

УДК: 524.3-54

## ОБ ЭВОЛЮЦИИ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.А.АКОПЯН

Поступила 10 сентября 1993

Принята к печати 24 октября 1993

Предлагается сценарий эволюционного развития астрофизических объектов. Полученные выражения применены к эволюционной последовательности протозвезда-звезда Т Тау — вспыхивающая звезда. Получены оценки возрастов звездных ассоциаций Орион, NGC 2264, NGC 7000.

1. *Введение.* Вопросы эволюции астрофизических объектов занимают ведущее место в современных астрофизических исследованиях. Выводы относительно эволюции астрофизических объектов обычно основаны на теоретических расчетах моделей звезд и звездных систем, а также на сравнительном анализе наблюдательных данных. При этом редко учитывается относительное число эволюционно связанных объектов, которое, очевидно, должно быть связано с параметрами эволюционирующей системы. Цель данной работы получить соотношения, которые можно использовать для оценок этих параметров.

Для точного теоретического расчета относительных количеств эволюционно связанных объектов необходимо иметь четкие представления о физических процессах, определяющих эволюцию. Однако в настоящее время в данной области очень много нерешенных проблем. Это прежде всего касается механизма звездообразования, природы источников энергии нетеплового излучения, взаимодействия звезд с окружающей средой. Особенно большие трудности имеет классическая теория образования звезд и звездных систем путем конденсации диффузного вещества при попытке объяснить неплавные эволюционные изменения, которые сопровождаются выделением большого количества массы и энергии, глубокими изменениями внутреннего строения.

Новая же космогоническая гипотеза о рождении звезд и звездных систем из сверхплотного вещества, развиваемая В.А.Амбарцумяном и его последователя-

ми пока не приобрела своего выражения в конкретных физических моделях, да и в рамках этой гипотезы не исключается, что на определенных этапах эволюции астрофизических объектов действуют неизвестные пока физические законы [1].

Чтобы теоретически вычислить относительные количества эволюционно связанных астрофизических объектов, необходимо также задаваться начальными распределениями параметров, определяющих эволюцию. Однако выбор начальных распределений затруднен некоторыми обстоятельствами. Во-первых, из-за отсутствия четкого представления о физических процессах, определяющих эволюцию звезд и звездных систем, трудно представить, какие именно параметры играют в них определяющую роль. Во-вторых, даже для тех параметров, которые бесспорно влияют на ход эволюции, например, масса, химический состав и т.д., выбор начальных распределений затруднен отсутствием объективных критериев, а большое множество возможных наборов параметров и форм начальных распределений делают решение задачи неоднозначным. Кроме того, само понятие начального момента представляется очень спорным из-за общепринятого наблюдательного факта, свидетельствующего о том, что в звездных агрегатах звезды рождаются неодновременно.

Из вышесказанного следует, что точное теоретическое вычисление относительных количеств эволюционно связанных объектов в настоящее время является малоэффективным.

В настоящей работе предлагается другой подход, в основе которого лежит предположение о том, что из-за влияния множества известных и неизвестных факторов эволюционный процесс, в частности, темпы эволюции и переходы из одной стадии в другую стадию развития, приобретает статистический характер, или точнее говоря, что эволюционный процесс можно описать как статистический.

Такое предположение, сильно упрощая истинную картину эволюции, позволяет получить простые оценки для некоторых величин.

2. Основные формулы. Пусть  $N_i(t)$  ( $i=0,1,2, \dots$ ) — число астрофизических объектов находящихся на  $i$ -той стадии эволюции в момент времени  $t$ .

Предположим, что

а/ в момент времени  $t=0$  все объекты эволюционирующей системы в количестве  $C$  находятся на начальной стадии  $i=0$ , т.е.  $N_0(0)=C$ ,  $N_i(0)=0$ ,

б/ непосредственный переход из стадии  $i$  возможен только в стадию  $i+1$ ,

в/ число объектов, переходящих из стадии  $i$  в стадию  $i+1$  за малый, по сравнению со средним временем жизни объекта на  $i$ -той стадии, промежуток времени  $\Delta t=(t+\Delta t)-t$  пропорционально  $N_i(t)$ .

При этих предположениях для величин  $N_i(t)$  имеем следующую систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dN_0(t)}{dt} &= -\lambda_0 N_0(t), \\ \frac{dN_1(t)}{dt} &= -\lambda_1 N_1(t) + \lambda_0 N_0(t), \\ \frac{dN_2(t)}{dt} &= -\lambda_2 N_2(t) + \lambda_1 N_1(t), \\ &\dots\dots\dots, \\ \frac{dN_i(t)}{dt} &= -\lambda_i N_i(t) + \lambda_{i-1} N_{i-1}(t), \quad i=1, 2, \dots, \end{aligned} \tag{1}$$

со следующими начальными условиями:  $N_0(0)=C, N_i(0)=0$ . Здесь величина  $\lambda_i$  есть вероятность перехода из стадии  $i$  в стадию  $i+1$  и, соответственно,  $\lambda_i^{-1}$  — среднее время жизни объекта на  $i$ -той стадии.

Система уравнений (1) встречается во многих задачах. В частности, такой системой описывается процесс радиоактивного распада элементов. В теоретической астрофизике аналогичной системой описывается процесс образования тяжелых элементов путем медленного захвата нейтронов — s-процесс. Решение системы (1) имеет следующий вид [2]:

$$\begin{aligned} N_0(t) &= C e^{-\lambda_0 t}, \\ N_1(t) &= C \left( \frac{\lambda_0}{\lambda_1 - \lambda_0} e^{-\lambda_0 t} + \frac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 t} \right), \\ N_2(t) &= C \left[ \frac{\lambda_0 \lambda_1 e^{-\lambda_0 t}}{(\lambda_2 - \lambda_0)(\lambda_1 - \lambda_0)} + \frac{\lambda_0 \lambda_1 e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_0 - \lambda_1)} + \frac{\lambda_0 \lambda_1 e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_0 - \lambda_2)(\lambda_1 - \lambda_2)} \right], \\ &\dots\dots\dots \\ N_i(t) &= C \sum_{k=0}^i a_{ik} e^{-\lambda_k t}, \end{aligned} \tag{2}$$

где

$$a_{ik} = \frac{\lambda_k}{\lambda_i} \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq k}}^i \frac{\lambda_j}{\lambda_j - \lambda_k},$$

а постоянная  $C$ , напомним, есть общее количество объектов эволюционирующих по данной эволюционной последовательности.

Очевидно, что когда  $\lambda_n^{-1} \gg t$ , т.е. среднее время жизни объекта на  $n$ -ой стадии эволюции намного больше возраста системы, в которую входит данный объект, то можно пренебрегать числом объектов, переходящих в стадию  $n+1$ . Тогда имеем

$$C \approx N_0(t) + N_1(t) + \dots + N_n(t). \quad (3)$$

Подставляя (3) в первое уравнение системы (2), после несложных преобразований получим

$$e^{\lambda_0 t} = 1 + \frac{N_1(t)}{N_0(t)} \cdot \frac{N_1(t) + N_2(t) + \dots + N_n(t)}{N_1(t)}. \quad (4)$$

Второе уравнение системы (2) можно представить в виде

$$N_1(t) = C e^{-\lambda_0 t} \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda_1 - \lambda_0} (1 - e^{(\lambda_0 - \lambda_1)t}). \quad (5)$$

Учитывая, что  $N_0(t) = C e^{-\lambda_0 t}$ , из формулы (5) получим

$$\frac{N_1(t)}{N_0(t)} = \frac{\lambda_0}{\lambda_1 - \lambda_0} [1 - e^{(\lambda_0 - \lambda_1)t}]. \quad (5a)$$

Подставляя выражение (5a) в (4) получим

$$h = \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\lambda_0} \frac{e^{-\lambda_0 t} - 1}{e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_0 t}}, \quad (6)$$

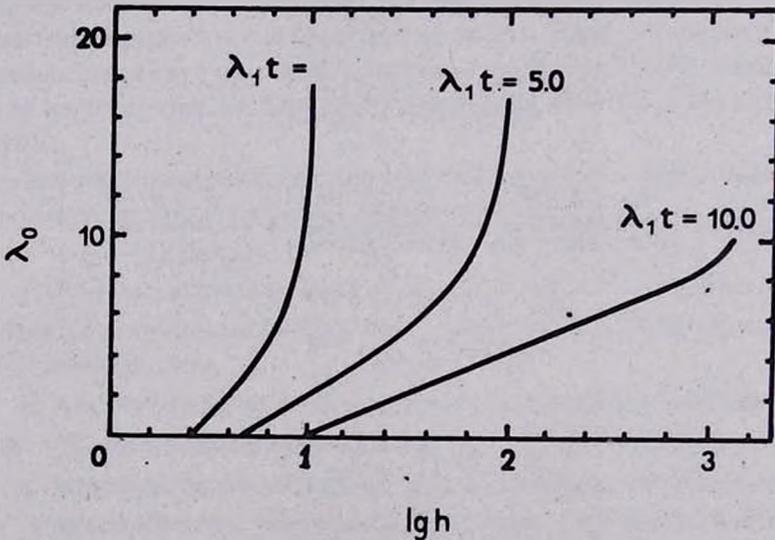


Рис.1. Зависимость  $\lambda_0 t$  от  $\lg h$  для некоторых значений  $\lambda_1 t$ .

где  $h = \frac{\sum_{i=1}^n N_i(t)}{N_1(t)}$  — отношение общего количества объектов, находящихся на стадиях  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , к количеству объектов, находящихся на стадии  $i = 1$ . Характерная особенность величины  $h$  в том, что в отличие от величины  $\frac{N_1(t)}{N_0(t)}$ , которую невозможно оценить из-за труднообнаруживаемости астрофизических объектов на начальной стадии своей жизни, есть наблюдаемая или оцениваемая величина.

Решая численным методом трансцендентное уравнение (6) относительно  $\lambda_0 t$ , можно оценить среднее время жизни объекта на начальной стадии  $i = 0$ , а с помощью (5а) оценить относительное количество объектов  $\frac{N_1(t)}{N_0(t)}$  в любой заданный момент времени.

На рис.1 приводится решение уравнения (6) в виде зависимости  $\lambda_0 t$  от  $\lg h$  при разных значениях  $\lambda_1 t$ . В некоторых случаях более удобно представить решение уравнения (6) несколько другим образом (рис.2).

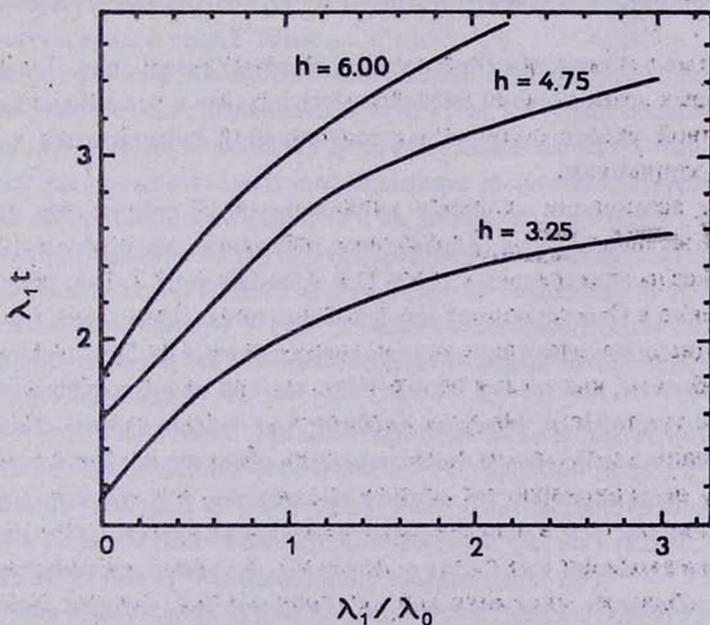


Рис.2. Зависимость  $\lambda_0 t$  от  $\frac{\lambda_1}{\lambda_0}$  для некоторых значений  $h$ .

Из формулы (6) следует, что для данного значения  $\lambda_1 t$  величина  $h$  может принимать значение из строго определенного диапазона значений, что позволяет получить простые оценки для величин  $\lambda_1 t$ ,  $h$ . Действительно, переходя к предельным значениям  $\lambda_0 t$  из (6) имеем

$$h \rightarrow \frac{\lambda_1 t}{1 - e^{-\lambda_1 t}}, \text{ когда } \lambda_0 t \rightarrow 0, \\ h \rightarrow e^{\lambda_1 t}, \text{ когда } \lambda_0 t \rightarrow \infty.$$

Следовательно

$$\frac{\lambda_1 t}{1 - e^{-\lambda_1 t}} < h < e^{\lambda_1 t}, \quad (7)$$

откуда легко заметить, что с большой точностью имеют место неравенства

$$\ln h < \lambda_1 t < 2(h - 1) \quad (h \leq 2), \\ \ln h < \lambda_1 t < h \quad (h \geq 2). \quad (8)$$

Полученные неравенства (7) и (8) можно использовать для оценок величин  $\lambda_1 t$ ,  $h$ , в зависимости от характера задачи.

Эволюционные уравнения можно написать также матричным способом. Полученные с помощью матричного подхода выражения аналогичны полученным выше выражениям. В данной работе описание матричного подхода не приводится.

**3. Определение некоторых параметров звездных ассоциаций.** Для иллюстрации некоторых возможностей предлагаемого подхода к решению задач эволюции, в данной работе полученные соотношения применяются к молодым звездным ассоциациям.

Звездные ассоциации являются уникальными объектами, где происходят рождение и эволюция звезд. Характерное население звездных ассоциаций составляют звезды спектральных типов O, B и звезды типа T Тау, объединенные соответственно в O-ассоциациях и в T-ассоциациях. Кроме этих типов звезд в состав ассоциаций входят также явно молодые и разные по физическим характеристикам объекты, как звезды Вольф-Райе, мазеры инфракрасного излучения, кометарные туманности, объекты Хербига-Аро, молекулярные облака и т.д.. Объединяющим характерным признаком этих объектов является присущая им физическая нестационарность, которая выражается, в частности, в непрерывном истечении массы и в неправильных изменениях блеска. Сами же звездные ассоциации и входящие в их состав подсистемы, например, системы типа Трапеции, часто обладают динамической неустойчивостью, которая выражается в расширении и в распаде данной системы.

Большое разнообразие объектов, населяющих звездные ассоциации, наводит на мысль, что такое же разнообразие имеет место и для возможных эволюционных путей развития.

Для выявления этих путей наиболее эффективным оказался наблюдательный подход [3]. Исследование звездных ассоциаций показало, что в них звезды рождаются в разное время и в этих системах могут одновременно существовать несколько поколений звезд. Исследования подтвердили также теоретическое представление о том, что звезды с большими массами эволюционируют быстрее.

Существование нескольких поколений звезд и однотипных звезд, обладающих разными массами, и соответственно, разными темпами эволюции, приводит к тому, что в ассоциациях встречаются звезды в разных стадиях эволюции, что в конечном счете позволяет выявить последовательность стадий, проходимых звездой [4,5].

Существование Т-ассоциаций, характерное население которых составляют звезды типа Т Тау, указывает на то, что стадия звезды типа Т Тау является закономерной, причем первоначальной стадией развития для красных карликовых звезд. Исходя из физических соображений, Амбарцумян оценил продолжительность этой стадии  $10^6$  лет [6]. Такая короткая по астрономическим меркам продолжительность стадии указывает, что в звездных ассоциациях, возраст которых порядка  $10^6$ — $10^7$  лет, наряду со звездами типа Т Тау, должны существовать и звезды пост Т Тау.

Впервые Аро [7] на основе наблюдений высказал мнение, что в эволюции красных карликовых звезд за стадией звезды типа Т Тау наступает стадия вспыхивающей звезды, т.е. именно вспыхивающие звезды являются пост Т Тау звездами. В дальнейшем это принципиальное предположение получило подтверждение в последующих работах Аро, Амбарцумяна и их последователей [4,8,9]. В частности, Амбарцумян [10], оценив число вспыхивающих звезд в Плеядах, пришел к заключению, что стадия вспыхивающей звезды является закономерной стадией эволюции красных карликовых звезд. Основные же свидетельства в пользу существования генетической связи между двумя этими закономерными стадиями эволюции следующие.

1. У некоторых звезд типа Т Тау наблюдаются классические вспышки. Первые такие вспышки обнаружили Аро, Розино и их сотрудники [8,11]. Впоследствии Амбарцумян [9] показал, что 25% звезд типа Т Тау ассоциации Ориона способны показать классические вспышки. Согласно [12], относительное число этих звезд среди звезд типа Т Тау ассоциации Ориона равно 50%.

2. Во время вспышки спектр вспыхивающей звезды становится похожим на спектр звезды типа Т Тау. Впервые на это обратил внимание Амбарцумян [13].

На основании этого факта он заключил, что вспыхивающие звезды и звезды типа Т Тау являются родственными по своей физической природе объектами.

3. Вспыхивающие звезды и звезды типа Т Тау одновременно присутствуют в молодых звездных системах, а в относительно старых системах звезды типа Т Тау отсутствуют. Этот факт, согласно данной гипотезе, указывает на то, что стадия вспыхивающей звезды, следующая за стадией звезды типа Т Тау, длится намного больше последней. Эволюционное значение этого факта отметил Аро [14].

Таким образом, на основе большого количества наблюдательных данных можно допустить, что в звездных ассоциациях эволюция красных карликовых звезд проходит по следующей эволюционной последовательности:

протозвезда—звезда типа Т Тау — вспыхивающая звезда — нормальная невспыхивающая красная карликовая звезда.

Подробнее эта эволюционная последовательность обсуждается в монографиях [4,5], там же можно найти ссылки на другие оригинальные работы.

Ясно, что предлагаемый подход к эволюции и полученные соотношения наиболее эффективно можно попытаться применить к молодым звездным ассоциациям, в которых присутствуют одновременно и звезды типа Т Тау и вспыхивающие звезды. В качестве таких мы выбрали ассоциации Ориона, NGC 2264 и NGC 7000.

Поскольку средняя продолжительность стадии вспыхивающей звезды  $10^8$ — $10^9$  лет [4] намного больше возрастов молодых ассоциаций, то можно пренебрегать числом звезд, перешедших в стадию нормальной карликовой звезды.

Тогда величина  $h$  для данной эволюционной последовательности определится отношением числа вспыхивающих звезд —  $N_2(t)$  к числу звезд типа Т Тау —  $N_1(t)$ :

$$h = 1 + \frac{N_2(t)}{N_1(t)}. \quad (9)$$

При оценке величины  $h$  были использованы оценки вспыхивающих звезд, полученные в работах [12] (для ассоциации Ориона) и [15], методом, предложенным Амбарцумяном [10]. Этот метод позволяет оценить число неизвестных вспыхивающих звезд в системе на основе чисел вспыхивающих звезд, показавших за время наблюдений по одной —  $n_1$  и по две —  $n_2$  вспышек, по формуле

$$n_0 = \frac{n_1^2}{2n_2}. \quad (10)$$

При выводе формулы (10) предполагалось, что последовательность вспышек во времени для каждой звезды является случайной и что средняя частота вспы-

шек одинакова для всех вспыхивающих звезд данной системы. Полученная при этом оценка является нижним пределом оценки числа неизвестных вспыхивающих звезд в системе [16].

В качестве чисел звезд типа Т Тау использованы числа звезд этого типа в данных ассоциациях по "Общему каталогу переменных звезд" [17]. Очевидно, что числа звезд типа Т Тау в этих ассоциациях больше. Эти исходные данные и соответствующие величины  $h$  для рассмотренных звездных ассоциаций приводятся в табл. 1.

Таблица 1

ЧИСЛА ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД И ЗВЕЗД ТИПА Т ТАУ  
В РАССМОТРЕННЫХ АССОЦИАЦИЯХ

Ассоциация	Вспыхивающие звезды	Звезды типа Т Тау	$h$
NGC 2264	442	197	3.25
Орион	2000	400	6.00
NGC 7000	403	50	9.00

Рассмотрим вопрос, в каком отношении находятся полученные таким образом оценки величины  $h$  к истинным значениям  $h$ ?

Из-за специфических различий основных способов обнаружения степень обнаружения звезд типа Т Тау (спектральный способ обнаружения) значительно ниже степени обнаружения вспыхивающих звезд (фотографический способ), особенно при низких светимостях звезд. Учет этого факта приведет к уменьшению оценок  $h$ .

Существующая методика обнаружения вспышек не всегда позволяет определить к какому из рассматриваемых типов звезд принадлежит данная вспышка. Это приводит к тому, что к числу вспыхивающих звезд относят также звезды типа Т Тау, показавших классические вспышки. Выше было отмечено, что число таких звезд для ассоциации Ориона может составить от 25% до 50% числа всех звезд типа Т Тау. Учет этого факта приведет к уменьшению числа вспыхивающих звезд и, согласно [9], уменьшит также оценку  $h$  на величину  $p$ , где  $p$  - доля звезд типа Т Тау данной ассоциации, способных показать классические вспышки.

Из вышесказанного следует, что полученные оценки величины  $h$  представляют достаточно корректную оценку верхнего предела величины  $h$ .

Подставив полученные оценки  $h$  в неравенство (8), можно оценить возраст ассоциаций ( $t$ ):

$$\begin{aligned} 1.2 \cdot \lambda_1^{-1} < t \text{ (NGC 2264)} &< 3.25 \cdot \lambda_1^{-1}, \\ 1.8 \cdot \lambda_1^{-1} < t \text{ (Орион)} &< 6.00 \cdot \lambda_1^{-1}, \\ 2.2 \cdot \lambda_1^{-1} < t \text{ (NGC 7000)} &< 9.00 \cdot \lambda_1^{-1}, \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\lambda_1^{-1}$  — среднее время жизни звезд типа Т Тау, которое, следуя [6], можно принять равным  $10^6$  лет.

Величину  $\lambda_0$  можно определить из рис.2 или из уравнения (6). Для этого необходимо задаваться конкретным значением  $t$  возраста ассоциации. Принимая возраст ассоциации NGC 2264 равным  $2 \cdot 10^6$  лет (выбор NGC 2264 обоснован тем, что согласно полученным выше оценкам его возраст определен с наименьшей ошибкой), получим  $\lambda_0 = 10^{-6} \text{ лет}^{-1}$ .

Делая естественное допущение о том, что величина  $\lambda_0$  имеет одинаковое значение для всех ассоциаций, можно из формулы (6) получить зависимость возраст ассоциация — отношение числа вспыхивающих звезд к числу звезд типа Т Тау, что позволяет более конкретизировать оценки возрастов ассоциаций Ориона и NGC 7000, а также определить числа протозвездных объектов из (5a).

Действительно, в формуле (6) совершая предельный переход  $\lambda_0 \rightarrow \lambda_1$  (поскольку при  $\lambda_0 = \lambda_1$  в (6) получается неопределенность типа 0/0), и учитывая (9), получим

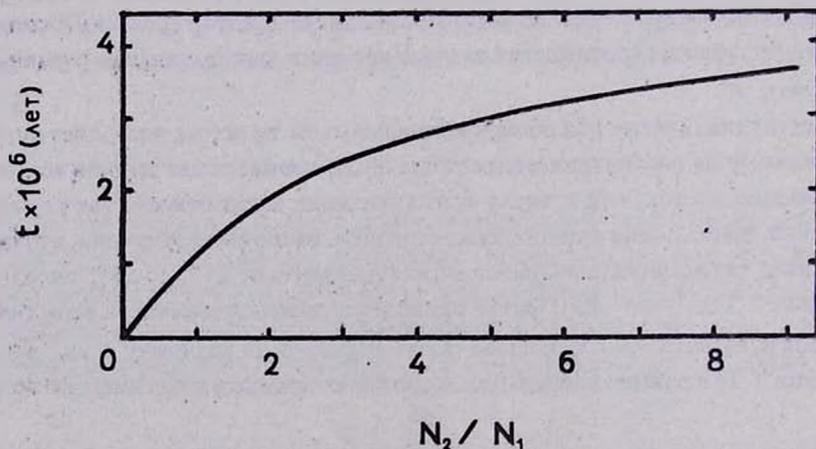


Рис.3. Зависимость возраста ассоциации  $t$  от отношения числа вспыхивающих звезд к числу звезд типа Т Тау:  $\frac{N_2}{N_1}$ .

$$\frac{N_2(t)}{N_1(t)} = \frac{e^{-\lambda t} - \lambda t - 1}{\lambda t},$$

а из (5а)

$$\frac{N_1(t)}{N_o(t)} = \lambda t,$$

где  $\frac{N_2(t)}{N_1(t)}$  — отношение числа вспыхивающих звезд к числу звезд типа Т Тау,

а  $\lambda = \lambda_o = \lambda_1 = 10^{-6} \text{ лет}^{-1}$ .

Зависимость возраст ассоциации — отношение числа вспыхивающих звезд к числу типа Т Тау приводится на рис.3. Полученные из этой зависимости возрасты ассоциаций и количества протозвезд в данных ассоциациях представлены в табл.2.

Полученные оценки возрастов ассоциаций находятся в достаточно удовлетворительном согласии с другими оценками возрастов этих ассоциаций. Например, полученная нами оценка возраста ассоциации Ориона (11) не противоречит подавляющему большинству оценок, приведенных в обзорной работе Уоррена и Хессера [18]. Исключение составляет ассоциация NGC 2264, возраст которой чаще оценивается порядка  $10^7$  лет [19,20]. В неплохом согласии с полученной оценкой возраста находится кинематический возраст ( $10^6$  лет) NGC 2264 [21], что, однако, на полпорядка больше кинематического возраста ассоциации Ориона  $3 \cdot 10^5$  лет [22].

Таблица 2.

ОЦЕНКИ ВОЗРАСТОВ РАССМОТРЕННЫХ АССОЦИАЦИЙ  
(В  $10^6$  ЛЕТ) И КОЛИЧЕСТВ ПРОТОЗВЕЗДНЫХ ОБЪЕКТОВ В НИХ

Ассоциация	NGC 2264	Орион	NGC 7000
$t$	2.0	3.0	3.4
$N_o$	100	133	15

Согласно же нашим оценкам ассоциация NGC 2264 более молодое образование, чем ассоциации Ориона и NGC 7000. Этот вывод находит косвенное подтверждение в работе [23], где установлена зависимость между средней светимостью вспыхивающих звезд и возрастом системы. В ней единственной звездной системой, не удовлетворяющей данной зависимости, является NGC

2264, у которой наибольшая средняя светимость вспыхивающих звезд. Согласно использованным в [23] данным, ассоциация NGC 2264 по возрасту старше Ориона и NGC 7000.

Зависимость между средней светимостью вспыхивающих звезд и возрастом соответствующей звездной системы с использованием новых и более полных данных подтверждена и в [24]. Результаты, полученные в [24], показывают, что функция распределения светимости вспыхивающих звезд смещается в сторону низких светимостей со старением системы, что является прямым следствием зависимости темпов эволюции от их масс, в результате которой абсолютно более яркие звезды системы раньше завершают стадию вспыхивающей звезды, чем звезды низких светимостей. Однако, как и в [23], из-за принятого значения возраста ассоциация NGC 2264 является единственной системой, не удовлетворяющей данной закономерности. Вывод о сравнительной молодости NGC 2264 устраняет это противоречие, делая данную зависимость полной.

Следует отметить, что с большей осторожностью нужно относиться к оценкам  $\lambda_0$  и  $N_0(t)$ , поскольку они очень чувствительны к выбору величины  $\lambda_1^{-1}$ , т.е. среднему времени жизни звезд типа Т Тау. Например, если принять среднее время жизни звезд типа Т Тау равным  $6.5 \cdot 10^5$  лет, то получим  $\lambda_0 = 10^{-5} \text{ лет}^{-1}$ .

Однако возможность оценить число протозвезд и их среднее время жизни достаточно привлекательна с той точки зрения, что дает критерий для поиска объектов-кандидатов на роль протозвезд.

Полученные оценки  $\lambda_0$  и  $N_0(t)$  позволяют оценить также темпы звездообразования  $\dot{n}(t)$  в ассоциациях в настоящее время по формуле

$$\dot{n}(t) = \frac{\lambda_0 N_0(t)}{V},$$

где  $V$  — пространственный объем ассоциации, вычисленный с помощью известных данных о угловых диаметрах и расстояниях соответствующих систем [20], при предположении об их сферичности. Расчеты показывают, что темпы звездообразования равны соответственно  $4 \cdot 10^{-9}$  звезд / год · пк<sup>3</sup>,  $2 \cdot 10^{-9}$  звезд / год · пк<sup>3</sup> для ассоциаций Ориона и NGC 2264 и на порядок меньше у NGC 7000.

Существующее разнообразие типов эволюции звездных объектов, населяющих звездные ассоциации указывает, что рождение и эволюция звезд проходит не только по данной эволюционной последовательности. Например, существование О-ассоциаций показывает, что значительная часть звезд эволюционирует через стадию О,В звезд по другой эволюционной последовательности. Поэтому

необходимо отметить, что полученные оценки относятся только к той части объектов, эволюция которых проходит по рассмотренной выше эволюционной последовательности.

4. *Заключение.* Полученные выше результаты показывают, что предлагаемый подход к решению эволюционных задач, основанный на предположении о том, что эволюционный процесс можно описать как статистический, может быть достаточно плодотворным.

В данной работе на основе данного подхода выведены соотношения, позволяющие оценить среднее время жизни и относительное количество находящихся на начальной стадии жизни объектов (например, для протозвезд) из формул (6) и (5а) соответственно. При этом важно отметить, что не делается никаких предположений о природе протозвездных объектов.

Полученные неравенства (8) позволяют оценить относительное количество  $h$  объектов, находящихся на разных стадиях эволюции, возраст  $t$  системы, в которую входят объекты, среднее время жизни объектов находящихся на стадии  $i = 1$  следующей за начальной стадией — формулы (7) и (8).

Полученные соотношения применены к следующей эволюционной последовательности: протозвезда—звезда типа Т Тау — вспыхивающая звезда. Для этой последовательности применение фактически свелось к определению возрастов ассоциаций с помощью известных отношений количества вспыхивающих звезд и звезд типа Т Тау.

Получены оценки среднего времени жизни  $\lambda_0^{-1}$  и количества протозвезд, эволюция которых проходит по данной эволюционной последовательности. Оценены также темпы звездообразования  $\dot{n}(t)$  в ассоциациях в настоящее время. Эти оценки  $\lambda_0$  и  $N_0(t)$ , несмотря на большую чувствительность к выбору величины  $\lambda_1^{-1}$ , имеют определенную ценность.

Однако возможности использованного нами в настоящей работе подхода более широкие. К обсуждению этого вопроса будут посвящены последующие работы.

В заключение выражаю благодарность профессору Л.В.Мирзояну за весьма полезные критические замечания, учет которых значительно повлиял на качество предлагаемой работы.

## ON THE EVOLUTION OF ASTROPHYSICAL OBJECTS

А.А.АКОПЯН

Scenario of evolution for astrophysical objects is proposed. The obtained relationships are applied to the evolution sequence protostar – T Tau star — flare star. Estimates of ages of stellar associations Orion, NGC 2264, NGC 7000 are obtained.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В.А.Амбарцумян, Усп. физ. наук, 96, 3, 1968.
2. H. Vatter, Proc. Camb. Phil. Soc., 15, 423, 1910.
3. В.А.Амбарцумян, Л.В.Мирзоян, Проблемы современной космогонии, гл.1,2, Наука, М., 1972.
4. Л.В.Мирзоян, Нестационарность и эволюция звезд, АН Армении, Ереван, 1981.
5. Л.В.Мирзоян, Ранние стадии эволюции звезд, АН Армении, Ереван, 1991.
6. В.А.Амбарцумян, Научные труды, АН Армении, Ереван, 1960, т.2, с.283.
7. G.Haro, Symposium On Stellar Evolution, Astron. Obs. Nat. Univ. of La Plata, La Plata, 1962, p.37.
8. G.Haro, E.Chavira, Vistas in Astronomy, 8, 89, 1966.
9. В.А.Амбарцумян, Астрофизика, 6, 31, 1970.
10. В.А.Амбарцумян, Звезды, туманности, галактики, АН Армении, Ереван, 1969, с.283.
11. L.Rosino et al., Contr. Asiago Obs., N69, 1956, N125, 1962, N127, 1964, N189, 1966.
12. Р.Ш.Нацалшвили, Вспыхивающие звезды в Орионе и в Плеядах, Бюраканская астрофизическая обсерватория, 1988.
13. В.А.Амбарцумян, Сообщ.Бюраканск.обс., 13, 1954.
14. G.Haro, Bol.Inst.Tonantzitla, 2, 3, 1976.
15. Л.В.Мирзоян, Г.Б.Оганян, Вспыхивающие звезды и родственные объекты, АН Армении, Ереван, 1986, с.86.
16. В.А.Амбарцумян, Л.В.Мирзоян, Э.С.Парсамян, О.С.Чавушян, Л.К.Ерастова, Астрофизика, 6, 3, 1970.
17. П.Н.Холопов и др., Общий каталог переменных звезд, Наука, М., 1985–1987.
18. W.H.Warren, J.E.Hesser, Ap.J.Suppl.Ser., 36, 497, 1978.
19. R.Sagar, A.E.Piskunov, V.I.Myakutin, U.C.Joshi, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 220, 383, 1987.
20. К.У.Аллен, Астрофизические величины, Мир, М., 1977.
21. L.Vienot, App.Astrophys., 28, 1008, 1965.
22. K.A.Strand, Astrophys.J., 128, 14, 1958.
23. Л.В.Мирзоян, Г.А.Брутян, Астрофизика, 16, 97, 1980.
24. Л.В.Мирзоян, В.А.Амбарян, Астрофизика, 28, 375, 1988.