

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مقدمه‌ای بر اپتیک کوانتومی

کریستوفر گری - پیتر نایت

ترجمه:

دکتر محسن سربیشه‌ئی

استاد دانشگاه فردوسی مشهد

فاطمه اشرف‌مقیم

عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر کورش جاویدان

استاد دانشگاه فردوسی مشهد

سرشناسه: عنوان و نام پدیدآور:	گری، کریستوفر سی، ۱۹۴۹-م. مقدمه‌ای بر اپتیک کوانتومی / کریستوفر گری، پیتر نایت؛ ترجمه محسن سریشی، فاطمه اشرف‌مقیم، کورش جاویدان؛ ویراستار علمی جواد اخترشناس؛ ویراستار ادبی هانیه اسدپور فعال مشهد.
مشخصات نشر: مشخصات ظاهری: فروست: شابک:	مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۴۰۱. ۲۶۸ ص: مصور، نمودار. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۸۶۰.
وضعیت فهرست‌نویسی: یادداشت: موضوع: شناسه افزوده: شناسه افزوده: شناسه افزوده: شناسه افزوده: شناسه افزوده: رده‌بندی کنگره: رده‌بندی دیویی: شماره کتابشناسی ملی:	فیبا. عنوان اصلی: نورشناسی کوانتومی نایت، پیتر، ۱۹۴۷-م. سریشی‌های، محسن، ۱۳۲۶- مترجم اشرف‌مقیم، فاطمه، ۱۳۲۷- مترجم جاویدان، کورش، ۱۳۴۴- مترجم دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات. QC۴۴۶/۲ ۵۳۵ ۹۱۱۵۶۱۶
ISBN: 978-964-386-553-5	
Introductory quantum optics, 2005. Quantum optics Knight, Peter (Peter L.), 1947-	

مقدمه‌ای بر اپتیک کوانتومی

پدیدآورندگان:	کریستوفر گری - پیتر نایت
ترجمه:	دکتر محسن سریشی؛ فاطمه اشرف‌مقیم؛ دکتر کورش جاویدان
ویراستار علمی:	دکتر جواد اخترشناس
ویراستار ادبی:	هانیه اسدپور فعال مشهد
مشخصات:	وزیری، ۱۰۰ نسخه، چاپ اول، زمستان ۱۴۰۱
چاپ و صحافی:	چاپخانه دقت
بها:	۲,۰۰۰,۰۰۰ ریال
حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.	

مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس:	مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس
تلفن:	۳۸۸۰۲۶۶۶ - ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)
مؤسسه کتابیران:	تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، بین روانمهر و وحید نظری، بن‌بست گشتاسب، پلاک ۸
تلفن:	۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)
مؤسسه دانشیران:	تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شماره ۱۴۲
تلفکس:	۶۶۴۰۰۲۲۰ - ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

<http://press.um.ac.ir>

Email: press@um.ac.ir



فهرست مطالب

۹	مقدمه مترجمان
۱۰	اپتیک کوانتومی مقدماتی
۱۱	سپاسگزاری
۱۳	فصل ۱. مقدمه
۱۳	۱-۱ مفاد و اهداف این کتاب
۱۴	۲-۱ تاریخچه
۲۰	۳-۱ محتوای این کتاب
۲۱	مراجع
۲۱	پیشنهادها برای مطالعه بیشتر
۲۳	فصل ۲. کوانتش میدان
۲۳	۱-۲ کوانتش یک میدان تک‌مدی
۲۹	۲-۲ افت‌وخیزهای یک میدان تک‌مدی
۳۱	۳-۲ عملگرهای تربیع برای یک میدان تک‌مدی
۳۲	۴-۲ میدان‌های چندمدی
۴۱	۵-۲ میدان‌های گرمایی
۴۵	۶-۲ افت‌وخیزهای خلأ و انرژی نقطه صفر
۵۰	۷-۲ فاز کوانتومی
۵۸	مسائل
۶۰	مراجع
۶۰	کتاب‌شناسی
۶۱	فصل ۳. حالت‌های همدوس
۶۱	۱-۳ ویژه‌حالت‌های عملگر نابودی و حالت‌های با کمترین عدم قطعیت
۶۶	۲-۳ حالت‌های خلأ جابه‌جاشده
۶۹	۳-۳ بسته‌های موج و تحویل زمانی
۷۰	۴-۳ تولید حالت‌های همدوس

۷۲	۳-۵ خواص دیگر حالت‌های همدوس
۷۶	۳-۶ تصویر فضای فازی حالت‌های همدوس
۷۹	۳-۷ عملگرهای چگالی و توزیع‌های احتمال در فضای فاز
۸۵	۳-۸ توابع مشخصه
۹۱	مسائل
۹۳	مراجع
۹۳	کتاب‌شناسی

فصل ۴. گسیل و جذب تابش توسط اتم‌ها

۹۵	۴-۱ برهم‌کنش‌های اتم-میدان
۹۸	۴-۲ برهم‌کنش اتم با یک میدان کلاسیکی
۱۰۳	۴-۳ برهم‌کنش اتم با یک میدان کوانتیده
۱۰۹	۴-۴ مدل رابی
۱۱۲	۴-۵ مدل کاملاً مکانیک کوانتومی؛ مدل جینز-کامینگز
۱۲۲	۴-۶ حالت‌های پوشیده
۱۲۵	۴-۷ روش عملگر چگالی: کاربرد حالت‌های گرمایی
۱۲۹	۴-۸ مدل جینز-کامینگز با واکوکی بزرگ: برهم‌کنش پاشنده
۱۳۲	۴-۹ تعمیم‌های مدل جینز-کامینگز
۱۳۲	۴-۱۰ تجزیه‌اشمیت و آنتروپی فون‌نویمن برای مدل جینز-کامینگز
۱۳۵	مسائل
۱۳۷	مراجع
۱۳۸	کتاب‌شناسی

فصل ۵. توابع همدوسی کوانتومی

۱۳۹	۵-۱ توابع همدوسی کلاسیکی
۱۴۴	۵-۲ توابع همدوسی کوانتومی
۱۴۹	۵-۳ تداخل یانگ
۱۵۳	۵-۴ توابع همدوسی مرتبه‌های بالاتر
۱۵۹	مسائل
۱۶۰	مراجع
۱۶۰	کتاب‌شناسی

فصل ۶. تقسیم‌کننده‌های باریکه و تداخل سنج‌ها..... ۱۶۱

- ۱-۶ آزمایش‌ها با تک فوتون‌ها..... ۱۶۱
- ۲-۶ مکانیک کوانتومی تقسیم‌کننده‌های باریکه..... ۱۶۳
- ۳-۶ تداخل سنجی با تک فوتون..... ۱۷۲
- ۴-۶ اندازه‌گیری‌های بدون برهم‌کنش..... ۱۷۳
- ۵-۶ تداخل سنجی با حالت‌های همدوس نور..... ۱۷۵
- مسائل..... ۱۷۷
- مراجع..... ۱۷۸
- کتاب‌شناسی..... ۱۷۹

فصل ۷. نور غیر کلاسیک..... ۱۸۱

- ۱-۷ فشردگی تربیع..... ۱۸۲
- ۲-۷ تولید نور فشردۀ تربیعی..... ۱۹۸
- ۳-۷ آشکارسازی نور فشردۀ تربیعی..... ۱۹۹
- ۴-۷ حالت‌های فشردۀ دامنه (عددی)..... ۲۰۲
- ۵-۷ پادگروهی فوتونی..... ۲۰۴
- ۶-۷ حالت‌های گریه‌شرویدینگر..... ۲۰۷
- ۷-۷ حالت‌های خلأ فشردۀ دوئدی..... ۲۱۶
- ۸-۷ فشردگی مرتبه‌های بالاتر..... ۲۲۳
- ۹-۷ نور فشردۀ پهن‌بند..... ۲۲۵
- مسائل..... ۲۲۶
- مراجع..... ۲۲۹
- کتاب‌شناسی..... ۲۳۰

فصل ۸. برهم‌کنش‌های اتلافی و واهمدوسی..... ۲۳۱

- ۱-۸ مقدمه..... ۲۳۱
- ۲-۸ تحقّق‌های منفرد یا آنسامبل‌ها..... ۲۳۲
- ۳-۸ تحقّق انفرادی..... ۲۳۶
- ۴-۸ قفسه‌بندی و دینامیک تلگراف در اتم‌های سه‌ترازی..... ۲۳۹
- ۵-۸ واهمدوسی..... ۲۴۲
- ۶-۸ تولید حالت‌های همدوس از واهمدوسی: تعادل اپتیکی..... ۲۴۴
- ۷-۸ نتیجه‌گیری..... ۲۴۶
- مسائل..... ۲۴۶

۲۴۷..... مراجع
 ۲۴۸..... کتاب‌شناسی

فصل ۹. تست اپتیکی مکانیک کوانتومی..... ۲۴۹

۱-۹ چشمه‌های فوتونی: تبدیل فروافتی پارامتری خودبه‌خودی..... ۲۵۰
 ۲-۹ تداخل سنجی هونگ-او-مندل..... ۲۵۵
 ۳-۹ پاک کن کوانتومی..... ۲۵۷
 ۴-۹ همدوسی القایی..... ۲۶۰
 ۵-۹ تونل زنی فوق‌نوری فوتون‌ها..... ۲۶۳
 ۶-۹ تست اپتیکی نظریه‌های واقع‌بینانه موضعی و قضیه بل..... ۲۶۵
 ۷-۹ آزمایش فرانسون..... ۲۷۲
 ۸-۹ کاربرد نور تبدیل‌یافته فروافتی در مترولوژی بدون استانداردهای مطلق..... ۲۷۴
 مسائل..... ۲۷۶
 مراجع..... ۲۷۷
 کتاب‌شناسی..... ۲۷۸

فصل ۱۰. آزمایش‌ها در کاواک QED و با یون‌های در تله افتاده..... ۲۷۹

۱-۱۰ اتم‌های ریذبرگ..... ۲۷۹
 ۲-۱۰ اتم ریذبرگ در برهم‌کنش با یک میدان کاواک..... ۲۸۲
 ۳-۱۰ تحقّق تجربی مدل جینز-کامینگز..... ۲۸۸
 ۴-۱۰ تولید اتم‌های درهم‌تنیده در CQED..... ۲۹۱
 ۵-۱۰ تشکیل حالت‌های گریه‌شرو دینگر با برهم‌کنش‌های پاشنده اتم-میدان و واهمدوسی از کوانتوم به کلاسیک..... ۲۹۲
 ۶-۱۰ اندازه‌گیری غیرمخرّب کوانتومی عدد فوتونی..... ۲۹۷
 ۷-۱۰ تحقّق برهم‌کنش جینز-کامینگز در حرکت یک یون به تله افتاده..... ۲۹۸
 ۸-۱۰ نتیجه‌گیری نهایی..... ۳۰۲
 مسائل..... ۳۰۳
 مراجع..... ۳۰۴
 کتاب‌شناسی..... ۳۰۵

فصل ۱۱. کاربردهای درهم‌تنیدگی:

تداخل سنجی محدودشده‌هایز نبرگ و پردازش اطلاعات کوانتومی..... ۳۰۷
 ۱-۱۱ مزیت درهم‌تنیدگی..... ۳۰۹
 ۲-۱۱ درهم‌تنیدگی و اندازه‌گیری‌های تداخلی..... ۳۱۰

۳-۱۱	دوربری کوانتومی	۳۱۲
۴-۱۱	رمز نگاری	۳۱۵
۵-۱۱	کلید خصوصی سیستم‌های رمز گذار	۳۱۶
۶-۱۱	سیستم‌های رمز نگاری کلید عمومی	۳۱۸
۷-۱۱	مولد اعداد تصادفی کوانتومی	۳۲۰
۸-۱۱	رمز نگاری کوانتومی	۳۲۱
۹-۱۱	چشم اندازهای آینده ارتباطات کوانتومی	۳۲۷
۱۰-۱۱	گیت‌ها در محاسبات کوانتومی	۳۲۸
۱۱-۱۱	تحقق ایتیکی چند گیت کوانتومی	۳۳۴
۱۲-۱۱	واهمدوسی و تصحیح خطای کوانتومی	۳۳۸
	مسائل	۳۳۹
	مراجع	۳۴۰
	کتاب‌شناسی	۳۴۱
۳۴۲	پیوست «ا»: عملگر چگالی، حالت‌های درهم تنیده، تجزیه اشمیت و آنتروپی فون نویمان	
۳۵۳	پیوست «ب»: نظریه اندازه گیری کوانتومی به اختصار	
۳۵۷	پیوست «ج»: روش به دست آوردن هامیلتونی مؤثر برای برهم کنش‌های پراکنده (دور از شدید)	
۳۶۱	پیوست «د»: ایتیک غیر خطی و تبدیل فروافتی پارامتری خود به خودی	
۳۶۳	نمایه	

press.um.ac.ir

مقدمه مترجمان

کتاب حاضر برگردان کتاب *مقدمه‌ای بر اپتیک کوانتومی* تألیف کریستوفر گری و پیترو نایت است که هر دو از اساتید برجسته در زمینه اپتیک کوانتومی هستند. همان‌طوری که مؤلفان اشاره می‌کنند، اپتیک کوانتومی یکی از شاخه‌های فعال فیزیک است که در حال حاضر رو به گسترش است.

این کتاب می‌تواند برای دانشجویان سال‌های آخر دوره کارشناسی و سال‌های اولیه تحصیلات تکمیلی با گرایش‌های اتمی-مولکولی و اطلاعات کوانتومی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به تحولات سریع در این شاخه فیزیک، مراجع جدیدی نیز علاوه بر مراجع آمده در کتاب وجود دارند که خواننده می‌تواند با مراجعه به مجلات آن‌ها را مورد استفاده قرار دهد.

لازم می‌دانیم از همکار ارجمند، جناب آقای دکتر سیدجواد اخترشناس برای ویراستاری علمی دقیق این کتاب و نیز از خانم هانیه اسدپور فعال مشهد برای ویراستاری ادبی قدردانی کنیم. از آنجا که قسمتی از ترجمه و کارهای مربوط زمانی انجام شده است که مهمان آقای دکتر حسن سریش‌ئی بوده و از امکانات اینترنتی و الکترونیکی و مشاوره ایشان بهره برده‌ایم، لازم می‌دانیم به‌طور ویژه از ایشان تشکر کنیم.

در پایان از مدیریت نشر آثار علمی دانشگاه فردوسی مشهد که امکان چاپ این کتاب را فراهم کردند و نیز از آقای دکتر حسین صابری، مدیریت محترم نشر آثار علمی دانشگاه فردوسی مشهد، کارشناسان نشر، آقایان مصطفی قندهاری، حمید نخعی و حمیدرضا نداف سنگانی تشکر و قدردانی می‌کنیم.

اپتیک کوانتومی مقدماتی

این کتاب به معرفی مقدماتی مبانی اپتیک کوانتومی، مطالعه ماهیت کوانتومی نور و برهم کنش آن با ماده می پردازد.

ارائه مطالب تقریباً به طور کامل به میدان کوانتیده الکترومغناطیسی اختصاص دارد. عناوین ارائه شده در این کتاب شامل کوانتش میدان تک مدی در یک کاواک، کوانتش میدان های چندمدی، فاز کوانتومی، حالت های همدوس، توزیع شبه احتمالی در فضای فاز، برهم کنش های اتم-میدان، مدل جینز-کامینگر، نظریه همدوسی کوانتومی، تقسیم کننده های باریکه و تداخل سنج ها، حالت های غیر کلاسیکی میدان با فشردگی و غیره، تست های واقع گرایی موضعی با فوتون های درهم تنیده از تبدیل فروافتی، تحقق تجربی الکترو دینامیک کوانتومی کاواک، یون های در تله افتاده، واهمدوسی و چند کاربرد به فرایندهای اطلاعات کوانتومی، به خصوص رمزنگاری کوانتومی است. این کتاب شامل مسائل متعدد به عنوان تمرین و یک کتاب شناسی جامع است.

این کتاب برای دانشجویان سال های آخر کارشناسی که دروس اپتیک کوانتومی را انتخاب کرده و قبلاً درس مکانیک کوانتومی را گذرانده اند و برای دانشجویان سال های اول و دوم تحصیلات تکمیلی نوشته شده است.

راهنمای حل مسائل آخر فصل ها برای مدرسان از طریق [Solutions @ Cambrige.Org](http://Solutions@Cambridge.Org) قابل دسترسی است. کریستوفر گری^۱ پروفیسور فیزیک در کالج لیمن^۲، دانشگاه سیتی نیویورک^۳ است. وی یکی از اولین کسانی بود که از روش های نظریه گروه در اپتیک کوانتومی استفاده کردند و نیز از جمله کسانی است که به طور فعال در مجله *Review A Physical* مشارکت دارد. در ۱۹۹۲ با مشارکت الف. اینوماتا^۴ و اچ. کوراتسوجی^۵ کتاب *انتگرال های مسیر و حالت های همدوس برای SU(2) و SU(1,1)* را تألیف کردند.

پیتر نایت^۶ یکی از چهره های پیشرو در اپتیک کوانتومی است و علاوه بر اینکه رئیس انجمن اپتیک آمریکا در ۲۰۰۴ بود، عضو انجمن سلطنتی نیز هست. در ۱۹۸۳ همراه با آل. آلن^۷ کتاب *مفاهیم اپتیک کوانتومی*^۸ را تألیف کرد. وی اکنون رئیس دپارتمان فیزیک کالج سلطنتی^۹ است و ریاست مشاوره علمی در آزمایشگاه ملی فیزیک بریتانیا را بر عهده دارد.

1. Christopher Gerry
2. Lehman College
3. City University of New York

4. A. Inomata
5. H. Kuratsuji
6. Peter Knight

7. L. Allen
8. Concepts of Quantum Optics
9. Imperial College

سپاسگزاری

این کتاب برآمده از درس‌هایی است که در طول چند سال در کالج سلطنتی لندن و مرکز تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیتی^۱ نیویورک ارائه داده‌ایم و سپاسگزار بسیاری از دانشجویانی هستیم که در این کلاس‌ها شرکت کرده‌اند و این مطالب برای آن‌ها ارائه شده است.

از بسیاری از همکاران که در طول سال‌ها با دادن توصیه، ارائه ایده‌ها را یاری کرده و در این راه مشوق ما بوده‌اند، سپاسگزاریم. به‌ویژه از دکتر سیمون کاپلین^۲ در چاپخانه دانشگاه کمبریج که بیش از ما به انجام رسیدن این کار مطمئن بود، تشکر می‌کنیم. در طول این سال‌ها از بحث و گفت‌وگوهای با همکاران خود، مخصوصاً لس آلن^۳، گابریل بارتون^۴، جانوس برگو^۵، کیت بارت^۶، ولادیمیر بوزک^۷، ریچارد کمپوس^۸، برایان دالتون^۹، جوزف ابرلی^{۱۰}، رینر گروب^{۱۱}، ادوین هاچ^{۱۲}، رابرت هیلبرن^{۱۳}، مارک هیلری^{۱۴}، اد هیندز^{۱۵}، رادنی لودن^{۱۶}، پیتر میلونی^{۱۷}، بیل مونرو^{۱۸}، جفری نیو^{۱۹}، ادوین پاور^{۲۰}، جورج سریز^{۲۱}، ولفگانگ شلیچ^{۲۲}، بروس شور^{۲۳}، کارلوس استرود جی. آر^{۲۴}، استوارت سواين^{۲۵}، دن والز^{۲۶} و کرزیستوف ودکایویچ^{۲۷} بهره برده‌ایم. ما به‌ویژه از عادل بن موسی^{۲۸} که با استفاده از تخصص خود در ممتیکا^{۲۹}، کورل دراو^{۳۰} و اوريجین گرافیک^{۳۱} رسم تمام شکل‌های این کتاب، حل مسائل آخر فصل و نیز خطایابی نسخه‌های پیش‌نویس را برعهده داشته است، سپاسگزاریم. همین‌طور از خانم آلن کالکینز^{۳۲} برای تایپ چند فصل از پیش‌نویس اولیه تشکر می‌کنیم.

دانشجویان و پسادکترهای قبلی که خیلی چیزها به ما آموختند و امروز خود از پیشروان این حوزه مهیج هستند؛ به‌ویژه استفان بارت^{۳۳}، الموت بیچ^{۳۴}، آرتور اکرت^{۳۵}، باری گاروی^{۳۶}، کریستوف کیتل^{۳۷}، میونگشیک کیم^{۳۸}، جرارد ملبورن^{۳۹}، مارتین پلنیو^{۴۰}، باری سنדרز^{۴۱}، استفان شیل^{۴۲}، وولاتو ودرال^{۴۳} بسیاری از آنچه در این کتاب است را به‌خاطر خواهند داشت.

از آنجا که این کتاب به‌عنوان یک مقدمه بر اپتیک کوانتومی نوشته شده است، سعی نکرده‌ایم مراجع را به‌طور جامع بیاوریم. از مؤلفانی که به آن‌ها ارجاع نداده‌ایم، عذرخواهی می‌کنیم.

- | | | |
|--------------------|--------------------------|----------------------|
| 1. City University | 16. Rodney Loudon | 31. Origin Graphics |
| 2. Simon Capelin | 17. Peter Milonni | 32. Ellen Calkins |
| 3. Les Allen | 18. Bill Munro | 33. Stephen Barnett |
| 4. Gabriele Barton | 19. Geoffrey New | 34. Almut Beige |
| 5. Janos Bergou | 20. Edwin Power | 35. ArtureEkert |
| 6. Keith Burnett | 21. George Series | 36. Barry Garraway |
| 7. Veladimir Buzek | 22. Wolfgang Schleich | 37. Christoph Keitel |
| 8. Richard Campos | 23. Bruce Shore | 38. Myunshik Kim |
| 9. Bryan Dalton | 24. Carlos Stroud Jr | 39. Gerard Milburn |
| 10. Joseph Eberly | 25. Stuart Swain | 40. Martin Plenio |
| 11. Rainer Grone | 26. Dan Walls | 41. Barry Sanders |
| 12. Edwin HachIII | 27. Krzysztof Wodkiewicz | 42. Stefan Scheel |
| 13. Robert Hilborn | 28. Adil Benmoussa | 43. Valatko Vedral |
| 14. Mark Hillery | 29. Mathematica | |
| 15. Ed Hinds | 30. Corel Draw | |

کریستوفر گری از اعضای دپارتمان فیزیک و نجوم کالج لیمن و دیگر اعضای کالج لیمن که در زمان نگارش این کتاب مشوق وی بوده‌اند، تشکر می‌کند.

پیتر نایت به‌خصوص از کریس نایت که در زمان نگارش کتاب صبورانه با دادن سرویس و پذیرایی با چای مشوق وی بوده است، سپاسگزار است.

کار ما در چهار دهه گذشته در زمینه اپتیک کوانتومی از سوی منابع متعددی از نظر مالی حمایت شده است: پیتر نایت به‌ویژه از حمایت مالی UK SRC، SERC، EPSRC و انجمن سلطنتی، اتحادیه اروپا، بنیاد Nuffield و ارتش ایالات متحده سپاسگزار است؛ کریستوفر گری از بنیاد علمی ملی، بنگاه تحقیقاتی و کنگره پرسنل حرفه‌ای دانشگاه سیتی نیویورک (PSC-CUNY) سپاسگزار می‌کند.

گری این کتاب را به پسرش، اریک، تقدیم می‌کند.
نایت این کتاب را به همسرش، کریس، تقدیم می‌کند.