مکانیک کوانتومی

مفاهیم و کاربردها

(ویرایش دوم)

نویسنده:
نورالدین زتیلی

برگردان:
محمد بهتاج لجبینی و نگار اورعی

نیاز دانش

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار مترجم ..... ر

پیش‌گفتار ویرایش دوم ..... س

پیش‌گفتار ویرایش نخست ..... ز

توصیه به دانشجو .....ص

فصل اول / اصول فیزیک کوانتومی ۱

۱-۱ مشاهدات تاریخی..... ۱

۱-۲ جنبه‌ی ذره‌ای تابش ۵

۱-۲-۱ تابش جسم سیاه..... ۵

۱-۲-۲ اثر فوتوالکتریک..... ۱۴

۱-۲-۳ اثر کامپتون..... ۱۸

۱-۲-۴ تولید زوج..... ۲۲

۱-۳ جنبه‌ی موجی ذرات ۲۴

۱-۳-۱ فرضیه‌ی دوبروی: امواج مادی ۲۴

۱-۳-۲ تایید تجربی فرضیه‌ی دوبروی..... ۲۵

۱-۳-۳ امواج مادی برای اجسام ماکروسکوپی..... ۲۷

۱-۴ ذرات بر حسب امواج..... ۲۹

۱-۴-۱ دیدگاه کلاسیک ذرات و امواج ۲۹

۱-۴-۲ دیدگاه کوانتومی ذرات و امواج..... ۳۱

۱-۴-۳ دوگانگی موج ـ ذره: مکملیت..... ۳۴

۱-۴-۴ اصل برهم نهی خطی ۳۵

۱-۵ طبیعت غیر قابل تعیین دنیای میکروفیزیکی ۳۶

۱-۵-۱ اصل عدم قطعیت هایزنبرگ ۳۷

۱-۵-۲ تعبیر احتمالاتی..... ۳۹

۱-۶ گذارهای اتمی و طیف نگاری ۴۰

۱-۶-۱ مدل سیاره‌ای رادرفورد برای اتم ۴۰

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

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

۳-۶-۵ تحول زمانی مقدار چشم‌داشتی‌ها ۲۳۶
۳-۷ تقارن‌ها و قوانین پایستگی ۲۳۸
۳-۷-۱ تبدیل‌های یکانی بی‌نهایت کوچک ۲۳۸
۳-۷-۲ تبدیل‌های یکانی متناهی ۲۳۹
۳-۷-۳ تقارن‌ها و قوانین پایستگی ۲۴۰
۳-۸ ارتباط میان کوانتوم و مکانیک کلاسیک ۲۴۳
۳-۸-۱ براکت‌های پواسون و جابه‌جاگرها ۲۴۳
۳-۸-۲ قضیه‌ی ارنفست ۲۴۵
۳-۸-۳ مکانیک کوانتومی و مکانیک کلاسیک ۲۴۷
۳-۹ مسأله‌های حل شده ۲۴۸
۳-۱۰ تمرین‌ها ۲۷۰
فصل چهارم / مسأله‌های یک بعدی ۲۷۹
۴-۱ پیش‌گفتار ۲۷۹
۴-۲ ویژگی‌های حرکت یک بعدی ۲۸۰
۴-۲-۱ طیف گسسته (حالت‌های مقید) ۲۸۱
۴-۲-۲ طیف پیوسته (حالت‌های نامقید) ۲۸۱
۴-۲-۳ طیف ترکیبی ۲۸۲
۴-۲-۴ پتانسیل‌های متقارن و پاریته ۲۸۲
۴-۳ ذره‌ی آزاد: حالت‌های پیوسته ۲۸۳
۴-۴ پله‌ی پتانسیل ۲۸۵
۴-۵ سد و چاه پتانسیل ۲۹۰
۴-۵-۱ حالت $E > V_0$ ۲۹۱
۴-۵-۲ حالت $E > V_0$: تونل زنی ۲۹۴
۴-۵-۳ اثر تونل‌زنی ۲۹۷
۴-۶ پتانسیل چاه مربعی نامتناهی ۲۹۹
۴-۶-۱ چاه مربعی نامتقارن ۲۹۹
۴-۶-۲ چاه پتانسیل متقارن ۳۰۴
۴-۷ پتانسیل چاه مربعی متناهی ۳۰۴
۴-۷-۱ جواب‌های پراکندگی $(E > V_0)$ ۳۰۴
۴-۷-۲ جواب‌های حالت مقید $(0 < E < V_0)$ ۳۰۵

۴-۸ نوسانگر هماهنگ ۳۰۹
۴-۸-۱ ویژه‌مقدارهای انرژی ۳۱۳
۴-۸-۲ ویژه‌حالت‌های انرژی ۳۱۵
۴-۸-۳ ویژه‌حالت‌های انرژی در فضای مکان ۳۱۶
۴-۸-۴ نمایش ماتریسی عملگرهای گوناگون ۳۲۰
۴-۸-۵ مقدار چشم‌داشتی عملگرهای گوناگون ۳۲۲
۴-۹ حل عددی معادله‌ی شرودینگر ۳۲۳
۴-۹-۱ روش کار عددی ۳۲۳
۴-۹-۲ الگوریتم ۳۲۵
۴-۱۰ مسأله‌های حل شده ۳۲۷
۴-۱۱ تمرین‌ها ۳۵۸
فصل پنجم / اندازه حرکت زاویه‌ای ۳۶۹
۵-۱ پیش‌گفتار ۳۶۹
۵-۲ اندازه حرکت زاویه‌ای مداری ۳۷۰
۵-۳ قواعد کلی اندازه حرکت زاویه‌ای ۳۷۲
۵-۴ نمایش ماتریسی اندازه حرکت زاویه‌ای ۳۷۸
۵-۵ نمایش هندسی اندازه حرکت زاویه‌ای ۳۸۲
۵-۶ اندازه حرکت زاویه‌ای اسپین ۳۸۴
۵-۶-۱ گواه تجربی اسپین ۳۸۴
۵-۶-۲ نظریه‌ی عمومی اسپین ۳۸۷
۵-۶-۳ اسپین $\frac{1}{2}$ و ماتریس‌های پاولی ۳۸۸
۵-۷ ویژه‌توابع اندازه حرکت زاویه‌ای مداری ۳۹۲
۵-۷-۱ ویژه‌توابع و ویژه‌مقدارهای $\hat{L}_z$ ۳۹۳
۵-۷-۲ ویژه‌توابع $\hat{\vec{L}}^2$ ۳۹۴
۵-۷-۳ ویژگی‌های هماهنگ‌های کروی ۳۹۸
۵-۸ مسأله‌های حل شده ۴۰۲
۵-۹ تمرین‌ها ۴۲۰
فصل ششم / مسأله‌های سه بُعدی ۴۳۱
۶-۱ پیش‌گفتار ۴۳۱
۶-۲ مسأله‌های سه بُعدی در مختصات دکارتی ۴۳۲

۶-۲-۱ روش کار کلی: جداسازی متغیرها ۴۳۲
۶-۲-۲ ذره‌ی آزاد ۴۳۳
۶-۲-۳ پتانسیل جعبه ۴۳۵
۶-۲-۴ نوسانگر هماهنگ ۴۳۷
۶-۳ مسأله‌های سه بعدی در مختصات کروی ۴۴۰
۶-۳-۱ پتانسیل مرکزی: روش کار کلی ۴۴۰
۶-۳-۲ ذره‌ی آزاد در مختصات کروی ۴۴۴
۶-۳-۳ پتانسیل کروی چاه مربعی ۴۴۷
۶-۳-۴ نوسانگر هماهنگ همسانگرد ۴۴۹
۶-۳-۵ اتم هیدروژن ۴۵۴
۶-۳-۶ اثر میدان‌های مغناطیسی روی پتانسیل‌های مرکزی ۴۷۱
۶-۴ سخن پایانی ۴۷۵
۶-۵ مسأله‌های حل شده ۴۷۶
۶-۶ تمرین‌ها ۴۹۸
فصل هفتم / چرخش‌ها و جمع اندازه حرکت‌های زاویه‌ای ۵۰۵
۷-۱ چرخش‌ها در فیزیک کلاسیک ۵۰۵
۷-۲ چرخش‌ها در مکانیک کوانتومی ۵۰۷
۷-۲-۱ چرخش‌های بی‌نهایت کوچک ۵۰۸
۷-۲-۲ چرخش‌های متناهی ۵۱۰
۷-۲-۳ خواص عملگر چرخش ۵۱۱
۷-۲-۴ چرخش‌های اویلر ۵۱۱
۷-۲-۵ نمایش عملگر چرخش ۵۱۴
۷-۲-۶ ماتریس‌های چرخش و هماهنگ‌های کروی ۵۱۶
۷-۳ جمع اندازه حرکت‌های زاویه‌ای ۵۲۰
۷-۳-۱ جمع دو اندازه حرکت زاویه‌ای: قواعد کلی ۵۲۰
۷-۳-۲ محاسبه‌ی ضرایب کلبش ـ گوردن ۵۲۷
۷-۳-۳ جفت شدگی اندازه حرکت‌های زاویه‌ای مداری و اسپینی ۵۳۴
۷-۳-۴ جمع بیش از دو اندازه حرکت زاویه‌ای ۵۳۹
۷-۳-۵ ماتریس‌های دوران برای جفت‌شدگی دو اندازه حرکت زاویه‌ای ۵۴۱
۷-۳-۶ ایزوسپین ۵۴۳

۷–۴ عملگرهای نرده‌ای، برداری و تانسوری ۵۴۷
۷–۴–۱ عملگرهای نرده‌ای ۵۴۸
۷–۴–۲ عملگرهای برداری ۵۴۸
۷–۴–۳ عملگرهای تانسوری: تانسورهای کاهش‌پذیر و کاهش‌ناپذیر ۵۵۰
۷–۴–۴ قضیه‌ی ویگنر ـ اکارت برای عملگرهای تانسور کروی ۵۵۳
۷–۵ مسأله‌های حل شده ۵۵۷
۷–۶ تمرین‌ها ۵۷۷
فصل هشتم / ذرات یکسان ۵۸۵
۸–۱ سیستم‌های چند ذره‌ای ۵۸۵
۸–۱–۱ معادله‌ی شرودینگر ۵۸۵
۸–۱–۲ تقارن تبادلی ۵۸۷
۸–۱–۳ سیستم‌هایی با ذرات غیربرهم‌کنشی تمییزپذیر ۵۸۹
۸–۲ سیستم‌های ذرات یکسان ۵۹۲
۸–۲–۱ ذرات یکسان در مکانیک کلاسیک و کوانتومی ۵۹۲
۸–۲–۲ تبهگنی تبادلی ۵۹۴
۸–۲–۳ اصل متقارن‌سازی ۵۹۵
۸–۲–۴ ساختمان توابع متقارن و پاد متقارن ۵۹۶
۸–۲–۵ سیستم‌های ذرات یکسان غیربرهم‌کنشی ۵۹۷
۸–۳ اصل طرد پاولی ۶۰۱
۸–۴ اصل طرد و جدول تناوبی ۶۰۳
۸–۵ مساله‌های حل شده ۶۱۲
۸–۶ تمرین‌ها ۶۲۴
فصل نهم / روش‌های تقریبی برای حالت‌های مانا ۶۲۹
۹–۱ پیش‌گفتار ۶۲۹
۹–۲ نظریه‌ی اختلال مستقل از زمان ۶۳۰
۹–۲–۱ نظریه‌ی اختلال غیرتبهگن ۶۳۱
۹–۲–۲ نظریه‌ی اختلال تبهگن ۶۳۸
۹–۲–۳ ساختار ریز و اثر زیمان نابهنجار ۶۴۳
۹–۳ روش وردشی ۶۵۴
۹–۴ روش ونتزل ـ کرامر ـ بریلوئن ۶۶۴

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

فصل یازدهم / نظریه‌ی پراکندگی ۷۹۵
۱۱–۱ پراکندگی و سطح مقطع ۷۹۵
۱۱–۱–۱ ارتباط زاویه‌ها در چارچوب‌های آزمایشگاه و مرکز جرم ۷۹۷
۱۱–۱–۲ ارتباط سطح مقطع‌های آزمایشگاهی و مرکز جرم ۷۹۹
۱۱–۲ دامنه‌های پراکندگی ذرات بدون اسپین ۸۰۱
۱۱–۲–۱ دامنه‌ی پراکندگی و سطح مقطع دیفرانسیلی ۸۰۳
۱۱–۲–۲ دامنه‌ی پراکندگی ۸۰۴
۱۱–۳ تقریب بورن ۸۰۸
۱۱–۳–۱ تقریب اول بورن ۸۰۸
۱۱–۳–۲ اعتبار تقریب اول بورن ۸۱۰
۱۱–۴ تحلیل پاره موجی ۸۱۲
۱۱–۴–۱ تحلیل پاره موجی برای پراکندگی کشسان ۸۱۲
۱۱–۴–۲ تحلیل پاره موجی برای پراکندگی غیرکشسان ۸۱۷
۱۱–۵ پراکندگی ذرات یکسان ۸۱۹
۱۱–۶ مساله‌های حل شده ۸۲۲
۱۱–۷ تمرین‌ها ۸۳۶
پیوست آ تابع دلتا ۸۳۹
آ–۱ تابع دلتای یک بعدی ۸۳۹
آ–۱–۱ تعریف‌های گوناگون تابع دلتا ۸۳۹
آ–۱–۲ خواص تابع دلتا ۸۴۰
آ–۱–۳ مشتق تابع دلتا ۸۴۱
آ–۲ تابع دلتای سه بعدی ۸۴۲
پیوست ب تکانه‌ی زاویه‌ای در مختصات کروی ۸۴۴
ب–۱ به دست آوردن برخی روابط عمومی ۸۴۴
ب–۲ گرادیان و لاپلاسی در مختصات کروی ۸۴۵
ب–۳ تکانه‌ی زاویه‌ای در مختصات کروی ۸۴۶
پیوست پ کد C^{++} برای حل معادله‌ی شرودینگر ۸۴۸
روابط اساسی و ثابت‌های فیزیکی و تبدیل واحدها ۸۵۰
نمایه ۸۵۷

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 مبحث در میان و پایان هر فصل گنجانده است و آن را در میان کتاب‌های هم‌سطح خویش ممتاز ساخته ا ست.

در ویراست دوم چنان‌که در پیش‌گفتار نویسنده نیز خواهید خواند سعی شده است ابهامات و ایرادات موجود در ویراست نخست رفع شوند و تلاش نویسنده بر این بوده که کوانتوم را به شکل جالبی ادامه دهد. آخرین درست‌نامه‌ی 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 نماییم.

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 زمینه‌ی 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. دریافته‌ام که این ایده بسیار مفید است زیرا به دانشجو 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 دو سویه دست پیدا کنم: ارایه‌ای جامع، اما مختصر و مفید از بیشتر مباحث مکانیک کوانتومی غیرنسبیتی، و عرضه‌ی مجموعه‌ای پُربار 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 ارایه 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 ۳–۷) در یک دوره آموزشی کارشناسی یک واحدی؛ فصل ۶، بخش ۷–۳، فصل ۸، بخش ۹–۲ (به‌جز ساختار و اثر زیمان غیرعادی) و بخش ۱۱–۱ تا ۱۱–۳ در واحد درسی دوم؛ و بقیه‌ی کتاب در یک دوره‌ی 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، جبرعملگری، 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 ارایه می‌کنیم.

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

چهار داور ناشناسی که نظرات و پیشنهادهای خردمندانه‌ای ارایه کردند سپاس‌گزارم. 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، به‌خاطر دو سالی که در آن‌جا به‌عنوان بازدید کننده اقامت داشتم سپاس‌گزارم. به‌ویژه از پروفسورها آلن‌گاث، رابرت‌جافی و جان‌نیگل به‌خاطر حمایت‌هایشان تشکر می‌کنم.

پیش‌گفتار ویرایش دوم

اکنون هشت سال از پدیدآوری ویرایش نخست این کتاب در سال ۲۰۰۱ سپری شده است. در طول این زمان، بسیاری از کاربران مهربان ـ اساتیدی که کتاب را پذیرفته‌اند، پژوهشگران و دانشجویان ـ وقت صرف کرده‌اند و با ارایه‌ی نظرات ارزشمندشان درباره‌ی کتاب بر من منت نهاده‌اند. در تهیه‌ی ویرایش دوم بازخورد سخاوتمندانه‌ای را که از سوی این کاربران دریافت نموده‌ام، 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 پُربار از مثال‌ها وسایل با حل کامل که بیانگر جنبه‌های گوناگون مکانیک کوانتومی غیرنسبیتی است، پشتیبانی می‌شود. کتاب دستیابی به دو هدف را دنبال می‌کند: از یک سو، ارایه‌ی 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 مبحث تازه تعریف کرده‌ام؛ این‌ها در لابه‌لای متن قرار گرفته‌اند. هم‌چنین، بازبینی 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 ششصد 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 به عنوان تکلیف خانگی درنظر گرفته شده است. با این مجموعه پُربار از مثال، مسئله و تمرین قصد داریم دانشجو تقویت شود تا به دانش‌پژوهی مستقل و کارآزموده‌ای ماهر در مکانیک کوانتومی تبدیل شود. داشتن توانایی حل مسأله گواهی باپرجا بر 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 درسی مناسب است ـ 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 سوال 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 ارایه 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 درماندن 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 ۱–۶؛ ۲–۲–۲، ۲–۲–۴، ۲–۳، ۲–۴–۱ تا ۲–۴–۸، ۲–۵–۱، ۲–۵–۳، ۲–۶–۱ تا ۲–۶–۲، ۲–۷؛ ۳–۲ تا ۳–۶؛ ۴–۳ تا ۴–۸؛ ۵–۲ تا ۵–۴، ۵–۶ تا ۵–۷؛ و ۶–۲ تا ۶–۴. با این حال، اگر دانشجویان، قبلاً فیزیک جدید را گذرانده باشند از فصل ۱ کلاً صرف‌نظر می‌کنم و این بخش‌ها را مدّ نظر می‌دهم: ۲–۲–۲، ۲–۲–۴، ۲–۳، ۲–۴–۱ تا ۲–۴–۸، ۲–۵–۱، ۲–۵–۳، ۲–۶–۱ تا ۲–۶–۲، ۲–۷؛ ۳–۲ تا ۳–۶؛ ۴–۳ تا ۴–۸؛ ۵–۲ تا ۵–۴، ۵–۶ تا ۵–۷؛ ۶–۲ تا ۶–۴؛ ۹–۲–۱ تا ۹–۲–۲، ۹–۳ و ۹–۴. برای یک دوره‌ی درسی برای دو نیم سال گمان می‌کنم مدرس وقت زیاد و انعطاف‌پذیری لازم را دارد تا تدبیری بیندیشد 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 (اما نه هر بخش‌های این فصل‌ها زیرا این به‌طور غیرواقع‌بینانه‌ای زمان‌بر است). از سوی دیگر، برای یک دوره درسی تک نیم سال کارشناسی ارشد، سرفصل‌هایی نظیر بخش‌های ۱–۷ تا ۱–۸؛ ۲–۴–۹، ۲–۶–۳ تا ۲–۶–۵؛ ۳–۷ تا ۳–۸؛ ۴–۹ و بیش‌تر سرفصل‌های فصل‌های ۷ تا ۱۱ را درنظر می‌گیرم.

سپاس‌گزاری‌ها

از بسیاری از کاربران ویرایش نخست بازخورهای بسیار سودمندی دریافت کرده‌ام؛ من عمیقاً از تک‌تک آنها قدردانی کرده و سپاس‌گزارم. مایل هستم به‌طور ویژه از «ریچارد لیبد» (دانشگاه ایالتی آریزونا) که متواضعانه و به‌طور خستگی‌ناپذیر، نظرات ارزشمند، تصحیحات، و پیشنهادهایی را در اختیار من قرار می‌داد، تشکر کنم. هم‌چنین می‌خواهم از «جرل واکر» (دانشگاه ایالتی کلیولند) ـ نویسنده‌ی «نمایش هیجان‌انگیز فیزیک» و نویسنده‌ی فیزیک کلاسیک «هالیدی» ـ «رزنیک» ـ «واکر»، «پایه‌های فیزیک» ـ به‌خاطر خواندن دست نوشته‌ها و پیشنهادهای خردمندانه‌اش؛ از «میلتون چا» (دانشگاه سیستم هاوایی) برای غلط‌گیری نمونه‌ی چاپی کل کتاب؛ از «فیلیکس چِن» (فناوری‌های پاورویو سانتاانا) برای خواندن ۶ فصل اول قدردانی کنم. سپاس‌گزاری‌های ویژه من هم‌چنین تقدیم به کاربران و خوانندگان مهربانی که ایرادهای (تایپی) را که در ویرایش اول پیدا کرده‌اند و در اختیار من قرار داده‌اند: توماس سایتا (دانشگاه کارولینای شرقی)، مورتیزبران (دانشگاه آفریقای جنوبی، پریتوریا)، دیوید برکووتیز (دانشگاه ایالتی کالیفورنیا، نورثریج)، جان داگلاس‌هی (دانشگاه کوازولو ـ ناتال، دوربان، آفریقای جنوبی)، ریچارد آرثور 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 بیرهنگام) و به هاینر مولر ـ کرامبهار (فورچونگزنتروم جولیش، آلمان) و دانشجوی دکترای وی، سی. گوگن برگر برای نوشتن و آزمودن کد C^{++} فهرست شده در پیوست (پ) 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 الکساندراکریک، به‌خاطر کار پُرزحمتشان و حمایت دوستانه در طول دوره‌ی این پروژه سپاس‌گزاری کنم.

ن. زتیلی

دانشگاه ایالتی جکسونویل – ژانویه ۲۰۰۹

توصیه به دانشجو

ما آن چه که پی‌درپی 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 بیندازد و هفته‌ها و یا حتی ماه‌ها آموزش ببیند وجود ندارد تا جایی که شنا کردنتان روان شود.

به همین ترتیب، فیزیک را نمی‌توان به‌صورت منفعل یادگرفت. بدون برخورد با مسائل چالش برانگیز گوناگون، دانشجو راهی برای آزمودن چگونگی فهم خود از یک موضوع ندارد. این جا است که به دانشجو احساس رضایت و تسلط ناشی از فهم هوشمندانه اصول پایه 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 حل شده 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 پیکربندی 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 بگذراند. با این حال، دانشجویی که روی فهم اصول پایه مبحث و تقویت آن به‌وسیله‌ی 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.