

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 1

ИЮНЬ, 1965

ВЫПУСК 2

О ФУНКЦИИ ЦВЕТА МОЛОДЫХ РАССЕЯННЫХ СКОПЛЕНИЙ

О. Б. ДЛУЖНЕВСКАЯ

Поступила 23 января 1965

В развитие работы Ашера [3] рассчитаны эволюционные последовательности теоретических функций цвета для рассеянных скоплений, обладающих возрастом от 0 до 10^8 лет, в предположении: (а) эволюции с постоянной массой и (б) эволюции с потерей массы. Полученные зависимости сравнены с наблюдаемыми функциями цвета для семи молодых рассеянных скоплений в интервале $(B - V)_0$ от 0.30 до 0.0 [5—10]. Несмотря на то, что в общем случае кривые семейства (б) лучше, чем кривые (а), представляют функции цвета скоплений и даже дают возраст скоплений, близкий к существующим оценкам другими методами, согласие между теоретическими и наблюдаемыми функциями цвета нельзя считать удовлетворительным для обоих случаев. Причина несогласия, по-видимому, кроется в неправильности предположения о постоянстве функции звездообразования, на котором базируются обе эволюционные гипотезы.

Изучение функции светимости имеет большое значение для проверки гипотез происхождения звезд и звездной эволюции. Функция светимости $\varphi(M)$ определяется, как

$$dN = \varphi(M) dM,$$

где dN — число звезд в куб. парсеке с абсолютной величиной от M до $M + dM$. Наблюдаемую функцию светимости определяют совместно два фактора:

1) начальное распределение образующихся звезд по массам, светимостям или спектральным классам и 2) последующие изменения светимости за время эволюции звезды. Предполагая, что темп звездообразования оставался постоянным за время существования Галактики и что звезды возникали с одним и тем же распределением по светимостям или спектрам, можно математически получить начальную функцию светимости, т. е. распределение образующихся звезд по светимостям из наблюдаемой функции светимости, приняв какой-либо определенный процесс эволюции звезд. Салпетер [1] в 1955 году по-

лучил зависимость между начальным распределением звезд по абсолютным величинам и современной функцией светимости в предположении, что звезды могут возникать с любыми массами (относительная вероятность рождения звезды с массой, близкой к $\mathfrak{M}$ в данное время — мало изменяемая функция массы и не зависит от времени) и что эволюция звезд происходит без изменения массы. В этих предположениях получена следующая зависимость для звезд главной последовательности:

$$\log \varphi(M_v) = \log \psi(M_v) + 0.4(M_b - M_{L,b}) + \log \frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{M}_L}$$

$$\text{при } M_v < M_{L,v},$$

и

$$\varphi = \psi \quad \text{при } M_v > M_{L,v},$$

где $\varphi(M_v)$ — современная функция светимости, $\psi(M_v)$ — первоначальное распределение звезд по абсолютным визуальным звездным величинам, $\mathfrak{M}$ — масса звезды, M_v — визуальная звездная величина, M_b — болометрическая звездная величина.

Индекс L означает, что характеристики $\mathfrak{M}_{vL}$, M_{vL} , M_{bL} относятся к звезде, находящейся в точке загиба главной последовательности, т. е. к звезде, для которой время жизни на главной последовательности

$$\tau = 1.10 \cdot 10^{10} \frac{L_{\odot}}{L} \frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{M}_{\odot}} \text{ лет.}$$

Аналогичная зависимость была получена Г. М. Идлисом [2] в 1957 г. в предположении, что образующиеся звезды приходят на главную последовательность с достаточно большими светимостями ($M < +1^m5$) и что эволюция звезд происходит с потерей массы через корпускулярное излучение в соответствии с формулой:

$$\frac{d\mathfrak{M}}{dt} = -kL,$$

где $\mathfrak{M}$ — масса звезды, L — ее светимость, k — постоянная.

В этом случае

$$\psi(M) = k 10^{-0.3M} \varphi(M) \left| \frac{d \lg \varphi}{dM} - 0.3 \right|.$$

На рис. 1 показано первоначальное распределение звезд по собственным цветам для двух рассмотренных возможностей (а) — по Салпетеру, (б) — по Идлису. Оба эти расчета базируются, как уже упоминалось, на предположениях о том, что звезды возникают в любом месте Галактики с одним и тем же распределением по абсолют-

ным величинам и что темп звездообразования оставался неизменным за все время существования Галактики. Эти предположения не являются очевидными и путем сравнения теоретических зависимостей с данными наблюдений можно проверить их справедливость.

Наилучшими объектами для подобного изучения являются рассеянные скопления, так как с большой вероятностью можно полагать, что звезды каждого скопления образовались в одинаковых ус-

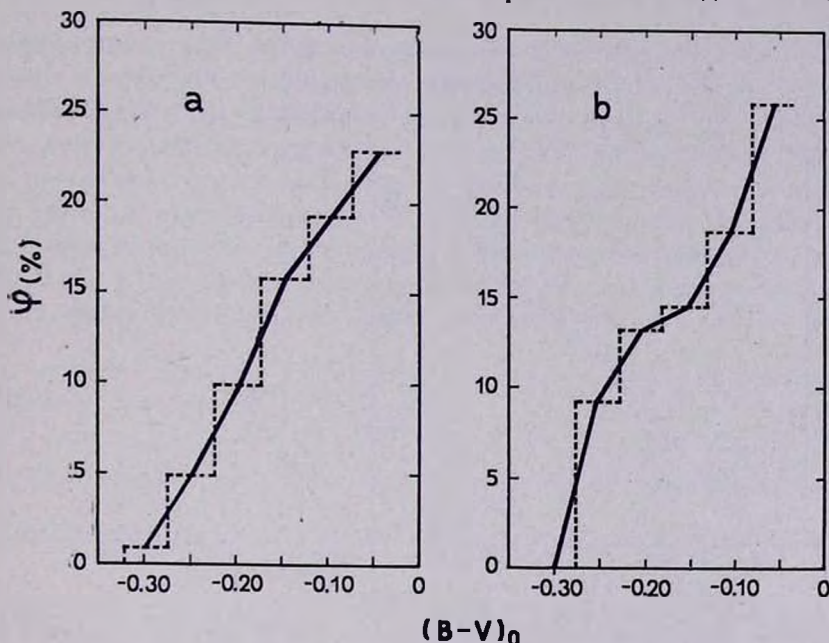


Рис. 1. Начальное распределение звезд по собственным цветам: (а) — по Салпетеру, (б) — по Идлису. Сплошной линией нанесены полигоны, а пунктиром — гистограммы для одних и тех же функций. В дальнейшем для удобства сравнения экспериментальных кривых сразу с несколькими теоретическими кривыми будут приводиться только полигоны.

ловиях, примерно в одно время и, таким образом, в момент образования различаются только массами и светимостями. Для такой группы звезд, принимая начальное распределение одного из указанных видов, можно рассчитать изменение этого распределения со временем, т. е. эволюцию функции светимости.

В 1963 г. Ашер [3] сравнил распределение звезд по спектральным классам в молодых рассеянных скоплениях из неопубликованного каталога Трюмплера с теоретическим распределением, полученным в предположении эволюции с потерей массы. Автор пришел к выводу, что наблюдаемое распределение звезд по спектральным типам в области спектров О—В7 для молодых скоплений удовлетворительно

согласуется с теоретическими кривыми для эволюции с потерей массы, в то время как начальная функция светимости Салпетера предсказывает в этом случае слишком малое количество звезд спектральных классов О-В2. Более определенных выводов сделать не удалось, так как исследованные скопления содержали слишком мало звезд ранних спектральных классов. Проверка выводов работы Ашера на большем материале является одной из поставленных нами задач.

В настоящей работе рассчитана эволюция начальной функции светимости, как в предположении эволюции с постоянной массой (функция Салпетера [1], дополненная Сандейджем [4] в области ранних

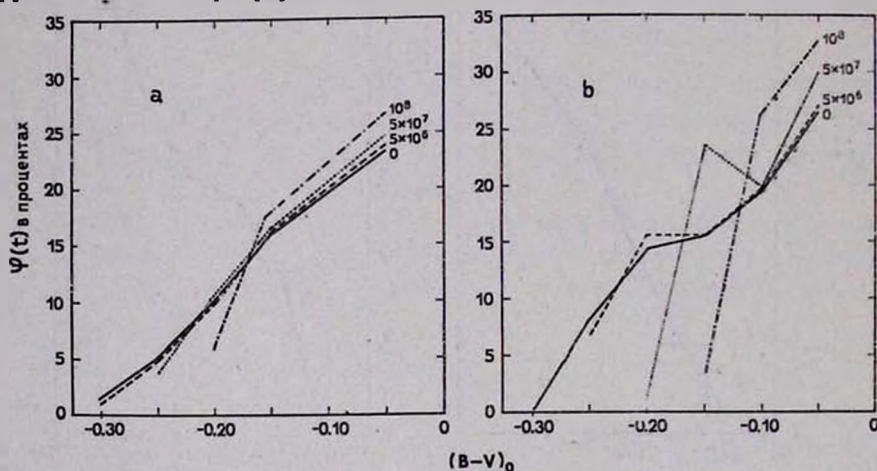


Рис. 2. Функции цвета для $t = 0; 5 \cdot 10^6; 5 \cdot 10^7$ и 10^8 лет: (а) — эволюция с постоянной массой, (б) — эволюция с потерей массы.

спектральных классов), так и в предположении потери массы (по Идлису [2]) для t от 0 до 10^8 лет (от 0 до 10^7 лет с интервалом в миллион лет, а от 10^7 до 10^8 — с интервалом в 10 млн. лет, всего 20 этапов). Допустив, что все звезды какого-либо рассеянного скопления образовались одновременно, мы можем сравнить эти последовательные теоретические функции светимости с наблюдаемой функцией для этого скопления и судить о правильности принятой начальной функции светимости.

Для сравнения с результатами Ашера расчет производился для функции цвета. Использовались только звезды главной последовательности, для которых существует однозначная зависимость между цветом и абсолютной звездной величиной. При построении зависимостей для варианта эволюции с постоянной массой, звезды, для которых $\tau < t$, исключались из рассмотрения (при $t = \tau$ в этом случае

звезды уходят с главной последовательности), в то время как при построении зависимостей для варианта эволюции с потерей массы число звезд оставалось практически постоянным (звезды в этом случае эволюционируют в основном вдоль главной последовательности). Все функции нормировались в интервале от $(B - V)_0 = -0.30$ до $(B - V)_0 = 0$. На рис. 2 приведены функции цвета для $t = 0$; $5 \cdot 10^5$; $5 \cdot 10^7$ и 10^8 лет для эволюции с постоянной массой (а), и для эволюции с потерей массы (б).

Для сравнения с теоретическими кривыми были построены аналогичные функции по данным наблюдений для 7 молодых рассеянных скоплений (табл. 1). Обработке подвергались звезды только самых ранних спектральных классов (до A0), так как время жизни горячих звезд на главной последовательности значительно короче, чем звезд более поздних спектральных типов, и, следовательно, эта подгруппа звезд легче позволяет проверять различные предположения о звездобразовании и эволюции. Существенно также, что данные наблюдений для ярких звезд гораздо более надежны, чем для слабых звезд.

Таблица 1

Название	А в т о р	Ранний S_p	Количество звезд до A0	Членство	Исчерпанность до M_V
NGC 3114	Янкович, Мак Кох [5]	O5	117	По главной последовательности	3 ^м 2
NGC 2264	Уокер [6]	O6	39	Члены определяются очень уверенно по главной последовательности	7.8
NGC 6087	Ландольт [7]	B1	54	Для 18 наиболее ярких звезд есть радиальные скорости [11], остальные выявлены статистическими методами	4.9
IC 4725 (M 25)	Ландольт [7]	B1	127	Для 35 наиболее ярких звезд радиальные скорости [11], остальные выявлены статистическими методами	5.0
IC 2602	Уайтоук [8]	B1	19	Для 18 есть собственные движения [12]	2.0
NGC 1039 (M 34)	Джонсон [9]	B7	22	Для всех звезд есть собственные движения [13]	4.1
Плеяды	Джонсон, Митчелл [10]	B7	24	Для всех звезд есть собственные движения [14]	10.0

а это позволяет получить уверенность в полноте используемого материала. Кроме того, звезды ранних спектральных классов присутствуют в начальной функции цвета в обоих рассматриваемых вариантах. Для обработки брались только звезды, принадлежащие главной последовательности. На рис. 3 и 4 приведены диаграммы Герцшпрун-

ига—Рассела для Плеяд и NGC 3114. Кружками нанесены звезды, отошедшие от главной последовательности и не включенные в обра-

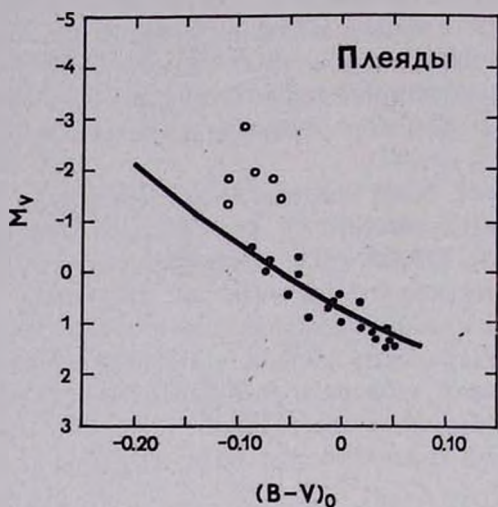


Рис. 3.

ботку. Главная последовательность нанесена по данным И. М. Копылова [21] для звезд ранних спектральных классов. Все звезды скоп-

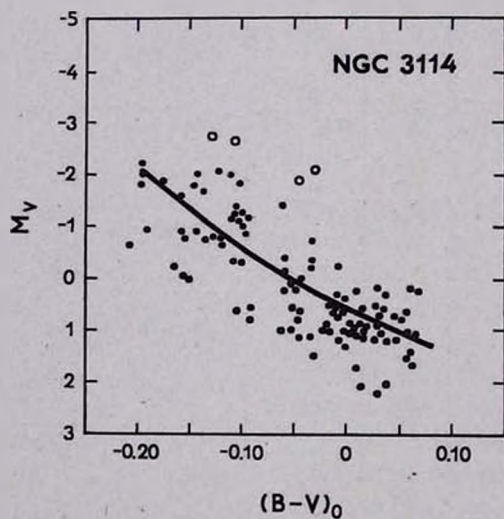


Рис. 4.

ления, имеющие собственные цвета $(B-V)_0 < 0$, были разбиты на группы с интервалом в $(B-V)_0$, равным 0.05, и центрами интерва-

лов $-0.30, -0.25, -0.20, -0.15, -0.10, -0.05$. Для исключения случайных ошибок значение количества звезд для данного интервала принималось равным среднему арифметическому значению на интервале 0.15 . Полученные таким образом зависимости нормировались в интервале $(B - V)_0$ от -0.30 до 0 и сравнивались с теоретическими функциями цвета.

Из-за малого количества ярких звезд для большинства скоплений оказалось неправомерным применять методы математической статистики, поэтому оценка согласия по критерию Пирсона была получена для двух наиболее богатых яркими звездами рассеянных скоплений IC 4725 (M 25) и NGC 3114. Функции цвета для обоих скоплений хорошо согласуются со всеми кривыми Салпетера (значения χ^2 лежат в области допустимых значений при уровне значимости $q = 50\%$) и оценить хотя бы приблизительно возраст этих скоплений такими сравнениями не удастся. Из совокупности кривых, построенных в предположении корпускулярного излучения, наилучшим образом согласуется с функцией цвета скопления IC 4725 (M 25) кривая для $t = 8 \cdot 10^6$ лет ($\chi^2 < \chi_q^2$ при $q = 20\%$); с кривой для $t = 9 \cdot 10^6$ лет расхождения уже существенны ($\chi = \chi_q^2$ для $q < 5\%$). Сравнение кривой для IC 4725 (M 25) с кривыми $t = 6 \cdot 10^6, 4 \cdot 10^6, 2 \cdot 10^6$ и 0 показывает увеличивающиеся расхождения, однако во всех случаях их можно считать случайными. Для функции цвета скопления NGC 3114 наилучшее согласие получилось с кривой для $t = 6 \cdot 10^6$ лет ($\chi < \chi_q^2$ при $q = 30\%$) (рис. 5). Расхождения становятся существенными для $t = 9 \cdot 10^6$ и $4 \cdot 10^6$ лет. Полученная оценка возраста не согласуется с возрастом, определенным Янковичем и Кохом [5] методами Джонсона и Сандейджа ($2 \cdot 10^8$ и $8 \cdot 10^7$ лет). Сравнение с соответствующими кривыми показывает существенные расхождения (рис. 5). Функции цвета остальных скоплений или хорошо согласуются практически со всеми кривыми Салпетера или, наоборот, не согласуются ни с одной из этих кривых. Оценка возраста скоплений, полученная по наилучшему совпадению с кривыми Идлеса, дает значение, в большинстве случаев хорошо согласующееся с возрастом скопления, определенного другими методами. Этот результат некоторым образом подтверждает выводы Ашера.

На рис. 6 показана функция цвета скопления IC 2602 (сплошная линия). На рис. 6а приведены функции цвета для $t = 0; 5 \cdot 10^7; 10^8$ лет в предположении эволюции с постоянной массой, на рис. 6б — аналогичные функции для $t = 4 \cdot 10^8; 6 \cdot 10^8; 8 \cdot 10^8$ для эволюции с потерей массы. Для этого скопления наилучшее согласие получается с кривой для $t = 6 \cdot 10^8$ (эволюция с потерей массы), для всех остальных

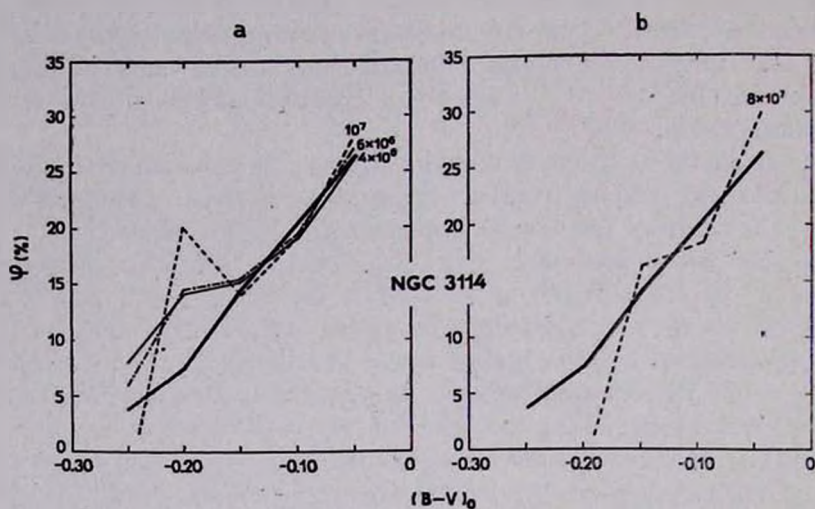


Рис. 5. Функция цвета скопления NGC 3114: наблюдаемая (сплошная линия) и для различных значений t в предположении эволюции с потерей массы.

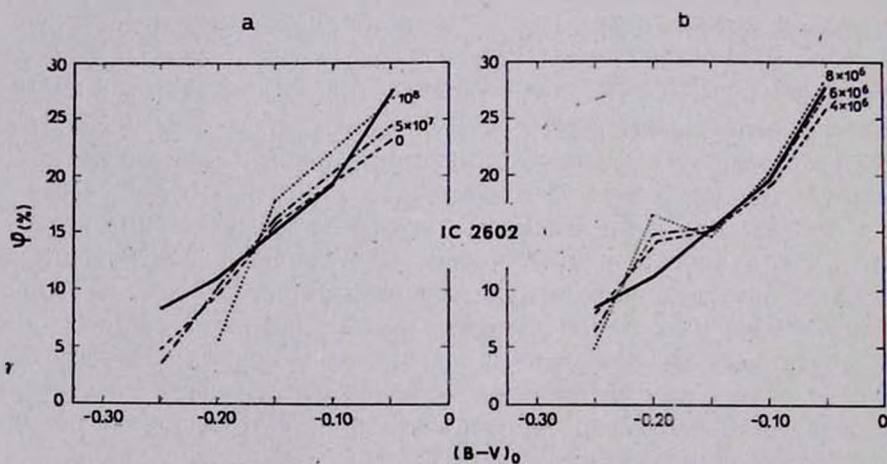


Рис. 6. Функция цвета скопления IC 2602: наблюдаемая (сплошная линия) и кривые а — для эволюции с постоянной массой, б — в предположении эволюции с потерей массы.

кривых (как в предположении постоянной, так и переменной массы) согласие получается неудовлетворительным. Возраст этого скопления, оцененный Уайтоуком [8], равен 10^7 лет (по возрасту самой яркой звезды $1.2 \cdot 10^7$, по точке загиба главной последовательности $8 \cdot 10^6$). Бресом $15 \cdot 10^6$ лет (по возрасту самой яркой звезды), а Маркаряном из динамических соображений $3 \cdot 10^5$ лет. Для всех исследуемых скоплений в табл. 2 приводятся: 1) значения возраста, полученные различными авторами; 2) оценка возраста, полученная путем сравнения

Таблица 2

Название	Возраст скопления по оценкам различных авторов		Возраст скопления по наилучшему согласию с кривыми для эволюции с потерей массы
NGC 3114	$6 \cdot 10^7$ лет $2 \cdot 10^8$	Янкович, М. Кох [5] .	$6 \cdot 10^8$ лет
NGC 2264	$0.5 \cdot 10^8$ $3 \cdot 10^8$	Пенстон [15] Уокер [6]	$0 - 1 \cdot 10^8$
NGC 6087	$2 \cdot 10^7$	Ландольт [7]	$3 \cdot 10^7$
IC 4725 (M 25)			$8 \cdot 10^8$
IC 2602	$15 \cdot 10^6$ 10^7 $3 \cdot 10^8$	Брес [16] Уайтоук [8] Маркарян [17]	$6 \cdot 10^8$
NGC 1039 (M 34)	$1.1 \cdot 10^8$	Хернер [18]	$8 \cdot 10^7$
Плеяды	10^7 $8 \cdot 10^7$ $1.1 \cdot 10^8$	Масевич [19] Хернер [18] Ломан [20]	$9 \cdot 10^7$

с кривыми для эволюции с потерей массы. Следует отметить, что вторичный максимум, который присутствует у всех теоретических кривых, построенных в согласии с работой Идлиса, у большинства наблюдательных кривых при осреднении сглаживается, однако присутствует у некоторых неосредненных кривых (рис. 7). Если произвести осреднение теоретической кривой на том же интервале 0.15, вторичный максимум тоже сглаживается.

Как указывалось выше, для различных скоплений согласие с теоретическими кривыми получилось различным и, по-видимому, тем хуже, чем больше возраст скопления (рис. 8).

Результаты работы позволяют сделать вывод, что предположение о постоянстве функции звездообразования, на котором базируется

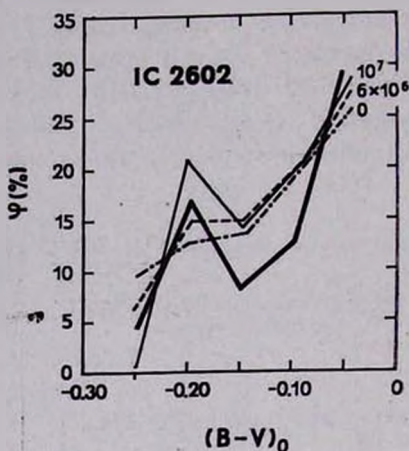


Рис. 7. Неосредненная функция цвета для скопления IC 2602 — (жирная сплошная линия) и кривые для эволюции с потерей массы.

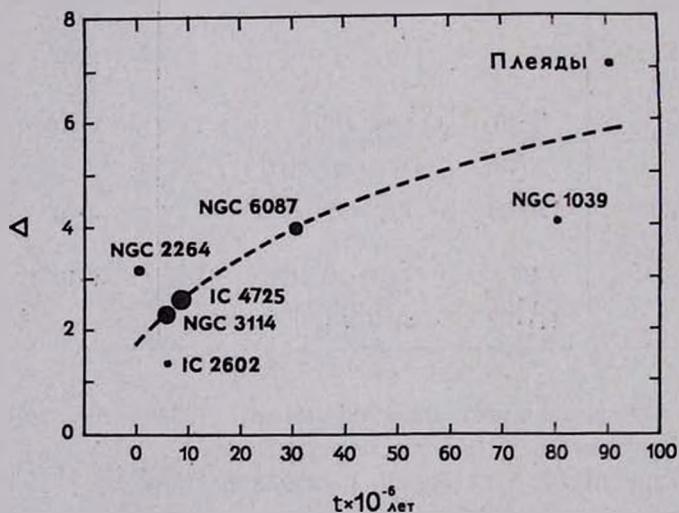


Рис. 8. Намечающееся увеличение разногласия между данными наблюдений и теоретическими кривыми со временем. Величина Δ пропорциональна сумме модулей отклонений, деленных на интервал сравнения.

расчет обеих эволюционных последовательностей функций цвета недостаточно точно и при подобных расчетах необходимо учитывать изменение самой функции звездообразования со временем. Возможно, некоторое указание на характер этого изменения даст исследование

индивидуальных особенностей функций светимости скоплений различного возраста.

В заключение приношу благодарность А. Г. Масевич за руководство работой и сотрудникам кафедры звездной астрономии ГАИШ за обсуждение и ценные замечания.

Государственный астрономический
институт им. Штернберга

ON THE COLOUR-FUNCTION OF THE YOUNG GALACTIC CLUSTERS

O. B. DLUINEVSKAJA

As a development of P. Usher's paper [3] two evolutionary sequences of theoretical $(B - V)_0$ distribution functions ($0 < t < 10^8$ years) were calculated for evolution of the stars with constant mass (a) and evolution with mass loss (b). These predicted distribution functions were compared with the observed distribution of main-sequence stars in seven young galactic clusters (for $-0.30 < (B - V)_0 < 0.0$ [5—10]). Although the theoretical curves in case (b) agree in general better than in case (a) with the observed distribution functions and even allow to estimate the age of the clusters in accordance with results obtained by different methods, the coincidence between the predicted and observed distributions cannot be considered sufficient in both cases. This disagreement possibly is caused by the assumption of time-independent birth luminosity function of stars on which both evolutionary hypotheses are based.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. E. E. Salpeter, Ap. J., 121, 161, 1955.
2. Г. М. Идлус, Астрон. ж., 34, 755, 1957.
3. P. D. Usher, Observatory, 83, 184, 1963.
4. A. R. Sandage, Ap. J., 125, 422, 1957.
5. N. E. Jankowitz, C. J. Mc. Cosh., MN of South Africa, 22, 1, 1963.
6. M. L. Walker, Ap. J., Suppl. Ser. 23, 1956.
7. A. U. Landolt, Ap. J., Suppl. Ser. 82, 1964.
8. J. B. Whiteoak, MN 123, 3, 1961.
9. H. L. Johnson, Ap. J. 119, 185, 1954.
10. H. L. Johnson, R. I. Mitchell, Ap. J., 128, 31, 1958.
11. M. W. Feast, M. N., 117, 193, 1957.
12. B. Boss, General Catalogue, 3, 1936.

13. *H. Bruggemann*, Astr. Abh. der Hamburger—Bergedorf Sternwarte, v. 4, n. 7, 1935.
14. *R. J. Trumpler*, LOB, 10, № 333, 1922.
15. *M. V. Penston*, Observatory, 84, 141, 1964.
16. *L. L. E. Braes*, MN of South Africa, 20, 7, 1961.
17. *Б. Е. Маркарян*, Сообщ. Бюро. обс., 11, 1953.
18. *S. Hoerner*, Z. f. Astrophys., 42, 273, 1957.
19. *А. Г. Масевич*, Астрон. ж., 32, 412, 1955.
20. *W. Z. Lohmann*, Z. f. Astrophys., 42, 114, 1957.
21. *И. М. Копылов*, Изв. КРАО, 20, 156, 1958.