دانشکده علوم پایه

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک (حالت جامد)

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

کلیدزنی سالیتون برداری در فیبر مزدوج موازی غیرخطی

سمیرا صالحی

استاد راهنما:

دکتر محسن حاتمی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی

شهریور ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم پایه

پایان نامه

مرکز شیراز

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک (حالت جامد)

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

کلیدزنی سالیتون برداری در فیبر مزدوج موازی غیرخطی

سمیرا صالحی

استاد راهنما:

دکتر محسن حاتمی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی

شهریور ۱۳۹۲

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه پیام نور استان فارس

دانشگاه پیام نور شیراز
باسمه تعالی

تاریخ : ۱۳۹۲/۰۶/۰۹
شماره : ۰۵/۱۶۲۷۲
پیوست :

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد **خانم سمیرا صالحی** دانشجوی رشته **فیزیک گرایش حالت جامد** به شماره دانشجویی **۸۹۰۰۷۴۱۰۷** با عنوان:

" کلیدزنی سالیتون برداری در فیبر مزدوج موازی غیرخطی "

با حضور هیات داوران در روز **شنبه** مورخ **۱۳۹۲/۰۶/۰۹** ساعت **۱۱** در محل ساختمان **غدیر دانشگاه پیام نور** شیراز برگزار شد و هیأت داوران پس از بررسی، پایان‌نامه مذکور را شایسته نمره به عدد ۱۹/۴ به حروف نوزده و چهار دهم درجه عالی تشخیص داد.

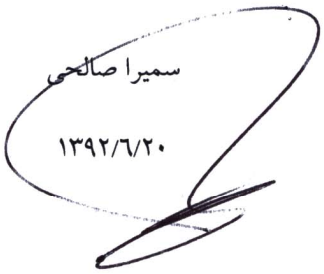
ردیف	نام و نام‌خانوادگی	هیات داوران	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه	امضاء
۱	دکتر محسن حاتمی	راهنما	دانشیار	صنعتی شیراز	
۲	دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی	مشاور	دانشیار	پیام‌نور شیراز	
۳	دکتر محمود حسینی‌فرزاد	داور	استادیار	شیراز	
۴	امیر اکبری	نماینده تحصیلات تکمیلی	مربی	پیام‌نور شیراز	

رئیس اداره تحصیلات تکمیلی

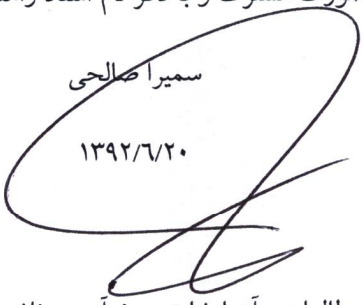
شیراز - شهرک گلستان، بلوار دهخدا
قبل از نمایشگاه بین المللی
تلفن : ۶۲۲۲۲۵۵ - ۰۷۱۱
دورنگار : ۶۲۲۲۲۳۹ - ۰۷۱۱
صندوق پستی: ۱۳۶۸ - ۷۱۹۵۵
www.spnu.ac.ir
Email : admin@spnu.ac.ir

اینجانب **سمیرا صالحی** دانشجوی ورودی سال ۹۰-۸۹ مقطع کارشناسی ارشد رشته **فیزیک** گواهی می‌نمایم چنانچه در پایان نامه خود از فکر، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته‌ام با نقل قول مستقیم یا غیر مستقیم منبع و مأخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده‌ام. بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می‌دانم و جوابگوی آن خواهم بود.

دانشجو تائید می‌نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می‌باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.



اینجانب **سمیرا صالحی** دانشجوی ورودی سال ۹۰- ۸۹ مقطع کارشناسی ارشد رشته **فیزیک** گواهی می‌نمایم چنانچه بر اساس مطالب پایان نامه خود اقدام به انتشار مقاله، کتاب و ... نمایم ضمن مطلع نمودن استاد راهنما، با نظر ایشان نسبت به نشر مقاله، کتاب، ... و به صورت مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم.



کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه پیام نور می‌باشد.

شهریور ۱۳۹۲

تقدیم به

اسطوره صبر و مقاومت، پدرم

و

فرشته صفا و مهربانی، مادرم.

آنان که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم مهر، مویشان سپیدی گرفت تا رو سپید بمانم، سرمایه‌های جاودانی زندگیم هستند که وجودشان همچون ستارگانی درخشان، روشنی بخش مسیر زندگیم است.

صمیمانه در برابر وجود گرامیشان زانوی ادب بر زمین می‌نهنم و با دلی مملو از عشق و محبت بر دستانشان بوسه می‌زنم.

خدا یار و نگهدارتان باشد.

سپاسگزاری

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان.

آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» لازم می‌دانم تا از زحمات صادقانه و بی‌دریغ استاد عزیزم، استاد علم و اخلاق جناب دکتر محسن حاتمی که با راهنمایی‌های خود، در به پایان رساندن این پایان نامه دلسوزانه همکاری داشتند کمال تشکر را داشته باشم. از استاد بزرگوارم جناب دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی استاد مشاورم، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از تمامی عزیزانی که مرا در مدت تحصیل یاری نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

کلیدزنی برداری سالیتون در فیبر مزدوج موازی غیرخطی

توسط:

سمیرا صالحی

کلیدزنی نوری در ساخت سیستم‌های مخابراتی تمام نوری و دستگاه‌های پردازش سیگنال کاربرد زیادی دارد. مزدوج موازی غیرخطی یکی از عناصر نوری مهم در سیستم‌های پردازش سیگنال جهت استفاده در سیستم‌های ارتباطی می‌باشند که دارای کاربردهایی نظیر تقویت کننده‌ها، تضعیف کننده‌ها و کلیدهای نوری می‌باشند. در این پایان نامه به بررسی کلیدزنی برداری سالیتون تاریک و روشن در مزدوج‌های موازی متقارن و نامتقارن غیرخطی بر اساس فاز پالس ورودی پرداخته‌ایم. با شبیه‌سازی انتشار سالیتون روشن و تاریک در کلید با استفاده از روش عددی کرانک – نیکلسون و رانگ – کوتا و با در نظر گرفتن شرایط اولیه به کلیدزنی دست یابیم. نشان داده‌ایم که مزدوج موازی متقارن و نامتقارن می‌تواند به عنوان یک کلید سالیتونی بر اساس زاویه قطبش طراحی شود و با افزایش زاویه قطبش کلیدزنی بهتری را در مزدوج موازی خواهیم داشت و همچنین نشان داده‌ایم که با کنترل فاز، مزدوج موازی می‌تواند به عنوان کلید سالیتونی تمام نوری با توان ورودی کمتر از توان بحرانی استفاده شود. سالیتون‌ها در طول انتشارشان در شکست دوگانه بالا نسبتاً با ثبات‌ترند. تنها تفاوت قابل توجه این است که توان بحرانی کلیدزنی در مزدوج موازی شکست دوگانه پایین نسبت به شکست دوگانه بالا کمتر است و در نتیجه کلیدزنی با توان کمتری صورت می‌گیرد.

واژگان کلیدی: سالیتون، فیبر مزدوج موازی نامتقارن غیرخطی، کلیدزنی سالیتون.

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول اپتیک غیرخطی ۱

مقدمه ۲

۱-۱ قطبش غیرخطی ۳

۱-۲ ضریب شکست غیرخطی ۵

۱-۳ مدولاسیون خود فازی (SPM) ۸

۱-٤ مدولاسیون دگر فازی (XPM) ۹

۱-۵ خود کانونی شدن ۱۰

فصل دوم فیبرهای نوری ۱۱

مقدمه ۱۲

۲-۱ فیبر نوری چیست؟ ۱۳

۲-۲ مزایای فیبر نوری ۱۳

۲-۳ ساختار فیبر نوری ۱٤

۲_۳_۱ انواع فیبر نوری ۱۵

۲-۳-۱-۱ فیبر نوری تک مد ۱٦

۲-۳-۱-۲ فیبر چند مدی ۱۷

۲-۳-۲ فیبر ضریب پله‌ای ۲۰

۲-۳-۳ فیبر ضریب تدریجی ۲۱

۲-٤ پاشندگی در فیبرها ۲۳
۲-۵ انتشار پالس‌های نوری در محیط‌های پاشنده..... ۲۵
۲-۵-۱ انتشار پالس‌های خطی..... ۲۵
۲-۵-۲ انتشار پالس‌های غیرخطی..... ۳۱
۲-٦ سیر تکاملی پالس..... ۳۸
۲-٦-۱ انتشار پالس‌های گاوسی..... ۳۹
۲-٦-۲ انتشار پالس‌های سکانت هایپربولیک (Sech)..... ٤۱
فصل سوم سالیتون‌های نوری ٤۲
مقدمه..... ٤۳
۳-۱ سالیتون‌های نوری..... ٤۵
۳-۱-۱ سالیتون‌های روشن..... ٤۷
۳-۱-۲ سالیتون‌های تاریک..... ٤۹
۳-۱-۳ سالیتون‌های مرتبه بالا..... ۵۱
فصل ٤ مزدوج‌های موازی ۵٤
مقدمه..... ۵۵
٤-۱ معادلات حاکم بر مزدوج‌های موازی..... ۵٦
٤-۲ مزدوج موازی متقارن دو هسته‌ای..... ۵۹
٤-۲-۱ مزدوج موازی خطی متقارن دو هسته‌ای..... ۵۹
٤-۲-۲ مزدوج موازی غیر خطی متقارن دو هسته‌ای..... ٦۱

فصل ۵ کلیدزنی برداری سالیتون نوری در مزدوج موازی ٦٦

مقدمه..... ٦٧

۵-۱ کلیدزنی خطی پرتوهای موج پیوسته..... ٦٨

۵-۲ کلیدزنی خطی پالس‌های نوری..... ٧١

۵-۳ کلید زنی غیر خطی پالس‌های نوری..... ٧٣

۵-٤ کلیدزنی سالیتون‌های نوری در فیبرهای مزدوج موازی غیرخطی ٧٦

۵-۵ معادلات حاکم بر انتشار دامنه موج در یک مزدوج موازی..... ٧٨

۵-٦ محاسبات ٧٩

نتیجه‌گیری..... ٨٥

پیشنهادات..... ٨٦

مراجع..... ٨٧

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ تغییر فاز یک پالس اپتیکی هنگام انتشار در یک محیط غیرخطی کر.....۹

شکل ۲-۱ نمای کلی از سطح مقطع فیبر نوری.....۱۵

شکل ۲-۲ پروفایل ضریب شکست و پرتوهای نوعی در فیبر ضریب پله‌ای تک مد.....۱۶

شکل ۲-۳ پروفایل ضریب شکست و پرتوهای نوعی.....۱۸

شکل ۲-٤ فیبر نوری.....۱۹

شکل ۲-۵ نمونه‌ای از فیبر ضریب پله‌ای.....۲۱

شکل ۲-٦ نمایی از فیبر ضریب تدریجی.....۲۲

شکل ۲-۷ مناطق مختلف انتشار.....۲٤

شکل ۲-۸ سیر تکاملی پالس برای یک پالس در حال انتشار در مرحله پاشندگی نرمال فیبر.....۳۹

شکل ۲-۹ سیر تکاملی پالس برای یک پالس در حال انتشار در مرحله پاشندگی غیرعادی فیبر.....۳۹

شکل ۲-۱۰ پراکندگی ناشی از گسترش یک پالس گاوسی در داخل یک فیبر.....٤۰

شکل ۲-۱۱ پراکندگی ناشی از گسترش یک پالس سکانت هایپربولیک ٤۱

شکل۳-۱ برخورد دو موج سالیتونی با انرژی متفاوت.....٤٤

شکل ۳-۲ انتشار پالس $u(0,\tau) = Sech(\tau)$ در فیبر نوری.....٤۸

شکل ۳-۳ انتشار سالیتون تاریک $u(0,\tau) = \tanh(\tau)$ در فیبر نوری.....۵۰

شکل۳-٤ شدت و مشخصات فاز سالیتون‌های تاریک برای چند مقدار مختلف β.....۵۰

شکل ۳- ۵ سیر تکاملی طیف در بیش از یک دوره برای سالیتون درجه ۳.....۵۲

شکل ۳-٦ سیر تکامل زمانی سالیتون نوری درجه سوم.....۵۲

شکل ۳-۷ سیر تکامل زمانی سالیتون تاریک درجه سوم ۵۲

شکل ٤-۱ تصویری از یک فیبر مزدوج.....۵۵

شکل ٤-۲ توان خروجی از هسته یک و دو بر حسب طول مزدوج و انتقال ٦۱

شکل ٤-۳ توان در موجبر بالا در مزدوج موازی غیرخطی بر حسب فاصله.....٦۳

شکل ٤-٤ توان خروجی از موجبر ۱ و ۲ را برای یک طول ثابت بر حسب توان ورودی.....٦۵

شکل۵-۱ نسبت $|A_2/A_0|^2$ برای سه مقدار δ_a/k.....۷۰

شکل ۵-۲ الف وب شکل پرتوهای خطی موج پیوسته در مزدوج با طول به هنجار شده.....۷۰

شکل ۵-۳ نسبت بین توان ورودی و خروجی در مزدوج.....۷۱

شکل ۵-٤ الف و ب شکل پالس‌های نوری در مزدوج با طول به هنجار شده.....۷۳

شکل ۵-۵ نسبت بین توان ورودی و خروجی در مزدوج.....۷۳

شکل ۲-۱ نمای کلی از سطح مقطع فیبر نوری.....۱۵

شکل ۲-۲ پروفایل ضریب شکست و پرتوهای نوعی در فیبر ضریب پله‌ای تک مد.....۱٦

شکل ۲-۳ پروفایل ضریب شکست و پرتوهای نوعی.....۱۸

شکل ۲-٤ فیبر نوری.....۱۹

شکل ۲-۵ نمونه‌ای از فیبر ضریب پله‌ای.....۲۱

شکل ۲-٦ نمایی از فیبر ضریب تدریجی.....۲۲

شکل ۲-۷ مناطق مختلف انتشار.....۲٤

شکل ۲-۸ سیر تکاملی پالس برای یک پالس در حال انتشار در مرحله پاشندگی نرمال فیبر.....۳۹

شکل ۲-۹ سیر تکاملی پالس برای یک پالس در حال انتشار در مرحله پاشندگی غیرعادی فیبر..... ۳۹
شکل ۲-۱۰ پراکندگی ناشی از گسترش یک پالس گاوسی در داخل یک فیبر..... ٤٠
شکل ۲-۱۱ پراکندگی ناشی از گسترش یک پالس سکانت هایپربولیک ٤١
شکل۳-۱ برخورد دو موج سالیتونی با انرژی متفاوت..... ٤٤
شکل ۳-۲ انتشار پالس $u(0,\tau) = Sech(\tau)$ در فیبر نوری..... ٤٨
شکل ۳-۳ انتشار سالیتون تاریک $u(0,\tau) = \tanh(\tau)$ در فیبر نوری..... ٥٠
شکل۳-٤ شدت و مشخصات فاز سالیتون‌های تاریک برای چند مقدار مختلف β..... ٥٠
شکل ۳- ٥ سیر تکاملی طیف در بیش از یک دوره برای سالیتون درجه ۳..... ٥٢
شکل ۳-٦ سیر تکامل زمانی سالیتون نوری درجه سوم..... ٥٢
شکل ۳-۷ سیر تکامل زمانی سالیتون تاریک درجه سوم ٥٢
شکل ٤-۱ تصویری از یک فیبر مزدوج..... ٥٥
شکل ٤-۲ توان خروجی از هسته یک و دو بر حسب طول مزدوج و انتقال ٦١
شکل ٤-۳ توان در موجبر بالا در مزدوج موازی غیرخطی بر حسب فاصله..... ٦٣
شکل ٤-٤ توان خروجی از موجبر ۱ و ۲ را برای یک طول ثابت بر حسب توان ورودی..... ٦٥
شکل٥-۱ نسبت $|A_2/A_0|^2$ برای سه مقدار δ_a/k..... ۷۰
شکل ٥-۲ الف وب شکل پرتوهای خطی موج پیوسته در مزدوج با طول به هنجار شده..... ۷۰
شکل ٥-۳ نسبت بین توان ورودی و خروجی در مزدوج..... ۷۱
شکل ٥-٤ الف و ب شکل پالس‌های نوری در مزدوج با طول به هنجار شده..... ۷۳
شکل ٥-٥ نسبت بین توان ورودی و خروجی در مزدوج..... ۷۳

شکل۵-٦ الف و ب رفتار کلیدزنی و سیر تکاملی $|u|^2$ و $|v|^2$ در امتداد طول مزدوج برای N=1..۷۵

شکل۵-۷ الف و ب رفتارکلیدزنی و سیر تکاملی $|u|^2$ و $|v|^2$ در امتداد طول مزدوج برای N=2....۷۵

شکل ۵-۸ ضریب انتقال بر حسب توان بهنجار شده P_0 در حالت متقارن به ازای $\theta = 0^0$.....۸۱

شکل ۵-۹ ضریب انتقال بر حسب توان بهنجار شده P_0 در حالت متقارن به ازای $\theta = 30^0$.....۸۲

شکل ۵-۱۰ ضریب انتقال بر حسب توان بهنجار شده P_0 در حالت متقارن به ازای $\theta = 45^0$.....۸۲

شکل ۵-۱۱ ضریب انتقال بر حسب توان بهنجار شده P0 در حالت نامتقارن به ازای $\theta = 0^0$.....۸۲

شکل ۵-۱۲ ضریب انتقال بر حسب توان بهنجار شده P0 در حالت نامتقارن به ازای $\theta = 30^0$.....۸۳

شکل ۵-۱۳ ضریب انتقال بر حسب توان بهنجار شده P0 در حالت نامتقارن به ازای $\theta = 45^0$.....۸۳

شکل ۵-۱٤ ضریب انتقال بر حسب زاویه قطبش θ با $\chi = 2/3$ برای $P_0 = 0.5$ و $P_0 = 1.5$.....۸٤

شکل ۵-۱۵ ضریب انتقال بر حسب زاویه قطبش θ با $\chi = 1$ برای $P_0 = 1$.....۸۵

فصل اول

اپتیک غیرخطی

مقدمه

آغاز شاخه اپتیک غیرخطی به کشف تولید هماهنگ دوم توسط فرانکن[1] و همکارانش در سال ۱۹۶۱، بعد از به نمایش در آمدن نحوه کار اولین لیزر بوسیله مایمن[2] در سال ۱۹۶۰ بر می‌گردد. اپتیک غیرخطی مطالعه پدیده‌هایی است که در اثر تغییر و اصلاح ویژگی‌های نوری مواد در حضور نور رخ می‌دهد. وقتی نور به یک اتم می‌تابد اتم به یک دوقطبی الکتریکی تبدیل می‌گردد. اگر شدت میدان زیاد نباشد قطبش خالص الکترونی مانند یک اختلال در ابر الکترونی اتم دیده می‌شود که در این صورت قطبش خطی است.[۱]

فرض خطی بودن محیط اپتیکی نتیجه‌های زیر را در بر دارد:

- ویژگی‌های اپتیکی مثل ضریب شکست و ضریب جذب مستقل از شدت نور می‌باشد.
- اصل بر هم نهی در اپتیک خطی برقرار است.
- فرکانس نور با عبور از محیط تغییر نمی‌کند.
- پرتوهای نوری در یک محیط بر هم اثر نمی‌گذارند.

اگر میدان تابیده به اتم از میدان داخلی اتم بزرگتر باشد، رفتار محیط، غیرخطی می‌شود. معمولاً نور لیزر، شدت کافی را برای این اثر ایجاد می‌کند. پدیده‌های اپتیک غیرخطی از این جهت غیرخطی هستند که پاسخ محیط به میدان نوری اعمال شده، یک پاسخ غیرخطی باشد. دلیل این رفتار پاسخ غیرهماهنگ الکترون‌های مقید تحت تأثیر میدان قوی اعمال شده است و نتیجه آن ایجاد دوقطبی‌های الکتریکی غیرخطی است.

[1] .Franken
[2] .Maiman

رفتار غیرخطی یک محیط اپتیکی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

- ضریب شکست و سرعت نور در یک محیط اپتیکی با شدت نور تغییر می‌کنند.

- اصل بر هم نهی در محیط‌های غیرخطی نقض می‌شود.

- فرکانس نور هنگام عبور از یک محیط غیرخطی می‌تواند عوض شود.

- در یک محیط اپتیکی، فوتون‌ها از طریق محیط بر هم اثر می‌گذارند. بنابراین نور می‌تواند نور را کنترل کند.

خطی یا غیرخطی بودن به خصوصیات نور بستگی ندارد بلکه به خصوصیات محیطی که نور در آن منتشر می‌شود بستگی دارد. در حقیقت حضور یک پرتو نورانی در یک محیط غیرخطی باعث تغییر میدان خودش یا به وجود آمدن یک میدان اپتیکی دیگری می‌شود.[۲]

۱-۱ قطبش غیرخطی

برای توضیح دقیق اپتیک غیرخطی بستگی گشتاور دو قطبی در واحد حجم یا قطبش $\vec{P}(r,t)$ را با شدت میدان نوری اعمال شده، $\vec{E}(r,t)$ بررسی می‌کنیم. در اپتیک خطی قطبش القا شده با شدت میدان الکتریکی رابطه خطی دارد و با رابطه زیر توصیف می شود.

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi^{(1)} \vec{E} \qquad (۱-۱)$$

که ε_0 گذردهی خلاء و ثابت تناسب $\chi^{(1)}$، پذیرفتاری خطی[1] نامیده می‌شود. پذیرفتاری یک کمیت مختلط است، قسمت موهومی پذیرفتاری خطی منجر به تضعیف موج در محیط می‌شود و اگر

1. Susceptibility

فرکانس میدان اعمال شده در محدوده فرکانس تشدید باشد این تضعیف زیاد است.[۳] اغلب در نورشناسی غیرخطی می‌توان پاسخ نوری غیرخطی را تعمیم رابطه (۱-۱) از طریق بسط قبطش $\vec{P}$ برحسب توان‌های میدان $\vec{E}$ به صورت زیر بیان نمود.

$$\vec{P} = \varepsilon_0(\chi^{(1)}\vec{E} + \chi^{(2)}\overrightarrow{E\vec{E}} + \chi^{(3)}\vec{E}\vec{E}\vec{E}\dots) \equiv \vec{P}_L + \vec{P}^{(2)}{}_{NL} + \vec{P}^{(3)}{}_{NL} + \cdots \quad (۱-۲)$$

کمیت‌های $\chi^{(2)}$ و $\chi^{(3)}$ به ترتیب ثابت پذیرفتاری نوری غیرخطی مرتبه دوم و سوم نامیده می‌شوند، $\vec{P}_L$ قطبش خطی را تعیین می‌کند، $\vec{P}^{(2)}{}_{NL}$ و $\vec{P}^{(3)}{}_{NL}$ و ... به ترتیب بیانگر قطبش غیرخطی مرتبه دو، سه و ... می‌باشند که $\vec{P}^{(2)}{}_{NL} = \varepsilon_0\chi^{(2)}\vec{E}$ و $\vec{P}^{(3)}{}_{NL} = \varepsilon_0\chi^{(3)}\vec{E}^{(3)}$ است.[٤]

درحالت پذیرفتاری‌های غیرخطی، قسمت موهومی دارای ترکیب‌های خطی از فرکانس‌های میدان بکار برده شده است که منطبق با فرکانس تشدید ماده می‌باشد. برای مثال، اگر مجموع فرکانس‌های ورودی متناظر با جذب دو فوتون ماده باشد، قسمت موهومی پذیرفتاری مرتبه دوم $\chi^{(2)}$ خیلی قوی و قابل توجه است. اگر فرکانس‌های میدان اعمال شده و ترکیب‌های خطی آن‌ها به اندازه کافی از فرکانس تشدید دور باشد می‌توان از قسمت‌های خطی و غیرخطی پذیرفتاری صرفنظر کرد. برای ارتباطات نوری، طول موج‌های مورد استفاده در فیبرهای نوری از جذب‌های خطی و غیرخطی دور هستند، بنابراین قسمت موهومی نقش مهمی را بازی نمی‌کند.[۵]

دلیل کلیدی بودن نقش قطبش در توصیف پدیده‌های غیرخطی آن است که قطبش وابسته به زمان می‌تواند به عنوان چشمه جدید میدان الکترومغناطیسی عمل کند. معادله موج در یک محیط نوری غیرخطی به صورت زیر بیان می‌شود.

$$\nabla^2\vec{E} - \frac{n^2}{C^2}\frac{\partial^2 E^2}{\partial t^2} = \frac{4\pi}{C^2}\frac{\partial^2\vec{P}_{NL}}{\partial t^2} \quad (۱-۳)$$

که n ضریب شکست و c سرعت نور در خلاء است. می‌توانیم این رابطه را به عنوان یک معادله موج ناهمگن تعبیر کنیم که در آن قطبش $\vec{P}_{NL}$ مربوط به پاسخ غیرخطی میدان الکتریکی $\vec{E}$ است. معادله (۱-۳) بیانگر این واقعیت است که هرگاه $\partial^2\vec{P}_{NL}/\partial t^2$ غیر صفر باشد بارها شتاب می‌گیرند و طبق قضیه لارمور در الکترومغناطیس بارهای شتابدار تابش الکترومغناطیسی تولید می‌کنند.[٦]

۱-۲ ضریب شکست غیرخطی

ضریب شکست غیرخطی یکی از مهم‌ترین اثرات غیرخطی، بر اساس پذیرفتاری غیرخطی مرتبه سوم است. ضریب شکست غیرخطی در شدت‌های پایین به فرکانس و در شدت‌های بالا علاوه بر فرکانس به شدت پرتو نور بستگی دارد و باعث مدولاسیون خودفازی (SPM)[1] موج‌ها، مدولاسیون دگرفازی (XPM)[2] بین موج‌ها، پدیده‌ی خود کانونی شدن[3] پرتو و تولید سالیتون می‌شود.[۷] بنابراین اغلب اثرات غیرخطی در فیبرهای نوری از ضریب شکست غیرخطی منشأ می‌گیرد. برای به دست آوردن ضریب شکست غیر خطی، ابتدا میدان الکتریکی را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:[۸]

$$\vec{E}(t) = Re\{\vec{E}(\omega)exp(-i\omega t)\} = \frac{1}{2}\{\vec{E}(\omega)exp(-i\omega t) + c.c\} \qquad (۱-٤)$$

با استفاده از رابطه قطبش بصورت زیر

$$\vec{P} = \varepsilon_0(\chi^{(1)}\vec{E} + \chi^{(3)}\vec{E}\vec{E}\vec{E} + \chi^{(5)}\vec{E}\vec{E}\vec{E}\vec{E}\vec{E}) = \vec{P}_L + \vec{P}^{(3)}{}_{NL} + \vec{P}^{(5)}{}_{NL} \qquad (۱-۵)$$

که

$$\vec{P}^{(3)}{}_{NL} = \frac{3}{8}\varepsilon_0\chi^{(3)}|E|^2\vec{E} \qquad (۱-٦)$$

[1].Self-Phase Modulation (SPM)
[2] Cross- Phase Modulation (CPM)
[3].Self Focusing