

А. М. ЧЕРЕПАЩУК

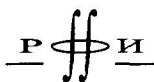
ТЕСНЫЕ ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ

часть
I



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 I.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. — 560 с. — ISBN 978-5-9221-1416-5.

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 978-5-9221-1416-5 (Ч. I)
ISBN 978-5-9221-1522-3

© ФИЗМАТЛИТ, 2013
© А. М. Черепашук, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
Введение	8
Глава I. Простые модели	13
1. Спектральные наблюдения ТДС	13
2. Анализ кривых лучевых скоростей ТДС.	16
3. Анализ кривых блеска	36
4. Прямой метод интерпретации кривой блеска затменной системы двух сферических звезд на круговой орбите	44
5. Учет влияния третьего света в системе	55
6. Метод Рессела	57
7. Эллиптические орбиты	60
8. Вращение линии апсид	68
9. Определение концентрации вещества в теле звезды по наблюдаемому вращению линии апсид в двойной системе	72
10. Влияние третьего тела на моменты минимумов затменной системы	80
11. О возможных механизмах изменения эксцентриситета орбиты в тесных двойных системах	86
12. Возможные причины изменения орбитальных периодов тесных двойных систем	88
13. Эффекты эллипсоидальности и отражения	96
14. О ректификации кривых блеска затменных систем	108
Глава II. Параметрические модели в обратных задачах астрофизики	111
1. Введение	111
2. Статистическая постановка конечно-параметрической обратной задачи	112
3. Проверка статистических гипотез	113
4. Построение доверительных областей	114
5. Случай линейных параметров: выбор статистики $\Delta(\tilde{u}, \bar{\theta})$	116
6. Случай нелинейных параметров; «точные» доверительные области	121
7. Случай нелинейных параметров; асимптотические доверительные области	124
8. Астрофизические приложения и практические рекомендации.	127
9. Оценка ошибок параметров; случай классической ТДС	131
10. Численный эксперимент по оценке надежности методов дифференциальных поправок, Монте-Карло и метода доверительных областей	144
а) Метод дифференциальных поправок	146
б) Метод Монте-Карло	147
10.1. Метод доверительных областей	148
а) Статистика χ^2_P	148
б) Статистика χ^2_M	149
в) Статистика Фишера $F_{M,N-M}$	150

11. Анализ результатов численного моделирования	151
12. Интерпретация наблюдаемой кривой блеска классической затменной системы YZ Cas	155
13. Поиск коэффициентов потемнения к краю компонент затменной системы YZ Cas	159
14. Аналитическое соотношение между интервалами ошибок, полученными с использованием статистик, распределенных по законам χ^2_M , χ^2_P , и методом дифференциальных поправок	164
15. Новый метод оценки ошибок параметров	170
16. Уровень значимости, соответствующий статистике приведенного хи-квадрат.	180
17. Обсуждение результатов	181
а) Метод дифференциальных поправок	181
б) Метод Монте-Карло	182
в) Метод, основанный на использовании статистики χ^2_P	182
г) Метод, основанный на использовании статистики χ^2_M	183
д) Метод, основанный на использовании статистики Фишера $F_{M,N-M}$	184
Глава III. Модель Роша	188
1. Безразмерный потенциал.	188
2. Синтез оптических кривых блеска рентгеновских двойных систем	197
3. Синтез кривых блеска, профилей линий и кривых лучевых скоростей классических тесных двойных систем.	212
4. Решение модельных задач	226
5. Синтез профилей линий и кривых лучевых скоростей оптических звезд в рентгеновских двойных системах	232
6. Моделирование теоретических профилей спектральных линий оптической звезды в рентгеновской двойной системе	240
Глава IV. Применения модели Роша	251
1. Введение	251
2. Проверка эволюционного статуса звезд в массивных ТДС.	251
3. Проверка эволюционного статуса звезд умеренных масс в ТДС типа Алголя	261
4. Оценка распределения угловой скорости вращения внутри звезды из анализа наблюдаемого поворота линии апсид в тесных двойных системах.	271
5. Определение возрастов звезд-компонент разделенных ТДС	282
6. Абсолютные характеристики разделенной затменной двойной системы WW Aurigae, содержащей Am-звезды	289
7. Анализ кривых блеска контактных затменных двойных систем типа W UMa	297
8. Эволюционный статус контактных затменных двойных систем	301
9. Анализ кривых блеска хромосферно-активной двойной системы SV Cam (типа RS CVn).	313
10. Анализ кривых блеска массивной галактической затменной двойной системы CPD-41°7742 с наблюдаемым эффектом столкновения звездных ветров	315
11. Анализ кривой блеска незатменной массивной ТДС HD 93205 (O3V+O8V) с эллиптической орбитой	319
12. Определение коэффициентов гравитационного потемнения в полуразделенных ТДС	324
13. Возможности анализа распределений яркости для компонент затменных систем по данным высокоточной спутниковой фотометрии	329

14. RY Sct — массивная двойная система на стадии превращения в систему WR+OB	336
15. Исследование затменных кривых блеска катаклизмических двойных систем в рамках модели аккреционного диска с «горячей линией»	342
16. Параметры звезд-доноров в катаклизмических двойных системах	359
17. Параметры рентгеновской новой Мухи 1991 г. (GRS 1124-68), полученные из анализа орбитальной кривой блеска в спокойном состоянии	373
18. Определение параметров рентгеновской двойной системы SS 433, находящейся в сверхкритическом режиме аккреции	378
19. Зависимость формы профиля линии поглощения и кривой лучевых скоростей оптической звезды рентгеновской двойной системы от наклона орбиты и отношения масс компонент	396
а) Тестовый расчет 1. Влияние аппроксимации локального профиля на теоретическую кривую лучевых скоростей	400
б) Тестовый расчет 2. Влияние значения эффективной температуры оптической звезды на теоретическую кривую лучевых скоростей	401
в) Расчет кривых лучевых скоростей без учета влияния аппаратной функции на теоретический профиль линии поглощения	403
г) Расчет кривых лучевых скоростей с учетом влияния аппаратной функции на теоретический профиль линии поглощения	407
д) Обсуждение результатов	410
г) Заключение	412
20. Оценка наклона орбиты и массы черной дыры по кривой лучевых скоростей в рентгеновской двойной системе Cyg X-1	413
а) Наблюдательный материал	413
б) Интерпретация средней кривой лучевых скоростей	415
в) Ограничение на массу черной дыры, следующее из кривой лучевых скоростей	420
г) Оценка массы черной дыры на основе информации о радиусе оптической звезды	421
д) Оценка массы черной дыры на основе информации о светимости оптической звезды	422
е) Обсуждение результатов	423
ж) Оценка наклона орбиты по кривой лучевых скоростей в случае эллиптической орбиты системы	426
з) Заключение	428
21. Массы рентгеновских пульсаров в двойных системах с ОВ-сверхгигантами	429
а) Наблюдательный материал	433
б) Исследование эффекта анизотропии звездного ветра в атмосфере ОВ-звезды	439
в) Интерпретация кривых лучевых скоростей	441
г) Заключение	446
22. Масса релятивистского объекта в маломассивной рентгеновской двойной системе 2S 0921-630	448
а) Наблюдательный материал	449
б) Анализ кривой лучевых скоростей	450
в) Модель 1. Анализ наблюдаемой кривой лучевых скоростей без учета экранирования рентгеновского излучения аккреционным диском	451
г) Модель 2. Анализ наблюдаемой кривой лучевых скоростей с учетом экранирования рентгеновского излучения аккреционным диском	456
д) Модель 3. Анализ наблюдаемой кривой лучевых скоростей в предположении анизотропного рентгеновского излучения аккреционного диска	457
е) Обсуждение результатов	459
ж) Заключение	461

23. Масса компактного объекта в рентгеновской двойной системе 4U 1700-37	461
Введение	461
а) Наблюдательный материал	462
б) Интерпретация кривых лучевых скоростей	464
в) Определение масс компонент	471
Определение на основе значения ускорения силы тяжести оптической звезды (471). Определение на основе информации о радиусе оптической звезды (471). Определение на основе зависимости «масса–светимость» (472).	
г) Заключение	472
24. Анализ кривой лучевых скоростей оптической звезды в рентгеновской двойной системе HZ Her (Her X-1)	473
а) Наблюдательный материал	474
б) Модель двойной системы и алгоритм вычисления кривой лучевых скоростей	475
в) Анализ наблюдаемой кривой лучевых скоростей	477
г) Результаты, полученные с экспрессным алгоритмом	479
д) Результаты, полученные с точным алгоритмом	481
е) Интегральный профиль линии $H\gamma$ и кривая лучевых скоростей с учетом не-ЛТР-эффектов	483
ж) Обсуждение результатов	484
25. Масса черной дыры в рентгеновской двойной системе M 33 X-7 и эволюционный статус систем M 33 X-7 и IC 10 X-1, расположенных в галактиках Местной группы.	485
а) Наблюдательные данные	486
б) Анализ наблюдаемой кривой лучевых скоростей	487
в) Эволюционные сценарии для рентгеновских двойных систем M 33 X-7 и IC 10 X-1	493
г) Заключение	500
Заключение к части I	502
Список литературы	503