

مکانیک کوانتومی

مفاهیم و کاربردها

(ویرایش دوم)

نویسنده:

نورالدین زتلی

برگردان:

محمد بهتاج لجبینی و نگار اورعی

سرشناسه	: زتیلی، نورالدین Zetili, Nouredine
عنوان و نام پدیدآور	: مکانیک کوانتومی: مفاهیم و کاربردها/نویسنده نورالدین زتیلی؛ برگردان محمد بهتاج لجبینی، نگار اورعی.
مشخصات نشر	: تهران: نیاز دانش، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ص. ۸۸۰ص. مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۱۹۰۰۰۰ ریال: 978-600-6481-08-1
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیا.
یادداشت	: عنوان اصلی: Quantum Mechanics: Concepts and Applications, 2nd. ed, 2009.
یادداشت	: کتاب حاضر در سال‌های مختلف توسط مترجمان و ناشران متفاوت ترجمه و منتشر شده است.
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: کوانتوم
شناسه افزوده	: بهتاج لجبینی، محمد، ۱۳۵۷- مترجم
شناسه افزوده	: اورعی، نگار، ۱۳۶۲- مترجم
رده‌بندی کنگره	: QC۱۷۴/۱۲/ز۲م۷ ۱۳۹۱
رده‌بندی دیویی	: ۵۳۰/۱۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۰۵۲۰۷۲



نام کتاب	: مکانیک کوانتومی (مفاهیم و کاربردها) - ویرایش دوم
نویسنده	: نورالدین زتیلی
برگردان	: محمد بهتاج لجبینی - نگار اورعی
مدیر اجرایی - ناظر بر چاپ	: حمیدرضا محمد شیرازی - محمد شمس
طراح جلد	: کیانا آرین
ناشر	: نیاز دانش
صفحه‌آرا	: قلم‌نگار - معماری
لیتوگرافی / چاپ	: نص - گنج شایگان
نوبت چاپ	: اول - ۱۳۹۱
شمارگان	: ۱۵۰۰
قیمت	: ۲۰۰۰۰۰ ریال

ISBN:978-600-6481-08-1

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۴۸۱-۰۸-۱

توزیع ۰۹۱۲-۷۰۷۲۹۳۵ - ۶۶۴۰۵۲۷۷ - ۶۶۴۱۲۳۸۵ - ۶۶۴۶۵۶۷۴
مشاوره جهت نشر: ۰۹۱۲-۲۱۰۶۷۰۹

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به ناشر می‌باشد.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

ر	پیش‌گفتار مترجم
س	پیش‌گفتار ویرایش دوم
ز	پیش‌گفتار ویرایش نخست
ص	توصیه به دانشجویان
۱	فصل اول / اصول فزیک کوانتومی
۱	۱-۱ مشاهدات تابش سیاه
۵	۲-۱ جنبه‌ی ذره‌ای تابش
۵	۱-۲-۱ تابش جسم سیاه
۱۴	۲-۲-۱ اثر فوتوالکتریک
۱۸	۳-۲-۱ اثر کامپتون
۲۲	۴-۲-۱ تولید زوج
۲۴	۳-۱ جنبه‌ی موجی ذرات
۲۴	۱-۳-۱ فرضیه‌ی دوپروی: امواج مادی
۲۵	۲-۳-۱ تأیید تجربی فرضیه‌ی دوپروی
۲۷	۳-۳-۱ امواج مادی برای اجسام ماکروسکوپی
۲۹	۴-۱ ذرات بر حسب امواج
۲۹	۱-۴-۱ دیدگاه کلاسیک ذرات و امواج
۳۱	۲-۴-۱ دیدگاه کوانتومی ذرات و امواج
۳۴	۳-۴-۱ دوگانگی موج - ذره: مکملیت
۳۵	۴-۴-۱ اصل برهم‌نهی خطی
۳۶	۵-۱ طبیعت غیر قابل تعیین دنیای میکروفیزیکی
۳۷	۱-۵-۱ اصل عدم قطعیت هایزنبرگ
۳۹	۲-۵-۱ تعبیر احتمالاتی
۴۰	۶-۱ گذارهای اتمی و طیف‌نگاری
۴۰	۱-۶-۱ مدل سیاره‌ای رادرفورد برای اتم

۴۱	۲-۶-۱ مدل بوهر برای اتم هیدروژن.....
۴۸	۷-۱ قواعد کوانتش.....
۵۱	۸-۱ بسته‌های موج.....
۵۲	۱-۸-۱ بسته‌های موج جای‌گزیده.....
۵۶	۲-۸-۱ بسته‌های موج و روابط عدم قطعیت.....
۵۷	۳-۸-۱ حرکت بسته‌های موج.....
۷۲	۹-۱ سخن پایانی.....
۷۳	۱۰-۱ مسأله‌های حل‌شده.....
۹۵	۱۱-۱ تمرین‌ها.....
۱۰۵	فصل دوم / ابزارهای ریاضی مکانیک کوانتومی.....
۱۰۵	۱-۲ پیش‌گفتار.....
۱۰۶	۲-۲ فضای هیلبرت و توابع موج.....
۱۰۶	۱-۲-۲ فضای برداری خطی.....
۱۰۷	۲-۲-۲ فضای هیلبرت.....
۱۰۸	۳-۲-۲ بعد و پایه یک فضای برداری.....
۱۱۱	۴-۲-۲ توابع انتگرال‌پذیر مجذوری: توابع موج.....
۱۱۲	۳-۲ نمادگذاری دیراک.....
۱۱۹	۴-۲ عملگرها.....
۱۱۹	۱-۴-۲ تعریف‌های کلی.....
۱۲۱	۲-۴-۲ همیغ هریتی.....
۱۲۳	۳-۴-۲ عملگرهای تصویری.....
۱۲۴	۴-۴-۲ جبر جابه‌جاگری.....
۱۲۶	۵-۴-۲ رابطه عدم قطعیت میان دو عملگر.....
۱۲۸	۶-۴-۲ توابع عملگرها.....
۱۲۹	۷-۴-۲ عملگرهای معکوس و یکانی.....
۱۳۰	۸-۴-۲ ویژه مقادیر و ویژه بردارهای یک عملگر.....
۱۳۴	۹-۴-۲ تبدیل‌های یکانی بی‌نهایت کوچک و متناهی.....
۱۳۷	۵-۲ نمایش در پایه‌های گسته.....
۱۳۷	۱-۵-۲ نمایش ماتریسی کت‌ها، براه‌ها و عملگرها.....
۱۴۹	۲-۵-۲ تغییر پایه‌ها و تبدیل‌های مکانی.....

۱۵۳	..... ۳-۵-۲ نمایش ماتریسی مسأله‌ی ویژه مقدراری
۱۵۷	..... ۶-۲ نمایش در پایه‌های بیوسته
۱۵۷	..... ۱-۶-۲ راه‌کار کلی
۱۵۹	..... ۲-۶-۲ نمایش مکان
۱۶۰	..... ۳-۶-۲ نمایش اندازه حرکت
۱۶۱	..... ۴-۶-۲ ارتباط میان نمایش‌های مکان و اندازه حرکت
۱۶۵	..... ۵-۶-۲ عملگر پاریته
۱۶۸	..... ۷-۲ مکانیک ماتریسی و موجی
۱۶۸	..... ۱-۷-۲ مکانیک ماتریسی
۱۶۹	..... ۲-۷-۲ مکانیک موجی
۱۷۰	..... ۸-۲ سخن پایانی
۱۷۱	..... ۹-۲ مسأله‌های حل شده
۲۰۰	..... ۱۰-۲ تمرین‌ها
۲۱۳	..... فصل سوم / اصول موضوعه‌ی مکانیک کوانتومی
۲۱۳	..... ۱-۳ پیش‌گفتار
۲۱۴	..... ۲-۳ اصول موضوعه‌ی اساسی مکانیک کوانتومی
۲۱۶	..... ۳-۳ حالت یک سیستم
۲۱۷	..... ۱-۳-۳ چگالی احتمال
۲۱۸	..... ۲-۳-۲ اصل برهم‌نهی
۲۲۰	..... ۴-۳ مشاهده‌پذیرها و عملگرها
۲۲۲	..... ۵-۳ اندازه‌گیری در مکانیک کوانتومی
۲۲۲	..... ۱-۵-۳ چگونه اندازه‌گیری‌ها سیستم را مختل می‌کند
۲۲۴	..... ۲-۵-۳ مقدار چشم‌داشتی
۲۲۷	..... ۳-۵-۳ مجموعه‌های کامل عملگرهای جابه‌جاشونده (CSCO)
۲۳۰	..... ۴-۵-۳ اندازه‌گیری و روابط عدم قطعیت
۲۳۱	..... ۶-۳ تحول زمانی حالت سیستم
۲۳۱	..... ۱-۶-۳ عملگر تحول زمانی
۲۳۲	..... ۲-۶-۳ حالت‌های مانا: پتانسیل‌های مستقل از زمان
۲۳۴	..... ۳-۶-۳ معادله‌ی شرودینگر و بسته‌های موج
۲۳۴	..... ۴-۶-۳ بایستگی احتمال

۲۳۶	..... ۲-۶-۵ تحول زمانی مقدار چشم‌داشتی‌ها.
۲۳۸	..... ۲-۷-۷ تقارن‌ها و قوانین بایستگی.
۲۳۸	..... ۲-۷-۱ تبدیل‌های یکانی بی‌نهایت کوچک.
۲۳۹	..... ۲-۷-۲ تبدیل‌های یکانی منتهای.
۲۴۰	..... ۲-۷-۳ تقارن‌ها و قوانین بایستگی.
۲۴۲	..... ۲-۸-۱ ارتباط میان کوانتوم و مکانیک کلاسیک.
۲۴۲	..... ۲-۸-۱ پراکنش‌های براسون و جابه‌جاگرها.
۲۴۵	..... ۲-۸-۲ قضیه ارنفست.
۲۴۷	..... ۲-۸-۳ مکانیک کوانتومی و مکانیک کلاسیک.
۲۴۸	..... ۲-۹-۱ مسأله‌های حل شده.
۲۷۰	..... ۲-۱۰-۱ تمرین‌ها.
۲۷۹	..... فصل چهارم / مسأله‌های یک بعدی.
۲۷۹	..... ۴-۱ پیش‌گفتار.
۲۸۰	..... ۴-۲ ویژگی‌های حرکت یک بعدی.
۲۸۱	..... ۴-۲-۱ طیف گسسته (حالت‌های مقید).
۲۸۱	..... ۴-۲-۲ طیف پیوسته (حالت‌های نامقید).
۲۸۲	..... ۴-۲-۳ طیف ترکیبی.
۲۸۲	..... ۴-۲-۴ پتانسیل‌های متقارن و پاریته.
۲۸۳	..... ۴-۳ ذره‌ی آزاد: حالت‌های پیوسته.
۲۸۵	..... ۴-۴ پله‌ی پتانسیل.
۲۹۰	..... ۴-۵-۱ سد و چاه پتانسیل.
۲۹۱	..... ۴-۵-۱-۱ حالت $E > V_0$.
۲۹۴	..... ۴-۵-۱-۲ حالت $E < V_0$: تونل‌زنی.
۲۹۷	..... ۴-۵-۱-۳ اثر تونل‌زنی.
۲۹۹	..... ۴-۶-۱ پتانسیل چاه مربعی نامتناهی.
۲۹۹	..... ۴-۶-۱-۱ چاه مربعی نامتقارن.
۳۰۲	..... ۴-۶-۱-۲ چاه پتانسیل متقارن.
۳۰۴	..... ۴-۷-۱ پتانسیل چاه مربعی منتهای.
۳۰۴	..... ۴-۷-۱-۱ جواب‌های پراکنده‌گی ($E > V_0$).
۳۰۵	..... ۴-۷-۱-۲ جواب‌های حالت مقید ($0 < E < V_0$).

۳۰۹	.....	۸-۴ نوسانگر هماهنگ
۳۱۳	.....	۱-۸-۴ ویژه مقدارهای انرژی
۳۱۵	.....	۲-۸-۴ ویژه حالت های انرژی
۳۱۶	.....	۳-۸-۴ ویژه حالت های انرژی در فضای مکان
۳۲۰	.....	۴-۸-۴ نمایش ماتریسی عملگرهای گوناگون
۳۲۲	.....	۵-۸-۴ مقدار چشم داشتی عملگرهای گوناگون
۳۲۳	.....	۹-۴ حل عددی معادله ی شرودینگر
۳۲۳	.....	۱-۱-۴ ریزش کار عددی
۳۲۵	.....	۲-۹-۴ الگوریتم
۳۲۷	.....	۱۰-۴ مسأله های حل شده
۳۵۸	.....	۱۱-۴ تمرین ها
۳۶۹	.....	فصل پنجم / اندازه حرکت زاویه ای
۳۶۹	.....	۱-۵ پیش گفتار
۳۷۰	.....	۲-۵ اندازه حرکت زاویه ای مداری
۳۷۲	.....	۳-۵ قواعد کلی اندازه حرکت زاویه ای
۳۷۸	.....	۴-۵ نمایش ماتریسی اندازه حرکت زاویه ای
۳۸۲	.....	۵-۵ نمایش هندسی اندازه حرکت زاویه ای
۳۸۴	.....	۶-۵ اندازه حرکت زاویه ای اسپین
۳۸۴	.....	۱-۶-۵ گواه تجربی اسپین
۳۸۷	.....	۲-۶-۵ نظریه ی عمومی اسپین
۳۸۸	.....	۳-۶-۵ اسپین پو و ماتریس های پاولی
۳۹۲	.....	۷-۵ ویژه توابع اندازه حرکت زاویه ای مداری
۳۹۳	.....	۱-۷-۵ ویژه توابع و ویژه مقدارهای \hat{L}_z
۳۹۴	.....	۲-۷-۵ ویژه توابع \hat{L}^2
۳۹۸	.....	۳-۷-۵ ویژگی های هماهنگ های کروی
۴۰۲	.....	۸-۵ مسأله های حل شده
۴۲۰	.....	۹-۵ تمرین ها
۴۳۱	.....	فصل ششم / مسأله های سه بُعدی
۴۳۱	.....	۱-۶ پیش گفتار
۴۳۲	.....	۲-۶ مسأله های سه بُعدی در مختصات دکارتی

۴۳۲	.....	۱-۲-۶	روش کار کلی: جداسازی متغیرها
۴۳۳	.....	۲-۲-۶	ذره‌ی آزاد
۴۳۵	.....	۳-۲-۶	پتانسیل جمعه
۴۳۷	.....	۴-۲-۶	نوسانگر هماهنگ
۴۴۰	.....	۳-۶	مسأله‌های سه بعدی در مختصات کروی
۴۴۰	.....	۱-۳-۶	پتانسیل مرکزی: روش کار کلی
۴۴۴	.....	۲-۳-۶	ذره‌ی آزاد در مختصات کروی
۴۴۷	.....	۱-۳-۶	پتانسیل کروی: جابه‌جایی
۴۴۹	.....	۲-۳-۶	نوسانگر هماهنگ همسانگرد
۴۵۲	.....	۵-۳-۶	اتم هیدروژن
۴۷۱	.....	۶-۳-۶	اثر میدان‌های متناظری روی پتانسیل‌های مرکزی
۴۷۵	.....	۴-۶	سخن پایانی
۴۷۶	.....	۵-۶	مسأله‌های حل شده
۴۹۸	.....	۶-۶	تمرین‌ها
۵۰۵	.....	فصل هفتم /	چرخش‌ها و جمع اندازه حرکت‌های زاویه‌ای
۵۰۵	.....	۱-۷	چرخش‌ها در فیزیک کلاسیک
۵۰۷	.....	۲-۷	چرخش‌ها در مکانیک کوانتومی
۵۰۸	.....	۱-۲-۷	چرخش‌های بی‌نهایت کوچک
۵۱۰	.....	۲-۲-۷	چرخش‌های متناهی
۵۱۱	.....	۳-۲-۷	خواص عملگر چرخش
۵۱۱	.....	۴-۲-۷	چرخش‌های اولیه
۵۱۴	.....	۵-۲-۷	نمایش عملگر چرخش
۵۱۶	.....	۶-۲-۷	ماتریس‌های چرخش و هماهنگ‌های کروی
۵۲۰	.....	۳-۷	جمع اندازه حرکت‌های زاویه‌ای
۵۲۰	.....	۱-۳-۷	جمع دو اندازه حرکت زاویه‌ای: قواعد کلی
۵۲۷	.....	۲-۳-۷	محاسبه‌ی ضرایب کلیش - گوردن
۵۳۴	.....	۳-۳-۷	جفت‌شدگی اندازه حرکت‌های زاویه‌ای مدارای و اسپینی
۵۳۹	.....	۴-۳-۷	جمع بیش از دو اندازه حرکت زاویه‌ای
۵۴۱	.....	۵-۳-۷	ماتریس‌های دوران برای جفت‌شدگی دو اندازه حرکت زاویه‌ای
۵۴۳	.....	۶-۳-۷	ایزوسپین

۵۴۷	..... ۴-۷ عملگرهای زردهای، برداری و تانسوری
۵۴۸	..... ۱-۴-۷ عملگرهای زردهای
۵۴۸	..... ۲-۴-۷ عملگرهای برداری
۵۵۰	..... ۳-۴-۷ عملگرهای تانسوری: تانسورهای کاهش‌پذیر و کاهش‌ناپذیر
۵۵۲	..... ۴-۴-۷ قضیه‌ی ویگنر - اکارت برای عملگرهای تانسور کروی
۵۵۷	..... ۵-۷ مسأله‌های حل شده
۵۷۷	..... ۶-۷ تمرین‌ها
۵۸۵	..... فصل هشتم / ذرات یکسان
۵۸۵	..... ۱-۸ سیستم‌های چند ذره‌ای
۵۸۵	..... ۱-۱-۸ معادله‌ی شرودینگر
۵۸۷	..... ۲-۱-۸ تقارن تبادل
۵۸۹	..... ۳-۱-۸ سیستم‌هایی با ذرات غیربرهم‌کنشی تمییزپذیر
۵۹۲	..... ۲-۸ سیستم‌های ذرات یکسان
۵۹۲	..... ۱-۲-۸ ذرات یکسان در مکانیک کلاسیک و کوانتومی
۵۹۴	..... ۲-۲-۸ تبهگنی تبدیلی
۵۹۵	..... ۳-۲-۸ اصل متقارن‌سازی
۵۹۶	..... ۴-۲-۸ ساختمان توابع متقارن و پاد متقارن
۵۹۷	..... ۵-۲-۸ سیستم‌های ذرات یکسان غیربرهم‌کنشی
۶۰۱	..... ۳-۸ اصل طرد پاولی
۶۰۳	..... ۴-۸ اصل طرد و جدول تناوبی
۶۱۲	..... ۵-۸ مسأله‌های حل شده
۶۲۴	..... ۶-۸ تمرین‌ها
۶۲۹	..... فصل نهم / روش‌های تقریبی برای حالت‌های مانا
۶۲۹	..... ۱-۹ پیش‌گفتار
۶۳۰	..... ۲-۹ نظریه‌ی اختلال مستقل از زمان
۶۳۱	..... ۱-۲-۹ نظریه‌ی اختلال غیرتبهگن
۶۳۸	..... ۲-۲-۹ نظریه‌ی اختلال تبهگن
۶۴۳	..... ۳-۲-۹ ساختار ریز و اثر زیمان ناهنجار
۶۵۴	..... ۳-۹ روش وردشی
۶۶۴	..... ۴-۹ روش وانتزل - کرامر - بریلونن

۶۶۴	۱-۴-۹ قاعده‌ی کلی
۶۶۸	۲-۴-۹ حالت‌های مقید برای چاه‌های پتانسیل بدون دیواره‌های صلب
۶۷۶	۳-۴-۹ حالت‌های مقید برای چاه‌های پتانسیل با یک دیواره‌ی صلب
۶۷۸	۴-۴-۹ حالت‌های مقید برای چاه‌های پتانسیل با دو دیواره‌ی صلب
۶۸۱	۵-۴-۹ تونل‌زنی به درون یک سد پتانسیل
۶۸۴	۵-۹ سخن پایانی
۶۸۵	۶-۹ مساله‌های حل شده
۷۲۴	۷-۹ تمرین‌ها
۷۳۵	فصل دهم / نظریه‌ی اختلال وابسته به زمان
۷۳۵	۱-۱۰ پیش‌گفتار
۷۳۵	۲-۱۰ تصویرهای مکانیک کوانتومی
۷۳۶	۱-۲-۱۰ تصویر شرودینگر
۷۳۶	۲-۲-۱۰ تصویر هایزنبرگ
۷۳۸	۳-۲-۱۰ تصویر برهم‌کنشی
۷۳۹	۳-۱۰ نظریه‌ی اختلال وابسته به زمان
۷۴۲	۱-۳-۱۰ احتمال گذار
۷۴۳	۲-۳-۱۰ احتمال گذار برای یک اختلال ثابت
۷۴۵	۳-۳-۱۰ احتمال گذار برای یک اختلال هم‌انگ
۷۴۹	۴-۱۰ تقریب‌های بی‌دررو و ناگهانی
۷۴۹	۱-۴-۱۰ تقریب بی‌دررو
۷۵۰	۲-۴-۱۰ تقریب ناگهانی
۷۵۴	۵-۱۰ برهم‌کنش اتم‌ها یا تابش
۷۵۵	۱-۵-۱۰ روش کلاسیکی تابش فرودی
۷۵۷	۲-۵-۱۰ کوانتش میدان الکترومغناطیسی
۷۶۱	۳-۵-۱۰ آهنگ‌های گذار برای جذب و گسیل تابش
۷۶۲	۴-۵-۱۰ آهنگ‌های گذار در تقریب دو قطبی
۷۶۳	۵-۵-۱۰ قواعد گزینش دو قطبی الکتریکی
۷۶۵	۶-۵-۱۰ گسیل خودبه‌خودی
۷۶۹	۶-۱۰ مساله‌های حل شده
۷۸۸	۷-۱۰ تمرین‌ها

فصل یازدهم / نظریه‌ی پراکندگی ۷۹۵

۷۹۵	۱-۱۱ پراکندگی و سطح مقطع
۷۹۷	۱-۱-۱۱ ارتباط زاویه‌ها در چارچوب‌های آزمایشگاه و مرکز جرم
۷۹۹	۲-۱-۱۱ ارتباط سطح مقطع‌های آزمایشگاهی و مرکز جرم
۸۰۱	۲-۱۱ دامنه‌های پراکندگی ذرات بدون اسپین
۸۰۳	۱-۲-۱۱ دامنه‌ی پراکندگی و سطح مقطع دیفرانسیلی
۸۰۴	۲-۲-۱۱ دامنه‌ی پراکندگی
۸۰۸	۳-۱۱ تقریب بورن
۸۰۸	۱-۳-۱۱ تقریب اول بورن
۸۱۰	۲-۳-۱۱ اعتبار تقریب اول بورن
۸۱۲	۴-۱۱ تحلیل پاره موجی
۸۱۲	۱-۴-۱۱ تحلیل پاره موجی برای پراکندگی کشسان
۸۱۷	۲-۴-۱۱ تحلیل پاره موجی برای پراکندگی غیرکشسان
۸۱۹	۵-۱۱ پراکندگی ذرات یکسان
۸۲۲	۶-۱۱ مساله‌های حل شده
۸۲۶	۷-۱۱ تمرین‌ها
۸۳۹	پیوست آ تابع دلنا
۸۳۹	آ-۱ تابع دلنای یک بعدی
۸۳۹	آ-۱-۱ تعریف‌های گوناگون تابع دلنا
۸۴۰	آ-۱-۲ خواص تابع دلنا
۸۴۱	آ-۱-۳ مشتق تابع دلنا
۸۴۲	آ-۲ تابع دلنای سه بعدی
۸۴۴	پیوست ب تکانه‌ی زاویه‌ای در مختصات کروی
۸۴۴	ب-۱ به دست آوردن برخی روابط عمومی
۸۴۵	ب-۲ گرادیان و لاپلاسی در مختصات کروی
۸۴۶	ب-۳ تکانه‌ی زاویه‌ای در مختصات کروی
۸۴۸	پیوست پ کد C^{++} برای حل معادله‌ی شرودینگر
۸۵۰	روابط اساسی و ثابت‌های فیزیکی و تبدیل واحدها
۸۵۷	نمایه

پیش‌گفتار مترجم

در حوزه‌ی مکانیک کوانتومی کتاب‌های بسیاری به رشته‌ی تحریر درآمده‌اند که هر یک با رویکردی خاص به بیان مفاهیم آن پرداخته‌اند. کتاب حاضر، مجموعه‌ای مدون و پربار برای درک بهتر مفاهیم مکانیک کوانتومی است و دربرگیرنده‌ی مثال‌ها، مسایل حل شده و تمرین‌های سودمندی است که نویسنده آن‌ها را با هدف تسلط خواننده در هر بحث در میان و پایان هر فصل گنجانده است و آن را در میان کتاب‌های هم‌سطح خویش ممتاز ساخته است. در ویراست دوم چنان‌که در پیش‌گفتار نویسنده نیز خواهید خواند سعی شده است ابهامات و ایرادات موجود در ویراست نخست رفع شود و تلاش نویسنده بر این بوده که کوانتوم را به شکل جالبی ادامه دهد. آخرین درست‌نامی مؤلف پس از تألیف و نیز چند ایراد از نظر دورمانده‌ی کتاب اصلی در این برگردان لحاظ شده است. دانشجویان دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد فیزیک، مخاطبان اصلی این کتاب هستند ضمن این‌که برای داوطلبان آزمون‌های ورودی دوره‌های کارشناسی ارشد و دکترای فیزیک می‌تواند بسیار سودمند و آموزنده باشد. با کمال میل خرسندیم که مراتب سپاس‌گزاری خود را از تمام کسانی که در برگردان این کتاب کمک‌های بی‌دریغی داشته‌اند تقدیم نساییم.

محمد بهتاج لجبینی - نگار اورعی

۱۳۹۱

پیش‌گفتار ویرایش نخست

کتاب‌های تألیف شده پیرامون مکانیک کوانتومی را می‌توان به دو گروه عمده دسته‌بندی کرد: کتاب‌های درسی، که در آن تمرکز روی قواعد و اصول است، و کتاب‌های منحصراً حل مسأله، که در آن تأکید روی کاربردهاست. با وجود آن‌که کتاب‌های خوب بسیاری در زمینه مکانیک کوانتومی وجود دارد، کتاب‌های حل مسأله بسیار کم تعدادتر هستند. قصد من صرفاً افزودن مطلبی به یکی از این دو گروه نیست. هدف من ترکیب هر دو شکل در یک نوشتار واحد است که محتوای یک کتاب درسی و یک کتاب حل مسأله را دربرمی‌گیرد. کتاب‌هایی با این قالب عملاً وجود ندارند. در افتخار که این ایده بسیار مفید است زیرا به دانشجویان دسترسی آسان و سریع را به اجزاء اساسی نظریه و نیز جنبه‌های عملی آن در یک مجموعه‌ی منسجم ارائه می‌دهد.

در طول چندین سال تدریس مکانیک کوانتومی، دریافته‌ام که برای دانشجویان عموماً یادگرفتن مفاهیم بنیادی قواعد [مکانیک کوانتومی] آسان‌تر از کار با جنبه‌های عملی آن است. بدون دانستن چگونگی محاسبه و اعداد به‌دست آمده از روابط توانایی کامل و کاربرد نظریه از دست می‌رود. مهارت در فنون حل مسأله، یک بخش ضروری یادگیری فیزیک است. برای دستیابی به این هدف، مسأله‌های حل شده در این کتاب برای آموزش چگونگی محاسبه به دانشجویان طرح شده‌اند. بدون آموختن چگونگی استخراج و محاسبه کمیت‌ها مهارت واقعی در مکانیک کوانتومی حاصل نمی‌شود.

در این کتاب می‌خواهم به هدفی در سویه‌ی دست پیدا کنم: ارائه‌ای جامع، اما مختصر و مفید از بیشتر مباحث مکانیک کوانتومی غیرنسبیتی، و عرضه مجموعه‌ای زیاده از مثال‌ها و مسایل کامل جدا شده. دست‌یابی به این شکل همه جانبه بدون هزینه نیست. حجم کتاب، برای خلاصه کردن کتاب، بدون کاستن از ارتباط میان موضوع‌ها و کامل بودن آن‌ها دقت بسیاری شده است.

این کتاب برآمده از جزوه‌های دوره‌ی کارشناسی و کارشناسی ارشد است که برای دوره‌ای در حدود ده سال به دانشجویانم ارائه کردم؛ مسأله‌های موجود در آن از مجموعه‌ای بزرگ از تکالیف و تمرین‌های امتحانی گلچین شده‌اند که به دانشجویان عرضه می‌کرده‌ام. این نوشتار برای دانشجویان دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد سال اول پیشنهاد می‌شود. موضوعات موجود در این کتاب را می‌توان در سه واحد درسی پوشش داد: فصل‌های ۱ تا ۵ (به‌جز بخش ۲-۷) در یک دوره آموزشی کارشناسی یک واحدی؛ فصل ۶، بخش ۷-۱۰، فصل ۸، بخش ۹-۲ (به‌جز ساختار و اثر زیمان غیرعادی) و بخش ۱۱-۱ تا ۱۱-۳ در واحد درسی دوم، و بقیه کتاب در یک دوره آموزشی کارشناسی ارشد یک واحدی.

کتاب با پایه‌های تجربی مکانیک کوانتومی آغاز می‌شود که در آن به آن دسته از پدیده‌های اتمی و زیراتمی می‌پردازیم که شکست فیزیک کلاسیک در مقیاس میکروسکوپی و وجود نیاز به یک روش جدید را تأیید می‌کند. سپس ابزارهای ریاضی مکانیک کوانتومی مانند فضاهای خطی، جبر عملگری، مکانیک ماتریسی و مسأله‌های ویژه مقداری می‌آیند؛ همه‌ی این‌ها به وسیله‌ی نمادگذاری دیراک بررسی می‌شوند. پس از آن در مورد مبانی قراردادی مکانیک کوانتومی بحث می‌کنیم و آن‌گاه به جواب‌های دقیق معادله‌ی شرودینگر برای مسأله‌های یک بُعدی و سه بُعدی می‌پردازیم. سپس روش‌های تقریبی مانا و وابسته به زمان را پیش‌رو داریم و سرانجام نظریه‌ی پراکندگی را ارائه می‌کنیم.

مایل هستم از پروفسور اسماعیل زاهد (دانشگاه نیویورک در استونی بروک) و جری او. سالیوان (کالج دانشگاهی دابلین، ایرلند) به‌خاطر مطالعه‌ی دقیق و ارائه‌ی نظرشان در مورد پیش‌نویس اولیه‌ی کتاب قدردانی کنم. از

چهار داور ناشناسی که نظرات و پیشنهادهای خردمندانه‌ای ارائه کردند سپاس گزارم. از سردبیرم، دکتر اندی اسلید به خاطر حمایت‌های پیوسته، تشویق و نظارت مؤثرش بر این پروژه تشکر ویژه می‌کنم.

از مهمان‌نوازی مرکز فیزیک نظری MIT، کمبریج، به خاطر دو سالی که در آن‌جا به‌عنوان بازدید کننده اقامت داشتم سپاس گزارم. به‌ویژه از پروفیسورها آلن گات، رابرت جفانی و جان نیگل به خاطر حمایت‌هایشان تشکر می‌کنم.

پیش‌گفتار و ویرایش دوم

اکنون هشت سال از پدیدآوری ویرایش نخست این کتاب در سال ۲۰۰۱ سیری شده است. در طول این زمان، بسیاری از کاربران مهربان - اساتیدی که کتاب را پذیرفته‌اند، پژوهشگران و دانشجویان - وقت صرف کرده‌اند و با ارائه نظرات ارزشمندشان درباره‌ی کتاب بر من منت نهاده‌اند. در تهیه‌ی ویرایش دوم بازخورد سخاوتمندانه‌ای را که از سوی این کاربران دریافت نمودم، مورد توجه قرار داده‌ام. می‌خواهم قبل از هر چیز مراتب عمیق سپاس‌گزاری و قدردانی خود را به آنها بیان کنم.

تمرکز اساسی کتاب همچنان حفظ شده است: فراهم کردن متنی خوش ساختار و جامع، اما مختصر و مفید که توسط مجموعه‌ای پُر بار از مثال‌ها و سبیل با حل کامل که بیانگر جنبه‌های گوناگون مکانیک کوانتومی غیرنسبیتی است، پشتیبانی می‌شود. کتاب دستیابی به دو هدف را دنبال می‌کند: از یک سو، ارائه‌ی یک ابزار مناسب برای تدریس با رویکرد آموزشی، و از سوی دیگر، کمک به دانشجویان نه تنها برای تسلط بر پایه‌های نظریه، بلکه برای ورزیده شدن مؤثر در مکانیک کوانتومی.

گرچه ساختار کلی و محتوای کتاب هم‌چنان بر پایه‌ی حمایت شمار زیادی از کاربران باقی مانده است، چند تغییر جهت‌مند، و اصلاحی در ویرایش دوم صورت داده‌ام. این تغییرات، با هدف برطرف کردن کاستی‌های یافته شده در ویرایش اول ضمن تقویت و نیرومندسازی آن صورت داده شده است. چند بخش، مثال و مسأله‌ی جدید و محث تازه تعریف کرده‌ام؛ این‌ها در لابه‌لای متن قرار گرفته‌اند. هم‌چنین، بازمینی اساسی تمرین‌ها را در پایان فصل‌ها انجام داده‌ام؛ تعدادی تمرین جدید افزوده‌ام، برخی را حذف کرده‌ام و بقیه را اصلاح کرده‌ام. حال می‌توانم بر این واقعیت تأکید کنم که مجموعه تمرین‌های پایان هر فصل برای چند سال در کلاس درس امتحان شده‌اند.

هم اینک کتاب، مجموعه‌ای نزدیک به شصت مثال، مسئله و تمرین دارد. هر فصل شامل موارد ذیل است: (آ) تعدادی مثال حل شده که هر یک برای نشان دادن مفهوم خاصی مربوط به بخش ویژه‌ای در خلال فصل طراحی شده‌اند. (ب) شمار زیادی مسأله با حل کامل (که در انتهای هر فصل می‌آیند) که به‌طور کلی جامع هستند و بنابراین چندین مفهوم را یک‌جا پوشش می‌دهد و (پ) تمرین‌های فراوان حل شده که به‌عنوان تکلیف خانگی در نظر گرفته شده است. با این مجموعه پُر بار از مثال، مسئله و تمرین قصد داریم دانشجو تقویت شود تا به دانش پژوهی مستقل و کارآموده‌ای ماهر در مکانیک کوانتومی تبدیل شود. داشتن توانایی حل مسأله گواهی بآبرجای فهم واقعی مطلب است.

ویرایش دوم با منابع سودمند طراحی شده برای مدرسه‌های به‌کاربرنده‌ی این کتاب پشتیبانی می‌شود (جهت دریافت این منابع رایگان لطفاً با نویسنده یا «وایلی» تماس بگیرید).

موارد درسی موجود در این کتاب برای سه ترم مناسب است - یک دوره دو ترمی در کارشناسی و یک دوره یک ترمی در کارشناسی ارشد. یک سؤال مربوط به این موضوع مطرح می‌شود: چگونه کتاب را به‌طور عملی در یک دوره درسی کارشناسی یا کارشناسی ارشد می‌توان مورد استفاده قرار داد؟ هیچ پاسخ روشنی برای این سؤال وجود ندارد زیرا این به زمینه‌ی قبلی دانشجویان و ماهیت دوره‌های مورد نظر بستگی دارد. نخست، می‌خواهم این ملاحظه‌ی مهم را مورد تأکید قرار دهم: از آنجا که کتاب اطلاعات فراوانی ارائه می‌دهد، هر مدرس باید به‌طور

خاص سرفصل‌هایی را انتخاب کند که به دانشجویان خود مربوط است. ممکن است در صورت گذراندن همه بخش‌های یک فصل خاص به صورت ترتیبی (به‌ویژه فصل ۲)، خطر در ماندن و بنابراین، صرف زمان بیش از حد روی سرفصل‌های فنی را به دنبال داشته باشد. در عوض، باید بسیار گزینشی عمل کرد. به‌عنوان نمونه، برای یک دوره‌ی درسی یک ترمی که دانشجویان، فیزیک جدید را قبلاً نگرفته باشند، پیشنهاد می‌کنم این سرفصل‌ها پوشش داده شوند: بخش‌های ۱-۱ تا ۶-۱؛ ۲-۲ تا ۲-۲؛ ۳-۲، ۴-۲ تا ۱-۴-۲ تا ۸-۴-۲، ۱-۵-۲، ۳-۵-۲، ۶-۲ تا ۲-۶-۲، ۷-۲ تا ۲-۳ تا ۶-۳ تا ۳-۴ تا ۸-۴ تا ۲-۵ تا ۴-۵ تا ۶-۵ تا ۷-۵؛ و ۲-۶ تا ۴-۶. با این حال، اگر دانشجویان، قبلاً فیزیک جدید را گذرانده باشند از فصل ۱ کلاً صرف‌نظر می‌کنم و این بخش‌ها را مدّ نظر می‌دهم: ۲-۲ تا ۲-۲، ۳-۲، ۴-۲ تا ۱-۴-۲ تا ۸-۴-۲، ۱-۵-۲، ۳-۵-۲، ۶-۲ تا ۷-۲، ۲-۳ تا ۶-۳ تا ۳-۴ تا ۸-۴؛ ۲-۵ تا ۴-۵ تا ۶-۵ تا ۷-۵ تا ۲-۶ تا ۴-۶ تا ۱-۲-۹ تا ۲-۲-۹، ۳-۹ و ۴-۹. برای یک دوره‌ی درسی برای دو نیم سال، گمان می‌کنم مدرس وقت زیاد و انعطاف‌پذیری لازم را دارد تا تئوری بنیادین و سرفصل‌هایی را که برای دانشجویان خود مناسب‌ترین هستند انتخاب کند؛ در این مورد، یقیناً تعدادی از سرفصل‌های فصل‌های ۷ تا ۱۱ هم اضافه می‌کنم (امانه هر بخش‌های این فصل‌ها زیرا این به‌طور غیرواقعی پهنانه‌ای زمان‌بر است). از سوی دیگر، برای یک دوره درسی تک‌نیم‌سال کارشناسی ارشد، سرفصل‌هایی نظیر بخش‌های ۷-۱ تا ۸-۱؛ ۹-۴ تا ۳-۶-۲ تا ۵-۶-۲؛ ۷-۳ تا ۸-۳؛ و ۶-۴ و ۶-۵ و ۶-۳ تا ۷-۳ تا ۱۱ را در نظر می‌گیرم.

سیاس‌گزاری‌ها

از بسیاری از کاربران ویرایش نخست بازخورد‌های بسیار سودمندی دریافت کرده‌ام؛ من عمیقاً از تک‌تک آنها قدردانی کرده و سپاس‌گزارم. مایل هستم به‌طور ویژه از «ریچارد لید» (دانشگاه ایالتی آریزونا) که متواضعانه و به‌طور خستگی‌ناپذیر، نظرات ارزشمندی، تصحیحات، و پیشنهادهایی را در اختیار من قرار می‌داد، تشکر کنم. هم‌چنین می‌خواهم از «جرل واکر» (دانشگاه ایالتی کلیولند) - نویسنده‌ی «نمایش هیجان‌انگیز فیزیک» و نویسنده‌ی فیزیک کلاسیک «هالیدی» - «رزنیک» - «واکر»، «پایه‌های فیزیک» - به‌خاطر خواندن دست‌نوشته‌ها و پیشنهاد‌های خردمندانه‌اش؛ از «میلتون چا» (دانشگاه سیستم‌هاوایی) برای غلط‌گیری نمونه‌ی چاپی کسل کتاب؛ از «فیلیس چین» (فناوری‌های پاورویو سانتانا) برای خواندن ۶ فصل اول ندردانی که من هم‌چنین تقدیم به کاربران و خوانندگان مهربانی که ایراد‌های (تأییدی) را که در ویرایش اول پیدا کرده‌اند و در اختیار من قرار داده‌اند: توماس سایتا (دانشگاه کارولینای شرقی)، مورتیزیران (دانشگاه آفریقای جنوبی، پرتوریا)، دیوید برکووتیز (دانشگاه ایالتی کالیفرنیا، نورتریج)، جان داگلاس‌هی (دانشگاه کوازولو - ناتال، دربان، آفریقای جنوبی)، ریچارد آر‌تور دادلی (دانشگاه کالگری، کانادا)، آندرا دارلو (بنیان‌گذار A.I.F. (انجمن آموزش فیزیک ایتالیا)، فرارا، ایتالیا)، و ریک میراندا (هلند). مراتب قدردانی عمیق خود را به ام. بولوت (دانشگاه آلاباما در بیرمنگام) و به هاینر مولر - کرامهار (فورچونگرتروم جولیش، آلمان) و دانشجوی دکتری وی، سی. گوگن برگر برای نوشتن و آزمودن C^{++} فهرست شده در پیوست (ب) که برای حل معادله‌ی شرودینگر برای یک نوسانگر هماهنگ یک بُعدی و برای یک پتانسیل چاه مربعی نامتناهی طراحی شده است، تقدیم می‌کنم.

در پایان، می‌خواهم از ویراستار خود، دکتر اندی اسلید، سلیا کاردن و الکساندر کریک، به‌خاطر کار پرزحمتشان و حمایت دوستانه در طول دوره‌ی این پروژه سپاس‌گزاری کنم.

ن. زتیلی

دانشگاه ایالتی جکسونویل - ژانویه ۲۰۰۹

توصیه به دانشجو

ما آن چه که بی‌درپی انجام می‌دهیم هستیم. پس برتری ناشی از یک عمل تنها نیست، بلکه پیامد یک عادت است.

ارسطو

هیچ‌کس انتظار ندارد بدون آن‌که خیس شود، شنا کردن را بیاموزد. همان‌طور که با خواندن کتاب و تماشای شناکردن دیگران، آموختن آن انتظار نمی‌رود، شنا کردن را نمی‌توان بدون تمرین آموخت. هیچ راه چاره‌ای جز این‌که خود را به داخل آب اندازد و هفته‌ها و یا حتی ماه‌ها آموزش ببیند وجود ندارد تا جایی که شنا کردنتان روان شود. به همین ترتیب، فیزیک را نمی‌توان به صورت منفعل یاد گرفت. بدون برخورد با مسائل چالش برانگیز گوناگون، دانشجو راهی برای آموختن چگونگی فهم خود از یک موضوع ندارد. این جا است که به دانشجو احساس رضایت و تسلط ناشی از فهم هوشمندانه اصول یاد دست می‌دهد. توانایی حل مسأله بهترین تأیید بر داشتن مهارت در موضوع است. همانند شنا کردن، هر چه بیشتر مسأله حل کنید، بر مهارت شما در حل مسأله و ظرافت‌های موجود در آن افزوده می‌شود.

برای بهره‌گیری کامل از مثال‌ها و مسائل حل‌شده در متن، به سرعت به سراغ پاسخ آن نروید. اگر بار اول تلاش کردید و نتوانستید حل کنید، دوباره سعی کنید! اگر مسأله را خودتان حل می‌کنید، باز هم حل خود را باید با حل کتاب مقایسه کنید. شاید راه حلی کوتاه‌تر یا دقیق‌تر پیدا کنید.

یک تذکر مهم: چون کتاب حاضر با مجموعه‌ای از مثال‌ها و مسائل با حل کامل همراه است باید حتماً از وسوسه‌ی به خاطر سپردن فن‌ها و حل‌های مختلف پرهیز شود، در عوض باید روی درک مفاهیم و بیکربندی به‌کار گرفته شده در آن تمرکز شود. در این کتاب قصد من این نیست به دانشجو تعدادی راهکار یا فنون را برای کسب نمرات خوب در کلاس‌های مکانیک کوانتومی بدون فهم هوشمندانه یا تسلط داشتن بر موضوع، آموزش دهم؛ یعنی منظورم این نبوده است که به دانشجو یاد دهم چگونه بدون فهمی عمیق و طولانی، امتحانات مکانیک کوانتومی را بگذرانند. با این حال، دانشجویی که روی فهم اصول پایه مبحث و تقویت آن به وسیله‌ی حل مسائل متعدد و فهم کامل آنها تمرکز کند بی‌شک به هدف دست پیدا می‌کند؛ کسب نمرات خوب و همچنین دریافت آموزش درست و طولانی‌مدت.