

# Содержание

## ЧАСТЬ 1

От редактора перевода .....	5
Предисловие .....	9
Рекомендации по использованию книги .....	13
<b>Глава 1. ГИБЕЛЬ ЗВЕЗД И ОБРАЗОВАНИЕ КОМПАКТНЫХ ОБЪЕКТОВ .....</b>	<b>15</b>
1.1. Что такое компактные объекты? .....	15
1.2. Образование компактных объектов .....	17
1.3. Статистика рождения и гибели звезд .....	20
<b>Глава 2. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ХОЛОДНОГО ВЕЩЕСТВА НИЖЕ ТОЧКИ ОБРАЗОВАНИЯ НЕЙТРОННЫХ КАПЕЛЬ .....</b>	<b>32</b>
2.1. Предварительные сведения из термодинамики .....	32
2.2. Сведения из кинетической теории .....	37
2.3. Уравнение состояния полностью вырожденного идеального ферми-газа .....	38
2.4. Электростатические поправки к уравнению состояния .....	43
2.5. Обратный $\beta$ -распад: холодный идеальный $n$ - $p$ - $e$ -газ .....	53
2.6. Бета-равновесие между релятивистскими электронами и ядрами. Уравнение состояния Гаррисона—Уилера .....	56
2.7. Уравнение состояния Бейма—Петика—Сазерленда .....	63
<b>Глава 3. БЕЛЫЕ КАРЛИКИ .....</b>	<b>69</b>
3.1. Развитие теории белых карликов .....	69
3.2. Начальная стадия вырождения .....	71
3.3. Политропы .....	75
3.4. Предел Чандрасекара .....	78
3.5. Усовершенствование чандрасекаровской модели белых карликов .....	80
3.6. Сравнение с наблюдениями: массы и радиусы .....	84
3.7. Пикноядерные реакции .....	86
<b>Глава 4. ОСТЫВАНИЕ БЕЛЫХ КАРЛИКОВ .....</b>	<b>95</b>
4.1. Структура поверхностных слоев .....	95
4.2. Элементарный анализ остывания белых карликов .....	98
4.3. Кристаллизация и температура плавления .....	101
4.4. Теплоемкость кулоновской решетки .....	105
4.5. Уточненный анализ остывания белых карликов .....	113
4.6. Сравнение с наблюдениями .....	115
<b>Глава 5. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ .....</b>	<b>119</b>
5.1. Что такое общая теория относительности? .....	119
5.2. Движение пробных частиц .....	126
5.3. Гравитационное красное смещение .....	132
5.4. Предел слабого поля .....	134
5.5. Геометрическая система единиц .....	135
5.6. Сферически-симметричные гравитационные поля .....	135
5.7. Сферические звезды .....	137

<b>Глава 6. РАВНОВЕСИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЖИДКИХ ТЕЛ</b> .....	140
6.1. Основные уравнения движения сплошной среды .....	141
6.2. Лагранжевы и эйлеровы возмущения .....	143
6.3. Возмущения интегральных величин .....	144
6.4. Равновесие как условие экстремума энергии .....	147
6.5. Возмущения вблизи состояния равновесия .....	149
6.6. Функция Лагранжа для возмущений .....	153
6.7. Критерии устойчивости .....	155
6.8. Точки поворота и возникновение неустойчивости .....	159
6.9. Анализ устойчивости с учетом эффектов общей теории относительности .....	163
6.10. Устойчивость белых карликов в общей теории относительности .....	168
<b>Глава 7. ВРАЩЕНИЕ И МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ</b> .....	173
7.1. Уравнения магнитной гидродинамики .....	173
7.2. Магнитные белые карлики .....	176
7.3. Вращающиеся системы: сфериды Маклорена .....	179
7.4. Вращающиеся белые карлики .....	186
7.5. Критерии устойчивости для вращающихся звезд .....	195
<b>Глава 8. УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ХОЛОДНОГО ВЕЩЕСТВА ВЫШЕ ТОЧКИ ОБРАЗОВАНИЯ НЕЙТРОННЫХ КАПЕЛЬ</b> .....	198
8.1. Введение .....	198
8.2. Уравнение состояния Бейма—Бете—Петика .....	199
8.3. Нуклон-нуклонное взаимодействие .....	207
8.4. Насыщение ядерных сил .....	212
8.5. Зависимость нуклон-нуклонного потенциала от расстояния .....	218
8.6. Потенциал Юкавы .....	219
8.7. Метод Хартри .....	221
8.8. Метод Хартри—Фока .....	224
8.9. Корреляционные эффекты .....	228
8.10. Уравнение состояния Бете—Джонсона .....	230
8.11. Нерешенные вопросы. $\Delta$ -резонанс .....	239
8.12. Нерешенные вопросы. Пионная конденсация .....	240
8.13. Нерешенные вопросы. Сверхвысокие плотности .....	245
8.14. Нерешенные вопросы. Кварковая материя .....	248

## ЧАСТЬ 2

<b>Глава 9. МОДЕЛИ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД: МАССЫ И РАДИУСЫ</b> .....	261
9.1. Нейтронные звезды: история идеи и открытия .....	261
9.2. Уравнение состояния идеального газа в ядерной области .....	263
9.3. Реалистические теоретические модели .....	269
9.4. Измерения масс нейтронных звезд .....	273
9.5. Максимальная масса .....	278
9.6. Влияние вращения .....	284
<b>Глава 10. ПУЛЬСАРЫ</b> .....	288
10.1. История и открытие .....	288
10.2. Действительно ли пульсары являются вращающимися нейтронными звездами? .....	289
10.3. Наблюдаемые свойства пульсаров .....	290
10.4. Мера дисперсии .....	297

10.5.	Модель магнитного диполя для пульсаров .....	299
10.6.	Показатель торможения .....	304
10.7.	Невакуумные модели пульсаров. Соосный ротатор .....	309
10.8.	Механизмы излучения пульсаров .....	310
10.9.	Сверхтекучесть в нейтронных звездах .....	312
10.10.	Сбои пульсаров и адронная сверхтекучесть .....	315
10.11.	Происхождение сбоев пульсаров: звездотрясения .....	322
<b>Глава 11.</b>	<b>ОСТЫВАНИЕ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД .....</b>	<b>328</b>
11.1.	Введение .....	328
11.2.	Реакции с излучением нейтрино в нейтронных звездах ( $T \leq 10^9$ К) .....	329
11.3.	Теория слабого взаимодействия .....	332
11.4.	Распад свободного нейтрона .....	334
11.5.	Скорость модифицированных урка-процессов .....	337
11.6.	Скорости других реакций .....	342
11.7.	Проникающая способность нейтрино .....	347
11.8.	Кривые остывания .....	349
11.9.	Сравнение с наблюдениями .....	353
<b>Глава 12.</b>	<b>ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ .....</b>	<b>357</b>
12.1.	Введение .....	357
12.2.	История идеи черной дыры .....	358
12.3.	Шварцшильдовские черные дыры .....	360
12.4.	Движение пробной частицы .....	362
12.5.	Орбиты безмассовых частиц в геометрии Шварцшильда .....	372
12.6.	«Несингулярность» радиуса Шварцшильда .....	375
12.7.	Черные дыры Керра .....	379
12.8.	Теорема о площадях и испарение черной дыры .....	386
<b>Глава 13.</b>	<b>КОМПАКТНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ИСТОЧНИКИ .....</b>	<b>392</b>
13.1.	Открытие и отождествление .....	392
13.2.	Общие характеристики галактических источников .....	396
13.3.	Рентгеновские пульсары в двойных системах .....	398
13.4.	Геркулес X-1: образец рентгеновского пульсара в составе двойной системы .....	403
13.5.	Лебедь X-1: кандидат в черные дыры .....	405
13.6.	Источники центральной галактической подсистемы: барстеры .....	414
13.7.	Стандартная модель: аккреция в тесной двойной системе .....	418
<b>Глава 14.</b>	<b>АККРЕЦИЯ НА ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ .....</b>	<b>428</b>
14.1.	Введение .....	428
14.2.	Бесстолкновительная сферически симметричная аккреция .....	430
14.3.	Гидродинамическая сферически симметричная аккреция .....	437
14.4.	Излучение при сферически симметричной аккреции на черные дыры .....	448
14.5.	Дисковая модель аккреции на компактную звезду .....	454
14.6.	Другие модели .....	472
<b>Глава 15.</b>	<b>АККРЕЦИЯ НА НЕЙТРОННЫЕ ЗВЕЗДЫ И БЕЛЫЕ КАРЛИКИ .....</b>	<b>477</b>
15.1.	Аккреция на нейтронные звезды: магнитосфера .....	477
15.2.	Дисковая аккреция и изменения периода импульсных рентгеновских источников .....	480

15.3.	Излучение от аккрецирующих нейтронных звезд .....	488
15.4.	Аккреция на белые карлики .....	491
<b>Глава 16.</b>	<b>ГРАВИТАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ .....</b>	<b>494</b>
16.1.	Что такое гравитационная волна? .....	494
16.2.	Образование гравитационных волн .....	497
16.3.	Оценки по порядку величины .....	501
16.4.	Гравитационное излучение от двойных систем .....	504
16.5.	Пульсар PSR 1913 + 16, входящий в двойную систему .....	506
16.6.	Излучение от вращающихся масс: замедление пульсаров .....	514
16.7.	Гравитационные волны при столкновениях .....	518
16.8.	Гравитационные волны при коллапсе с отклонениями от сферической симметрии .....	522
<b>Глава 17.</b>	<b>СВЕРХМАССИВНЫЕ ЗВЕЗДЫ И ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ .....</b>	<b>526</b>
17.1.	Введение .....	526
17.2.	Основные свойства сверхмассивных звезд .....	529
17.3.	Влияние плазмы .....	531
17.4.	Устойчивость сверхмассивных звезд .....	533
17.5.	Эволюция сверхмассивных звезд .....	535
<b>Глава 18.</b>	<b>ЗВЕЗДНЫЙ КОЛЛАПС И ВЗРЫВЫ СВЕРХНОВЫХ .....</b>	<b>539</b>
18.1.	Введение и предупреждение .....	539
18.2.	Наступление коллапса .....	543
18.3.	Фотодиссоциация .....	547
18.4.	Нейтронизация и испускание нейтрино .....	548
18.5.	Непрозрачность и захват нейтрино .....	553
18.6.	Энтропия и уравнение состояния во время горячего коллапса .....	559
18.7.	Гомологичный коллапс звездного ядра, отскок и что же дальше? ..	568
<b>Приложение А.</b>	<b>НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ АСТРОНОМИИ .....</b>	<b>572</b>
А.1.	Парсеки и звездные величины .....	572
А.2.	Звездные классы и диаграмма Герцшпрунга—Рессела .....	574
<b>Приложение Б.</b>	<b>УСЛОВИЕ НЕУСТОЙЧИВОСТИ <math>V_2 &lt; 0</math> .....</b>	<b>578</b>
<b>Приложение В.</b>	<b>ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛА В УРАВНЕНИИ (8.4.6) .....</b>	<b>580</b>
<b>Приложение Г.</b>	<b>СКАЛЯРНЫЕ И ВЕКТОРНЫЕ ТЕОРИИ ПОЛЯ .....</b>	<b>582</b>
<b>Приложение Д.</b>	<b>КВАРКИ .....</b>	<b>588</b>
<b>Приложение Е.</b>	<b>ФАЗОВЫЙ МНОЖИТЕЛЬ В УРАВНЕНИИ (11.5.16) .....</b>	<b>591</b>
<b>Приложение Ж.</b>	<b>СФЕРИЧЕСКИ СИММЕТРИЧНАЯ АККРЕЦИЯ НА ЧЕРНУЮ ДЫРУ: РЕЛЯТИВИСТСКИЕ УРАВНЕНИЯ .....</b>	<b>597</b>
<b>Приложение З.</b>	<b>ГИДРОДИНАМИКА ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ .....</b>	<b>605</b>
<b>Приложение И.</b>	<b>ПЕРЕНОС ИЗЛУЧЕНИЯ .....</b>	<b>607</b>
И.1.	Уравнение переноса .....	607
И.2.	Диффузионное приближение .....	611
И.3.	Источники непрозрачности .....	615
<b>Литература .....</b>	<b>621</b>	
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>648</b>	