



ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЦЕЛЕВАЯ ПРОГРАММА
"ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОДДЕРЖКА
ИНТЕГРАЦИИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ"

Е. Ф. Макаров, Р. П. Озеров

Физика

ДЛЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЦЕЛЕВАЯ ПРОГРАММА
“ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОДДЕРЖКА ИНТЕГРАЦИИ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ”**

Е. Ф. Макаров, Р. П. Озеров

Физика

**ДЛЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ**

МОСКВА
НАУЧНЫЙ МИР
2002

УДК 53
ББК – 22.3
М15

Издание осуществлено при финансовой поддержке
Федеральной целевой программы “Государственная поддержка
интеграции высшего образования и фундаментальной науки”

М15 *Е.Ф.Макаров, Р.П.Озеров*

Физика

для химико-технологических специальностей

– М.: Научный Мир, 2002.– 624с.

ISBN 5-89176-170-X

Книга представляет собой изложение наиболее важных для современной техники и особенно для химии и химической технологии разделов физики. Она является как бы взглядом на развитие науки и техники глазами физика, знакомого с проблемами современной химии и химической технологии. Книга позволит студенту расширить свои представления об окружающем мире и хорошо подготовиться к усвоению специальных курсов по многим актуальным вопросам современной техники и технологии. Это особенно важно, поскольку развитие современной технологии во многом связывается с использованием физических методов. Научно-техническая химическая технология будущего без физических методов синтеза и анализа по сути нереальна.

ISBN 5-89176-170-X

УДК 53
ББК- 22.3
© Центр “Интеграция”

Оглавление

Часть 1. Механика	5
Глава 1.1. Введение.....	5
Глава 1.2. Кинематика.....	6
1.2.1. Кинематика материальной точки.....	6
1.2.2. Кинематика поступательного движения.....	12
1.2.3. Кинематические характеристики вращательного движения ..	12
Глава 1.3. Динамика.....	16
1.3.1. Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета	16
1.3.2. Принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея.....	18
1.3.3. Второй закон Ньютона. Импульс. Некоторые задачи динамики движения тел.....	20
1.3.4. Третий закон Ньютона	27
1.3.5. Классификация сил взаимодействия в физике.....	27
1.3.6. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции. Принцип Д'Аламбера	29
1.3.7. Система материальных точек. Внутренние и внешние силы	31
1.3.8. Задание состояния системы материальных точек.....	34
1.3.9. Динамика вращательного движения	35
Глава 1.4. Работа, энергия и мощность	42
1.4.1. Элементарная работа силы и момента силы	42
1.4.2. Мощность	44
1.4.3. Кинетическая энергия	44
1.4.4. Силовое поле.....	46
1.4.5. Потенциальная энергия	49
Глава 1.5. Законы сохранения в механике	54
1.5.1. Закон сохранения механической энергии.....	54
1.5.2. Закон сохранения импульса (количества движения).....	55
1.5.3. Закон сохранения момента импульса.....	56
1.5.4. Потенциальные кривые	57
1.5.5. Столкновение частиц.....	62
Глава 1.6. Современные представления о пространстве, времени, движении и гравитации.....	69
1.6.1. Введение	69
1.6.2. Специальная теория относительности.....	71
Некоторые следствия специальной теории относительности.	80
1.6.3. Оптический эффект Доплера	88
1.6.4. Гравитация.....	90
1.6.5. Основные выводы.....	92

Часть 2.	Колебания и волны.....	93
Глава 2.1.	Колебательное движение	93
Глава 2.2.	Кинематика гармонических колебаний	95
Глава 2.3.	Сложение колебаний	100
2.3.1.	Сложение колебаний одного направления	100
2.3.2.	Сложение двух колебаний одного направления с мало отличающимися частотами. Биения	103
2.3.3.	Сложение взаимно перпендикулярных колебаний	104
Глава 2.4.	Динамика гармонических колебаний	106
2.4.1.	Дифференциальное уравнение гармонических колебаний	106
2.4.2.	Пружинный маятник	107
2.4.3.	Математический маятник	108
2.4.4.	Физический маятник	109
2.4.5.	Двухатомная молекула как линейный гармонический осциллятор	111
Глава 2.5.	Энергия гармонических колебаний	113
Глава 2.6.	Затухающие колебания	115
Глава 2.7.	Вынужденные колебания	119
Глава 2.8.	Волны	125
2.8.1.	Общие сведения	125
2.8.2.	Уравнение плоской бегущей волны	128
2.8.3.	Энергия волн	133
2.8.4.	Акустический эффект Доплера	136
Глава 2.9.	Сложение волн	137
2.9.1.	Принцип суперпозиции волн	137
2.9.2.	Стоячие волны	139
2.9.3.	Колебания струны	142
2.9.4.	Группа волн. Групповая скорость	143
2.9.5.	Понятие о фонах	146
Часть 3.	Молекулярная физика	148
Глава 3.1.	Общие представления	148
Глава 3.2.	Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов	154
3.2.1.	Функция распределения	154
3.2.2.	Микроскопическое уравнение состояния идеальных газов	158
3.2.3.	Абсолютная температура	162
Глава 3.3.	Основы физической статистики	163
3.3.1.	Задание состояния газа в физической статистике	163
3.3.2.	Статистика Бозе-Эйнштейна	171
3.3.3.	Статистика Ферми-Дирака	174
3.3.4.	Статистика Больцмана	174
3.3.5.	Распределение Максвелла. Физический смысл величины θ	177
3.3.6.	Распределение числа молекул по кинетической энергии	181
3.3.7.	Фактор Больцмана	183

3.3.8.	Закон Максвелла-Больцмана	190
3.3.9.	Физический смысл распределения Бозе-Эйнштейна.....	191
3.3.10.	Физический смысл распределения Ферми-Дирака	195
3.3.11.	Количественный критерий идеальности газа	204
3.3.12.	Статистические флуктуации	205
Глава 3.4.	Тепловые свойства систем, состоящих из многих частиц	209
3.4.1.	Введение	209
3.4.2.	Кинетическая теория тепла.....	210
3.4.3.	Тепловая энергия	210
3.4.4.	Основы термодинамического метода	211
3.4.5.	Равновесные состояния	212
3.4.6.	Нулевой закон термодинамики - равномерное распределение энергии между частицами в ТДС.....	214
3.4.7.	Следствие из нулевого закона термодинамики. Закон о равномерном распределении энергии	214
3.4.8.	Первое начало термодинамики.....	218
3.4.9.	Теплоемкость идеального газа. Работа в изопроцессах	221
3.4.10.	Теоретические и экспериментальные значения теплоемкостей идеальных газов.....	224
3.4.11.	Второе начало термодинамики. Цикл Карно.....	228
3.4.12.	Элементы связи классической статистики с термодинамикой, термодинамические параметры	236
3.4.13.	Тепловая теорема Нернста.....	245
Глава 3.5.	Газ Ван-дер-Ваальса	246
3.5.1.	Уравнение состояния ван-дер-ваальсовского газа.....	246
3.5.2.	Внутренняя энергия ван-дер-ваальсовского газа	251
3.5.3.	Эффект Джоуля-Томсона	251
Глава 3.6.	Закон Аррениуса. Разветвленные цепные химические реакции	254
Глава 3.7.	Элементы физической кинетики	259
3.7.1.	Введение	259
3.7.2.	Процессы переноса. Релаксация.....	260
3.7.3.	Явления переноса в идеальных газах.....	261
3.7.4.	Макроскопическое представление коэффициента переноса	263
3.7.5.	Диффузия в газах	264
3.7.6.	Теплопроводность.....	266
3.7.7.	Вязкость или внутреннее трение	268
3.7.8.	Явление переноса в условиях вакуума.....	270
Часть 4.	Диэлектрические свойства вещества.....	273
Глава 4.1.	Электростатическое поле	273
4.1.1.	Общие законы электростатики	273
4.1.2.	Напряженность электростатического поля	274
4.1.3.	Теорема Остроградского-Гаусса.....	276

4.1.4.	Работа сил электростатического поля.....	286
4.1.5.	Электрический диполь	290
4.1.6.	Поле произвольно распределенного заряда	293
Глава 4.2.	Диэлектрические свойства химических веществ.....	296
4.2.1.	Проводники и диэлектрики. Общие положения	296
4.2.2.	Феноменологические (макроскопические) свойства диэлектриков	298
4.2.3.	Микроскопические характеристики диэлектриков	300
4.2.4.	Типы поляризации	303
4.2.5.	Зависимость поляризуемости от частоты электрического поля	309
4.2.6.	Локальное поле в диэлектрике. Поле Лоренца	311
4.2.7.	Формула Клаузиуса-Моссоти	313
4.2.8.	Опытное определение поляризуемости и электрического дипольного момента молекул	316
Часть 5.	Магнитные свойства вещества	318
Глава 5.1.	Основные характеристики магнитного поля.....	318
5.1.1.	Постоянный электрический ток	318
5.1.2.	Индукция магнитного поля.....	322
5.1.3.	Закон полного тока (проводимости)	326
5.1.4.	Действие магнитного поля на проводник с током, на движущийся заряд	328
5.1.5.	Магнитный дипольный момент в магнитном поле	331
5.1.6.	Электромагнитная индукция	332
Глава 5.2.	Магнитные свойства химических веществ	336
5.2.1.	Атомный магнетизм	337
5.2.2.	Макроскопические свойства магнетиков	338
5.2.3.	Магнитное поле в магнетике	340
5.2.4.	Микроскопическая картина намагничивания	342
Глава 5.3.	Магнитоупорядоченное состояние	352
5.3.1.	Ферромагнетизм.....	353
5.3.2.	Домены. Кривая намагничивания ферромагнетиков.....	355
5.3.3.	Антиферро- и ферримагнетики	357
Глава 5.4.	Ток смещения. Уравнения Максвелла.....	358
Часть 6.	Волновая оптика и квантово-оптические явления	368
Глава 6.1.	Физика электромагнитных волн оптического диапазона	368
Глава 6.2.	Интерференция	372
6.2.1.	Сложение двух световых волн одинаковых частоты и направления распространения	372
6.2.2.	Интерференция в тонких пленках	373
Глава 6.3.	Дифракция.....	378
6.3.1.	Принцип Гюйгенса-Френеля. Зоны Френеля	378

6.3.2.	Дифракция на одной прямоугольной щели	380
6.3.3.	Дифракционная решетка	381
6.3.4.	Дифракционная решетка как спектральный прибор.....	383
6.3.5.	Дифракция рентгеновских лучей	385
Глава 6.4.	Поляризация.....	387
6.4.1.	Поляризованный свет	387
6.4.2.	Закон Малюса.....	388
6.4.3.	Закон Брюстера	388
6.4.4.	Вращение плоскости поляризации	389
6.4.5.	Двойное лучепреломление. Призма Николя	391
Глава 6.5.	Дисперсия света	394
Глава 6.6.	Квантово-оптические явления.....	396
6.6.1.	Экспериментальные законы излучения абсолютно черного тела.....	396
6.6.2.	Теория излучения абсолютно черного тела с точки зрения волновых представлений. Формула Релея-Джинса	400
6.6.3.	Формула Планка, гипотеза квантов. Интенсивность света с волновой и с квантовой точек зрения	402
6.6.4.	Другие квантово-оптические явления.....	405
Часть 7.	Элементы квантовой механики	413
Глава 7.1.	Корпускулярно-волновой дуализм	413
7.1.1.	Гипотеза де Бройля.....	413
7.1.2.	Дифракция электронов и нейтронов	414
Глава 7.2.	Соотношение неопределенностей Гейзенберга	416
Глава 7.3.	Волновая функция и уравнение Шредингера	419
7.3.1.	Волновая функция	419
7.3.2.	Уравнение Шредингера.....	420
7.3.3.	Стандартные условия, накладываемые на волновую функцию.....	421
Глава 7.4.	Наиболее общие задачи квантовой механики.....	422
7.4.1.	Свободная частица.....	422
7.4.2.	Частица в потенциальном ящике.....	424
7.4.3.	Потенциальная ступень	428
7.4.4.	Потенциальный барьер. Туннельный эффект	429
7.4.5.	Туннельный эффект в химии	431
Глава 7.5.	Атом водорода	434
7.5.1.	Уравнение Шредингера для атома водорода.....	434
7.5.2.	Собственные значения проекции орбитального момента импульса электрона L_z	437
7.5.3.	Момент импульса и магнитный момент одноэлектронного атома.....	438
7.5.4.	Решение уравнения Шредингера для радиальной части волновой функции, квантование энергии электрона	443

7.5.5.	Спин электрона	445
7.5.6.	Квантовые числа, характеризующие состояние электрона в атоме водорода	447
7.5.7.	Атомные орбитали	448
7.5.8.	Спин-орбитальное взаимодействие, тонкие взаимодействия	453
Глава 7.6.	Многэлектронный атом	454
7.6.1.	Типы связи электронов в атоме	454
7.6.2.	Магнитный момент и векторная модель многэлектронного атома. Фактор Ланде	456
7.6.3.	Атомные термы	458
7.6.4.	Характеристическое рентгеновское излучение, закон Мозли	459
Глава 7.7.	Атом в магнитном поле: эффект Зеемана	462
Глава 7.8.	Квантовый осциллятор и квантовый ротатор	466
7.8.1.	Квантовый гармонический и ангармонический осцилляторы	467
7.8.2.	Квантовый жесткий ротатор	471
7.8.3.	Понятие о молекулярной спектроскопии	472
Часть 8.	Физические основы резонансных методов исследования строения вещества	475
Глава 8.1.	Основы ядерной спектроскопии	475
8.1.1.	Введение	475
8.1.2.	Нуклонная модель ядра	476
8.1.3.	Моменты импульсов и магнитные моменты ядер	476
8.1.4.	Внутренние энергии ядер	479
8.1.5.	Распределение электрического заряда в ядре	481
Глава 8.2.	Электронно-ядерные взаимодействия	483
8.2.1.	Введение	483
8.2.2.	Электростатическое взаимодействие ядра с окружающими его зарядами	483
8.2.3.	Взаимодействие магнитного момента отдельного ядра с внешним постоянным магнитным полем	491
8.2.4.	Основные выводы	493
Глава 8.3.	Гамма-резонансная спектроскопия (ГРС)	493
8.3.1.	Введение	493
8.3.2.	Эффект Мессбауэра	498
8.3.3.	Мессбауэровские спектры	502
8.3.4.	Информативность мессбауэровских спектров	507
8.3.5.	Параметры мессбауэровских спектров	508
Глава 8.4.	Ядерный магнитный резонанс (ЯМР)	533
8.4.1.	Введение	533
8.4.2.	Поведение магнитного момента ядра во внешнем постоянном магнитном поле	536

8.4.3.	Система магнитных ядер во внешних постоянных магнитных полях. Термодинамическое равновесие	537
8.4.4.	Поглощение радиоволн системой магнитных ядер. Релаксационные процессы	539
8.4.5.	Кинетика сигнала ЯМР	540
8.4.6.	Физические основы явления ЯМР. Поведение системы спинов в постоянном и переменном магнитных полях	543
8.4.7.	Уравнения Блоха.....	547
8.4.8.	Физические основы химических применений ЯМР	548
8.4.9.	Применение ЯМР в структурной и аналитической химии ...	549
Глава 8.5.	Физические основы квадрупольного и электронного парамагнитного ядерного резонанса.....	555
8.5.1.	Ядерный квадрупольный резонанс	555
8.5.2.	Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР)	555
Часть 9.	Физика твердого тела.....	559
Глава 9.1.	Структура кристалла, кристаллическая решетка.....	559
Глава 9.2.	Электроны в кристаллах	563
9.2.1.	Образование энергетических зон	563
9.2.2.	Элементы квантовой статистики электронов в кристаллах ..	566
9.2.3.	Зонная теория твердых тел	569
Глава 9.3.	Динамика решетки и теплоемкость кристаллов	570
9.3.1.	Модель Борна-Кармана и дисперсионные кривые	570
9.3.2.	Теплоемкость кристаллов	575
Глава 9.4.	Дефекты в кристаллах	580
9.4.1.	Точечные дефекты	581
9.4.2.	Дислокации.....	582
Глава 9.5.	Явления переноса в жидкостях и твердых телах	585
Глава 9.6.	Некоторые технически важные электрические свойства кристаллов.....	591
Приложение 1.	<i>Список основных обозначений.....</i>	598
Приложение 2.	<i>Система единиц физических величин</i>	602
Приложение 3.	<i>Библиографический справочник</i>	607
Предметный указатель		612