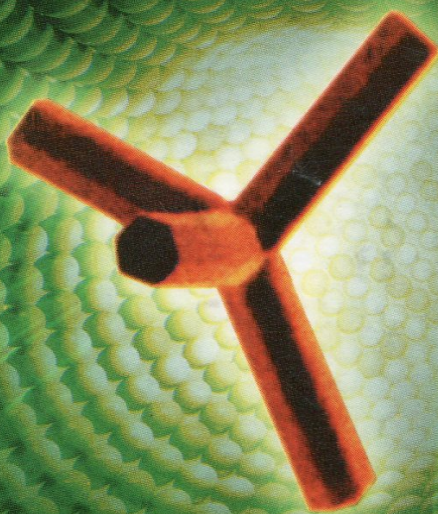


В. К. Воронов, А. В. Подоплелов, Р. З. Сагдеев

ФИЗИКА 3

*На переломе
тысячелетий*

Физические
ОСНОВЫ
нанотехнологий



В. К. Воронов, А. В. Подоплелов, Р. З. Сагдеев

ФИЗИКА НА ПЕРЕЛОМЕ ТЫСЯЧЕЛЕТИЙ

Физические основы нанотехнологий

Допущено
Научно-методическим советом по физике
Министерства образования и науки Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по техническим направлениям подготовки
и естественно-научным специальностям



URSS
МОСКВА

Тверской государственный университет



Научная библиотека 00294664

93-3

Содержание

Предисловие авторов	10
--------------------------------------	-----------

Часть 1

Плазменное состояние вещества	13
--	-----------

Глава 1. Кластерная плазма	15
---	-----------

§ 1. Условия существования кластерной плазмы	16
--	----

1.1. Неустойчивость кластеров в однородном паре	16
---	----

1.2. Химическое равновесие в кластерной плазме	19
--	----

1.3. Условия образования кластеров в неоднородном паре	20
--	----

1.4. Стабильность заряженных кластеров	22
--	----

§ 2. Зарядка кластеров и малых частиц в плазме	23
--	----

2.1. Зарядка с участием электронов и ионов плазмы за счет процессов переноса	23
---	----

2.2. Зарядовое распределение частиц в плазме	24
--	----

2.3. Ионизация кластеров в плазме	26
---	----

§ 3. Процессы в кластерной плазме	27
---	----

3.1. Рост кластеров в кластерной плазме	27
---	----

3.2. Излучение кластеров	29
------------------------------------	----

3.3. Тепловое равновесие кластеров в плазме	30
---	----

3.4. Кластерная плазма в источниках света	31
---	----

§ 4. Методы генерации кластеров	31
---	----

Основные выводы	34
---------------------------	----

Глава 2. Магнетронная плазма	35
---	-----------

§ 1. Описание магнетронного разряда	35
---	----

1.1. Принципы магнетронного разряда	35
---	----

1.2. Магнетронная камера	39
------------------------------------	----

§ 2. Диагностика магнетронной плазмы	42
--	----

2.1. Атомная микроскопия	42
------------------------------------	----

2.2. Рентгеновские методы исследования	45
--	----

2.3. Видимая, УФ- и ИК-спектроскопия	49
2.4. Диагностика заряженных частиц в плазме	50
Основные выводы	52
Глава 3. Применение кластеров	53
§ 1. Кластерные пучки для производства тонких пленок и других материалов	53
§ 2. Напыление кластеров на поверхность	56
Основные выводы	59
Глава 4. Фемтосекундное возбуждение кластерных пучков	60
§ 1. Лазерное облучение кластерных пучков	61
§ 2. Рентгеновское излучение кластерной плазмы при фемтосекундном возбуждении	65
§ 3. Фемтосекундная кластерная плазма как генератор нейтронов	68
Основные выводы	70
Глава 5. Неидеальная плазма	71
§ 1. Мощные ускорители частиц	73
§ 2. Генерация экстремальных состояний материи с помощью интенсивных ионных пучков	79
§ 3. Адронная терапия с использованием пучков от ускорителей	82
Основные выводы	84
Глава 6. Пылевая плазма	86
§ 1. Элементарные процессы в пылевой плазме	89
1.1. Зарядка пылевых частиц в плазме	89
1.2. Электростатический потенциал вокруг пылевой частицы	94
1.3. Основные силы, действующие на пылевые частицы в плазме	95
1.4. Взаимодействие между пылевыми частицами в плазме	98
1.5. Образование и рост пылевых частиц	99
§ 2. Неидеальность пылевой плазмы и фазовые переходы	100
2.1. Теоретические подходы к описанию свойств неидеальной пылевой плазмы	100
2.2. Экспериментальное исследование фазовых переходов	102
2.3. Пылевые кластеры в плазме	105
2.4. Исследования свойств пылевой плазмы в условиях невесомости	107

§ 3. Линейные волны и неустойчивости в пылевой плазме	107
3.1. Ионнозвуковые и пылезвуковые колебания	107
3.2. Волны в неидеальной пылевой плазме	110
§ 4. Возможные приложения пылевой плазмы	111
Основные выводы	112
Глава 7. Лазерная плазма	113
§ 1. Генерация быстрых электронов в лазерной плазме	114
§ 2. Генерация быстрых протонов и ионов в лазерной плазме	116
§ 3. Магнитные поля лазерной плазмы	119
§ 4. Генерация высших гармоник лазерного излучения	122
Основные выводы	126
Литература к части 1	127

Часть 2

Конденсированное состояние	129
Глава 1. Оптические свойства наноматериалов	131
§ 1. Оптические свойства нанокомпозитов	131
1.1. Модели эффективной среды	132
1.2. Формирование нанокомпозитных сред	135
1.3. Двулучепреломление в наноструктурированных полупроводниках и диэлектриках	140
Основные выводы	144
§ 2. Оптические свойства микроструктурированных световодов	144
2.1. Свойства микроструктурированных световодов	145
2.2. Оптические устройства на основе микроструктурированных световодов	149
Основные выводы	154
Глава 2. Физические свойства углеродных нанотрубок и материалов на их основе	155
§ 1. Структура и свойства нанотрубок	157
1.1. Структура однослойных нанотрубок	157
1.2. Электронные свойства нанотрубок	159
1.3. Автоэлектронная эмиссия углеродных нанотрубок	162
1.4. Упругие свойства углеродных нанотрубок	163
1.5. Электромеханические свойства углеродных нанотрубок	168

§ 2. Материалы и композиты на основе углеродных нанотрубок	169
2.1. Материалы из нанотрубок	169
2.2. Полимеры и композитные материалы на основе углеродных наноструктур	172
2.3. Нанотехнологические применения углеродных нанотрубок	177
Основные выводы	183
Глава 3. Эффекты размерного квантования в наноструктурах	184
§ 1. Закономерности формирования поверхностных наноструктур германия и кремния	184
1.1. Образование островков германия на окисленной поверхности кремния	185
1.2. Рост кремния на окисленной поверхности кремния	191
1.3. Излучательные свойства наноструктур германия и кремния	196
Основные выводы	198
§ 2. Теплопередача и бесконтактное трение между наноструктурами	198
2.1. Радиационная передача тепла	199
2.2. Бесконтактное трение	206
Основные выводы	209
§ 3. Особенности электронного строения металлических нанокластеров	210
3.1. Энергетические оболочки нанокластеров	210
3.2. Парная корреляция и свойства кластеров	215
Основные выводы	216
§ 4. Наноструктуры на основе атомной оптики	217
4.1. Атомная фабрикация наноструктур на основе бегущих и стоячих световых волн	218
4.2. Атомная фабрикация наноструктур на основе лазерных нанополей	220
Основные выводы	224
§ 5. Структура и свойства нанокompозитных покрытий	225
5.1. Нанокompозитные покрытия с повышенной твердостью	227
5.2. Сверхтвердые нанокompозиты	231
5.3. Перспективы применения нанокompозитных покрытий	232
Основные выводы	233

Глава 4. Упорядоченные молекулярные материалы	235
§ 1. Жидкие кристаллы	235
1.1. Основные определения и свойства нематических жидких кристаллов	236
1.2. Эффекты бистабильного электрооптического переключения	238
1.3. Оптика и фотоника пространственно-периодических жидкокристаллических структур	243
1.4. Взаимодействие и самоорганизация топологических включений в смектических пленках	245
Основные выводы	248
§ 2. Электропроводящие полимеры	248
2.1. Электропроводимость полимеров	249
2.2. Электропроводящие полимеры на основе дифенилфталида	254
Основные выводы	257
Глава 5. Трекообразование и дефектообразование в конденсированных средах	258
§ 1. Формирование и эволюция треков заряженных частиц в конденсированных средах	258
1.1. Развитие представлений о треках заряженных частиц	260
1.2. Природа основных процессов взаимодействия заряженной частицы со средой	265
1.3. Структура треков тяжелых ионов различной природы	271
1.4. Радиационно-химические реакции в треках	276
1.5. Модели образования латентных треков	278
Основные выводы	281
§ 2. Радиационно-динамические эффекты в метастабильных средах	281
2.1. Распределение дефектов при облучении веществ ионизирующим излучением	281
2.2. Распространение послекаскадных ударных волн в стабильных и метастабильных средах	284
2.3. Обработка материалов с использованием радиационно-индуцированных эффектов	287
Основные выводы	288

§ 3. Селективное удаление атомов под действием ионного облучения	289
3.1. Экспериментальные методы селективного удаления атомов	289
3.2. Природа процесса селективного удаления атомов	295
Основные выводы	301
Литература к части 2	302

Часть 3

Теоретические и экспериментальные методы исследования многоэлектронных систем 305

Глава 1. Описание многочастичных аспектов коллективных электронных явлений 307

§ 1. Материалы с сильными электронными корреляциями	307
1.1. Электронная структура сильнокоррелированных систем	309
1.2. Особенности электронного строения <i>d</i> - и <i>f</i> -систем	313
Основные выводы	322
§ 2. Коллективные электронные явления в графене	323
2.1. Основные положения зонной теории графена	326
2.2. Квантовый эффект Холла в графене	332
2.3. Спаривание в электронно-дырочном бислое	335
Основные выводы	338

Глава 2. Низкоразмерные эффекты в наноструктурах 339

§ 1. Физические процессы в магнитных наноструктурах, индуцируемые спин-поляризационным током	339
Основные выводы	344
§ 2. Плазмонные колебания в наночастицах	344
Основные выводы	352
§ 3. Фононный аналог эффекта Фано в низкоразмерных наноструктурах	353
3.1. Многоканальное рассеяние акустических фононов на двумерном дефекте кристалла	354
3.2. Рассеяние акустических фононов в квазиодномерном волноводе с поверхностными фононными отводами	360

3.3. Многоканальное рассеяние фотонов на двумерных наноструктурах	362
Основные выводы	363
§ 4. Основы теории квантовых фазовых переходов	363
4.1. Тепловые и квантовые флуктуации	364
4.2. Квантовые фазовые переходы	369
Основные выводы	373
Глава 3. Феноменологические теории в многочастичных задачах	375
§ 1. Феноменологическое описание метаматериалов	375
1.1. Формулы смещения	376
1.2. Среды с отрицательными диэлектрической и магнитной проницаемостями	379
Основные выводы	381
§ 2. Упругие свойства квазикристаллов	381
2.1. Икосаэдрическая система	383
2.2. Декагональная система	386
Основные выводы	390
§ 3. Кластеры и фазовые переходы	390
3.1. Структура твердых кластеров	391
3.2. Фазовые переходы в простых системах связанных атомов	400
3.3. Конфигурационное возбуждение кластеров с парным взаимодействием	403
Основные выводы	405
Глава 4. Новые спектральные методы исследования вещества	406
§ 1. Рентгеновская оптика преломления	406
1.1. Классификация устройств рентгеновской оптики	406
1.2. Основные положения рентгеновской оптики преломления	408
1.3. Приложения преломляющей оптики	415
Основные выводы	417
§ 2. Позитронная аннигиляционная спектроскопия	418
2.1. Теория метода	418
2.2. Экспериментальные методы позитронной спектроскопии	421
Основные выводы	427
Литература к части 3	428