دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته **فیزیک اتمی و مولکولی**

گروه **علمی فیزیک**

عنوان پایان نامه :

طراحی کلیدزنی تمام نوری سالیتونی در مزدوج‌هاي موازي غیرخطی چندهسته‌اي

رویا عطارزاده

استاد راهنما :

دکتر محسن حاتمی

استاد مشاور :

دکتر عبدالرسول قرائتی

بهمن 1390

دانشگاه پیام نور

بسمه تعالی

صورتجلسه دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد خانم رویا عطارزاده دانشجوی رشته فیزیک گرایش اتمی و مولکولی به شماره دانشجویی ۸۷۰۱۰۵۹۱۲ تحت عنوان

«طراحی کلیدزنی تمام نوری سالیتونی در مزدوج‌های موازی غیرخطی چندهسته‌ای»

با حضور هیات داوران در روز جمعه مورخ ۱۳۹۰/۱۱/۰۷ ساعت ۱۱صبح در محل ساختمان طدبر دانشگاه پیام نور شیراز برگزار شد و هیات داوران پس از بررسی ، پایان نامه مذکور را شایسته نمره به عدد ۱۹/۸ به حروف نوزده و هشت دهم با درجه **عالی** تشخیص داد .

ردیف	نام و نام خانوادگی	هیات داوران	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه	امضاء
۱	دکتر محسن حاتمی	استاد راهنما	دانشیار	یزد	
۲	دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی	استاد مشاور	دانشیار	پیام نورشیراز	
۳	دکتر عبدالناصر فاکری	استاد داور	استاد	شیراز	
۴	آقای محسن امامی	نماینده تحصیلات تکمیلی	استادیار	پیام نورشیراز	

اینجانب رویا عطارزاده دانشجوي ورودي سال 1387 **مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک اتمی و مولکولی** گواهی می نمایم چنانچه در پایان نامه خود از فکر ، ایده و نوشته دیگری بهره گرفته ام با نقل قول مستقیم یا غیر مستقیم منبع و ماخذ آن را نیز در جای مناسب ذکر کرده ام . بدیهی است مسئولیت تمامی مطالبی که نقل قول دیگران نباشد بر عهده خویش می دانم و جوابگوی آن خواهم بود . دانشجو تائید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است .

نام و نام خانوادگی دانشجو: **رویا عطارزاده**

تاریخ و امضاء

1391/02/07

اینجانب رویا عطارزاده دانشجوي ورودي سال 1387 **مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک اتمی و مولکولی گواهی می نمایم 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** ... و به صورت **مشترک و با ذکر نام استاد راهنما مبادرت نمایم .**

نام و نام خانوادگی دانشجو: **رویا عطارزاده**

تاریخ و امضاء

1391/02/07

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

بهمن 1390

تقدیم به آنان که

کلامشان، صداقت

نگاهشان، محبت

و تبسم**شان، حیات را برایم به ارمغان آورد؛**

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

آنان که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر

آنان که راستی قامتم در شکستگی قامت‌شان تجلی یافت؛

سپاسگزاري

به نام پروردگار یکتا

سپاس آن بی‌همتایی که مانند همیشه با الطاف بی‌پایانش در انجام و به پایان رساندن این رساله مرا یاری نمود، او را سپاس می‌گویم که مرا لایق آموختن گردانید. بر خود لازم می‌دانم بپاس راهنماییها و شکیباییهای بی‌دریغ استاد بزرگوار و مهربانم جناب آقای دکتر محسن حاتمی که طی طریق این تحقیق را مرهون زحمات دلسوزانه و بی‌شائبه‌ی ایشان می‌دانم، کمال تشکر و قدردانی و تشکر را از صمیم قلب داشته باشم. همچنین مراتب امتنان خویش را تقدیم استاد ارجمند جناب آقای دکتر عبدالرسول قرائتی می‌دارم که زحمت مشاوره این پایان نامه را برعهده داشتند. سزاوار است از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر عبدالناصر ذاکری به خاطر زحمات فراوان، پیشنهادات دلسوزانه و همچنین قبول داوری این پایان نامه سپاسگزای کنم. از پدر و مادر عزیزم که حمایت‌هایشان همیشه برایم قوت قلبی بوده و به من ذوق حرکت می‌داد تشکر می‌کنم. امیدوارم خداوند توفیق سپاسگزاری از پدر و مادر عزیز، برادر و خواهران مهربانم را به من عطا کند که وجودشان در تمام طول زندگی برایم نعمتی بزرگ و مایه دلگرمی ام بوده است.

چکیده

طراحی کلیدزنی تمام نوری سالیتونی در مزدوج‌های موازی غیرخطی چندهسته‌اي

توسط:

رویا عطارزاده

کلیدزنی نوري یک ضرورت در شبکه‌هاي مخابراتی و سیستم‌های پردازش سیگنال است. مزدوج‌هاي موازي غیرخطی یکی از عناصر نوری مهم در سیستم‌هاي پردازش سیگنال جهت استفاده در سیستم-های ارتباطی می‌باشند که دارای کاربردهایی نظیر کلیدها، تقویت کننده‌ها، تضعیف کنده‌ها و غیره می‌باشند.

در این پایان‌نامه ما فرایند کلیدزنی را در مزدوج‌هاي موازی غیرخطی دوهسته‌اي و سه هسته‌اي بررسی کرده و به طراحی مزدوج موازی غیرخطی به عنوان یک کلید خود کنترل کننده تمام اپتیکی پرداخته‌ایم.

با شبیه سازی انتشار سالیتون روشن و تاریک در کلید با استفاده از روش عددی کرانک- نیکلسون و رونگ- کوتا روابطی ساده و نسبتا" دقیق بین طول کلید و پهنای پالس بر حسب توان مورد نیاز براي کلیدزنی در دو حالت پاشندگی منفی و مثبت به ترتیب برای انتشار سالیتون روشن و تاریک در کلید بدست آورده‌ایم. از این روابط برای طراحی یک کلید بر اساس پارامترهای ماده مورد استفاده و ابعاد کلید می‌توان استفاده کرد.

نتایج نشان‌دهنده‌ی این است که می‌توان به کلیدزنی با پهنای پالس چند فمتوثانیه و طول چند میکرومتر در حالت انتشار سالیتون تاریک در مزدوج‌های موازی غیرخطی متقارن سه هسته‌اي رسید که متشکل از مواد چلکوجناید با ضریب شکست غیرخطی چندصد برابر شیشه سیلیکا می‌باشند که این خود نوید دهنده‌ي ساخت مدارهاي مجتمع نوري داراي سرعتهای فوق سریع می‌باشد.

کلید واژه: اپتیک غیر خطی، سالیتون‌های نوری،کلیدزنی، مزدوج‌های موازی غیرخطی چندهسته‌اي

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: اپتیک غیرخطی	1
1-1 قطبش غیرخطی	2
1-2 ضریب شکست غیرخطی	5
1-3 مدولاسیون خود فازی	8
1-4 مدولاسیون دگرفازی	9
1-5 خود کانونی شدن	10
1-6 خواص غیرخطی شیشه های چلکوجناید	10
فصل دوم: فیبرهای نوری	13
2-1 ساختار فیبرهای نوری	14
2-1-1 فیبر ضریب پله ای	15
2-1-2 فیبر ضریب تدریجی	15
2-2 انتشار مدها در فیبر نوری	16
2-3 فیبر تک مد	19
2-4 پاشندگی در فیبرهای تک مد	20
2-4-1 پاشندگی ماده	21
2-4-2 پاشندگی موجبر	24
2-5 انتشار پالس در فیبرهای غیر خطی	24
فصل سوم: سالیتونهای زمانی	29
3-1 مقدمه	29
3-2 تشکیل سالیتون های زمانی	31
3-2-1 سالیتون های زمانی روشن	32
3-2-2 سالیتونهای زمانی تاریک	34
فصل چهارم: مزدوجهاي موازي	37
4-1 معادلات حاکم بر مزدوج موازی	37

2-4 مزدوج موازي متقارن دو هسته‌اي 40
1-2-4 مزدوج موازی خطی متقارن دو هسته‌اي 40
2-2-4 مزدوج موازی غیر خطی متقارن دو هسته‌اي 41
3-4 مزدوج موازی متقارن خطی سه هسته‌اي 45
1-3-4 مزدوج موازی خطی سه هسته‌ای مثلثی (TLDC-T) 45
2-3-4 مزدوج موازی خطی سه هسته‌اي تخت نوع اول (TLDC-P1) 48
3-3-4 مزدوج موازي سه هسته‌اي تخت نوع دوم (TLDC-P2) 50
4-4 مزدوج موازی متقارن غیرخطی سه هسته‌اي 52
فصل پنجم: کلید زنی سالیتونی 54
1-5 معادلات پالسی حاکم بر مزدوج موازی غیرخطی 54
2-5 کلیدزنی با سالیتون روشن 59
3-5- کلیدزنی با سالیتون تاریک 70
4-5 نتایج 84
5-5 پیشنهادات 85
منابع 86

فهرست شکلها

عنوان	صفحه
شکل 2-1 فیبر نوری	14
شکل 2-2 نمونه ای از فیبر ضریب پله‌ای نسبت به فاصله شعاعی فیبر	15
شکل 2-3 نمایی از فیبر ضریب تدریجی	16
شکل2-4 تغییرات ضریب شکست n و ضریب شکست گروه n_g سیلیکا نسبت به طول موج	22
شکل 2- 5 پاشندگی بر حسب طول موج برای سیلیکای خالص	23
شکل 2-6 پاشندگی بر حسب طول موج براي مواد چلکوجناید	23
شکل 3-1 انتشار پالس $u(0,\tau)=\sec h(\tau)$ در فیبر نوری	33
شکل 3-2 انتشار پالس $u(0,\tau)=2\sec h(\tau)$ در فیبر نوری	34
شکل 3-3 انتشار سالیتون تاریک $u(0,\tau)=\tanh(\tau)$ در یک فیبر نوری	35
شکل 3-4 شدت سالیتونهای تاریک برای چند مقدار مختلف B	36
شکل 3-5 انتشار سالیتون تاریک مرتبه سوم در یک فیبر نوري	36
شکل 4-1 نمونه ای از یک سوئیچ مزدوج موازی غیر خطی که از دو موجبر که به موازات یکدیگر قرار گرفته اند تشکیل شده است پرتو ورودی وارد موجبر بالا شده و پرتو با توان های کم از موجبر پایین خارج می شود و پرتو با توان های زیاد از موجبر بالا خارج می شود	38
شکل 4-2 (الف) توان خروجی از موجبر 1 و 2 بر حسب توان هاي ورودي مختلف (ب) توان خروجی از موجبر 1 و 2 بر حسب طول مزدوج	42
شکل 4-3 توان در موجبر بالا در مزدوج موازی غیر خطی بر حسب فاصله برای توان های ورودی مختلف نسبت به توان بحرانی . براي توان هاي ورودی کوچکتر از توان بحرانی توان در موجبر بالا کاهش یافته و به صفر می رسد در توان های خیلی کم توان در طول جفت شدگی به صفر می رسد و با افزایش توان این طول نیز افزایش می یابد. براي توان های ورودی بزرگتر از توان بحرانی عمده توان در موجبر بالا می ماند.	44
شکل4-4 توان خروجی از موجبر1 و2 بر حسب توان ورودي براي طول ثابت L_c	44
شکل4-5 نمایی از یک مزدوج موازی سه هسته ای مثلثی	46

شکل4-6 (الف) توان خروجی هر هسته بر حسب طول موجبر برای مزدوج خطی سه هسته ای مثلثی که نقطه مشخص شده طول جفت شدگی می باشد (ب) انتقال براي مزدوج سه هسته ای مثلثی بر حسب توان ورودی . 47
شکل4-7 نمایی از یک مزدوج موازی سه هستهاي تخت نوع اول 48
شکل4-8 (الف) توان خروجی هر هسته بر حسب طول موجبر برای مزدوج خطی سه هستهاي تخت نوع اول . (ب) انتقال براي مزدوج سه هسته اي تخت نوع اول بر حسب توان ورودي . 50
شکل4-9 نمایی از یک مزدوج موازی سه هستهاي تخت نوع دوم 50
شکل 4-10 (الف) توان خروجی هر هسته بر حسب طول موجبر برای مزدوج خطی سه هستهاي تخت نوع دوم. (ب) انتقال براي مزدوج سه هسته اي تخت نوع دوم بر حسب توان ورودي. 51
شکل4-11 انتقال بر حسب توان ورودي براي مدل الف) T ب) $P1$ ج) $P2$. 53
شکل 5-1 الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ـ ب ـ موجبر پایین ، ج ـ و د ـ انرژی بهنجار شده و نسبت انرژي را در موجبر بالا (bar) ، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ در طول انتقال $\xi = 1$ براي $\kappa = 1$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج غیرخطی دو هستهاي 60
شکل 5-2- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ، دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي در موجبر بالا(bar) ، موجبر میانی $(middle)$ ، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ در طول انتقال $\xi = 1$ براي $\kappa = 1$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج غیر خطی سه هستهاي 61
شکل 5-3- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر پایین ، ج و د ـ انرژی بهنجار شده و نسبت انرژي را در موجبر بالا(bar) ، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ در طول انتقال $\xi = 2$ براي $\kappa = 0.5$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیر خطی دو هستهاي 61
شکل 5-4- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ، دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي در موجبر بالا(bar) ، موجبر میانی $(middle)$ ،

موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ در طول انتقال $\xi = 2$ براي $\kappa = 0.5$ بر
62 حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیر خطی سه هسته‌اي.

شکل 5-5- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر پایین ، ج و د ـ انرژی بهنجار شده و نسبت انرژي را در موجبر بالا(bar) ، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ را در طول انتقال $\xi = 0.5$ براي $\kappa = 2$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیر خطی دو هسته‌اي.
63

شکل 5-6- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ، دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي را در موجبر بالا(bar) ، موجبر میانی $(middle)$ ، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ را در طول انتقال $\xi = 0.5$ براي $\kappa = 2$ بر
63 حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیر خطی سه هسته‌اي.

شکل 5-7 طول لازم براي کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توانهای
65 مختلف کلیدزنی برای یک فیبر دو هسته با سطح سیلیکا با سطح مقطع $60\mu m^2$

شکل 5-8 پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان های مختلف کلیدزنی برای یک فیبر دو هسته سیلیکا با سطح مقطع $60\mu m^2$ و پاشندگی
65 $-20ps^2/km$

شکل 5-9- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ، دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي در موجبر بالا(bar) ، موجبر میانی $(middle)$ ، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ در طول انتقال $\xi = 1$ براي $\kappa = 1$ و $A(3)=0.5$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودي برای مزدوج غیر خطی سه هسته-
66 اي.

شکل 5-10- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ، دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي را در موجبر بالا(bar) ، موجبر میانی $(middle)$ ، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ را در طول انتقال $\xi = 0.5$ براي $k = 2$ و $A(3)=0.8$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج غیر
67 خطی سه هسته‌اي.

شکل 5-11- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ،

دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي را در موجبر بالا(bar) ، موجبر ميانی ($middle$) ، موجبر پايين ($cross$) و مجموع انرژي ($total$) را در طول انتقال $\xi=0.5$ براي $k=2$ و $A(3)=1$ و $A(1)=0.5$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودي براي مزدوج غير خطی سه هسته‌اي. 67

شکل 5-12 طول لازم برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان های مختلف کلیدزنی برای یک فیبر مزدوج موازی غیر خطی سه هسته با سطح مقطع $60\mu m^2$ 69

شکل 5-13 پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیر خطی سه هسته‌اي با سطح مقطع $60\mu m^2$ و پاشندگی $-20ps^2/km$ 70

شکل 5-14- الف خروجی سالیتون تاریک در موجبر بالا ب ـ موجبر پایین ، ج و د ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي در موجبر بالا(bar) ، موجبر پايين ($cross$) و مجموع انرژي ($total$) در طول انتقال $\xi=1$ براي $\kappa=1$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودي . 71

شکل 5-15- الف خروجی سالیتون تاریک در موجبر بالا ب ـ موجبر پایین ، ج و د ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي در موجبر بالا(bar)، موجبر پايين ($cross$) و مجموع انرژي ($total$) در طول انتقال $\xi=2$ براي $\kappa=0.5$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودي. 72

شکل 5-16- الف خروجی سالیتون تاریک در موجبر بالا ب ـ موجبر پایین ، ج و د ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي در موجبر بالا(bar) ، موجبر پايين ($cross$) و مجموع انرژي ($total$) در طول انتقال $\xi=0.5$ براي $\kappa=2$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودي. 72

شکل 5-17 طول کلید برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیر خطی دو هسته ای چلکوجناید با سطح مقطع $1.5\mu m^2$ و پاشندگی $545ps^2/km$. 75

شکل 5-18 پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان‌هاي مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیرخطی دو هسته‌ای چلکوجناید با سطح

75 مقطع $1.5\mu m^2$ و پاشندگی $545\,ps^2/km$.
شکل 5-19- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ، دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي در موجبر بالا(bar) ، موجبر میانی $(middle)$ ، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ در طول انتقال $\xi=1$ براي $\kappa=1$ بر
76 حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیر خطی سه هسته‌اي.
شکل 5-20- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ، دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي را در موجبر بالا(bar) ، موجبر میانی $(middle)$ ، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ را در طول انتقال $\xi=2$ براي $\kappa=0.5$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیر خطی سه
77 هسته‌اي.
شکل 5-21- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ، دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي در موجبر بالا(bar)، موجبر میانی $(middle)$، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ در طول انتقال $\xi=0.5$ براي $\kappa=2$ بر
77 حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیر خطی سه هسته‌اي.
شکل 5-22- الف - خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ، دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي در موجبر بالا(bar)، موجبر میانی $(middle)$، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ در طول انتقال $\xi=1$ براي $\kappa=1$ و $A(3)=0.5$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج موازی غیر خطی سه
78 هسته‌اي.
شکل 5-23- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ، دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي را در موجبر بالا(bar) ، موجبر میانی $(middle)$ ، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ را در طول انتقال $\xi=0.5$ براي $\kappa=2$ و $A(3)=0.8$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج غیر
79 خطی سه هسته‌اي.
شکل 5-24- الف خروجی سالیتون در موجبر بالا ب ـ موجبر میانی ج ـ موجبر پایین ، دو هـ ـ انرژي بهنجار شده و نسبت انرژي در موجبر بالا(bar) ، موجبر میانی $(middle)$ ، موجبر پایین $(cross)$ و مجموع انرژي $(total)$ در طول انتقال $\xi=0.5$ براي $\kappa=2$

و $A(3)=1$ و $A(1)=0.5$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودي براي مزدوج موازي
غير خطی سه هسته‌اي. 79
شکل 5-25 طول کلید برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان های
مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیر خطی سه هسته‌اي چلکوجناید با سطح
مقطع $6\mu m^2$ و پاشندگی $545\,ps^2/km$. 81
شکل 5-26 پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان های
مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیر خطی سه هسته‌اي چلکوجناید با سطح
مقطع $6\mu m^2$ و پاشندگی $545\,ps^2/km$. 82
شکل 5-27 سمت چپ طول کلید و سمت راست پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی
تاریک برحسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی
غیرخطی سه هسته‌اي چلکوجناید با سطح مقطع $6\mu m^2$ و پاشندگی $545\,ps^2/km$. 82
شکل 5-28 سمت چپ طول کلید و سمت راست پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی
تاریک برحسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی
غیرخطی سه هسته‌اي چلکوجناید با سطح مقطع $1.5\mu m^2$ و پاشندگی $545\,ps^2/km$. 83
شکل 5-29 سمت چپ طول کلید و سمت راست پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی
تاریک برحسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی
غیرخطی سه هسته‌اي چلکوجناید با سطح مقطع $1.5\mu m^2$ و پاشندگی $545\,ps^2/km$. 83

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول 1-1 ضریب شکست خطی، غیرخطی و ضریب جذب دو فوتونی انواع شیشه چلکوجناید در طول موج $1.55\mu m$ 12

جدول 2-1 پارامترهای سلمیر برای محاسبه ضریب شکست در سیلیکا 22

جدول 5-1 نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی سالیتونی روشن در کلید مزدوج موازی غیرخطی دو **هسته‌اي** 64

جدول 5-2 نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی سالیتونی روشن در کلید مزدوج موازی غیرخطی سه **هسته‌اي** 68

جدول 5-3 نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی سالیتونی تاریک در مزدوج موازی غیرخطی **دو هسته‌اي** 73

جدول 5-4 نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی سالیتونی تاریک در کلید مزدوج موازی غیرخطی سه **هسته‌اي** 80

فصل اول

اپتیک غیرخطی

مقدمه

اگر تمام پدیده های فیزیکی اطراف ما خطی بود، فیزیک ناتمام و بیشتر زندگی بی‌معنی می‌ماند. زمانی که خطی کردن فیزیک را زیبا کرد، غیرخطی بودن هیجانی در فیزیک بوجود آورد. اثرات غیرخطی در الکتریسیته و مغناطیس از زمان ماکسول شناخته شده‌اند. عملکرد اولین لیزر در سال 1960 ما را قادر ساخت تا رفتار نور با شدت‌های بالاتر را در مواد اپتیکی مورد آزمایش قرار دهیم این آزمایش به طور صریح رفتار غیرخطی یک محیط اپتیکی را تأیید نمود [1].

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

- ویژگی های اپتیکی مثل ضریب شکست و ضریب جذب مستقل از شدت نور هستند.
- اصل بر هم نهی مفهوم اساسی نورشناسی کلاسیک را در بردارد.
- با عبور نور از یک محیط فرکانس آن هرگز عوض نمی‌شود.
- دو باریکه از نور که در یک محدوده از محیط منتشر می‌شوند هرگز بر یکدیگر اثری ندارد و نمی‌توان به کمک یک باریکه از نور، باریکه دیگری را کنترل کرد.

رفتار غیرخطی یک محیط اپتیکی بدین صورت می‌باشد:

- ضریب شکست و سرعت نور در یک محیط اپتیکی با شدت نور تغییر می‌کند.
- اصل بر هم نهی در محیطهای غیرخطی نقض می‌شود.
- فرکانس نور هنگام عبور از یک محیط غیرخطی عوض می‌شود (مثلاً نور قرمز می‌تواند به نور آبی تبدیل شود).

- فوتون‌ها در مجاورت با یک محیط غیرخطی بر یکدیگر اثر می‌گذارند بنابراین نور می‌تواند نور را کنترل کند.

خطی یا غیرخطی بودن به خصوصیت نور بستگی ندارد بلکه به خصوصیات محیطی بستگی دارد که نور در آن منتشر می‌شود. هنگامی که نور در خلأ حرکت می‌کند رفتار غیرخطی از آن مشاهده نمی‌شود. بنابراین نور با نور فقط در حضور یک محیط می‌توانند بر همکنش کنند. در حقیقت حضور پرتو نورانی در یک محیط باعث بوجود آمدن یک میدان اپتیکی دیگر، یا حتی تغییر میدان اصلی خودش می‌شود و همین ویژگی‌های محیط را اصلاح می‌کند [2].

1 - 1 قطبش غیرخطی

وقتی نور به یک اتم می‌تابد باعث می‌شود اتم به یک دوقطبی الکتریکی تبدیل شود اگر شدت میدان زیاد نباشد یک قطبش خالص الکترونی مانند یک اختلال در ابر الکترونی دیده می‌شود. اگر میدان تابشی به اتم از میدان داخل اتمی بزرگتر باشد محیط غیرخطی می‌شود. در این حالت توضیح پدیده‌ها بجای میدان الکتریکی $\vec{E}(r,t)$ بر پایه‌ی قطبش $\vec{P}(r,t)$ می‌باشد، زیرا اگر قطبش نسبت به زمان تغییر کند یعنی جمله ی $\partial^2\vec{P}/\partial t^2$ در معادله ی موج خلاف صفر باشد، آنگاه مانند یک چشمه میدان الکترومغناطیسی جدید عمل می‌کند.

$$\nabla^2\vec{E}-\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}-\frac{1}{\varepsilon_0 c^2}\frac{\partial^2\vec{P}}{\partial t^2}=0 \qquad (1\text{-}1)$$

که c سرعت نور در خلأ می‌باشد. پس برای بروز ویژگی‌های غیرخطی، باید شدت نور تابش شده به محیط زیاد باشد. در اینصورت رابطه ی بین میدان الکتریکی و قطبش، غیرخطی، می‌باشد. اگر اختلال کوچک باشد معادله قطبش به صورت $\vec{P}=\varepsilon_0\chi\vec{E}$ می‌باشد. درنتیجه داریم:

$$\vec{P}=\varepsilon_0\left(\chi^{(1)}\vec{E}+\chi^{(2)}\vec{E}\vec{E}+\chi^{(3)}\vec{E}\vec{E}\vec{E}+\ldots\right)=\vec{P}_L+\vec{P}_{NL}^{(2)}+\vec{P}_{NL}^{(3)}+\ldots \qquad (2\text{-}1)$$

که ε_0 ضریب گذردهی الکتریکی خلأ و $\chi^{(j)}$ ثابت پذیر رفتاری[1] مرتبه j ام می‌باشد. همچنین $\vec{P}_L$ قطبش خطی را تعیین می‌کند و $\vec{P}_{NL}^{(2)}$ و $\vec{P}_{NL}^{(3)}$ و ... به ترتیب توصیفگر قطبش غیرخطی از مرتبه دو و سه و ... می‌باشند.

اگر محیط غیر پاشنده، بدون اتلاف و میدان الکتریکی و قطبش اسکالر باشند پذیرفتاری در رابطه (1-2) یک عدد ثابت خواهد بود اما برای یک محیط پاشنده و دارای اتلاف که میدان الکتریکی و قطبش

[1] . Susceptibility

برداری می‌باشند، پذیرفتاری تانسوری با اعضاء موهومی بوده که تابع فرکانس نور ورودی می باشد[3]. اگر فرکانس میدان ورودی در نزدیکی فرکانس تشدید محیط باشد آنگاه اتلاف زیاد خواهد بود و از طرف دیگر اگر فرکانس میدان‌های ورودی به اندازه کافی از فرکانس تشدید دور باشد می-توان از قسمت موهومی صرفنظر کرد [4]. میدان الکتریکی را به صورت جمع‌های جداگانه‌ای از یک تعداد مؤلفه فرکانس در نظر می‌گیریم:

$$\vec{E}(r,t)=\sum_n E(w_n)e^{-jw_nt} \qquad (3\text{-}1)$$

به همین ترتیب برای قطبش داریم:

$$\vec{P}(r,t)=\sum_n \vec{P}(w_n)e^{-jw_nt} \qquad (4\text{-}1)$$

برای قطبش خطی میدان ورودی با یک مولفه فرکانس w در نظر می‌گیریم. پس با توجه به رابطه‌ی (2-1) داریم:

$$\vec{P}_L(w)=\varepsilon_0\chi^{(1)}(w)\vec{E}(w) \qquad (5\text{-}1)$$

رابطه بالا را به صورت برداری به شکل زیر می‌نویسیم:

$$\begin{bmatrix}P_{Lx}\\P_{Ly}\\P_{Lz}\end{bmatrix}=\varepsilon_0\begin{bmatrix}\chi^{(1)}_{xx} & \chi^{(1)}_{xy} & \chi^{(1)}_{xz}\\ \chi^{(1)}_{yx} & \chi^{(1)}_{yy} & \chi^{(1)}_{yz}\\ \chi^{(1)}_{zx} & \chi^{(1)}_{zy} & \chi^{(1)}_{zz}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}E_x(w)\\E_y(w)\\E_z(w)\end{bmatrix} \qquad (6\text{-}1)$$

اندیس های x, y, z نشان دهنده ی راستای میدان ورودی یا همان جهت قطبش هستند. همانطور که می‌بینید پذیرفتاری مرتبه اول یک تانسور مرتبه دوم است که شامل نه عنصر است. فرمول بالا را می‌توان به صورت جمع مؤلفه‌ها به صورت زیر نوشت:

$$P_{Li}=\varepsilon_0\sum_j\chi^{(1)}_{ij}(w)E_j(w) \qquad (7\text{-}1)$$

اکنون برای میدان ورودی در محیطی دارای پذیرفتاری غیرخطی نوع دوم، دو مولفه فرکانس w_1 و w_2 در نظر می‌گیریم. رابطه‌ی قطبش مرتبه دوم غیرخطی به طور کلی برای دو میدان به صورت زیر می باشد:

$$\vec{P}^{(2)}_{NL}(w)=\varepsilon_0\chi^{(2)}_{(w,w_1,w_2)}\vec{E}_{(w_1)}\vec{E}_{(w_2)} \qquad (8\text{-}1)$$

اگر دو میدان دارای فرکانس های متفاوتی باشند آنگاه قطبش مواد به صورت جمع و تفاضل فرکانس‌ها یا مضرب فرکانس ورودی تولید می‌شود. بعبارتی رابطه‌ی قطبش به فرکانس به صورت $2w_1$، $2w_2$، w_1+w_2 ، w_1-w_2 و 0 خواهد بود. که در اینجا حالت $w=w_1+w_2$ را شرح می-

دهیم. سه مؤلفه ی این دو میدان را به $3^2 = 9$ حالت می‌توان ترکیب کرد، پس رابطه‌ي هر مؤلفه‌ي قطبش با این میدان‌ها به صورت یک تانسور مرتبه سه با $3 \times 9 = 27$ عنصر خواهد بود:

$$\begin{bmatrix} \vec{P}^{2}_{NLx} \\ \vec{P}^{2}_{NLy} \\ \vec{P}^{2}_{NLz} \end{bmatrix} = D\varepsilon_0 \begin{bmatrix} \chi^{(2)}_{xxx} & \chi^{(2)}_{xxy} & \cdots & \chi^{(2)}_{xxz} \\ \chi^{(2)}_{yxx} & \chi^{(2)}_{yxy} & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \chi^{(2)}_{zzz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x(w_1) & E_x(w_2) \\ E_x(w_1) & E_y(w_2) \\ E_x(w_1) & E_z(w_2) \\ E_y(w_1) & E_x(w_2) \\ E_y(w_1) & E_y(w_2) \\ E_y(w_1) & E_z(w_2) \\ E_z(w_1) & E_x(w_2) \\ E_z(w_1) & E_y(w_2) \\ E_z(w_1) & E_z(w_2) \end{bmatrix} \quad (9\text{-}1)$$

که در آن D فاکتور تبهگنی بوده و تعداد جایگشت‌های فرکانس تابش ورودی می‌باشد، به عنوان مثال برای پذیرفتاری مرتبه دوم که از دو فرکانس استفاده می‌کنیم $D = 2$ می‌باشد. رابطه بالا را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت:

$$P^{(2)}_{NLi}(w = w_1 + w_2) = D\varepsilon_0 \sum_{jk} \chi^{(2)}_{ijk}(w; w_1, w_2) E_j(w_1) E_k(w_2) \quad (10\text{-}1)$$

برای قطبش مرتبه سه میدان ورودی با سه مؤلفه ی فرکانس در نظر می‌گیریم. پس رابطه‌ي قطبش به فرکانس به صورت‌های مختلف زیر می‌باشد که به هر حالت عنوان خاصی نسبت داده می‌شود:

$$\begin{pmatrix} 3w_1, 3w_2, 3w_3, w_1 + w_2 + w_3, w_1 + w_2 - w_3, \\ w_1 - w_2 + w_3, -w_1 + w_2 + w_3, 2w_1 + w_2, \ldots \end{pmatrix} \quad (11\text{-}1)$$

در اینجا یک حالت مجموع به نام تولید فرکانس مجموع را در نظر می‌گیریم [5]. پس قطبش غیرخطی مرتبه سه به صورت زیر می‌باشد:

$$\vec{P}^{(3)}_{NL}(w = w_1 + w_2 + w_3) = \varepsilon_0 \sum_{jk} \chi^{(3)}(w; w_1, w_2, w_3) \vec{E}(w_1) \vec{E}(w_2) \vec{E}(w_3) \quad (12\text{-}1)$$

حال سه میدان داریم که هر یک سه مؤلفه دارند بنابراین آنها را می‌توان به $3^3 = 27$ حالت ترکیب کرد. پس تانسور پذیرفتاری یک تانسور مرتبه چهار با $3 \times 27 = 81$ عنصر به صورت زیر خواهد بود: