

۱۳۹۵/۸/۲۳

مقدمه‌ای بر مهندسی سیستم‌های نوری

Introduction to Engineering Optical Systems

تألیف:

دکتر علی رستمی

(استاد دانشکده مهندسی برق دانشگاه تبریز)

دکتر حسن غفوری فرد

(استاد دانشکده مهندسی برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

سرشناسه	رستمی، علی، ۱۳۴۶ -
عنوان و نام پدیدآور	مقدمه‌ای بر مهندسی سیستم‌های نوری: Introduction to Engineering Optical Systems
مشخصات نشر	تالیف علی رستمی، حسن غفوری فرد.
مشخصات ظاهری	تهران: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۴.
شابک	۲۴۸ ص.: مصور، جدول، نمودار.
وضعیت فهرست نویسی	۱۴۰۰۰۰ ریال: 2 - ISBN: 978-964-210-224-2
موضوع	فیفا
شناسه افزوده	ارتباطات نوری
شناسه افزوده	غفوری فرد، حسن، ۱۳۲۲ -
رده بندی کنگره	جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر
رده دی‌دیوی	TK5۱۰۳/۵۹/۵۷ ۱۳۹۴:
شماره شابک ملی	۶۲۱/۳۸۲۷:
	۴۱۳۱۸۲۱:

این کتاب در جلسه مورخ ۹۴/۱۱/۱۱ شورای نشر کتاب
پدیدار شده و به واحد صنعتی امیرکبیر پس از طی مراحل
ارزیابی علمی، مجوز چاپ و انتشار، دریافت نموده است.



مقدمه‌ای بر مهندسی سیستم‌های نوری

Introduction to Engineering Optical Systems

تألیف: دکتر علی رستمی، حسن غفوری فرد

جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

ناشر	نوبت چاپ
اول:	سال چاپ
۱۳۹۴:	قطع
وزیری:	شمارگان
۵۰۰ نسخه:	قیمت
۱۴۰۰۰۰ ریال:	طراح
آرزو انصاری:	چاپخانه
اصیل:	



ISBN: 978-964-210-224-2

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۱۰-۲۲۴-۲

نمایشگاه و فروشگاه دائمی: تهران، خیابان حافظ، روبروی سمیه، جنب دانشگاه صنعتی امیرکبیر،
انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر تلفن: ۹۸۱ ۹۵۰ ۹۸۲۱۶۶+ تلفکس: ۹۸۲ ۹۵۰ ۹۸۲۱۶۶+
www.jdamirkabir.ac.ir فروشگاه اینترنتی:

پیشگفتار

اَطْلُبُوا الْعِلْمَ مِنَ الْمَهْدِ إِلَى اللَّحْدِ

توانمندسازی پایه‌های علمی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشور از وظایف اصلی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان نظام عدس جمهوری اسلامی ایران می‌باشد. این مهم، ضمن افزایش اقتدار علمی کشور در عرصه‌های بین‌المللی؛ ساز استقلال اقتصادی با محوریت یافته‌های فن‌آورانه و دانش‌بنیان می‌گردد که خود از ارکان اصلی توسعه پایدار به‌شمار می‌آید. همچنین واضح است که در کنار دو عنصر تعهد و تخصص، دسترسی به اطلاعات روز علمی و تکنولوژی‌های مدرن؛ نیاز اولیه برای توانمندسازی پایه‌های علمی به‌شمار می‌رود.

بر این اساس جهادگران جهاددانشگاهی میرکبیر با مدیریت جهادی خود علاوه بر فعالیت‌های فرهنگی، پژوهش‌های فن‌آورانه و نیز آموزش تخصصی و اشتغال‌محور، با چاپ کتب و مجلات علمی متخصصان و دانشگاهیان فرهیخته کشور همچنین ترجمه آثار فاخر و به‌روز دنیا توسط "انتشارات جهاددانشگاهی واحد صنعتی میرکبیر «پلی تکنیک تهران»" که یکی از معتبرترین انتشارات دانشگاهی در حوزه علوم پایه و مهندسی می‌باشد؛ به وظیفه انقلابی و اعتقادی خویش جامه عمل پوشانده و امیدوار است بتواند نیازهای علمی پژوهشگران، دانشجویان و پویندگان راه علم را در تحقق آرمان‌های اصیل انقلاب فراهم سازد.

این کتاب به روح پرفتوح معمار کبیر انقلاب، شهدا و ایثارگران هشت سال دفاع مقدس به‌ویژه شهدای گرانقدر جهاددانشگاهی و دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تقدیم می‌گردد. امید است دانشمندان و فعالین عرصه‌های علم و فناوری کشور، پویانده راه این شهیدان والا مقام همچون شهدای جهاد علمی، در محیط مقدس و انسان ساز دانشگاه باشند.

از همه عزیزان محقق و دانش‌پژوه تقاضا می‌شود این انتشارات را از نظرات تخصصی و پیشنهادات راهگشای خود در جهت ارتقاء سطح علمی کتب منتشره و همچنین گسترش زمینه‌های علمی آن‌ها، بهره‌مند سازند.

"هماره در پرتو الطاف الهی پیروز و سربلند باشید"

انتشارات جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

این دستاوردها است که تقریباً امروزه از لوازم اولیه تمام خانواده‌ها و مراکز آموزشی و پژوهشی شده است. این دستاوردها به امکان استفاده از الکترون با جرم بسیار کوچک بر می‌گردد. ولی اگر حداکثر سرعت قابل دسترسی در این حوزه را بررسی نمائیم و از طرفی سرعت مورد نیاز بشر در شرایط کنونی را نیز در نظر بگیریم مشاهده می‌شود سرعت موجود بسیار اندک است. به عنوان مثال در نظر بگیرید شهری مثل تبریز که حدود ۴۰۰۰۰۰ خانواده دارد و هر کدام در حال حاضر ۱۰۰ مگابیت بر ثانیه عرض باند نیاز داشته باشند که طبق استانداردهای کنونی باید داشته باشند روی هم ۴۰ ترابیت بر ثانیه عرض باند خواهد شد. آیا ادوات الکترونیکی توانایی پشتیبانی این عرض باند را دارند؟ در حوزه شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده مثل شبیه‌سازی سیستم‌های بیولوژیکی هنوز بشریت نتوانسته شبیه‌سازی بیش از چند ده سلول را انجام دهد. با دست‌خوش گرفتن این موضوعات اثبات می‌شود هنوز بشریت در ابتدای دستیابی به فناوری‌های سرعت بالا قرار دارد و باید خیلی دیرتر، اساسی صورت پذیرد.

در این راستا به سوال اساسی اولیه بر می‌گردیم که چرا سرعت به اندازه کافی بالا نیست. اگر در این راستا بیشتر تمرکز بیاوریم می‌توانیم به این نکته توجه کنیم که می‌توان جرمی کمتر از جرم الکترون یافت تا مخابرات و محاسبات با اساس آن صورت پذیرد. از علوم پایه می‌دانیم که ذره کوانتیزه امواج الکترومغناطیس یعنی فوتون می‌تواند برابر با آن کار استفاده شود. همان طوری که می‌دانیم جرم سکون این ذره صفر می‌باشد و می‌توانید مزایای زیادی ارائه دهید. نه تنها سرعت را افزایش می‌دهد بلکه مزایای زیادی از جمله پردازش موازی را نیز به همراه دارد. این مهندسی با مهندسی فتونیک معروف شده است و یکی از فناوری‌های برتر روز دنیا به حساب می‌آید. در این کتاب، بخشی کوچک از این فناوری پرداخته می‌شود. بعد از مروری مقدماتی اشاره‌ای به تئوری الکترومغناطیس خواهد شد. قوانین پایه در حوزه اپتیک و فتونیک در فصل دیگری مرور می‌شود. تئوری حاکم بر خواص نوری در سیستم‌ها در فصل دیگری مرور می‌شود. در فصل بعدی اصول پایه مکانیک کوانتومی را مرور می‌کنیم. سپس فیبر نوری به عنوان اولین قطعه در این حوزه مطالعه می‌شود. تقویت کننده نوری مبتنی بر فیبر نوری را دیگر المان‌های این حوزه در فصل بعدی مرور می‌شود. نهایتاً آشکارسازهای نوری در فصلی دیگر مرور می‌شود.

معرفی گروه تحقیقاتی OIC: با نام و یاد خداوند منان و با تشکر فراوان از تمام خواننده گان آثار بنده و همکارانم یکی دیگر از دستاوردهای گروه تحقیقاتی OIC را معرفی می‌نمایم. در ابتدا لازم می‌دانیم از خداوند سبحان بابت تمام نعمت‌های اهدائی بی‌منت ذات اقدس احدیت قدردانی نموده و به خودمان یادآوری نماییم که هر آنچه هست اوست و هر آنچه بروز می‌نماید خواست و اراده اوست و غیر از اراده قدرت حق نمی‌توان دلیلی بر تحقق این اتفاقات پیدا نمود. بعد از قدردانی از خداوند سبحان، قدردانی از اعضای گروه تحقیقاتی OIC را بر خود واجب می‌دانم. اعضای محترم هیات علمی همکار بنده در این گروه که در تحقق آرمانهای توسعه طلبانه اینجانب و در عرصه علم و فناوری نقش بسیار عمده‌ای بر عهده داشته‌اند. وجود و

تفکرات علمی این همکاران غنیمتی بوده و است که خداوند سبحان ارزانی بنده نموده است. دانشجویان فرا دکترا، دکترا و دانشجویان کارشناسی ارشد فراوانی در این گروه تربیت شده و می‌شوند. از زحمات این نیروهای با استعداد و توانمند صمیمانه قدردانی می‌کنم. همچنین از همکاران بسیار خوبی که از این گروه جدا و مستقل شده و گروه مستقلی تشکیل داده و کار مستقلی علمی انجام می‌دهند و دانشجویان فارغ التحصیلی که در مقاطع بالاتر ادامه فعالیت می‌دهند صمیمانه آرزوی موفقیت نموده و قدردانی می‌نمایم. از این گروه تحقیقاتی تا به حال بیش از ۲۵۰ مقاله ISI، بیش از ۳۵۰ مقاله کنفرانس، ۱۵ جلد کتاب داخلی و ۵ جلد کتاب در انتشارات بین المللی، بیش از ۱۰ فصل کتاب در انتشارات بین المللی، ۳ فقره اختراع منتشر شده است. همچنین بیش از ۲۰ فقره طرح تحقیقاتی با صنایع از طریق قراردادهای ارتباط با صنعت به اجرا در آمده است. کارهایی که در این گروه انجام شده و در حال انجام می‌باشد مثالی است برای ایجاد اعتماد به نفس در نسل جوان برای ایجاد خود باوری و ایجاد زمینه تحقق قابلیت‌های پنهان فرزندان این سرزمین. امیدوار هستم و آنان این ارزش‌ها را به شما ببینند. شاهد این گروه به فکر تولید علم و فناوری برای رشد و تعالی کشور خودشان باشند و هر روز شاهد رشد و رفاهی بیش از پیش این کشور باشیم.

از زمینه‌های مورد علاقه و فعالیت‌های این گروه تحقیقاتی بنده می‌توان به مدارات مجتمع نوری، سیستم‌های مخابرات نوری، ادوات پسیو اکتیو نوری، نانوفتونیک، نانو الکترونیک، سیستم‌های کوانتومی، مخابرات و محاسبات کوانتومی، اپتومکانیک، ریزر، نرونیک، بیوفتونیک، فناوری تراهرتز، فیبر نوری، لیزرهای کوانتوم کسکید، سنسورهای مبتنی بر نانوفناوری و باحث مرتبط با عرصه‌های ذکر شده اشاره نمود. لازم به ذکر است که زمینه کاری گروه محدود به این موضوعات نمی‌باشد و موضوعات متعددی در حال کار است که به تدریج انشالله شاهد تولیدات علمی آن موضوعات خواهد بود. از خوانندگان محترم درخواست می‌شود ضمن ملاقات سایت گروه تحقیقاتی بنده هرگونه پیشنهاد برای توسعه هر چه بهتر گروه فوق به یکی از روش‌های ممکن، تماس گرفته و به ما اطلاع دهید. آرزوی توفیق برای همه عاشقان واقعی تولید علم و فناوری برای توسعه بشریت را از خداوند منان خواستارم.



با احترام

دکتر علی رستمی - مسئول گروه تحقیقاتی OIC - دانشگاه تبریز

زمستان ۱۳۹۴

فهرست

فصل ۱: مقدمه‌ای بر مهندسی سیستم‌های نوری	۱۳
۱-۱- مقدمه	۱۳
۱-۲- مراجع	۱۸
فصل ۲: مقدمه‌ای بر الکترومغناطیس مهندسی	۱۹
۱-۲- مقدمه‌ای بر الکترومغناطیس مهندسی	۱۹
۲-۲- معادلات ماکسول	۲۱
۳-۲- شرایط مرزی	۲۵
۴-۲- مراجع	۳۰
فصل ۳: مقدمه‌ای بر قوانین پایه در مهندسی سیستم‌های نوری	۳۱
۱-۳- مقدمه	۳۱
۲-۳- پارامترهای اصلی	۳۱
۳-۳- ضریب شکست	۳۲
۴-۳- قوانین اسنل و فرنل	۳۳
۵-۳- مدل‌سازی برهم‌کنش موج الکترومغناطیسی و ماده	۴۶
۶-۳- مراجع	۵۳
فصل ۴: مقدمه‌ای بر فیزیک حالت جامد و خواص ساختارهای کریستالی	۵۵
۱-۴- مقدمه	۵۵
۲-۴- اصول پایه الکترونیک نیمه هادی	۶۰

- ۳-۴ - معادلات پایه نیمه هادی ۶۲
- ۴-۴ - فرآیندهای نوری در نیمه هادی ۷۰
- ۴-۴-۱ - گسیل خود به خودی و برانگیخته ۷۵
- ۴-۵ - مقدمه‌ای بر ساختار باند ۷۷
- ۴-۶ - مراجع ۷۹

فصل ۵: مقدمه‌ای بر مکانیک کوانتومی ۸۱

- ۵-۱ - مقدمه ۸۱
- بخش اول ۸۱
- ۵-۲ - تار صچه ۸۲
- ۵-۳ - دستاوردی نیک که انتومی ۸۳
- ۵-۴ - لزوم استفاده از مکانیک کوانتومی ۸۴
- ۵-۵ - آیا تعبیر مکانیک کوانتومی در مورد اجسام بزرگ (ماکروسکوپی) هم اعتبار دارد؟
و مرز مکانیک کلاسیک و مکانیک کوانتومی چیست؟ ۸۶
- ۵-۶ - فرمول بندی مکانیک کوانتومی ۸۸
- ۵-۷ - مسئله اندازه‌گیری و تعبیرهای مرتبه اول ۸۹
- ۵-۸ - حقیقت چیست؟ ۹۰
- ۵-۹ - محاسبات کوانتومی ۹۱
- ۵-۱۰ - نظریه‌های ناموفق ۹۲
- ۵-۱۱ - سئوالات ۹۳
- ۵-۱۲ - مراجع ۹۴
- ۵-۱۳ - مکانیک موجی و معادله شرودینگر ۹۵
- ۵-۱۴ - ایده‌های اساسی مکانیک کوانتومی ۹۵
- بخش دوم ۹۵
- ۵-۱۵ - دیدگاه اصلاح شده طبیعت ۹۶
- ۵-۱۶ - اصل عدم قطعیت هایزنبرگ ۹۹

۱۰۰	۱۷-۵- عملگرهای مکانیک کوانتومی
۱۰۲	۱۸-۵- تفسیر آماری ارتدوکس
۱۰۴	۱۹-۵- ذره محبوس در لوله
۱۱۲	۲۰-۵- حل سه بعدی
۱۱۶	۲۱-۵- نوسانگر هماهنگ
۱۲۶	۲۲-۵- سئوالات و مسائل
۱۲۷	۲۳-۵- راجع
۱۲۹	فصل ۶: سیستم‌های فیبر نوری
۱۲۹	۱-۶- مقدمه، بر مبنای برات فیبر نوری
۱۳۱	۲-۶- اجزای مختلف یک سیستم انتقال فیبر نوری
۱۳۷	۱-۲-۶- مزایای سیستم انتقال فیبر نوری
۱۳۸	۲-۲-۶- اتلاف فیبر
۱۴۰	۳-۲-۶- پاشندگی در فیبر
۱۴۱	۱-۳-۲-۶- پاشندگی رنگی در فیبر
۱۴۵	۲-۳-۲-۶- پاشندگی مد قطبش
۱۴۷	۴-۲-۶- محاسبه مسیر نوری
۱۵۱	۱-۴-۲-۶- محاسبات زمان گذار
۱۶۱	۵-۲-۶- اثرهای غیرخطی در فیبر نوری
۱۶۱	۱-۵-۲-۶- پراکندگی‌های برانگیخته
۱۶۶	۶-۲-۶- آنالیز مدال فیبر نوری (ضریب شکست پله‌ای و تدریجی)
۱۷۰	۱-۶-۲-۶- معادلات ماکسول در محیط همگن
۱۷۰	۲-۶-۲-۶- مدهای فیبر
۱۷۴	۳-۶-۲-۶- آنالیز مد ترکیبی
۱۷۵	۴-۶-۲-۶- معادله مشخصه
۱۸۱	۷-۲-۶- پاشندگی در فیبرهای نوری تک مد
۱۸۱	۱-۷-۲-۶- پاشندگی سرعت گروه
۱۸۲	۲-۷-۲-۶- پاشندگی ماده

۱۸۳	۶-۷-۳ پاشندگی موجب
۱۸۵	۶-۷-۴ پاشندگی مرتبه بالاتر
۱۸۶	۶-۷-۵ پاشندگی مد قطبی شده
۱۸۸	۶-۷-۶ محدودیت‌های ناشی از پاشندگی
۱۸۸	۶-۷-۷ معادله اساسی انتشار
۱۸۹	۶-۷-۸ پالس‌های گوسی چیرپ شده
۱۹۱	۶-۷-۹ محدودیت‌های نرخ ارسال بیت
۱۹۱	۶-۷-۱۰ منابع نوری با پهنای طیفی بزرگ
۱۹۲	۶-۷-۱۱ منابع نوری با پهنای طیفی کوچک
۱۹۴	۶-۷-۱۲ مشخصه انتشاری فیبرهای با توزیع ضریب شکست تدریجی
۱۹۸	۶-۳ مراجع
۲۰۷	فصل ۷: تقویت کننده‌های مبتنی بر فیبر نوری
۲۰۷	۷-۱ مقدمه
۲۰۹	۷-۲ مکانیزیم تقویت
۲۱۳	۷-۳ ترازهای انرژی الکترون در فایبر آتیده به یون‌های اربوم
۲۱۵	۷-۴ مدل‌سازی تقویت کننده
۲۱۸	۷-۵ تغییرات شدت نور نسبت به طول تقویت کننده
۲۲۰	۷-۶ تقریب پوش گوسین
۲۲۲	۷-۷ مراجع
۲۲۳	فصل ۸: مقدمه‌ای بر آشکارسازهای نوری
۲۲۳	۸-۱ مقدمه
۲۲۷	۸-۲ آشکارسازهای مادون قرمز
۲۲۹	۸-۱-۱ تشعشع جسم سیاه
۲۳۲	۸-۱-۲ انتقال شار
۲۳۵	۸-۲-۱ سیگنال و نویز در آشکارسازی
۲۳۷	۸-۲-۲ سیگنال نوری یک نور رسانا
۲۴۱	۸-۲-۲-۲ نویز در نور رسانا
۲۴۶	۸-۳ مراجع