

А. М. ЧЕРЕПАЩУК

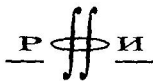
ТЕСНЫЕ ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ

часть
II



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2013

УДК 524.4
ББК 22.65
Ч 46



*Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований по проекту 12-02-07104,
не подлежит продаже*

Черепашук А. М. **Тесные двойные звезды.** В 2 ч. **Часть II.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 572 с. — ISBN 978-5-9221-1467-7.

Благодаря успехам рентгеновской астрономии проблема тесных двойных звезд стала одной из центральных в астрофизике. В монографии изложены современные методы и результаты исследований тесных двойных звезд и сведения об их фундаментальных характеристиках — массах, радиусах и температурах. Это делает тесные двойные звезды мощным инструментом для исследования физики и эволюции звезд, а также для открытия и изучения принципиально новых объектов Вселенной — нейтронных звезд и черных дыр.

Монография может быть полезна студентам и аспирантам, профессорам и преподавателям университетов, а также научным работникам, интересующимся проблемами физики звезд и релятивистской астрофизики.

ISBN 978-5-9221-1467-7 (Ч. II)

ISBN 978-5-9221-1522-3

© ФИЗМАТЛИТ, 2013

© А. М. Черепашук, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава V. Затменные системы звезд с протяженными атмосферами	7
1. Введение	7
2. Характеристики звезд Вольфа–Райе	8
3. Постановка задачи	22
4. Метод интерпретации кривых блеска затменных систем с протяженными атмосферами	32
5. Интерпретация кривой блеска затменной системы V 444 Cyg на множестве выпукло-вогнутых функций	37
а) Постановка задачи	39
б) Алгоритм решения обратной задачи на множестве выпукло-вогнутых невозрастающих неотрицательных функций	41
в) Результаты решения обратной задачи	45
г) Решение, соответствующее абсолютному минимуму суммарной невязки	46
д) Решение, соответствующее наблюдаемой относительной светимости компоненты WN5	48
е) Абсолютные значения параметров системы	49
ж) Поле скоростей в ветре звезды WN5	49
з) Заключение	52
6. Восстановление поля скоростей в ветре звезды WN5 в системе V 444 Cyg в рамках параметрической модели	52
а) Постановка задачи	53
б) Обсуждение результатов. Ректифицированная кривая блеска $\lambda 4244 \text{ \AA}$	55
7. Затменная двойная система WN3(h)+O5V BAT 99-129: анализ кривой блеска MACHO и характеристики компонент	61
а) Метод интерпретации кривой блеска	64
б) Интерпретация кривой блеска BAT 99-129	67
в) Неректифицированная кривая блеска	67
г) Ректифицированная кривая блеска	70
д) Параметры системы BAT 99-129 и ее эволюционный статус	72
е) Заключение	76
8. Параметры звезды WR в пекулярной рентгеновской двойной системе Cyg X-3	77
9. Параметры и эволюционная стадия звезд WR в очень массивной затменной системе WR20a (WN6ha+WN6ha)	83
Глава VI. Новые методы исследований	98
1. Методы определения масс релятивистских объектов в двойных системах	98
а) Рентгеновские пульсары в двойных системах	98
б) Черные дыры в рентгеновских двойных системах	101
в) Радиопулсары в двойных системах	109
2. Возможность спектроскопической оценки параметров классических ТДС по релятивистским эффектам	119
3. Параметры внесолнечных планет, полученные из анализа затмений	127
4. Поляризационные исследования ТДС	151
а) Введение	151
б) Синтез кривых изменения поляризации для ТДС	155

в) Орбитальная переменность линейной поляризации в двойных системах, содержащих компоненту с протяженной атмосферой	167
5. Доплеровская томография ТДС	177
6. О влиянии рефракции излучения в атмосферах звезд на кривые блеска затменных двойных систем	184
7. Анализ дифракционных кривых блеска, наблюдаемых при покрытии звезд Луной	189
а) Постановка задачи	190
б) Алгоритм решения задачи	194
в) Результаты модельных расчетов	195
г) Результаты интерпретации дифракционной кривой затмения Луной звезды $61\delta^1\text{Tau}$	196
8. Поиски экзотических форм материи из анализа кривых блеска при гравитационном микролинзировании	200
а) Кандидаты в черные дыры, обнаруженные по гравитационному микролинзированию	201
б) Возможность обнаружения «кротовой норы» по эффектам гравитационного микролинзирования	204
в) Возможность поиска NUT-объектов по эффектам гравитационного микролинзирования	213
Глава VII. Об эволюции тесных двойных систем	220
1. Введение	220
2. Изменение параметров орбиты ТДС в процессе ее эволюции	222
а) Медленная мода	223
б) Промежуточная мода	226
в) Джинсовская мода	226
г) Изотропное «переизлучение»	228
д) Стадия с общей оболочкой	229
е) Эволюция ТДС под влиянием магнитного звездного ветра	231
ж) Эволюция ТДС под влиянием излучения гравитационных волн	232
3. Эволюция звезд	233
4. Эволюция ТДС с обменом масс	243
5. Эволюционные сценарии для ТДС и популяционный синтез	255
6. Массообмен в ТДС	273
а) Введение	273
б) Истечение через точку L_1	275
в) Формирование газовой струи и диска	279
г) Свойства аккреционного диска	282
7. Современные трехмерные модели течения газа во взаимодействующих ТДС	289
8. Столкновение сверхзвуковых звездных ветров в ТДС	293
а) Об ускорении звездных ветров горячих звезд	296
б) Газодинамические модели столкновения звездных ветров в двойных WR+O- и O+O-системах	300
в) Взаимодействие звездного ветра с компактным объектом в ТДС	314
Глава VIII. Тесные двойные звездные системы на поздних стадиях эволюции	317
1. Общие сведения о поздних ТДС	317
2. Массивные ТДС	317
а) WR+OB-системы	317

б) «Спокойные» рентгеновские двойные	322
в) Массивные транзиентные рентгеновские двойные с Ве-звездами	322
г) Квазистационарные массивные рентгеновские двойные	323
д) Двойные WR_2+c -системы	324
3. Маломассивные поздние ТДС	324
а) Рентгеновские новые	324
б) Яркие рентгеновские двойные галактического балджа	326
в) Рентгеновские барстеры	326
г) Катаклизмические двойные системы	326
д) Симбиотические двойные системы	328
е) «Ультрмягкие» рентгеновские двойные	328
4. Голубые переменные высокой светимости (LBV-объекты)	329
5. Радиопульсары в двойных системах	329
6. Важнейшие результаты	330
7. Рентгеновские новые	331
а) Введение	331
б) Общие сведения о рентгеновских новых	336
в) Рентгеновские спектры	343
г) Рентгеновские и оптические кривые блеска во время вспышки	348
д) Рентгеновское излучение во время спокойного состояния	354
е) Оптическое излучение в спокойном состоянии	359
ж) Квазипериодические осцилляции (QPO) и сверхгорбы в рентгеновских новых	364
з) Характерные параметры кривых блеска во время вспышки	367
и) Разнообразие и распределение рентгеновских новых	370
к) О природе рентгеновских вспышек	371
л) Релятивистские джеты в рентгеновских новых	376
м) Свойства рентгеновских новых, как тесных двойных систем	378
н) Характеристики оптических звезд в рентгеновских новых	382
о) Эволюционные аспекты	386
8. Черные дыры в двойных звездных системах	389
а) Общие замечания	389
б) Методы поиска черных дыр	391
в) Массы черных дыр в рентгеновских двойных системах	394
1. Система Cyg X-1 (394). 2. Система LMC X-3 (398). 3. Система A0620-00 (V 616 Mon) (398). 4. Система GS 2023+338 (V 404 Cyg) (399). 5. Система GRS 1124-68 (XN Mus 1991=GU Mus) (400). 6. Система GS 2000+25 (QZ Vul) (401). 7. Система GRO J1655-40 (XN Sco 1994) (401). 8. Система H 1705-250 (V 2107 Oph) (402). 9. Система GRO J0422+32 (XN Per 1992=V518 Per) (403). 10. Система LMC X-1 (404). 11. Система 4U 1543-47 (HL Lup) (405). 12. Система GRS 1009-45 (MM Vel) (405). 13. Система SAX J1819,3-2525 (V 4641 Sgr) (405). 14. Система XTE J1118+480 (407). 15. Система GRS 1915+105 (408). 16. Система GX 339-4 (V 821 Ara) (409). 17. Система RX J1826,2-1450 (LS 5039) (410). 18. Система SS 433 (411). 19. Система M 33 X-7 (414). 20. Система IC 10 X-1 (415). 21. Система Cyg X-3 (417). 22. Система XTE J1550-564 (420). 23. Система XTE J1859+226 (420). 24. Система NGC 300 X-1 (420). 25. Система XTE J1650-500 (421). 26. Система GS 1354-64 (BW Cir) (422).	
г) Массы нейтронных звезд в двойных системах	423
д) Массы белых карликов и их распределение	432
е) Обсуждение результатов	442

9. Распределение масс релятивистских объектов, звезд WR и их СО-ядер в двойных системах	448
а) Релятивистские объекты	449
б) Звезды WR и их СО-ядра в конце эволюции	461
10. Массы звездных черных дыр и возможности проверки теорий гравитации.	466
а) О методах определения масс черных дыр в двойных системах	466
б) О наблюдаемом распределении масс черных дыр	470
в) Начальное распределение масс черных дыр: прямые расчеты	470
г) Изменение массы черной дыры при дальнейшей эволюции	471
д) Распределение масс черных дыр, вытекающее из функции светимости рентгеновских источников в галактиках	472
е) Усиленное испарение черных дыр в некоторых современных моделях гравитации	474
ж) Начальная функция распределения масс черных дыр: обратная задача	476
з) Заключение	478
11. Возможные изменения орбитальных периодов рентгеновских двойных систем, обусловленные усиленным квантовым испарением черных дыр.	479
Глава IX. Статистические исследования тесных двойных систем	486
1. Классификация ТДС	486
Разделенные системы	487
1. Разделенные системы главной последовательности (РГП) (487). 2. Разделенные системы с субгигантом (487). 3. Системы с двумя субгигантами (487). 4. Системы с гигантами или сверхгигантами (487). 5. Системы на стадии до главной последовательности (487).	
Полуразделенные системы (ПР)	488
1. Горячие и холодные алголи (488). 2. Двухконтактные системы (488). 3. Системы с дефицитом масс компонент (типа R CMa) (488). 4. Системы на ранней стадии обмена масс (488). 5. Системы с прерванным контактом между компонентами (488).	
Контактные системы.	489
1. Контактные системы поздних спектральных типов (489). 2. Контактные системы ранних спектральных классов (489). 3. Почти контактные системы (489).	
2. Разнообразие тесных двойных систем	490
1. Разделенные затменные системы (491). 2. Полуразделенные ТДС (491). 3. Системы типа RS CVn и BY Dra (называемые также хромосферно-активными двойными) (491). 4. Контактные системы типа W UMa (491). 5. Катаклизмические переменные и новоподобные двойные (492). 6. Рентгеновские двойные системы с нейтронными звездами и черными дырами (492). 7. Системы типа ζ Aurigae и VV Serphei, а также WR+OB-системы (492). 8. Симбиотические двойные системы (493). 9. Барьерные системы и системы, содержащие S-звезды (493). 10. ТДС на стадии эволюции после общей оболочки (493).	
3. Статистические зависимости между основными параметрами звезд-компонент ТДС	494
4. Функция образования двойных звезд в Галактике	498
5. Исследования ТДС в звездных скоплениях.	500
6. Тройные и кратные системы	502
7. Об образовании двойных и кратных звездных систем	507
Заключение	512
Список литературы	514