بسم الله الرحمن الرحيم
الحمد لله رب العالمين الرحمن الرحيم مالك يوم الدين
اهدنا الصراط المستقيم صراط الذين
انعمت عليهم غير المغضوب عليهم
ولا الضالين

دانشگاه یزد
دانشکده فیزیک

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
فیزیک اتمی و مولکولی

بررسی انتشار زوج سالیتون‌های فضایی در مدار اپتیکی نورشکستی دوفوتونی بدون منبع تغذیه

استاد راهنما: دکتر محسن حاتمی

دکتر علیرضا کشاورز

استاد مشاور: دکتر محمدکاظم توسلی

پژوهش و نگارش: زهرا عباسی

بهمن ۱۳۸۹

تقدیم به:

پدر و مادرم

که همواره شمع وجودشان چراغ هدایتی در مسیر پر تلاطم زندگیم است.

همسرم

که در تمام این مدت صبورانه مراهمراهی نمود.

تشکر و قدردانی:

با تقدیم احترام و تقدیر فراوان از اساتید محترم راهنما جناب آقای دکتر محسن حاتمی و جناب آقای دکتر علیرضا کشاورز و همچنین استاد محترم مشاور جناب آقای دکتر محمدکاظم توسلی به جهت راهنمایی و تلاشی که به منظور به ثمر رساندن این اثر مبذول داشتند.

چکیده:

مطالعه پدیده‌های غیرخطی در مواد نورشکستی سابقه‌ای طولانی دارد. ویژگی‌های غیرخطی مواد نورشکستی باعث تشکیل سالیتون‌های فضایی در موجبرهای بلورهای نورشکستی می‌شود. همچنین شکل گرفتن این سالیتون‌ها در مدار اپتیکی نورشکستی از اهمیت خاصی در سیستم‌های اپتیکی برخوردار می‌باشد و در این میان ما زوج سالیتون‌های نورشکستی فضایی را انتخاب و انتشار آن‌ها را در این بلورها تحت مدل دوفوتونی بررسی کردیم. در این پایان‌نامه ابتدا اثر الکترواپتیکی را بیان و در پی آن اثر نورشکستی را بررسی کردیم. در ادامه گذر کوتاهی نیز بر معادلات حاکم بر مواد نورشکستی بر پایه دو مدل تک فوتونی و دو فوتونی داشتیم و سپس گذر کوتاهی به سالیتون‌های نورشکستی داشتیم و تئوری عمومی آن‌ها را در یک بعد در حالت پایا و بر پایه دو مدل تک فوتونی و دو فوتونی بررسی کردیم و در ادامه زوج سالیتون‌های نورشکستی را در مدار اپتیکی نورشکستی بدون بایاس مورد مطالعه قرار دادیم و شبیه‌سازی انتشار و تأثیر زوج سالیتون‌ها روی یکدیگر را در حالت دو فوتونی و بدون جمله پخش، به کمک روش رانگ-کوتا و کرانک-نیکلسون نشان دادیم. که برای حل شرایط مرزی از روش رانگ-کوتا استفاده شد. در قدم بعد اثر خودانحرافی سالیتون روشن را در حالت دو فوتونی مورد بررسی قرار دادیم. همچنین نشان دادیم این سالیتون‌ها در برابر اختلال کوچک پایدارند و در پایان برهم‌کنش ناهمدوس زوج سالیتون روشن-روشن در مدار اپتیکی نورشکستی را با همان روش‌های عددی و تغییر فاصله دو پرتو، و تأثیر میدان خارجی روی برهم‌کنش ناهمدوس در حالت زوج سالیتون نورولتایی روشن-روشن در مدار اپتیکی نورشکستی بدون بایاس دو فوتونی بررسی گردید و نتایج قابل قبولی حاصل شد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: نگاهی به مواد نورشکستی ۱

مقدمه ۳

۱-۱ اثر الکترواپتیک ۴

۱-۱-۱اثر الکترواپتیکی در مواد ناهمسانگرد ۶

۱-۱-۲ اثرات پاکلز و کر ۷

۱-۱-۳ تقارن بلور ۸

۱-۱-۳-۱ اثر پاکلز ۹

۱-۲ اثر نورشکستی ۱۱

۱-۳ معادلات نورشکستیِ تک فوتونی به وسیله مدل کوختارف ۱۵

۱-۴ معادلات نورشکستی دو فوتونی به وسیله مدل کاسترو-کاموس ۱۷

فصل دوم: سالیتون‌های نورشکستی ۲۱

مقدمه ۲۳

۲-۱سالیتون‌های نورشکستی ۲۴

۲-۱-۱ سالیتون‌های شبه پایا ۲۶

۲-۱-۲ سالیتون‌های پوششی ۲۷

۲-۱-۳ سالیتون‌های نورولتایی ۲۸

۲-۱-۴ سالیتون‌های پوششی- نورولتایی ۲۹

۲-۲ مبانی نظری سالیتون‌های نورشکستی حالت پایا در یک بعد ۲۹

۲-۲-۱ سالیتون‌های نورشکستی فضایی تک فوتونی ۲۹

۲-۲-۲ سالیتون‌های نورشکستی فضایی دو فوتونی ۳۷

فصل سوم: زوج سالیتون‌های فضایی نورشکستی مجزا ۴۱
مقدمه ۴۳
۳-۱ زوج سالیتون‌های فضایی نورشکستی مجزا در یک مدار اپتیکی بدون بایاس ۴۴
۳-۱-۱حالت تک فوتونی ۴۴
۳-۱-۲ حالت دو فوتونی ۵۲
۳-۱-۲-۱ زوج سالیتون فضایی مجزا: تاریک-تاریک ۵۶
۳-۱-۲-۲ زوج سالیتون فضایی مجزا: تاریک-روشن ۵۷
۳-۱-۲-۳ زوج سالیتون فضایی مجزا: روشن-روشن ۵۸
۳-۱-۲-۴ شبیه‌سازی عددی ۵۹
۳-۲ خود-انحرافی سالیتون روشن در زوج سالیتون‌های نورشکستی در یک مدار اپتیکی نورشکستی بدون بایاس در حالت دو فوتونی ۶۳
فصل چهارم: برهم‌کنش ناهمدوس میان سالیتون‌های نورشکستی روشن در مدار اپتیکی نورشکستی دو فوتونی بدون بایاس ۶۷
مقدمه ۶۹
۴-۱ برهم‌کنش همدوس و ناهمدوس ۶۹
۴-۲ برهم‌کنش زوج سالیتون نورولتایی روشن-روشن ناهمدوس در مدار اپتیکی نورشکستی دو فوتونی بدون بایاس ۷۳
۴-۲-۱ شبیه سازی عددی برهم‌کنش سالیتون‌های ناهمدوس ۷۴
۴-۳ برهم‌کنش زوج سالیتون نورولتایی روشن-روشن ناهمدوس دو فوتونی در بلور نورولتایی تحت شرایط مدار باز ۸۰
۴-۳-۱ شبیه سازی عددی برهم‌کنش سالیتون‌های ناهمدوس ۸۱
۴-۴ سالیتون پوششی روشن دو فوتونی ناهمدوس و برهم‌کنش میان آن‌ها ۸۳
۴-۴-۱ سالیتون پوششی روشن دوفوتونی ۸۳

۴-۴-۲ برهم‌کنش زوج سالیتون پوششی روشن-روشن ناهمدوس دو فوتونی در بلور SBN ۸۵
۴-۴-۲-۱ شبیه سازی عددی برهم‌کنش سالیتون‌های ناهمدوس ۸۶
فصل پنجم: نتایج و پیشنهادات ۸۹
۵-۱ خلاصه و نتیجه‌گیری ۹۱
۵-۲ پیشنهادات ۹۳
پیوست الف ۹۵
مراجع ۹۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱) : یک میدان الکتریکی پایا، ضریب شکست ماده الکترواپتیکی را تغییر می‌دهد و بر روی انتشار نور در آن ماده اثر می‌گذارد. بنابراین می‌توان با اعمال میدان الکتریکی، نور را کنترل کرد[۳]. ۳

شکل (۱-۲) : ضرایب بیضوی مختصات (x,y,z) محورهای اصلی هستند و n_1 و n_2 و n_3 ضرایب شکست اصلی می‌باشند. ضرایب شکست مدهای نرمال یک موج حرکت کننده درجهت k، n_a و n_b می‌باشند[۳]. ۶

شکل(۱-۳) : ضریب شکست بیضوی به عنوان نتیجه‌ای از به کارگیری یک میدان الکتریکی پایا تغییرمی‌کند[۳]. ۷

شکل(۱-۴): تغییر بیضوی ضرایب یک بلور۳m قطری به وسیله یک میدان الکتریکی در جهت محور اپتیکی[۳]. ۱۰

شکل(۱-۵) : مدل استاندارد اثر نورشکستی[۵]. ۱۲

شکل(۱-۶): منشأ اثر نورشکستی بر نمودارهای توزیع شدت، بار فضایی، میدان الکتریکی و تغییرات ضریب شکست برحسب فاصله[۶]. ۱۴

شکل(۱-۷): پاسخ ماده نورشکست به نمودار نوری فضایی سینوسی[۳]. ۱۴

شکل(۱-۸) : ترازهای انرژی و جمعیت آن‌ها[۶]. ۱۵

شکل(۱-۹): ترازهای انرژی در مدل دو فوتونی[۷]. ۱۸

شکل(۲-۱):چیدمان آزمایشگاهی به کاربرده‌شده برای مشاهده سالیتون‌های نورشکستی[۹]. ۲۵

شکل(۲-۲): نمایش مدارالکتریکی شامل یک بلور نورشکست یا نورشکست نورولتایی، یک میدان الکتریکی خارجی با ولتاژ بایاس V_a و یک مقاومت در مدار خارجی[۲۵]. ۳۰

شکل(۲-۳) : توزیع حامل‌های بار در محیط نورشکستی. نمودار شدت نرمال سالیتون های تاریک پوششی، پوششی-نورولتایی و نورولتایی مداربسته و باز با $\rho=10$. (۱)سالیتون‌های پوششی تاریک $g=1$، $\alpha=0$ و $\beta=-100$ (۲) سالیتون‌های پوششی–نورولتایی تاریک $g=1$، $\alpha=-100$ و $\beta=-100$ (۳)سالیتون‌های نورولتایی مدار باز تاریک $g=0$، $\alpha=-100$ و $\beta=0$ (۴) سالیتون‌های نورولتایی مدار بسته تاریک $g=1$، $\alpha=-100$و $\beta=0$ [۲۵]..... ۳۶

شکل(۲-۴) : منشا نمودار شدت نرمال سالیتون‌های روشن پوششی، پوششی-نورولتایی و نورولتایی مدار بسته و باز با $r=10$ (۱) سالیتون‌های پوششی روشن $g=1$، $\alpha=0$ و $\beta=100$ (۲) سالیتون‌های پوششی- نورولتایی روشن $g=1$، $\alpha=100$ و $\beta=100$ (۳) سالیتون‌های نورولتایی مدار باز روشن $g=0$ ، $\alpha=100$ و $\beta=0$ (۴) سالیتون‌های نورولتایی مدار بسته روشن $g=1$، $\alpha=100$ و $\beta=0$ [۲۵]..... ۳۶

شکل(۲-۵) : نمایش مدار الکتریکی شامل یک بلور نورشکست نورولتایی ،یک میدان الکتریکی خارجی، با ولتاژ بایاس V_a و مقاومت R در مدارخارجی. I_1 شدت پرتو ورودی و I_2 شدت پرتو سالیتونی است[۲۴]..... ۳۷

شکل(۳-۱): نمایش مدار اپتیکی نورشکستی شامل دو بلور نورشکستی که حداقل یکی باید نورولتایی باشد. (۱) محور اپتیکی c دو بلور در جهت راستگرد نسبت به یگدیگر قرارگرفته‌اندکه با $\uparrow\uparrow$ نشان داده شده‌است. (۲) محور اپتیکی c یک بلور در جهت راستگرد و دیگری چپگرد می‌باشد که با $\uparrow\downarrow$ نشان داده‌می‌شود. P و $\hat{P}$ نشان‌دهنده دو بلور می‌باشند و c و $\hat{c}$ دو محور c را مشخص می‌کنند I_0 و $\hat{I}_0$ پرتوهای لیزر یک بعدی شبه سالیتونی تاریک و روشن ورودی را نشان می‌دهند [۸]..... ۴۵

شکل(۳-۲): نمایش مدار اپتیکی نورشکست دو فوتونی شامل دو بلور که حداقل یکی از آن‌ها باید نورولتایی باشد. (a) محور c بلورها در جهت چرخش راستگرد قرار دارند که با $\uparrow\uparrow$ نشان داده می‌شود. (b) محور c یک بلور در جهت پیچش راستگرد و دیگری چپگرد می‌باشد و نشان داده شده با $\uparrow\downarrow$. I_1 شدت پرتو ورودی و I_2شدت پرتو سالیتونی است[۲۶]..... ۵۲

شکل (۳-۳): نمودارسالیتون روشن در بلور P ۶۰

شکل (۳-۴): نمودارسالیتون تاریک در بلور $\hat{P}$ ۶۱

شکل (۳-۵): انتشار پایدار برای (الف) سالیتون روشن (ب) سالیتون تاریک در زوج سالیتون تاریک-روشن..... ۶۱

شکل(۳-۶): نمایش انتشار نقاط بیشینه در (الف) سالیتون روشن برای $r=1$ و $\beta=21.7580$ (ب) سالیتون تاریک برای $\rho=1$ و $\hat{\beta}=21.7580$ در زوج سالیتون تاریک-روشن هنگامی که دامنه به اندازه ۳۰٪ دچار اختلال می‌شود..... ۶۲.

شکل (۳-۷): تغییر دینامیکی سالیتون روشن برای $\beta=21.7580$ و $\delta=1.5$ (الف) نمایش انتشار سالیتون روشن در سه بعد. (ب) در دو بعد..... ۶۶

شکل (۴-۱): نمایش دو سالیتون برهم‌کنش کننده همدوس هم‌فاز: (الف) ضریب شکست محیط در اثر تأثیر متقابل دو سالیتون. (ب) تابع توزیع شدت دو سالیتون برهم‌کنش کننده. (ج) تابع توزیع دامنه دو سالیتون برهم‌کنش کننده. افزایش شدت در اثر تأثیر متقابل دو پرتو منجر به افزایش ضریب شکست نسبت به تأثیر مستقل هر دو پرتو می‌شود و بنابراین دو پرتو یکدیگر را جذب می‌کنند[۳۲]..... ۷۱

شکل (۴-۲): نمایش دو سالیتون برهم‌کنش کننده همدوس ناهم‌فاز: (الف) ضریب شکست محیط در اثر تأثیر متقابل دو سالیتون (ب) تابع توزیع شدت دو سالیتون برهم‌کنش کننده. (ج) تابع توزیع دامنه دو سالیتون برهم‌کنش کننده. کاهش شدت در اثر تأثیر متقابل دو پرتو منجر به کاهش ضریب شکست در اثر تأثیر مستقل هر دو پرتو می‌شود و بنابراین دو پرتو یکدیگر را دفع می‌کنند[۳۲]..... ۷۱

شکل (۴-۳): نمایش دو سالیتون برهم‌کنش کننده ناهمدوس ناهم‌فاز: (الف) افزایش ضریب شکست محیط دراثر تأثیر متقابل دو سالیتون. (ب) افزایش تابع توزیع شدت دو سالیتون برهم‌کنش کننده [۳۲]..... ۷۲

شکل (۴-۴): نمایش مدار اپتیکی نورشکستی برای بررسی برهم‌کنش زوج سالیتون نورولتایی روشن-روشن ناهمدوس در مدار اپتیکی نورشکستی بدون بایاس دو فوتونی..... ۷۵

شکل (۴-۵): تصویر برهم‌کنش بین دو سالیتون نورولتایی روشن ناهمدوس با شدت و قطبش یکسان در بلور $LiNbO_3$ برای $r=1$در حالت انتشار در نمایش سه بعدی و دو بعدی برای (الف) $\Delta s=0.2$. (ب) $\Delta s=0.4$. (ج) $\Delta s=0.8$ ۷۶

شکل (۴-۶): تصویر برهم‌کنش بین دو سالیتون نورولتایی روشن ناهمدوس در حالت مدار بسته با شدت و قطبش یکسان در بلور $LiNbO_3$برای $r=1$ در حالت انتشار درنمایش سه بعدی و دو بعدی برای (الف) $\Delta s=1.2$. (ب) $\Delta s=1.6$. (ج) $\Delta s=2$ ۷۷

شکل (۴-۷): تصویر برهم‌کنش بین دو سالیتون نورولتایی روشن ناهمدوس در حالت مدار بسته با شدت و قطبش یکسان در بلور $LiNbO_3$برای $r=1$ برای (الف) $1/4\,E_0$. : (۱) Δs=2 (۲) Δs=4 . (ب) $1/2E_0$ (۱) Δs=2 (۲) Δs=4 (ج) E_0. (۱) Δs=2 (۲) Δs=4 . (د) $2E_0$. (۱) Δs=2 (۲) Δs=4. ..... ۷۹

شکل(۴-۸): نمایش مدار اپتیکی نورشکستی-نورولتایی برای بررسی برهم‌کنش زوج سالیتون نورولتایی روشن-روشن ناهمدوس در حالت مدار باز دو فوتونی..... ۸۱

شکل (۴-۹): تصویر برهم‌کنش بین دو سالیتون نورولتایی روشن ناهمدوس در حالت مدار باز با شدت و قطبش یکسان در بلور $Cu:KNSBN$ برای $r=1$ در حالت انتشار و در نمایش سه بعدی و دو بعدی برای (الف) $\Delta s=0.2$، (ب) $\Delta s=0.4$.(ج) $\Delta s=0.8$، (د) $\Delta s=1.2$ ، (ه) $\Delta s=1.6$ ، (ی) $\Delta s=2$ ۸۱

شکل (۴-۱۰): (الف) تصویر شدت نرمال (ب) انتشار پایدار برای سالیتون پوششی روشن در بلور SBN برای $r=1$. ۸۵

شکل (۴-۱۱): تصویر برهم‌کنش بین زوج سالیتون پوششی روشن ناهمدوس با شدت و قطبش یکسان در بلور SBN برای $r=1$ در حالت انتشار و در نمایش سه بعدی و دو بعدی برای (الف) $\Delta s=0.2$، (ب) $\Delta s=0.4$. (ج) $\Delta s=0.8$. (د) $\Delta s=1.2$ (ه) $\Delta s=1.6$ (ی) $\Delta s=2$ (و)

۸۶ ..... $\Delta s = 2.4$

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۱-۱): جدول اندیس I که جفت ضریب (i, j) رانشان می‌دهد[۳]..... ۸

جدول (۳-۱): داده‌های نمودارسالیتون روشن(کمیتها بدون بعد می‌باشند)..... ۵۹

جدول (۳-۲): داده‌های نمودارسالیتون تاریک(کمیتها بدون بعد می‌باشند)..... ۵۹

فصل ۱

نگاهی به مواد نورشکستی