

В. Г. ЛЕВИЧ

**Курс**

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ  
ФИЗИКИ**

Том I



В. Г. ЛЕВИЧ

# КУРС ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Том I

ТЕОРИЯ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ  
ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ  
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ  
В ВЕЩЕСТВЕ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ

*Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР  
в качестве учебного пособия  
для студентов физико-технических вузов и факультетов*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА 1969

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие ко второму изданию . . . . .	10
Предисловие к первому изданию . . . . .	12

### ЧАСТЬ I

#### ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Глава I. Общая теория электромагнитного поля . . . . .	17
§ 1. Задачи теоретической физики . . . . .	17
§ 2. Нахождение векторного поля по его дифференциальным характеристикам . . . . .	19
§ 3. Заряды и частицы . . . . .	24
§ 4. Поле неподвижных зарядов . . . . .	26
§ 5. Уравнение непрерывности . . . . .	31
§ 6. Электромагнитное поле зарядов, движущихся с постоянной скоростью . . . . .	33
§ 7. Электромагнитное поле движущихся зарядов. Общий случай . . . . .	37
§ 8. Система уравнений Максвелла—Лоренца . . . . .	41
§ 9. Ток смещения . . . . .	43
§ 10. Потенциалы электромагнитного поля . . . . .	47
§ 11. Калибровочная инвариантность потенциалов . . . . .	49
§ 12. Закон сохранения энергии в электромагнитном поле . . . . .	52
§ 13. Закон сохранения импульса в электромагнитном поле . . . . .	55
Глава II. Электростатическое поле . . . . .	59
§ 14. Электростатическое поле . . . . .	59
§ 15. Электростатическое поле системы точечных зарядов . . . . .	61
§ 16. Квадрупольный момент . . . . .	66
§ 17. Работа и энергия во внешнем электростатическом поле . . . . .	70
§ 18. Энергия взаимодействия системы зарядов и энергия электростатического поля . . . . .	73
Глава III. Квазистационарное магнитное поле . . . . .	76
§ 19. Поле системы зарядов, совершающих медленное квазистационарное движение . . . . .	76
§ 20. Поле одиночного заряда, совершающего медленное равномерное движение . . . . .	82
§ 21. Поле системы зарядов, совершающих квазистационарное движение на больших расстояниях от системы . . . . .	84
§ 22. Магнитный момент . . . . .	86

**Глава IV. Электромагнитное поле произвольно движущихся зарядов 89**

- § 23. Электромагнитное поле системы произвольно движущихся зарядов . . . . . 89  
 § 24\*. Общее решение уравнения Даламбера в виде запаздывающих потенциалов . . . . . 98  
 § 25\*. Поле произвольно движущегося точечного заряда . . . . . 104

**Глава V. Теория излучения . . . . . 111**

- § 26. Потенциалы электромагнитного поля вдали от излучения в дипольном приближении . . . . . 111  
 § 27. Электромагнитное поле дипольного излучения вдали от излучателя . . . . . 116  
 § 28. Дипольное излучение простейших систем . . . . . 119  
 § 29. Реакция излучения . . . . . 123  
 § 30. Ширина излучаемых линий . . . . . 127  
 § 31. Влияние магнитного и электрического полей на излучение (эффекты Зеемана и Штарка). Квадрупольное и магнитное дипольное излучение . . . . . 131  
 § 32\*. Общий случай излучения — спектральное разложение, волновая и квазистатическая зона, учет собственного запаздывания . . . . . 137

**Глава VI. Электромагнитное поле в вакууме и рассеяние электромагнитных волн . . . . . 145**

- § 33. Распределение электромагнитных волн вдали от излучателя . . . . . 145  
 § 34. Поляризация плоской волны . . . . . 151  
 § 35. Интерференция и образование волновых пакетов . . . . . 152  
 § 36. Рассеяние электромагнитных волн свободным и связанным зарядами . . . . . 157  
 § 37. Поглощение излучения . . . . . 161  
 § 38\*. Каноническая форма уравнений поля . . . . . 163

**Глава VII. Движение частиц в электромагнитных полях . . . . . 172**

- § 39. Движение заряженных частиц в постоянных электрическом и магнитном полях . . . . . 172  
 § 40. Движение заряженных частиц в медленно изменяющихся магнитных полях . . . . . 179  
 § 41. Функции Лагранжа и функция Гамильтона частицы, движущейся в электромагнитном поле . . . . . 182  
 § 42. Движение и излучение системы из двух заряженных частиц . . . . . 184  
 § 43. Рассеяние частиц и излучение при рассеянии . . . . . 190

**ЧАСТЬ II****ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ****Глава I. Общие принципы теории относительности . . . . . 204**

- § 1. Возникновение и значение теории относительности . . . . . 204  
 § 2. Преобразования Галилея . . . . . 205  
 § 3. Попытки определения абсолютной скорости . . . . . 208  
 § 4. Постулаты теории относительности Эйнштейна . . . . . 210  
 § 5. Преобразования Лоренца . . . . . 213  
 § 6. Следствия из преобразований Лоренца. Пространственные и временные промежутки . . . . . 216  
 § 7. Закон сложения скоростей Эйнштейна и преобразование углов . . . . . 222  
 § 8. Одновременность, близко- и дальноедействие . . . . . 224  
 § 9. Абсолютные величины в теории относительности. Интервал и собственное время . . . . . 226

§ 10. Инвариантность физических законов относительно преобразований Лоренца. Четырехмерная формулировка теории относительности	229
§ 11. Четырехмерные векторы и тензоры. Четырехмерные скорость и ускорение	235
<b>Глава II. Механика теории относительности</b>	<b>242</b>
§ 12. Уравнения динамики материальной точки	242
§ 13. Импульс, энергия и масса в релятивистской механике	245
§ 14. Уравнения Лагранжа; функции Лагранжа и Гамильтона	251
§ 15. Механика системы частиц в теории относительности	253
§ 16. Закон сохранения энергии — импульса в ядерной физике	258
§ 17. Теория столкновений релятивистских частиц. Эффект Комптона	268
<b>Глава III. Электродинамика теории относительности</b>	<b>273</b>
§ 18. Инвариантность заряда, четырехмерный ток и уравнение непрерывности	273
§ 19. Релятивистски-инвариантная формулировка уравнений для потенциалов	274
§ 20. Поле движущегося заряда	276
§ 21. Тензор электромагнитного поля и уравнения Максвелла	282
§ 22. Допплер-эффект; эффект Мёссбауэра; наблюдение за быстро движущимися телами; преобразование углов, интенсивности, сечения	285
§ 23. Сила Лоренца; функции Лагранжа и Гамильтона частицы, движущейся в электромагнитном поле	299
§ 24. Движение частиц в постоянных электрическом и магнитном полях	304
§ 25*. Система слабо взаимодействующих заряженных частиц	311
§ 26. Излучение движущегося заряда	319

## ЧАСТЬ III

### СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

<b>Глава I. Основные понятия теории вероятностей</b>	<b>325</b>
§ 1. Задачи статистической физики. Необходимые сведения из классической квантовой механики	325
§ 2. Необходимые сведения из теории вероятностей	342
§ 3. Средние значения и флуктуации	348
§ 4. Нормальное распределение и моменты	354
§ 5. Коррелятивная функция	357
<b>Глава II. Кинетическая теория газов</b>	<b>361</b>
§ 6. Простейшая статистическая система — идеальный газ	361
§ 7. Распределение Максвелла	365
§ 8. Столкновения молекул со стенкой сосуда. Давление. Связь параметра $\alpha$ с абсолютной температурой	369
§ 9. Свойства распределения Максвелла	372
§ 10. Вычисление характерных величин	375
§ 11. Столкновения молекул между собой	378
§ 12. Длина свободного пробега	381
<b>Глава III. Статистическое распределение</b>	<b>384</b>
§ 13. Квазинезависимые системы	384
§ 14. Статистическое распределение	385
§ 15. Вероятность состояний системы	388

§ 16.	Распределение Гиббса . . . . .	393
§ 17.	Статистическая температура . . . . .	400
§ 18.	Свойства распределения Гиббса и статистическое равновесие . . . . .	402
§ 19.	Переход к классической статистике . . . . .	404
§ 20.	Одноатомный газ как целое . . . . .	408
<b>Глава IV. Статистическая и феноменологическая термодинамика . . . . .</b>		<b>414</b>
§ 21.	Внутренняя энергия макроскопической системы. Первое и второе начала термодинамики . . . . .	414
§ 22.	Работа и давление . . . . .	417
§ 23.	Изменение энергии системы в общем случае квазистатического процесса . . . . .	420
§ 24.	Энтропия и основное термодинамическое равенство . . . . .	423
§ 25.	Закон возрастания энтропии . . . . .	427
§ 26.	Основное термодинамическое неравенство . . . . .	432
§ 27.	Максимальная работа процессов. Невозможность построения вечного двигателя второго рода и феноменологическое определение энтропии . . . . .	434
§ 28.	Максимальная работа некруговых процессов и термодинамические потенциалы . . . . .	439
§ 29.	Свойства термодинамических потенциалов . . . . .	442
§ 30.	Некоторые термодинамические соотношения . . . . .	444
§ 31.	Приемы преобразования термодинамических величин . . . . .	446
§ 32.	Определение термодинамических величин методами статистической физики . . . . .	450
§ 33.	Определение термодинамических величин из опытных данных . . . . .	454
§ 34.	Дросселирование . . . . .	457
§ 35.	Третье начало термодинамики . . . . .	459
§ 36.	Статистический характер второго начала термодинамики . . . . .	466
<b>Глава V. Идеальные газы . . . . .</b>		<b>476</b>
§ 37.	Функция распределения для идеальных газов . . . . .	476
§ 38.	Распределение Максвелла—Больцмана и распределение Больцмана в однородном поле сил . . . . .	484
§ 39.	Вычисление теплоемкости двухатомных молекул с помощью классической статистики и закон равномерного распределения по степеням свободы . . . . .	490
§ 40.	Термодинамические функции системы, могущей находиться в двух квантовых состояниях . . . . .	499
§ 41.	Двухатомные молекулы . . . . .	503
§ 42.	Термодинамические функции двухатомных газов . . . . .	508
§ 43.	Колебательная функция состояний и вклад колебаний в энергию и теплоемкость . . . . .	510
§ 44.	Вращательная функция состояний и вклад вращения в термодинамические функции . . . . .	515
§ 45.	Многоатомные молекулы . . . . .	519
<b>Глава VI. Системы взаимодействующих частиц . . . . .</b>		<b>525</b>
§ 46.	Взаимодействие между молекулами в неидеальных газах . . . . .	525
§ 47.	Уравнение состояния неидеального газа . . . . .	529
§ 48*	Метод коррелятивных функций и его применение к теории плотных газов и жидкостей . . . . .	534
§ 49*	Уравнение состояния и энергия системы . . . . .	538

Глава VII. Кристаллы . . . . .	545
§ 50. Строение кристаллов и тепловое движение . . . . .	545
§ 51. Длинные волны в трехмерном кристалле . . . . .	557
§ 52. Функция состояний кристалла . . . . .	561
§ 53. Термодинамические функции кристалла . . . . .	563
§ 54. Сравнение теории с экспериментом . . . . .	565
Глава VIII. Теория флуктуаций . . . . .	570
§ 55. Малые флуктуации в макроскопических системах . . . . .	570
§ 56. Броуновское движение . . . . .	576
§ 57. Флуктуации термодинамических величин в однородной системе . . . . .	582
§ 58. Влияние флуктуаций на чувствительность измерительных приборов . . . . .	588
Глава IX. Системы с переменным числом частиц . . . . .	593
§ 59. Большое каноническое распределение Гиббса . . . . .	593
§ 60. Основное термодинамическое равенство и вычисление парциальных потенциалов . . . . .	600
§ 61. Условия равновесия фаз . . . . .	603
§ 62. Уравнение кривой фазового равновесия . . . . .	605
§ 63. Теория фазовых переходов . . . . .	612
§ 64. Кривые фазового равновесия . . . . .	617
§ 65. Поверхностное натяжение и поверхностное давление . . . . .	621
§ 66. Адсорбция газов . . . . .	625
§ 67. Химические равновесия в газовой фазе . . . . .	629
§ 68. Закон действующих масс . . . . .	630
§ 69. Тепловая диссоциация атомов . . . . .	633
Глава X. Статистические распределения в квантовой статистике и некоторые их приложения . . . . .	636
§ 70. Последовательный учет тождественности элементарных частиц . . . . .	636
§ 71. Другой метод вывода статистического распределения . . . . .	637
§ 72. Квантовые распределения для идеального газа . . . . .	641
§ 73. Излучение черного тела . . . . .	648
§ 74. Классическая теория черного излучения . . . . .	652
§ 75. Формула Планка . . . . .	654
§ 76. Статистика фотонного газа . . . . .	656
§ 77. Свойства жидкого гелия II . . . . .	662
§ 78*. Статистическая теория жидкого гелия II . . . . .	666
§ 79. Электронный газ в металле при абсолютном нуле . . . . .	671
§ 80. Электронный газ при низких температурах . . . . .	676

## ЧАСТЬ IV

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ВЕЩЕСТВЕ

Глава I. Электромагнитные поля в веществе . . . . .	684
§ 1. Вывод основных уравнений поля . . . . .	684
§ 2. Поляризация среды в электрическом поле . . . . .	687
§ 3. Средняя плотность тока и средняя плотность заряда в среде . . . . .	689

§ 4. Система уравнений для электромагнитного поля в среде . . . . .	695
§ 5. Система граничных условий . . . . .	698
§ 6. Пределы применимости системы уравнений связи . . . . .	700
§ 7. Закон сохранения энергии . . . . .	703
<b>Глава II. Электростатика . . . . .</b>	<b>706</b>
§ 8. Электростатическое поле . . . . .	706
§ 9. Решение задач электростатики . . . . .	710
§ 10. Методы изображений и отражений . . . . .	713
§ 11. Энергия системы проводников . . . . .	716
§ 12. Диэлектрики и проводники во внешнем электростатическом поле . . . . .	718
§ 13. Термодинамические потенциалы диэлектрика и диэлектрическая восприимчивость . . . . .	721
<b>Глава III. Постоянный электрический ток . . . . .</b>	<b>731</b>
§ 14. Закон Ома . . . . .	731
§ 15. Линейный проводник с постоянным током . . . . .	733
§ 16. Постоянный ток в проводящей среде . . . . .	735
§ 17. Магнитное поле постоянных токов. Закон Био — Савара . . . . .	738
§ 18. Намагниченные магнетиков и магнитный момент . . . . .	742
§ 19. Парамагнитная восприимчивость . . . . .	748
§ 20. Ферромагнетизм — спонтанное намагничение и гистерезис . . . . .	753
§ 21. Сверхпроводимость . . . . .	761
<b>Глава IV. Квазистационарные электромагнитные поля . . . . .</b>	<b>767</b>
§ 22. Условия квазистационарности . . . . .	767
§ 23. Закон индукции в движущихся проводниках и средах . . . . .	769
§ 24. Уравнения Максвелла для квазистационарных полей в интегральной форме и их интегрирование для случая линейных проводников . . . . .	772
§ 25. Энергия магнитного поля системы квазистационарных токов . . . . .	776
§ 26. Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции для нелинейных проводников . . . . .	780
§ 27. Уравнения Лагранжа для системы квазистационарных токов . . . . .	783
§ 28. Обобщенные ponderomotorные силы в системе с подвижными контурами . . . . .	787
§ 29. Флуктуации в проводниках и формула Найквиста . . . . .	791
§ 30. Скин-эффект . . . . .	796
§ 31. Электромагнитные волны в однородной изотропной среде . . . . .	799
<b>Глава V. Поля высокой частоты . . . . .</b>	<b>806</b>
§ 32. Дисперсионные соотношения . . . . .	806
§ 33. Электромагнитное поле в среде с пространственной и временной дисперсией . . . . .	810
§ 34. Дисперсия света . . . . .	815
§ 35. Геометрическая оптика . . . . .	819
§ 36. Дифракция . . . . .	823
§ 37. Отражение и преломление электромагнитных волн на границе раздела сред . . . . .	832
§ 38. Волноводы . . . . .	838
§ 39*. Прохождение быстрых частиц через вещество . . . . .	845



Глава VI. Вещество в состоянии плазмы . . . . .	854
§ 40. Общая характеристика плазмы . . . . .	854
§ 41. Равновесная плазма . . . . .	855
§ 42. Плазма в стационарном электромагнитном поле . . . . .	863
§ 43. Магнитная изоляция и пинч-эффект . . . . .	857
§ 44. Магнитное поле в движущейся плазме . . . . .	869
§ 45. Магнитогидродинамические волны . . . . .	873
§ 46*. Плазма в высокочастотном электрическом поле . . . . .	877
Приложение I . . . . .	884
Приложение II . . . . .	899
Приложение III . . . . .	902
Приложение IV . . . . .	908