

УДК 524.38

Определение возраста компонентов затменных переменных звезд по моделям Мэдера и Мейнета

Г. Н. Дремова, М. А. Свечников

Уральский государственный университет им. А. М. Горького
620000, Россия, Свердловская область, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51

Семейство изохрон, охватывающее широкий диапазон звездных возрастов $5 \cdot 10^6$ — 10^{10} лет, построено на основе звездных эволюционных моделей Мэдера и Мейнета с учетом конвективного проникновения и потери массы для звезд населения I с химическим составом $(X, Y, Z) = 0.70, 0.28, 0.02$. Оно использовано для расчета возрастов 88 затменных переменных звезд главной последовательности из каталога Андерсена. Исследовано влияние ошибок начальных данных на определение возраста звезды. Полученные значения возрастов удовлетворительно согласуются с данными других исследователей.

ВИЗНАЧЕННЯ ВІКУ КОМПОНЕНТІВ ЗАТЕМНЮВАНИХ ЗМІННИХ ЗІРОК ЗА МОДЕЛЯМИ МЕДЕРА І МЕЙНЕТА, Дремова Г. Н., Свечніков М. А. — Семейство изохрон, що охоплює широкий діапазон зоряного віку $5 \cdot 10^6$ — 10^{10} років, побудовано на основі зоряних еволюційних моделей Мэдера і Мейнета з урахуванням конвективного проникнення та втрати маси для зірок населення I з хімічним складом $(X, Y, Z) = 0.70, 0.28, 0.02$. Його використано для розрахунку віку 88 затемнюваних змінних зірок головної послідовності з каталогу Андерсена. Досліджено вплив помилок початкових даних на визначення віку зірки. Отримані значення віку задовільно узгоджуються з даними інших дослідників.

ESTIMATING THE AGES OF ECLIPSING VARIABLE DM-STARS ON THE BASIS OF THE EVOLUTIONARY STAR MODELS BY MAEDER AND MEYNET, by Dryomova G. N., Svechnikov M. A. — A set of isochrones covering a wide range of star ages from $5 \cdot 10^6$ to 10^{10} yr was built on the basis of the stellar models by A. Maeder and G. Meynet with overshooting and mass loss for Population I stars with abundances $(X, Y, Z) = 0.70, 0.28, 0.02$. The isochrones were used to compute the ages of 88 eclipsing variable stars from the catalog by Andersen which lie on the main sequence. The influence of initial data errors on the results was investigated. The ages derived are in good agreement with the results of other authors.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе вычисляются возрасты 88 компонентов 44 затменно-двойных систем из каталога Андерсена [5].

Задача определения возраста звезды сводится к задаче построения изохроны на основе звездных эволюционных моделей Мэдера и Мейнета с учетом конвективного проникновения (overshooting) и потери массы компо-

нентами [38]. Эти модели представлены в виде таблиц для звезд населения I с химическим составом $(X, Y, Z) = 0.70, 0.28, 0.02$ в интервале масс $0.85—120 M_{\odot}$.

Каждый из 88 компонентов хорошо изучен, как отмечено в работе [5], средние ошибки их масс и радиусов менее 2 %, тогда как средние ошибки светимости и эффективной температуры составляют 15—20 %. Эти двойные системы являются разделенными и охватывают диапазон спектральных классов главной последовательности от O8 до M1. Самая большая масса в имеющейся выборке $23 M_{\odot}$, что позволяет нам использовать расчеты для диапазона масс $0.85—25 M_{\odot}$. Объектом анализа в данной работе является исследование влияния ошибок в начальных данных (светимости и эффективные температуры) на определение возраста звезды.

1. ПОСТРОЕНИЕ СЕТКИ ИЗОХРОН

Предлагается следующая схема построения сетки изохрон. Сначала по таблицам [38] для эволюционных треков строятся интерполяционные функции $L = L(t)$ и $T_{\text{эф}}(t)$, где t — время, L — логарифм светимости в долях светимости Солнца, $T_{\text{эф}}$ — логарифм эффективной температуры. Эти функции сшиты из кусков, соответствующих эволюционным ветвям (точки 1—5, 5—6, 6—7, 7—10, 10—12, 12—14, 14—15, 15—17, 17—18, 18—19). Каждая эволюционная ветвь описывалась своей интерполяционной функцией: если она содержит более трех точек, то применяется кубический сплайн, для трех точек — квадратичная функция, для двух используется линейная интерполяция. В этом и состоит суть оптимальной интерполяции.

Предварительно все компоненты наносились на сетку эволюционных треков из [38]. Оказалось, что все они расположились до точки 19, проставленной на каждом треке и характеризующей определенный эволюционный статус. Поэтому достаточно было ограничиться табличной информацией до 19-го значения включительно.

Затем необходимо сформировать дополнительные таблицы треков, нелинейно интерполируя между известными таблицами из [38]. Предварительно каждая эволюционная ветвь используемых треков делилась на определенное число интервалов, равных по времени, поэтому размерность таблиц увеличилась от 19 до 34. Такое равномерное разбиение предупреждает возможную немонотонность по времени, которая возникает при нелинейной интерполяции между начальными массами, задающими эволюционные треки. К примеру, между 25 и $20 M_{\odot}$, 20 и $15 M_{\odot}$ рассчитано по 200 дополнительных таблиц с шагом 0.025 по начальной массе; между 15 и $12 M_{\odot}$, 12 и $9 M_{\odot}$ — по 120 дополнительных таблиц с тем же шагом и так далее. На такой качественно более мелкой сетке треков можно гораздо точнее построить изохроны для заданных времен и выявить все особенности их поведения (рис. 1).

Подробнее рассмотрим процесс построения изохроны. Определим изохрону как кривую в координатах L и $T_{\text{эф}}$, вдоль которой возраст звезд не изменяется. Исследуем функциональную зависимость $L = L(T_{\text{эф}})$. Изохрона строится для заданного возраста t . На этот возраст во всех выше описанных таблицах интерполируются новые значения L и $T_{\text{эф}}$. Если таблица не содержит такого t , то она игнорируется; максимальное число точек, определяющее изохрону, — 1304.

Для широкого диапазона времен от $5 \cdot 10^6$ миллионов до 10^{10} лет на рис. 1 представлены различные семейства изохрон, рассчитанные по таблицам для начальных масс от 25 до $1.15 M_{\odot}$ с учетом конвективного проникновения и потери массы, а для начальных масс 1 и $0.85 M_{\odot}$ — без переноса конвекцией. В табл. 1 они даны в численном представлении.

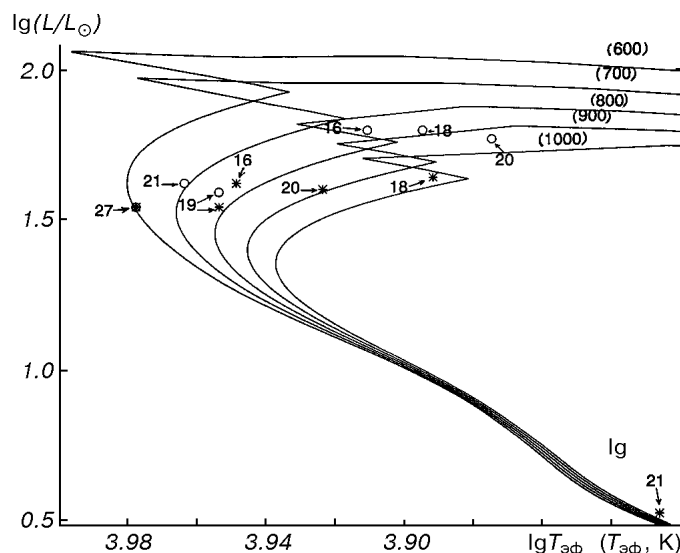


Рис. 1. Положения некоторых звезд (нумерация соответствует таблицам [5]) на изохронах, вычисленных на базе эволюционных треков [38]; кружки — главные компоненты, звездочки — вторичные. В скобках указан возраст в миллионах лет

2. ВЫЧИСЛЕНИЕ ВОЗРАСТОВ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

Как уже отмечалось, в данной работе была использована выборка затменно-двойных звезд из [5]. Поскольку возраст звезд определялся по изохронам (первый способ) — было бы важно остановиться на значениях $T_{эф}$ и L . Из [5] следует, что способы определения эффективных температур 88 звезд далеко не столь однородны и фундаментальны, как определения масс и радиусов. Это вызвано разнообразием наблюдаемых фотометрических и спектроскопических показателей температуры, возможностью применения той или иной степени покраснения и/или поправки к металличности, доступностью масштабных калибровок в разных температурных диапазонах. Для горячих звезд и очень слабых вторичных компонентов в системах с высоким отношением светимостей большинство значений $T_{эф}$ характеризуются значительной неопределенностью и являют собой основной источник ошибок. Значения светимостей также отягощены неопределенностями, поскольку они выводятся из закона Стефана—Больцмана, куда входит $T_{эф}$, поэтому средние ошибки светимостей превосходят средние ошибки температур.

По этим причинам пять звезд из 88 оказались за пределами нулевой изохроны. Это главный компонент EK Ser и вторичные компоненты GG Lup, ζ Phe, IQ Per, TZ Men. В итоге им приписаны возрасты, определенные по главным компонентам; в табл. 2 эти значения отмечены двоеточием. В третьей графе табл. 2 приведены оценки возрастов и их ошибок для 88 звезд, вычисленные на качественно мелкой сетке изохрон, позволяющей линейную интерполяцию. Во второй графе содержатся значения, вычисленные другим независимым способом — по эволюционным трекам; использовалась информация только 18 таблиц из [38], без дополнительных построений. Для двух первых времен t_1 и t_2 из первой таблицы работы [38] вычислялись соответственно две изохроны $L_1 = L_1(T_{эф1})$ и $L_2 =$

Таблица 1. Изохроны ($L \equiv \lg L/L_{\odot}$, $T \equiv \lg T_{\text{эф}}$). Возраст t указан в миллионах лет

N	t: 4		5		6		7		8		9		10	
	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T
1	5.09	4.544	5.11	4.520	5.19	4.474	5.29	4.421	5.24	4.288	5.10	4.256	4.96	4.254
2	5.05	4.542	5.09	4.521	5.15	4.482	5.27	4.405	5.23	4.357	5.09	4.294	4.96	4.278
3	5.01	4.540	5.04	4.522	5.11	4.488	5.26	4.392	5.21	4.401	5.09	4.329	4.96	4.294
4	4.95	4.536	5.01	4.522	5.06	4.492	5.22	4.412	5.19	4.445	5.09	4.347	4.95	4.313
5	4.90	4.533	4.97	4.521	5.02	4.496	5.19	4.424	5.16	4.419	5.08	4.377	4.95	4.344
6	4.87	4.531	4.92	4.518	4.97	4.497	5.14	4.438	5.13	4.391	5.08	4.394	4.95	4.366
7	4.83	4.526	4.88	4.517	4.93	4.497	5.11	4.447	5.10	4.402	5.08	4.419	4.94	4.384
8	4.79	4.523	4.85	4.514	4.88	4.497	5.06	4.456	5.05	4.415	5.06	4.449	4.94	4.409
9	4.78	4.521	4.79	4.510	4.84	4.496	4.99	4.465	5.00	4.424	5.04	4.428	4.93	4.438
10	4.76	4.519	4.74	4.506	4.80	4.494	4.90	4.470	4.96	4.433	5.01	4.410	4.91	4.418
11	4.74	4.517	4.71	4.502	4.75	4.491	4.81	4.472	4.89	4.440	4.99	4.386	4.88	4.397
12	4.70	4.513	4.68	4.500	4.72	4.489	4.75	4.472	4.83	4.445	4.92	4.401	4.85	4.379
13	4.64	4.506	4.65	4.497	4.67	4.488	4.69	4.472	4.75	4.450	4.84	4.415	4.82	4.389
14	4.62	4.503	4.60	4.493	4.65	4.485	4.64	4.470	4.69	4.453	4.76	4.426	4.76	4.399
15	4.58	4.499	4.56	4.488	4.60	4.482	4.60	4.469	4.63	4.454	4.70	4.433	4.69	4.412
16	4.55	4.495	4.51	4.483	4.52	4.476	4.54	4.466	4.58	4.455	4.64	4.436	4.61	4.421
17	4.50	4.490	4.47	4.479	4.47	4.472	4.49	4.464	4.51	4.454	4.58	4.440	4.53	4.428
18	4.42	4.480	4.43	4.475	4.43	4.468	4.45	4.462	4.45	4.452	4.52	4.442	4.49	4.430
19	4.37	4.474	4.38	4.470	4.39	4.465	4.40	4.458	4.40	4.450	4.44	4.442	4.41	4.431
20	4.31	4.468	4.31	4.462	4.31	4.456	4.31	4.450	4.31	4.444	4.31	4.436	4.31	4.429
21	4.22	4.455	4.26	4.455	4.29	4.455	4.29	4.450	4.29	4.443	4.29	4.436	4.29	4.429
22	4.09	4.439	4.16	4.443	4.13	4.436	4.17	4.435	4.18	4.432	4.22	4.430	4.18	4.422
23	4.04	4.431	4.08	4.432	4.06	4.427	4.08	4.425	4.09	4.422	4.13	4.421	4.10	4.415
24	3.98	4.422	3.99	4.421	3.99	4.418	3.99	4.414	3.98	4.409	4.04	4.412	4.03	4.408
25	3.90	4.412	3.92	4.412	3.89	4.404	3.91	4.403	3.89	4.397	3.96	4.402	3.95	4.399

N	t: 32		40		48		56		80		88		100	
	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T
1	4.00	4.01	3.84	4.00	3.68	4.01	3.54	4.01	3.28	4.00	3.23	4.00	3.15	4.00
2	4.01	4.05	3.84	4.02	3.69	4.04	3.55	4.06	3.29	4.02	3.23	4.02	3.16	4.02
3	4.01	4.09	3.85	4.05	3.70	4.07	3.56	4.10	3.30	4.03	3.24	4.04	3.16	4.04
4	4.02	4.13	3.86	4.07	3.70	4.09	3.56	4.13	3.30	4.05	3.24	4.06	3.16	4.06
5	4.03	4.17	3.86	4.10	3.71	4.11	3.56	4.14	3.31	4.06	3.23	4.10	3.15	4.07
6	4.03	4.22	3.86	4.13	3.71	4.14	3.55	4.17	3.30	4.08	3.23	4.12	3.15	4.09
7	4.01	4.26	3.86	4.15	3.71	4.16	3.55	4.19	3.29	4.10	3.22	4.13	3.14	4.12
8	4.01	4.30	3.86	4.18	3.70	4.20	3.54	4.23	3.28	4.13	3.22	4.13	3.14	4.13
9	4.01	4.33	3.86	4.24	3.70	4.22	3.55	4.25	3.28	4.14	3.21	4.15	3.14	4.14
10	3.96	4.29	3.86	4.29	3.70	4.26	3.48	4.22	3.28	4.16	3.23	4.19	3.15	4.17
11	3.92	4.27	3.85	4.31	3.69	4.28	3.43	4.19	3.28	4.18	3.23	4.21	3.16	4.19
12	3.80	4.29	3.80	4.27	3.66	4.26	3.38	4.20	3.28	4.19	3.18	4.17	3.13	4.17
13	3.75	4.29	3.74	4.24	3.62	4.24	3.33	4.21	3.29	4.22	3.12	4.14	3.07	4.14
14	3.60	4.30	3.61	4.26	3.56	4.22	3.25	4.22	3.24	4.18	3.06	4.16	3.04	4.13
15	3.40	4.30	3.39	4.26	3.46	4.23	3.15	4.22	3.18	4.15	3.02	4.16	2.97	4.14
16	3.25	4.28	3.12	4.25	3.29	4.24	3.07	4.22	3.09	4.17	2.91	4.17	2.90	4.15
17	2.96	4.25	2.88	4.23	3.10	4.23	2.96	4.22	2.94	4.18	2.83	4.18	2.82	4.16
18	2.78	4.23	2.74	4.22	2.92	4.23	2.78	4.21	2.82	4.19	2.75	4.18	2.72	4.16
19	2.66	4.21	2.63	4.20	2.73	4.21	2.64	4.19	2.68	4.18	2.67	4.17	2.63	4.16
20	2.56	4.19	2.56	4.19	2.58	4.19	2.56	4.18	2.56	4.17	2.56	4.16	2.56	4.16
21	2.29	4.16	2.30	4.15	2.31	4.15	2.33	4.15	2.40	4.15	2.41	4.15	2.43	4.15
22	2.25	4.15	2.20	4.14	2.25	4.14	2.22	4.14	2.34	4.15	2.27	4.13	2.35	4.14
23	2.18	4.14	2.15	4.13	2.18	4.13	2.16	4.13	2.28	4.14	2.19	4.12	2.28	4.13
24	2.13	4.13	2.10	4.12	2.12	4.12	2.10	4.12	2.18	4.12	2.12	4.11	2.19	4.12
25	2.09	4.12	2.04	4.11	2.05	4.11	2.05	4.11	2.10	4.11	2.05	4.10	2.13	4.11

$= L_2(T_{\text{эф}2})$, между которыми предположительно находится изохрона $L = L(T_{\text{эф}})$ на искомое время t . Для t_1 и t_2 во всех 18 таблицах найдены значения L_1 и L_2 , а также $T_{\text{эф}1}$ и $T_{\text{эф}2}$. Если координаты L и $T_{\text{эф}}$ звезды не попадают в интервал между изохронами, то в первой таблице ниже выбираем следующие времена t_2 и t_3 . Снова строим изохрону, и между уже вычисленной второй и третьей изохронами проверяем координаты звезды.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗРАСТОВ КОМПОНЕНТОВ ЗАТМЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Окончание табл. 1

N	t: 200		300		400		500		600		700		800		900		1000	
	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T
1	2.59	3.85	2.37	3.85	2.23	3.86	2.11	3.86	2.02	3.83	1.93	3.82	1.86	3.82	1.80	3.82	1.75	3.82
2	2.63	3.90	2.39	3.89	2.22	3.87	2.14	3.89	2.03	3.86	1.94	3.84	1.86	3.83	1.81	3.83	1.74	3.84
3	2.67	3.97	2.40	3.91	2.22	3.88	2.15	3.92	2.06	3.89	1.95	3.85	1.87	3.84	1.81	3.84	1.74	3.85
4	2.69	3.99	2.43	3.97	2.22	3.89	2.14	3.97	2.06	3.92	1.96	3.86	1.88	3.84	1.82	3.85	1.73	3.87
5	2.65	4.06	2.41	4.01	2.22	3.89	2.16	4.01	2.06	3.93	1.97	3.88	1.88	3.85	1.82	3.87	1.73	3.88
6	2.67	4.11	2.42	4.06	2.23	3.91	2.12	3.99	2.06	3.95	1.97	3.89	1.89	3.87	1.82	3.87	1.72	3.89
7	2.61	4.07	2.34	4.02	2.23	3.95	2.08	3.97	2.07	3.96	1.98	3.93	1.89	3.88	1.80	3.89	1.72	3.90
8	2.55	4.04	2.29	4.00	2.22	4.01	2.04	3.95	2.08	3.99	1.98	3.96	1.88	3.89	1.79	3.90	1.72	3.91
9	2.37	4.07	2.24	4.01	2.15	3.97	1.96	3.97	2.04	3.97	1.99	3.97	1.86	3.91	1.76	3.92	1.70	3.90
10	2.23	4.08	2.01	4.04	2.08	3.99	1.86	3.99	1.99	3.95	1.95	3.96	1.83	3.92	1.73	3.90	1.67	3.89
11	1.97	4.07	1.86	4.04	1.90	4.02	1.76	3.99	1.94	3.93	1.89	3.93	1.81	3.92	1.70	3.89	1.64	3.88
12	1.75	4.04	1.73	4.03	1.73	4.01	1.71	3.99	1.88	3.95	1.85	3.92	1.77	3.90	1.67	3.90	1.62	3.89
13	1.59	4.01	1.57	4.00	1.57	3.99	1.57	3.99	1.85	3.96	1.81	3.93	1.74	3.91	1.66	3.90	1.60	3.90
14	1.48	3.99	1.49	3.99	1.49	3.99	1.49	3.98	1.72	3.98	1.75	3.94	1.70	3.92	1.62	3.92	1.55	3.91
15	1.44	3.99	1.44	3.98	1.46	3.98	1.44	3.98	1.57	3.98	1.67	3.96	1.62	3.94	1.57	3.93	1.50	3.92
16	1.39	3.99	1.38	3.98	1.39	3.98	1.39	3.97	1.47	3.97	1.58	3.96	1.52	3.95	1.50	3.94	1.44	3.93
17	1.34	3.97	1.33	3.97	1.33	3.97	1.34	3.96	1.38	3.96	1.45	3.96	1.42	3.95	1.41	3.94	1.38	3.94
18	1.29	3.97	1.27	3.96	1.28	3.96	1.27	3.95	1.31	3.95	1.34	3.95	1.33	3.94	1.32	3.94	1.30	3.93
19	1.23	3.96	1.23	3.95	1.23	3.95	1.23	3.95	1.24	3.94	1.24	3.94	1.26	3.94	1.24	3.93	1.24	3.93
20	1.19	3.95	1.20	3.94	1.20	3.94	1.20	3.94	1.15	3.93	1.16	3.93	1.18	3.93	1.18	3.93	1.18	3.92
21	1.16	3.94	1.16	3.94	1.18	3.94	1.18	3.94	1.09	3.92	1.10	3.92	1.09	3.91	1.09	3.91	1.11	3.91
22	1.13	3.93	1.14	3.93	1.15	3.93	1.16	3.93	1.03	3.90	1.04	3.90	1.03	3.90	1.04	3.90	1.05	3.90
23	1.09	3.92	1.08	3.92	1.09	3.92	1.09	3.92	0.98	3.89	0.98	3.89	0.96	3.89	0.97	3.89	0.99	3.89
24	1.03	3.91	0.97	3.89	1.06	3.91	1.03	3.90	0.89	3.88	0.89	3.88	0.90	3.88	0.89	3.88	0.91	3.88
25	0.97	3.89	0.91	3.89	0.99	3.89	0.97	3.89	0.83	3.87	0.83	3.87	0.84	3.87	0.84	3.87	0.84	3.87

N	t: 1000		2000		3000		4000		5000		6000		7000		9000		10000	
	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T
1	1.91	3.68	1.84	3.66	1.35	3.68	1.05	3.69	0.92	3.70	1.15	3.68	1.28	3.66	0.70	3.68	0.64	3.68
2	1.53	3.70	1.63	3.67	1.20	3.69	1.00	3.69	0.88	3.70	1.05	3.68	1.22	3.67	0.68	3.68	0.51	3.68
3	1.59	3.72	1.46	3.68	1.15	3.69	0.97	3.71	0.88	3.71	0.90	3.69	1.12	3.68	0.66	3.68	0.50	3.68
4	1.70	3.74	1.35	3.69	1.07	3.70	1.01	3.72	0.91	3.72	0.81	3.71	0.97	3.68	0.64	3.68	0.46	3.69
5	1.73	3.77	1.23	3.70	1.09	3.71	1.05	3.73	0.94	3.73	0.82	3.71	0.85	3.69	0.61	3.68	0.43	3.69
6	1.78	3.80	1.26	3.72	1.14	3.73	1.08	3.74	0.97	3.74	0.86	3.72	0.80	3.69	0.58	3.68	0.41	3.70
7	1.81	3.86	1.33	3.74	1.19	3.74	1.13	3.77	1.00	3.74	0.89	3.74	0.76	3.70	0.57	3.68	0.42	3.70
8	1.81	3.93	1.41	3.77	1.26	3.77	1.14	3.78	1.04	3.77	0.92	3.75	0.76	3.71	0.54	3.68	0.42	3.70
9	1.73	3.92	1.44	3.80	1.27	3.78	1.15	3.79	1.05	3.78	0.96	3.77	0.76	3.71	0.50	3.69	0.42	3.71
10	1.67	3.89	1.46	3.84	1.28	3.80	1.16	3.81	1.06	3.79	0.96	3.78	0.78	3.72	0.48	3.69	0.42	3.71
11	1.55	3.91	1.47	3.88	1.29	3.83	1.17	3.83	1.07	3.82	0.98	3.79	0.80	3.72	0.48	3.69	0.42	3.72
12	1.44	3.93	1.40	3.86	1.30	3.85	1.10	3.81	1.02	3.81	0.98	3.80	0.84	3.74	0.46	3.70	0.42	3.72
13	1.36	3.93	1.33	3.83	1.23	3.83	1.02	3.79	0.96	3.79	0.99	3.81	0.86	3.74	0.44	3.70	0.42	3.73
14	1.20	3.92	1.24	3.85	1.16	3.80	0.95	3.80	0.91	3.78	0.94	3.80	0.88	3.77	0.45	3.70	0.42	3.73
15	1.09	3.91	1.13	3.88	1.06	3.83	0.88	3.82	0.86	3.79	0.86	3.78	0.90	3.78	0.45	3.71	0.42	3.74
16	0.95	3.88	0.87	3.86	0.93	3.84	0.80	3.82	0.79	3.80	0.82	3.78	0.92	3.80	0.45	3.71	0.42	3.74
17	0.77	3.86	0.80	3.85	0.82	3.84	0.73	3.82	0.71	3.81	0.78	3.78	0.85	3.79	0.46	3.72	0.40	3.75
18	0.64	3.84	0.61	3.83	0.71	3.83	0.64	3.81	0.61	3.80	0.74	3.79	0.79	3.78	0.46	3.72	0.36	3.76
19	0.55	3.83	0.57	3.82	0.60	3.82	0.56	3.81	0.52	3.80	0.62	3.80	0.76	3.77	0.48	3.73	0.34	3.76
20	0.47	3.82	0.47	3.81	0.48	3.80	0.47	3.80	0.46	3.79	0.54	3.79	0.64	3.78	0.48	3.74	0.28	3.76
21	0.39	3.81	0.39	3.80	0.39	3.80	0.39	3.79	0.38	3.78	0.46	3.79	0.57	3.78	0.48	3.74	0.23	3.76
22	0.37	3.80	0.37	3.80	0.36	3.79	0.35	3.79	0.36	3.78	0.39	3.78	0.49	3.77	0.47	3.75	0.16	3.75
23	0.33	3.80	0.34	3.79	0.31	3.79	0.31	3.78	0.32	3.78	0.29	3.77	0.38	3.77	0.38	3.76	0.10	3.75
24	0.30	3.79	0.31	3.79	0.26	3.78	0.26	3.78	0.28	3.78	0.21	3.77	0.23	3.77	0.33	3.77	0.04	3.74
25	0.26	3.79	0.26	3.78	0.22	3.78	0.22	3.78	0.25	3.78	0.14	3.77	0.15	3.76	0.30	3.77	0.01	3.74

Если перебор всех времен первой таблицы не дал результата, переходим ко второй таблице и повторяем поиск изохроны на базе 17 таблиц. Когда подберутся такие времена t_i и t_{i+1} для i -й и $i+1$ -й изохрон, между которыми будет «зажата» звезда со своими координатами, возраст t звезды определяем делением временного отрезка пополам.

Таблица 2. Значения возраста звезд, вычисленные двумя независимыми способами

Звезда	Возрасты, млн лет			
	по эволюционным трекам	по изохронам	по литературным данным	
1 EM Car (HD 97484)	4.77 ± 1.10 4.65 ± 1.26	4.76 ± 1.13 4.59 ± 1.20	≈4.5—5	[6]
2 V 478 Cyg (HD 193611)	6.59 ± 0.76 6.51 ± 0.76	6.36 ± 0.85 6.28 ± 1.53	10 2.6	[1] [2]
3 CW Cep (HD 218066)	6.62 ± 1.56 5.95 ± 1.79	6.85 ± 1.53 6.03 ± 1.69	9—11	[15] [2]
4 QX Car (HD 86118)	9.49 ± 1.42 11.41 ± 2.33	9.42 ± 1.52 11.82 ± 2.28	очень молодая 6—10	[2] [8]
5 V 539 Ara (HD 161783)	39.4 ± 17.8 47.4 ± 15.2	39.3 ± 9.63 49.8 ± 16.6	38	[2]
6 CV Vel (HD 77464)	40.9 ± 5.44 41.5 ± 5.32	40.8 ± 4.70 41.5 ± 5.06	≈30 ≈30	[3] [18]
7 U Oph (HD 156247)	47.4 ± 12.0 51.9 ± 14.9	52.8 ± 12.5 54.4 ± 16.5	26 < 68 ≈30	[2] [33] [30]
8 DI Her (HD 175227)	13.3 ± 8.39 27.6 ± 15.4	13.3 ± 8.83 27.9 ± 14.9	43 40	[2] [27]
9 V 760 Sco (HD 147683)	18.9 ± 5.29 26.6 ± 19.3	19.5 ± 5.64 26.4 ± 23.6	17 16—39	[2] [12]
10 GG Lup (HD 135876)	26.6: 77.6 ± 12.2	26.4: 79.0 ± 10.5	≈20	[7]
11 ζ Phe (HD 6882)	77.6: 174 ± 0.10	79.0: 184 ± 16.3	80 110	[19] [2]
12 ξ ² Hya (HD 96314)	243 ± 42.2	242 ± 45.9	170 180 180	[3] [20] [2]
13 IQ Per (HD 24909)	149 ± 19.6 149:	148 ± 20.6 148:	110 140:	[35] [2]
14 PV Cas (HD 240208)	490 ± 74.1 494 ± 71	478 ± 55.7 486 ± 53.9	250	[16]
15 V 451 Oph (HD 170470)	333 ± 113 398 ± 161	342 ± 126 452 ± 164	300	[2]
16 WX Cep (HD 213631)	742 ± 6.99 735 ± 31.2	856 ± 51.9 786 ± 60.5	660	[2]
17 TZ Men (HD 39780)	264 ± 113 264:	261 ± 101 261:	380: ≈100	[2] [10]
18 V 1031 Ori (HD 38735)	735 ± 8.86 736 ± 18.3	879 ± 105 896 ± 253	≈700	[11]
19 β Aur (HD 40183)	734 ± 51.4 735 ± 45.2	756 ± 136 783 ± 163	300	[28] [2]
20 SZ Cen (HD 40183)	749 ± 0.78 752 ± 10.2	942 ± 54.7 970 ± 102	≈500	[3]
21 YZ Cas (HD 4161)	695 ± 69.4 1294 ± 535	692 ± 95.5 1417 ± 518	380 520 447	[34] [2] [24]
22 V 624 Her (HD 161321)	737 ± 0.45 1520 ± 79.9	993 ± 128 1400 ± 234	570:	[2]
23 GZ CMa (HD 56429)	736 ± 22.9 737 ± 227	845 ± 153 1044 ± 98.1	≈450	[42]
24 V 1647 Sgr (HD 163708)	398 ± 155 320 ± 44.2	316 ± 142 100 ± 17.7	100—200	[13]
25 EE Peg (HD 206135)	737 ± 7.3 1611 ± 472	964 ± 82.6 1553 ± 1275	300 690	[37] [2]
26 AI Hya (HD 0 +2259)	1680 ± 0.75 1690 ± 0.89	2086 ± 23.2 2028 ± 378		
27 VV Pyx (HD 71581)	598 ± 56.6 598 ± 56.6	604 ± 65.1 604 ± 65.1		
28 TZ For (HD 20301)	1711 ± 8 1706 ± 14	999 ± 367 2224 ± 32.5		
29 EK Cep (HD 206821)	5.71: 5.71 ± 0.15	1560 ± 243 1041 ± 502	1 (до ГП) 20 (до ГП) 210	[26] [41] [2]

Окончание табл. 2

Звезда	Возрасты, млн лет				
	по эволюционным трекам	по изохронам	по литературным данным		
30 WW Aur (HD 46052)	1170 ± 249 1640 ± 333	1177 ± 207 1525 ± 344	200—300 680	[32]	[2]
31 KW Hya (HD 79193)	1490 ± 124 1845 ± 471	1365 ± 264 1890 ± 658			
32 RS Cha (HD 75747)	1450 ± 79.1 1680 ± 156	1310 ± 223 1584 ± 359	≈800 ≈1000 900 1000:	[21]	[22] [4] [2]
33 MY Cyg (HD 193637)	2290 ± 5.26 2075 ± 57.2	2642 ± 313 2766 ± 296	830	[2]	
34 PV Pup (HD 62863)	2199 ± 695 1898 ± 717	2210 ± 937 1918 ± 905	1000	[44]	
35 V 442 Cyg (HD 334426)	3180 ± 259 3027 ± 127	3180 ± 234 3055 ± 306	1300	[36]	
36 RZ Cha (HD 93486)	3300 ± 1093 3300 ± 1093	4026 ± 542 4026 ± 542	≈2000 2000 2600: ≈1700	[14]	[22] [2] [29]
37 BW Aqr (BD 16 6074)	5100 ± 1899 4790 ± 602	5043 ± 511 5068 ± 509	2000	[31]	
38 DM Vir (HD 123423)	5090 ± 776 5090 ± 776	5243 ± 742 5243 ± 742	4000	[9]	
39 V 1143 Cyg (HD 185912)	1960 ± 353 1954 ± 387	1975 ± 365 1920 ± 427	≈2000 2700	[10]	[2]
40 UX Men (HD 37513)	5860 ± 1101 5960 ± 1069	3600 ± 802 2839 ± 1036	6000 6200:	[17]	[2]
41 AI Phe (HD 6980)	8270 ± 2811 5430 ± 1451	8570 ± 228 5670 ± 652	≈4000 4650	[23]	[42]
42 FL Lyr (HD 179890)	5426 ± 1069 8000 ± 606	2839 ± 1036 10400 ± 512	2500 8000:	[43]	[2]
43 EW Ori (HD 287727)	2165 ± 1209 6720 ± 1999	1970 ± 2216 7233 ± 1751			
44 HS Aur (BD+47.1350)	8210 ± 12.7 8215 ± 12.7	10460 ± 338 10080 ± 1055			

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнение полученных значений с данными других исследователей (табл. 2) показало хорошее согласие для звезд с массами от 25 до 2 M_{\odot} и плохое — для звезд с массами менее 2 M_{\odot} .

В настоящее время серьезно изучается область маломассивных звезд с массами около 1.2 M_{\odot} , в возрастном масштабе это соответствует времени пребывания на главной последовательности более 5 млрд лет, для которых, по-видимому, не имеет места процесс конвективного проникновения. Так, например, в работе [39] изучались старые скопления, подобные M67, и указано на отсутствие наблюдательного подтверждения конвективного проникновения, что и не удивительно, потому что звезды с массами менее 1.2 M_{\odot} вообще не имеют конвективных ядер. Для скоплений с возрастом от 4 до 5 млрд лет (массы 1.6 и 1.2 M_{\odot}) нужно проводить сравнения наблюдаемой последовательности и двух наборов изохрон, рассчитанных с учетом конвективного проникновения и без его учета, прежде чем выполнить оценку возраста. Это необходимо потому, что точное поведение ядра в зоне перехода 1.6—1.2 M_{\odot} неизвестно. Возможно, конвективные ядра в таких звездах уменьшаются и совсем исчезают вблизи массы 1.2 M_{\odot} . Это

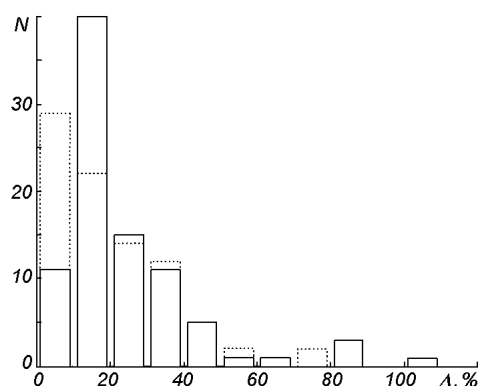


Рис. 2. Распределение числа компонентов тесных двойных систем из каталога [5] по ошибкам их возрастов: сплошная линия — определение возрастов по изохронам, пунктирная линия — на основе эволюционных треков

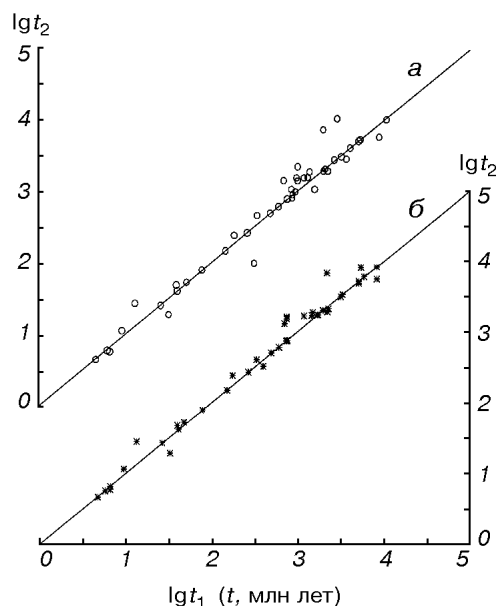


Рис. 3. Значения возрастов главных компонентов t_1 и спутников t_2 тесных двойных систем из каталога [5], вычисленных: *a* — по изохронам, *б* — по эволюционным трекам. Прямые — линии равных возрастов

поведение сильно влияет на определение возраста и формы треков. Отсутствие удовлетворительной теории для обработки зоны перехода и приводит к различиям в определении возрастов.

В нашей работе рассмотрены 27 компонентов, массы ко-

торых находятся в переходной зоне. Это вторичные компоненты систем TZ Men, YZ Cas, EE Peg, EK Cep, KW Hya, главные и вторичные компоненты систем PV Pup, V 442 Cyg, RZ Cha, BW Aqr, DM Vir, V1143 Cyg, UX Men, AI Phe, FL Lyr, EW Ori, HS Aur. Для них отмечено сильное расхождение разных оценок возрастов.

Для каждого компонента 44 затменно-двойных систем вычислены ошибки определения возраста, как по методу изохрон, так и по методу эволюционных треков. На рис. 2 представлено распределение числа компонентов тесных двойных систем из каталога Андерсена по относительным ошибкам их возрастов. Сплошная линия — оценки по изохронам, пунктирная — по эволюционным трекам. Максимумы этих распределений заключены в интервалах 10—20 % и 1—10 % соответственно.

На рис. 3 сравнивается возраст t_1 главных компонентов с возрастом t_2 спутников тесных двойных систем, вычисленных по изохронам и по эволюционным трекам. Видно, что возрасты главных компонентов и спутников отлично согласуются между собой, независимо от способа определения.

Другой важный вопрос, на который нужно ответить, состоит в следующем: можно ли разброс данных относительно прямой на рис. 3 объяснить исключительно неопределенностями начальных данных или необходима коррекция физической модели?

Мы оценили среднюю относительную ошибку $D\xi_1$ определения возраста для 88 компонентов и среднее относительное отклонение $D\xi_2$ систем от прямой равных возрастов. Оказалось, что при определении возраста по эволюционным трекам эти две ошибки почти совпадают: $D\xi_1 = 2.76\%$ и $D\xi_2 = 3.88\%$. Для метода определения возраста звезд по изохронам эти две ошибки различаются в два раза: $D\xi_1 = 3.31\%$ и $D\xi_2 = 6.62\%$. Иначе говоря, метод изохрон вносит собственную ошибку в определение возраста, добавляя ее к ошибке начальных данных. Это небольшое расхождение вполне допустимо, так как в методе изохрон используются построения дополнительных звездных треков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный расчет возрастов с учетом умеренного темпа переноса вещества от конвективного ядра на расстояние $0.25H_p$, где H_p — давление в масштабе высоты на радиусе классического ядра [38], и метода оптимальной интерполяции на базе таблиц [38] и дополнительно вычисленных таблиц можно считать надежным для молодых и средних по возрасту двойных систем, для которых достигнуто хорошее согласие с расчетами других авторов.

Большой интерес для нас представляла работа Мэдера и Мейнета [39], где подчеркивается необходимость учета переноса конвекцией при построении изохрон для звезд с $M > 1.6 M_\odot$. Мэдер и Мейнет рассчитали изохроны в теоретической диаграмме Герцшпрунга — Рессела для малых и средних возрастов, выраженных в десятичных логарифмах от 6.5 до 9.6 с учетом переноса конвекцией и для больших возрастов от 9.6 до 10.1, но без учета конвективного проникновения. Интересно отметить качественное сходство между изохронами из работы [39] и представленными здесь на рис. 1. В нашем расчете возрасты для маломассивных систем, как уже отмечалось, вычислялись на базе эволюционных моделей из [38], с начальными массами, меньшими $1.6 M_\odot$. Причем в моделях для начальных масс 1.5, 1.3 и $1.15 M_\odot$ учитывался процесс переноса конвекцией, а для начальных масс 1 и $0.85 M_\odot$ — нет.

Если бы были такие эволюционные модели, которые бы позволяли рассчитывать возраст маломассивных двойных систем начиная с $1.6 M_\odot$ без учета конвективного проникновения, но при сохранении остальных физических параметров, можно было бы устранить полученные различия возрастов главных компонентов и спутников. Так, у систем YZ Cas, V624 Her, EE Peg возрасты расходятся приблизительно в два раза, а у систем FL Lyr и EW Ori — в 3.5 раза. Оба метода дают высокие ошибки возрастов от 40—80 % для спутников в системах YZ Cas, EE Peg и обоих компонентов в системе EW Ori (здесь в методе изохрон ошибка для главного компонента превышает 100 %). Даже небольшие неопределенности светимостей и эффективных температур этих звезд, меньшие 25 %, способны дать довольно высокую ошибку возраста, так как звезды расположены в «хвостовой» части сетки изохрон. Эта узкая зона диаграммы чувствительна даже к небольшим ошибкам начальных данных (2—3 %). Большие ошибки возраста получены и для систем DI Her — 56 %, GG Lup — 72 %, TZ Men — 43 %, EK Cep — 48 %, PV Pup — 47 %, что также обусловлено их положением в «хвостовой» части изохрон.

Для систем YZ Cas, V624 Her, GZ CMa, EE Peg, WW Aur, MY Cyg, V442 Cyg, RZ Cha, BW Aqr, AI Phe отмечено сильное расхождение в возрастах компонентов (в 2—3 раза) по сравнению с оценками других исследователей. Одна из причин этого расхождения заключается в том, что современные спектроскопические и фотометрические элементы звезд из

каталога Андерсена гораздо точнее, чем ранее использованные значения. Другая причина связана с методами расчетов. Ранние оценки возрастов звезд, полученные Свечниковым с сотрудниками [2] по трекам Хейлесена [25] для систем V478 Cyg, YZ Cas, V624 Her, EE Peg, WW Aur, MY Cyg, RZ Cha, FL Lyr расходятся приблизительно в два раза, а для EK Ser — в 4 раза по сравнению с новыми оценками, выполненными на основе эволюционных треков [38], которые отличаются от треков [25].

В некоторых случаях разные оценки возрастов существенно расходятся. Например, систему EK Ser некоторые исследователи считают еще не вышедшей на главную последовательность [26, 41], другие оценивают ее возраст значением 200 млн лет [2]; здесь по методу эволюционных треков мы получили молодую систему с возрастом около 5.7 млн лет, тогда как метод изохрон дает возраст порядка 1—1.5 млрд лет.

Интересно сравнить некоторые наши результаты с выводами работы [40], где изучались тесные двойные системы из каталога [5] по эволюционным моделям с учетом эффекта усиленного перемешивания за пределами конвективного ядра и без такого учета. Как оказалось, для 80 % этой же выборки учет эффекта усиленного перемешивания (конвективного проникновения) не оказывает влияния на расчет возрастов и химического состава для каждого из компонентов — обе модели дают хорошее согласие возрастов компонентов в пределах наблюдательной ошибки. Исключение составили системы WX Ser, AI Hya, TZ For, для которых набор эволюционных моделей с учетом эффекта конвективного проникновения является предпочтительней, так как обеспечивает гораздо лучшее согласие с фундаментальными данными — массами и радиусами этих систем. В нашем расчете возрасты главных компонентов и спутников этих систем WX Ser, AI Hya, TZ For, вычисленные по эволюционным моделям с учетом конвективного проникновения, также совпадают, причем точность вычисления достаточно высока. Так, для системы WX Ser ошибка составила в среднем 2.59 %, для AI Hya — 0.049 %, для TZ For — 0.64 %.

Достоверность расчетов обеспечивают также светимости и эффективные температуры самих звезд, которые, как видно на примере вторичных компонентов систем GG Lyr, ζ Phe, IQ Per, TZ Men и главного компонента EK Ser, находящихся за пределами нулевой изохроны, обязательно нуждаются в уточнении. Поэтому в дальнейшем имеет смысл рассчитывать изохроны в координатах массы и радиуса, как наиболее точно определяемых фундаментальных характеристик звезды, которые, безусловно, обеспечат точность собственно изохрон и гарантируют достоверность возрастов.

Предложенный метод позволяет оценивать возраст компонентов затменных переменных звезд, однако практически не дает возможности воспроизвести саму изохрону на этот оцененный возраст. Используемых 18 точек слишком мало, чтобы выявить все линейные и нелинейные фазы изохроны, отображающиеся на соответствующие фазы треков.

Мы благодарны Е. Л. Перевозкиной за помощь в сборе информации и за большую работу с библиографией.

1. Закиров М. М. Тесные двойные системы в области рассеянных звездных скоплений. VI V 478 Cyg в Dol42 // Кинематика и физика небес. тел.—1993.—9, № 3.—С. 47—54.
2. Свечников М., Кузнецова Э. Оценка возраста затменных систем, обе компоненты которых являются звездами главной последовательности // Астрономо-геодезические исследования: Сб. науч. тр. — Екатеринбург: УрГУ, 1986.—С. 28—39.
3. Andersen J. Spectroscopic observations of eclipsing binaries. I. Description of methods and results for RS Chamaeleontis // Astron. and Astrophys.—1975.—44, N 2.—P. 453—458.
4. Andersen J. Spectroscopic observations of eclipsing binaries. I. Description of methods and results for RS Chamaeleontis and ξ^2 Hydrae // Astron. and Astrophys.—1975.—44, N 2.—P. 445—458.

5. *Andersen J.* Accurate masses and radii of normal stars // *Astron. and Astrophys. Rev.*—1991.—3.—P. 9—126.
6. *Andersen J., Clausen J. V.* Absolute dimensions of eclipsing binaries. XV. EM Carinae // *Astron. and Astrophys.*—1989.—213, N 1/2.—P. 183—194.
7. *Andersen J., Clausen J. V., Gimenez A.* Absolute dimensions of eclipsing binaries XX. GG Lupi: young metal-deficient B stars // *Astron. and Astrophys.*—1993.—277, N 2.—P. 439—451.
8. *Andersen J., Clausen J. V., Nordstrom B., B. Reipurth* Absolute dimensions of eclipsing binaries. I. The early-type detached system QX Carinae // *Astron. and Astrophys.*—1983.—121, N 2.—P. 271—280.
9. *Andersen J., Clausen J. V., Nordstrom B.* Absolute dimensions of eclipsing binaries. VI. The F-type system DM Virginis // *Astron. and Astrophys.*—1984.—137, N 2.—P. 281—286.
10. *Andersen J., Clausen J. V., Nordstrom B.* Absolute dimensions of eclipsing binaries. XII. TZ Menzae // *Astron. and Astrophys.*—1987.—175, N 1/2.—P. 60—70.
11. *Andersen J., Clausen J. V., Nordstrom B.* Absolute dimensions of eclipsing binaries. XII. TZ Mensae // *Astron. and Astrophys.*—1990.—228, N 2.—P. 365.
12. *Andersen J., Clausen J. V., Nordstrom B., Popper D. M.* Absolute dimensions of eclipsing binaries. V750 Scorpii // *Astron. and Astrophys.*—1985.—151, N 2.—P. 329—339.
13. *Andersen J., Gimenez A.* Absolute dimensions of eclipsing binaries. VII. V1647 Sagittarii // *Astron. and Astrophys.*—1985.—145, N 1.—P. 206—214.
14. *Andersen J., Gjerloff H., Imbert M.* Spectroscopic observations of eclipsing binaries. II. Absolute dimensions, evolutionary state and helium content of RZ Chamaeleontis // *Astron. and Astrophys.*—1975.—44, N 1.—P. 349—353.
15. *Clausen J. V., Gimenez A.* Absolute dimensions of eclipsing binaries. XVIII. The Cepheus OB 3 member CW Cephei // *Astron. and Astrophys.*—1991.—241, N 1.—P. 98—106.
16. *Clausen J. V., Gimenez A., Scarfe C.* Absolute dimensions of eclipsing binaries. XI. V451 Ophiuchi // *Astron. and Astrophys.*—1986.—167, N 2.—P. 287—296.
17. *Clausen J. V., Gronbech B.* Four-colour photometry of eclipsing binaries. IV. UX Mensae, light curves, photometric elements, and absolute dimensions // *Astron. and Astrophys.*—1976.—48, N 1.—P.49—53.
18. *Clausen J. V., Gronbech B.* Four-colour photometry of eclipsing binaries. VIII. CV velorum, light curves, photometric elements and absolute dimensions // *Astron. and Astrophys.*—1977.—58, N 1-2.—P. 131—137.
19. *Clausen J. V., Gyldenkerne K., Gronbech B.* Four-colour photometry of eclipsing binaries. III. b. η Phoenicis analysis of light curves and determination of absolute dimensions // *Astron. and Astrophys.*—1976.—46, N 2.—P. 205—212.
20. *Clausen J. V., Nordstrom B.* Four-colour photometry of eclipsing binaries. X. A. Photometric elements, absolute dimensions and helium abundances of ξ^2 Hydrae // *Astron. and Astrophys.*—1978.—67, N 1.—P. 15—22.
21. *Clausen J. V., Nordstrom B.* Four-colour photometry of eclipsing binaries. XI. A. Photometric elements, absolute dimensions and helium abundance of RS Chamaeleontis // *Astron. and Astrophys.*—1980.—83, N 3.—P. 339—347.
22. *Giuricin G., Mardirossian F., Mezzetti M., Predolin F.* Revised photometric elements of the detached eclipsing binaries RS Cha, RZ Cha and HS Hya // *Astron. and Astrophys.*—1980.—85, N 1/2.—P. 259—262.
23. *Grivnak B. J., Milone E. F.* Observations analysis and absolute parameters of the evolved binary AI Phoenicis // *Astrophys. J.*—1984.—282, N 2.—P. 748—757.
24. *Heintze J. R. W.* The Utrecht photometric system (=UPS) and some results with it // *Space Sci. Rev.*—1989.—50, N 1/2.—P. 257—268.
25. *Hejlesen P. M.* Studies in stellar evolution. II. Age and mass calibrations for hydrogen burning evolutionary stages // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1980.—39.—P. 347—377.
26. *Hill G., Ebbighauzen E.* Photometric elements of the eclipsing binary EK Cephei // *Astron. J.*—1984.—89, N 8.—P. 1256—1260.
27. *Holmgren D. E., Hill G., Fisher W.* Absolute dimensions of early-type eclipsing binary stars. III. U Ophiuchi // *Astron. and Astrophys.*—1991.—248, N 1.—P. 129—138.
28. *Johansen K. T.* Light curve and photometric elements of β Aurigae // *Astron. and Astrophys.*—1971.—12, N 2.—P. 165—174.
29. *Jorgensen H. E.* Four-colour photometry of eclipsing binaries. XIIb. TV Cet, light curves, photometric elements and determination of helium content // *Astron. and Astrophys.*—1979.—72, N 3.—P. 356—360.
30. *Kamper B. C.* Light-time orbit and apsidal motion of the eclipsing binary U Ophiuchi // *Astrophys. and Space Sci.*—1986.—120, N 2.—P. 167—189.
31. *Khaliullin Kh. F., Kozyreva V. S.* Apsidal motion in the eclipsing binary system of BW Aqr // *Astrophys. and Space Sci.*—1986.—120, N 1.—P. 9—16.
32. *Kitamura M., Kim T.-H., Kiyokawa M.* Investigation of the metallic-line eclipsing binary system WW Aurigae. Pt.2 Spectrographic study // *Ann. Tokyo Astron. Observ.*—1976.—16, N 1.—

- Р. 22—36.
33. Koch R. H., Koegler C. A. A new photometric analysis of U Ophiuchi // *Astrophys. J.*—1977.—214, N 2.—P. 423—429.
 34. Lacy C. H. Absolute dimensions and masses of eclipsing binaries. II. YZ Cassiopeiae // *Astrophys. J.*—1981.—251, N 2.—P. 591—596.
 35. Lacy C. H., Frueh M. L. Absolute dimensions and masses of eclipsing binaries. V. IQ Per // *Astrophys. J.*—1985.—295, N 2.—P. 569—579.
 36. Lacy C. H., Frueh M. L. Properties of the main-sequence eclipsing binary V442 Cygni // *Astrophys. J.*—1987.—94, N 3.—P. 712—722.
 37. Lacy C. H., Popper D. M. Absolute dimensions and masses of eclipsing binaries. IV. EE Pegasi is a triple star // *Astrophys. J.*—1984.—281, N 1.—P. 268—275.
 38. Maeder A., Meynet G. Tables of evolutionary star models from 0.85 to 120 Mo with overshooting and mass loss // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1988.—76.—P. 411—425.
 39. Maeder A., Meynet G. Tables of isochrones computed from stellar models with mass loss and overshooting // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1991.—89.—P. 451—467.
 40. Pols O. R., Tout C. A., Schroder K-P., et al. Further critical tests of stellar evolution by means of double-line eclipsing binaries // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1997.—289, N 4.—P. 869—881.
 41. Popper D. M. A pre Main Sequence star in the detached binary EK Cephei // *Astron. J.*—1987.—313, N 2.—P. 81—83.
 42. Popper D. M., Andersen J., Clausen J. V., Nordstrom B. Absolute dimensions of eclipsing binaries. IX. The early Am system GZ Canis Majoris // *Astrophys. J.*—1985.—90, N 1.—P. 1324—1333.
 43. Popper D. M., Lacy C. H., Frueh M. L., Turner A. E. Properties of Main Sequence eclipsing binaries: into the G-stars with HS Aurigae, FL Lyrae and EW Orionus // *Astrophys. J.*—1986.—91, N 2.—P. 383—404.
 44. Vaz L. P. R., Andersen J. Absolute dimensions of eclipsing binaries. IV. PV Puppis a detached late A-type system with equal intrinsically variable components // *Astron. and Astrophys.*—1984.—132, N 1.—P. 219—228.

Поступила в редакцию 20.09.99