بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه یزد

دانشکده فیزیک

گروه اتمی و مولکولی

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

فیزیک اتمی و مولکولی

شبیه‌سازی کلیدزنی فوق‌سریع تمام‌نوری در فیبرهای غیرخطی شکست‌مضاعف

استاد راهنما: **دکتر محسن حاتمی**

استاد مشاور: **دکتر محمّدکاظم توسّلی**

پژوهش و نگارش: **الهه مظفری**

مهرماه ۱۳۹۰

تقدیم

به نام آنکه مشتی خاک را شرافت داد، از آن آدم را آفرید و فرمود: لَقَد کَرَّمنا بَنی آدم.

تقدیم به آنانکه قدر این کرامت را هر دم می دانند.

تشکر و قدردانی

اعتراف می کنم که نه زبان شکر تو را دارم و نه توان تشکر از بندگان تو، امّا بر خود فرض می دانم از همراهی های صبورانه استاد گرانقدر، جناب دکتر حاتمی صمیمانه سپاسگزار باشم و حضور همیشگی جناب دکتر توسّلی را ارج نهم.

چکیده

در این پایان‌نامه اثرهای پراکندگی رامان درون‌تپی و پاشندگی مرتبه سه بر توزیع زمانی و طیف بسامدی سالیتون‌های روشن و تاریکِ منتشرشده در یک فیبر شکست‌مضاعف بررسی شده‌است. پراکندگی رامان درون‌تپی باعث یک تأخیر زمانی، و انتقال انرژی بین قله‌های بسامدی طیف پالس شده و اثر پاشندگی مرتبه سه باعث شکسته‌شدن پالس به پالس‌های کوچک‌تر و انتقال مرکز پالس به سمت چپ یا راست پالس، و نیز باعث انتقال انرژی بین قله‌های بسامدی طیف پالس طی انتشار می‌شود. نشان داده‌ایم که اثرهای غیرخطی و پاشندگی مرتبه بالاتر در توان‌های بالا به دلیل غیرخطی بودن محیط، بر انتشار پالس اثر می‌گذارند ولی در محیط‌های خطی افزایش توان پالس ورودی تأثیری بر پالس خروجی نمی‌گذارد. در ادامه کلیدزنی تمام‌نوری در فیبرهای غیرخطی شکست‌مضاعف مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که انتقال انرژی بین پالس‌های کنترل و سیگنالِ منتشرشده در فیبر، از طریق بهره رامان پالس کنترل و در طول هم‌پوشانی دو پالس اتفاق می‌افتد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که کلیدزنی تمام‌نوری در مورد سالیتون‌های روشن ورودی اتفاق نمی‌افتد اما می‌توان با سالیتون‌های تاریک ورودی به کلیدزنی تمام‌نوری در یک فیبر شکست‌مضاعف دست یافت.

فهرست مطالب

فصل اول: اپتیک غیرخطی

مقدمه ۲
۱-۱ قطبش غیرخطی ۳
۱-۲ تولید هارمونیک دوم ۴
۱-۳ تولید هارمونیک سوم و اثر کِر نوری ۵
۱-۳-۱ خودفازی ۶
۱-۳-۲ بهره رامان ۶

فصل دوم: فیبرهای نوری غیرخطی

مقدمه ۱۰
۲-۱ ساختار فیبرهای نوری ۱۰
۲-۲ معادلات ماکسول در فیبرهای نوری ۱۳
۲-۳ معادله غیرخطی انتشار پالس در فیبرهای نوری ۱۶
۲-۳-۱ پاشندگی سرعت‌گروه ۲۰
۲-۳-۲ خودفازی ۲۲
۲-۳-۳ دگرفازی ۲۳
۲-۳-۴ معادله انتشار پالس در فیبرهای شکست‌مضاعف ۲۵

فصل سوم: سالیتون‌های نوری

مقدمه ۳۲
۳-۱ سالیتون‌های زمانی ۳۲
۳-۲ اثرهای غیرخطی و پاشندگی مرتبه بالاتر بر انتشار سالیتون‌های روشن و تاریک ۳۸

فصل چهارم: انتشار پالس در فیبرهای شکست‌مضاعف با در نظر گرفتن اثرهای غیرخطی و پاشندگی مرتبه بالاتر

مقدمه ۴۸

۴-۱ اثرهای غیرخطی و پاشندگی مرتبه بالاتر بر انتشار سالیتون‌های تاریک در فیبر شکست-مضاعف ۴۸
۴-۲ اثرهای غیرخطی و پاشندگی مرتبه بالاتر بر انتشار سالیتون‌های روشن در فیبر شکست-مضاعف ۵۷
فصل پنجم: کلیدزنی فوق‌سریع تمام‌نوری در فیبرهای غیرخطی شکست-مضاعف
مقدمه ۶۶
۵-۱ بررسی کلیدزنی تمام‌نوری در فیبرهای شکست‌مضاعف با سالیتون‌های تاریک ورودی ۶۶
۵-۲ بررسی کلیدزنی تمام‌نوری در فیبرهای شکست‌مضاعف با سالیتون‌های روشن ورودی..... ۷۲
نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۷۶
مراجع ۷۷

فهرست شکل‌ها

شکل۱-۱: نمودار $p-E$ برای الف) یک محیط خطی، ب) یک محیط غیرخطی.....۳

شکل ۱-۲ تولید هارمونیک دوم، الف) هندسه برهم‌کنش، ب) سطوح انرژی..... ۴

شکل ۲-۱: سطح مقطع و نمای ضریب‌شکست یک فیبر ضریب‌پله‌ای.....۱۱

شکل ۲-۲: نمودار ضریب‌جذب فیبر شیشه سیلیکا بر حسب طول‌موج، کمینه موضعی در طول‌موج $1.3\mu m$ ($\alpha \approx 0.3dB/Km$) و کمینه مطلق در طول‌موج $1.55\mu m$ ($\alpha \approx 0.15dB/Km$).....۱۲

شکل ۲-۳: پهن‌شدگی یک پالس گوسی بر اثر پاشندگی سرعت‌گروه.....۲۱

شکل ۲-۴: پهن‌شدگی طیف یک پالس گوسی بدلیل خودفازی. زیرنویس نمودارها ϕ_{max} می‌باشد ۲۳

شکل ۲-۵: تغییر قطبش در امتداد یک فیبر تک‌مد مربوط به یک موج ورودی دارای قطبش خطی که با محور کند فیبر زاویه ۴۵ درجه می‌سازد..... ۲۶

شکل ۳-۱: انتشار سالیتون روشن مرتبه اول. الف: توزیع زمانی سالیتون، ب: طیف بسامدی سالیتون.....۳۵

شکل ۳-۲: انتشار سالیتون روشن مرتبه دوم. الف: توزیع زمانی سالیتون، ب: طیف بسامدی سالیتون.....۳۶

شکل ۳-۳: انتشار سالیتون تاریک مرتبه اول. الف: توزیع زمانی سالیتون، ب: طیف بسامدی سالیتون.....۳۷

شکل ۳-۴: انتشار سالیتون تاریک مرتبه سوم. الف: توزیع زمانی سالیتون، ب: طیف بسامدی سالیتون ۳۷

شکل ۳-۵: اثر خودسرازیری بر انتشار سالیتون مرتبه دوم. الف: سالیتون روشن، ب: سالیتون تاریک، در این شکل $\alpha = \delta_3 = \tau_R = 0$ و $s = 0.2$ است.....۴۰

شکل ۳-۶: اثر خودسرازیری بر انتشار سالیتون مرتبه اول. الف: سالیتون روشن، ب: سالیتون تاریک، در این شکل $\alpha = \delta_3 = \tau_R = 0$ و $s = 0.2$ است.....۴۱

شکل ۳-۷: اثر پراکندگی رامان درون‌تپی بر انتشار سالیتون روشن مرتبه دوم، در این شکل $\alpha=\delta_3=s=0$ و $\tau_R=0.01$ است ۴۱

شکل ۳-۸: طیف بسامدی یک سالیتون روشن مرتبه دوم. الف: با در نظر گرفتن اثر خودفازی. در این شکل $\alpha=\delta_3=s=\tau_R=0$ است، ب: با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون‌تپی بر پهن-شدگی طیف توسط خودفازی، در این شکل $\alpha=\delta_3=s=0$ و $\tau_R=0.1$ است ۴۲

شکل ۳-۹: اثر پراکندگی رامان درون‌تپی بر انتشار سالیتون تاریک مرتبه دوم. در این شکل $\alpha=\delta_3=s=0$ و $\tau_R=0.1$ است ۴۲

شکل ۳-۱۰: طیف بسامدی یک سالیتون تاریک مرتبه دوم، الف: با در نظر گرفتن اثر خودفازی. در این شکل $\alpha=\delta_3=s=\tau_R=0$ است، ب: با در نظر گرفتن اثر پراکندگی رامان درون‌تپی بر پهن-شدگی طیف توسط خودفازی، در این شکل $\alpha=\delta_3=s=0$ و $\tau_R=0.1$ است ۴۳

شکل ۳-۱۱: اثر پاشندگی مرتبه سه بر سالیتون روشن مرتبه دوم در $\xi'=2$. الف: توزیع زمانی سالیتون، ب: طیف بسامدی سالیتون، در این شکل $sgn(\beta_3`)=1$ است ۴۴

شکل ۳-۱۲: اثر پاشندگی مرتبه سه بر سالیتون تاریک مرتبه دوم در $\xi'=2$. الف: توزیع زمانی سالیتون، ب: طیف بسامدی سالیتون، در این شکل $sgn(\beta_3`)=1$ است ۴۵

شکل ۴-۱: توزیع زمانی و طیف بسامدی پالس‌های کنترل و سیگنالِ (سالیتون‌های تاریک) منتشرشده در یک فیبر شکست‌مضاعف در $\xi=2$. الف: توزیع زمانی پالس کنترل، ب: توزیع زمانی پالس سیگنال، پ: طیف بسامدی پالس کنترل، ت: طیف بسامدی پالس سیگنال، در این شکل $B=2/3$، $L_D/L_W=5$ و $\delta_3=s=\tau_R=0$ است ۵۰

شکل ۴-۲: توزیع زمانی و طیف بسامدی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های تاریک) در فیبر شکست‌مضاعف در $\xi=2$ با در نظر گرفتن اثرهای پراکندگی رامان درون‌تپی و پاشندگی مرتبه سه. الف:توزیع زمانی پالس کنترل، ب: توزیع زمانی پالس سیگنال، پ: طیف بسامدی پالس کنترل، ت: طیف بسامدی پالس سیگنال، در این شکل $B=2/3$، $L_D/L_W=5$ و $s=0$ است ۵۵

شکل ۴-۳: انرژی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های تاریک) در فیبر شکست‌مضاعف بر حسب مسافت طی‌شده. الف: با در نظر گرفتن اثر خودفازی، ب: با در نظر گرفتن اثر خودفازی و پراکندگی رامان درون‌تپی، پ: با در نظر گرفتن اثر خودفازی و پاشندگی مرتبه سه، ت: با در نظر گرفتن اثرات خودفازی، پراکندگی رامان درون‌تپی و پاشندگی مرتبه سه، نمودار بالا مربوط به پالس کنترل و نمودار پایین مربوط به پالس سیگنال است..... ۵۷

شکل ۴-۴: توزیع زمانی و طیف بسامدی پالس‌های کنترل و سیگنالِ (سالیتون‌های روشن) منتشرشده در یک فیبر شکست‌مضاعف در $\xi=1$. الف: توزیع زمانی پالس کنترل، ب:توزیع زمانی پالس سیگنال، پ: طیف بسامدی پالس کنترل، ت: طیف بسامدی پالس سیگنال، در این شکل $B=2/3$، $L_D/L_W=4$ و $\delta_3=s=\tau_R=0$ است..... ۵۸

شکل ۴-۵: توزیع زمانی و طیف بسامدی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های روشن) در فیبر شکست‌مضاعف در $\xi=1$ با در نظر گرفتن اثرات پراکندگی رامان درون‌تپی و پاشندگی مرتبه سه. الف: توزیع زمانی پالس کنترل، ب: توزیع زمانی پالس سیگنال، پ: طیف بسامدی پالس کنترل، ت: طیف بسامدی پالس سیگنال، در این شکل $B=2/3$، $L_D/L_W=4$ و $s=0$ است..... ۶۲

شکل ۴-۶: انرژی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های روشن) در فیبر شکست‌مضاعف بر حسب مسافت طی‌شده. الف: با در نظر گرفتن اثر خودفازی، ب: با در نظر گرفتن اثر خودفازی و پراکندگی رامان درون‌تپی، پ: با در نظر گرفتن اثر خودفازی و پاشندگی مرتبه سه، ت: با در نظر گرفتن اثرات خودفازی، پراکندگی رامان درون‌تپی و پاشندگی مرتبه سه، نمودار بالا مربوط به پالس کنترل و نمودار پایین مربوط به پالس سیگنال است..... ۶۴

شکل ۵-۱: پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های تاریک) در $\xi=2$ بر حسب توان ورودی پالس کنترل با در نظر گرفتن اثرهای پراکندگی رامان درون‌تپی و پاشندگی مرتبه سه. نمودارهای نقطه‌چین مربوط به پالس سیگنال و نمودارهای خط‌پیوسته مربوط به پالس کنترل است، در این شکل $\delta_3=0.05$، $\tau_R=0.1$، $s=0$، $L_D/L_G=0.6$، $L_D/L_W=5$ و $P_{0s}=0.25$ است... ۶۸

شکل ۵-۲: پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های تاریک) در $\xi = 2$ بر حسب توان ورودی پالس کنترل. نمودارهای نقطه‌چین مربوط به پالس سیگنال و نمودارهای خط‌پیوسته مربوط به پالس کنترل است، در این شکل $\delta_3 = \tau_R = s = 0$، $L_D / L_G = 0.6$، $L_D / L_W = 5$ و $P_{0s} = 0.25$ است ۶۹

شکل ۵-۳: انرژی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های تاریک) در $\xi = 2$ بر حسب توان ورودی پالس کنترل. نمودار نقطه‌چین مربوط به پالس سیگنال و نمودار خط‌پیوسته مربوط به پالس کنترل است، در این شکل $\delta_3 = 0.05$، $\tau_R = 0.1$ و $s = 0$ است ۷۰

شکل ۵-۴: انرژی پالس‌های کنترل و سیگنال در $\xi = 2$ بر حسب توان ورودی پالس کنترل. نمودار نقطه‌چین مربوط به پالس سیگنال و نمودار خط‌پیوسته مربوط به پالس کنترل است، در این شکل $\delta_3 = 0.06$، $\tau_R = 0.15$ و $s = 0$ است ۷۱

شکل ۵-۵: انرژی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های تاریک) در $\xi = 2$ بر حسب توان ورودی پالس کنترل. نمودار نقطه‌چین مربوط به پالس سیگنال و نمودار خط‌پیوسته مربوط به پالس کنترل است، در این شکل $\delta_3 = \tau_R = s = 0$ است ۷۱

شکل ۵-۶: پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های روشن) در $\xi = 2$ بر حسب توان ورودی پالس کنترل با در نظر گرفتن اثرهای پراکندگی رامان درون‌تپی و پاشندگی مرتبه سه. نمودارهای نقطه‌چین مربوط به پالس سیگنال و نمودارهای خط‌پیوسته مربوط به پالس کنترل است، در این شکل $\delta_3 = 0.05$، $\tau_R = 0.1$، $s = 0$، $L_D / L_G = 2.5$، $L_D / L_W = 4$ و $P_{0s} = 0.25$ است .. ۷۲

شکل ۵-۷: پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های روشن) در $\xi = 2$ بر حسب توان ورودی پالس کنترل. نمودارهای نقطه‌چین مربوط به پالس سیگنال و نمودارهای خط‌پیوسته مربوط به پالس کنترل است، در این شکل $\delta_3 = \tau_R = s = 0$، $L_D / L_G = 2.5$، $L_D / L_W = 4$ و $P_{0s} = 0.25$ است ۷۳

شکل ۵-۸: انرژی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های روشن) در $\xi = 2$ بر حسب توان ورودی پالس کنترل. نمودار نقطه‌چین مربوط به پالس سیگنال و نمودار خط‌پیوسته مربوط به پالس کنترل است، در این شکل $\delta_3 = 0.05$، $\tau_R = 0.1$ و $s = 0$ است ۷۴

شکل ۵-۹: انرژی پالس‌های کنترل و سیگنال در $\xi = 2$ بر حسب توان ورودی پالس کنترل. نمودار نقطه‌چین مربوط به پالس سیگنال و نمودار خط‌پیوسته مربوط به پالس کنترل است، در این شکل $\delta_3 = 0.06$، $\tau_R = 0.15$ و $s = 0$ است..... ۷۵
شکل ۵-۱۰: انرژی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های روشن) در $\xi = 2$ بر حسب توان ورودی پالس کنترل. نمودار نقطه‌چین مربوط به پالس سیگنال و نمودار خط‌پیوسته مربوط به پالس کنترل است، در این شکل $\delta_3 = \tau_R = s = 0$ است..... ۷۵

فهرست جدول‌ها

جدول ۴-۱ : اثر پراکندگی رامان درون‌تپی بر توزیع زمانی و طیف بسامدی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های تاریک) به ازای مقادیرمختلف τ_R. در این نمودارها $\delta_3 = s = 0$ و $\xi = 2$ است ۵۴

جدول ۴-۲ : اثر پاشندگی مرتبه سه بر توزیع زمانی و طیف بسامدی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های تاریک) به ازای مقادیر مختلف δ_3. در این نمودارها $\tau_R = s = 0$ و $\xi = 2$ است ۵۶

جدول ۴-۳ : اثر پراکندگی رامان درون‌تپی بر توزیع زمانی و طیف بسامدی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های روشن) به ازای مقادیرمختلف τ_R. در این نمودارها $\delta_3 = s = 0$ و $\xi = 1$ است ۶۱

جدول ۴-۴ : اثر پاشندگی مرتبه سه بر توزیع زمانی و طیف بسامدی پالس‌های کنترل و سیگنال (سالیتون‌های روشن) به ازای مقادیر مختلف δ_3. در این نمودارها $\tau_R = s = 0$ و $\xi = 1$ است ۶۳

فصل اول

اپتیک غیرخطی

مقدمه

در طول تاریخ نورشناخت، در واقع تا سال ۱۹۶۰ میلادی فرض بر این بود که همه‌ی محیط-های نوری، خطی هستند، این فرض نتایج زیادی در بر داشت که عبارتنداز:

الف: ویژگی‌های نوری مواد مانند ضریب‌شکست و ضریب‌جذب مستقل از شدت میدان می‌باشد.

ب: اصل برهم‌نهی، به عنوان یکی از اصول زیربنایی اپتیک کلاسیک صادق است.

ج: بسامد نور با عبور از یک محیط تغییر نمی‌کند.

د: دو باریکه نور در یک ناحیه از محیط تأثیری بر یکدیگر نمی‌گذارند، بنابراین نمی‌توان از نور برای کنترل نور استفاده کرد.

عملکرد اولین لیزر در سال ۱۹۶۰ میلادی امکان بررسی رفتار نور در شدت‌هایی بالاتر از آنچه در گذشته میسر بود را در محیط‌های نوری فراهم آورد. آزمایشات انجام‌شده در محیط‌های لیزری به طور واضح نشان دادند که محیط‌های نوری در حقیقت رفتارهای غیرخطی از خود نشان می‌دهند که در زیر به بعضی از آن‌ها اشاره می‌شود

الف: ضریب‌شکست محیط و متعاقباً سرعت نور در محیط‌های نوری غیرخطی به شدت میدان ورودی بستگی دارد.

ب: اصل برهم‌نهی در یک محیط نوری غیرخطی نقض می‌شود.

ج: بسامد نور با عبور از یک محیط نوری غیرخطی تغییر می‌کند.

د: فوتون‌ها در یک محیط نوری غیرخطی با هم برهم‌کنش می‌کنند بنابراین می‌توان از نور برای کنترل نور استفاده کرد.

حوزه اپتیک غیرخطی گروهی از پدیده‌های جالب‌توجه را نشان می‌دهد به عنوان مثال می‌توان به تولید هارمونیک دوم و سوم، خودفازی، خودکانونی و دگرفازی اشاره کرد. بعضی از این پدیده‌ها در ادامه توضیح داده‌می‌شوند. رفتارهای نوری غیرخطی با انتشار نور در فضای آزاد مشاهده نمی‌شود، غیرخطی بودن بیشتر، به محیط انتشار نور بستگی دارد تا به ویژگی‌های نور، بنابراین برهم‌کنش نور با نور، فقط به واسطه محیط غیرخطی امکان‌پذیر است. در واقع حضور یک میدان نوری