

Ч. Киттель

Берклеевский курс физики

Том 1

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 53
ББК 22.3
Ч-11

Ч-11

Ч. Киттель

Беркleeевский курс физики: Том 1 / Ч. Киттель – М.: Книга по Требованию, 2023. – 481 с.

ISBN 978-5-458-30054-4

Книга представляет собой первый том курса общей физики, созданного преподавателями Калифорнийского университета в г. Беркли. Один из авторов этой книги, выдающийся физик-теоретик Ч. Киттель, известен советскому читателю по переводам ряда его работ. Книга содержит систематическое изложение физических основ механики с современной точки зрения. В ней имеется много примеров и задач различной степени трудности, она прекрасно иллюстрирована.

ISBN 978-5-458-30054-4

© 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 первозданном 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.

- твердых тел 258—283
Дирак 25, 65
Диссипация мощности 236—238
Дифференцирование векторов 48—52
— произведений векторов 117
Добротность осциллятора 238, 250
Задача Кеплера 296
— о движении двух тел 298—302
Закон всемирного тяготения 85, 107
— Гука 169, 227
— Кулона 121
— сохранения импульса 95, 192, 193, 400—403
— — момента импульса 203—204
— — энергии 96, 160, 164, 182
Законы Кеплера 296, 311—313
— Ньютона 78
— сохранения 95, 159—160
Замедление времени 376—371
Заряд элементарный 122
— —, постоянство 418
Заряженная частица в магнитных и электрических полях 126—128, 130—135
Звезды двойные 315
— новые 362
— переменные 362
Зоммерфельд 258
Импульс 95
—, закон сохранения 95—98, 192—193, 400—403
— релятивистский 402—403
Импульса момент 203
Инвариант Лоренца 384
Инвариантность величины скорости света 358
— интервала 389, 391
Индукция магнитного поля 124—125
Инертная масса 108, 408, 439
Инерциальная система отсчета 81 — 87
Инерциальные коэффициенты 263
Интервал 389
Искривление лучей вблизи Солнца 33
Кинетическая энергия 161, 167—168
— — вращательного движения 270—272
— — гармонического осциллятора 220, 228—230
Классический радиус 293
Колебания двухатомной молекулы 300—302
Кометы 415—416
Комтоновская длина волны 36, 282, 294
Консервативные силы 172, 173
Континуум четырехмерный 387
Красное смещение 348—349
— — гравитационное 444—447
Кривизна пространства 29—32
Кристаллическая решетка 73—74
Круговое движение 50—53
Круговые орбиты 309—311
Лармор 368
Лептоны 456, 465
Лифт свободно падающий 104
Лоуренс 153, 154, 155, 379
Магнитная сила 124—125
— фокусировка 137—138
Магнитное поле 132—139, 142
Магнитные монополи 141
Майкельсон 339
Майкельёна и Морли опыты 353—358
Максвелл 352
Масса гравитационная 108, 439
— — фотона 442—445
— — инертная 108, 408, 439
— на пружине 227, 247
— покоя 400, 404, 412, 457
— приведенная 298—300
— релятивистская 403
— частиц 456—458

- Масс-спектрометр 189
Массы и энергии взаимосвязь 408, 420
Маятник математический 220
— Фуко 105—106
Маятники Ньютона 447
Мезоны 456, 465
Минковский 386
Момент 71
— вращения 203, 258
— — внутренних сил (спин) 205—206
— импульса 203
— — планет Солнечной системы 213 — 214
— —, сохранение 203—208
— — элементарных частиц 214
— инерции 259
— — стержня 268
— — цилиндра 268, 269
— — шара 266, 269
— — шарового слоя 265
Мощность 58, 171
— единицы 172
Наклонная плоскость 272
Направление ветров 116
Напряженность электрического поля 122, 125
Неинерциальная система отсчета 88, 102—106
Ньютон 78, 118—119
Орбиты круговые 309—311
— метеоритов 316
— планет 296—297
— —, числовой расчет 327—330
— —, эксцентриситет 307, 309
Осциллятор ангармонический 225, 252—253
— гармонический (см. Гармонический осциллятор)
Параллакс звезд 361
Параметрическое усиление 254—255
Парсек 313
Поле векторное 123
— магнитное 132—139, 142
— электрическое 123, 126—132, 142
Пороговая энергия 428—432
Постоянная Брльцмана 322
— гравитационная 184
— Планка 294
— силовая 169, 302
— тонкой структуры 294, 331
Постоянство элементарного заряда 418
Потенциал 179
— гравитационный 185—186
— электростатический 179—180
— Юкавы 189
Преобразование Галилея 90—93, 366—367, 371
— Лоренца 365—398
— — импульса и энергии 405
— — скорости изменения импульса 417
— — систем отсчета 144—147
Прецессия спина в постоянном магнитном поле 277—278
— шара 275
Принцип относительности Галилея 89
— суперпозиции 246
— эквивалентности инертной и гравитационной масс 439—440
— — массы и энергии 408, 420
Работа 161-162, 166, 168, 176
— , единицы измерения 161 — 162
Размерности 13,5—136
Резонанс 242, 257
— спиновый 278
Релятивистская динамика 381 — 448
— масса 403
— сила 417
— энергия 404, 405
Релятивистский импульс 402—403

Релятивистское сложение скоростей 371, 372
— уравнение ракеты 432—433
Световой конус 389
Свободное падение 114—115, 168—169
Сила инерции 101 — 102
— Кориолиса 114
— линейная восстанавливающая 169—170, 183
— Лоренца 125, 173
— магнитная 63, 124, 125
— релятивистская 417
— трения 174, 232
— центральная 172, 204
— центробежная 104
— электростатическая 124
Силовая постоянная 169, 302
Силы гравитационные 121, 284, 314
—, действующие по закону обратных квадратов 121, 284—330
— консервативные 172—173
—, четыре основных типа 466
Симметричный волчок 275
Синхротрон 435—438
Система единиц Гаусса (СГС) 120—126
— центра масс 197, 200, 262, 428
Скорость абсолютная 89—90
— во вращающихся системах координат 111 — 114
— относительная 89—90
— света 331
—, измерение 332—333, 337—342
—, инвариантность 358
Сложение скоростей релятивистское 371 — 372
Сокращение длины 374—376
Спин 205, 214
спин, прецессия в постоянном магнитном поле 277—278
Столкновение атомов и молекул 99

— возбужденных частиц 198
— метеоритов с атмосферой 217—218
— слипающихся частиц 195—197, 406—407
— частиц 99—101, 195
— — — тяжелой и легкой 100
Температура внутри Солнца 322
Тензор 46
— Леви-Чивита 77
Теорема о вириале 318—326
— — параллельных осях (Штейнера) 267
Томпсон 448
Трение 174, 232
Угловая скорость 50, 117
— частота 50, 222
Ультрацентрифуга 79—81
Уравнение конического сечения 306—307
Уравнения Эйлера 274
Ускорение 49, 111 — 114
— абсолютное и относительное 88—89
— во вращающейся системе отсчета
— заряженных релятивистских частиц в электрическом и магнитном полях 422—427
— — частиц в циклотроне 138—139, 142
— — — электрическим полем 128—129
— Кориолиса 111 — 114
— силы тяжести 80, 116
— угловое 210—211
— центростремительное 52, 83, 103
Ускорители частиц 359, 431. 435. 455
Фаза гармонического осциллятора 222, 239—240
Фазовый график 251
Фейнман 327
Франклин 448

- Характеристические длины и числа
293—296
- Хевисайд 46
- Центр масс 110, 194—195
- Центральная сила 172, 204
- Центробежная сила инерции 104
- Центростремительное ускорение 52,
83, 103
- Циклотронная частота 134, 136
- Частицы, время жизни 456 460
- , заряд 459—460
- . масса 456—458
- . рассеяние 466—472
- , столкновение (см. Столкновение
частиц)
- элементарные 449—
474
- Частота основная 227
- свободной прецессии 278
- угловая 50, 222
- циклотронная 134, 136
- Часы, движущиеся с ускорением 383
- Четырехмерный вектор 393
- континуум 393
- Эйнштейн А. 34, 394—395, 420—421
- —, теория относительности общая
394
- —, — — специальная 394—397
- Эквипотенциальные поверхности 296
— 297
- Эксцентризитет 307
- эллипса 309
- Электрическое поле 123, 126—132,
142
- Электрон 449
- , боровский радиус 294
- , классический радиус 293
- Электрон-вольт (эв) 181
- Элементарный заряд 122
- , постоянство 418
- Энергетические уровни 301
- Энергии и массы взаимосвязь 408,
420
- функция 164, 166
- Энергия гармонического осциллятора
228—230
- гравитационная 290—291
- , закон сохранения 96, 160, 164
- звезд 316, 411
- кинетическая 161, 167—168
- пороговая 428—432
- потенциальная 162, 163, 174, 170
- расщепления 411
- релятивистская 404—405
- связи ядер 409
- солнечная 419
- электрического поля 179
- Эффект Доплера 344—348
- — релятивистский 381—383

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.

Попытка радикального решения этой проблемы была предпринята в университете г. Беркли (США, Калифорния), где в 1961 г. был создан специальный комитет из ученых, поставивших своей целью создание учебника нового типа. Первые два тома этого учебника (механика, электричество и магнетизм) вышли в 1965 г., сейчас закончено издание трех остальных томов (волны, квантовая и статистическая физика). 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, — и 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 Берклеевского курса физики в значительной степени принадлежит проф. С. П. Капице.

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

А. И. Шальников

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА I ТОМА

Бурное развитие физики, наблюдаемое за ряд последних десятилетий, ее универсальное и руководящее проникновение в смежные с ней и даже далекие области знания (радио-, гео-, агро-, био-, астрофизика, космология, химия, медицина, техника, производство и т. д.) поставило среднюю и особенно высшую школу во всем мире перед самой сложнейшей проблемой новой организации преподавания этой науки.

Два обстоятельства в первую очередь затрудняют ее решение. С одной стороны, наличие огромного информационного материала и необходимость такого его отбора для преподавания и изыскания таких форм преподавания, которые обеспечили бы в заданное и относительно короткое время достаточную по широте и глубине и гармоническую в целом подготовку по общему курсу физики. С другой стороны, дополнительную трудность представляет тот глубокий разрыв, который существует во многих случаях, как в области общего, так и специального образования, между значением современной физики и уровнем подготовки по ней.

Проблема сложна и в том отношении, что разделяется на ряд задач, касающихся различных видов общей и специальной профессиональной, в том числе инженерной, подготовки.

В связи с вышеизложенным вполне понятно то, что во всех развитых государствах, в том числе и у нас в СССР, ведутся поиски новых путей преподавания физики. Эти поиски касаются разработки новых учебных планов, программ и особенно учебников и учебных пособий.

Курс физики университета в Беркли представляет собой одну из попыток решить задачу разработки университетского курса общей физики, удовлетворяющего современным требованиям.

Университет в Беркли занимает в США одно из ведущих мест как высшее учебное заведение и научно-исследовательский центр страны. Это в первую очередь относится к такой науке, как современная физика. Общеизвестно, что именно в Беркли за последний период развития физики был сделан ряд фундаментальных открытий и именно в Беркли работает целая плеяда выдающихся физиков.

Коллектив физиков во главе с Чарльзом Киттелем, создавший пятитомный «Курс физики», не нуждается в рекомендациях. Первый том, содержащий физические основы механики, вышел в 1965 г. и сразу же нашел признание как в США, так и в Европе.

Книга отчетливо разделяется на две части: классическую и релятивистскую. Изложение, однако, ведется так, что читатель еще в первой части вплотную подводится к изучению специальной теории относительности (релятивистское изменение длины, времени, закон $E=mc^2$).

Привлеченный авторами иллюстрационный материал весьма широк по своей тематике. Пожалуй, одной из характерных черт I тома является то, что в качестве иллюстраций, примеров и задач

широко используются материалы астрофизики, астрономии, космологии, атомной и ядерной физики и в значительно меньшей мере обычный классический инвентарь «теоретической механики». Авторы не боятся затрагивать самые деликатные и сложные проблемы современной физики и нигде не уходят от прямых ответов на них. Во многих случаях делается это с большим педагогическим мастерством и тактом. Читатель, несомненно, найдет много интересного, нового и оригинального как в манере изложения материала, так и в нем самом.

Чтение книги требует, однако, некоторой предварительной подготовки по физике в объеме обстоятельного среднешкольного курса физики. По замыслу авторов, такой базой ими принят (как ясно видно по ряду ссылок) курс физики для средней школы, широко используемый ныне в Америке и Европе, созданный большой группой физиков Массачусетского технологического института *).

Перевод книги, за редкими исключениями, не доставил переводчикам (физикам по специальности) особых трудностей.

Работа по переводу была распределена следующим образом: вводные разделы — А. С. Ахматов, гл. 1—4 и 9—11 — А. Ю. Кошевник, гл. 5—8 — М. М. Кусаков, гл. 12—15 — Д. М. Толстой.

Книга в первую очередь адресована студентам университетов, аспирантам и преподавателям вузов. Авторы считают, что и подготовку инженеров по общему курсу физики следует вести по разработанному ими учебнику (в сокращенном его варианте).

Думается, что «Курс физики», т. I привлечет читателей и других категорий, стремящихся ознакомиться с физическими основаниями механики в их современном весьма квалифицированном и строгом изложении и все же доступном для мало-мальски подготовленного читателя.

А. С. Ахматов

*) «Физика», пер. с англ. под ред. А. С. Ахматова, «Наука», 1965.

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К БЕРКЛЕЕВСКОМУ КУРСУ ФИЗИКИ

Одной из актуальнейших проблем, возникших в настоящее время перед университетами, является проблема обучения студентов младших курсов. Наряду с тем, что преподавательский коллектив все больше увлекается исследовательской работой, начинает все чаще проявляться (как говорил философ Сидней Хук) «смутная неудовлетворенность учебным процессом». Возникающее благодаря исследовательской работе изменение содержания и структуры знаний создает во многих областях науки настоятельную необходимость в пересмотре учебного материала. Разумеется, это особенно верно в отношении физических наук.

Поэтому мы испытываем чувство удовлетворения, снабжая предисловием курс физики и лабораторный практикум, составленный университетом в Беркли. Как нам кажется, этот курс представляет собой удачный пересмотр учебного материала, предназначаемого для студентов младших курсов, пересмотр, отражающий те грандиозные перемены, которые произошли в физике за последние сто лет. В составлении курса принимали участие многие физики, работающие в самых передовых областях исследования. Составителям курса была оказана поддержка Национального фонда науки в виде субсидии, предоставленной Корпорации служб образования. Курс был успешно испытан в течение нескольких семестров на младших курсах физического факультета Калифорнийского университета в Беркли. Курс представляет собой заметное достижение в области образования, и, как я надеюсь, он будет широко использован на практике.

Калифорнийский университет был рад служить местом работы международной группы, разрабатывавшей данный курс и лабораторный практикум; университет доволен и тем, что большое число студентов Беркли добровольно участвовало в практической проверке курса. Большую помощь оказала нам финансовая поддержка Национального фонда науки, согласованная с Корпорацией служб образования. Наиболее приятным является, естественно, живой интерес к проблемам преподавания, проявленный подавляющим числом работников университета, участвовавших в реализации данной программы. Традиция «ученый — учитель» является давней и почетной; работа над новым физическим курсом и лабораторным

практикумом показывает, что традиция эта по-прежнему уважается в Калифорнийском университете.

Данный учебник представляет собой двухгодичный курс общей физики, предназначенный для студентов, специализирующихся в области исследовательской работы, а также и для будущих инженеров. Авторы желали представить классическую физику — насколько это возможно — в том виде, в каком она используется физиками-профессионалами, работающими на «переднем крае» исследований. Мы пытались создать курс, который бы акцентировал основные положения физики. Нашей особой задачей было естественное введение в курс классической физики идеей специальной теории относительности, квантовой физики и статистической физики.

Курс предназначается для любого студента, изучавшего физику в средней школе. Математика, включающая математический анализ, должна проходить одновременно с данным курсом.

В настоящее время в США создается несколько новых курсов физики. Мысль написать новый курс физики овладевает многими учеными-физиками, с одной стороны, благодаря успехам развития естественных и прикладных наук, с другой стороны, под влиянием того возросшего интереса к науке, который теперь существует в средней и высшей школе.

Основные идеи данного курса были сформулированы Ф. Моррисоном из Корнелльского университета и Ч. Киттелем во время обсуждения, имевшего место в конце 1961 г. Мы пользовались поддержкой Дж. Мэйса и его коллег из Национального фонда науки и У. Мишеля, тогдашнего председателя комиссии по преподаванию физики в колледжах.

Для ведения работы на первых стадиях был создан неофициальный комитет, в который вначале входили: Л. Альварец, У. Фреттер, Ч. Киттель, У. Найт, Ф. Моррисон, Э. Парсэлл, М. Рудерман и Дж. Захариас. Комитет впервые собрался в мае 1962 г. в Беркли; в это время им и была намечена предварительная принципиально новая схема построения курса физики. Ввиду занятости некоторых членов комитета его состав был изменен в январе 1964 г., и ныне комитет состоит из авторов настоящего учебника. Вклад других участников отмечен в предисловиях к отдельным томам.

Предварительный план и его концепции оказали большое влияние на окончательную разработку материала курса. План раскрывал в деталях темы и их соотношения, которые, как мы полагаем, должны и могут быть преподнесены студентам начальных курсов, специализирующихся по исследовательскому либо инженерному профилю. В наши намерения никак не входило создавать курс, предназначенный лишь для одаренных студентов или студентов, прошедших предварительную подготовку. Мы намеревались представить принципы физики с единой и необычной точки зрения, и потому отдельные части курса могут показаться новыми не только студентам, но и преподавателям.

Пять томов курса включают следующие разделы:

- I. Механика (Киттель, Найт, Рудерман).
- II. Электричество и магнетизм (Парселл).
- III. Волны (Крауфорд).
- IV. Квантовая физика (Вихман).
- V. Статистическая физика (Рейф).

Авторы каждого тома были свободны выбирать стиль и метод изложения, которые казались наиболее подходящими для их предмета. Первоначальная разработка данного курса привела А. Портиса к мысли о создании нового практикума по классической физике, ныне известного как Берклиевская физическая лаборатория.

Может показаться, что в нашем курсе, излагающем основы физики, экспериментуделено недостаточное внимание. Дело, однако, в том, что важнейшие эксперименты выполняются в лаборатории, которая создана специально для того, чтобы дополнить курс лекций.

<i>Ю. Комминс,</i>	<i>Э. Парселл,</i>
<i>Ф. Крауфорд-младший,</i>	<i>Ф. Рейф,</i>
<i>У. Найт,</i>	<i>М. Рудерман,</i>
<i>Ф. Моррисон,</i>	<i>Э. Вихман,</i>
<i>А. Портис,</i>	<i>Ч. Киттель,</i> председатель

Беркли, Калифорния