

Единство природы

Механика
материальной точки

Электро-
магнитное
поле

Атомные
явления.
Квантовая
механика

Макроскопические тела
как совокупности частиц.
Тепловые явления

Макроскопические
движения сред.
Неравновесные процессы

Электромагнитные
поля в средах.
Электрические,
магнитные и оптические
свойства вещества

Плазма

Звездные и дозвездные
состояния вещества

Б. Н. Иванов

ЗАКОНЫ ФИЗИКИ



УРСС

Особенностью курса является использование на ранних этапах изложения релятивистских и квантовых представлений, а также свойств симметрии физических законов.

Б. Н. Иванов

ЗАКОНЫ ФИЗИКИ

Рекомендовано Министерством высшего
и среднего специального образования СССР
для использования в учебном процессе
на подготовительных отделениях
высших учебных заведений

Издание стереотипное



URSS

МОСКВА

ББК 22.30, 22.3я44

Иванов Борис Николаевич

Законы физики: Учебное пособие. Изд. стереотип. — М.: Едиториал УРСС, 2013. — 368 с.

В настоящей книге принята современная схема построения курса: от изложения основных понятий физики частиц и полей к изучению макрофизики. Широко используются свойства симметрии законов физики, что дает возможность рассматривать наиболее глубокие связи в природе. Наряду с традиционными разделами в курсе представлены физическая гидродинамика, физика плазмы и астрофизика.

Книга предназначена для студентов университетов, педагогических институтов, а также всех вузов, в которых физика является одной из основных дисциплин.

Издательство «Едиториал УРСС».
117312, Москва, пр. т. Шестидесятилетия Октября, 9.
Формат 60×90/16. Печ. л. 23.


ISBN 978-5-354-01460-6

© Едиториал УРСС, 2004, 2013

13982 ID 170938



9 785354 014606

НАУЧНАЯ И УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА	
 URSS	E-mail: URSS@URSS.ru
	Каталог изданий в Интернете: http://URSS.ru
	Тел./факс (многоканальный): + 7 (499) 724 25 45

Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельца.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	10
Глава I	
Единство природы	12
§ 1. Иерархия объектов в природе	12
1.1. Элементарные частицы	12
1.2. Ядра	15
1.3. Атомы и молекулы	16
1.4. Макротела	17
1.5. Планеты	18
1.6. Звезды. Галактики. Вселенная	19
§ 2. Четыре вида фундаментальных взаимодействий	20
2.1. Связанные системы объектов. Взаимодействия	20
2.2. Гравитационные взаимодействия (тяготение)	20
2.3. Электромагнитные взаимодействия	21
2.4. Сильные (ядерные) взаимодействия	21
2.5. Слабые взаимодействия	21
2.6. Сравнительная оценка интенсивностей всех видов взаимодействий	22
2.7. Поля и вещество	22
§ 3. Пространство и время	23
3.1. Пространственная и временная шкалы в природе	23
3.2. Однородность пространства и времени	24
3.3. Свободные тела и движение по инерции	24
3.4. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности	25
Глава II	
Механика материальной точки	27
§ 4. Координаты, скорость, ускорение	27
§ 5. Преобразования Галилея	28
5.1. Абсолютность размеров и промежутков времени	29
5.2. Относительность скоростей и их закон преобразования	29
5.3. Абсолютность ускорений	30
§ 6. Закон движения в механике	30
§ 7. Движение материальной точки в поле тяготения	31
§ 8. Импульс. Закон сохранения импульса	33

§ 9. Закон сохранения энергии. Применения и универсальность законов сохранения	34
9.1. Закон сохранения энергии	34
9.2. Применения законов сохранения	37
9.3. Универсальность законов сохранений. Момент импульса	41
§ 10. Предельная скорость. Механика частиц высоких энергий	42
10.1. Эксперименты на ускорителях и предельная скорость	42
10.2. Преобразования Лоренца	43
10.3. Релятивистские энергия и импульс	46
10.4. Роль релятивистской постоянной c в физике	48
Глава III	
Электромагнитное поле	50
§ 11. Электрический заряд	50
§ 12. Способ изучения поля	51
12.1. Уравнения движения заряда в поле	51
12.2. Законы преобразования полей	51
§ 13. Законы электромагнитного поля	53
13.1. Новые объекты и новая математика	53
13.2. Первое уравнение поля. Связь электрического поля с электрическими зарядами	54
13.3. Второе уравнение поля. Отсутствие магнитных зарядов	54
13.4. Третье уравнение поля. Связь тока и «чего-то» с вихревым магнитным полем	55
13.5. Четвертое уравнение поля. Связь переменного магнитного поля с вихревым электрическим	56
13.6. Дополнительный анализ третьего уравнения поля. Связь переменного электрического поля с вихревым магнитным	56
13.7. Уравнения Максвелла	57
§ 14. Постоянное электрическое поле	58
14.1. Поле покоящегося точечного заряда	58
14.2. Поля зарядов, распределенных по сфере, линии, плоской поверхности	58
14.3. Электростатическая энергия зарядов. Потенциал поля	60
14.4. Поле диполя. Взаимодействия заряд—диполь и диполь—диполь	62
§ 15. Постоянное магнитное поле	64
15.1. Магнитное поле прямолинейного тока	64
15.2. Магнитное поле токовой плоскости	64
15.3. Магнитный момент и его связь с механическим моментом	65
§ 16. Движение зарядов в полях	66
16.1. Движение заряда в постоянном однородном электрическом поле	66
16.2. Движение заряда в постоянном однородном магнитном поле	67
16.3. Движение заряда в кулоновском поле	68
§ 17. Поля движущихся зарядов. Излучение	70
17.1. Поле равномерно движущегося заряда	71
17.2. Излучение ускоренно движущегося заряда	74

17.3. Излучение заряда, движущегося равномерно по окружности	77
§ 18. Электромагнитные волны	77
18.1. Некоторые свойства поля излучения	77
18.2. Бегущие волны	78
18.3. Излучение электромагнитных волн колеблющимися зарядами. Энергия и импульс волн	79
18.4. Собственные колебания поля. Стоячие волны	80
§ 19. Распространение света	82
19.1. Интерференция электромагнитных волн	82
19.2. Дифракция электромагнитных волн	83
19.3. Геометрическая оптика	84

Глава IV

Атомные явления. Квантовая механика	85
§ 20. О планетарной модели атома	85
§ 21. Опыты по дифракции частиц	85
§ 22. Соотношения неопределенностей	89
§ 23. Волны вероятности	91
23.1. Комплексные числа. Формула Эйлера	91
23.2. Комплексные волны вероятности. Принцип суперпозиции	93
23.3. Предельный переход к классической механике	94
§ 24. Электрон в атоме	96
24.1. Энергия и ее квантование	96
24.2. Момент импульса и его квантование	99
24.3. Амплитуды вероятности и квантовые числа	101
§ 25. Многоэлектронный атом	102
25.1. Спин электрона	102
25.2. Системы одинаковых частиц. Квантовые статистики	104
25.3. Атомные квантовые состояния	106
§ 26. Квантованное излучение атома	107
26.1. Квантовые переходы. Линейчатые спектры излучения	107
26.2. Фотон. Понятие четности. Правила отбора	108
§ 27. Взаимодействие фотонов с электронами. Фотоэффект. Комптон-эффект	113
§ 28. Одновременная измеримость величин и понятие об их полных наборах	115
§ 29. Молекулы	116

Глава V

Макроскопические тела как совокупности частиц. Тепловые явления	119
§ 30. Основная задача статистической физики	119
§ 31. Макроскопические величины. Флуктуации	121
§ 32. Статистическое рассмотрение модели газа	122
32.1. «Машинные эксперименты»	122
32.2. Обратимость во времени микроскопических процессов и необратимость процессов в макротелах	123

§ 33. Энтропия	123
§ 34. Температура	124
§ 35. Равновесное распределение частиц в телах	128
§ 36. Термодинамические соотношения	131
§ 37. Идеальный газ	134
37.1. Вещество и его состояния	134
37.2. Классический и квантовый идеальные газы	134
37.3. Уравнение состояния идеального газа	136
37.4. Теплоемкость идеального газа	138
37.5. Обратимые тепловые процессы	140
§ 38. Статистика и термодинамика излучения	143
§ 39. Кристаллы	147
39.1. Кристаллическая решетка	147
39.2. Типы связей в решетках	148
39.3. Механические свойства кристаллов	149
39.4. Электронные энергетические спектры кристаллов	155
39.5. Теплоемкость решетки	156
39.6. Электронный газ в металлах	161
§ 40. Фазовые переходы	165
Глава VI	
Макроскопические движения сред. Неравновесные процессы	171
§ 41. Неравновесные состояния тел	171
§ 42. Макроскопическое движение	172
§ 43. Уравнения гидродинамики идеальной жидкости	173
43.1. Закон сохранения вещества в гидродинамике	174
43.2. Уравнение движения в гидродинамике	176
§ 44. Гидродинамическое рассмотрение задач на вязкие течения, теплопроводность и диффузию	178
44.1. Вязкость	178
44.2. Течение вязкой жидкости в трубе	180
44.3. Теплопроводность	181
44.4. Передача теплоты между двумя стенками	182
44.5. Диффузия. Растворение кристалла в жидкости	183
§ 45. Кинетические коэффициенты в газах и их связь с молекулярными характеристиками	185
45.1. Понятие длины свободного пробега молекул	186
45.2. Молекулярное рассмотрение процесса диффузии	188
45.3. Диффузия как задача о случайном блуждании частиц	189
45.4. Связь между кинетическими коэффициентами	191
§ 46. Законы сопротивления движению тел в жидкости	192
46.1. Метод подобия. Число Рейнольдса	192
46.2. Сопротивление при малых скоростях	193
46.3. Сопротивление при больших (дозвуковых) скоростях	196
§ 47. Неустойчивости в гидродинамике	197
47.1. Переход ламинарных течений в турбулентные	197

47.2. Пограничный слой	199
47.3. Развитая турбулентность	200
47.4. Переход от молекулярного к конвекционному переносу тепла. Солнечная грануляция	202
§ 48. Волны на воде	204
48.1. Гравитационные поверхностные волны	204
48.2. Характеристики волн	206
48.3. Линейные и нелинейные волны	208
48.4. Солитоны и другие нелинейные эффекты	208
48.5. Сильно возмущенные среды	209
48.6. Волны звука в океане	210
§ 49. Сверхзвуковые потоки газа	211
49.1. Уравнение Бернулли и термодинамика	211
49.2. Критерий сжимаемости среды и скорость звука	212
49.3. Течение в трубе с переменным сечением	213
§ 50. Газовый поток и горение	215
§ 51. Ударные волны	216
51.1. Распространение возмущений в потоке сжимаемого газа	216
51.2. Общие соотношения для ударного скачка	219
51.3. Ударные волны в идеальном газе	222
51.4. Задача о сильном взрыве в атмосфере	225
§ 52. Эффекты гидродинамической кумуляции	227
52.1. Кумулятивные струи	227
52.2. Схлопывание пузырьков в жидкости	230
52.3. Сходящиеся сферические и цилиндрические ударные волны	231
52.4. Роль неустойчивостей в ограничении кумуляции. Создание сверхсильных магнитных полей	231
§ 53. Выход ударной волны на поверхность звезды. Происхождение космических лучей	232
§ 54. Сверхтекучая квантовая жидкость	233
§ 55. Сверхтекучесть в нейтронных звездах	235
Глава VII	
Электромагнитные поля в средах. Электрические, магнитные и оптические свойства вещества	
§ 56. Сверхпроводимость	237
§ 57. Электропроводность металлов	238
§ 58. Постоянный электрический ток	242
§ 59. Проводимость диэлектриков	245
59.1. Электроны и дырки. Экситонные состояния	245
59.2. Полупроводники	246
§ 60. Электрические поля в веществе	248
60.1. Флуктуации поля в веществе	248
60.2. Электростатическое поле в металле	249
60.3. Электростатические поля в диэлектриках. Поляризация вещества	250

§ 61. Вещество в магнитном поле	254
61.1. Диамагнитный эффект	254
61.2. Парамагнетики. Ориентационная намагниченность	256
61.3. Спонтанная намагниченность. Ферромагнетизм	257
61.4. Магнитные свойства сверхпроводников. Квантование крупномасштабного магнитного потока	260
§ 62. Переменные токи и электромагнитные волны в среде.	
Оптические свойства сред	263
62.1. Переменные поля и вещество	263
62.2. Индукционная э. д. с	264
62.3. Цепи переменного тока. Решения дифференциальных уравнений	265
62.4. Генерация электромагнитных волн	272
62.5. Некоторые законы оптики сред. Скорость распространения электромагнитных волн в среде. Отражение и преломление волн	273
62.6. Показатель преломления в диэлектриках. Дисперсия света. Поглощение света	277
62.7. Показатель преломления в металлах. Скин-эффект. Прозрачность металлов к жесткому излучению	279
62.8. Эффекты нелинейной оптики	281
62.9. Лазеры	283
62.10. Космические мазеры	286
Глава VIII	
Плазма	289
§ 63. Общие замечания	289
§ 64. Квантовые явления в плазме. Туннелирование ядер сквозь потенциальный барьер	289
§ 65. Релятивистские эффекты в плазме. Дефект массы при синтезе ядер и их энерговыделение	293
§ 66. Статистика плазмы. Уравнение состояния плазмы. Тепловое излучение плазмы	294
§ 67. Кинетика плазмы. Подвижность ионов и ее связь с диффузией. Электропроводность плазмы	297
§ 68. Магнитная гидродинамика	298
68.1. «Токамаки» и «стеллараторы»	298
68.2. Как возникают и «живут» магнитные поля звезд и планет	301
68.3. Колебания и волны в магнитной гидродинамике	303
68.4. Магнитосфера Земли	304
§ 69. Распространение радиоволн в ионосфере Земли	308
Глава IX	
Звездные и дозвездные состояния вещества	310
§ 70. Состояние вещества при сверхвысоких температурах и плотностях	310
§ 71. Звезда — газовый шар	312

71.1.	Расчет давления и температуры в центре звезды	312
71.2.	Температура поверхности и полная мощность излучения звезды	313
71.3.	Перенос энергии в звездах	314
§ 72.	Источники звездной энергии	315
72.1.	Анализ возможных источников энергии звезд	315
72.2.	Ядерные реакции протон-протонного цикла	316
§ 73.	Плотные звезды — белые карлики	317
73.1.	Возможная эволюция звезд типа Солнца	317
73.2.	Плотность и размеры белых карликов	318
73.3.	Предельная масса белых карликов	319
§ 74.	Сверхплотные нейтронные звезды	320
74.1.	Размеры нейтронных звезд	320
74.2.	Вращение и магнитные поля нейтронных звезд	321
74.3.	Радиоизлучение пульсаров	321
74.4.	Внутренняя структура нейтронных звезд	323
74.5.	Гравитационные эффекты в окрестностях нейтронной звезды	324
§ 75.	Гравитация и релятивизм	325
75.1.	Принцип эквивалентности	325
75.2.	Геометрия и ход времени в неинерциальных системах отсчета	327
75.3.	Уравнения Эйнштейна	327
§ 76.	Расширение Вселенной	327
76.1.	Фридмановские космологические решения	327
76.2.	Открытие «расширения» Вселенной	328
76.3.	Критическая плотность	330
§ 77.	Горячая Вселенная	331
77.1.	Открытие фонового теплового радиоизлучения	331
77.2.	Зарядово-несимметричная модель ранней Вселенной	332
77.3.	Изменение плотности и температуры дозвездной материи в процессе космологического расширения	334
77.4.	Состояние вещества в ранние эпохи горячей Вселенной	334
§ 78.	Синтез элементов в звездах	337
Приложения		342
I.	Фундаментальные эксперименты в истории физики и выдающиеся изобретения в физико-технической области	342
II.	О мировых постоянных, анализе размерностей и системах единиц	347
III.	Единицы физических величин	352
IV.	Внесистемные единицы	354
V.	Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований	354
VI.	Некоторые физические постоянные (приближенные значения)	354
VII.	Латинский и греческий алфавиты	356
Предметный указатель		358