

Э. Вихман

Берклеевский курс физики

Том 4. Квантовая физика

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Э1

Э1 **Э. Вихман**
Берклевский курс физики: Том 4. Квантовая физика / Э. Вихман – М.: Книга по Требованию, 2023. – 397 с.

ISBN 978-5-458-33246-0

Изложены основные квантовомеханические идеи, тщательно обоснован принцип неопределенностей, рассмотрены теория Шредингера и проблема элементарных частиц и их взаимодействий. Приведено большое число примеров и задач.

ISBN 978-5-458-33246-0

© 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.

Предметный указатель

- Абсолютная температура 147, 153, 174
 — —, ее измерение 152, 184, 187
 Абсолютный нуль температуры 191, 205
 Авогадро число 53, 188, 344
 Адиабатический квазистатический процесс 255
 — процесс 133, 138, 255
 Адиабатическое взаимодействие 134, 138
 — сжатие идеального газа 263, 264
 Ансамбль 64, 97
 — в равновесии 69
 —, иллюстрация с помощью картин, полученных на ЭВМ, 67—70
 — канонический 160
 —, среднее значение для ансамбля 81
 Атмосфера (единица давления) 344
 Атомный вес 53
 Бесконечно малое изменение состояния 136
 Биномиальное распределение 76—78, 321
 Биохимический синтез 286
 Бойля — Мариотта закон 173
 Больцмана множитель 159, 174
 — постоянная 147, 173, 188, 344
 Бора магнетон 344
 Броуновское движение 44, 257
 Вероятности плотность 93—95, 97
 Вероятность 20, 65, 97
 — для непрерывных переменных 92—96
 — исключających друг друга событий
 — независимых событий 72
 —, нормировка 71
 — совместных событий 71
 Взаимодействие 132—137
 — адиабатическое 134
 — бесконечно малое 136
 Взаимодействие тепловое 45, 61, 133—138, 142—148
 Вискозиметр 318
 Внутренняя энергия 138, 193—199
 — —, ее измерение 193—195
 Возбужденное состояние 104
 Волновое число 106
 Вселенная, возраст 24
 Вязкость 299—306, 316
 —, зависимость от давления 303—305
 —, — — температуры 305
 —, микроскопическое выражение 303'
 — разреженного газа 301
 Газ 58
 — вырожденный 165
 — идеальный. 18, 60, 165, 174
 — —, адиабатическое сжатие и расширение 263, 264
 — —, его энергия 261
 — —, скорость звука в нем 264
 — —, среднее давление 50—52, 170—173
 — —, средняя энергия 165—170
 — —, теплоемкость 236
 — —, — при постоянном давлении 288
 — —, уравнение состояния 172, 332
 — многоатомный 166
 — невырожденный 165
 — одноатомный 165
 —, применимость классического приближения 227
 Газовая постоянная 172, 187
 Гармонический осциллятор 179
 — — квантовомеханический 179, 211
 — — классический 238
 Гаусса распределение 321—325, 338
 Гейзенберга принцип неопределённости 213

Гельмгольца свободная энергия 177
Гиббса свободная энергия 272, 287
Градус Кельвина 186, 344
Давление 50
— идеального газа 50—52, 170—173, 330—332
— смеси идеальных газов 177
— электромагнитного излучения 178
Давления тензор 299
Двигатель 283—286
—, его к. п. д. 285
— идеальный 283
Де Бройля длина волны 106
Джоуль (единица) 187, 344
Дисперсия 84, 85
—, ее вычисление 98
— суммы независимых переменных 87
Диффузии уравнение 311
Диффузия 310
— в разреженном газе 311
— как случайное блуждание 313
Доплеровское расщепление 247
Доступные состояния 110
Дробовой эффект 100
Дьюара сосуд 191
Дюлонга и Пти закон 240
Жидкость 59, 195, 278
Заряд элементарный 344
Идеальный газ 18, 174 (см. также *Газ*)
Изолированная система 49, 112, 138
Калориметрия 157
Калория 136, 201, 344
Канонический ансамбль 160
Каноническое распределение 160, 174
— — в классическом приближении 217, 218
Карно цикл 292
Квазистатический процесс 119, 195, 205
— — адиабатический 255
— — при бесконечно малом

изменении состояния 257, 258
Квантовое число 103
Квантовые состояния 103
— — для системы спинов 104
— — — частиц в ящике 106—109
Кельвина градус 344
— температурная шкала 186, 187
Кипения точка 189
Классическое приближение 212—219
— —, критерии - применимости 212—214
— —, — — для газа 227
— —, — — — твердого тела 241
Клаузиуса — Клапейрона уравнение 278
Коллективный процесс 59
Конфигурация 19
К. п. д, двигателя 286
Критическая точка 278
Кюри закон 164
Лиувилля теорема 114
Магнетон 344
Магнитная восприимчивость 151, 163
Макромолекулы 245
Макроскопическая бесконечно малая 93, 94, 111
Макросостояние 25, 61, 134
Максвелла распределение 219—228
— — компонент скоростей 223—225
— — скоростей 220—222
— —, экспериментальное подтверждение 230—233
Манометр 50
Метастабильное равновесие 270
Микросостояние 25, 61, 137
Молекулярные пучки 229—234
Молекулярный вес 53
Моль 53, 344
Молярная теплоемкость 206
Памагничность 163
Пеобратимость 31—73
—, иллюстрация с помощью ЭВМ 33—37
Пекорреллированные события 72

Необратимые процессы 61, 130, 138
 Неопределенности принцип 213
 Низких температур физика 188—192
 Обобщенная сила 253, 287
 Обратимый процесс 138
 Обращенный во времени процесс 31
 Ограничение 127, 138
 Ома закон 314
 Осмос 63
 Основное состояние 103
 Нар 274
 Нара давление 279, 289
 — —, зависимость от температуры 280
 Нарамагнетизм 161 — 165
 Нараметр внешний 111, 138
 — интенсивный 204—206
 — макроскопический 41
 — термометрический 39, 61, 149, 173
 — экстенсивный 204—206
 Нереходные множители для единиц 344
 Плавление 274
 Плавления точка 189
 Планка постоянная 344
 Плотность состояний 122
 Поляризация спинов 177, 206
 Ностулаты 113—119
 — равной априорной вероятности 117
 — статистической механики 115—117
 Нотока плотность 30\$
 Протона масса покоя 344
 Процесс квазистатический 119, 193, 205
 — коллективный 59
 — необратимый 61, 130, 138
 — обратимый 138
 Нружины постоянная 238
 Нуаз 301
 Нуазейля формула 320
 Нуассона распределение 325—327, 339

Работа 135, 138
 —, ее измерение 193
 — механическая 194
 — электрическая 194
 Равновесие 26, 61, 138
 —, его общие свойства 41, 42
 —, приближение к нему 29—31
 —, флуктуации 18—27
 Равновесия условия 115
 — — для изолированной системы 269
 — — — любых взаимодействий 255—257
 — — — системы в контакте с резервуаром 270
 — — между фазами 274
 — — при тепловом взаимодействии 142—145
 Равномерного распределения энергии теорема 234—238
 Разреженный газ 18, 294, 295
 Рассеяния поперечное сечение 55, 296, 316
 Релаксации время 27, 61, 118
 Самодиффузия 310
 Сверхпроводимость 192
 Сверхтекучесть жидкого гелия 192
 Свет, скорость в вакууме 344
 Свободная энергия по Гельмгольцу 177, 289
 — — — Гиббсу 273, 287
 Свободного пробега время 295, 316
 — — длина 55, 61, 295, 316
 Сжимаемость 242
 Скорости селектор 231
 Скорость молекул 54
 — — наиболее вероятная 226
 — —, распределение 223—225
 — — средняя квадратичная 226
 Скрытая теплота 278, 287
 Случай 66, 97
 Случайность 19, 20
 —, ее статистическое измерение 130, 131

Спинов система 38» 39
— —, расчет намагниченности 161—165
Среднее значение 97
— —, вычисление 86—92
— — для ансамбля 81, 82
Среднее значение, определение 81, 82, 97
— — по времени 26
— — произведения 84
— — суммы 82
Стандартное отклонение 85, 97
Статистическая механика 267
— независимость 72, 97
— сумма 167, 178
— термодинамика 267
Статистическое описание 64—71
— — системы 64—66, 128
— соотношение термодинамики 267
Степени свободы 109, 138, 215
Стрлинга формула 335
Сублимация 274
Суммирование обозначения 332
Твердое тело 59
Температура 48, 49, 61, 149—155, 173
— абсолютная 147, 174
— —, измерение 152, 184, 187
— —, определение 151
Тепло 45—50, 61, 133, 138
—, его измерение 197—199
—, плотность потока 306
—, связь с абсолютной температурой 155
Тепловое взаимодействие 45—48, 61, 132, 133, 138
Тепловой насос 291
— резервуар 157, 174
Теплоемкость 199—202
— идеального газа 202
— по квантовой механике 248, 249
— твердого тела 238—240
—, температурная зависимость при $T \rightarrow 0$ 203
Теплоизоляция 133, 134

Теплопроводность 60, 306—310, 317
— разреженного газа 306—310
Термодинамика 257
Термодинамики закон второй 266
— — нулевой 150, 265
— — первый 265
— — третий 190, 266
Термометр 49, 61, 150, 173
Тройная точка 186, 205, 278
Ультрацентрифуга 245
Уравнение состояния 173, 174
— — идеального газа 173, 332
Фазового равновесия кривая 276, 288
Фазовое пространство 214—216, 244
Фазовые переходы 59
Фазы 59, 274, 287
—, равновесие между ними 274—280
Факториал числа 76
— —, приближенное значение 334
Факториал числа, приближенное значение производной 383
Фаренгейта температурная шкала 188
Физические константы 344
Флуктуации 18—26, 268—273
— большой величины 27
—, вычисление при помощи ЭВМ 22—24
— крутильного маятника 43
— магнитного момента 87
— плотности идеального газа 90—94
— разности потенциалов 44
—, физические примеры 42—44
— энергии 328—330
Фундаментальное
— термодинамическое
— соотношение 259
Химический потенциал 290
Химическое равновесие 58
Холод 48
—, связь с абсолютной температурой 155
Холодильник 291
Цельсия температурная шкала 188, 344

Циклический процесс 207
Число состояний 122
— —, зависимость от внешних параметров 250—254
— —, общие свойства 123—126
— — системы спинов 141
— — частиц в ящике 124
Число состояний, численные оценки 140, 141
Шоттки аномалия 209
Шум 44
Электрическая проводимость 314, 317
— — разреженного газа 315
Электрона масса покоя 344
Электрон-вольт (эв) 188, 344
Энергии уровни 104
— — вырожденные 103
— — для системы спинов 104
— — — частиц в ящике 106, 107

Энергия внутренняя 138
— —, ее измерение 196
— —, — флуктуации 328—330
— полная 138
Энтальпия 208
Энтропии принцип компенсации 282
Энтропия 147, 202—204
—, ее зависимость от температуры при $T \rightarrow 0$ 190
—, — — — энергии 153, 189
—, — изменение в квазистатическом адиабатическом процессе 255
—, — — — — процессе 254
—, — измерение 202
— идеального газа 261
— и поглощенное тепло 156, 157
—, связанная с ядерными спинами 190
Эффузия 229, 244
Ядерный магнетон 344

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 при этом 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 г. 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 физика, 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 главные 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 Берклеевского курса физики в значительной степени принадлежит С. П. Капице. Настоящий том отредактирован А. О. Вайсенбергом.

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

А. И. Шальников

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА IV ТОМА

Настоящий, четвертый, том Берклеевского курса физики написан профессором Калифорнийского университета в г. Беркли Э. Вихманом — специалистом по квантовой теории поля.

Автор в своем предисловии подробно изложил принципы построения книги. Нам остается лишь подчеркнуть, что основное внимание в ней уделено идеям, а факты иллюстрируют возникновение и развитие идей. Изучив книгу и предложенные задачи, студент приобретает первые навыки квантовомеханического мышления и практического применения квантовых законов к атомным и ядерным проблемам.

Автор снабдил книгу большим количеством тщательно отобранных ссылок на оригинальные классические работы и практически весь иллюстративный материал книги почерпнут из таких работ. Это обстоятельство должно облегчить студенту переход к чтению современных экспериментальных работ, опубликованных в научных журналах. Разумеется, не все указанные в книге источники могут быть доступны студентам, и мы старались учесть это обстоятельство, указав в списках дополнительной литературы к каждой главе подходящие обзоры, печатавшиеся в журнале «Успехи физических наук», в сборниках «Над чем думают физики» (М.: Наука, 1962—1977, вып. 1—11), а также в других доступных читателю источниках.

А. О. Вайсенберг

* * *

В настоящем, третьем, издании книги устранены замеченные опечатки и погрешности предыдущих изданий. Кроме того, терминология и единицы физических величин приведены в соответствие с ГОСТ 8.417—81 (СТ СЭВ 1052—78).

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К БЕРКЛЕЕВСКОМУ КУРСУ ФИЗИКИ

Предлагаемый общий курс физики для колледжей рассчитан на двухлетнее обучение студентов, специализирующихся в естественных и технических науках. Авторы стремились представить физику, насколько возможно, в том виде, в каком она используется самими физиками, активно работающими в этой науке. Мы пытались создать такой курс, в котором особое внимание было бы уделено основам физики и последовательно изложены основные идеи специальной теории относительности, квантовой и статистической физики.

Наш курс доступен любому студенту, который знает физику в объеме средней школы. Курс математики, состоящий из дифференциального и интегрального исчисления, должен изучаться параллельно.

В настоящее время в США подготавливается к печати несколько новых курсов физики для колледжей. Идея их создания занимала многих физиков; она явилась следствием прогресса в естественных и технических науках и возрастающих требований к преподаванию естественных наук в средней и высшей школах. Наш курс был задуман в обсуждениях, проходивших в 1961 г. с Ф. Моррисоном из Корнелльского университета и Ч. Киттелем. Мы получили поддержку Дж. Мэйса и его коллег из Национального научного фонда и У. Мишеля, который был тогда председателем комиссии по преподаванию физики в колледжах. Для руководства курсом на его начальных стадиях был организован неофициальный комитет. Вначале он состоял из Л. Альвареца, У. Фреттера, Ч. Киттеля, У. Найта, Ф. Моррисона, Э. Парселла, М. Рудермана и Дж. Захариаса. Комитет собрался впервые в мае 1962 г. в Беркли и наметил предварительные основы совершенно нового курса физики. Из-за большой занятости некоторых членов комитета состав его был частично изменен, и с января 1964 г. этот комитет включал нижеподписавшихся лиц. Участие других авторов указано в предисловиях к отдельным томам.

Предварительные обсуждения оказали существенное влияние на окончательный результат нашей работы. В этих обсуждениях были детально рассмотрены проблемы, которые, как мы считали, следует излагать начинающим студентам колледжа естественных и технических наук. Мы не задавались целью создать курс специально для особо выдающихся студентов, но старались объяснить основы физики со свежих и уже установившихся точек зрения. Поэтому

некоторые части курса могут оказаться для преподавателей такими же новыми, как для студентов.

Курс состоит из пяти томов: I. Механика (Ч. Киттель, У. Найт, М. Рудерман). II. Электричество и магнетизм (Э. Парселл). III. Волны (Ф. Крауфорд). IV. Квантовая физика (Э. Вихман). V. Статистическая физика (Ф. Рейф). Авторы каждого тома могли по своему усмотрению выбирать стиль и метод изложения, наиболее соответствующие предмету.

Работа над курсом побудила А. Портиса создать новую лабораторию общей физики, известную теперь под названием Берклеевской физической лаборатории. Может показаться, что в нашем курсе, излагающем основы физики, эксперименту уделено недостаточное внимание. Дело, однако, в том, что важнейшие эксперименты выполняются в лаборатории, которая создана специально для того, чтобы дополнить курс лекций.

*Ю. Комминс, У. Найт, А. Портис,
Ф. Рейф, Э. Вихман, Ф. Крауфорд,
Ф. Моррисон, Э. Парселл, М. Рудерман,
Ч. Киттель, председатель*

Беркли, Калифорния