دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک (اتمی و مولکولی)

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه :

کلیدزنی تمام نوری در مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای

افروز هاشمی

استاد راهنما :

دکتر محسن حاتمی

استاد مشاور :

دکتر عبدالرسول قرائتی

شهریور ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم پایه

مرکز شیراز

پایان نامه

برای دریافت مدرک کارشناسی ارشد

رشته فیزیک (اتمی و مولکولی)

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه:

کلیدزنی تمام نوری در مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای

افروز هاشمی

استاد راهنما:

دکتر محسن حاتمی

استاد مشاور:

دکتر عبدالرسول قرائتی

شهریور ماه ۱۳۹۲

تاریخ : ۱۳۹۲/۰۶/۰۹

شماره : ۰۵/۱۶۲۷۲

پیوست :

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

دانشگاه پیام نور شیراز

باسمه تعالی

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد **خانم افروز هاشمی** دانشجوی رشته **فیزیک گرایش اتمی و مولکولی** به شماره دانشجویی **۸۹۰۰۶۷۷۸۶** با عنوان:

" کلیدزنی تمام نوری در مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای"

با حضور هیات داوران در روز **شنبه** مورخ **۱۳۹۲/۰۶/۰۹** ساعت **۹:۳۰** در محل ساختمان **غدیر دانشگاه پیام نور شیراز** برگزار شد و هیأت داوران پس از بررسی، پایان‌نامه مذکور را شایسته نمره به عدد ۱۹ به حروف نوزده با 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

دانشگاه پیام نور مرکز شیراز
معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی

شیراز- شهرک گلستان، بلوار دهخدا
قبل از نمایشگاه بین المللی
تلفن : ۶۲۲۲۲۵۵ - ۰۷۱۱
دورنگار: ۶۲۲۲۲۴۹ - ۰۷۱۱
صندوق پستی: ۱۳۶۸ - ۷۱۹۵۵
www.spnu.ac.ir
Email : admin@spnu.ac.ir

اینجانب .....فروزه هاشمی..... دانشجوی ورودی سال .....۱۳۸۹/۷/۱.....مقطع کارشناسی ارشد رشته .....مهندسی ایمنی..... 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 فروزه هاشمی

تاریخ و امضاء ۱۳۹۲/۶/۲۰

اینجانب .....فروزه هاشمی..... دانشجوی ورودی سال ۱۳۸۹/۷/۱..... مقطع کارشناسی ارشد رشته .....مهندسی ایمنی..... 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 فروزه هاشمی

تاریخ و امضاء ۱۳۹۲/۶/۲۰

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

ماه و سال

شهریور ماه ۹۲

تقدیم به:

پدر و مادرم که اولین آموزگاران من بودند.

آنان که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم همه مهر، توانشان رفت تا رویم سپید بماند.

تقدیم به:

همسرم که سایه مهربانش سایه‌سار زندگیم می‌باشد، او که اسوه‌ی صبر و تحمل بوده و مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود تا بتوانم در کمال آرامش و آسایش به تهیه و تنظیم پایان نامه بپردازم.

تقدیم به:

تک ستاره زندگیم عرشیا که وجودش زندگی بخش من است.

تقدیر و تشکر

استاد راهنمای ارجمندم آقای دکتر محسن حاتمی و استاد مشاور گرامیم آقای دکتر عبدالرسول قرائتی که راهنمایی‌هایشان هموار کننده راهم بود و همواره مرا از تجربیات سودمند خود بهره‌مند ساختند.

چکیده

کلیدزنی تمام‌نوری در مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای

توسط:

افروز هاشمی

گسترش سریع سیستم‌های مخابراتی نوری با میزان بالای انتقال اطلاعات، نیاز به پردازشگرها و حسابگرهای نوری با سرعت فوق سریع، لزوم طراحی و توسعه‌ی کلیدها و عناصر حافظه نوری را بیش از پیش افزایش داده است. مزدوج‌های موازی غیرخطی یکی از عناصر نوری مهم در سیستم‌های پردازش سیگنال جهت استفاده در ارتباطات و محاسبات اپتیکی هستند. در این پایان‌نامه فرایند کلیدزنی را در مزدوج‌های موازی غیرخطی نامتقارن دوهسته‌ای و سه هسته‌ای بررسی کرده و به طراحی مزدوج موازی غیرخطی به عنوان یک کلید خود کنترل‌کننده 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 برای کلیدزنی در دو حالت تاریک و روشن بدست آورده‌ایم. از این روابط برای طراحی یک کلید بر اساس پارامترهای ماده مورد استفاده و ابعاد کلید می‌توان استفاده کرد.

نتایج نشان‌دهنده این است که می‌توان به کلیدزنی با پهنای پالس چند فمتوثانیه و طول چند میکرومتر رسید که این نویددهنده ساخت مدارهای مجتمع نوری با سرعت‌های فوق سریع می‌باشد.

واژگان کلیدی: اپتیک غیرخطی، سالیتون‌های روشن و تاریک، مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول اپتیک غیرخطی ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ قطبش غیرخطی ۳

۱-۳ ضریب شکست غیرخطی ۷

۱-٤ مدولاسیون خودفازی ۱۱

۱-۵ مدولاسیون دگرفازی ۱۲

۱-٦ خودکانونی‌شدن ۱۳

فصل دوم فیبرهای نوری ۱۵

۲-۱ مقدمه ۱٦

۲-۲ ساختار فیبرهای نوری ۱۷

۲-۲-۱ فیبرهای ضریب پله‌ای ۱۸

۲-۲-۲ فیبرهای ضریب تدریجی ۱۹

۲-۳ انتشار مدها در فیبر نوری ۲۰

۲-٤ پاشندگی فیبر ۲٦

۲-٤-۱ پاشندگی در فیبرهای تک مد ۲۷

۲-۵ معادله انتشار پالس در فیبر ۲۹

۲-۵-۱ انتشار پالس غیرخطی در فیبر ۲۹

فصل سوم سالیتون‌های زمانی ۳۸

۳-۱ مقدمه ۳۹

۳-۲ سالیتون‌های اپتیکی ٤۰

۳-۲-۱ سالیتون‌های اپتیکی فضایی ٤۱

۳-۲-۲ سالیتون‌های اپتیکی زمانی ٤۱

۳-۳ تشکیل سالیتون‌های زمانی ٤۳

۳-۳-۱ سالیتون‌های زمانی روشن ٤۵

۳-۳-۲ سالیتون‌های زمانی تاریک ٤۸

فصل چهارم مزدوج‌های موازی ۵۱

٤-۱ مقدمه ۵۲

٤-۲ معادلات حاکم بر مزدوج موازی ۵۳

٤-۳ مزدوج موازی دو هسته‌ای ۵۵

٤-۳-۱ مزدوج موازی خطی دو هسته‌ای ۵٦

٤-۳-۲ مزدوج موازی غیرخطی دو هسته‌ای ۵۷

٤-٤ مزدوج موازی خطی سه هسته‌ای ٦۲

٤-۵ مزدوج موازی غیرخطی سه هسته‌ای ٦۳

فصل پنجم کلیدزنی سالیتونی ٦۵

۵-۱ مقدمه ٦٦
۵-۲ معادلات پالسی حاکم بر مزدوج موازی غیرخطی ٦٦
۵-۳ کلیدزنی با سالیتون روشن ۷۲
۵-٤ کلیدزنی با سالیتون تاریک ۸۷
۵-۵ توان در مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن ۱۰٤
۵-٦ نتایج و پیشنهادات ۱۱۰
منابع ۱۱۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ رابطه P-E برای (a) یک محیط دی‌الکتریک غیرخطی (b) یک محیط خطی ۳

شکل ۱-۲ محیط غیرخطی مرتبه سوم به عنوان یک عدسی با فاصله کانونی عمل می‌کند که توان وابسته به شدت موج ورودی را متمرکز می‌کند. ۱٤

شکل ۲-۱ فیبر نوری یک موجبر دی‌الکتریک استوانه ۱۷

شکل ۲-۲ سطح مقطع و ضریب شکست فیبر ضریب پله‌ای ۱۸

شکل ۲-۳ هندسه و تغییرات ضریب شکست در سطح مقطع یک فیبر ضریب تدریجی ۱۹

شکل ۲-٤ ضریب شکست و پرتوهای نوعی در فیبر ضریب پله‌ای تک مد ۲۱

شکل ۲-۵ هندسه، ضریب شکست و پرتوهای نوعی در: (a) فیبر ضریب پله‌ای چند مد (b) فیبر ضریب تدریجی چند مد ۲۳

شکل ۳-۱ انتشار پالس $u(0,\tau)=\mathrm{sech}(\tau)$ در فیبر نوری. ٤۷

شکل ۳-۲ انتشار پالس $u(0,\tau) = 3\mathrm{sech}(\tau)$ در فیبر نوری. ٤۸

شکل ۳-۳ انتشار یک سالیتون تاریک $u(0,\tau) = \tanh(\tau)$ در فیبر نوری. ٤۹

شکل ۳-٤ انتشار یک سالیتون تاریک $u(0,\tau) =3\tanh(\tau)$ در فیبر نوری. ۵۰

شکل ٤-۱ نمونه‌ای از یک سوئیچ مزدوج موازی غیرخطی که از دو موجبر که به موازات یکدیگر قرار گرفته‌اند تشکیل شده است. پرتو ورودی وارد موجبر بالا شده و پرتو با توان‌های کم از موجبر

پایین خارج می‌شود و پرتو با توان‌های زیاد ازموجبر بالا خارج می‌شود.. ..... ۵۳

شکل ٤-۲ (الف) توان خروجی از موجبر ۱ و ۲ بر حسب طول مزدوج (ب) توان خروجی از موجبر ۱ و ۲ بر حسب توان‌های ورودی مختلف. ۵۸

شکل ٤-۳ توان در موجبر بالا در مزدوج موازی غیرخطی بر حسب فاصله برای توان‌های ورودی مختلف نسبت به توان بحرانی. برای توان‌های ورودی کوچکتر از توان بحرانی توان در موجبر بالا کاهش یافته و به صفر می‌رسد در توان‌های خیلی کم توان در طول جفت‌شدگی به صفر می‌رسد و با افزایش توان این طول نیز افزایش می‌یابد. برای توان‌های ورودی بزرگتر از توان بحرانی عمده توان در موجبر بالا می‌ماند. ٦۰

شکل ٤-٤ توان خروجی از موجبر ۱ و ۲ بر حسب توان ورودی برای طول ثابت L_C.. ..... ٦۱

شکل ٤-۵ توان خروجی هر هسته بر حسب طول موجبر برای مزدوج خطی سه هسته‌ای تخت نوع اول. ٦۲

شکل ٤-٦ انتقال برای مزدوج سه هسته‌ای خطی تخت نوع اول بر حسب توان ورودی. ٦۳

شکل ٤-۷ انتقال برای مزدوج سه هسته‌ای غیرخطی تخت نوع اول بر حسب توان ورودی. ٦٤

شکل ۵-۱ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر پایین، ج- و د- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی را در موجبر بالا[1]، موجبر پایین[2] و مجموع انرژی[3] در طول انتقال $\xi=1$ برای $k=1$ بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج غیرخطی نامتقارن دو هسته‌ای. ۷۳

[1] bar

[2] cross

[3] total

شکل ۵-۲ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی در موجبر بالا، موجبر میانی[1]، موجبر پایین و مجموع انرژی در طول انتقال ξ=1 برای k=1 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای. ۷۵

شکل ۵-۳ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر پایین، ج و د- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی را در موجبر بالا، موجبر پایین و مجموع انرژی در طول انتقال ξ=2 برای k=0.5 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیرخطی نامتقارن دو هسته‌ای. ۷۶

شکل ۵-٤ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی در موجبر بالا، موجبر میانی، موجبر پایین و مجموع انرژی در طول انتقال ξ= 2 برای k= 0.5 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیرخطی نا-متقارن سه هسته‌ای. ۷۷

شکل ۵-۵ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر پایین، ج و د- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی را در موجبر بالا، موجبر پایین و مجموع انرژی را در طول انتقال ξ=0.5 برای k= 2 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیرخطی نامتقارن دو هسته‌ای ۷۸

شکل ۵-٦ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی را در موجبر بالا، موجبر میانی، موجبر پایین و مجموع انرژی را در طول انتقال ξ= 0.5 برای k=2 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توانورودی برای یک مزدوج غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای. ۷۸

[1] middle

شکل ۵-۷ طول لازم برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک فیبر دو هسته با سطح سیلیکا با سطح مقطع $60\mu m^2$. ۸۱

شکل ۵-۸ پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک فیبر دو هسته سیلیکا با سطح مقطع $60\mu m^2$ و پاشندگی $-20\ ps^2/\mathrm{km}$. ۸۱

شکل ۵-۹ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی در موجبر بالا، موجبر میانی، موجبر پایین و مجموع انرژی در طول انتقال ξ=1 برای k=1 و A(3)=0.5 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای. ۸۲

شکل ۵-۱۰ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت را در موجبر بالا، موجبر میانی، موجبر پایین و مجموع انرژی را در طول انتقال ξ=0.5 برای k=2 و A(3)= 0.5 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای. ۸۳

شکل ۵-۱۱ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی را در موجبر بالا، موجبر میانی، موجبر پایین و مجموع انرژی را در طول انتقال ξ=0.5 برای k=2 و A(3)=1 و A(1)= 0.5 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای. ۸٤

شکل ۵-۱۲ طول لازم برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف

کلیدزنی برای یک فیبر مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای با سطح مقطع $60\mu m^2$. - ۸۷

شکل ۵-۱۳ پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای با سطح مقطع $60\mu m^2$ و پاشندگی $-20ps^2/km$. ۸۷

شکل ۵-۱٤ الف- خروجی سالیتون تاریک در موجبر بالا ب- موجبر پایین، ج و د- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی در موجبر بالا، موجبر پایین و مجموع انرژی در طول انتقال ξ=1 برای k=1 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی. ۸۹

شکل ۵-۱۵ الف- خروجی سالیتون تاریک در موجبر بالا ب- موجبر پایین، ج و د- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی در موجبر بالا، موجبر پایین و مجموع انرژی در طول انتقال ξ=2 برای k=0.5 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی. ۸۹

شکل ۵-۱٦ الف- خروجی سالیتون تاریک در موجبر بالا ب- موجبر پایین، ج و د- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی در موجبر بالا، موجبر پایین و مجموع انرژی در طول انتقال ξ=0.5 برای k=2 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی. ۹۰

شکل ۵-۱۷ طول کلید برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن دو هسته‌ای چلکوجناید با سطح مقطع $1.5\mu m^2$ و پاشندگی $545ps^2/km$. ۹۳

شکل ۵-۱۸ پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف

کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن دو هسته‌ای چلکوجناید با سطح مقطع $1.5\mu m^2$ و پاشندگی $545\mathrm{ps}^2/km$. ۹۳

شکل ۵-۱۹ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی در موجبر بالا، موجبر میانی، موجبر پایین و مجموع انرژی در طول انتقال ξ=1 برای k=1 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای. ۹۵

شکل ۵-۲۰ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی را در موجبر بالا، موجبر میانی، موجبر پایین و مجموع انرژی را در طول انتقال ξ=2 برای k=0.5 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای. ۹۶

شکل ۵-۲۱ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی در موجبر بالا، موجبر میانی، موجبر پایین و مجموع انرژی در طول انتقال ξ=0.5 برای k=2 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای یک مزدوج غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای. ۹۷

شکل ۵-۲۲ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی در موجبر بالا، موجبر میانی، موجبر پایین و مجموع انرژی در طول انتقال ξ=1 برای k=1 و A(3)=0.5 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای. ۹۸

شکل ۵-۲۳ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی را در موجبر بالا، موجبر میانی، موجبر پایین و مجموع انرژی را در طول انتقال ξ=0.5 برای k=2 و A(3)= 0.8 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای ۹۹

شکل ۵-۲٤ الف- خروجی سالیتون در موجبر بالا ب- موجبر میانی ج- موجبر پایین، د و ه- انرژی بهنجار شده و نسبت انرژی در موجبر بالا، موجبر میانی، موجبر پایین و مجموع انرژی در طول انتقال ξ=0.5 برای k=2 و A(3)=1 و A(1)=0.5 بر حسب q_0^2 متناسب با دامنه توان ورودی برای مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای. ۱۰۰

شکل ۵-۲۵ طول کلید برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای چلکوجناید با سطح مقطع $6\mu m^2$ و پاشندگی $545 ps^2/km$. ۱۰۲

شکل ۵-۲٦ پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی بر حسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیرخطی سه هسته‌ای چلکوجناید با سطح مقطع $6\mu m^2$ و پاشندگی $545 ps^2/km$. ۱۰۳

شکل ۵- ۲۷ سمت چپ طول کلید و سمت راست پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی تاریک بر حسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای چلکوجناید با سطح مقطع $6\mu m^2$ و پاشندگی $545\ ps^2/km$. ۱۰۳

شکل ۵-۲۸ سمت چپ طول کلید و سمت راست پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی تاریک بر

حسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای چلکوجناید با سطح مقطع $1.5\mu m^2$ و پاشندگی $545\mathrm{ps}^2/\mathrm{km}$. ۱۰٤

شکل ۵-۲۹ سمت چپ طول کلید و سمت راست پهنای پالس برای کلیدزنی سالیتونی تاریک بر حسب ضریب شکست برای توان‌های مختلف کلیدزنی برای یک مزدوج کلیدزنی برای یک مزدوج موازی غیرخطی نامتقارن سه هسته‌ای چلکوجناید با سطح مقطع $1.5\mu m^2$ و پاشندگی $545ps^2/km$. - ۱۰٤

شکل ۵-۳۰ انتقال T برای ضربان u_2، $s = -1.5, -1, 1, 1.5$ و g =1. ..... ۱۰٦

شکل ۵-۳۱ انتقال T برای ضربان u_2، $s = -1.5, -1, 1, 1.5$ و g =-1. ..... ۱۰۷

شکل ۵-۳۲ انتقال T برای ضربان u_2، $g = -1.5, -1, 1, 1.5$ و s =1. ..... ۱۰۷

شکل ۵-۳۳ انتقال T برای ضربان u_2، $g = -1.5, -1, 1, 1.5$ و s=-1. ..... ۱۰۸