

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ПРЕДИСЛОВИЕ К СЕРИИ (В.А.Садовничий)	5
ПРЕДИСЛОВИЕ	15
ВВЕДЕНИЕ	18
<b>ЧАСТЬ I. ПРИНЦИПЫ ТЕОРИИ РАССЕЯНИЯ МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ</b>	<b>36</b>
<b>ГЛАВА 1. ЭЛЕМЕНТЫ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ</b>	<b>36</b>
<b>§ 1.1. Свойства нейтрона</b>	<b>36</b>
<b>§ 1.2. Нейтрон и фундаментальные проблемы физики</b>	<b>40</b>
1.2.1. $\beta$ -распад свободного нейтрона	41
1.2.2. Электрический дипольный момент нейтрона	43
1.2.3. Антинейтрон	45
<b>§ 1.3. Взаимодействие нейтронов с атомными ядрами</b>	<b>46</b>
1.3.1. Ядерный потенциал	47
1.3.2. Нейтронные резонансы	48
1.3.3. Нейтронные эффективные сечения	50
<b>§ 1.4. Распространение нейтронов в веществе</b>	<b>52</b>
1.4.1. Замедление и диффузия нейтронов	52
1.4.2. Нейтронное поле	54
1.4.3. Уравнение переноса нейтронов	57
1.4.4. Термализация нейтронов	59
<b>ГЛАВА 2. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ТЕОРИЯ РАССЕЯНИЯ МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ</b>	<b>62</b>
<b>§ 2.1. Упругое рассеяние на потенциале</b>	<b>62</b>
<b>§ 2.2. Длина рассеяния</b>	<b>67</b>
<b>§ 2.3. Псевдопотенциал Ферми</b>	<b>72</b>
<b>§ 2.4. Основные формулы рассеяния</b>	<b>80</b>
2.4.1. Золотое правило Ферми	81
2.4.2. Когерентное и некогерентное рассеяния	84
<b>§ 2.5. Эффекты некогерентности</b>	<b>86</b>
2.5.1. Спиновая некогерентность	86

2.5.2.	Композиционная некогерентность	89
2.5.3.	Общие замечания	90
<b>ГЛАВА 3.</b>	<b>НЕЙТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ</b>	<b>92</b>
§ 3.1.	Оптический потенциал	93
§ 3.2.	Рассеяние при скользящем падении	97
3.2.1.	Зеркальное отражение	97
3.2.2.	Формулы Френеля	100
3.2.3.	Незеркальное рассеяние	105
§ 3.3.	Дифракция в трехмерных периодических структурах	109
3.3.1.	Кинематическая дифракция	110
3.3.2.	Метод Эвальда	112
3.3.3.	Динамическая теория дифракции	114
§ 3.4.	Малоугловое рассеяние нейтронов	116
3.4.1.	Общие замечания	117
3.4.2.	Интенсивность рассеяния	118
3.4.3.	Законы Гинье и Порода	120
3.4.4.	Фрактальные и диффузные поверхности	123
<b>ГЛАВА 4.</b>	<b>ФОРМАЛИЗМ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ</b>	<b>125</b>
§ 4.1.	Формула Ван Хова	125
§ 4.2.	Функция рассеяния	128
§ 4.3.	Сечения рассеяния	131
§ 4.4.	Корреляционные функции	137
4.4.1.	Условие детального баланса	138
4.4.2.	Функции отклика	141
4.4.3.	Флуктуационно-диссипационные соотношения	144
<b>ГЛАВА 5.</b>	<b>ЯДЕРНОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ В КОНДЕНСИРОВАННОМ ВЕЩЕСТВЕ</b>	<b>147</b>
§ 5.1.	Рассеяние нейтронов в кристаллической решетке	147
5.1.1.	Частоты нормальных колебаний решетки	148
5.2.1.	Формула Ван Хова	151
5.1.3.	Упругое рассеяния	153
5.1.4.	Неупругое рассеяние	154
§ 5.2.	Коллективные возбуждения при структурном	156

	<b>фазовом переходе</b>	
	<b>§ 5.3. Простые классические жидкости</b>	162
	5.3.1. Статический структурный фактор	163
	5.3.2. Коллективные возбуждения	165
	5.3.3. Одночастичный отклик	169
	<b>§ 5.4. Квантовая бозе-жидкость</b>	173
	5.4.1. Спектр возбуждений в гелии-4	174
	5.4.2. Глубоко неупругое рассеяние в жидком гелии-4	181
	5.4.3. Параметр порядка	186
	<b>§ 5.5. Молекулярные твердые тела</b>	187
	5.5.1. Спектроскопия малых переданных энергий	187
	5.5.2. Метод фиксированного окна	191
<b>ГЛАВА 6.</b>	<b>МАГНИТНОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ</b>	194
	<b>§ 6.1. Магнитное взаимодействие</b>	196
	<b>§ 6.2. Амплитуда магнитного рассеяния</b>	202
	<b>§ 6.3. Рассеяние неполяризованных нейтронов</b>	209
	<b>§ 6.4. Сильно коррелированные электронные системы</b>	214
	6.4.1. Сильные электронные корреляции и рассеяние нейтронов	214
	6.4.2. Кристаллические электрические поля в магнитных материалах	217
	6.4.3. Коллективные возбуждения	221
<b>ГЛАВА 7.</b>	<b>ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ НЕЙТРОНЫ</b>	225
	<b>§ 7.1. Спиновые состояния и вектор поляризации</b>	225
	7.1.1. Спиновые состояния	226
	7.1.2. Вектор поляризации	227
	<b>§ 7.2. Ларморова прецессия вектора поляризации</b>	231
	7.2.1. Адиабатический и неадиабатический режимы	234
	7.2.2. Принцип нейтронного спинового эха	236
	<b>§ 7.3. Преломление и расщепление пучка нейтронов в магнитных средах</b>	239
	7.3.1. Двулучепреломление в однородной магнитной среде	239
	7.3.2. Расщепление пучка в магнитно-неколинеарной среде	242
	7.3.3. Магнитные домены и кластеры	246
	7.3.4. Деполяризация нейтронного пучка	249

	<b>§ 7.4. Принципы рефлектометрии поляризованных нейтронов</b>	252
	7.4.1. Зеркальное отражение поляризованных нейтронов	253
	7.4.2. Прецессия при скользящем падении	258
	<b>§ 7.5. Стоячие волны при полном отражении</b>	263
	<b>§ 7.6. Рассеяние поляризованных нейтронов в магнетиках</b>	269
	7.6.1. Неупругое и упругое рассеяния	269
	7.6.2. Малоугловое рассеяние поляризованных нейтронов	276
<b>ГЛАВА 8.</b>	<b>ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ РАССЕЯНИЯ МЕДЛЕННЫХ НЕЙТРОНОВ</b>	280
	<b>§ 8.1. Уравнения Липпмана-Швингера</b>	280
	<b>§ 8.2. Оператор перехода (Т-оператор)</b>	283
	<b>§ 8.3. Борновское приближение в методе искаженных волн</b>	288
	8.3.1. Примеры нарушения борновского приближения	288
	8.3.2. Формальная схема приближения искаженных волн	294
	<b>§ 8.4. Поглощение нейтронов при рассеянии</b>	297
	<b>§ 8.5. О предельных переходах в теории рассеяния</b>	300
<b>ЧАСТЬ II.</b>	<b>ПОЛУЧЕНИЕ, ФОРМИРОВАНИЕ ПУЧКОВ И РЕГИСТРАЦИЯ НЕЙТРОНОВ</b>	307
<b>ГЛАВА 9.</b>	<b>ИСТОЧНИКИ НЕЙТРОНОВ</b>	307
	<b>§ 9.1. Исследовательские ядерные реакторы со стационарным потоком</b>	308
	9.1.1. Физические принципы работы ядерного реактора	308
	9.1.2. Пример реактора со стационарным потоком	311
	9.1.3. Современное состояние и тенденции развития реакторного парка	315
	<b>§ 9.2. Пульсирующие реакторы</b>	318
	9.2.1. Пульсирующие реакторы первого и второго поколения	318
	9.2.2. О пределе нейтронных потоков	321
	9.2.3. Пульсирующий реактор третьего поколения	323
	<b>§ 9.3. Импульсные источники на основе ускорителей</b>	325
	9.3.1. Современное состояние и тенденции развития	325
	9.3.2. Ускорители протонов высоких энергий	329

---

9.3.3. Ускорители электронов	331
9.3.4. Пульсирующий нейтронный бустер	333
9.3.5. Компактные ускорительные источники нейтронов	335
<b>§ 9.4. Сравнение источников</b>	<b>338</b>
<b>ГЛАВА 10. ЗАМЕДЛИТЕЛИ</b>	<b>343</b>
§ 10.1. Замедление быстрых нейтронов	343
§ 10.2. Поток нейтронов от источника	346
§ 10.3. Замедлители на стационарных источниках нейтронов	349
§ 10.4. Замедлители на импульсных источниках нейтронов	351
§ 10.5. Замедлители на импульсном реакторе ИБР-2	355
<b>ГЛАВА 11. ФОРМИРОВАНИЕ ПУЧКОВ НЕЙТРОНОВ</b>	<b>359</b>
§ 11.1. Коллиматоры	359
§ 11.2. Нейтронные зеркала	361
§ 11.3. Нейтроноводы	363
§ 11.4. Монохроматоры	368
§ 11.5. Механические прерыватели	372
§ 11.6. Кристаллические фильтры	378
§ 11.7. Поляризаторы и анализаторы поляризации	380
11.7.1. Поляризация нейтронов	380
11.7.2. Управление поляризацией	385
11.7.3. Линейный анализ поляризации	387
11.7.4. Трехмерный анализ поляризации	389
<b>ГЛАВА 12. ДЕТЕКТОРЫ НЕЙТРОНОВ</b>	<b>392</b>
§ 12.1. Ядерные реакции с медленными нейтронами	392
§ 12.2. Типы и основные характеристики нейтронных детекторов	393
§ 12.3. Газовые детекторы	396
§ 12.4. Сцинтилляционные детекторы	402
§ 12.5. Широкоапертурные газовые и сцинтилляционные детекторы	404
§ 12.6. Детекторы с высоким пространственным разрешением	408

ЧАСТЬ III.	<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ НЕЙТРОНОГРАФИИ</b>	412
ГЛАВА 13.	<b>ДИФРАКЦИЯ</b>	415
	§ 13.1. Общие замечания	415
	§ 13.2. Постановка задачи и предмет исследования	417
	§ 13.3. Формализм описания дифракции нейтронов на кристаллах	419
	13.3.1. Положение и интенсивность дифракционных пиков	420
	13.3.2. Формула Брэгга-Вульфа	423
	13.3.3. Дифракция как фурье-преобразование структуры	423
	13.3.4. Форма узлов обратной решетки	425
	13.3.5. Интенсивность дифракционных пиков	426
	§ 13.4. Нейтронные дифрактометры	428
	13.4.1. Основные параметры нейтронного дифрактометра	429
	13.4.2. Дифрактометр на стационарном источнике нейтронов	430
	13.4.3. Дифрактометр на импульсном источнике нейтронов	433
	§ 13.5. Задачи, решаемые на нейтронных дифрактометрах	437
	13.5.1. Структурный анализ монокристаллов	438
	13.5.2. Структурный анализ поликристаллов	440
	13.5.3. Анализ магнитных структур кристаллов	442
	13.5.4. Анализ переходных процессов	445
	13.5.5. Анализ микроструктуры кристаллов	447
	13.5.6. Анализ механических напряжений	450
	13.5.7. Анализ кристаллографической текстуры	453
ГЛАВА 14.	<b>МАЛОУГЛОВОЕ РАССЕЯНИЕ</b>	457
	§ 14.1. Общие замечания	457
	§ 14.2. Постановка задачи и предмет исследования	459
	§ 14.3. Некоторые особенности метода	462
	14.3.1. Вариация контраста	462
	14.3.2. Метод базисных функций	464
	14.3.3. Концентрированные системы	464
	14.3.4. Полидисперсные системы	466
	14.3.5. Малоугловое рассеяние на магнитных неоднородностях	467

---

§ 14.4. Спектрометры малоуглового рассеяния	468
14.4.1. Спектрометр МУРН на стационарном источнике	470
14.4.2. Спектрометр МУРН на импульсном источнике	472
14.4.3. Двухкристальный спектрометр МУРН	474
§ 14.5. Задачи, решаемые на спектрометрах МУРН	477
ГЛАВА 15. РЕФЛЕКТОМЕТРИЯ	482
§ 15.1. Общие замечания	482
§ 15.2. Предмет исследования и постановка задачи	484
§ 15.3. Рефлектометрический эксперимент	487
15.3.1. Нейтронные рефлектометры	487
15.3.2. Проведение эксперимента	495
§ 15.4. Трехмерная рефлектометрия	501
15.4.1. Сечение рассеяния при скользящем падении	502
15.4.2. Зеркальное отражение	505
15.4.3. Незеркальное рассеяние	507
15.4.4. Малоугловое рассеяние при скользящем падении	512
§ 15.5. Перспективы развития	514
ГЛАВА 16. НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ (НЕЙТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ)	517
§ 16.1. Общие замечания	517
§ 16.2. Постановка задачи и предмет исследования	519
§ 16.3. Основные понятия и формулы	525
16.3.1. Прямая и обратная задачи в неупругом рассеянии	527
§ 16.4. Спектрометры неупругого рассеяния	530
16.4.1. Трехосный спектрометр	530
16.4.2. Спектрометр по времени пролета «прямой» геометрии	532
16.4.3. Спектрометр по времени пролета «обратной» геометрии	534
16.4.4. Спин-эхо спектрометр	535
§ 16.5. Задачи, решаемые на спектрометрах неупругого рассеяния	536
ГЛАВА 17. НЕЙТРОННАЯ РАДИОГРАФИЯ	540
§ 17.1. Общие замечания	540
§ 17.2. Постановка задачи и предмет исследования	542

---

17.2.1. Виды контраста в нейтронной радиографии	543
<b>§ 17.3. Установки для нейтронной радиографии</b>	546
<b>§ 17.4. Задачи, решаемые методом нейтронной радиографии</b>	549
<b>ДОПОЛНЕНИЕ</b> Хронология работ по рассеянию нейтронов	552
<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	
ЛИТЕРАТУРА К ЧАСТИ I	554
ЛИТЕРАТУРА К ЧАСТИ II	564
ЛИТЕРАТУРА К ЧАСТИ III	568
<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ</b>	574
<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ</b>	577