

**В.Г. Левич**

**Курс теоретической  
физики**

**Том 1**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 53  
ББК 22.3  
В11

**В.Г. Левич**  
В11 Курс теоретической физики: Том 1 / В.Г. Левич – М.: Книга по Требованию, 2013. – 910 с.

**ISBN 978-5-458-41099-1**

Курс теоретической физики. В двух томах. Том 1. Теория электромагнитного поля. Теория относительности. Статистическая физика. Электромагнитные процессы в веществе. Первое издание книги «Курс теоретической физики» (1962 г.) использовалось в ряде высших учебных заведений в качестве учебного пособия. Полученные многочисленные замечания и пожелания ряда коллег, преподавателей и учащихся, были, по возможности, учтены в процессе подготовки книги к переизданию.

**ISBN 978-5-458-41099-1**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

[www.samizday.ru/reprint](http://www.samizday.ru/reprint)



§ 10. Инвариантность физических законов относительно преобразований Лоренца. Четырехмерная формулировка теории относительности	220
§ 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 Мессбауэра; 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	343
§ 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 . . . . .	425
§ 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

<b>Глава VII. Кристаллы</b> . . . . .	<b>545</b>
§ 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
<b>Глава VIII. Теория флуктуаций</b> . . . . .	<b>570</b>
§ 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
<b>Глава IX. Системы с переменным числом частиц</b> . . . . .	<b>593</b>
§ 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
<b>Глава X. Статистические распределения в квантовой статистике и некоторые их приложения</b> . . . . .	<b>636</b>
§ 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

<b>Глава I. Электромагнитные поля в веществе</b> . . . . .	<b>684</b>
§ 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	Намагничение 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 шпте гравной форме и их интегрирование для случая линейных проводников . . . . .	772
§ 25	Энергия магнитного поля системы квазистационарных токов . . . . .	776
§ 26	Коэффициенты самоиндукции и взаимной индукции для неллинейных проводников . . . . .	780
§ 27	Уравнения Лагранжа для системы квазистационарных токов . . . . .	783
§ 28	Обобщенные поидеромоторные 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	877
§ 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

## ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Первое издание книги «Курс теоретической физики» (1962 г.) использовалось в ряде высших учебных заведений в качестве учебного пособия.

Полученные многочисленные замечания и пожелания ряда коллег, преподавателей и учащихся, были, по возможности, учтены в процессе подготовки книги к переизданию.

Быстрое развитие физики и широкий интерес, который приобрели в физике неравновесные и нестационарные процессы, побудили существенно расширить раздел физической кинетики. При этом казалось целесообразным перенести раздел физической кинетики в конец второго тома. Излагать физическую кинетику, не опираясь на сведения из квантовой механики, практически невозможно.

Существенной переработке подверглась часть IV — «Электромагнитные процессы в веществе». В самые последние годы в физике повысился интерес к электромагнитным процессам в веществе главным образом в связи с исследованиями плазмы и плазмopodobных сред. Мы сочли необходимым включить в книгу соответствующие разделы.

Методы расчета электростатических полей, полей постоянных токов и другие задачи классической электродинамики в среде изложены более чем кратко. Хотя их практическая важность очевидна, мы полагали, что учащиеся имеют возможность ознакомиться более подробно с этими вопросами в курсах общей физики, электро- и радиотехники и в курсе методов математической физики. Кроме того, этот круг проблем достаточно подробно освещен в монографической и учебной литературе.

Среди других изменений и добавлений следует особо указать на введение тензорных обозначений и понятий в теорию относительности и теорию электромагнитного поля; расширение введения в теорию вероятностей; краткое изложение метода коррелятивных функций в статистической физике; изложение термодинамической теории ферромагнетизма и теории распространения электромагнитных волн в плазме.

Ряд параграфов переписан заново. При этом мы стремились, по возможности, приблизить содержание книги к интересам современной теоретической физики.

Общий уровень книги во втором издании сохранен. Она по-прежнему предназначена для первоначального ознакомления с теоретической физикой. Поэтому те вопросы, которые требуют использования громоздкого или специального математического аппарата, в курс не были включены. В виде примера можно привести теорию фазовых переходов в модели Изинга. Наиболее сложные параграфы отмечены звездочкой. Они могут быть при желании опущены, поскольку в дальнейшем тексте ссылок на них не имеется.

Май 1968 г.

*Автор*

## ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Непрерывное развитие теоретической физики и постоянное расширение области ее приложений предъявляет все новые и новые требования к соответствующим учебникам и руководствам.

Развитие и усложнение новейших экспериментальных методов физического исследования, с одной стороны, и такое же развитие и необычайное расширение расчетного аппарата теоретической физики, с другой стороны, привели к тому, что, как правило, один человек не может совмещать в своей деятельности оба метода исследования. Отсюда — возникшее в конце XIX века и особенно в XX веке разделение физиков на «экспериментаторов», непосредственно осуществляющих опытные исследования в лабораториях, и «теоретиков», изучающих физические закономерности с помощью расчетных методов теоретической физики.

Ясно, однако, что определенный круг сведений по теоретической физике является основой физического образования как теоретиков, так и экспериментаторов.

Методы физического исследования — экспериментальные и теоретические, проникли в целый ряд смежных с физикой научных дисциплин (физическая химия, биофизика, геофизика, астрофизика и т. д.) и в технику (металлофизика и металловедение, теплофизика, электро- и радиотехника, вычислительная техника, приборостроение и т. д.). Лицам, работающим в этих областях науки и техники, также необходим некоторый минимум сведений по теоретической физике.

Составление современного руководства по теоретической физике неизбежно связано с известными логическими и методическими трудностями. В настоящее время невозможно разделить теоретическую физику на классическую и квантовую части и даже последовательно разбить ее на отдельные главы и разделы. Например, изложение статистической физики без учета квантовых свойств атомных систем не представляется возможным, так как это означало бы, что общая теория осталась без практических приложений; в теории электромагнитных процессов в веществе неизбежно приходится пользоваться понятиями

статистической физики и т. д. Возможно, что предельно логическая последовательность построения была бы достигнута, если бы в основу книги была положена квантовая механика. Однако это представляется совершенно недопустимым в книге, предназначенной для первоначального знакомства с предметом. Первоначальное изучение квантовой механики невозможно без некоторой «моральной» подготовки. Учащийся должен быть убежден в необходимости отказа от наглядных классических представлений. Поэтому неизбежны некоторые компромиссные решения, которые оправдали себя в многолетней практике преподавания теоретической физики в Московском инженерно-физическом институте.

Книга разбита на следующие части:

1. Теория электромагнитного поля.
2. Теория относительности.
3. Статистическая физика.
4. Теория электромагнитного поля в веществе.
5. Квантовая механика.

При изложении этих разделов мы исходили из следующих общих принципов:

1) Книга предназначена для систематического изучения предмета и представляет единое целое. Все сведения, необходимые для понимания последующих разделов, содержатся в предшествующих им главах.

2) Было бы невозможно наряду с вопросами, относящимися собственно к теоретической физике, освещать и соответствующие опытные факты. С другой стороны, физика является единой наукой и попытка изложить теоретическую физику вне связи с экспериментом была бы глубоко ошибочной. Предполагается, однако, что читатель знаком с основными опытными фактами из вузовских курсов общей физики и атомной физики. Поэтому мы ограничивались лишь ссылками и в сравнительно немногих случаях — схематическим описанием основных экспериментов.

3) Предполагаемое знакомство с общим курсом физики и атомной физикой позволили в изложении статистической физики опираться на некоторые (хотя и весьма ограниченные) сведения из квантовой теории.

4) Поскольку обычно классическая механика является отдельным курсом, в книге нет соответствующего раздела, но имеются детальные ссылки на известные курсы механики.

5) По этой же причине в книгу не включено изложение гидро- и аэродинамики и теории теплопередачи, а также вопросы, смежные с электро- и радиотехникой.

6) В книге даны детальные ссылки на математические руководства. Используемый математический аппарат, кроме параграфов, отмеченных звездочкой, находится в соответствии с

обычной программой курса анализа в инженерно-физических вузах. В случае квантовой механики математический аппарат дан в самой книге, поскольку он имеет специфический характер и не излагается в традиционных курсах математики. Однако и здесь математический аппарат излагается отдельно от основного текста.

7) Поскольку книга предназначена для систематического изучения теоретической физики, то нет необходимости стремиться к единому уровню доступности различных разделов. Курс теоретической физики обычно излагается в течение двух лет, на третьем и четвертом курсах физических вузов. Преподавателям теоретической физики хорошо известно, как повышаются за это время возможности восприятия и усвоения более трудных вопросов курса. Существенно расширяется также математический аппарат. Вместе с тем, следует иметь в виду, что физикам-экспериментаторам постоянно приходится сталкиваться с новейшими вопросами квантовой механики, последовательное освещение которых требует использования сравнительно сложных расчетных методов. Поэтому в квантовой механике (ч. V книги) изложены некоторые вопросы, более сложные, чем в остальных разделах книги. По той же причине сравнительно широко представлен в книге разбор различных применений кинетического уравнения, связанный с выполнением громоздких вычислений.

Целевая направленность книги отразилась на содержании отдельных разделов.

В книгу включены те вопросы, которые связаны с актуальными задачами современной физики, и сознательно сокращено при этом изложение некоторых традиционных проблем.

Первая часть содержит основы теории электромагнитного поля в вакууме. В основу изложения положена система уравнений Максвелла — Лоренца. Предполагается, что читатель знаком с основными фактами из области электромагнетизма по курсу общей физики. Основное внимание уделено теории излучения и движению заряженных частиц во внешних полях.

В части II, посвященной теории относительности, принята четырехмерная форма изложения, которая не только отвечает духу теории, но и преобладает в современной литературе. Более полно изложены вопросы динамики теории относительности. Освещен ряд новейших приложений теории относительности, в частности к вопросам ядерной физики. Некоторые из этих приложений еще не вошли в учебную литературу.

В части III, которая представляет переработанный вариант книги В. Г. Левича «Введение в статистическую физику», излагаются как вопросы статистической физики, так и основы статистической термодинамики. Классическое изложение термоди-