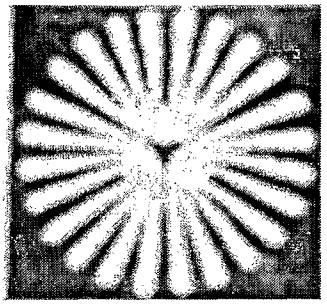


دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه

شبیه سازی انتشار پالس در توریهای براگ غیرخطی کِر و بررسی طیف فرکانس آنها

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک

مریم امیدی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

استاد راهنما

دکتر محسن حاتمی

استاد مشاور

دکتر پرویز الهی

شهریور ماه ۱۳۸۶

۴۵۳۶

تصویب نامه

پایان نامه تحت عنوان :

شبیه سازی انتشار پالس در توریهای براگ غیرخطی کِر و بررسی طیف فرکانس آنها

که توسط *مریم امیدی* تهیه و به هیات داوران ارائه گردیده است مورد تأئید می‌باشد .

تاریخ دفاع : ۱۳۸۶/۶/۲۴ نمره :۳ /۱۸ (هجده و سه دهم) درجه ارزشیابی : عالی

اعضای هیأت داوران :

نام و نام خانوادگی	هیأت داوران	مرتبه علمی	امضاء
۱- دکتر محسن حاتمی	استاد راهنما	استاد یار	
۲- دکتر پرویز الهی	استاد مشاور	استادیار	
۳- دکتر عبدالرسول قرائتی	استاد ممتحن	استادیار	
۴-دکتر سیروس اتردی	نماینده گروه آموزشی	استادیار	

چکیده

شبیه سازی انتشار پالس در توریهای براگ غیرخطی کِر و بررسی طیف فرکانس آنها

با توسعه فیبرهای نوری نوع جدیدی از فیبرها که فیبر توری براگ نامیده می‌شوند در اپتیک غیر خطی کشف شد . توریهای براگ به عنوان یکی از عناصر عملیاتی در مخابرات نوری مورد استفاده قرار می‌گیرند که برای ایجاد این ساختارها ، حساسیت به نور هسته ملاک است . فیبرهای توری براگ از تابش نور ماورا بنفش به هسته فیبر حساس به نور ، ساخته می‌شوند . حساسیت به نور هسته ، باعث تشکیل الگوی تداخلی در هسته شده و ضریب شکست هسته به طور متناوب تغییر می‌کند . تغییرات ضریب شکست ایجاد شده باعث می‌شود قسمتی از نوری که وارد هسته می‌شود منعکس شده و قسمت دیگر عبور کند و باند توقفی برای بعضی از فرکانسها بوجود آید که این باند توقف ، باند گپ فوتونیک نامیده می‌شود . در این پایان نامه انتشار پالس در فیبر توری براگ غیر خطی را در محیط غیر خطی کِر بررسی می‌کنیم و با حل عددی معادلات جفت شده غیر خطی به روش فوریه گام –جدا به تحلیل پاسخ فرکانسی می‌پردازیم و در نهایت با تغییر پارامترها به این نتیجه رسیدیم که با تغییر دامنه پالس ورودی می‌توان یک کلید خود کنترل کننده تمام نوری در فضای فرکانس ساخت که به عنوان یکی از عناصر نوری فوق سریع در مدارهای مجتمع نوری مورد استفاده قرار می‌گیرد .

تقدیر و سپاس

سپاس خداوند بلند مرتبه را که توانایی آموختن به من داد که زیبایی دانش را ببینم و با آن زیبا زندگی کرده و کسی که مرا تشویق به آموختن می‌کند دوست داشته باشم و تلاش کسی که از او می-آموزم را ارج نهم.

در اینجا لازم می‌دانم از راهنماییها و ارشادات استاد محترم آقای دکتر حاتمی که مرا در این راه یاری و هدایت فرموده‌اند کمال سپاس را داشته باشم .

چکیده

شبیه سازی انتشار پالس در توریهای براگ غیرخطی کِر و بررسی طیف فرکانس آنها

با توسعه فیبرهای نوری نوع جدیدی از فیبرها که فیبر توری براگ نامیده می‌شوند در اپتیک غیر خطی کشف شد . توریهای براگ به عنوان یکی از عناصر عملیاتی در مخابرات نوری مورد استفاده قرار می‌گیرند که برای ایجاد این ساختارها ، حساسیت به نور هسته ملاک است . فیبرهای توری براگ از تابش نور ماورا بنفش به هسته فیبر حساس به نور ، ساخته می‌شوند . حساسیت به نور هسته ، باعث تشکیل الگوی تداخلی در هسته شده و ضریب شکست هسته به طور متناوب تغییر می‌کند . تغییرات ضریب شکست ایجاد شده باعث می‌شود قسمتی از نوری که وارد هسته می‌شود منعکس شده و قسمت دیگر عبور کند و باند توقفی برای بعضی از فرکانسها بوجود آید که این باند توقف ، باند گپ فوتونیک نامیده می‌شود . در این پایان نامه انتشار پالس در فیبر توری براگ غیر خطی را در محیط غیر خطی کِر بررسی می‌کنیم و با حل عددی معادلات جفت شده غیر خطی به روش فوریه گام –جدا به تحلیل پاسخ فرکانسی می‌پردازیم و در نهایت با تغییر پارامترها به این نتیجه رسیدیم که با تغییر دامنه پالس ورودی می‌توان یک کلید خود کنترل کننده تمام نوری در فضای فرکانس ساخت که به عنوان یکی از عناصر نوری فوق سریع در مدارهای مجتمع نوری مورد استفاده قرار می‌گیرد .

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جداول	د
فهرست شکلها	ه
فصل اول : مقدمه	۱
۱-۱- تاریخچه توریهای براگ	۲
۱-۲) توریها براگ در فیبرهای غیر خطی	۳
فصل ۲ فیبرهای توری براگ	**۵**
۲-۱) فیبرهای اپتیکی	۵
۲-۲) مشخصات فیبرهای نوری	۵
۲-۳) مواد و ساخت فیبرهای نوری	۹
۲-۴) حساسیت به نور در فیبرهای اپتیکی	۹
۲-۵) توریها در فیبرها و موجبرها	۱۰
۲-۶) انعکاس براگ در فیبرهای توری	۱۳
۲-۷) پاشندگی در فیبرهای تک مد	۱۹
۲-۷-۱) پاشندگی ماده	۲۱
۲-۷-۲) پاشندگی موجبر	۲۴
۲ -۷-۳)پاشندگی در فیبر توری	۲۵
۲-۸) نوشتن توریهای براگ در فیبرهای نوری	۲۹

۲ -۸-۱) روش تداخل سنجی ۳۰

۲-۸-۲) روش ماسک فاز ۳۲

۲-۸-۳) روش نقطه به نقطه ۳۳

فصل ۳ توریهای براگ غیر خطی ۳۵

۳-۱) قطبش غیر خطی ۳۶

۳-۲) تخمین اندازه پذیررفتاری غیر خطی مواد ۳۷

۳-۳) شکست غیر خطی ۳۸

۳-۴) سالیتونهای اپتیکی ۴۰

۳-۵) تئوری جفت شدگی مد در توریهای خطی ۴۳

۳-۶) فیبرهای توری براگ غیر خطی ۵۰

فصل ۴ طراحی یک سوییچ تمام اپتیکی غیر خطی در حوزه فرکانس ۵۲

۴-۱) انتشار پالس در فیبرهای غیرخطی ۵۲

۴-۱-۱) معادلات انتشار پالس ۵۳

۴-۱-۲) بررسی اثرات غیر خطی روی انتشار پالس ۵۴

۴-۱-۳) بررسی اثرات پاشندگی روی انتشار پالس ۵۴

۴-۲) تئوری جفت شدگی مد در توریهای غیر خطی ۵۶

۴-۳) روش حل عددی معادلات غیر خطی ۶۰

۴-۴) نتایج محاسبات عددی ۶۳

۴-۵) نتیجه گیری ۷۰
۴-۶) پیشنهاد ۷۱

پیوست یک ۷۲

پیوست دو ۷۵

پیوست سه ۷۷

فهرست منابع ۸۳

فهرست جدول‌ها

عنوان و شماره **صفحه**

جدول (۳-۱) مرتبه بزرگی پذیرفتاری یک جسم جامد.....۳۸

فهرست شکلها و نمودارها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱-الف) سطح مقطع یک فیبر نوری را نشان میدهد. ب) فیبر ضریب پله‌ای ، ضریب شکست به صورت پله‌ای با فاصله تغییر می‌کند. ج) فیبر ضریب پیوسته ضریب شکست به صورت پیوسته تغییر می-کند ۶

شکل (۲-۲) انتشار پرتو در فیبر الف) پرتو چند مدی در فیبر ضریب شکست پله‌ای ب) پرتو تک مد در فیبر ضریب شکست پله‌ای ج) پرتو چند مد در فیبر ضریب شکست تدریجی ۸

شکل(۲-۳) توری براگ در هسته یک فیبر نوری..... ۱۱

شکل (۲-۴) پراش نور توسط توری..... ۱۲

شکل(۲-۵) طیف انعکاسی از یک توری براگ با $\kappa L = 2$ ۱۶

شکل(۲-۶) طیف انعکاسی از یک توری براگ با $\kappa L = 10$ ۱۷

شکل(۲-۷) طیف انعکاسی از دو توری براگ با طول۱۰mm (خط پر) و ۳mm(خط چین)..... .... ۱۸

شکل (۲-۸) طیف انعکاسی (خط چین) و طیف انتقالی (خط پر) از توری براگ..... ..... ۲۰

شکل (۲-۹) پاشندگی برحسب طول موج برای سیلیکای خالص..... ۲۳

شکل (۲-۱۰) β_2 بر حسب طول موج برای سیلیکا ۲۴

شکل (۲-۱۱) پاشندگی ناشی از موجبر سیلیکایی بر حسب طول موج..... ۲۶

شکل (۲-۱۲) منحنی تاخیر زمانی بر حسب طول موج ۲۸

شکل (۲-۱۳) منحنی پاشندگی توری.....۲۹

شکل (۲-۱۴) دو نوع تداخل سنج تقسیم دامنه که در ساخت توری براگ در فیبر نوری استفاده می شود. ۳۲

(۲- ۱۵) نمایی از دو نوع تداخل سنج تقسیم کننده جبهه موج که برای ساخت توری استفاده می شود .الف) تداخل سنج منشور ب) تداخل سنج " لیود ".....۳۲

شکل (۲-۱۶) تصویری از یک ماسک فاز که در ساخت فیبر توری براگ استفاده می شود..... ...۳۳

شکل (۲-۱۷) دستگاهی که برای ساخت توری به روش نقطه به نقطه استفاده می شود.....۳۴

شکل (۳-۱) الف پرتو گوسی منتشر شده در محیط خطی ب) انتشار سالیون در محیط غیر خطی.....۴۱

شکل (۳-۲) رابطه پاشندگی یک توری براگ یکنواخت ... .۴۶

شکل(۴-۱) مقایسه رابطه پاشندگی در محیط خطی (سمت چپ) و غیر خطی(سمت راست).....۵۸

شکل (۴-۲) منحنی پاشندگی در حالت غیر خطی مثبت و حالت منفی ۵۹

شکل (۴-۳) سالیتونهای براگ و گپ را نشان میدهد ۶۱

شکل ۴-۴) انتشار پالس در طول موجبر توری را برای الف- میدان پیشرو و ب- میدان پسرو را در فضای فرکانس نشان می دهد در اینجا در محاسبات دامنه پالس ورودی را برابر ۱ در نظر گرفته‌ایم در نتیجه اثرات غیر خطی اثری بر انتشار پالس نگذاشته است ۶۴

شکل (۴-۵) انتشار پالس در طول موجبر توری را برای الف- میدان پیشرو و ب- میدان پسرو را در فضای زمان را نشان می دهد در اینجا در محاسبات دامنه پالس ورودی را برابر ۱ در نظر گرفته‌ایم ۶۵

شکل ۴-۶) انتشار پالس در طول موجبر توری را برای الف- میدان پیشرو و ب- میدان پسرو را در فضای فرکانس نشان می‌دهد در اینجا در محاسبات دامنه پالس ورودی را برابر۵ در نظر گرفته‌ایم در نتیجه اثرات غیرخطی مقداری بر انتشار پالس اثر گذاشته است و طیف فرکانسی را پهن کرده است ۶۶
شکل(۴-۷) انتشار پالس در طول موجبر توری را برای الف- میدان پیشرو و ب- میدان پسرو را در فضای زمان نشان می‌دهد در اینجا در محاسبات دامنه پالس ورودی A را برابر۵ در نظر گرفته‌ایم در نتیجه اثرات غیرخطی مقداری بر انتشار پالس اثر گذاشته است و طیف فرکانسی را پهن کرده است ۶۷
شکل ۴-۸) انتشار پالس در طول موجبر توری را برای میدان پیشرو را در فضای فرکانس نشان می‌دهد در اینجا در محاسبات دامنه پالس ورودی را برابر۱۰ در نظر گرفته‌ایم در نتیجه اثرات غیرخطی در اینجا باعث شده که قله توزیع قرکانس به سمت راست منتقل شود و در نتیجه بعنوان کلید در فضای فرکانس بر اساس دامنه عمل کند. ۶۸
شکل (۴-۹) در این شکل میدان پیشرو برای دو مکان متفاوت برای دامنه $A=10$ را نشان می‌دهد همانطور که دیده می‌شود بعلت اثرات غیرخطی قله توزیع فرکانس به سمت راست جابجا گردیده است .
.....۶۹

فصل اول

مقدمه

با توجه به حجم زیاد اطلاعات و نیاز کاربران به دستیابی و تبادل این اطلاعات ، به وسایلی که قابلیت انتقال سریع و امن داده‌ها را داشته باشد نیازمندیم. از میان سیستمهای مخابراتی موجود، مخابرات نوری تنها سیستمی است که قابلیت پاسخگویی به این نیاز را دارد. وسایل کنترل الکترونیکی به علت آنکه قدرت همراهی با جریان سریع اطلاعات نوری را ندارند انتقال اطلاعات کند می‌شود. برای استفاده از مخابرات نوری لازم است که از وسایل نوری استفاده شود. یعنی تراشه‌های نوری جایگزین تراشه‌های الکترونیکی شود. در فیبرهای نوری سرعت و دقت اطلاعات افزایش می‌یابد. که این کار تحولی در انتقال اطلاعات از الکترونیکی به نوری و یا انتقال اطلاعات توسط الکترون به ارسال آنها توسط فوتون است.

استفاده از وسایل تمام نوری نیازمند محیطی است اندرکنش نور با نور را فراهم کند. اپتیک غیرخطی یکی از محیط‌های مناسب برای این هدف است. سیلیکا به عنوان بهترین محیط برای انتقال نور است و بعنوان ماده اصلی در ساخت فیبرهای نوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. خاصیت غیرخطی سیلیکا نسبتاً ضعیف است که این امر باعث می‌شود که طول تارها و مدارهای مورد نظر بسیار طولانی گردد.

ساختارهای متناوب مثل توریهای براگ به عنوان یکی دیگر از عناصر عملیاتی در مخابرات نوری کاربرد دارند و برای ایجاد این ساختارها در فیبرهای نوری حساسیت به نور

هسته ملاک اصلی است. در مورد فیبر و موجبر سیلیکایی، افزودن ناخالصی مانند ژرمانیوم باعث حساس شدن هسته به نور ماوراءبنفش می‌شود [۱-۴].

با استفاده از خاصیت غیرخطی توریها می‌توان ابزارهای تمام نوری مثل سوییچها و فیلترها را بر اساس دامنه ورودی طراحی کرد و بر خلاف ابزارهای الکترونیکی که ترکیبی از الکترونیک و نور هستند این ابزار تمام نوری بوده و دارای سرعت فوق‌العاده زیادتری نسبت به ابزارهای قبلی دارد .

در این فصل بطور خلاصه مروری بر تاریخچه و تکامل توریهای براگ خواهیم داشت .

۱-۱- تاریخچه توریهای براگ

با توسعه موجبرهای نوری از دهه ۱۹۶۰و کم شدن اتلاف آنها، باعث شده که در ارتباطات بکار گرفته شوند و با کشف حساسیت به نور در فیبرهای نوری، گروه جدیدی از فیبرها که فیبر توری براگ نامیده می‌شود توسعه پیدا کرد که این وسیله می‌تواند به عنوان حسگر، منعکسگر ، فیلتر و جبران کننده پاشندگی استفاده شود[۱] .

اولین بار حساسیت به نور در فیبرهای سیلیکا آغشته به ژرمانیوم در سال ۱۹۷۸ توسط" هیل"[1] مشاهده شد [۵] . در طی آزمایش درمورد اثرات غیرخطی، نور مرئی قویی از یک لیزریون آرگون وارد فیبر کرد و فیبر را تحت تابش طولانی قرار داد و مشاهده کرد خروجی فیبر در حال تضعیف است و با اندازه گیری طیف خروجی در حین تابش مشاهده کرد که نور منعکس شده به عقب در حال افزایش و طیف انتقالی در حال کاهش است و نتیجه گرفت که افزایش در انعکاس، نتیجه‌ای از تغییرات ضریب شکست هسته بعلت تابش لیزر روی فیبر است. این پدیده نتیجه‌ای از پدیده شناخته شده نور شکستی در فیبرهای نوری بود که حساسیت به نور نامیده شد[۴] .

---

[1] Hill

استفاده از سالیتونها برای ارتباطات اولین بار در سال ۱۹۷۳ بطور تئوری مطالعه و در سال ۱۹۸۰ بطور آزمایشی مشاهده شدند. قابلیت استفاده از سالیتونها برای انتقال اطلاعات در مسافت طولانی ، اولین بار در سال ۱۹۸۸ بصورت آزمایشی دیده شدند. در سال ۱۹۹۶ نوع جدید سالیتونها در توریهای براگ مشاهده شدند که سالیتونهای براگ نامیده شدند .

در سالهای اخیر اثرات غیرخطی متعددی روی توریها ، مطالعه شده است. بطور مثال سالیتونهای براگ ، خود سوییچینگ می‌توان نام برد که در همه این موارد پهنای باند نور منتقل شده هم‌اندازه یا کمتر از باند گَپ فوتونیک است [۶] .

۱-۲- توریهای براگ در فیبرهای غیر خطی

فیبر توری براگ یک وسیله نسبتاً ساده است که شکل اصلی آن شامل تغییرات متناوب در ضریب شکست هسته فیبر است. توریهای نوشته شده با نور ماوراءبنفش روی فیبرها نسبتاً راحت و ارزان است و همین امر باعث می‌شود که زیاد مورد توجه قرار گیرند. چند مزیت این نوع فیبرها اتلاف کم در انتقال و ایمنی از تداخل امواج است [۴] . این نوع توری ، در فیبرهای نوری ابزار مناسبی برای مطالعه پدیده‌های غیرخطی است [۷] .

در توریهای براگ[۲] پاشندگی غالب ، ناشی از توری است . سالیتونها از تعادل پاشندگی زیاد توری و مدولاسیون خود- فازی ایجاد می‌شوند سالیتونهای نوری ، پالسهای غیرخطی هستند که در محیط پاشنده بدون تغییر شکل حرکت می‌کنند پاشندگی توری باعث می‌شود که سالیتونها با سرعت بین صفر و سرعت نور در محیط بدون توری منتشر شوند این نوع سالیتون ، سالیتون براگ[۳] نامیده می‌شود . توریها در ناحیه‌ای از طول موجها انعکاس خیلی قویی دارد که حول طول موج مرکزی λ_B متمرکز است این ناحیه طول موجی باند گَپ فوتونیک[۴] یا باند توقف نامیده می‌شود و سالیتونهایی که در این ناحیه منتشر می‌شوند سالیتونهای گَپ نامیده

---

[2] Bragg grating
[3] Bragg soliton
[4] Band gap photonic

می‌شوند [۹و۱۱و۳۲] . سالیتونهای گَپ[5] ویژگی جالب توریهای براگ غیرخطی است که توسط" میلز"[6] و " چین "[7] در سیستمهای یک بعدی کشف شد [۱۴-۱۲] .

حلهای سالیتونی معادله شرودینگر غیرخطی، سالیتونهای براگ نامیده می‌شوند که این سالیتونها در لبه باند گَپ وجود دارند [۱۱] .

امواج منتشر شده در ناحیه باند توقف بطور نمایی با فاصله افت می‌کنند و بیرون از این ناحیه امواج می توانند منتشر شوند [۱۷و۱۵] .

توریهای براگ در ناحیه غیرخطی وسایل دوپایا هستند که می‌توانند اساس سوییچهای تمام نوری باشند و همچنین بعلت پتانسیل و انعطاف‌پذیری این توریها ، بعنوان وسایل تمام نوری فوق سریع استفاده می‌شوند [۸] .

توریهای براگ در فیبرهای آغشته به عناصر کمیاب خاکی با خاصیت غیرخطی خیلی زیاد برای کاربردهای سوییچ ، اهمیت زیادی دارند . سوییچهای تمام نوری با استفاده از توریهای براگ غیرخطی در روندهای فوق سریع و ارتباطات نوری مورد استفاده قرار می‌گیرد[۲۰] .

---

[5] Gap solitons
[6] Mills
[7] Chen

فصل ۲

فیبرهای توری براگ

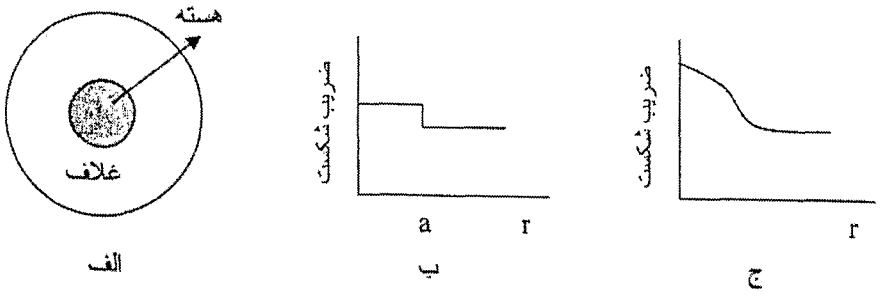
۲-۱- فیبرهای اپتیکی

انعکاس کلی ، عامل اصلی هدایت نور در فیبرهای اپتیکی است. که از قرن نوزدهم شناخته شده است . فیبرهای اپتیکی در دهه ۱۹۶۰ به سرعت توسعه پیدا کردند ، اما به علت افت زیاد توان در این نوع فیبرها ، استفاده از آنها برای اهداف ارتباطی غیر ممکن بود. از سال ۱۹۷۰ یک تغییر ناگهانی صورت گرفت و افت شیشه‌ها به کمتر از ۲۰db/km کاهش یافت. روند استفاده از فیبرهای سیلیکای با اتلاف کم ، نه فقط انقلابی در حوزه ارتباطات فیبر نوری بود بلکه باعث ظهور حوزه جدیدی از اپتیک غیرخطی بنام سالیتونهای اپتیکی شد ، که شکل پالس در نتیجه رقابت بین پاشندگی و اثرات غیرخطی درطول موجبر بدون تغییر باقی می‌ماند . اولین بار در سال ۱۹۸۰ سالیتونهای اپتیکی مشاهده شدند که منجر به پیشرفتهایی در زمینه تولید و کنترل پالسهای اپتیکی فوق کوتاه شد [۲] .

۲-۲- مشخصات فیبرهای نوری

فیبر نوری یک موجبر دی الکتریک استوانه‌ای است که از مواد کم افت مثل شیشه سیلیکا ساخته شده و دارای یک هسته مرکزی بوده که یک پوسته آنرا در برگرفته است. شکل (۲-۱- الف) سطح مقطع یک فیبر را نشان میدهد که از یک هسته با شعاع a و ضریب شکست n_1 و یک غلاف به شعاع داخلی a و شعاع خارجی b و ضریب شکست n_2 تشکیل شده است.

ضریب شکست هسته، اندکی بیشتر از پوسته است و به همین دلیل پرتوهای نورانی که با زاویه بیشتر از زوایه حد شیشه، به مرز هسته و پوسته برخورد می‌کنند بازتاب کلی پیدا کرده و بدون شکست درموجبر منتشر می‌شوند و پرتوهایی که با زاویه کمتر اززاویه حد برخورد می‌کنند ، شکست پیدا کرده و هدایت نمی‌شوند و این پرتوها باعث افت توان می‌شوند [۳] .



شکل ۲-۱-الف) سطح مقطع یک فیبر نوری را نشان میدهد. ب) فیبر ضریب پله‌ای ، ضریب شکست به صورت پله‌ای با فاصله تغییر می‌کند. ج) فیبر ضریب پیوسته ، ضریب شکست به صورت پیوسته تغییر می‌کند.

برای بررسی انتشار موج در داخل فیبرهای نوری می‌توان موج را ترکیبی از مدهای مختلف در نظر گرفت. که هر کدام دارای ثابت انتشار ، سرعت گروه و قطبش خاص هستند . این روش را تحلیل مدی گویند. فیبرها به لحاظ تعداد مدهای منتشر شده به دو نوع فیبرهای تک مد و چند مد تقسیم می‌شوند. در فیبرهای تک مد فقط یک مد ، و در فیبرهای چند مد بیشتر از یک مد منتشر می‌شود. شعاع هسته فیبرهای تک مد خیلی کوچکتر از فیبرهای چند مد است .

شکل ۲-۱(قسمت ب و ج) نمودار ضریب شکست بر حسب شعاع فیبر است درشکل قسمت (ب) فیبر ضریب شکست پله‌ای را نشان می‌دهد ، ضریب شکست در هسته برابر n_1 و در پوسته برابر n_2 است در شکل قسمت (ج) ضریب در هسته بیشترین مقدار و بطرف پوسته ضریب بتدریج کم می‌شود .

مشکلات مربوط به انتشارنور در فیبرهای چند مد از تفاوت سرعت گروه مدها ناشی می‌شود و علت آن ، این است که زمان حرکت مدها متفاوت است . بنابراین پالسهای نور در حین حرکت در فیبر پهن می‌شوند . این اثر ، پهن شدگی مدی نامیده می‌شود . یک راه برای کاهش این نوع پاشندگی ، استفاده از فیبرهای ضریب پیوسته بجای ضریب پله‌ای است . پاشندگی مد بوسیله فیبرهای با ضریب شکست تدریجی کاهش می‌یابد که در مرکز هسته ضریب شکست بیشترین و در مرز هسته و پوسته کمترین مقدار را دارد. در فیبرهای ضریب شکست تدریجی ، سرعت حرکت پالس با فاصله از محور هسته زیاد می‌شود (ضریب شکست کم می‌شود) و پرتوهایی که دورتر از محور هسته هستند سریعتر از پرتوهای نزدیک محور حرکت می‌کنند بنابراین زمانهای حرکت پرتوهای مختلف یکسان است .

شکل (۲-۲) الف - فیبر چند مد با ضریب شکست پله‌ای را نشان می‌دهد به علت تفاوت سرعت گروه مدها در فیبر ، زمان حرکت آنها یکسان نیست و همین امر موجب پهن شدن پالس می‌شود . شکل ب – یک فیبر تک مد با ضریب شکست پله‌ای[۸] نشان می‌دهد که شعاع هسته در این حالت خیلی کوچکتر از شعاع هسته فیبر چند مد است و پالس بدون پهن شدن در فیبر منتشر می‌شود . شکل ج – فیبر چند مد با ضریب شکست تدریجی[۹] است که سرعت حرکت مدها با فاصله از محور هسته تغییر می‌کند و پرتوها همزمان در یک نقطه روی محور فیبر به هم برخورد کرده و پهن شدگی ناشی از مد اتفاق نمی‌افتد [۳] .

دو پارامتری که یک فیبر نوری را مشخص می‌کند بصورت زیر تعریف می‌شوند:

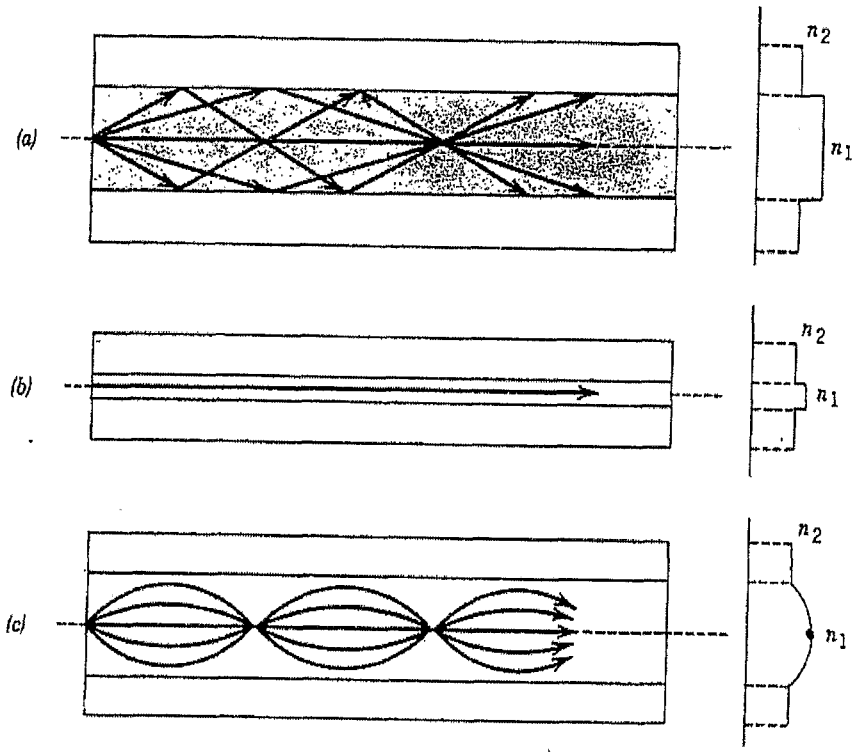
$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \qquad (۲-۱)$$

$$V = k_0 a (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = \frac{2\pi}{\lambda} a n_1 \sqrt{2\Delta} \qquad (۲-۲)$$

[8] Step index fiber
[9] Graded index fiber

که در آن $\Delta \ll 1$ است فیبرهایی که در سیستمهای ارتباطی استفاده می‌شوند از شیشه‌های سیلیکایی (SiO_2) با درجه خلوص بالا ساخته شده‌اند و برای ایجاد تغییر ضریب شکست مقدار کمی ناخالصی مثل تیتانیوم ، ژرمانیوم و بورن[10] به فیبر اضافه می‌شود . ضریب شکست n_1 در ناحیه ۱/۴۴ تا ۱/۴۶ است که بستگی به طول موج نور ورودی دارد [۳] .

V با تعداد مدهای فیبر متناسب است که با افزایش V مدهای فیبر نیز زیاد می‌شود و بطور تقریبی تعداد مدهای منتشر شده در یک فیبر برابر $V^2/2$ است . بعنوان مثال عملی یک فیبر چند مد با شعاع



شکل (۲-۲) انتشار پرتو در فیبر الف) پرتو چند مدی در فیبر ضریب شکست پله‌ای ب) پرتو تک مد در فیبر ضریب شکست پله‌ای ج) پرتو چند مد در فیبر ضریب شکست تدریجی

هسته $a = 25\mu m$ و $\Delta = 5\times10^{-3}$ در طول موج $3\mu m$ می‌تواند ۱۶۲ مد را منتشر کند.

[10] Boron