

Ф. Крауфорд

Берклеевский курс физики

Том 3

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Ф11

Ф11 **Ф. Крауфорд**
Берклеевский курс физики: Том 3 / Ф. Крауфорд – М.: Книга по Требованию, 2023. – 539 с.

ISBN 978-5-458-30058-2

Книга представляет собой третий том курса общей физики, созданного преподавателями Калифорнийского университета в Беркли. Она является курсом волновых явлений, в котором основной упор делается на общие идеи и принципы, а многочисленные примеры из различных областей современной физики (звук, свет, плазма и другие явления) рассматриваются как применение и пояснение этих принципов.

ISBN 978-5-458-30058-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

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.

- — двухмерная 467
- — от двух широких щелей 439, 440, 466
- — — одной щели 432, 434, 435, 466
- решетка 444, 468
- Дифракция 424, 427
- водяных волн 469
- Диэлектрическая постоянная 166, 171, 192, 328
- — воздуха 203
- — комплексная 497
- Длина волны 63
- — приведенная 102
- Длительность импульса и частотный интервал 260
- Емкость погонная передающей линии 164, 165
- Естественная ширина линии, испускаемой атомом 338
- Задерживающая пластинка 377
- — в половину длины волны 378
- — в четверть длины волны 378
- —, свойства 378—380
- Закон Рэля синего неба 340
- Звук, измерение скорости с помощью волновых пакетов 202
- , скорость 157, 205
- Звуковая частота 74, 253
- Звуковое давление 187, 224
- Звуковой импеданс 208
- Звуковые волны 186, 187
- Зеркало вогнутое параболическое 452
- — сферическое 452, 466
- эллиптическое 451, 452
- Излучатель плоский 426
- Излучение от тонкого заряженного слоя 346
- точечного ускоренного заряда 328—336, 345
- электрического диполя 337, 345
- электромагнитное одномерного атома 489
- Изотропная среда 494, 495
- Индуктивность погонная передающей линии 164, 165
- Интеграл Фурье 266, 273
- Интенсивность звуковых волн 187
- излучения 191, 192, 194, 215
- рассеянного света 492
- света при зеркальном отражении 374
- Интерференционная картина 407, 427
- — от двух щелей 413
- — — многих щелей 441—443
- Интерференционные полосы Фабри — Перо 234, 235
- Интерференция в рассеянном свете 476
- в тонких пленках 233, 234, 236, 242
- деструктивная 406
- конструктивная 406
- Интерферометр Майкельсона 297
- с двойной щелью 47
- Интерферометры звездные 476
- Ионосфера 136, 304
- Квадратичный детектор 44, 74, 195
- Квадрупольное излучение 473
- Кинетическая энергия колебаний 48
- Классический точечный источник 420
- Классическое волновое уравнение 283
- — — трехмерное 303, 319
- Клейна — Гордона уравнение 131, 489
- — — трехмерное 304
- К-мезоны 483
- Когерентности время и оптические биения 490
- условие 422
- Когерентность 421, 467, 471
- и голубой цвет неба 491
- Когерентные источники 405, 406
- Колебания амплитудно-модулированные 161, 248
- вынужденные 103—140

- — двух связанных маятников 118—120, 143
- — замкнутых систем со многими степенями свободы 129
- — одномерного гармонического затухающего осциллятора 104—116
- — системы связанных маятников 121, 130, 139
- гармонические 19, 26
- — ограниченной длительности 261
- линейно-поляризованные 60
- переходные 113
- плазмы 91
- поперечные 23, 26, 59
- — двух связанных масс 39, 56
- — струны с грузами 79
- почти гармонические 43, 48, 249
- продольные 22, 26, 36, 85
- — двух связанных масс 36, 55
- свободные 17, 18, 57
- — затухающие 20, 104
- установившиеся 106
- Комбинационные частоты 53
- — и нелинейность уха 52
- — — оптическая нелинейность 54
- Комплексная восприимчивость 497
- Критическая частота 93
- Критический угол полного внутреннего отражения 310, 343
- Критическое затухание 105, 145
- Коэффициент жесткости 22, 86
- затухания 104, 279
- отражения 219, 222, 351
- поглощения 134, 246
- прохождения 221
- Коэффициенты Фурье 71, 266, 271, 273
- Лазер 262, 289, 426
- Ливенгука микроскоп 463
- Линейная плотность 60
- поляризация 60
- Линза рассеивающая 458
- собирающая 457
- Линза сферическая 462
- тонкая 455
- Линзы
- сила 458
- формула 455, 456
- Ллойда зеркало 467
- Лоренцевская сила 180
- форма линии 279
- Лоренцевский радиус электрона 341
- Магнитная восприимчивость 494
- проницаемость 166, 192, 328
- Майкельсона интерферометр 297
- Максвелла уравнения 318, 319, 493, 498
- Малюса закон 369
- Маятник 20
- сферический 30, 32
- Маятники связанные 46, 51, 54, 90, 119, 121, 130, 134, 146
- Микроскоп 461, 462
- фазоконтрастный 479
- Миражи на автостраде 350
- Метод векторных диаграмм 257
- граничных условий для коэффициентов отражения и прохождения 243, 244
- инфракрасной спектроскопии 297
- плавно меняющегося показателя преломления 232
- плавного изменения импеданса 231
- субчастот 295
- Модель молекулы стекла 171, 172
- Модуляционная спектроскопия 296
- Модуляция 42
- амплитудная 248, 293, 477
- , передача информации 248
- с помощью субчастот 295
- , скорость распространения 249
- фазовая 248, 294, 478
- частотная 248, 293

- Моды дискретной системы с N степенями свободы 78
 — колебаний 17, 35
 — — струны с грузами 58, 80
 — — цепочки LC 127
 — лазера 290, 291
 — маятников 46, 119
 — неоднородной струны 77
 — нормальные 31, 58, 77, 80,
 — «ограниченные» 139
 — поверхностного натяжения 102
 — поперечных колебаний непрерывной струны 59, 75
 Момент импульса в бегущей плоской волне 326, 327, 329, 398
 Мощность, излучаемая точечным источником 335, 336
 — мгновенная выходная 184
 — — затухающего осциллятора 107
 Мощность на выходе высококачественного громкоговорителя 188
 Мощность, переносимая бегущей волной в пружине 185
 —, — — в струне 185
 —, — бегущими плоскими электромагнитными волнами в линии из параллельных пластин 191
 — средняя, рассеиваемая осциллятором 108, 112
 Музыкальный интервал 96
 Навигация викингов 402
 Недиспергирующая среда 79
 Нелинейность уха 52
 Неотражающий слой 229, 242
 Непрерывное приближение 82, 86, 131
 Непрерывные системы 58
 Нормальные координаты 34, 119
 — моды колебаний 31, 58, 77, 80
 Обертоны камертона 242
 — струны рояля 84
 Оптическая активность 381, 401
 Ортонормированные волновые функции 361
 Освещенность 199, 200
 Ось быстрая 376
 — медленная 376
 — свободного пропускания 367
 Открытые системы 149
 Отражение 210—234
 — в передающих линиях 226, 227, 237
 — в тонких пленках 233
 — видимого света 228, 235
 — звуковых волн 224, 225
 — зеркальное 447
 — многократное 243
 — на границе двух дисперсивных сред 220
 — плоских волн 501
 — полное внутреннее 310
 Передающая линия 163, 164
 — — из параллельных пластин 191, 227
 — — коаксиальная 203
 Период гармонических колебаний 19
 Плазма 92, 93, 136
 Плоскость постоянной фазы 301
 Пойнтинга вектор 323
 Полное внутреннее отражение 310, 350
 Полный набор функций 76
 — — — для мод неоднородной струны 77
 — — — — однородной струны 76
 Полный набор функций для поляризационных состояний 361
 Полоса пропускания фильтра 124
 Поляризатор идеальный 369
 — круговой 390, 397
 Поляризационный проекционный оператор 403
 Поляризация 321, 352—393
 — голубого неба 369, 370
 —, измерение 387, 388

- круговая 327, 356, 357
- линейная 321, 355
- поперечных волн 354
- при зеркальном отражении 372—374
- — избирательном поглощении 365, 366
- — излучении 364, 365
- — рассеянии 369, 370, 398
- радуги 375
- частичная 393
- эллиптическая 359, 360
- Поляроид 367, 368
- Поперечное сечение рассеяния
 - полное 340
 - — — томсоновское 342
- Поперечность плоских
 - электромагнитных волн 320
- Порог слышимости 187
- Потенциальная яма 485, 487
- Поток импульса в бегущей волне 324
 - фотонов 412
 - энергии в бегущей волне 323
 - — — звуковой волне 186
 - — в плоской волне 322
 - — электромагнитного излучения 195
- Преломления показатель 168, 172
 - — в дисперсивной полосе частот 178
 - — комплексный 500
- Приближение длинных волн 82
 - малых колебаний 25, 40, 61
 - «пружины» 24, 40, 61
- Приведенная длина волны 315
- Призма обратного хода 309, 342
 - — — водяная 342
 - тонкая 453
- Проникновение света через барьер 311
- Пуассона распределение 492
- Пучок бегущих волн 423
- Равномерно темперированный строй 53, 95, 96
- Радиоволны с амплитудной модуляцией 252
- Разрешающая способность глаза 436, 465
- Распределенная нагрузка 212
- Рассеяние света 346
- Реактивная полоса частот 507
 - среда 135, 136
- Резонанс в картонных трубках 240
 - в надувных шарах 245
 - в приливных волнах 292
 - в системе с двумя степенями свободы 120
 - в случае вынужденных колебаний 109
 - для проходящих волн 244
- Резонансная кривая 112, 116
 - —, ширина 109, 118
- Рояль, дисперсионное соотношение для струны 85
 - , звучание аккорда 73
 - , измерение частоты 50
 - как анализатор Фурье 95, 275
- Рэлея критерий 436
- Свет неполяризованный 392
- Свеча стандартная 197
- Связанные уравнения 34, 35, 37
- Сейши 56, 292
- Система единиц СИ 512
- Скорость групповая (см. Групповая скорость)
 - света 284
 - счета средняя 196
 - фазовая (см. Фазовая скорость)
- Смита — Парселла источник света 348
- Снеллиуса закон преломления 170, 310, 451
- Собственные функции 78
- Согласование импедансов 211, 212, 221, 229, 242

- — в оптике 231
- — двух прозрачных сред 228
- Согласованная нагрузка 210
- Солнечная постоянная 195, 207, 344
- Солнечный парус 345
- Спиральность бегущих волн и
 - условие момента импульса 358
- Стоячие волны 62, 302
 - — в воде 314
 - — гармонические 322
 - — де Бройля 485
 - — линейно-поляризованные 356
 - — пилообразные 101, 147
 - —, поляризованные по кругу 357
 - — прямоугольные двухмерные 148
- Стробоскоп 49, 258
 - неоновый 238
- Суперпозиции принцип 28, 52, 106
- Суперпозиция бегущих волн 223, 242, 302
 - гармонических функций 510
 - начальных условий 29
 - стоячих волн 223, 302
- Сферическая абберация 453
- Сферические полярные координаты 335
- Тейлора ряды 509
- Телевизор как стробоскоп 49, 51
- Телескоп 461
- Телесный угол 337
- Тембр 76
- Томсоновское поперечное сечение рассеяния 342
- Трехмерные волновые уравнения 303
- Угловая расходимость когерентного источника 438
 - частота гармонических колебаний 19, 20
 - — модуляции 42, 114
 - — средняя 42
 - —, физический смысл для моды 37
- —, — — — систем с одной степенью свободы 20
- —, — — — струны пианино 30
- — ширина главного максимума 442
- — пучка бегущих волн 423, 425, 435
- Угловое волновое число 65, 66
 - разрешение, критерий Рэлея 436
- Угловой отражатель 466
- Угол падения 169
 - преломления 169
- Уравнение непрерывности 313
- Усилитель линейный 293
- Условие момента импульса 358
- Ухо, динамический диапазон 187
 - , основная перепонка 74
 - , фазовая нечувствительность 74, 240, 241, 276
- Ушная улитка 74
- Фабри — Перо полосы 234, 235, 237, 238, 243, 468
- Фазовая нечувствительность
 - квадратичного детектора 44, 74
 - — уха 74, 240, 241
 - — постоянная 19
 - — для мод 32, 78
 - — скорость 151, 152, 302
 - — волн в волноводе 307, 308
 - — — в глубокой воде 257, 288
 - — — в передающей линии 166, 167, 190
 - — — де Бройля 488
 - — для волнового пакета 269
 - — — системы маятников 162
 - — звука. Модель Ньютона 157
 - — поперечных волн в струне 181
 - — продольных волн в пружине 185
- Фазовая скорость света в стекле 288
 - — электромагнитных волн в ионосфере 161, 255
 - — функция 152
- Фазовые скорости, превышающие скорость света 161, 173

- соотношения и показатель преломления 178, 179
- — для бегущих волн 150
- — — зеркально отраженного света 373, 400
- — — стоячих волн 63, 241
- — при вынужденных колебаниях 130
- Ферма принцип 450
- Фильтр механический 122, 123, 144
 - — высоких частот 125
 - — низких частот 124
 - —, полоса пропускания 124
 - — полосовой 124, 144, 146
 - электрический широкополосный 127
 - — низких частот 127
- Фокальная плоскость 455
- Фокусное расстояние линзы 409
- Фотоумножитель 196, 296, 418
- Фраунгофера дифракция 437
 - линии 468
- Френеля дифракция 438
- Фурье-анализ бегущих волновых пакетов 281
 - — импульсов 270
 - — непериодической функции 267
 - — периодической функции времени 72
 - — — — координаты 69, 70
 - — прямоугольного импульса 100, 288, 289
 - — симметричных пилообразных импульсов 102
 - — цуга синусоидальных колебаний 288
- Фурье интеграл 266, 273
- Характеристический импеданс для короткозамкнутой линии 226
 - — — линии из параллельных пластин 191, 213, 227
 - — — — с открытым концом 226
 - — — — с распределенными параметрами 190
 - — — — поперечных волн в непрерывной струне 181—183
 - — — продольных волн в пружине 158
- Хроматическая aberrация 474
- Частота биений 44
 - гармонических колебаний 19
- Частота граничная вынужденных колебаний 123
 - , измерение 50
 - колебаний плазмы 93, 136
 - модуляции 42, 114
 - несущая 252
 - резонансная 110
- Ширина полосы частот 253
 - — — для АМ-радиоволн 252, 253
 - — — — лазера 2G3
 - — — — повторяющихся прямоугольных импульсов 100
 - — — — телевидения 262
 - — — и когерентность 386, 387, 417
- Шредингера уравнение 489
- Электрическая восприимчивость 494
- Электромагнитные волны 318
 - — в вакууме 303
 - — в ионосфере 161, 304
 - — в однородной диспергирующей среде 303
- Электромагнитные волны в передающей линии 189
 - — в прямоугольном волноводе 304
- — плоские в вакууме 192, 193, 319
 - — — —, из свойства 193, 194
 - — — в прозрачной среде 192
- Электромагнитный спектр 519
- Энергия биений 115
 - , запасенная затухающим осциллятором 108, 109, 112, 115
 - , излучаемая точечным зарядом 334
 - кинетическая колебаний 48
 - классической частицы 283

—, переносимая бегущей волной 184,
185
— слабо затухающих колебаний 105,
112

Эталон силы видимого света 197
Эффективность фотоумножителя 197
Эффективный точечный заряд 354
Яркость 197, 198

ПРЕДИСЛОВИЕ ОБЩЕГО РЕДАКТОРА РУССКОГО ПЕРЕВОДА

Мы являемся свидетелями возникновения новых отраслей физики и все более глубокого проникновения ее во все области современной науки и техники. Возникает вопрос: как правильно поставить преподавание общей физики, являющейся основой мировоззрения и специальных знаний будущего ученого и инженера? Что действительно важно понять и знать и чем можно пренебречь?

Вопросы об улучшении преподавания общего курса физики часто обсуждаются, однако принимаемые решения обычно не идут дальше очередного изменения программ. Одной из попыток создания современного курса общей физики были «Фейнмановские лекции по физике», получившие у нас заслуженное признание. Другая попытка радикального решения этой проблемы была предпринята в университете Беркли (США, Калифорния), где в 1961 г. был создан специальный комитет, состоявший из ученых, поставивших своей целью создание учебника нового типа. Первые два тома этого учебника (механика, электричество и магнетизм) вышли в 1965 г., в последние годы закончено издание трех остальных томов (волны, квантовая и статистическая физика). Кроме того, три небольшие книги содержат описание тридцати шести работ Берклеевской физической лаборатории, идейно связанной с новым общим курсом.

Создатели Берклеевского курса стремились изложить в учебнике классическую физику, органически связав ее с основными идеями специальной теории относительности, квантовой физики и статистики,— именно в этом-то и заключены основные достоинства учебника.

Курс предназначен не только для физиков, но и для будущих инженеров, химиков и биологов. Объем его значительно превосходит претензии даже физиков и оставляет поэтому как преподавателю, так и студенту большую свободу в выборе материала.

Следует отметить прекрасную организацию курса. Превосходные рисунки, большое количество задач различной трудности (часто из смежных с физикой областей), описание классических опытов и выдержки из оригинальных работ увеличивают ценность и привлекательность курса.

Инициатива перевода на русский язык Берклевского курса физики в значительной степени принадлежит проф. С. П. Капице. Настоящий том отредактирован проф. А. О. Вайсенбергом.

Мы уверены, что Берклевский курс физики окажется интересным и полезным широкому кругу учащихся и преподавателей.

А. И. Шальников

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА III ТОМА

Третий том Берклевского курса физики посвящен колебаниям и волнам. Он написан профессором Калифорнийского университета Ф. С. Крауфордом, который занимается также исследованием свойств элементарных частиц, в частности нейтральных К-мезонов.

В курсе общей физики студенты обычно получают разрозненные сведения о механических колебаниях, звуке, оптике. Эти разделы курса по вечной нехватке времени кратки, но содержат повторения, более или менее произвольно выбранные детали, а основным идеям науки о колебаниях, охватывающей всю физику, часто уделяется скромное место. Недостатки такого преподавания давно осознаны, и идея о едином курсе волновых явлений не нова. Она была осуществлена в прекрасной книге Г. С. Горелика «Колебания и волны», предназначенной для студентов старших курсов и вышедшей в 1950 г.

Автор данного курса следует тому же принципу. Ему удалось создать элементарный курс, посвященный основным идеям науки о колебаниях. В то же время благодаря многочисленным примерам из различных областей классической и современной физики в книге удачно выдержано разумное соотношение между общими принципами и их конкретными проявлениями.

Особенностью третьего тома, отличающей его от других учебников, являются «домашние опыты», которыми иллюстрированы почти все основные идеи. Преподавателям физики из собственной практики известно, что интересные и поучительные опыты и демонстрации по колебаниям и волнам доступны на любом техническом уровне. Автор широко использовал эту возможность. Он приводит в книге описание большого числа опытов, которые требуют лишь самого простого, подручного или легко приобретаемого оборудования. В общем плане книги эти опыты имеют большое значение, и мы их усиленно рекомендуем. Они призваны увеличить активность студента, развить его наблюдательность и дать возможность самостоятельно создать и изучить явление. Не все опыты являются чем-то завершенным, часть из них можно считать предложением обдумать то или иное, легко воспроизводимое, явление. Мы надеемся, что постепенно студент сможет вступить в соревнование с автором и улучшить предложенные опыты или даже придумать свои. Во многих случаях предлагаемые в конце каждой главы задачи тесно связаны с опытами. Следует иметь в виду, что принесенная книгой поль-