

اپتیک فوریه در قلمروی مکان و زمان

دکتر زهرا کاوه‌وش

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف

فرشید شاطری



مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف

اپتیک فوریه در قلمروی مکان و زمان

تألیف: دکتر زهرا کاوه وش (عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف)، فرشید شاطری

ویراستار: سحر شاهسنایی

ناشر: مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چاپ اول: ۱۴۰۰

شمارگان: ۲۰۰

بها: ۴۰۰۰ تومان

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN 978-964-208-258-2

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۲۵۸-۲

دفتر مرکزی: خیابان آزادی - دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی تلفن: ۶۶۰۱۳۱۲۹-۶۶۱۶۴۰۷۲-۶۶۱۶۴۰۷۰

فروش اینترنتی: book.sharif.ir

پست الکترونیکی: publishing@sharif.ir

موضوع: نورشناسی فیزیکی

موضوع: physical optics

موضوع: عدسی‌ها

موضوع: Lenses

موضوع: تپ الکترونیکی

موضوع: Pulse techniques (Electronics)

شناسه افزوده: شاطری، فرشید، ۱۳۷۱

شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی

شناسه افزوده: Sharif University of Technology, Institute of

Scientific Publications

رده‌بندی کنگره: QC۴۵۲

رده‌بندی دیویی: ۵۳۵/۸۴

شماره کتابشناسی ملی: ۸۴۷۹۸۱۶

اطلاعات رکورد کتابشناسی: فیبا

سرشناسه: کاوه‌وش، زهرا، ۱۳۶۳، Kavehvasb, Zahra

عنوان و نام پدیدآور: اپتیک فوریه در قلمروی مکان و زمان / زهرا کاوه‌وش، فرشید شاطری

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۴۰۰

مشخصات ظاهری: ۱۹۶ ص.

شابک: 978-964-208-258-2

وضعیت فهرست‌نویسی: فیبا

یادداشت: کتابخانه

موضوع: نورشناسی تبدیل فوریه

موضوع: Fourier transform optics

موضوع: نورشناسی

موضوع: optics

به نام خدا

فهرست مطالب

پیشگفتار

۱	فصل ۱ مقدمه
۷	منابع
۱۱	فصل ۲ مفاهیم نظری مقدماتی
۱۱	۲-۱-۱ امروزی بر معادلات ماکسول و معادله موج
۱۳	رابطه‌های ساختاری ۲-۱-۱
۱۶	۲-۱-۲ وابستگی هارمونیک به زمان
۱۷	۲-۱-۳ یک مدل ساده برای مواد عایق
۱۹	۲-۱-۴ معادله موج
۲۰	۲-۱-۵ امواج تخت صفحه‌ای
۲۳	۲-۱-۶ سرعت گروه و سرعت انرژی
۲۳	۲-۲ تحلیل فوریه
۲۴	۲-۲-۱ تعریف و شرایط وجودی
۲۵	۲-۲-۲ تبدیل فوریه به عنوان یک بسط
۲۷	۲-۲-۳ قضیه‌های تبدیل فوریه
۲۹	۲-۲-۴ سامانه‌های خطی
۳۲	۲-۲-۵ تابع تبدیل
۳۳	۲-۲-۶ اینیک غیرخطی
۳۵	۲-۳-۱ برخی از فرایندهای غیرخطی
۴۳	۲-۳-۲ معادلات تزویج موج برای تولید بسامد جمع

فصل ۳ انتشار پرتو، انتشار پالس و دوگانی مکان - زمان

- ۴۶
۴۷
۴۹
۴۹
۵۲
۵۳
۵۷
۵۸
۵۹
۶۰
۶۱
۶۲
۶۳
۶۳
۶۷
۷۴
۷۴
۷۶
۸۲
۸۳
- ۱-۲ پرتوهای مکانی
۱-۱-۳ معادله هلمهولتز پیرامحور
۲-۱-۳ پرتوی گوسی پیرامحور
۲-۳ پالس نوری
۲-۲-۱ نمایش زمانی و بسامدی پالس‌ها
۲-۲-۲ عرض زمانی و طیفی پالس
۳-۲-۳ بسامد لحظه‌ای
۴-۲-۳ پالس چپ‌چای
۵-۲-۳ پالس‌های گوسی
۶-۲-۳ پالس گوسی چپ‌چای
۷-۲-۳ پرتوهای پالسی
۸-۲-۳ انتشار پالس
۳-۳ دوگانی معادلات پاشندگی و پراش
۱-۳-۳ معادله پاشندگی پالس با باند باریک
۲-۳-۳ معادله پراش پرتوی پیرامحور
- مسئله‌ها
منابع

فصل ۴ برخی مفاهیم در اپتیک فوریه و معادل زمانی آنها

- ۸۵
۸۵
۸۸
۹۱
۹۱
۹۲
۹۳
۹۵
- ۱-۴ مقدمه
۲-۴ تابع تبدیل انتشار پرتو در محیط آزاد
۱-۲-۴ تقریب فرنل
۳-۴ تابع تبدیل انتشار پالس در محیط پاشنده
۴-۴ تقریب فرانیهوفر و تبدیل فوریه
۵-۴ تقریب فرانیهوفر در قلمروی زمان
۶-۴ لنز مکانی و لنز زمانی

۱۰۱	۱-۶-۴ سامانه f - ۲ در قلمروی زمان
۱۰۴	۷-۴ سامانه تصویربرداری مکانی و زمانی
۱۰۵	۱-۷-۴ سامانه تصویربرداری مکانی
۱۰۷	۲-۷-۴ سامانه تصویربرداری زمانی
۱۰۸	۸-۴ ماتریس‌های انتقال پرتو
۱۰۹	۱-۸-۴ ماتریس‌های انتقال پرتو در قلمروی مکان
۱۱۴	۲-۸-۴ ماتریس انتقال پالس
۱۱۶	مسئله‌ها
۱۱۸	منابع

۱۱۹	فصل ۵ ویژگی‌های لنز زمانی
۱۱۹	۱-۵ مقدمه
۱۲۰	۲-۵ لنز زمانی بر پایه مدوله‌ساز الکترواپتیکی
۱۲۵	۳ لنزهای زمانی بر پایه روش‌های غیرخطی (صد درصد نوری)
۱۲۶	۱-۳-۵ لنز زمانی بر پایه فرایند تولید بسامد به دست آمده از جمع
۱۲۸	۲-۳-۵ لنز زمانی بر پایه فرایند تولید بسامد به دست آمده از تفریق
۱۳۱	مسئله‌ها
۱۳۲	منابع

۱۳۳	فصل ۶ کاربردهای ویژه
۱۳۳	۱-۶ پردازش سیگنال‌های زمانی قلمروی تراهتر با استفاده از ابرسطح‌های گرافنی
۱۳۳	۱-۱-۶ مقدمه
۱۳۵	۲-۱-۶ گرافن و ویژگی‌های نوری آن
۱۴۲	۳-۱-۶ مدل پیشنهاد شده برای دستیابی لنز زمانی در قلمروی تراهتر
۱۴۸	۴-۱-۶ تبدیل فوری پالس مربعی با استفاده از ساختار گرافنی
۱۵۲	۵-۱-۶ فیلتر زمانی تراهتر
۱۵۳	۲-۶ فرا تفکیک زمانی با استفاده از روش نور ساختاریافته
۱۵۳	۱-۲-۶ تعریف تفکیک زمانی
۱۵۶	۲-۳-۶ فرا تفکیک زمانی با الهام از پرتودهی ساختاریافته
۱۵۸	۳-۲-۶ روش پیشنهادی

پیشگفتار

در خلال چند دهه گذشته و هم‌زمان با پیشرفت فناوری لیزرهای پالسی با توانایی تولید پالس‌های نوری در بازه‌های زمانی به اندازه پیکوثانیه و فمتوثانیه، جامعه‌های پژوهشی مرتبط با قلمروی نوری فوق‌سریع به‌طور پیوسته در حال یافتن کاربردهای جدید و پیشبرد مرزهای این شاخه از فناوری بوده‌اند. ویژگی‌های شکفت‌انگیز پالس‌های فوق‌سریع همانند پهن‌بندی و داشتن قدرت نفذیک زمانی بسیار زیاد، کاربرد این دسته از پرتوهای نوری را در علوم و مهندسی همانند مخابرات، زیست‌شناسی، طیف‌نگاری، فیزیک مولکولی و اتمی و پردازش داده‌ها گسترده‌تر کرده است. بنابراین، تولید و پردازش پالس‌های فوق‌سریع از اهمیت فراوانی برخوردار است.

در میانه سده بیستم دیده شد که از دیدگاه ریاضی، اپتیک پالس‌های فوق‌سریع (با اپتیک زمانی) با علم اپتیکی که از پیش رایج بود (اپتیک مکانی) یکسان هستند، و از این‌رهگذر، معادلات ریاضی بیانگر انتشار پالس زمانی و پرتو مکانی یکسان خواهند بود. این یکسانی، که نخستین بار از سوی آخمانوف و تریسی در سال ۱۹۶۹ کشف شد، در دهه هشتاد میلادی به دوگانی فضا - زمان (یا دوگانی مکان - زمان) در الکترومغناطیس نام‌گذاری شد. خوشبختانه، دوگانی فضا - زمان بستر ریاضی قدرتمندی است که به ما امکان پیاده‌سازی بسیاری از روش‌ها و شیوه‌های مرسوم در اپتیک مکانی را در اپتیک زمانی می‌دهد. برای مثال، لنز و منشور دو عضو جدایی‌ناپذیر اپتیک مکانی هستند که دوگان‌های زمانی آنها به نام لنز زمانی و منشور زمانی، در اپتیک زمانی، کاربردهای فراوانی دارند.

ساختار این کتاب به‌این صورت است که نخست در فصل اول، نگاهی کلی به موضوع دوگانی مکان - زمان و کاربردهای آن در اپتیک به‌همراه تاریخچه‌ای از روند پیشرفت این شاخه از علم اپتیک می‌اندازیم. سپس در فصل دوم به مرور مطالب پایه‌ای مرتبط از جمله معادلات ماکسول، تحلیل فوریه، اپتیک غیرخطی و جز آن می‌پردازیم. در فصل سوم، نخست تفاوت و همانندی

پالس و پرتو را از دیدگاه ریاضی بیان می‌کنیم و برپایه آن، مفهوم دوگانی مکان - زمان در اپتیک را برای نخستین بار توضیح خواهیم داد. با در نظر داشتن این دوگانی، اکنون در فصل چهار می‌توانیم برخی از مفاهیم پایه‌ای اپتیک فوریه را معرفی کنیم و دوگان زمانی آنها را شرح دهیم. سپس در فصل پنجم، به‌طور ویژه نگاهی دقیق‌تر به لنز زمانی می‌اندازیم و روش‌های پیاده‌سازی آن را بررسی خواهیم کرد. سرانجام، در فصل ششم، به دو نمونه از کاربردهای اخیر سامانه‌های اپتیکی در حوزه زمان اشاره خواهیم کرد.

فناوری پالس‌های فوق‌سریع اگرچه در چند دهه گذشته کانون توجه گروه‌های پژوهشی فراوانی در سرتاسر دنیا بوده است، اما هنوز قلمروی تازه و پرکاربردی به‌شمار می‌آید. نوآوری این قلمرو از علم و فناوری در کشور ما نیز آشکار است، به‌گونه‌ای که تنها تعداد اندکی از گروه‌های علمی و آن هم بیشتر به‌طور نظری در این قلمرو فعالیت می‌کنند. بنابراین، امید می‌رود این کتاب گامی کوچک به سوی پیشبرد این شاخه از علم بردارد.

دکتر زهرا کاوه‌وش

فرشید شاطری

www.ketab.ir