹ , М.Т. Кызгарина^{1*} 

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
 Казахстан, г. Алматы, *e-mail: meir83physics@gmail.com

²Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина, г. Харьков

ОПИСАНИЕ СЦЕНАРИЯ РАЗВИТИЯ ПРОТОГАЛАКТИК С МАЛЫМИ УГЛОВЫМИ МОМЕНТАМИ ЧЕРЕЗ КАСКАДНУЮ ФРАГМЕНТАЦИЮ С ОБРАЗОВАНИЕМ ПРОТОСКОПЛЕНИЙ И ПРОТОЗВЕЗД НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ

В статье рассмотрен процесс развития протогалактик в период охлаждающейся Вселенной, когда их массы равны джинсовским значениям. В результате дальнейшего охлаждения протосистемы подвержены механизму каскадной фрагментации с образованием все новых и новых, меньших по массе фрагментов. Первичные фрагменты – будущие галактики (верхний предел массы фрагментов попадает в интервал масс галактик), во вторичной волне фрагментации образуются прародители будущих звездных скоплений, звезд и субзвезд. На основе общего представления об эволюции звездных систем построен ориентированный граф, описывающий каскадную фрагментацию в протосистемах с чрезвычайно малым угловым моментом. Для протосистем, определяемых степенными спектрами масс, проведены оценки эффективности звездообразования, вычислены вероятности ключевых событий. Рассчитаны долевые содержания вещества, уходящего на формирование нового поколения звезд и субзвезд, в зависимости от μ -го цикла звездообразования (при полном его числе N). Представлена в графическом виде зависимость массовой доли, передаваемой из протосистемы в систему, как функция ряда N фрагментаций. Получены четыре варианта развития эволюции таких звездных систем, как галактики, которые на первом и втором этапах эволюции описываются спектрами масс с разными показателями степени. Показано, что в зависимости от эволюционного сценария, определяемого комбинацией спектров масс на первом и втором этапах эволюции, галактики на конечном этапе эволюции могут иметь различный состав населений. По одному из сценариев галактики должны содержать звездный состав, ограниченный массами карликовых звезд ($\leq 0.8 M_{\odot}$). Для рассчитанного максимального значения $N_{max} \approx 70$ и времени одного цикла фрагментации, который реализуется при одноактном звездообразовании в звездных скоплениях галактик – $\sim 10^7$ лет, ожидается, что время полного истощения газа в таких звездных системах, как эллиптические галактики, составит $\sim 7 \cdot 10^9$ лет. Учитывая, что характерное время начала формирования галактик составляет $\approx 12 \cdot 10^9$ лет, полученный результат удовлетворительно объясняет факт отсутствия звездообразования в эллиптических галактиках за последние 5 миллиардов лет. Дальнейшее развитие исследований в данном направлении может позволить понять причины различий в составах населений различных типов галактик.

Ключевые слова: статистическая космогония, граф, протоскопления, протогалактика, звездные системы, звездообразование, субзвезды, спектр масс, каскадная фрагментация.

A.T. Mailybaev¹, V.A. Zakhzhay², N.Sh. Alimgazina¹, A.M. Demesinova¹,
 U.Zh. Sagyntayeva¹, A.B. Manapbayeva¹, A.K. Kuratova¹, A.Zh. Naurzbaeva¹, M.T. Kyzgarina^{1*}

¹Al-Farabi Kazakh national university, Kazakhstan, Almaty, *e-mail: meir83physics@gmail.com

²Kharkov national university named after V.N. Karazina, Ukraine, Kharkov

Description of the scenario for the development of proto galaxies with small angular momentum through cascade fragmentation with the formation of proto clusters and proto stars based on graph theory

The process of proto galaxies development is considered in the period of Universe cooling, when their masses are equal to the Jeans values. As a result of further cooling, the proto systems are subjected to the cascade fragmentation mechanism under which the more and more new smaller

fragments are formed. Primary fragments are future galaxies (the upper limit of the mass of fragments falls within the mass range of galaxies), the ancestors of future star clusters, stars and sub stars form in the secondary fragmentation wave. In order to describe cascade fragmentation in proto systems with an extremely small angular momentum, a directed graph is constructed based on a general idea about the evolution of stellar systems. Star formation efficiency evaluations are carried out for proto systems, which determined by power-law mass spectra and the probabilities of key events are calculated. The fractional contents of the substance leaving for the formation of a new generation of stars and sub stars are calculated, depending on the μ -th star formation cycle (for its total number N). The dependence of the mass fraction transferred from the proto system to the system is presented in graphical form as a function of the fragments number N . Four options of the evolution of stellar systems such as galaxies are obtained, which are described by mass spectra with different exponents at the first and second stages of evolution. It is shown that, depending on the evolutionary scenario determined by the combination of mass spectra at the first and second stages of evolution, galaxies at the final stage of evolution may have different populations. According to one of the scenarios, galaxies should contain stellar composition limited by the masses of dwarf stars ($\leq 0.8 M_{\odot}$). For the calculated maximum value $N_{\max} \approx 70$ and the time of one fragmentation cycle, which occurs during one-star star formation in stellar clusters of galaxies $\sim 10^7$ years, it is expected that the time of complete gas depletion in stellar systems such as elliptical galaxies will be $\sim 7 \cdot 10^9$ years. Considering that the characteristic time for the beginning of the formation of galaxies is $\approx 12 \cdot 10^9$ years, the obtained result explains satisfactorily the absence of star formation in elliptical galaxies over the past 5 billion years. Further development of research in this direction shows that it possible to understand the causes of differences in the composition of populations of various types of galaxies.

Key words: statistical cosmogony, graph, proto systems, proto galaxy, stellar systems, star formation, sub stars mass spectrum, cascade fragmentation.

А.Т. Майлыбаев¹, В.А. Захожай², Н.Ш. Алимгазинова¹, А.М. Демесинова¹,
А.Ж. Сағынтаева¹, А.Б. Манапбаева¹, А.К. Куратова¹, А.Ж. Наурызбаева¹, М.Т. Қызғарина^{1*}

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ., *e-mail: meir83physics@gmail.com

²В.Н. Каразин атындағы Харьков ұлттық университеті, Украина, Харьков қ.

Бұрыштық моменттері аз протогалактикалардың даму көрінісін протошоғырлар мен протожұлдыздар қалыптасатын каскадты фрагментация арқылы графикалық теория негізінде сипаттау

Ғаламның салқындау кезеңінде, яғни олардың массалары Джинс мәңдеріне тең болған кездегі протогалактикалардың даму процесі қарастырылды. Әрі қарай салқындату нәтижесінде протосистемалар каскадтық фрагментация механизміне бағынады: барған сайын жаңа ұсақ фрагменттер пайда болады. Алғашқы фрагменттер – болашақ галактикалар (фрагменттер массасының жоғарғы шегі галактикалардың интервалына енеді), ал екінші фрагментация толқынында болашақ жұлдыз шоғырлары, жұлдыздар және субжұлдыздар пайда болады. Жұлдыздық жүйелер эволюциясы туралы жалпы идеяға сүйене отырып, бұрыштық моменті өте аз прото жүйелерде каскадтық фрагментацияны сипаттайтын бағытталған график салынды. Дәрежелік масс-спектрлермен анықталған протожүйелер үшін жұлдыз түзілу тиімділігі бағаланды, маңызды оқиғалардың ықтималдығы есептелді. Жұлдыздар мен субжұлдыздардың жаңа ұрпағын қалыптастыруға кететін заттың бөлшек құрамы μ -ші жұлдыз түзілу циклына (оның жалпы саны N) байланысты есептелді. Протожүйеден жүйеге берілген массалық үлестің тәуелділігі бірқатар N фрагменттер қатарының функциясы ретінде графикалық түрде көрсетілген. Галактикадағы сияқты жұлдыздық жүйелер эволюциясы дамуының төрт нұсқасы алынды, эволюцияның бірінші және екінші сатыларында олар әртүрлі дәрежелік көрсеткіштері бар масс-спектрлермен сипатталды. Эволюцияның бірінші және екінші сатыларында масса спектрлерінің бірігуімен анықталатын эволюциялық көрініске байланысты, эволюцияның соңғы сатысында галактикалар әртүрлі популяциялық құрамға ие болуы мүмкін екені көрсетілді. Көріністердің біріне сәйкес, галактикалар құрамында ергежейлі жұлдыздардың массаларымен шектелетін жұлдызды құрам болуы керек ($\leq 0,8 M_{\odot}$). Есептелген $N_{\max} \approx 70$ максималды мәні үшін және галактикалардың жұлдызшоғырларында бірсатылы жұлдызтүзілу кезінде $\sim 10^7$ жыл болатын бір фрагменттік циклдің уақыты үшін, эллипстік галактикалар сияқты жұлдыздық жүйелердегі газдың толық таусылу уақыты $\sim 7 \cdot 10^9$ жыл болады деп күтілуде. Галактика қалыптасуының басталу кезеңі $\approx 12 \cdot 10^9$ жыл екенін ескерсек, алынған нәтиже соңғы 5 миллиард жыл ішінде эллипстік галактикалардағы жұлдызтүзілу болмауын қанағаттандырарлық түрде түсіндіреді. Осы бағыттағы зерттеулердің одан әрі дамуы әртүрлі типтегі галактикалардың популяциялық құрамындағы айырмашылықтардың себептерін түсінуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: статистикалық космогония, граф, протошоғырлар, протогалактика, жұлдыздық жүйелер, жұлдызтүзілу, субжұлдыздар масс-спектрі, каскадтық фрагментация.

Введение

Звездные системы – это гравитационно-связанные группы звезд, имеющие общее происхождение и развитие. К ним, в зависимости от числа компонентов, относят кратные звезды, звездные скопления и ассоциации, галактики.

В исследовании звездных систем актуальными задачами являются изучение их динамического развития, химической эволюции, истории звездообразования, изменения фотометрических свойств. Проведение такого комплекса исследований позволяет представить общий сценарий развития звездных систем: от их зарождения до эволюции на основных стадиях. Несомненно, наиболее близкой нам с точки зрения ее важности и наиболее интересной для исследования звездной системой является Галактика, поскольку именно она является местом «проживания» солнечной системы. Галактика представляет собой сложную многоуровневую систему, которая включает в себя в виде составных элементов множество различных форм видимого и невидимого вещества. Это звезды, вносящие наибольший вклад в видимое вещество, субзвезды, планеты, диффузное межзвездное вещество разнообразного типа как видимого так и невидимого (плазма, атомы, молекулы, вещество в виде пыли), кванты электромагнитного излучения от сверхдлинных радиоволн до высокоэнергичных гамма-квантов, релятивистские частицы сверхвысоких энергий, а также гипотетические, пока неизвестные науке, невидимые доступными средствами наблюдений формы вещества, называемые поэтому темным веществом [1, 2, 3-5].

Зарождение в массивных молекулярных облаках протоскоплений с последующим их развитием в звездные скопления и ассоциации – является основным элементом общего сценария развития звездообразования. В зависимости от числа образовавшихся компонентов такие системы живут разное время, из-за диссипации компонентов. Этот процесс является определяющим в пополнении и формировании звезд и субзвезд поля звездных систем более высокого порядка – галактик. Исследования таких многокомпонентных систем требуют применения к ним специальных разделов математики, поскольку требуется обобщение происходящих процессов и их последствий методами математической статистики. В таких сложных

системах наряду с проявлениями перечисленных эволюционных изменений происходит изменение и их статистических свойств. Ранее в качестве возможного метода описания изменения статистических свойств звездных систем с изменением их возраста впервые было предложено применение элементов дискретной математики – теории графов. Такое направление получило название – статистическая космогония [6,7].

В статистической космогонии конечной задачей является построение эволюционной модели звездной системы, в которой предсказываются все долевые содержания её составляющих. В процессе решения этой задачи возникает необходимость аналитического представления спектров масс звезд, которые они имеют на стадиях развития звезд главной последовательности, гигантов и звездных остатков, в зависимости от начального спектра масс протозвезд [8,9]. Для получения спектра масс протозвезд необходимо рассмотреть те физические условия, которые сложились в межзвездных молекулярных облаках на момент их фрагментации.

При разработке и построении моделей звездных систем определяющее место занимают вычисления вероятностей ключевых событий, происходящих в звездных системах в процессе их эволюции. Ключевыми событиями являются такие события, которые играют первостепенную, определяющую роль в эволюции звездных систем [10]. Для этого необходимо записать аналитические выражения для всех спектров масс, которые фигурируют в таком эволюционном процессе. Целью данной работы и является решение частной задачи: получить алгоритм расчета статистического процесса, описывающего двухактовую фрагментацию протосистемы: сначала на протоскопления с последующей фрагментацией на протозвезды, все составляющие которых имеют малый угловой момент. Для достижения этой цели использовались графы.

1. Описание эволюционного процесса в Галактике с использованием графов

Определение долевых содержаний по массе компонент Галактики, находящихся на различных стадиях эволюции, – звезд, субзвезд, газа, участвующего в эволюционном «круговороте» в Галактике, звездно-субзвездных систем

различного возраста и принадлежащих различным подсистемам Галактики, удобно проводить с использованием аппарата теории графов [11,12].

Согласно классической схеме эволюции поколений звезд и субзвезд, возраст которых совпадает с возрастом звездной фазы Галактики, предшествовала протогалактическая газовая туманность с долей реликтового газа – $G_{11} = 1$. Образование звезд Галактики, согласно современным представлениям, объясняется каскадной фрагментацией реликтовой газовой туманности на все более мелкие фрагменты, вплоть до минимальных масс порядка масс звезд. На ранних стадиях эволюции Галактики образуются фрагменты с джинсовской массой порядка массы современных крупных шаровых скоплений. Самые большие скопления звезд участвуют в формировании галактического ядра, - они «падают» в центр Галактики из-за эффектов динамического звездного трения.

Эволюцию Галактики представляем, как и в [12], в виде несвязного графа (рис. 1), состоящего из отдельных ориентированных графов (рис. 2). Узлы графов отражают ключевые события в истории Галактики с вероятностью x_{ξ} . Естественно положить, что они образуют конечное множество вероятностей $x_{\xi} \in X$ ключевых событий, определяющих эволюцию Галактики:

a_{11}^i – доля массы вещества, оставшаяся в межзвездной среде после образования скоплений звезд ($i = 0$) и ушедшая на образование последних ($i = 1$), соответственно;

v_{rs}^j – доля массы скоплений, устремившаяся к центру Галактики (из-за динамического звездного трения), $j = 1$, и сохранившаяся в скоплениях звезд ($j = 2$) до конца r -фазы звездообразования Галактики;

g_{rs1}^{k1} – доля массы вещества, оставшаяся после образования звезд и субзвезд в ядре, поле и скоплениях Галактики ($k = 1 \div 4$);

$g_{rs1}^{k2}, g_{rs1}^{k3}$ – доли массы вещества, ушедшие на образование субзвезд и звезд, соответственно (смысл k аналогичен предыдущей записи);

f_{rs}^k – доля массы вещества, принадлежащая ядру ($k = 1$), полю ($k = 2, 3$) и скоплениям ($k = 4$) Галактики;

$h_{rsi}^{k\lambda}$ – доля вещества, содержащаяся в звездах главной последовательности ($\lambda = 1$), гигантах ($\lambda = 2$), звездных остатках ($\lambda = 3$) нулевого возраста ($\tau_e = 0$);

$p_{rsi}^{k\lambda}$ – доля вещества, содержащаяся в объектах, аналогично $h_{rsi}^{k\lambda}$ через время $\tau_e = t$;

$w_{rsi}^{k\lambda}$ – доля вещества, теряемая объектами за счет звездного ветра ($\lambda = 1, 2$) и сверхветра + потери оболочек - $\lambda = 3$.

Индекс i в вероятностях g, h, p, w означает их принадлежность к i -му ярусу. Вероятности множества X размещены в узлах ориентированного графа $G_{11}(X,U)$ (так, чтобы на каждом уровне выполнялось равенство $\sum_i x_i = 1, x_i \in X$), описывающего последовательность детерминированных событий, происходивших в Галактике, которые определяются из цепей, состоящих из дуг, входящих в множество U .

На рис. 1 показан граф $G_{rs}(X, U)$, где f_{rs}^k – вершины подграфов, описывающих каскадную фрагментацию ядра ($k = 1$), поля ($k = 2, 3$) и скоплений ($k = 4$) Галактики, подграфы которых изображены на рис. 2, где число ярусов, в общем случае, зависит от значения k . К концу первого цикла звездообразования газовая составляющая Галактики состояла из оставшегося газа после первого звездообразования (G_{21}) и газа, образовавшегося в результате переработки вещества в недрах звезд первого поколения (G_{22}).

Второй, третий и каждый последующий цикл звездообразования можно представить аналогично первому. Только описывается этот процесс не одним, а двумя – $G_{21}(X,U)$ и $G_{22}(X,U)$, тремя – $G_{31}(X,U), G_{32}(X,U), G_{33}(X,U)$ или несвязными ориентированными графами с вершинами в первом ярусе G_{21} и G_{22} для второго цикла, G_{31}, G_{32}, G_{33} для третьего цикла и $G_{n1}, G_{n2}, G_{n3}, \dots, G_{nn}$ для каждого последующего n -го цикла.

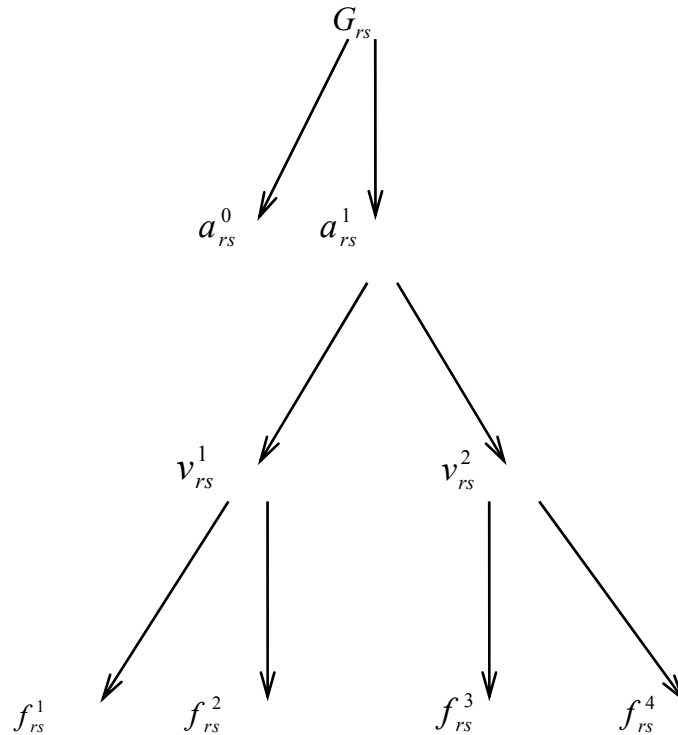


Рисунок 1 – Ориентированный граф $G_{rs}(X,U)$, отражающий образование первичных джинсовых фрагментов, соответствующих будущим скоплениям звезд

Порядок вычисления доли газовой составляющей к концу первой и последующих фаз эволюции Галактики и результирующих вероятностей наличия газа G_{21} и G_{22} к концу первого цикла и $G_{n1}, G_{n2}, G_{n3}, \dots, G_{nn}$ к концу $n-1$ -го цикла подробно описан в [11,12]. Здесь мы только приведем выражение для величины вклада газовой составляющей для конца любой эпохи $(r-1)$ -го звездообразования $(r = 1, \dots,$

$(n+1)$), которое имеет вид $G_r = \sum_{s=1}^r G_{rs}$,

аналогичные выражения для содержания субзвезд, звезд, гигантов и их остатков

записываются в виде $Y_r = \sum_{s=1}^r Y_{rs}$, где

$1 \leq r \leq n, 1 \leq s \leq n, Y_{rs}$ обозначает,

соответственно, значения вкладов по массе в Галактику каждой из ее составляющих $S_{rs}, Z_{rs}, F_{rs}, D_{rs}$. Здесь обозначены

составляющие Галактики: G – газовая, S – субзвездная, Z – звездная, E – гиганты, D – звездные остатки. Описанная выше процедура

позволяет вычислять долевые содержания (по массе) компонентов Галактики, сложившихся в результате любого n -го цикла фрагментации исходной протогалактики.

2. Описание первичной каскадной фрагментации ориентированным графом

На основе обобщения наблюдательных данных и теоретических выводов о веществе недр космических тел, их внутреннем строении к настоящему времени в результате работы ряда авторов сложилось согласованное представление о классификации космических тел Галактики [1,13-15]. В разнообразии космических тел можно выделить три принципиально различных типа объектов: звезды, субзвезды и планеты. Основные космические тела Вселенной, доступные для наблюдений в нашей и других галактиках – звезды. Они эволюционируют, проходя различные стадии – от протозвезд до звезд нулевого возраста, звезд главной последовательности, гигантов и до звездных остатков.

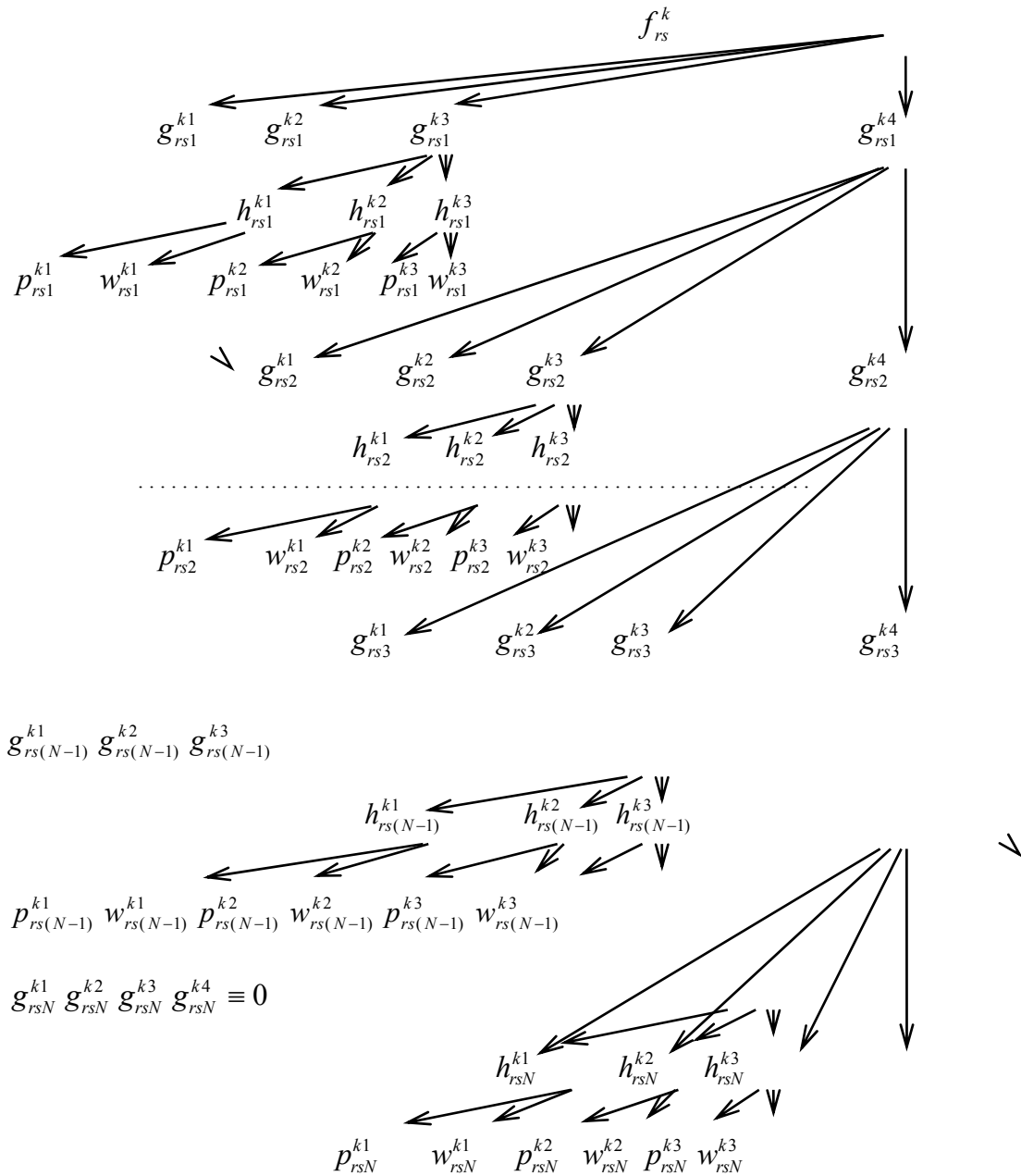


Рисунок 2 – Ориентированный подграф с вершиной, описывающий каскадную фрагментацию джинсовых фрагментов.

Звезды, субзвезды и планеты являются компонентами звездных систем – звездных скоплений, ассоциаций и галактик. Для представления эволюции звездных систем различной структурной сложности в виде статистического процесса, как показал анализ [6], необходимо выполнение ряда условий. Во-первых, исходная система на начало эволюционного процесса должна быть изолированной. Во-вторых, для

успешных вычислений вероятностей наступления ключевых событий в эволюции звездных систем необходим набор определенных функций распределения. И в-третьих, статистическое описание эволюционного процесса должно опираться на базовые физические модели, адекватно описывающие последовательные фазы эволюции системы и ее компонентов. Это модель первичной фрагментации, эволюцион-

ные модели звезд и субзвезд, позволяющие проследить дальнейшее эволюционное изменение важнейших физических характеристик объектов.

В общем случае звездные системы не являются замкнутыми, так как, входя в состав иерархических структур более высокого уровня, они могут взаимодействовать между собой. Однако существуют фазы эволюции звездных систем, в пределах которых их массы сохраняются, и реализуется их пространственная обособленность, поскольку взаимодействием с окружающей их средой можно пренебречь. В такие периоды изменение их структуры определяется только общими параметрами звездной системы, обусловленными внутренними процессами. В такие фазы своей эволюции звездные системы могут рассматриваться как обособленные, что позволяет проводить их статистическое описание путем учета последовательной смены ключевых событий, пренебрегая влиянием внешних факторов. К примеру, признаки обособленной системы выполняются для Местной группы, начиная с эпохи рекомбинации атомов водорода до настоящего времени. Такой вывод основывается на многочисленных исследованиях об интерпретации ее структуры и данные наблюдений о ее современных параметрах (в первую очередь: массе, размерах и возрасте) [16-24].

Описание и анализ формирования и эволюции таких обособленных структурных звездных систем как галактики целесообразно проводить, как ранее было показано [11-12], статистическим методом. Эволюцию многокомпонентной звездной системы можно представить в виде направленного графа, узлы которого определяют наступления ключевых событий в истории галактики с определенной вероятностью [25, 26]. Физической сутью вероятностей наступления ключевых событий является доленое содержание (по массе) каждой из компонент звездных систем, которая включена в соответствующий граф. Для вычисления вероятностей наступления ключевых событий необходимо знать соответствующие им плотности вероятностей.

Такие исходные системы как протогалактики, фрагментируют в два этапа: на протоскопления, которые в свою очередь, фрагментируют на протозвезды. Если протогалактика фрагментирует один раз, такой процесс будем называть одноактовым. Узлы графа, соответствующего такой фрагментации, в соответствии с общим описанием такого процесса [6, 11, 12],

соответствуют вероятностям ключевых событий, физический смысл которых ассоциируется с долевыми содержаниями (по массе): a_{11}^i – вещества оставшегося в межзвездной среде после образования скоплений звезд ($i = 0$) и ушедшего на образование последних ($i = 1$), соответственно; v_{11}^j – скоплений устремившихся к центру галактики (из-за динамического звездного трения), $j = 1$, и сохранившегося в скоплениях звезд ($j = 2$) до конца первой фазы звездообразования; f_{11}^k – вещества, принадлежащего ядру ($k = 1$), полю ($k = 2, 3$) и скоплениям ($k = 4$) галактики; очевидно, при $G_{11} \equiv 1$. В таком случае, долевые содержания вещества, после одноактовой фрагментации содержащегося в центральной области (ядре – N_1) и поле (F_1) галактики, ушедшего на формирование скоплений (C_1) и оставшегося газа (G_1), есть:

$$G_1 = a_{11}^0, \quad (1)$$

$$N_1 = a_{11}^1 \cdot v_{11}^1 \cdot f_{11}^1, \quad (2)$$

$$F_1 = a_{11}^1 \left(v_{11}^1 \cdot f_{11}^2 + v_{11}^2 \cdot f_{11}^3 \right), \quad (3)$$

$$C_1 = a_{11}^1 \cdot v_{11}^2 \cdot f_{11}^4, \quad (4)$$

где выполняется условие нормировки

$$G_1 + N_1 + F_1 + C_1 = 1. \quad (5)$$

Если возможно для каждого из процессов записать плотности вероятности, это позволит вычислить вероятности ключевых событий a_{11}^i , v_{11}^j , f_{11}^k .

3. Спектры масс, описывающие фрагментацию протосистем с малым угловым моментом

В работе [7] были рассчитаны спектры масс джинсовских фрагментов в зависимости от функций распределения температуры и плотности исходной флуктуирующей среды. На основании этих расчетов построена таблица 1. Функции $\xi_{3k}(M_j, x)$ содержат величины M_j и x со сложными степенями (2, 4, 2/3, 4/3). Это не позволяет вычислить аналитически интегралы в колонке 3.

Таблица 1 – Спектры масс джинсовых фрагментов, в зависимости от исходных дифференциальных функций распределения температуры $\psi_i(T)$ и плотности $\chi_k(\rho)$ флуктуирующей среды

	i	1	2	3
k	$\chi_k(\rho)$	$\propto \frac{1}{T_2 - T_1}$	$\propto T^\alpha$	$\propto \exp\left[-\frac{(T - \bar{T})^2}{2\sigma_T^2}\right]$
	$\psi_i(T)$			
1	$\propto \frac{1}{\rho_2 - \rho_1}$	$\propto M_J^{-1/3}$	$\propto M_J^{-\frac{1}{3}(1-2\alpha)}$ *	$\propto M_J^{-\frac{1}{3}} \int_{x_1}^{x_2} \xi_{31}(M_J, x) dx$
2	$\propto \rho^\beta$	$\propto M_J^{-1/3}$	$\propto M_J^{-\frac{1}{3}(1-2\alpha)}$ *	$\propto M_J^{-\frac{1}{3}} \int_{x_1}^{x_2} \xi_{32}(M_J, x) dx$
3	$\propto \exp\left[-\frac{(\rho - \bar{\rho})^2}{2\sigma_\rho^2}\right]$	$\propto M_J^{-1/3}$	$\propto M_J^{-\frac{1}{3}(1-2\alpha)}$ *	$\propto M_J^{-\frac{1}{3}} \int_{x_1}^{x_2} \xi_{33}(M_J, x) dx$ **

* – не сложно видеть, что при $\alpha = -1$, спектры масс $\varphi_{2k}(M_J) \propto M_J^{-1}$, при $\alpha = 0$ (равномерное распределение): $\varphi_{2k}(M_J) \propto M_J^{-1/3}$;

** – при политропном приближении спектр масс есть [6]: $\varphi_{33n}(M_J) \propto M_J^{-1+\varepsilon}$, где $\varepsilon = 2n/3$ ($\varepsilon \sim 0$ при политропном индексе $n \rightarrow 0$, $\varepsilon = 2/3$ при $n = 1$).

Из анализа табл. 1 видно, что преимущественные спектры масс являются степенными функциями с показателями спектра масс $-1/3$ и -1 . Каждый из вариантов, мог бы характеризовать протосистемы с малым угловым моментом.

4. Эффективность звездообразования в зависимости от их спектров масс

Под эффективностью звездообразования ξ понимается доленое содержание вещества, перешедшее в системы, которые состоят исключительно из звезд и субзвезд. За минимальную массу, участвующую в процессе фрагментации (в общем случае), следует выбрать массу водорода m_H (это значение несложно обосновать, используя теорему Коши), как характерный минимальный элемент барионной материи. Определяя минимальные массы образующихся неоднородностей M_{\min} , и i -ые спектры масс, описывающие фрагментацию протосистем – $\varphi_i(M)$, эффективность звездообразования может быть записана в следующем виде:

$$\xi = \frac{\int_{M_{\min}}^{M_{ps}} \varphi_i(M) dM}{\int_{m_H}^{M_{ps}} \varphi_i(M) dM}, \quad (6)$$

где M_{ps} – масса фрагментирующей протосистемы.

Очевидно, что доленое содержание газа, который остался от фрагментации, есть

$$\xi_g = 1 - \xi. \quad (7)$$

Доленое содержание вещества, которое заключено в звездах и субзвездах в таких системах как галактики, определяют вероятности

a_{11}^i и $f_{11}^k = g_{111}^{k1} + \sum_{i=2}^3 g_{111}^{ki}$ (долевые содержания: $i = 1$ – газа, оставшегося после образования звезд и субзвезд, $i = 2, 3$ – звезд и субзвезд). Значение v_{11}^j влияет на перераспределение вещества в галактиках. Остальные вероятности

наступления ключевых событий, входящие в стандартный ориентированный граф, описывающий эволюцию звездных систем [6, 11, 12], отражают долевые содержания звезд и субзвезд, находящиеся на определенных эволюционных стадиях. Минимальная масса первичных неоднородностей $M_{\min 1}$ обосновывается исходя из температуры и плотности фрагментирующего вещества, а за её значение принимается масса Джинса. В соответствии с проведенным анализом в работе [3], за такую минимальную массу можно принять значение $M_{\min 1} \sim 10^3 M_{\odot}$. Во вторичной фрагментации ожидается появление не только звезд, но и субзвезд, минимальная масса которых определяется условием их образования за счет самогравитации. Согласно [27, 28], масса таких объектов $M_{\min 2} \sim 10^{-2} M_{\odot}$.

Рассмотрим процесс образования протогалактик в период охлаждающейся Вселенной, что подразумевает равенство их масс джинсовым значениям. Тогда, дальнейшее их охлаждение должно вызвать образование внутри их новых фрагментов с меньшими, также, джинсовыми массами. Такой каскадный механизм фрагментации позволяет брать в качестве верхнего предела для первичных фрагментов, значения, попадающие в интервал масс галактик – $M_{ps1} \sim 10^6 \div 10^{12} M_{\odot}$. Аналогично, для вторичной волны фрагментации в выделенных протоскоплениях, – значения масс типичных звездных скоплений: $M_{ps2} \sim 10^2 \div 10^6 M_{\odot}$. Это позволяет привести оценки эффективности звездообразования ξ_{ji} (j – этап фрагментации) в протосистемах, определяемых выше выделенными нами степенными спектрами масс $\varphi_i(M)|_{i=1,2} \propto M^{-1/3}, M^{-1}$:

$$\xi_{11} = \frac{\int_{10^3}^{10^6 \div 10^{12}} M^{-1/3} dM}{\int_{m_H}^{10^6 \div 10^{12}} M^{-1/3} dM} = \frac{M^{2/3} \Big|_{10^3}^{10^6 \div 10^{12}}}{M^{2/3} \Big|_0^{10^6 \div 10^{12}}} = 0.990 \div 1.000, \quad (8)$$

$$\xi_{12} = \frac{\int_{10^3}^{10^6 \div 10^{12}} M^{-1} dM}{\int_{m_H}^{10^6 \div 10^{12}} M^{-1} dM} = \frac{\ln M \Big|_{10^3}^{10^6 \div 10^{12}}}{\ln M \Big|_{10^{-57}}^{10^6 \div 10^{12}}} = 0.048 \div 0.130, \quad (9)$$

$$\xi_{21} = \frac{\int_{10^{-2}}^{10^2 \div 10^6} M^{-1/3} dM}{\int_{m_H}^{10^2 \div 10^6} M^{-1/3} dM} = \frac{M^{2/3} \Big|_{10^{-2}}^{10^2 \div 10^6}}{M^{2/3} \Big|_0^{10^2 \div 10^6}} = 0.998 \div 1.000, \quad (10)$$

$$\xi_{22} = \frac{\int_{10^{-2}}^{10^2 \div 10^6} M^{-1} dM}{\int_{m_H}^{10^2 \div 10^6} M^{-1} dM} = \frac{\ln M \Big|_{10^{-2}}^{10^2 \div 10^6}}{\ln M \Big|_{10^{-57}}^{10^2 \div 10^6}} = 0.068 \div 0.127. \quad (11)$$

Полученные значения позволяют записать вероятности интересующих ключевых событий, в зависимости от функционального вида

$$a_{11}^1(-1/3) = \xi_{11} = 0.995 \pm 0.005, \quad a_{11}^0(-1/3) = 1 - \xi_{11} = 0.005 \pm 0.005, \quad (12)$$

$$\sum_{i=2}^3 g_{111}^{ki}(-1/3) = \xi_{21} = 0.999 \pm 0.001, \quad g_{111}^{k1}(-1/3) = 1 - \xi_{21} = 0.001 \pm 0.001, \quad (13)$$

$$a_{11}^1(-1) = \xi_{12} = 0.089 \pm 0.041, \quad a_{11}^0(-1) = 1 - \xi_{12} = 0.911 \pm 0.041, \quad (14)$$

$$\sum_{i=2}^3 g_{111}^{ki}(-1) = \xi_{22} = 0.098 \pm 0.030, \quad g_{111}^{k1}(-1) = 1 - \xi_{22} = 0.903 \pm 0.030. \quad (15)$$

5. Каскадная фрагментация в протоскоплениях

Рассмотрим каскадную фрагментацию в газе, который не пошел на формирование звезд и субзвезд, долевого содержания которого много меньше пополняемого вещества, образующегося от коконов и звездного ветра массивных звезд, а также газовых оболочек, покидающих звезды на заключительных стадиях эволюции. В этом случае следует изменить стандартную структуру графа заменив g_{111}^{k4} на g_{111}^{k1} . Рост долевого содержания вещества уходящего на формирование нового поколения звезд и субзвезд, в зависимости от μ -го цикла звездообразования (при полном его числе N) может быть представлен следующим выражением:

$$M_c / M_{ps} = (g_{r11}^{k2} + g_{r11}^{k3}) \left[1 + \sum_{\mu=1}^N (g_{r11}^{k1})^\mu \right]. \quad (16)$$

Эта зависимость, как функция от N , изображена на рис.3. Из нее видно, что для перехода практически всей массы протоскопления в звезды и субзвезды необходимо не менее 40÷70 фрагментаций. Для перехода половины массы протоскопления в звезды и субзвезды достаточно 6÷7 фрагментаций.

спектра масс (показатель спектра масс указан в скобках) и массы протообъектов:

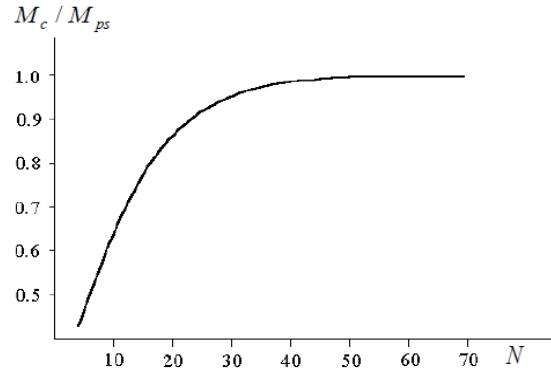


Рисунок 3 – Зависимость доли массы перешедшей из протоскопления (массы M_{ps}) в скопления суммарной массы звезд и субзвезд (M_c) от числа фрагментаций N .

Выводы

Из полученных результатов можно скомбинировать четыре варианта развития эволюции таких звездных систем, как галактики, которые на первом и втором этапах эволюции описываются спектрами масс с показателями степени $-1/3$ или -1 : $(-1/3, -1/3)$, $(-1/3, -1)$, $(-1, -1/3)$, $(-1, -1)$.

1. Согласно первой комбинации, с показателями спектра масс $(-1/3, -1/3)$, на первом этапе эволюции весь газ протогалактики переходит в звезды и субзвезды, а вторичный

газ может быть связан с веществом коконов массивных звезд, со звездным ветром, оболочками планетарных туманностей и остатками сверхновых звезд. Такого вещества в галактиках должно быть мало, а их химический состав, является вторичным, по отношению к реликтовому газу.

2. Вторая комбинация показателей спектров масс $(-1/3, -1)$, предполагает, что на первом этапе фрагментации весь газ уходит на формирование звездных скоплений. На втором этапе звездообразования в скоплениях, допустима каскадная фрагментация, поскольку на момент её старта только $\sim 10\%$ вещества начинает превращаться в звезды и субзвезды. Полное истощение газа в системе наступает при максимальном числе циклов $N_{max} \approx 70$.

3. При комбинации спектров масс $(-1, -1/3)$, на первом этапе фрагментации только $\sim 10\%$ вещества переходит в звезды и субзвезды. Дальнейшая фрагментация в протосистемах заканчивается тем, что всё (10 процентное) вещество переходит в космические тела. Таким образом, в этих галактиках, должно остаться еще $\sim 90\%$ газового вещества.

4. Согласно варианта комбинации спектров масс $(-1, -1)$, без каскадной фрагментации на втором этапе звездообразования, в системе только $\sim 1\%$ вещества переходит в звездно-субзвездную составляющую. При каскадной фрагментации на втором этапе звездообразования, в конце эволюции в конце эволюции долевого содержания газа аналогично предыдущему 3-му сценарию.

Галактики, которые развиваются по 1-му эволюционному сценарию, должны содержать

звездный состав, ограниченный массами карликовых звезд ($\leq 0.8 M_{\odot}$). Здесь также следует ожидать значительного представительства звездных остатков.

Для вычисленного максимального значения $N_{max} \approx 70$ и времени одного цикла фрагментации, порядка того, которое реализуется при одноактном звездообразовании в рассеянных скоплениях звезд – $\sim 10^7$ лет, время полного истощения газа в таких звездных системах, как эллиптические галактики, ожидается равным $\sim 7 \cdot 10^9$ лет. С учетом того, что характерное время для начала формирования галактик $\approx 12 \cdot 10^9$ лет, полученный результат удовлетворительно объясняет факт отсутствия звездообразования в эллиптических галактиках в последние 5 млрд. лет. Такой ход развития, как раз и может описывать 2-й эволюционный сценарий. Если количество циклов фрагментации не достигает максимального значения, долевого содержания газа может быть такое же, как в спиральных галактиках. Предельно «большое» его содержание в таких галактиках может объяснять и вариант 3 ($\sim 10\%$).

Четвертый вариант ближе к сценарию образования неправильных галактик, содержащих значительную газовую составляющую, конкретное значения которой зависит от числа циклов звездообразования. Сделанные заключения не могут претендовать на окончательные выводы. Это предварительные результаты, дальнейшее развитие которых может позволить понять причины различий в составах населений различных типов галактик.

Литература

- 1 Захожай В.А. Космические тела Галактики: классификация и эволюция // Вісн. астрон. школи – 2002. – Т. 3, № 2. – С.81-99.
- 2 Evsukov N.N., Zakhohaj V.A., Psaryov V.A. Planetary systems of the Galaxy// Odessa Astronomical Publications, – 2001. – Vol.14. – P.205.
- 3 Марочник Л.С., Сучков А.А. Галактика. – М.: Наука, 1984. – 392 с.
- 4 Сурдин В.Г. Рождение звезд. – М.: УРСС, 2001. – 262 с.
- 5 Сурдин В. Г. Протозвезды и планеты // Новые книги за рубежом. – 1993. – № 9. – С. 37-39.
- 6 Захожай В.А. Статистическая космогония – новое направление в исследовании эволюции звездных систем // Изв. ГАО в Пулкове. – 2009. – № 219, вып.4. – С. 105.
- 7 Захожай В.А., Минаков А.А., Шульга В.М. // Труды 10-й гамовской астрономической конференции-школы, 23-28 августа, 2010. – Одесса, Украина. – С. 115.
- 8 Захожай В.А., Педаш Ю.Ф., Писаренко А.И. Внутреннее строение и эволюция субзвезд // Международная научная конференция «Каразинские естественнонаучные студии» (г. Харьков, 14-16 июня 2004 г.). – Материалы конференции. – Харьков. – 2004. – С. 85-86.
- 9 Захожай В.А. // Изв. ГАО в Пулкове, 2009. № 219, вып.4. С. 105.
- 10 Zakhohaj V.A. // Astron. Astrophys. Transact., 1995. V. 6. P. 221.
- 11 Захожай В.А. Статистическая теория дискретного описания эволюции звездных систем // Изв. КрАО, – 2009. – Т.104, № 6. – С.80.

- 12 Zakhzhay V.A. Possible application of graphs to galactic evolution // *Astron. Astrophys. Transact.*, – 1996. – V. 10. – P. 321-328
- 13 Rees M.J. // *Mon. Not. Roy. Astr. Soc.*, 1976. V. 176, № 3. P. 483.
- 14 Zakhzhaj V.A. Possible application of Graphs to Galactic evolution // *Astron. Astrophys. Transact.* – 1996. – Vol. 10. – P. 321-328.
- 15 Захожай В.А. Функция масс звезд Галактики // *Кинем. и физ. неб. тел.* – 2000. – Т. 16, № 2. – С. 153-168.
- 16 Einasto J., Kaasik A., Saar E. Dynamic evidence on massive coronas of galaxies // *Nature.* – 1974. – Vol. 250, № 5464. – P. 309-310.
- 17 Einasto J., Joeveer M., Kaasik A. The mass of the Galaxy // *Tartu Astron. Obs. Teated.* – 1976. – Vol. 54. – P. 3-75.
- 18 Воронцов-Вельяминов Б.А. Внегалактическая астрономия. – М.: Наука. – 1978. – 480с.
- 19 Bullock J.S., Kravtsov A.V., Weinberg D.H. Hierarchical Galaxy Formation and Substructure in the Galaxy's Stellar Halo // *Astrophys. J.* – 2001. – Vol. 548. – P. 33-46.
- 20 Kahn F., Woltjer L. Intergalactic matter and the Galaxy // *Astrophys. J.* – 1959. – Vol. 130, № 2. – P. 705-717.
- 21 Kuratova A.K., Miroshnichenko A.S., Kuratov K.S., Naurzbayeva A.Z., Alimgazina N.S., Manapbayeva A.B. A Search for New Objects with the B[e] Phenomenon // *Astronomical Society of the Pacific Conference Series.* – 2017. – Vol. 508. – P. 229.
- 22 Khokhlov, S. A.; Miroshnichenko, A. S.; Zharikov, S. V.; Manset, N.; Arkharov, A. A.; Efimova, N.; Klimanov, S.; Larionov, V. M.; Kusakina, A. V.; Kokumbaeva, R. I.; Ch. T. Omarov, K. S. Kuratov, A. K. Kuratova, R. J. Rudy, E. A. Laag, K. B. Crawford, T. K. Swift, R. C. Puetter, R. B. Perry, S. D. Chojnowski, A. Agishev, D. B. Caton, R. L. Hawkins, A. B. Smith, D. E. Reichart, V. V. Kouprianov, J. B. Haislip Toward Understanding the B[e] Phenomenon. VII. AS 386, a Single-lined Binary with a Candidate Black Hole Component. 2018. - *Astrophysical Journal.* – V.856. – P.158-171. <https://arxiv.org/pdf/1803.03892.pdf>, DOI: 10.3847/1538-4357/aab49d. Импакт фактор 5.533 (Web of Science).
- 23 Manapbayeva A.B., Zakhzhay O.V., Kuratova A.K., Zakhzhay V.A., Kuratov K.S., Beisebayeva A.S. Observations and modeling of spectral energy distribution of young star//16-th Gamow Summer School «Astronomy and Beyond: Astrophysics, cosmology, cosmomicrophysics, astroparticle physics, radioastronomy and astrobiology», 14-20 August, 2016, Odessa, Ukraine. – P. 19.
- 24 Zakhzhay V.A. Kinematics of the Local Group Galaxies. // In VI International Conference “Relativistic Astrophysics, Gravitation and Cosmology”, 24-26 May, 2006. – Kyiv, Ukraine. – P. 9-10.
- 25 Zakhzhay V.A., Kuratov K.S., Maylybayev A.T. The Description of Cascade Fragmentation in Protosystems with Small Angular Momentum with Graphs // 5-th Gamow International Conference in Odessa: "Astrophysics and Cosmology after Gamow: progress and perspectives" and The XV -th G. Gamow's Odessa International Astronomical Summer Conference-School, August 16-23, 2015. – Odessa, Ukraine. – P.55
- 26 Zakhzhaj V.A., On a Problem of Determinative Event Probability in the Galaxy Evolution. Analytic Statement // International Conference to be held in Saint Petersburg “Order and Chaos in Stellar and Planetary Systems”, 17-24 August, 2003. – Saint Petersburg. – P.65.
- 27 Васильев Е.О., Щекинов Ю.А. О минимальной массе звезд в ранних галактиках // *Астрон. журн.* – 2005. – Т. 82, No 8. – С. 659-667.
- 28 Zakhzhaj V.A. Initial jeans mass spectra of the three modes of galactic star formation: A theoretical model // *Astron. Astrophys. Transact.* – 1995. – V.6. – P. 221.

References

- 1 V.A. Zahozhay, *Visn. astron. shkoli* 3, 2, S81-S99 (2002). (in Russ).
- 2 N.N. Evsukov, V.A. Zakhzhaj and V.A. Psaryov, *Odessa Astron. Publ.* 14, 205 (2001).
- 3 L.S. Marochnik and A.A. Suchkov. *Galaktika* (Moscow: Nauka, 1984), 392 p. (in Russ).
- 4 V.G. Surdin *Rozhdenie zvezd* (Moscow: URSS, 2001), 262 p. (in Russ).
- 5 V. G. Surdin *Novye knigi za rubezhom* 9, 37–39., (1993). (in Russ).
- 6 V.A. Zahozhaj, *Izv. GAO v Pulkove* 4, 219, 10.5 (2009). (in Russ).
- 7 V.A. Zahozhaj, A.A. Minakov, V.M. Shul'ga. *Trudy 10-j gamovskoj astrono-micheskoy konferencii-shkoly*, (Odessa, Ukraina, 23-28 August, 2010), p. 115. (in Russ).
- 8 V.A. Zahozhay, Ju.F. Pedash and A.I. Pisarenko, *Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija Karazinskie estestvennonauchnye studii*, (Har'kov, 14-16 June, 2004), p. 85-86. (in Russ).
- 9 V.A. Zahozhaj, *Izv. GAO v Pulkove* 219, 105 (2009). (in Russ).
- 10 V.A. Zakhzhay, *Astron. Astrophys. Transact.* 6, 221 (1995). (in Russ).
- 11 V.A. Zakhzhay, *Izv. KrAO* 104, 6, 80 (2009). (in Russ).
- 12 V.A. Zakhzhay, *Astron. Astrophys. Transact.* 10, 321-328 (1996).
- 13 M.J. Rees, *Mon. Not. Roy. Astr. Soc.* 176, 3, 483 (1976).
- 14 V.A. Zakhzhay, *Astron. Astrophys. Transact.* 10, 321-328 (1996).
- 15 V.A. Zakhzhaj, *Kinem. i fiz. neb. tel* 16, 2, 153-168 (2000). (in Russ).
- 16 J. Einasto, A. Kaasik and E.Saar, *Nature* 250, 5464, 309-310 (1974).
- 17 J. Einasto, M. Joeveer and A. Kaasik, *Tartu Astron. Obs. Teated.* 54, 3-75, (1976).
- 18 B.A. Voroncov-Vel'jaminov, *Vnegalakticheskaja astronomija* (Moscow, Nauka, 1978) 480 p. (in Russ).
- 19 J.S. Bullock, A.V. Kravtsov and D.H. Weinberg, *Astrophys. J.* 548, 33-46 (2001).
- 20 F.Kahn and L. Woltjer, *Astrophys. J.* 130, 2, 705-717 (1959).

- 21 A.K. Kuratova, A.S. Miroshnichenko, et al, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*. 508, 229 (2017).
- 22 S. A. Khokhlov, A. S. Miroshnichenko, et al, *Astrophysical Journal*. 856, 158-171 (2018). <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aab49d>.
- 23 A.B. Manapbaeva, O.V. Zakhzhay, et al, 16-th Gamow Summer School "Astronomy and Beyond: Astrophysics, cosmology, cosmomicrophysics, astroparticle physics, radioastronomy and astrobiology", (Odessa, Ukraine, 14-20 August, 2016), p. 19. (in Russ).
- 24 V.A. Zakhzhay, In VI Intern. Conf. "Relativistic Astrophysics, Gravitation and Cosmology", (Kyiv, Ukraine, 24-26 May, 2006), p. 9-10.
- 25 V.A. Zakhzhay, K.S. Kuratov and A.T. Maylybayev, 5-th Gamow Inter.Conf. in Odessa: "Astrophysics and Cosmology after Gamow: progress and perspectives" and The XV-th G. Gamow's Odessa Inter. Astr. Summer Conference-School, (Odessa, Ukraine, 16-23 August, 2015), p.55
- 26 V.A. Zakhzhaj, Inter. Conf. to be held in Saint Petersburg "Order and Chaos in Stellar and Planetary Systems", (Saint Petersburg, 17-24 August, 2003), p.65. (in Russ).
- 27 E.O. Vasil'ev and Ju.A. Shhekinov, *Astron. zhurn.* 82, 8, 659-667 (2005). (in Russ).
- 28 V.A. Zakhzhaj, *Astron. Astrophys. Transact.* 6, 221 (1995).