بسم الله

تقدیم به همسر
و
پدر
و
مادر
عزیز و مهربانم

سپاسگزاری

ای‌ن پای‌ان نامه مرهون زحمات اساتی‌دی است که در طول تهی‌ه و فراهم کردن آن همواره ای‌نجانب را مساعدت فرمودند لذا بر خود لازم می‌دانم که از زحمات اساتی‌د بزرگوار دکتر محسن حاتمی،دکتر پروی‌ز الهی، دکترعبدالرسول قرائتی و دکترعلی‌رضا کشاورز کمال تشکر و سپاسگزاری را داشته باشم.

همچنی‌ن از لطف و محبت دوستان عزی‌ز دکترحسن پاکارزاده ، مهندس می‌ثم فروزی و مهندس محسن رهی ممنون و سپاسگزارم.

دانشگاه پیام نور

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

دررشته فیزیک

دانشکده علوم

گروه علمی فیزیک

عنوان پایان نامه :

تئوری کوانتومی انتشار پالس سالیتونی در توری‌های براگ غیرخطی

استاد راهنما :

دکترمحسن حاتمی

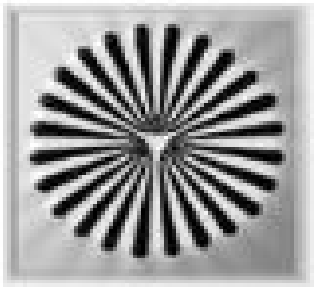
استاد مشاور:

دکترپرویز الهی

نگارش :

محسن حسینیانی

شهری‌ور ۸۷



دانشگاه پیام نور

بسمه تعالی

تصویب پایان نامه

پایان نامه تحت عنوان : **بررسی اثرات کوانتومی بر انتشار سالیتون در توری براگ غیرخطی**

که توسط **محسن حسینیانی** در **دانشگاه پیام نورمرکز شیراز** تهیه و به هیات داوران ارائه گردیده است. مورد تایید می باشد. تاریخ دفاع : ۸۷/۶/۲۸ نمره : ۱۷ درجه ارزشیابی : **خوب**

اعضاء هیات داوران :

نام ونام خانوادگی	هیات داوران	مرتبه علمی	امضا
۱- دکتر محسن حاتمی	استاد راهنما	استادی‌ار	
۲- دکتر پروی‌ز الهی	استاد مشاور	استادی‌ار	
۳- دکتر عبدالرسول قرائتی	استاد داور	استادی‌ار	
۴- دکترحسی‌ن توللی	نماینده تحصی‌لات تکمی‌لی	استادی‌ار	

چکیده

بدنبال پیشقدم شدن کار پروفسور هاوس و پروفسور هرمان یک نظریه کوانتومی کلی برای انتشار پالسهای نوری دو جهته درفیبرهای براگی پدید آمد وجهت مطالعه ویژگیهای کوانتومی سالیتون‌های توری فیبر براگ بکار بسته شد.

سالیتون‌های توری براگی شناخته شده، بطور اتوماتیک دامنه‌شان بعد از گذشتن از توری فشرده می‌شد و این میزان فشردگی پس از گذشتن از طول مشخصی از توری به اشباع می‌رسید. زمانی که انرژی پالس بصورت ناچیزی بیشتر از انرژی سالیتون های بنیادی باشد بهینه میزان فشردگی رخ می‌داد. همچنین می‌توانیم پهنای پالس سالیتونی را متراکم کرده و فشردگی را با استفاده از توری‌های غیر یکنواخت بالا ببریم تا زمانیکه سالیتون های بصورت بی دررو حاصل شوند.

در این تحقیق ابتدا معادلات حاکم بر یک توری براگ را از حالت کلاسیک به حالت کوانتومی در می‌آوریم این کار با استفاده از کوانتش میدان الکترومغناطیس و از طریق هامیلتونی سیستم صورت می گیرد که در نتیجه آن معادلات نهایی را در تصویر هایزنبرگ وبا استفاده از روابط تبدیل بوزونی بدست می‌آوریم . هدف ما ، حل عددی این معادلات و بررسی اثرات کوانتومی برای انتشار پالس سالیتونی در این توریهای براگی است.

کلی‌د واژه : توری براگ فی‌بری، سالی‌تون‌های کوانتومی، نور فشرده

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۱. فی‌برهای توری براگ **۳**

۱-۱ موجبرهای فیبرنوری ۳

۱-۱-۱مقدمه ۳

۱-۱-۲ انواع کابل‌های فیبرنوری ۷

۱-۲ ساختارهای تناوبی اپتی‌کی **۱۲**

۱-۲-۱ بلورهای فتونی‌کی ۱۲
۱-۲-۲ مقدمه‌ای به توری‌های فی‌بربراگ ۱۲
۱-۲-۳ توری‌های براگ فیبری ۱۳
۱-۲-۴ خواص مربوط به توری‌های براگ ۱۴
۱-۳ روش های ساخت توری براگ ۱۵
۱-۳-۱ روش تمام نگاری ۱۵
۱-۳-۲ روش نقطه به نقطه ۱۶
۱-۴ مشخصه‌های توری‌های براگی ۱۷
۱-۴-۱ قدرت توری‌های براگی ۱۷
۱-۴-۲ طول توری‌های براگی ۲۰
فصل ۲. کوانتش میدان الکترومغناطیسی ۲۲
۲-۱ سالیتون‌های کوانتومی ۲۲
۲-۱-۱ سالیتون ۲۲
۲-۱-۲ نویزکوانتومی ۲۵
۲-۱-۳ نور با دامنه فشرده ۲۷
۲-۱-۴ ماهیت سالیتون ۲۸
۲-۱-۵ کاربرد سالیتون‌ها ۲۸
۲-۱-۶ سالیتون‌ها واطلاعات کوانتومی ۲۹
۲-۱-۷ نظریه ۳۰
۲-۱-۸ سالیتون های گافی و براگی ۳۰
۲-۲ حالت های همدوس و فشرده میدان تابشی ۳۱
۲-۲-۱ حالت های همدوس ۳۱
۲-۲-۲ حالتهای فشرده نور ۳۴
۲-۲-۳ حالتهای فشرده و روابط عدم قطعیت ۳۷
فصل ۳.بررسی کلاسیکی انتشار پالس سالیتونی در فیبرهای براگ غیرخطی ۴۰
۳-۱ ویژگیهای کلی دینامیک امواج ۴۰
۳-۱-۱ مقدمه ۴۰

۳-۱-۲ سیستم های غیرخطی ۴۱
۳-۱-۳ امواج الکترومغناطیسی دردی الکتریک‌ها ۴۱
۳-۱-۴ معادلات مدهای کوپل شده خطی ۴۳
۳-۲ پاشندگی ۴۶
۳-۲-۱ پاشیدگی عادی وغیرعادی ۴۷
۳-۲-۲ اثرات پاشندگی ۴۷
۳-۲-۳ انواع پاشندگی ۴۸
۳-۲-۴ رابطه پاشندگی و باندگپ فوتونیکی ۴۹
۳-۳ تئوری غیرخطی انتشار نور و سالیتون‌ها در فیبرها ۵۱
۳-۳-۱ اثرکر ۵۲
۳-۳-۲ شدت نوردر یک محیط تناوبی غیرخطی ۵۳
۳-۳-۳ معادلات مدهای جفت شده غیرخطی ۵۳
فصل ۴. بررسی کوانتومی انتشار پالس سالیتونی در فیبرهای براگ غیرخطی ۵۵
۴-۱ مقدمه ۵۵
۴-۲ معادلات مدهای جفت شده کوانتومی ۵۶
۴-۳ نتای‌ج تحلی‌ل عددی
۶۴
پی‌وست ی‌ک برنامه حل معادلات جفت شدگی
۶۷
مراجع ۶۸

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱) نمای کلی از ی‌ک فی‌برنوری ۴
شکل(۱-۲) مسی‌ر ی‌ک پرتو تابی‌ده شده به ی‌ک فی‌بر
۵

شکل (۱-۳) نمودار اتلاف شدت موج بر حسب طول موج ناشی از پراکندگی رای‌لی ۶
شکل (۱-۴) نمای فیبر با ضریب شکست پله‌ای ۸
شکل (۱-۵) نمای فیبر با ضریب شکست تدری‌جی
۸
شکل (۱-۶) نمای یک فیبرتک مده ۱۰
شکل (۱-۷) نمای دوفیبر چند مد با ضریب شکست پله‌ای و ضریب شکست مدرج و یک فیبرتک مد ۱۱
شکل (۱-۱۰) توری براگ همراه با بردارهای موج فرودی، پراشی‌ده و توری ۱۴
شکل(۱-۱۱) نقشهای تداخلی ای‌جاد شده بوسی‌له دو باری‌که فرابنفش در روش تمام نگاری ۱۶
شکل (۱-۱۲) نمودار پهنای باند بازتاب پذی‌ری با افزایش تغییرات در ضریب شکست مدوله در طول ثابت توری ۱۸
شکل (۱- ۱۳) نمودار نیم پهنا و پهنای طیفی ما بین نخستین دو صفر دو طرف قله طیف چین برای یک توری ضعیف و قوی ۱۹
شکل(۱-۱۴) نمودار پهنای باند بازتاب پذیری با افزای‌ش تغییرات ضریب شکست ۱۹
شکل(۱-۱۲) نمودار پهنای باند بازتاب پذی‌ری با افزایش تغییرات در طول توری و در ضریب شکست مدوله ثابت ۲۰
شکل (۱-۱۶) نمودار پهنای باند بازتاب پذیری با افزایش طول توری ۲۱
شکل(۲-۱) الف- پرتوگوسی منتشر شده در محی‌ط خطی ب- انتشار سالی‌تون در محی‌ط غی‌رخطی ۲۴
شکل(۲-۱) نمودار فازوری برای چهار حالت همدوس متناظربا مقادیر مختلف a ۳۱
شکل(۲-۲) نمودار میدان الکتریکی یک حالت همدوس برحسب زمان ۳۲
شکل(۲-۳) نوسانگر هماهنگ ساده با جرم m و بار e در یک میدانE ۳۳
شکل(۲-۴) نمودار نوسانگر هماهنگ ساده با بکار بستن یک پتانسیل خطی ۳۴
شکل (۲-۵) نمودارفازوری برای ی‌ک حالت با دامنه فشرده ۳۵
شکل (۲-۶) نمودارفازوری برای ی‌ک حالت با فاز فشرده ۳۵
شکل (۲-۷) نمودارفازوری برای ی‌ک حالت خلا ۳۵
شکل(۲-۸) نمودار نوسانگر هماهنگ ساده با بکار بستن یک پتانسیل خطی و پتانسی‌ل مربعی ۳۷

شکل(۲-۹) طراحی خطا از عدم قطعی‌ت‌ها برای ی‌ک حالت همدوس، حالت با دامنه فشرده، حالت با فاز فشرده ۳۹
شکل (۳-۱) نمودار تغی‌ی‌ر پهنای پالس ناشی از وابستگی فرکانسی به سرعت گروه ۴۸
شکل (۳-۲) نمودار باندگپ فوتونیکی برای سیستم خطی ۵۰
شکل (۴-۱) انتشار پالس در توری براگ با دامنه A=0.5 بدون درنظرگرفتن اثرات کوانتمی ۶۴
شکل (۴-۲) انتشار پالس در توری براگ با دامنه A=1 بدون در نظرگرفتن اثرات کوانتمی ۶۵
شکل (۴-۳) انتشار پالس در توری براگ با دامنه A=2 بدون درنظرگرفتن اثرات کوانتمی ۶۶
شکل (۴-۴) انتشار پالس در توری براگ با دامنه A=0.5 با درنظرگرفتن اثرات کوانتمی ۶۷
شکل (۴-۵) انتشار پالس در توری براگ با دامنه A=1 با درنظرگرفتن اثرات کوانتمی ۶۸
شکل (۴-۶) انتشار پالس در توری براگ با دامنه A=2 با درنظرگرفتن اثرات کوانتمی ۶۹

مقدمه

اثرات کوانتومی سالیتون‌ها، موضوع مطالعه سالهای اخیر بوده است این مطالعات بیان می‌کند که سالیتون‌های نوری از معادلات شرودینگر غیرخطی (NLSE) تبعیت می‌کنند سالیتون‌های کوانتومی فیبرنوری مستقل ازپراش و پاشندگی واختلالات کوانتومی که باعث افزایش میزان فشردگی می‌شوند هستند.

مکانیک کوانتومی پیش بینی کرده که سالیتون‌های کوانتومی می‌توانند در حالت چند فوتونه مقید متقابل باشند چنین توصیفی از حالت‌های چند فوتونه مقید بوسیله روش«آنساتز » از طریق معادلات شرودینگر غیرخطی نشان داده شده است. روش« آنساتز » عمدتا با رشته تحولی هایزنبرگ سروکار دارد که ابزارتوانمندی جهت ساخت ویژه بردارهای یک سیستم کوانتومی است.

توصیف کلاسیکی از انتشارسالیتون‌ها ناکافی است اگر علاقمند به بررسی ویژگیهای کوانتوم- مکانیکی آن باشیم مکانیک کوانتومی نه تنها ویژگیهای اختلال سالیتونی را بهتر توصیف می‌کند بلکه وجود اثرات کوانتومی منحصربه فرد را نیز پیش بینی می‌کند. اکثر ویژگیهای کوانتومی مطلوب سالیتون های اپتیکی که متضمن طبیعت شبه ذره‌ای آن است با چنین توصیف کوانتوم- مکانیکی محفوظ باقی می‌ماند.

سالیتون ازیک نور همدوس ساخته می‌شوند که خالصترین نوری است که لیزر می‌تواند تولید کند اساس تشکیل آن نیز ناشی از تعادل حساسی است که بین اثرات خطی و اثرات غیرخطی به وجود می‌آید.

جستجو روی ویژگی‌های کوانتومی سالیتونها با استخراج باندهای مقیدی که در میان آنها وجود دارد که سالیتون‌ها تاثیر شدیدی در پردازش و انتقال اطلاعات دارند در حقیقت این موضوع اساس انتقال اطلاعات دوربرد با سرعت زیاد بود.

هدف ازاین تحقیق، بررسی اثرات کوانتومی بر انتشار پالس سالیتونی در توری‌های براگ فیبری و همچنین مقایسه نتایج بدست آمده از مکانیک کلاسیک و مکانیک کوانتوم است.

ازجمله کاربردهای این تحقیق می‌توان به سوئیچ‌زنی درسیستم‌های انتقال اطلاعات ومدارهای مجتمع نوری و همچنین مالتی پلکسینگ و دی مالتی پلکسینگ اشاره کرد

همچنین درمؤسسات آموزشی- پژوهشی برای تحقیقات ودرنهایت جهت استفاده درطراحی سیستم های مخابرات نوری نظیرسوئیچ های اپتیکی کاربرد دارد.

جنبه جدید بودن و نوآوری طرح دراین است که درصورتی که شدت پرتوها کاهش پیدا کندتعداد

فوتونها کم شده و اثرات کوانتومی می‌تواند قابل ملاحظه باشد ایـن اثرکوانتـومی بـه عنـوان یـک اثـر جدیـددر ابزارهـای مخـابرات نـوری اسـت.

شیوه انجام این تحقیق براساس مطالعات مبانی نظری فیزیکی، فراگیری ابزارهای ریاضی لازم، استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری، حل معادلات حاکم، نتایج و مقایسه آنهـا بـا جوابهـای کلاسـیکی اسـتوار بوده است.

در ادامه تحقیقات پیشین که به بررسی کلاسیکی انتشار پالس سالیتونی در فیبرهای بـراگ غیـر خطـی پرداخته است اینک ما در اینجا به بررسی کوانتومی انتشار پالس سالیتونی در فیبرهای براگ غیر خطی می‌پردازیم و نتایج حاصل از این دو مبحث را با هم مقایسه می‌نماییم. در جهت تحقـق بخشـیدن بـه این موضوع این تحقیق در چهار فصل تهیه شده است .

در فصل اول به بررسی موجبرهای فیبرنوری پرداخته شده است که خود شامل دو بخش است در بخش اول به بررسی موجبرهای فیبرنوری و انواع آن پرداخته شده است و در بخش دوم به بررسی توری‌های فیبر براگ و یا به عبارت دیگر ساختارهای تناوبی پرداخته شده است.

عنوان فصل دوم، کوانتش میدان الکترومغناطیسی است که در بخش اول آن سالیتونهای کوانتومی، کاربردو ماهیت آن بیان شده است و در بخش دوم به بررسی حالتهای همدوس و فشرده نور و مقایسه آنها پرداخته شده است.

در فصل سوم، به بررسی کلاسیکی انتشار سالیتونها پرداخته شده است که بخش اول آن شامل بدست آوردن معادلات مدهای جفت شده کلاسیکی خطی و معادلات مـدهای جفـت شـده کلاسـیکی غیـر خطی است و بخش دوم آن با پاشندگی و انواع آن آشنا می‌شوید.

و بالاخره درفصل چهارم، به بررسی کوانتومی انتشار سالیتونها در فیبرهـای بـراگ غیرخطـی پرداختـه شده است. در این فصل ابتدا از طریق هامیلتونی سیستم در تصویر هایزنبرگ معادلات مدهای جفت شده کوانتومی غیرخطی را برای امواج پیشرو و پسرو بدست می‌آوریم وسـپس معـادلات را بـه روش تحلیل عددی و از تکنیک تحلیل سری فوریه FSAT و در فضای برنامه نویسی مطلب حل نموده و جوابهای بدست آمده را با نتایج کلاسیکی مشابه مقایسه می‌کنیم و به بررسی نتایج کار می‌پردازیم.

فصل اول

فی‌برهای توری براگ

در ای‌ن فصل به معرفی موجبرهای فیبرنوری و انواع آنها می پردازی‌م. توری‌های فی‌بر براگ، نمونه‌های مختلف آن و روش ساخت آنها موضوعاتی هستند که در بخش دوم به آن پرداخته شده است. در بخش سوم نی‌ز به بررسی مشخصه‌های توری‌های فی‌بر براگ می‌پردازی‌م.

۱-۱ موجبرهای فیبرنوری

۱-۱-۱ مقدمه

پس از اختراع لی‌زر در سال ۱۹۶۰ می‌لادی، به کارگی‌ری فی‌برهای نوری برای انتقال اطلاعات در فرانسه و انگلی‌س اعلام شد. ولی عملا برای انتقال اطلاعات مخابراتی به خاطر اتلاف بالا قابل استفاده نبود. تا آن زمان کاربرد عملی ای‌ن فی‌برهای نوری تنها در پزشکی و برای فواصل کوتاه مطرح شد. از سال ۱۹۷۶ می‌لادی با کوشش فراوان اتلاف در فی‌بر نوری کاهش ی‌افت تا آنجا که قابل ملاحظه با سی‌م های هم محور بکار رفته در شبکه‌های مخابراتی شد. ساخت نوری با اتلاف پای‌ی‌ن منجر به انقلابی در حوزه فناوری انتشار امواج نوری گردی‌د و از ای‌نجا بود که عصر ارتباطات فی‌بر نوری آغاز شد. در فی‌بر نوری از پالسهای نوری برای انتقال داده‌ها از طری‌ق فی‌بر سی‌لی‌کای‌ی استفاده می‌شود. ی‌ک کابل فی‌بر نوری که کمتر از ی‌ک ای‌نچ دارد می‌تواند صدها هزار مکالمه صوتی را حمل کند.

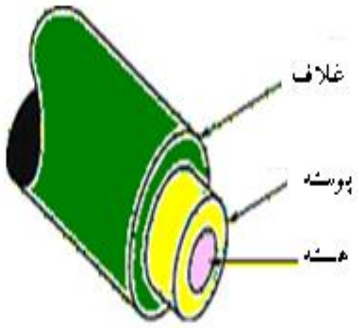
فی‌برنوری ی‌ک موجبر دی الکتری‌ک است که از چندی‌ن لای‌ه ساخته می‌شود و درونی‌-تری‌ن قسمت آن ی‌عنی هسته شامل ی‌ک تار کاملا بازتابنده است که از شی‌شه خالص ساخته می شود. هسته دربعضی از فی‌برها ازجنس پلاستی‌ک بوده تا هزی‌نه ساخت را پای‌ی‌ن بی‌اورد. هسته از جنس پلاستی‌ک کی‌فی‌ت لازم را ندارد و بی‌شتر برای حمل داده‌ها در فواصل کوتاه بکار می‌رود. اطراف هسته، پوسته است که آن هم از جنس شی‌شه ی‌ا پلاستی‌ک ساخته می‌شود و ضری‌ب شکست آن اندکی پای‌ی‌ن‌تر از هسته است. بی‌ن هسته و پوسته ی‌ک رابط بازتابنده وجود دارد و باعث شده نور در هسته باز تابی‌ده شود. اطراف پوسته چندی‌ن لای‌ه محافظتی به عنوان پوشش قرار

می‌گیرد. یک پوشش محافظ پلاستیکی سخت لایه بیرونی را تشکیل داده و این لایه کابل را در خود نگه می‌دارد و توانایی در برگرفتن صدها فیبر نوری را دارد.

از مهمترین ویژگی‌های فیبر نوری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ارزان بودن
- نازک بودن
- ظرفیت انتقال بالا
- تضعیف کمتر سیگنال
- کم مصرف بودن
- امکان ارسال سیگنال‌های دیجیتال
- سبک بودن و انعطاف پذیری

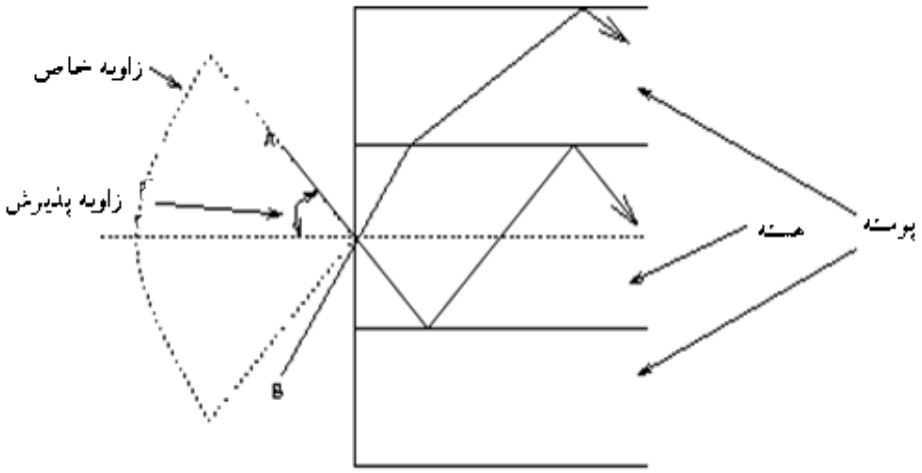
قطرفیبرهای نوری معمولاً بین $1000mm$ تا $1500\ mm$ است شکل(۱-۱).



شکل (۱-۱) : نمای کلی از یک فیبرنوری

در عبارت ساده، عملکرد یک موجبر را می‌توان تا اندازه‌ای، با درنظرگرفتن پرتوی که به فیبرتابیده می‌شود فهمید. یک موج نوری که وارد فیبر می‌شود درون پوسته از دو طرف شکسته می شود و یا میرا می‌شود و یا بطورکامل در مرز هسته- پوسته بازتاب داخلی پیدا کرده و در طول فیبرحرکت می کند. ماکزیمم زاویه‌ای که موج داخل فیبر شده و بازتاب کلی پیدا می‌کند را زاویه پذیرش (angle acceptance) می‌گویند.

همچنین امکان دارد موج درون موجبر یک مسیر مایل را دنبال کند این پرتوها را پرتوهای پیچشی (skew-rays) می‌نامند.

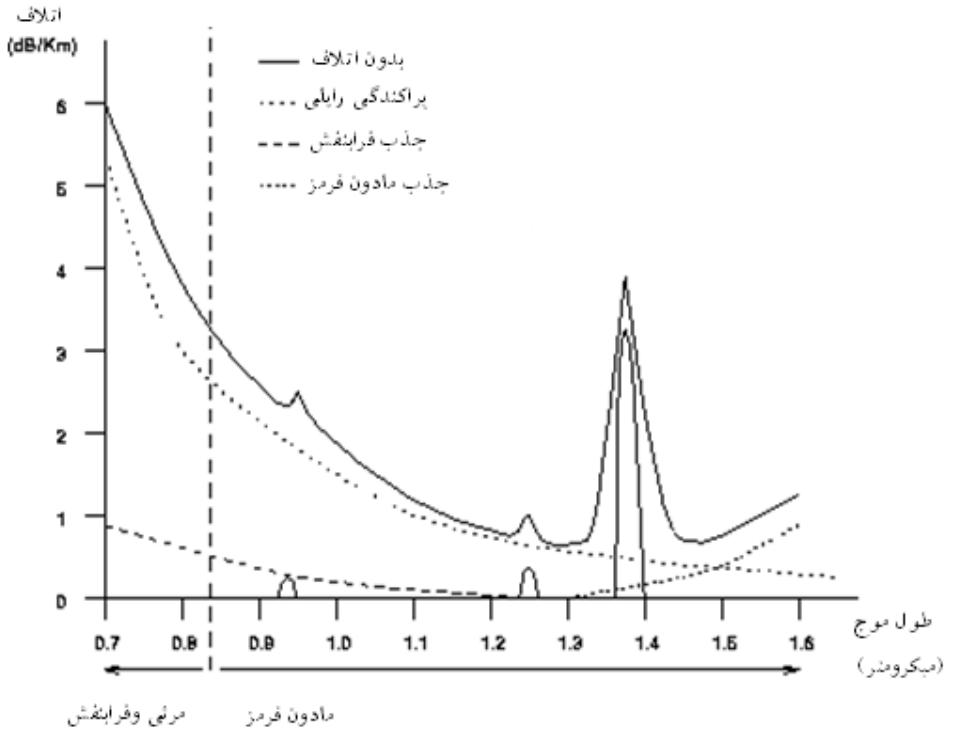


شکل(۱-۲): برای یک زاویه تابش معین(زاویه پذیرش) پرتوها بازتاب داخلی پیدا کرده ولی برای زاویه تابش بزرگتر از آن، پرتوها شکست پیدا کرده وبا توان کمتر از هسته خارج می‌شوند.

بهرحال این نظر بیش از حد ساده است که بتوانیم همه ویژگیهای رفتار یک موجبر را توصیف کنیم. در حقیقت این امکان پذیر نیست که هر پرتوی درون موجبر منتشرشود موجبر قادر است فقط پرتوهای معینی را انتقال دهد که این پرتوها، مد نامیده می‌شوند. برای هر فرکانس خاص یک پرتو وجود دارد. چگونگی عملکرد موجبر، نتیجه‌ای از طبیعت موجی تابش است.

میرایی نور در موجبر چندین دلیل دارد:

- جذب نور که در شیشه رخ می‌دهد و با افزایش فرکانس کاهش می‌یابد.
- پراکندگی نورناشی از ناکاملیهای درون شیشه که به پراکندگی رایلی معروف است و با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد. ناکاملیهای مربوط به موجبر که برای اتلاف در سطح پایین به شمار می‌رود تقریبا نسبت به طول موج ثابت می‌ماند شکل (۱-۳).



شکل (۱-۳) : در این شکل نمودار اتلاف شدت موج بر حسب طول موج برای طول موج‌های مختلف رسم شده است مشاهده می‌شود که برای طول موج های مختلف اتلاف تقریبا یکسان است ولی برای اتلافهای زیاد، هر چه طول موج کمتر شود جذب بیشتری در شدت موج صورت می‌گیرد.

- خمیدگی موجبر که باعث می‌شود زاویه مکانی بازتاب داخلی تغییرکرده و اتلاف ازطری‌ـق دیـواره ها افزایش ی‌ابد.

ترکیبی از این اثرات منجر به مینیمم جذبی در حدود $2\,dB/km$ تا $5\,dB/km$ در نواحی طـول مـوجی بی‌ن $0.8mm$ تا $1.8mm$ می شود که این طول موج ها برای انتقال مورد استفاده قرارمی‌گیرند.

افزون بر میرائی، موجبرهای نوری از اثرپاشندگی درامان نیستند این پاشندگی دارای دو منبع است اولی به چگونگی رفتار موجبر مربوط می‌شود زیرا خود موجبر به صورت ذاتـی یـک وسـیله پاشـنده است. در اصطلاح ساده پرتوها از فرکانس‌های مختلف، در مسیرهای متفاوت سیر مـی‌کننـد کـه ایـن مسیر دارای طول‌های متفاوتی هستند و ازآنجائیکه فرکانس‌های مختلف، طـول‌هـای متفـاوتی را طـی می‌کنند درنتیجه زمان های متفاوتی را دربرخواهند داشت.

منبع دوم پاشندگی مربوط به پاشندگی ماده (material) است شیشه یک محیط پاشنده ذاتی اسـت در فیبرهای تک مد، پاشندگی ماده برپاشندگی موجبر برتری دارد.

۱-۱-۲ انواع‌کابل‌های فیبرنوری

۱. فیبرهای چند مد

فیبرهای چند مد، فیبرهای نوری هستند که چندین مد عرضی را برای یک فرکانس و قطبش معین هدایت می‌کنند. درخیلی از نمونه‌ها، تعداد مدهای قابل انتقال در مقای‌سه با فیبرهای تک مد نسبتا زیاد است.

از ویژگی‌های فیبرهای چند مد می‌توان به جنبه های کاربردی زیراشاره کرد:

- فیبرهای چندمد دارای هسته بزرگی هستند (قطر هسته بالغ بر دهها میکرون) و همچنین دارای یک گشودگی عددی[۱] (numerical aperture) بزرگی هستند.تعداد مدهای هدایت شده متناسب با مجذورعدد V [۲] است.

- نمای ضریب شکست در فیبرهای چندمد به دو صورت زیر می‌باشند:

ضریب شکست پله‌ای (step index fibre)

در این نمونه از فیبرها هسته دارای ضریب شکست یکسانی در سرتاسرآن است این گونه فیبرها بطور کلی دارای هسته‌ای با قطر $100\,mm$تا $500\,mm$ می‌باشند.

۱- گشودگی عددی (numerical aperture)

ماکزیمم زاویه یک پرتو تابش شده به یک دستگاه نوری و بعبارت دیگر زاویه پذیرش یک موجبر یـا فیبررا گشودگی عددی گویند و آن را با نماد NA نمایش می‌دهند. گشودگی عددی بوسیله اخـتلاف بین ضریب شکست هسته و پوسته مشخص می‌شود:

$$NA = \left(n_{core}^2 - n_{clad}^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

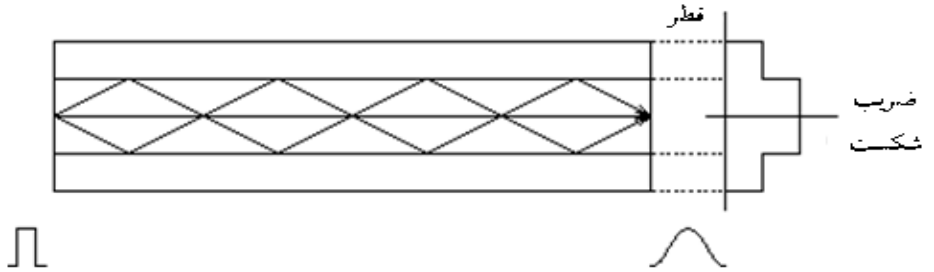
۲- عدد V

تعریف : یک فرکانس نرمال شده که تعداد مدهای یک فیبر چند مده را توصیف می‌کند.

چنین اصطلاحی بیشتر در فیبرهای با ضریب شکست پله‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$V = \frac{2p\,aNA}{l}$$

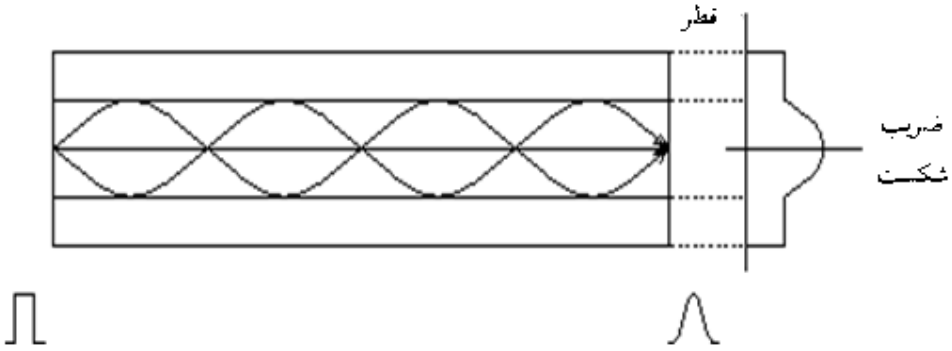
در رابطه بالا l طول موج خلا و a شعاع هسته فیبر است و NA گشودگی عددی است.



شکل (۱-۴) : نمای فیبر با ضریب شکست پله‌ای

ضریب شکست تدری‌جی (Grad index fibre)

در این نمونه از فیبرها، هسته دارای ضریب شکستی است که بتدریج با افزایش فاصله از مرکز هسته کاهش می‌یابد این نوع فیبر بطور کلی دارای هسته با قطر $50mm$ است.



شکل (۱-۵) : نمای فیبر با ضریب شکست تدری‌جی

- نمونه شدت نور خروجی از فیبر به شرایط نور تابیده شده و شرایط درون فیبر همچون ترکیب مدها که می‌تواند در اثرخمیدگیها و یا بی نظمی های درون فیبر ناشی شود بستگی دارد. حتی بدون ترکیب مدها و بستگی به تغییرات فازی مدها، شدت‌ها می‌توانند تغییرکنند.

- به دلیل پاشندگیهای داخلی (intermodal dispersion)[1] سرعت‌گروه به تعداد مدها بستگی دارد وپالسهای فوق‌کوتاه (پالسهای نوری با دوام زمانی پیکو ثانیه ویا کمتراز آن) انتشار یافته در یک فیبرچندمد ممکن است به چندین پالس مختلف و با زمانهای ورود مختلف شکافته شوند. این اثر،میزان داده‌ها و فواصل انتقال قابل دست یافتن را در سیستم‌های ارتباط فیبر نوری محدود می‌کند و بنابراین اساسا فیبرهای چندمد را جهت کاربرد برای انتقالهای دوربرد ناممکن می‌سازد.

بعضی از فیبرهای چند مد دارای قطرکوچکی هستند که تا حدی بزرگتر از فیبرهای تک مد است اما هنوز کوچکتر از قطر پوسته است. فیبرهای دیگر که فیبرهای با هسته بزرگ نامیده می‌شوند ممکن است دارای هسته‌ای باشند که به سختی کوچکتر از قطر پوسته باشند این فیبرها بیشتر نوری با کیفیت پرتوی (beam quality) ضعیفی تولید می‌کنند اما برای تثبیت کیفیت پرتو تابیده از منبع نوری بهتر است که ازفیبرهایی با هسته کوچکتر و گشودگی عددی مناسب استفاده شود.

مواد مختلف را می‌توان برای ساخت فیبرهای چند مده مورد استفاده قرار داد جنس اغلب فیبرهای چند مد، از شیشه سیلیکا می‌باشد.

روش‌ساخت فیبرهای چند مد، تا حدی متفاوت است برای مثال فیبرهای با ضریب شکست پله-ای را می‌توان یا با افزایش ضریب شکست هسته با افزودن بعضی ناخالصیها و یا با کاهش ضریب پوسته با ناخالص فلوری ساخت. درنمونه اخیر می‌توان یک هسته سیلیکا خالص داشت که اتلاف کمتری نسبت به هسته ناخالص دارد.

کاربردها

بعضی مثال‌ها برای کاربردهای فیبر نوری چند مد عبارتند از :

- فیبرهای چند مد جهت انتقال نور از یک منبع لیزری به مکانی که لازم است مواد استفاده قرار گیرد به ویژه وقتی منبع نوری دارای یک کیفیت نوری (پرتوی) ضعیفی است و یا توان نوری زیادی مورد نیاز است کاربرد دارند.

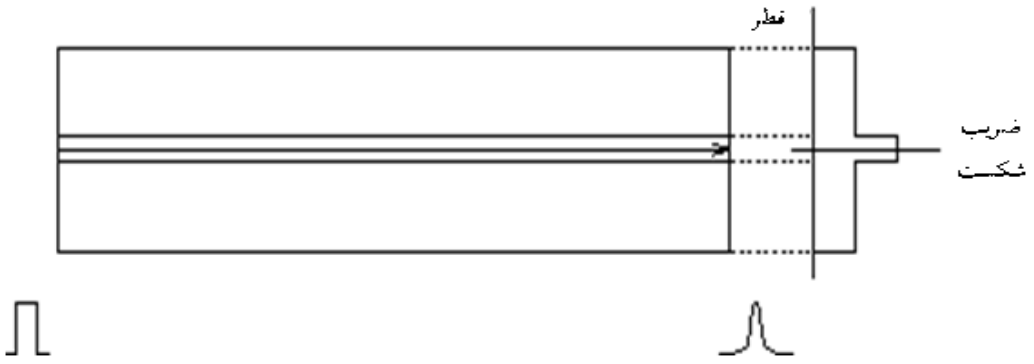
- بعضی از تقویت کننده‌ها با توان بالا درفیبرهای چند مد قرار داده می‌شوند زیرا آنها می‌توانند حجم مدی بزرگی داشته باشند. همچنین می‌توان یک خروجی با پراش محدود را با انتشار نور در یک مدپایه و با کم کردن ترکیب مدها به دست آورد.

- فیبرهای نوری چند مد برای سیستم‌های ارتباطی فیبرنوری کوتاه برد مفید هستند زیرا برای فواصل کوتاه برد پاشندگی داخلی حائز اهمیت نیست همچنین برای نرخ داده‌های نه چندان زیاد می‌توان از یک منبع نوری همدوس مانند دیودهای نشرنوری بهره گرفت.

۱- درفصل سوم با این نوع پاشندگی آشنا خواهید شد.

۲. فیبرهای تک مد

فیبرهای تک مد که به عنوان منومد هم شناخته می‌شوند فیبرهای نوری هستند که طوری طراحی می‌شوندکه فقط به ازاء هرجهت قطبش و برای یک طول موج معین فقط یک مدرا هدایت کنند و معمولا دارای یک هسته نسبتا کوچک هستند (با قطر فقط چند میکرون)که اختلاف کمی بی‌ن - ضری‌ب شکست هسته و پوسته وجود دارد. شعاع مد به طورنمونه چند میکرون است برای فی‌برهای با ضری‌ب شکست پله‌ای(step index fibre) شرط اینکه یک تک مدرا هدایت کنند را می‌توان با استفاده ازعددV مشخص کرد و مقدارNA را می‌توان از طول موج، شعاع هسته وگشودکی عددی محاسبه کرد.عددV می‌بایست کمتراز2.405 باشد که برای داشتن ای‌ن شرط بای‌د شعاع هسته کوچک باشد به ویژه برای فیبرهایی که NA آنها بزرگ است.



شکل (۱-۶) : نمای یک فیبرتک مده

تشخیص انتشارتک مد در یک آزمایش آسان است تغییر شرایط تابش فقطروی توان تابشی اثرمی گذارد در حالیکه توزیع فضائی نورخارج شده از فیبرثابت است. ضروری است که نور تابیده شده به یک فیبرتک مد، یک منبع لیزری با کیفیت پرتو بالا باشد.

در فیبری که مشخصه‌های تک مد را در سرتاسرمحدوده طول موج های محدود به یک پهنای چند صدنانومتررا دارد حدنزدیک به طول موج‌های کوتاهتر، طول موج قطع فیبرتک مد را مشخص می‌کند و پس از آن فیبراز چندین مد پشتیبانی می‌کند این گذارخیلی سریع رخ می‌دهد و زمانی‌که طول موج تابش را درحدود طول موج قطع تنظیم‌کنیم به آسانی دیده می شود که شکل پرتو انتقال یافته بسرعت به ناحیه چندمد تغییر می‌کند اما در ناحیه تک مد ثابت می‌ماند.