

ЭФФЕКТ ПРИЛИВНОЙ ЭВОЛЮЦИИ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ВОЗРАСТОВ ЗАТМЕННО- ПЕРЕМЕННЫХ ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ ТИПА РГП

Г.Н.ДРЕМОВА, М.А.СВЕЧНИКОВ

Поступила 26 декабря 2006

Принята к печати 16 февраля 2007

Впервые построенные для изучения тесных двойных систем (ТДС) новые эволюционные модели-треки Кларэ, включающие константы приливной эволюции, используются в задаче определения возраста методом изохрон для 112 затменно-переменных звезд на каталога Свечникова, Перевозкиной. Представляет интерес проведение сравнений вычисленных возрастов с предыдущими оценками, полученными для этих же ТДС на основе эволюционных моделей-треков одиночных звезд с учетом потери их массы. Отмечается эффект согласованности возрастов главного и вторичного компонентов, наиболее выраженный у массивных ТДС с массой главного компонента $M_1 \geq 3 M_{\odot}$. Также имеет место эффект омоложения исследуемых систем, рассчитанных на новых треках, который заметнее всего выражен для маломассивных ТДС с суммарной массой компонентов $M_1 + M_2 \leq 3.5 M_{\odot}$, что теоретически предсказывается в рамках формализма магнитного торможения. Рассчитанная широкодиапазонная сетка изохрон - от начальной Главной последовательности (НП) до возраста Галактики - может быть использована для оценок возрастов ТДС из других каталогов. Приводятся возрасты 112 затменно-переменных ТДС с разделенными компонентами, лежащих в пределах Главной последовательности.

Ключевые слова: *звезды: двойные: затменные*

1. Введение. Задача определения возрастов ТДС с разделенными компонентами имеет ряд важных аспектов, проявляющихся, во-первых, в вопросе тестирования теоретических звездных эволюционных моделей на предмет начального химического состава, нуклеосинтеза и химической эволюции Галактики. В особенности это касается неизолированных ТДС, принадлежащих к известным скоплениям звезд. Во-вторых, решение этой задачи дает возможность изучать в зависимости от определяющих эволюционных параметров начальные распределения ТДС, по которым можно восстанавливать начальную функцию масс (НФМ) - функцию звездообразования непроэволюционировавших тесных двойных систем. В-третьих, по соотношению временных шкал (возрастов) и статистики ТДС можно строить эволюционные цепочки, объединяющие ТДС на разных стадиях их эволюции и сформулировать условия эволюционных переходов одного класса систем в другие, что способствует восстановлению целостной эволюционной картины одного и того же класса ТДС.

Один из способов решения поставленной задачи состоит в построении

изохроны, методика расчета которой имеет универсальный характер и может быть применена к произвольным теоретическим моделям, ее подробное описание можно найти в [1,2]. Напомним лишь, что используемый здесь метод определения возраста звезды основан на принципе трансформации всей исходной сетки треков, предварительно монотонизированных и описанных набором интерполяционных функций в соответствии с идеей оптимальной интерполяции, в сетку изохрон для широкого интервала возрастов, меняющихся от НГП до 14 млрд лет с произвольно малым шагом по времени.

До сих пор в качестве оригинальных эволюционных треков использовались теоретические модели одиночных звезд с учетом процесса конвективного проникновения (overshooting) и потери массы одиночной звездой. Полагая, что ТДС с разделенными компонентами в некоторой степени можно уподобить двум одиночным звездам, и также учитывая, что исследуемые ТДС локализованы в окрестности Солнца, выбор треков ограничивался химическим составом звезд Населения I, близким к солнечному химическому составу - $(X, Y, Z) = 0.70, 0.28, 0.02$. В качестве примеров использования подобных треков можно привести модели Мадера, Мэйнета [3] и Кларэ, Гименеца [4].

На первый взгляд такая постановка выглядела вполне правомерной, поскольку объекты, для которых определялись возрасты, представляют собой класс РГП-систем, обозначающий ТДС с разделенными не взаимодействующими компонентами, принадлежащими Главной последовательности в соответствии с классификацией Свечникова и др. [5]. Однако многоаспектный анализ оцененных возрастов РГП-систем из каталога [6], включая фактор корректности учета конвективного проникновения, влияние точности определения начальных данных звезд, учет устойчивости собственно метода изохрон для оценки возраста, а также несимметричность метода изохрон относительно НГП и наличие узкой вычислительной диаграммы в «хвостовой» зоне сетки изохрон, позволил выявить систематические ошибки. Так например, было замечено, что для ТДС с главным компонентом, масса которого больше $\approx 2M_{\odot}$, характерно сходство результатов оценки возрастов двух компонентов, тогда как для ТДС с массой спутника $< 1.5M_{\odot}$ наблюдается систематическое завышение возрастов спутников по сравнению с возрастaми главных компонентов. Данный предел по массе является очень важным для понимания эволюции маломассивных ТДС [7], что заслуживает выделить его отдельным серьезным фактором накопления ошибки при определении возраста по трекам. Соотношение длительности ядерной шкалы звезды-компонента в ТДС и динамической шкалы приливного взаимодействия компонентов повышает роль приливного эффекта в эволюции маломассивных ТДС с суммарной

массой компонентов $M_1 + M_2 \leq 3.5 M_\odot$. Кроме того, эволюция такой маломассивной ТДС протекает с потерей орбитального углового момента и полной массы из-за магнитного звездного ветра [8], что приводит к сближению компонентов, и, следовательно, к усилению их приливного взаимодействия. Это доказывает необходимость учета в эволюционных треках приливных эффектов.

Надо сказать, что благодаря многолетним рядам наблюдений, систематические исследования спектроскопических ТДС (с двумя линиями в спектре, SB2) и одновременно являющихся затменно-переменными объектами, позволили уточнить модели звезд, дополнив их новым набором констант внутреннего звездного строения, ответственных за учет приливной эволюции компонентов ТДС. За последние три десятилетия были накоплены и обработаны наблюдательные данные о вековых изменениях в положении периастрия в ТДС, связанных с искажениями формы обоих компонентов ввиду их приливного взаимодействия. Эти искажения формы могут быть учтены в распределении массы компонентов по радиусу, а значит и количественно учтены в эволюционных теоретических моделях. Общий механизм приливного торможения в ТДС запускается механической деформацией поверхностных слоев одного из компонентов под действием переменной возмущающей гравитационной силы со стороны спутника. В дополнение к этому необходим учет либо турбулентной диссипации, играющей первостепенную роль в конвективных оболочках маломассивных звезд ($M_1 \leq 1.5 M_\odot$), либо радиационного дэмпинга (лучистого затухания), который доминирует в более массивных звездах с лучистыми оболочками. Доступные в моделях Кларэ [9] константы внутренней структуры, а также константы тормозных моментов, отвечающие за перечисленные механизмы приливного торможения, позволяют исследовать апсидальное движение и приливную эволюцию компонентов ТДС, химический состав которых близок к типичному составу населения диска. Поэтому представляет огромный интерес проверить новые треки на предмет построения изохрон для 112 ТДС с известными фотометрическими и спектроскопическими элементами орбит из "Каталога орбитальных элементов, масс и светимостей затменных переменных типа РГП" Свечникова, Перевозкиной, [6]. А также выполнить сравнение новых оценок возраста с ранее выполненными расчетами для этих же систем, но основанных на использовании сетки эволюционных теоретических моделей одиночных звезд Мадера, Мэйнета [3], что и составляет предмет изучения данной работы.

2. Начальные данные. Учитывая высокие современные точности спектроскопических решений, достигающие 1% в определении массы и радиуса для затменно-переменных систем SB2-типа, метод изохрон был применен в диаграмме "масса-радиус", и соответственно представление

эволюционных звездных моделей-треков Кларэ [9] было выбрано в этом же формате. В табл.1 приведены обозначения исследуемых ТДС из каталога [6] в латинском алфавитном порядке (первый столбец), массы и ошибки в их определении для главного и вторичного компонентов (второй столбец), а также абсолютные радиусы компонентов и их ошибки (третий столбец).

Таблица 1

ДАННЫЕ ПО МАССАМ И РАДИУСАМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТОВ (M_1 , R_1) И ИХ СПУТНИКОВ (M_2 , R_2), ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ ТДС ТИПА РГП ИЗ КАТАЛОГА СВЕЧНИКОВА, ПЕРЕВОЗКИНОЙ [6] И СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНОК ИХ ВОЗРАСТОВ (t_1 , t_2), ПОЛУЧЕННЫХ В $M-R$ ДИАГРАММЕ МЕТОДОМ ИЗОХРОН, ПОСТРОЕННЫХ В ДАННОЙ РАБОТЕ ПО ТРЕКАМ КЛАРЭ [9] С УЧЕТОМ ПРИЛИВНОЙ ЭВОЛЮЦИИ КОМПОНЕНТОВ В ТДС, И ВОЗРАСТОВ, РАССЧИТАННЫХ ПО ТРЕКАМ ОДИНОЧНЫХ ЗВЕЗД МАДЕРА, МЕЙНЕТА [3].

ЗНАЧОК ":" ОБОЗНАЧАЕТ НЕНАДЕЖНО ОПРЕДЕЛЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЛИБО НАЧАЛЬНЫХ ДАННЫХ, ЛИБО ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ (ВОЗРАСТОВ)

Обозначение	Масса, $M_{\odot}$ M_1 M_2	Радиус, $R_{\odot}$ R_1 R_2	t_1 t_2 метод изохрон Кларэ [9]	t_1 t_2 метод изохрон Мадер, Мейнет [3]
1	2	3	4	5
1 AN And	1.90±0.05 1.12±0.03	4.00±0.10 3.45±0.09	1370±83 8360±880	2103±408 9400±250
2 BW Aqr	1.49±0.02 1.39±0.02	2.07±0.03 1.79±0.03	2290±126 2650±152	4830±180 5730±136
3 V805 Aql	2.12±0.04 1.63±0.03	2.18±0.04 1.68±0.03	500±16 668±2.5	839±46 1750±490
4 σ Aql	6.80±0.17 5.40±0.14	4.20±0.11 3.30±0.08	26.9±1.74 29.6±0.69	28.7±0.39 36.6±0.56
5 V539 Ara	6.25±0.09 5.33±0.08	4.41±0.07 3.72±0.06	39.1±0.83 47.4±1.14	39.1±0.51 51.7±0.67
6 WW Aur	1.99±0.03 1.80±0.03	1.89±0.03 1.88±0.03	390±3 670±18	896±32 1690±228
7 AR Aur	2.48±0.04 2.29±0.04	1.78±0.03 1.82±0.03	до НГП 84.7±9.1	36.3±3.87 169±25.6:
8 EO Aur	11.0±0.35 7.00±0.22	7.40±0.23 7.05±0.22	15.6±0.67 42.9±2.84	16.5±0.62 45.1±1.69
9 HS Aur	0.90±0.01 0.88±0.01	1.01±0.02 0.88±0.01	13020±230 9070±390	8750±1625: 8750±238
10 β Aur	2.38±0.04 2.30±0.04	2.77±0.04 2.63±0.04	490±20 515±20	689±20 747±18.6
11 ZZ Boo	1.71±0.03 1.70±0.03	2.26±0.04 2.15±0.04	1300±60 1230±56	2741±146 2710±152
12 AD Boo	1.36±0.02 1.16±0.02	1.62±0.03 1.27±0.02	2360±138 3790±366	5180±78.9 4640±77.8

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4		5	
13 SZ Cam	16.6±0.30 11.8±0.21	9.83±0.18 5.85±0.11	8.46±0.16	9.55±0.1	8.21±0.06	10.3±0.09
14 TU Cam	5.60±0.18 2.00±0.06	5.53±0.17 1.76±0.06	65.4±4.3	224±29	64.6±1.44	231±130:
15 AN Cam	1.40±0.04 1.40±0.04	2.30±0.06 1.70±0.04	3410±370	2200±313	6940±513	5060±164
16 AS Cam	3.30±0.07 2.50±0.06	2.55±0.06 1.95±0.04	104±0.8	101±2.7	153±12.5	186±8.26
17 CW CMa	2.09±0.03 1.98±0.03	1.89±0.03 1.79±0.03	290±2	290±7	620±7.5	595±12.9
18 GZ CMa	2.21±0.03 2.01±0.03	2.49±0.04 2.13±0.03	550±14	600±18	872±26.6	1230±38.2
19 EM Car	22.3±0.33 20.3±0.3	9.22±0.14 8.23±0.12	4.65±0.045	4.66±0.038	4.83±0.08	4.97±0.01
20 QX Car	9.27±0.15 8.48±0.13	4.29±0.07 4.05±0.06	7.50±0.16	8.40±0.16	9.03±0.01	10.8±0.17
21 YZ Cas	2.32±0.03 1.35±0.02	2.54±0.04 1.35±0.02	475±10	595±84	695±23.6	1760±455
22 CC Cas	18.3±0.37 7.60±0.15	10.1±0.20 4.00±0.08	7.24±0.14	13.9±0.16	7.18±0.04	17.4±0.41
23 AR Cas	7.90±0.20 2.20±0.06	5.43±0.14 1.77±0.04	25.7±0.87	82.8±11.8	27.4±0.75	154±44.2:
24 PV Cas	2.81±0.05 2.76±0.05	2.30±0.04 2.255±0.04	153±2.2	153±2.6	240±6.8	248±6.84
25 V649 Cas	8.74±0.17 3.07±0.06	3.46±0.07 3.56±0.07	до НГП	275±12	314±10.5:	314±10.5
26 SZ Cen	2.32±0.04 2.28±0.04	4.56±0.07 3.63±0.06	760±21	720±35	934±23.1	974±25.2
27 V346 Cen	11.8±0.24 8.40±0.17	8.27±0.16 4.19±0.08	14.2±0.68	11.0±0.18	15.4±0.19	13.6±0.53
28 WX Cep	2.54±0.04 2.33±0.04	4.00±0.07 2.71±0.04	540±21	515±21	698±8.2	733±20.4
29 ZZ Cep	4.10±0.11 1.90±0.05	3.20±0.08 2.50±0.06	92.0±4.85	980±66	106±2	1832±336
30 AH Cep	17.7±0.34 15.6±0.30	6.41±0.12 6.00±0.11	3.28±0.04	4.20±0.014	3.56±0.21	4.27±0.49
31 CW Cep	12.8±0.20 11.7±0.18	5.61±0.09 5.11±0.08	6.47±0.045	6.45±0.045	7.2±0.02	7.15±0.01
32 EI Cep	1.79±0.04 1.69±0.03	2.85±0.06 2.59±0.05	1420±94	1650±102	2550±89	3110±124
33 EK Cep	2.03±0.04 1.13±0.02	1.60±0.03 1.33±0.02	до НГП	5750±506	до ГП±1.5	6380±104
34 NY Cep	12.9±0.33 9.40±0.24	6.86±0.18 5.70±0.15	10.5±0.33	17.1±0.6	10.5±0.19	16.8±0.4
35 TV Cet	1.39±0.02 1.27±0.02	1.49±0.02 1.28±0.02	1260±101	1180±146	2260±18.6	1005±48.4
36 XY Cet	1.76±0.03 1.64±0.03	2.13±0.04 1.75±0.03	1040±31	820±20	2300±73.1	2010±23.2
37 RS Cha	1.86±0.03 1.82±0.03	2.14±0.03 2.34±0.04	835±31	1060±41	1790±190	2110±66.9

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4		5	
38 RZ Cha	1.52±0.02 1.51±0.02	2.27±0.03 2.27±0.04	2390±128	2480±120	4700±259	4850±181
39 TY CrA	3.18±0.14 1.64±0.07	1.90±0.08 1.90±0.09	до НГП	1090±95	2520±96.4: 2520±96.4	
40 α CrB	2.58±0.07 0.92±0.02	3.00±0.08 0.90±0.02	415±25	6810±524	546±18.5	6570±468:
41 Y Cyg	17.0±0.29 16.4±0.28	5.91±0.10 5.91±0.10	2.25±0.075	2.70±0.08	2.59±0.2	3.1±0.24
42 MR Cyg	4.50±0.09 2.50±0.05	4.07±0.08 3.17±0.06	95.0±3.75	490±23	104±1.13	630±15.9
43 MY Cyg	1.81±0.03 1.78±0.03	2.21±0.03 2.17±0.03	1000±40	1020±40	2060±68.1	2180±64.2
44 V380 Cyg	10.6±0.27 6.8±0.18	16.0±0.41 4.04±0.10	20.3±0.92	23.5±1.24	21.3±0.54	25.8±0.28
45 V442 Cyg	1.56±0.02 1.41±0.02	2.07±0.03 1.66±0.02	1755±77	1925±134	3800±129	4570±95.1
46 V453 Cyg	13.9±0.22 10.7±0.17	8.78±0.14 5.30±0.08	11.0±0.19	10.2±0.18	11.1±0.14	11.2±0.37
47 V477 Cyg	1.79±0.03 1.35±0.02	1.56±0.03 1.27±0.02	до НГП	до НГП	170±165:	170±165:
48 V478 Cyg	16.6±0.30 16.3±0.29	7.59±0.14 7.59±0.14	6.33±0.07	6.62±0.10	6.47±0.25	6.72±0.13
49 V1143 Cyg	1.35±0.02 1.32±0.02	1.35±0.02 1.324±0.02	550±48	790±134	830±84.8	855±14.5
50 V1765 Cyg	23.7±1.06 11.8±0.53	20.9±0.93 5.80±0.26	6.4±0.3	9.4±0.3	6.64±0.41	10.1±0.19
51 UZ Dra	1.34±0.02 1.23±0.02	1.31±0.02 1.14±0.02	285±72	до НГП	1190±209	1190±209:
52 BH Dra	2.10±0.05 1.05±0.03	1.92±0.05 1.37±0.04	310±1	8850±1100	680±26.3	8680±303:
53 BS Dra	1.36±0.02 1.36±0.02	1.44±0.02 1.42±0.02	1270±120	1100±108	1950±11.5	1740±29.6
54 CM Dra	0.23±0.004 0.21±0.003	0.25±0.004 0.24±0.004	-	-	-	-
55 DE Dra	3.05±0.14 1.08±0.05	2.93±0.13 1.11±0.05	220±20	4320±1275	273±19.8	4110±311:
56 CW Eri	1.59±0.03 1.33±0.03	2.08±0.04 1.56±0.03	1590±98	2510±322	3560±143	5150±68.6
57 YY Gem	0.59±0.01 0.59±0.01	0.60±0.01 0.60±0.01	-	-	-	-
58 RX Her	2.75±0.05 2.33±0.04	2.46±0.04 2.05±0.03	220±7	245±4.5	332±14	470±20.1
59 TX Her	1.62±0.03 1.45±0.03	1.59±0.03 1.47±0.03	400±39	510±33	1244±222	2105±452
60 DI Her	5.16±0.10 4.53±0.09	2.72±0.05 2.47±0.05	0.61±1.37	до НГП	11±0.42	9.78±0.67
61 HS Her	4.7±0.12 1.60±0.04	2.70±0.07 1.52±0.04	11.3±2.22	126±126	24.8±0.52	343±276:
62 V624 Her	2.27±0.04 1.87±0.03	3.03±0.05 2.21±0.04	645±29	870±27	865±26.5	1717±144

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5
63 V819 Her	1.53±0.07 1.11±0.05	1.87±0.08 1.28±0.10	1560±278 5640±830	3770±154 6120±1655
64 V822 Her	3.28±0.06 3.28±0.06	2.74±0.05 2.61±0.05	140±2.7 120±2.6	183±12.3 167±13.3
65 VZ Hya	1.23±0.02 1.12±0.02	1.36±0.02 1.14±0.02	2930±256 3150±416	4350±56.6 3340±93.1
66 AI Hya	2.15±0.03 1.98±0.03	3.92±0.06 2.77±0.04	940±23 946±37	1325±41.7 1581±50.2
67 HS Hya	1.34±0.02 1.29±0.02	1.30±0.02 1.28±0.02	150±75 790±122	944±225 1120±238
68 KW Hya	1.98±0.03 1.49±0.03	2.13±0.04 1.48±0.03	630±12 285±31	1320±41.2 896±19
69 χ^2 Hya	3.62±0.06 2.64±0.04	4.37±0.07 2.15±0.03	190±10 153±1.3	199±5.16 273±8.29
70 CM Lac	1.88±0.03 1.47±0.02	1.52±0.03 1.46±0.02	до НГП 271±7	1840±465: 1840±465
71 CO Lac	4.50±0.09 3.70±0.07	2.80±0.06 2.38±0.05	28.9±1.6 22.8±3.8	45.4±0.15 47.6±0.78
72 EN Lac	9.70±0.31 1.25±0.04	6.30±0.20 1.20±0.04	17.5±0.91 416±223	18.7±0.95 5.26±23.1:
73 TX Leo	2.75±0.12 1.05±0.05	3.49±0.16 2.10±0.09	390±41 10500±1960	476±22.2 10500±513
74 GG Lup	4.12±0.06 2.51±0.04	2.38±0.04 1.73±0.03	до НГП до НГП	17±0.64 17±0.64:
75 RR Lyn	1.89±0.04 1.50±0.03	2.48±0.05 1.86±0.04	995 ±52 1740±133	1860±168 4080±112
76 FL Lyr	1.22±0.02 0.96±0.02	1.28±0.02 0.96±0.02	2275±220 6730±572	2960±133 5950±246
77 V478 Lyr	0.93±0.02 0.25±0.01	0.99±0.03 0.30±0.008	10050±540 -	8700±330 8700±330:
78 TZ Men	2.49±0.04 1.50±0.02	2.02±0.03 1.43±0.02	146.7±0.4 до НГП	276±4 1254±364:
79 UX Men	1.24±0.02 1.20±0.02	1.35±0.02 1.28±0.02	2610±228 2765±274	3890±84.9 3690±82.7
80 RU Mon	3.60±0.06 3.33±0.06	2.55±0.05 2.29±0.04	64.0±2.2 41.6±1.7	92.8±0.5 77.9±0.38
81 AO Mon	5.55±0.11 5.25±0.10	3.53±0.07 3.29±0.07	35.8±0.94 34.4±0.64	39.6±0.64 41±0.48
82 IM Mon	8.40:±0.26 5.60:±0.18	3.80±0.12 2.70±0.09	4.60±0.71 до НГП	7.07±0.11 2.31±0.5:
83 U Oph	4.90±0.08 4.55±0.07	3.34±0.05 2.99±0.05	52.6±1.2 45.8±2.2	58.4±0.85 58.6±0.49
84 WZ Oph	1.13±0.02 1.11±0.02	1.31±0.02 1.34±0.02	5230±500 6190±560	5980±102 6880±139
85 V451 Oph	2.78±0.04 2.36±0.04	2.64±0.04 2.02±0.03	255±5 207±2.5	355±15.6 400±7.88
86 VV Ori	10.8±0.19 4.50±0.08	5.03±0.09 2.45±0.04	8.52±0.19 до НГП	9.14±0.02 8.96±0.62
87 EW Ori	1.19±0.02 1.16±0.02	1.14±0.02 1.09±0.02	810±158 770±182	61.3±56.2: 61.3±56.2:

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4		5	
88 V1031 Ori	2.47±0.04 2.29±0.04	4.32±0.07 2.98±0.05	630±24	615±25	762±22	847±26.2
89 δ Ori	23.0±1.03 9.00±0.40	17.0±0.76 10.0±0.45	6.4±0.2	27.2±2.3	6.51±0.21	28.9±0.94
90 η Ori	13.9±0.44 11.9±0.38	7.00±0.22 5.20±0.16	9.0±0.32	6.5±0.02	8.83±0.17	7.19±0.01
91 BK Peg	1.43±0.03 1.27±0.02	1.97±0.04 1.57±0.03	2700±248	3685±227	5650±186	6220±30.6
92 EE Peg	2.15±0.03 1.33±0.02	2.09±0.03 1.31±0.02	400±6	450±87	714±41	1200±309
93 AG Per	5.36±0.09 4.95±0.08	2.99±0.05 2.60±0.04	13±0.7	до НГП	21.9±0.11	8.17±0.41
94 IQ Per	3.51±0.06 1.73±0.03	2.45±0.04 1.50±0.02	54.1±2.1	до НГП	87±0.2	87±0.2:
95 V467 Per	2.00±0.09 0.38±0.02	3.40±0.15 0.57±0.03	1085±142	-	1730±128	1730±128:
96 ζ Phe	3.93±0.06 2.55±0.04	2.85±0.04 1.85±0.03	77.4±1.5	до НГП	94.1±0.62	64.5±3.58:
97 PV Pup	1.57±0.02 1.56±0.02	1.54±0.02 1.50±0.02	350±40	130±82	1460±146	1285±390
98 TY Pyx	1.22±0.02 1.20±0.02	1.59±0.02 1.68±0.03	4790±136	5255±365	6980±27.3	7500±97.6
99 VV Pyx	2.10±0.03 2.10±0.03	2.165±0.03 2.16±0.03	510±12	510±14	945±47.5	944±57.1
100 V1647 Sqr	2.19±0.03 1.97±0.03	1.83±0.03 1.67±0.03	155±13	100±21	277±34.5	72.6±16.8:
101 V760 Sco	4.69±0.07 4.42±0.07	2.96±0.05 2.60±0.04	33.5±0.36	12.2±1.4	48.1±0.28	27.9±0.42
102 V906 Sco	3.55±0.09 2.80±0.07	4.20±0.11 3.86±0.10	200±10	390±25	210±8.5	470±15.8
103 AL Scl	3.63±0.06 1.71±0.03	3.24±0.05 1.40±0.02	143±6	до НГП	166±15.5	166±15.5:
104 EG Ser	1.1±0.05 1.0±0.04	1.73±0.08 1.57±0.07	8270±1575	12120±1800	8700±406	11500±500
105 CD Tau	1.40±0.02 1.31±0.02	1.72±0.03 1.63±0.03	2280±121	3235±219	5180±95	6120±53.2
106 V818 Tau	1.08±0.02 0.77±0.01	0.90±0.02 0.77±0.01	до НГП	-	НГП	НГП:
107 DN UMa	2.02±0.04 1.91±0.04	1.79±0.04 1.79±0.04	250±14	370±5	520±107	758±19.4
108 CV Vel	6.10±0.09 6.00±0.09	4.09±0.06 3.95±0.06	37.1±0.2	35.7±0.16	38±0.6	37.8±0.59
109 DM Vir	1.46±0.02 1.45±0.02	1.77±0.03 1.77±0.03	1815±82	1860±85	4380±100	4460±108
110 α Vir	10.9±0.34 6.80±0.22	7.60±0.24 4.4±0.14	16.3±0.48	30.5±1.7	17.1±1	30.8±0.39
111 HD84207	0.97±0.02 0.95±0.02	1.10±0.03 1.07±0.03	10120±700	10850±710	8820±302	9220±287
112 HD208095	3.70±0.16 3.35±0.15	2.90±0.13 2.70±0.12	100±2.1	122±5	130±14	165±16.1

Масса и радиусы приводятся в солнечных единицах.

Несколько РПП-систем имеют параметры, выходящие за расчетную область треков - оба компонента CM Dra, YY Gem и спутники V471 Lyr, V467 Per и V818 Tau. Причиной этого могут быть заниженные оценки радиусов и/или масс компонентов в рамках используемых эволюционных моделей, особенно на интервалах малых масс ($\leq 1.2 M_{\odot}$), радиусов ($\leq 1 R_{\odot}$), где форма треков (а значит и изохрон) очень чувствительна к корректности описания процесса конвективного проникновения. Вопрос влияния ошибок в начальных данных - массах и радиусах - на определение возраста звезды, изучался ранее по распределению в виде гистограммы числа компонентов ТДС из [6] N по относительным ошибкам Δ , их возрастов, которое имеет максимум в интервале 1-10% при резком падении распределения с увеличением ошибки. Численность маломассивных ТДС в каталоге [6] с суммарной массой $M_1 + M_2 \leq 3.5 M_{\odot}$, указывающей на то, что, по крайней мере, один из компонентов имеет конвективную оболочку и способен поддерживать магнитный звездный ветер, не превышает 30%. Именно этот класс маломассивных систем, в первую очередь, интересно проверить на результат оценки возраста.

3. *Оценки возрастов ТДС по эволюционным моделям, протестированным на описание апсидального движения.* Теоретические модели [9], охватывающие интервал масс от $125 M_{\odot}$ до $0.8 M_{\odot}$ и вычисленные от НПП до первой фазы воспламенения углерода с учетом конвективного проникновения, скорректированных темпов потери массы, констант апсидального движения, констант приливных моментов вращения, представляют собой основу для построения сетки изохрон в диаграмме $M-R$. Изохрона задается в форме кривой $M = M(R)$, вдоль которой время t не меняется. Для детализированной трансформации сетки треков в сетку изохрон были рассчитаны дополнительные эволюционные треки путем нелинейной интерполяции между предварительно монотонизированными оригинальными треками, число которых от 25 возросло к 19680 с шагом по массе $0.0025 M_{\odot}$. Подобная процедура способствовала сохранению в изохронах всех присущих трекам расчетных нелинейностей и геометрических неоднородностей. Нужно сказать, что при таком детализированном отображении треков, сетка изохрон наследует "хвостовую" часть сетки треков - самую узкую зону вычислительной диаграммы, в которой даже малые неопределенности в $2+3\%$ в начальных данных уже способны создать довольно высокие ошибки в определении возрастов (50-100%).

В табл.1 приведены результаты сравнения возрастов и ошибок их определения (в млн лет) для ТДС из каталога [6], полученных в моделях Кларэ (четвертый столбец), протестированных на описание апсидального движения и приливного торможения [9] и не протестированных (пятый столбец),

как это было рассчитано в моделях Мадера, Мейнета [3]. Сравнивая сетки изохрон (рис.1: штрих-линии соответствуют моделям [3], сплошные жирные линии - моделям [9]), соответствующие двум этим моделям, можно заранее сказать, что ожидается "эффект омоложения" ТДС на новых эволюционных треках, включающих константы приливной эволюции, особенно, если ТДС попадает в "хвостовую" зону, которая заметно смещена вправо на $M-R$ диаграмме в новых эволюционных моделях.

Важность учета приливного взаимодействия также можно проиллюстрировать простыми оценками сравнения длительности эволюционных шкал. Так, например, ядерная шкала одиночных звезд на ГП с массой $1-1.5 M_{\odot}$ варьирует в диапазоне 3-10 гигаlet ($t_{MS} \sim 10^{10} \cdot M^{-2.9}$ лет [8]). Время пребывания на ГП маломассивных одиночных звезд можно считать эквивалентом их возраста. В составе ТДС эти же звезды интенсивно взаимодействуют, расходуя орбитальный угловой момент за время, определяемое динамической шкалой $t_{дин} \sim 3 \cdot 10^6 \cdot A^5 \cdot R_1^{-4} \cdot M_1 \cdot (M_1 + M_2)^{-2}$

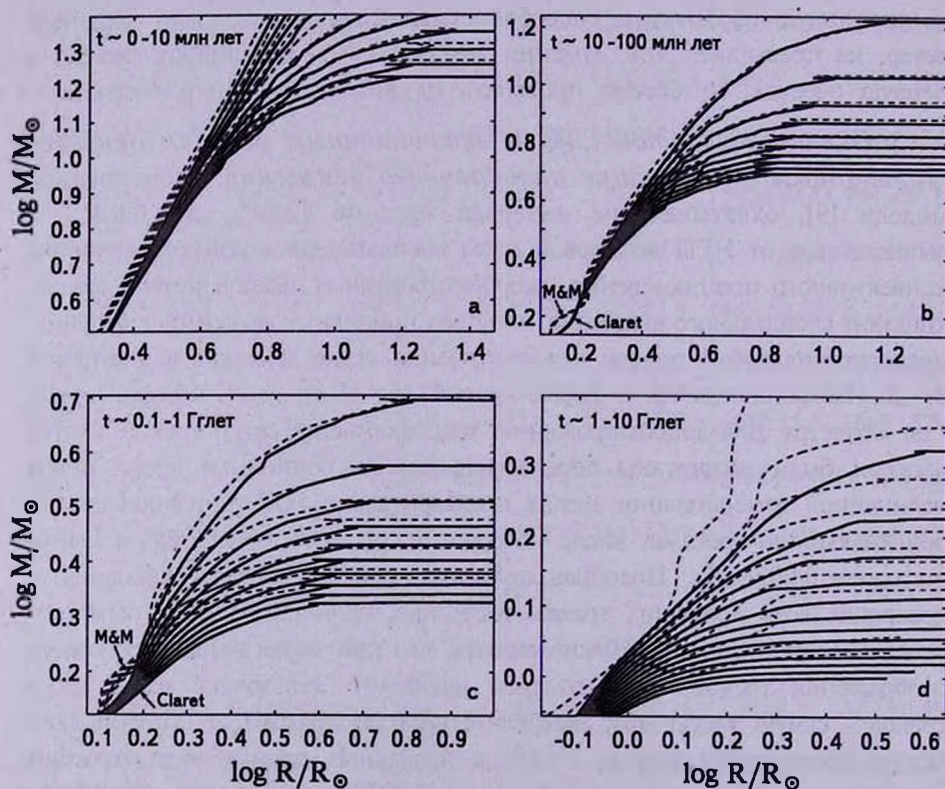


Рис.1. Сравнение семейства изохрон, построенных в диаграмме "масса-радиус" на основе теоретических эволюционных звездных моделей Кларэ [9] с учетом приливных эффектов компонентов ТДС (сплошные жирные линии) и семейства изохрон, вычисленных на базе теоретических эволюционных одиночных моделей Мадера, Мейнета [3] с учетом потери массы и конвективного проникновения (штрих-линии): а) для диапазона до 10 млн лет; б) 10-100 млн лет; в) 0.1-1 гигаlet; д) 1-13.5 гигаlet.

лет [8], которая оказывается короче ядерной шкалы и которую следует считать эквивалентом возраста ТДС. Длительность динамической шкалы приливного торможения в зависимости от начального расстояния между компонентами может составлять 0.5-5 гигаlet.

Это наглядно проиллюстрировано на рис.2, где выявлен разброс значений возрастов компонентов ТДС вдоль линии равного возраста двух сравниваемых моделей $t_{M\&M} = t_c$, который имеет систематический характер - новые оценки возрастов, полученные по изохронам эволюционных треков Кларэ, меньше предыдущих, выполненных на основе моделей [3], для одной и той же системы. Исключение составляют спутники некоторых ТДС, проецирующихся на возрастную диапозон 8-13

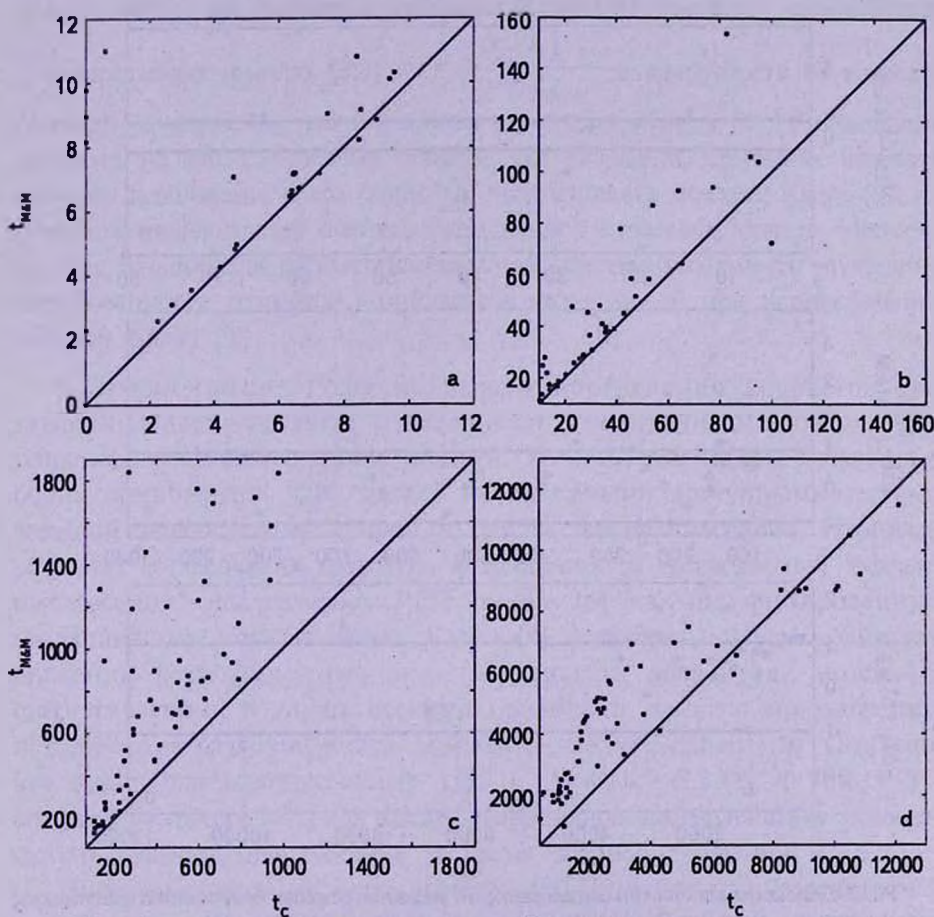


Рис.2. Демонстрация "эффекта омоложения" на результатах сравнения возрастов компонентов ТДС, рассчитанных в моделях Кларэ [9] с учетом эффекта приливного взаимодействия компонентов (t_c) с их оценками, полученными в одиночных звездных моделях Мадера, Мейнета [3] с учетом потери массы и конвективного проникновения ($t_{M\&M}$). Главные компоненты (назатусеванные кружки) и спутники (затусеванные кружки) рассматриваются относительно линии равного возраста двух сравниваемых моделей $t_{M\&M} = t_c$: а) для диапозона до 10 млн лет; б) 10-100 млн лет; в) 100-1000 млн лет, д) 1000-13000 млн лет.

гигалет. Массы этих спутников меньше $1 M_{\odot}$, а радиусы не превышают $1.25 R_{\odot}$ и в этом диапазоне величин изохроны моделей Кларэ начинают формировать узкий пучок кривых, который сдвигается влево по сравнению с моделями для одиночных звезд Мадера, Мейнета. На отметке $1 M_{\odot}$ в

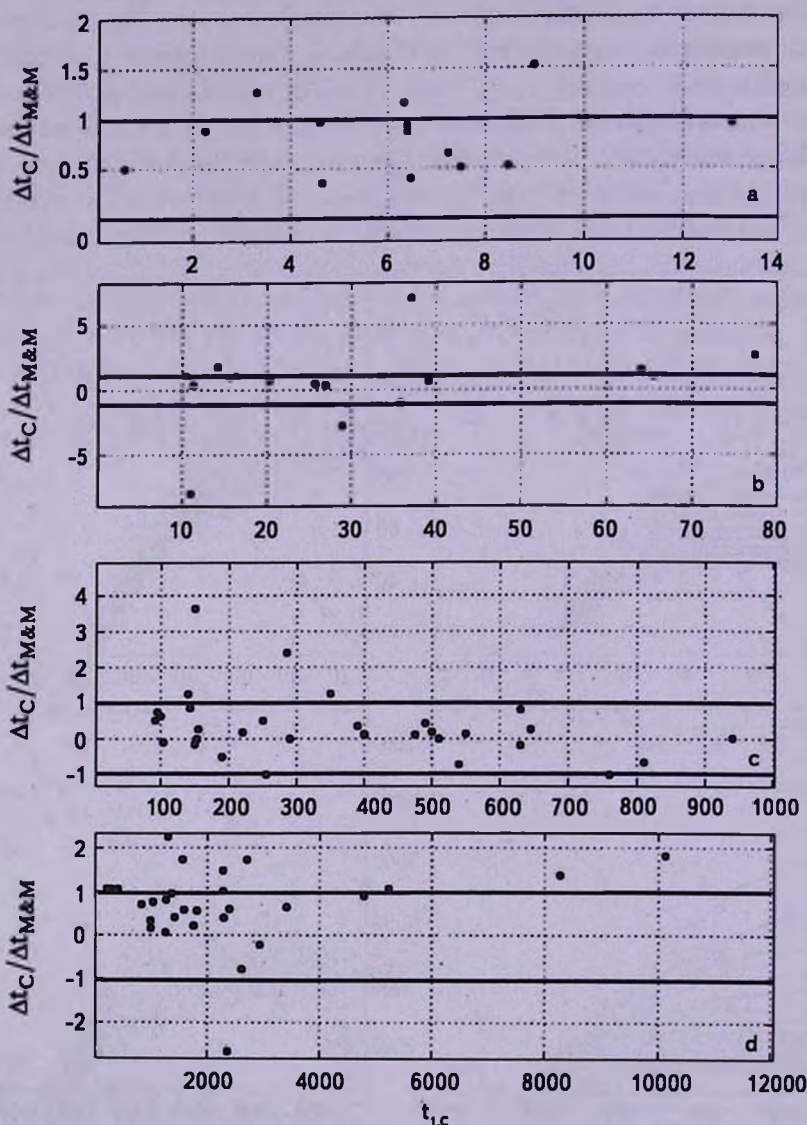


Рис.3. Демонстрация степени согласованности возрастов главных компонентов и спутников, определенных в моделях Кларэ [9] и в моделях Мадера, Мейнета [3] в зависимости от возраста главного компонента, рассчитанного в модели Кларэ. По оси ординат рассматривается

величина $\frac{\Delta t_C}{\Delta t_{M\&M}} = \frac{(t_1 - t_2)_C}{(t_1 - t_2)_{M\&M}}$: а) для диапазона до 14 млн лет; б) 10-100 млн лет; в) 100-1000 млн лет; д) 1000-12000 млн лет. Жирными линиями выделена область, где разрыв в значениях возраста главного компонента и его спутника, полученный в моделях Кларэ [9] не превышает аналогичной оценки, выполненной в моделях Мадера, Мейнета [3].

$M-R$ диаграмме изохрона на $t=10$ гигаlet в моделях [3] почти совпадает с изохроной на $t=11$ гигаlet в моделях [9], снижаясь по массе до $0.94 M_{\odot}$ и по радиусу - $1.122 R_{\odot}$ это соответствие сдвигается еще на один гигаlet позднее. Поэтому и вновь определенные возрасты для маломассивных спутников ТДС оказываются если не завышенными, то, по крайней мере, неизменными по сравнению со старыми оценками. В целом, отмечается сокращение разрыва в оценках возраста главного компонента и его спутника (рис.3), полученных в моделях Кларэ [9] по сравнению с моделями Мадера, Мейнета [3]. Особенно это проявляется на масштабе времени 0.1-5 гигаlet (рис.3с), а на больших временах 8-13.5 гигаlet (рис.3d) качественного изменения в результатах не замечено по вышеописанной причине. На рис.3 показано распределение отношения разности возрастов компонентов

в сравниваемых моделях [3,9] $\Delta t = \frac{(t_1 - t_2)_C}{(t_1 - t_2)_{M\&M}}$ в зависимости от возраста главного компонента, вычисленного в моделях Кларэ [9]. Сплошными линиями на рис.3 выделена область, где разрыв в значениях возраста главного компонента и его спутника, полученный в моделях Кларэ [9], не превышает аналогичной оценки, выполненной в моделях Мадера, Мейнета [3]. Для большинства рассматриваемых здесь систем имеет место улучшение согласованности возрастов компонентов между собой при использовании моделей Кларэ [9].

4. Заключение. Решение задачи определения возрастов для затменных-двойных звезд обеспечивает качественную проверку для теоретических эволюционных моделей. Условие одинаковых возрастов у обоих компонентов ТДС делает их надежными доступными тестами звездной эволюционной теории и теории звездообразования. Итоговый результат согласования возрастов компонентов и наблюдаемый "эффект омоложения" исследуемых РГП-систем [6] на модифицированных эволюционных моделях-треках Кларэ [9] подтверждают необходимость введения в современные звездные модели эффектов, вносимых статистическими и динамическими приливами, заметно сокращающих историческое различие между теорией и наблюдениями [10]. Особенно это важно для маломассивных ТДС с $M_1 + M_2 \leq 3.5 M_{\odot}$ (~30% РГП-систем из каталога [6]), для которых приливное взаимодействие успевает оказать существенное влияние за время ядерной эволюции.

Широкодиапазонная сетка изохрон (НГП-14 гигаlet), рассчитанная по теоретическим эволюционным моделям Кларэ [9] с учетом приливных эффектов и использованная для оценки возрастов РГП-систем [6], может быть рекомендована для работы с ТДС из других каталогов.

EFFECT OF THE TIDAL EVOLUTION IN THE TASK OF AGE DEFINITION OF THE ECLIPSING VARIABLE BINARIES WITH DETACHED COMPONENTS

G.N.DRYOMOVA, M.A.SVECHNIKOV

The paper concerns the questions of the age determination of the double-lined eclipsing binaries (DLEB) with the account for tidal interaction of their components, which affects the evolution rate. The use of new evolutionary stellar models-tracks including tidal evolution constants allows to apply the isochrone method for the age determination of 112 eclipsing variables from the catalogue by Svechnikov & Perevozkina and to compare new results with the previous estimates obtained without tidal effect. The correlation between the primary and the satellite ages is well established, especially it is true for the massive close binaries with the primary mass $M_1 \geq 3 M_{\odot}$. The rejuvenation effect takes place for the most of considered in the paper systems, first of all for the low-massive binaries with total mass of components $M_1 + M_2 \leq 3.5 M_{\odot}$. This result is predicted in theory in the framework of magnetic braking formalism. The wide-range grid of the isochrones calculated from Zero-Age Main Sequence to Galaxy age may be used for the computation of the DLEB ages from other catalogues. Improved ages of the 112 eclipsing variable binaries with the detached components belonging to Main Sequence are presented.

Key words: (stars:)binaries: eclipsing

ЛИТЕРАТУРА

1. G.N.Dryomova, M.A.Svechnikov, *Astrophys. Space Sci.*, **283**, 309, 2003.
2. Г.Н.Дремова, М.А.Свечников, *Астрофизика*, **45**, 419, 2002.
3. A.Maeder, G.Meynet, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **76**, 411, 1988.
4. A.Claret, A.Gimenez, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **96**, 255, 1992.
5. М.А.Свечников, Л.Ф.Истомин, О.А.Грехова, *ПЗ*, **21**, N3, 399, 1980.
6. М.А.Свечников, Е.Л.ПЕРЕВОЗКИНА, Каталог орбитальных элементов, масс и светимостей переменных звезд РГП типа и некоторые результаты его статистической обработки, Изд. УрГУ, Екатеринбург, стр.1-5, 1999.
7. Г.Н.Дремова, М.А.Свечников, *Астрон. ж.*, **78**, 248, 2001.
8. А.В.Тутуков, Г.Н.Дремова, М.А.Свечников, *Астрон. ж.*, **81**, 244, 2004; **39**, 347, 1980.
9. A.Claret, *Astron. Astrophys.*, **424**, 919, 2004.
10. A.Claret, B.Willems, *Astron. Astrophys.*, **388**, 518, 2002.