دانشگاه پیام نور

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته فیزیک اتمی و ملکولی
دانشکده علوم
گروه علمی فیزیک

عنوان پایان نامه:

سالیتون های پوششی نورولتاژی تاریک یک بعدی در مواد نورشکستی

استاد راهنما:
دکتر علیرضا کشاورز

استاد مشاور:
دکتر عبدالرسول قرائتی

نگارش:
محمد حسین کامران فرد

اردیبهشت ۸۶

دانشگاه پیام نور

بسمه تعالی

تصویب پایان نامه

پایان نامه تحت عنوان : سالیتون های پوششی نورولتاژی تاریک یک بعدی در مواد نورشکستی

که توسط محمد حسین کامران فرد در مرکز شیراز تهیه و به هیأت داوران ارائه گردیده است مورد تأیید می باشد. تاریخ دفاع: ۸۶/۲/۸ نمره: ۱۹ درجه ارزشیابی : عالی

اعضای هیأت داوران:

نام و نام خانوادگی	هیأت داوران	مرتبه علمی	امضاء
۱– دکتر علیرضا کشاورز	استاد راهنما	استادیار	
۲– دکتر عبدالرسول قرائتی	استاد مشاور	استادیار	
۳– دکتر پرویز الهی	استاد داور	استادیار	
۴– دکتر محمد بهرامی	نماینده تحصیلات تکمیلی	استادیار	

تقدیم به

همسر عزیز و مادر گرامی ام

به پاس لطف و محبت بی دریغشان

سپاسگزاری

از استاد فرزانه و ارجمند جناب آقای دکتر کشاورز که در انجام این پایان‌نامه از هیچ لطف و کوششی رویگردان نبودند، صادقانه تشکر و قدردانی می نمایم.
همچنین از عنایات اساتید محترم، دکتر قرائتی و دکتر الهی صمیمانه سپاسگزارم.

چکیده

سالیتون ها امواجی هستند که با شدت ثابت و بدون پراش درون سیستم های اپتیکی منتشر می شوند. در این پایان نامه ماهیت و معادلات حاکم بر تولید و انتشار سالیتونهای نور شکستی پوششی نور ولتاژی تاریک را بررسی خواهیم کرد.

در ابتدا یک نظریه کلی را برای معادلات ریاضی حاکم بر تولید و انتشار آنها معرفی می کنیم. مدل فیزیکی کوختاروف را برای درک ماهیت فیزیکی سالیتونها و ساز و کار تشکیل و انتشار آنها به کار می گیریم.

باحل عددی معادلات حاکم بر سالیتونهای پوششی نور ولتاژی تاریک، تابع توزیع شدت سالیتونی را بدست آورده و نحوه تغیرات ضریب شکست محیط نور شکستی نور ولتاژی را بررسی می کنیم.

پس از بدست آوردن معادلات ریاضی حاکم بر انتشار زوج سالیتون های تاریک، با استفاده از روش عددی عناصر متناهی نشان خواهیم داد که در حضور پرتوهای قوی و ضعیف، هر دو انتشاری پایدار دارند اما هنگامی که یکی از دو پرتو غایب باشد، انتشار پرتو دیگر نیز با نوساناتی همراه خواهد بود.

در نهایت به معرفی انواع مختلف بر همکنش میان سالیتونها می پردازیم و از میان آنها، برهمکنش ناهمدوس میان سالیتونهای پوششی نور ولتاژی تاریک را بررسی می کنیم. با شبیه سازی عددی بر همکنش میان این سالیتونها نشان خواهیم داد که در بر همکنش ناهمدوس همواره شاهد پدیده جذب سالیتونی هستیم و هر چه فاصله بهنجار دو پرتو کمتر باشد، این جذب در فاصله کمتری رخ خواهد داد.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

مقدمه **۱**

فصل اول: سالیتون‌های اپتیکی فضائی نورشکستی

۱-۱ مقدمه ۳

۱-۲ سالیتون‌های اپتیکی ۵

۱-۳ سالیتون‌های اپتیکی فضائی ۸

۱-۴ سالیتون‌های فضائی نورشکستی ۱۰

۱-۴-۱ اثر نورشکستی ۱۰

۱-۴-۲ مواد نورشکستی ۱۴

۱-۵ نتیجه‌گیری ۱۷

فصل دوم: سالیتون‌های پوششی نورولتاژی تاریک یک بعدی

۲-۱ مقدمه ۱۹

۲-۲ نظریه کلی سالیتون‌های نورشکستی یک بعدی ۲۰

۲-۲-۱ اثر الکترواپتیکی ۲۱

۲-۲-۲ معادله موج پیرامحوری ۲۴

۲-۲-۳ مدل فیزیکی کوختاروف ۲۶

۲-۳ سالیتون فضائی پوششی نورولتاژی تاریک ۳۳

۲-۴ محاسبه ضریب شکست بلور نورشکستی نورولتاژی ۳۷

۲-۵ انتشار پایدار سالیتون پوششی نورولتاژی تاریک ۳۹

۲-۶ نتیجه‌گیری ۴۳

فصل سوم: زوج‌سالیتون‌های جفت شده پوششی نور ولتاژی تاریک
۳-۱ مقدمه ۴۵
۳-۲ معادلات زوج سالیتون پوششی نورولتاژی ناهمدوس تاریک ـ تاریک ۴۶
۳-۳ حل زوج سالیتون تاریک ـ تاریک ۴۸
۳-۴ انتشار زوج سالیتون تاریک ـ تاریک ۵۱
۳-۵ نتیجه‌گیری ۵۹

فصل چهارم: برهمکنش ناهمدوس میان سالیتون‌های پوششی نورولتاژی تاریک
۴-۱ مقدمه ۶۱
۴-۲ معادلات حاکم بر برهمکنش ناهمدوس سالیتون تاریک ۶۵
۴-۳ شبیه‌سازی عددی برهمکنش سالیتون‌های ناهمدوس تاریک ۶۷
۴-۴ نتیجه‌گیری ۷۰

منابع ۷۱

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

فصل اول: سالیتون‌های اپتیکی فضائی نورشکستی

شکل (۱-۱) ۹

شکل (۱-۲) ۱۳

فصل دوم: سالیتون‌های پوششی نورولتاژی تاریک یک بعدی **۱۸**

شکل (۲-۱) ۲۴

شکل (۲-۲) ۲۸

شکل (۲-۳) ۳۵

شکل (۲-۴) ۳۶

شکل (۲-۵) ۳۸

شکل (۲-۶) ۴۲

شکل (۲-۷) ۴۲

فصل سوم: زوج‌سالیتون‌های جفت شده پوششی نور ولتاژی تاریک

شکل (۳-۱) ۴۶

شکل (۳-۲) ۵۰

شکل (۳-۳) ۵۱

شکل (۳-۴) ۵۳

شکل (۳-۵) ۵۴

شکل (۳-۶) ۵۵- ۵۶

شکل (۳-۷) ۵۷- ۵۸

فصل چهارم: برهمکنش ناهمدوس میان سالیتون‌های پوششی نورولتاژی تاریک

شکل (۴-۱) ۶۳
شکل (۴-۲) ۶۴
شکل (۴-۳) ۶۴
شکل (۴-۴) ۶۵
شکل (۴-۵) ۶۸
شکل (۴-۶) ۶۹- ۷۰

فهرست جدول ها

عنوان **صفحه**

فصل دوم: سالیتون‌های پوششی نورولتاژی تاریک یک بعدی

جدول (۲-۱) ۲۴

مقدمه

هدایت و کنترل نور توسط نور یک فناوری در حال پیشرفت است که توجه محققان زیادی در حوزه های علمی مختلف را به خود جلب کرده است. یکی از نامزدهای هدایت و کنترل نور توسط نور در سیستم های اپتیک جمعی سالیتون های فضایی پوششی نور ولتاژی می باشند. شکل گیری این سالیتون ها در مواد نور شکستی به کمک لیزرهای کم توان سبب شده است تا پیشگویی های نظری نظیر انتقال پرتو تاریک توسط پرتو روشن ، الحاق و ایجاد پرتوها در اثر برخورد با یکدیگر و تغییر مسیر یک پرتو در اثر برهم کنش و برخورد با پرتو دیگر در ایجاد کلیدهای اپتیکی با ساختارهای مختلف، در آزمایشگاهها به واقعیت بپیوندد. تکامل سریع سیستم های ارتباطی اپتیکی پر سرعت و پردازش سیگنالعای اپتیکی در صورتی به واقعیت مبدل می شود که ردیف های متعددی از گیت های اپتیکی فوتونی و کلید های اپتیکی تولید شوند و در یک مدار فشرده قرار گیرند.

آنچه در بالا به آن اشاره شد، تنها بخش کوچکی از کاربرد های علمی است که می توان برای سالیتون های اپتیکی انتظار داشت. این امر باعث گشته است که از حدود چهار دهه پیش تا کنون، توجه دانشمندان به این زمینه ی جذاب از علم اپتیک معطوف شود.

در این پایان نامه خواهیم کوشید تا به یکی از انواع سالیتونهای اپتیکی که بسیار کمتر مورد توجه قرار گرفته است بپردازیم. تاکنون سالیتونهای پوششی نور ولتاژی تاریک به علت ماهیت ناپایدار و پیچیدگی معادلات حاکم بر تولید و انتشار آنها، کمتر مورد بحث قرار گرفته اند. امیدواریم نتایج بدست آمده در این پایان نامه زمینه مناسبی را برای تحقیقات گسترده تر دیگر علاقه مندان و دانش پژوهان در این زمینه فراهم آورد.

فصل اول

سالیتونهای اپتیکی فضایی نورشکستی

۱-۱ مقدمه

مفهوم سالیتون ابتدا در ریاضیات مورد توجه و بررسی قرار گرفت. از نظر ریاضیدانان سالیتونها، جوابهای ریاضی دسته مهمی از معادلات دیفرانسیل غیر خطی با مشتقات جزئی در سیستم های انتگرال پذیر می باشند. امروزه اغلب سیستم های فیزیکی غیر خطی با معادلات انتگرال ناپذیر شرح داده می شوند. جواب این معادلات که به امواج منفرد مشهور است نیز امروزه در فیزیک به عنوان سالیتون شناخته می شوند. بنابراین به توصیف فیزیکی سالیتونها می پردازیم.

نخستین بار دانشمندی اسکاتلندی به نام جان . اسکات . راسل[1] در اواسط قرن ۱۸ میلادی امواج منفرد[2] را مشاهده کرد[۱]. او دریافت که در اثر توقف ناگهانی یک قایق در کانال آب، امواجی از آب تشکیل می شود که ساختاری هموار و قله ای گرد داشته و با سرعت و شکل ثابت تا انتهای کانال حرکت می کنند. او همچنین مشاهده کرد که این امواج در اثر برخورد با یکدیگر از میان هم عبور می کنند بدون آنکه شکل و یا سرعت آنها تغییر نماید. پس از این مشاهدات، او به شبیه سازی آنچه دیده بود در آزمایشگاه خود پرداخت و توانست با استفاده از یک تشتک آب که طول آن به نحو قابل ملاحظه ای بزرگتر از عرض و عمق آن بود، این امواج را بازآفرینی کند.

در ادامه شواهد بیشتری از این امواج بدست آمد اما مشاهدات تجربی نتوانست ماهیت حقیقی امواج منفرد را که بدون تغییر شکل و اتلاف می توانستند مسافتهای طولانی را طی کنند، تشریح نماید. می توان گفت اولین کسی که توصیفی ریاضی از این امواج ارائه داد، ژوزف بوسینسگ[3] بود. او توانست در سال ۱۸۷۱ میلادی با بهره گیری از معادلات اساسی حاکم بر حرکت شاره ها، توصیفی ریاضی از ماهیت فیزیکی این امواج ارائه دهد. او اولین کسی بود که نشان داد در شرایط ایده آل، افزایش سرعت موج موضعی ناشی از دامنه محدود با کاهش ناشی از پاشندگی به تعادل می رسد. تقریباً در همان زمان لرد ریلی[4] تحقیقات مشابهی را به شکل مستقل انجام داد و نتایج آن را در سال ۱۸۷۶ میلادی گزارش کرد[۲].

چندین سال بعد کورتوگ[5] و دی وریس[6] دریافتند که امواج منفرد دامنه ای بزرگتر از حد معمول دارند که ناشی از رفتار غیر خطی محیط است. در سال ۱۸۹۵ میلادی معادله معروف kdv برای

---

1. J.S.Russell
2. Solitary waves
3. Goseph Boussinesg
4. . Lord Raylegh
5. Korteweg
6. De Veries

امواج منفرد آب توسط آنها ارائه شد[۳]. این معادله، معادله حاکم بر تولید و انتشار این امـواج منفـرد است و تحول امواج بلند آب را در امتداد کانالی با سطح مقطع مستطیلی شکل توصیف می کند. نکته جالب توجه این بود که جوابی که کورتوگ و دی وریس برای معادله kdv بدست آوردند با نتـایجی که قبلاً توسط لرد رایلی و بوسینسگ بدست آمده بود، سازگاری قابل توجهی داشت.

نزدیک به نیم قرن بعد و در سال ۱۹۵۳ میلادی، تحقیقات و بررسی ها در مـورد معادلـه kdv و جوابهای آن وارد مرحله جدیدی گردید. در این سال سیگر[۱] و همکارانش توصیفی تحلیلی از برخورد بین امواج منفرد ارائه دادند[۴]. در سال ۱۹۶۲ میلادی، پرینـگ [۲] و اسـکیرم[۳] تحقیقـات انجـام گرفتـه توسط سیگر و همکارانش را توسعه دادند و توانستند توسط فناوری رو به گـسترش رایانـه ای در آن سالها، حل های تحلیلی و شبیه سازی رایانه ای از برخورد بین امواج منفرد ارائه دهند. تحقیقات آنهـا نشان داد که شکل و سرعت امواج منفرد بعد از برخورد حفظ می شود و به دنبال آن اولین نـشانه هـا از ذره ای بودن رفتار امواج منفرد بتدریج آشکار شد[۵].

در سال ۱۹۶۵ میلادی ان.زاباسکی[۴] و ام.کراسکل[۵] با استفاده از شبیه سـازی رایانـه ای، بـه طـور تحلیلی بر همکنش میان چنین بسته موجهایی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقـات آنهـا نـشان داد که انرژی و سرعت این امواج در برخوردها پایسته می ماند و فقط فاز این امواج نسبت به حالـت قبل از برخورد کمی جابه جا می شود. آنها چنین نتیجه گرفتند که این امواج در برهمکنش با یکدیگر شبیه ذرات رفتار می کنند، به این دلیل آنها را سـالیتون[۶] نامیدنـد. بـدین ترتیـب کلمـه سـالیتون وارد واژگان فیزیکی گشت[۶].

همان گونه که پیش از این توضیح داده شد، اغلب سیستم های فیزیکی غیر خطـی بـا معـادلات انتگرال ناپذیر شرح داده می شوند. بسته موجهای جایگزیده در چنین سیستم هایی امواج منفرد نامیده می شوند. تعداد این امواج در حین برخورد پایسته نمی ماند ولی شبیه سالیتونها انرژی و سرعت اولیه آنها ثابت باقی می ماند. به همین دلیل فیزیکدانها این امواج را نیز سالیتون می نامند[۷].

در یک بیان کلی سالیتونها بسته موجهای جایگزیده و خود به دام افتاده ای هستند که بدون پهـن شدگی در یک محیط پاشنده منتشر می شوند. در زیر به معرفی یکـی از مهمتـرین انـواع سـالیتونهای فیزیکی یعنی سالیتونهای اپتیکی می پردازیم.

1.Seeger
2. Perring
3.Skyrm
4 .N.Zabusky
5 . M.Kruskal
6 . Soliton

۱-۲ سالیتونهای اپتیکی

سالیتونهای اپتیکی، پرتوهای اپتیکی خود بدام افتاده ای هستند که به شکلی پایدار و بدون اثرات ناشی از پراش و یا پاشندگی منتشر می شوند. در سال ۱۹۶۴ میلادی و برای اولین بار، چیاو[۱]، گارمیر[۲] و تاتز [۳] هر یک به طور مستقل نشان دادند که سالیتونهای اپتیکی در یک محیط غیر خطی شکل می گیرند[۸].

در یک تقسیم بندی کلی می توان سالیتونهای اپتیکی را به دو دسته سالیتونهای زمانی و فضایی تقسیم بندی کرد:

الف) سالیتون اپتیکی زمانی

سالیتونهای اپتیکی زمانی [۴] پالسهای اپتیکی هستند که شکل و ساختار خود را در طول انتشار حفظ می کنند. این سالیتونها از تغییر غیرخطی ضریب شکست محیط که توسط شدت نور در محیط القا می شود، بوجود می آیند. وابستگی ضریب شکست محیط به شدت نور منجر به اثر تنظیم خود فازی زمانی و یا به اصطلاح SPM [۵] می شود. اثر تنظیم خود فازی عامل اصلی در تشکیل سالیتونهای اپتیکی زمانی هستند. در شرایطی که اثر تنظیم خودفازی، پاشندگی پالس را خنثی کند یک سالیتون زمانی شکل خواهد گرفت. درواقع سالیتونهای اپتیکی زمانی نتیجه تعادل میان سرعت پاشندگی گروه (GVD) [۶]و اثرهای غیرخطی می باشند[۹]. نتیجه این تعادل تشکیل یک سالیتون اپتیکی زمانی پایداراست که بدون تغییر در شکل و شدت منتشر می شود.

این نوع سالیتونها نخستین بار در سال ۱۹۷۳ میلادی توسط هاسیگاوا [۷] و تاپرت [۸] پیش بینی شدند. آنها نشان دادند که پالسهای اپتیکی می توانند در داخل یک فیبر نوری که یک محیط پاشنده غیرخطی است، بدون اینکه تغییری در شکل آنها ایجاد شود منتشر گردند. آنها به این نوع سالیتون،سالیتون اپتیکی زمانی روشن گفتند. اما مشاهده انتشار پایدار این سالیتونها در سال ۱۹۸۰ میلادی و توسط ملنیو [۹] انجام شد[۱۰].

---

[1]. Chiao
[2]. Garmir
[3]. Townes
[4]. Temporal solitons
[5]. Self phase modulation
[6]. Group relocity dispersion
[7]. Hasegawa
[8]. Tappert
[9]. Mellenue

سالیتونهای زمانی یکی از نامزدهای بالقوه سیستمهای ارتباطی اپتیکی در مسافتهای طولانی می باشند. به این دلیل مطالعات گسترده ای بر روی تولید و انتشار سالیتونهای اپتیکی زمانی انجام پذیرفته است. یکی از جالب توجه ترین انواع سالیتونهای زمانی که در چند سال گذشته مورد توجه فراوان بوده است، سالیتونهای براگ [۱] و یا سالیتونهای گاف [۲] هستند. این نوع از سالیتونها در محیط های غیرخطی دوره ای شکل می گیرند. محیط های غیرخطی دوره ای نوع خاصی از محیط های غیرخطی هستند که در آنها ضریب شکست به طور متناوب تغییر می کند. نمونه ای از این نوع محیط های غیرخطی دوره ای را می توان بلورهای فوتونیک[۳] دانست. بلورهای فوتونیک ویژگی منحصربه فردی دارند به این ترتیب که آنها به محدوده خاصی از فرکانسهای نور ورودی اجازه ورود می دهند. اصطلاحاً گفته می- شود که بلورهای فوتونیک دارای باند گاف هستند. باند گاف محدوده فرکانسی است که در این محدوده نور اجازه ورود به بلور را ندارد. بنابراین تغییر ضریب شکست این بلورهای فوتونیک به فرکانس نور ورودی وابسته است[۱۱].

ب) سالیتون اپتیکی فضایی

سالیتون اپتیکی فضایی در نتیجه تعادل میان پراش و اثرات خودکانونی که به واسطه اثر غیرخطی محیط است حاصل می شود. بنابراین قطر پرتو در حین انتشار بدون تغییر باقی می ماند. سالیتونهای اپتیکی فضایی، پرتوهای خودهادی هستند که در حین انتشار در محیط های غیرخطی بدون تغییر شکل و شدت، ساختار خود را حفظ می کنند. این سالیتونها نیز همانند سالیتونهای اپتیکی زمانی از تغییر غیرخطی ضریب شکست محیط، که توسط شدت نور در محیط القا می شود، پدید می آیند. در این مورد وابستگی ضریب شکست به شدت نور منجر به اثر خودکانونی[۴] (یا خودناکانونی[۵]) فضایی می شود. نتیجه این امر تشکیل یک سالیتون اپتیکی فضایی پایدار است که بدون تغییر شکل در محیط منتشر می شود.

نخستین بار در سال ۱۹۶۴ میلادی چیاو، گارمیر وتانز وجود چنین سالیتونهایی را گزارش کردند. نخستین مشاهده تجربی سالیتونهای اپتیکی فضایی در سال ۱۹۷۶ میلادی توسط آشکین [۶] و بیورکهلم[۷] بود. در ابتدا سالیتونهای اپتیکی فضایی روشن مشاهده شدند و پس از مدتی مشخص گردید که اگر ضریب شکست محیط غیرخطی در نواحی با شدت بالا به کمترین مقدار خود برسد،

---

[1]. Bragg solitons
[2]. Gap solitons
[3]. Photonic crystals
[4]. Self focusing
[5]. Self defocusing
[6]. Ashkin
[7]. Bjorkholm

سالیتونهای اپتیکی فضایی تاریک شکل می گیرند. این محیط ها را محیط های خود ناکانونی می گویند.

به غیر از دو نوع سالیتون اپتیکی فضایی و زمانی که پیش از این شرح داده شد، گروه دیگری از سالیتونها وجود دارند که آنها را اصطلاحاً سالیتونهای فضا – زمانی گویند. این سالیتونها بسته موجهای خود به دام افتاده ای هستند که چنانچه اثرات پراش و پاشندگی به طور همزمان با اثرات غیر خطی محیط به تعادل برسند شکل می گیرند. یافتن چنین سالیتونهایی، کاری مشکل و پیچیده است، زیرا یافتن ماده ای مناسب به طوری که برای یک پالس اپتیکی با پهنای معین، طول پاشیدگی در زمان با طول پراش فضایی برای آن ماده قابل مقایسه باشد و هر دو معادل طول غیرخطی باشند، بسیار پرزحمت است. در صورت یافتن چنین ماده ای می توان یک سالیتون فضا – زمانی سه بعدی را تشکیل داد که دو بعد آن مربوط به فضا و یک بعد مربوط به زمان است[۱۲].

همه انواع سالیتونها اعم از سالیتونهای زمانی، فضایی و یا فضا – زمانی نتیجه برهمکنش قوی میان پرتو اپتیکی و محیط غیرخطی هستند. در این میان ویژگی محیط غیرخطی موردنظر، مشخص کننده نوع و ابعاد سالیتون نهایی تشکیل شده است. در چنین محیط هایی می توان سالیتونهای یک بعدی یا ابعاد بالاتر را تولید نمود. چنین سالیتونهایی را به صورت $(m+1)D$ نمایش می دهند که m معرف بعد تولید سالیتون و یک بعد انتشار است. سالیتونهای یک بعدی را به صورت $(1+1)D$ و سالیتونهای دو بعدی را به شکل $(2+1)D$ نمایش می دهیم[۷].

امروزه از میان انواع مختلف سالیتونها، سالیتونهای اپتیکی فضایی در حوزه وسیعتری نسبت به انواع دیگر سالیتونها مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرند. توانایی سالیتونهای اپتیکی فضایی در کاربردهای مختلفی مانند هدایت پرتوها و ایجاد کلیدهای اپتیکی، این نوع از سالیتونها را تبدیل به یکی از کارآمدترین انواع سالیتون در مقاصد عملی کرده است [۱۳تا۱۵]. به همین دلیل به شکلی مفصل تر به نحوه شکل گیری و انتشار این نوع سالیتونها در محیط های خاص نورشکستی خواهیم پرداخت.

۱-۳ سالیتونهای اپتیکی فضایی

انتشار پرتوهای اپتیکی در محیط های همگن به طور ذاتی با پدیده پراش همراه است. بدین معنی که وقتی یک پرتو اپتیکی در یک محیط همگن انتشار می یابد تمایل به پهن شدن و در نتیجه از دست دادن شکل و ساختار خود دارد. برای اینکه بتوانیم انتشار پرتو اپتیکی را به شکل پایدار و بدون تغییر شکل داشته باشیم، ناگزیریم که اثرات پراش پرتواپتیکی را به نحوی جبران نمائیم. یکی از روشهای کنترل اثرات پراش، خنثی نمودن این اثرات توسط تغییرات ضریب شکست محیط است. به این ترتیب که اگر ضریب شکست محیط در ناحیه اشغال شده توسط پرتو افزایش یابد، اثرات پراش توسط شکست نور خنثی خواهد شد. در این حالت ما یک موجبر اپتیکی داریم که با ایجاد تعادل میان شکست نور و پراش، زمینه لازم برای انتشار پایدار پرتو اپتیکی را فراهم می آورد. چنین محیط هایی را محیط های خودکانونی (یا ناخودکانونی) می گویند. این محیط ها، زمینه لازم را برای تشکیل سالیتونهای اپتیکی فضایی روشن (یا تاریک) فراهم می آورند.

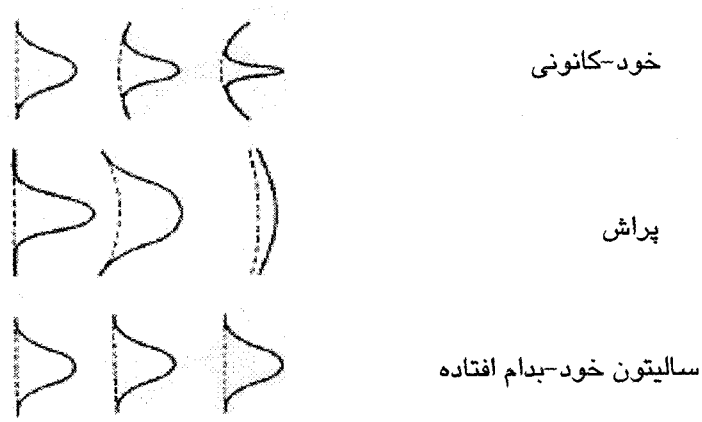
امکان کنترل پراش به واسطه تغییرات ضریب شکست و شکل گیری سالیتون روشن، تنها در محیط های غیر خطی وجود دارد. در چنین محیط هایی اثر خودکانونی ضریب شکست را به گونه ای تغییر می دهد که اندازه ضریب شکست در نواحی که شدت بیشترین مقدارخود را دارد، به کمترین حد برسد. در این حالت ضریب شکست در مرکز پرتو بیشترین مقدار خود را دارد و بتدریج به سمت کناره ها از اندازه آن کاسته می شود بدین ترتیب پرتو اپتیکی برای خودش یک موجبر خلق خواهد کرد.

شکل۱-۱ چگونگی تشکیل سالیتون فضایی را نشان می دهد. چگونگی تشکیل سالیتون فضایی را با شبیه سازی عدسی نیز می توان درک کرد. اثر پراش یک جبهه موج منحنی شکل ایجاد می کند که شبیه به حالتی است که توسط یک عدسی مقعر حاصل می شود و پرتو اپتیکی را پهن تر می کند. در عوض تغییر ضریب شکست شبیه به یک عدسی محدب عمل می کند که برای کانونی کردن پرتو به سمت مرکز پرتو تلاش می کند. همان گونه که در شکل ۱-۱ دیده می شود اگر هر دو عدسی اثر یکدیگر را از بین ببرند، پرتواپتیکی بدام می افتد و بدون تغییر شکل منتشر می شود.

در محیط خودکانونی، ضریب شکست محیط با افزایش شدت پرتواپتیکی افزایش می یابد. این تغییرات در ضریب شکست محیط باعث خمیده شدن جبهه موج می شود و در شرایط مناسب

واگرایی ناشی از پراش را خنثی می کند و منجر به کانونی شدن و بدام افتادن پرتو می شود. این بسته موج خود بدام افتاده همان سالیتون اپتیکی فضایی است.

بدلیل کاربردهای عملی فراوان سالیتونهای اپتیکی فضایی، مطالعه بر روی این سالیتونها در طی دهه گذشته بسیار گسترش یافته است. این مطالعات گسترده منجر به کشف انواع دیگری از سالیتونهای اپتیکی فضای نظیر سالیتونهای کر [1] [۱۶]، سالیتونهای درجه دو [2] [۱۷]، سالیتونهای اشباع پذیر[۱۸]و سالیتونهای نورشکستی[3] [۱۹ تا ۲۱] شده است.



شکل ۱-۱ : نمایش شبیه سازی خود بدام اندازی فضایی پرتواپتیکی در محیط غیرخطی با عملکرد عدسی ها . پراش شبیه به عدسی مقعر و پاسخ غیرخطی محیط شبیه به عدسی محدب عمل می کند. سالیتون خود بدام افتاده در نتیجه تعادل عملکرد دو عدسی شکل می گیرد.

سالیتونهای تاریک نوع خاصی از سالیتونهای اپتیکی فضایی هستند. این سالیتونها پرتوهای پایدار و خودهادی با شدت مرکزی تاریک هستند که در محیط های غیرخطی خوداناکانونی منتشر می شوند. نوع دو بعدی سالیتونهای تاریک را سالیتونهای حفره ای [4] گویند[۲۲].

سالیتونهای درجه دو جزوگروه خاصی از سالیتونها هستند که تحت نام کلی سالتیونهای پارامتری[5] شناخته می شوند. این نوع سالیتونها برای تشکیل شدن نیاز به دو یا تعداد بیشتری مولفه میدان اپتیکی دارند که در یک محیط غیرخطی با یکدیگر جفت می شوند.

---

[1] .Kerr solitons
[2]. Quadratic solitons
[3]. Photorefractive solitons
[4]. Vortex solitons
[5]. Parametric solitons

از میان انواع مختلف سالیتونهای اپتیکی فضایی، سالیتونهای نورشکستی در چند سال گذشته مورد توجه و دقت بیشتری بوده اند. علت این امر را می توان در خواص منحصر به فرد آنها و برهمکنش آنها در توانهای کم میدان اپتیکی جستجو کرد. این سالیتونها را با دقت بیشتری بررسی خواهیم کرد .

۱-۴ سالیتونهای فضایی نورشکستی

محیط های نورشکستی شرایط مناسبی را برای خلق سالیتونهای فضایی ایجاد می کنند[۲۳]. نقطه آغاز تلاشهای علمی مربوط به پدیده خود بدام اندازی[1] و تشکیل سالیتونهای فضایی در مواد نورشکستی به سال ۱۹۹۲ میلادی بر می گردد[۱۹و۲۴]. پس از پیش بینی وجود این سالیتونها در مواد نور شکستی در سال ۱۹۹۲ میلادی، مشاهده تجربی این سالیتونها با یک سال تاخیر و در بلور نور شکستی استرانتیوم – باریوم نیوبایت (SBN)[2] انجام گردید[۲۵]. طی چند سال پس از آن تحقیقات گسترده تری بر روی این نوع سالیتونها انجام پذیرفت و نمونه های دیگری از سالیتونهای فضایی نورشکستی کشف شدند. اما پیش از این که به این سالیتونها بپردازیم، اثر نورشکستی را تشریح خواهیم کرد.

۱-۴-۱ اثر نورشکستی

اثرنور شکستی[3] نخستین بار در سال ۱۹۶۶ میلادی توسط آشکین در بلور $LiNbO_3$ کشف گردید. فرایند پایه ای اثر نورشکستی، جدایی بار توسط نور القا شده و تشکیل میدان بارفضایی است که بر طبق اثر الکترواپتیکی پاکلز باعث تغییر ضریب شکست محیط می گردد [۲۶].

اثر نور شکستی تغییر ضریب شکست محیط اپتیکی در نتیجه فرآیندهای فیزیکی چون تولید بار، انتقال بار و بدام افتادن بار بواسطه اثر الکترواپتیکی در مکانهای جدید است. تفاوت ساختاری اثر نور شکستی با دیگر اثر های غیرخطی، این اثر را از انواع دیگر به کلی متمایز ساخته است. اثر نورشکستی، یک اثر اپتیکی غیرخطی قوی غیرآنی و غیرموضعی است که با استفاده از لیزرهای کم توان در محدوده میلی وات آشکار می گردد.

---

[1] . Self trapping
[2] . Strantium Barium Niobate
[3] . Photorefractive effect