



۱۰۳۹۳۱

دانشگاه پیام نور

دانشکده علوم

گروه فیزیک

عنوان پایان نامه

برخورد ناهمدوس میان سالیته‌های اپتیکی روشن پوششی در مواد
نور شکستی یک بعدی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک

به وسیله ی:

سارا قاسمی

استاد راهنما

دکتر علیرضا کشاورز

استاد مشاور

دکتر عبدالرسول قرائتی

شهریور ماه ۱۳۸۶

۱۵۱۵ / ۷۷ / ۱۳۸۷

۱۰۳۹۳۱

تصویب نامه

پایان نامه تحت عنوان:



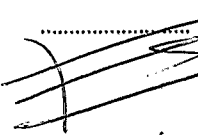
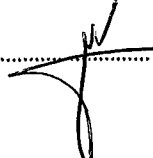
برخورد ناهمدوس میان سالیته‌نهای اپتیکی روشن پوششی در مواد

نورشکستی یک بعدی

که توسط: سارا قاسمی تهیه و به هیات داوران ارائه گردیده است مورد تایید می باشد.

تاریخ دفاع: ۱۳۸۶/۶/۲۵ نمره: ۱۸/۸ (هیجده و هشت دهم) درجه ارزشیابی: عالی

اعضای هیات داوران:

نام و نام خانوادگی	هیات داوران	مرتبه علمی	امضاء
۱- دکتر علیرضا کشاورز	استاد راهنما	استادیار	
۲- دکتر عبدالرسول قرائتی جهرمی	استاد مشاور	استادیار	
۲- دکتر پرویز الهی	استاد ممتحن	استادیار	
۴- دکتر محمد بهرامی	نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	استادیار	

تقدیم به:

**پدر و مادر مهربانم که سختی‌ها را به جان
خریدند تا راه را بر من هموار سازند.**

**همسرم عزیزم که با صبر و شکیبایی مرا در
امر تحصیل یاری نمود.**

و تمامی کسانی که به من آموختند.

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

تشکر و قدردانی

خدای را سپاس می گویم که با استعانت از حضرتش پس از تلاشی پیگیر مراحل پژوهشی و نگارش این رساله را به پایان رساندم. آنچه در تدوین این رساله برای اینجانب اهمیت داشته، حرکت و کوشش هر چند ناچیز در راه پرپیچ و خم تحقیق بوده است. برخود فریضه می دانم از عنایت تنی چند از اساتید و سروران که منت پذیر ایشان بوده و از راهنماییها و کمکهای خالصانه آنها بهره گرفته ام قدردانی و سپاسگزاری نمایم.

استاد فرزانه جناب آقای دکتر علیرضا کشاورز که با راهنماییها و رایزنی های عالمانه خود همواره روشنگر راه من بودند و به انجام رسیدن رساله حاضر را رهین زحمات پیگیر و راهنماییای مداوم ایشان می دانم. ضمن ستایش از بزرگواری و اخلاص ایشان موفقیت روز افزونشان را از ایزد یکتا خواهانم.

از استاد مشاور گرامی جناب آقای عبدالرسول قرآنتی که مشاورت های ارزنده اش را از من دریغ نکردند و در رفع مشکلات بسیار لطف کردند.

از زحمات دوستان ارجمندم خانمها منصوره قاسمی و مهسا پیریور بسیار سپاسگزارم، برای همه این عزیزان آرزوی سلامت، بهروزی و پیشرفت دارم.

چکیده

برخورد ناهمدوس میان سالیتهای اپتیکی روشن پوششی در مواد نورشکستی یک بعدی

به وسیله ی:

سارا قاسمی

سالیتهای فضایی نورشکستی به دلیل عرضه انواع جالبی از سالیتهای همراه خواص و فرایندهای مختلف غیر خطی و برخورد و برهم کنش میان آنها با استفاده از توانهای کم اپتیکی، بیش از دیگر سالیتهای مورد توجه قرار گرفته اند.

در این پایان نامه ابتدا یک مدل فیزیکی برای شکل گیری سالیتهای پوششی نورشکستی یک بعدی که اساس آن بر پایه معادله موج کند تغییر تعمیم یافته و معادلات کوختاروف است، معرفی می شود. معادلات حاکم بر پرتوهای خود کانونی شده تحت شرایط مرزی استخراج می گردد. با توجه به اینکه این معادلات با روش تحلیلی قابل حل نمی باشند، برای یافتن جواب سالیتهای و توصیف انتشار آن به روش عددی متوسل می شویم. و با روشهای عددی چگونگی تغییرات ضریب شکست محیط نورشکستی را برای شکل گیری سالیتهای فضایی نورشکستی نشان می دهیم. روش عددی بکار گرفته شده، روش عددی کرانک- نیکلسون و روش تفاضل مرکزی است که به وسیله آن قادر به حل معادله موج پیرا محوری خواهیم بود. نمودار پرتو سالیتهای در یک بعد و در دو جهت معرفی می شود، و نمایش انتشار پرتو سالیتهای به منظور صحت حل دینامیکی انجام می گردد. همچنین اثر دما و شدت را بر روی پرتو سالیتهای با روش عددی کرانک - نیکلسون شبیه سازی می کنیم.

بر اساس مدل ارائه شده تحقیقات را بر روی برخورد ناهمدوس بین دو پرتو سالیتهای پوششی روشن نورشکستی بدون اثر دما ادامه می دهیم.

و سرانجام تاثیر شدت و فاصله جدایی اولیه میدانهای اپتیکی در برخورد ناهمدوس بررسی می کنیم. در پایان پس از ارائه نتایج، پیشنهاداتی برای علاقه مندان تحقیق در این زمینه به عنوان ادامه کار ارائه شده است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	و
فهرست شکلها	ز
فصل اول: سالیتونهای اپتیکی فضایی و اثر نورشکستی	۱
۱-۱ مقدمه	۱
۲-۱ مشاهدات تجربی سالیتونهای فضایی	۴
۳-۱ سالیتونهای نورشکستی	۱۴
۴-۱ اثر نورشکستی	۲۰
۵-۱ خلاصه پایان نامه	۲۳
فصل دوم: سالیتونهای پوششی روشن یک بعدی در مواد نورشکستی	۲۵
۲-۱ مقدمه	۲۵
۲-۲ مدل فیزیکی	۲۶
۱-۲-۲ اثر الکترواپتیکی	۲۶
۲-۲-۲ معادله موج پیرامحوری	۲۸
۳-۲-۲ مدل کوختاروف در یک بعد	۳۲
۳-۲ سالیتونهای فضایی روشن پوششی پایا	۳۷
۲-۳-۲ روش حل عددی	۳۹
۲-۳-۲ نمایش ماتریسی	۴۳

۴۸	۴-۲ پایداری سالیتون
۵۳	۵-۲ اثر شدت پرتو فرودی بر انتشار سالیتون
۵۵	۶-۲ اثر دما بر انتشار سالیتون
۵۷	۷-۲ نتیجه گیری

فصل سوم: برخورد ناهمدوس میان سالیتونهای پوششی روشن در مواد

نور شکستی یک بعدی ۵۹

۵۹	۱-۳ مقدمه
۶۳	۲-۳ واکنش غیر خطی در حالت یک بعدی
۶۴	۳-۳ برخورد بین دو سالیتون ناهمدوس پوششی روشن
۶۷	۴-۳ شبیه سازی عددی برخورد سالیتونهای روشن ناهمدوس
۷۰	۵-۳ تاثیر فاصله جدایی بهنجار شده در فرآیند برخورد سالیتونی
۷۳	۶-۳ تاثیر شدت سالیتون در فرآیند برخورد ناهمدوس
۷۶	۷-۳ نتیجه گیری

فصل چهارم: نتایج و پیشنهادات ۷۷

۷۷	۱-۴ خلاصه و نتیجه گیری
۸۴	۲-۴ پیشنهادات
۸۶	مراجع

چکیده و عنوان به زبان انگلیسی

فهرست شکلها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱. طرحی از نمای پرتوهای فضای (خط های ممتد) و جبهه های فاز (خط های نقطه چین) برای: (الف) خود کانونی پرتو (ب) پراش پرتو (ج) سالیتون.....	۲
شکل ۱-۲. (الف) نمایی از انتشار سالیتون فضایی در بلور نورشکستی استرانتیم باریم نیوبیت. (ب) پراشیده شدن پرتو فضایی هنگامی که اثر غیر خطی در نظر گرفته نشود.....	۱۳
شکل ۱-۲. مدل تراپرد- بار محیط نورشکستی. الکترونها با شدت معینی به طرف پذیرنده های غیر یونیزه شده می روند که تحت شرایط مناسب درون باند هدایت برانگیخته می شوند. پذیرنده ها توسط دهنده ها پر می شود و در مراحل نورشکستی شرکت نمی کنند.....	۳۴
شکل ۲-۲. نمایی از انتشار یک پرتو (موازی) یک بعدی به درون بلور نورشکستی استرانتیم باریم نیوبیت. میدان الکتریکی اعمال شده در جهت محور x ها می باشد.....	۴۰
شکل ۲-۳. نمایی از انتشار یک پرتو (غیر موازی) یک بعدی به درون بلور نورشکستی استرانتیم باریم نیوبیت. میدان الکتریکی اعمال شده در جهت محور x ها می باشد.....	۴۰
شکل ۲-۴. نمونه ای از یک سیستم مدرج شده به روش عددی کرانک- نیکلسون. مجموعه نقاط x_k و z_l در صفحه $x-z$ با $x_k = x_0 + kh$ و $z_m = z_0 + mq$ معرفی می شوند. k و m گام های عددی دلخواه هستند، و h و t فاصله های ثابت در جهت x و z می باشند.....	۴۲
شکل ۲-۵. نمودار تابع توزیع شدت سالیتونی بهنجار شده بر حسب مختصات بهنجار شده x/x_0 . هر واحد بهنجار شده در راستای محور x ها معادل $x_0 = 25(\mu m)$ است. بیشینه شدت به عدد یک بهنجار شده است. بلور SBN به عنوان یک محیط نور شکستی انتخاب شده است که در آن $n_0 = 2.35$ و $r_{33} = 23(pm/V)$ است. میدان الکتریکی اعمال شده $E_0 = 1(V/cm)$ و شدت تاریک $I_d = 10^{-2}$ در نظر گرفته شده است.....	۴۶
شکل ۲-۶. نمودار ضریب شکست در محیط نورشکستی بر حسب مختصات بهنجار شده x/x_0 در بلور نورشکستی SBN . هر واحد بهنجار شده در راستای محور x معادل $x_0 = 25(\mu m)$ که توسط	

شدت سالیتون که از شکل ۲-۵ مشاهده می شود، القا شده است. میدان الکتریکی اعمال شده $E_0 = 1(V/cm)$ و شدت تاریک $I_d = 10^{-2}$ می باشد. این شکل نشان می دهد که تغییرات منفی در ضریب شکست یک موجبر تدریجی را ایجاد می کند..... ۴۷

شکل ۲-۷. انتشار پایا از دو سالیتون پوششی روشن نورشکستی یک بعدی (الف) غیر موازی $\theta_x = 0.6$ و (ب) موازی $\theta_x = 0$ به ازای دو طول پراش معادل $13(mm)$ در امتداد طول بلور. پراش توسط واکنش غیر خطی محیط حذف شده است، بنابراین قطر سالیتونها دست نخورده باقی می ماند..... ۵۱

شکل ۲-۸. (الف) نمایش تابع توزیع شدت سالیتونی در طول انتشار به ازای دو طول پراش به ازای $\theta_x = 0$ (ب) مطابق با شکل ۲-۵ نمودار شدت سالیتون قبل (O) و بعد (*) از ورود سالیتون به درون بلور به ازای دو طول پراش. همانطور که انتظار می رود علامت ستاره ها بر دایره ها منطبق هستند که نشان می دهد نمودار شدت در طول انتشار بدون تغییر باقی می ماند..... ۵۲

شکل ۲-۹. تصویرانتشار دو سالیتون پوششی روشن نورشکستی به ازای $\theta_x = 0$ برای دو شدت ورودی (الف) 0.8% و (ب) 20% به ازای دو طول پراش معادل $13(\mu m)$. تمام پارامترهای ورودی مطابق با مشخصات بلور SBN است. مشاهده می شود هر اندازه که شدت ورودی کاهش یابد پرتو سالیتونی بیشتر دچار نوسانات دوره ای می شود..... ۵۴

شکل ۲-۱۰. تصویر اثر دما بر انتشار سالیتون به ازای $\theta_x = 0$ ، در دو طول پراش. همانگونه که انتظار می رود شکل سالیتون در حین انتشار تغییر نمی کند بلکه فقط باعث خمیدگی پرتو اپتیکی در حال انتشار درون بلور می شود. دمای در نظر گرفته شده 300 درجه کلوین می باشد..... ۵۶

شکل ۳-۱. نمایی از انتشار دوپرتو موازی و غیر موازی به درون بلور نورشکستی استرانتیم باریم نیوبیت. میدان الکتریکی اعمال شده در جهت محور x ها می باشد..... ۶۵

شکل ۳-۲. نمایی از انتشار دوپرتو غیر موازی و غیر موازی به درون بلور نورشکستی استرانتیم باریم نیوبیت. میدان الکتریکی اعمال شده در جهت محور x ها می باشد..... ۶۵

شکل ۳-۳. تابع توزیع شدت بهنجار شده دو پرتوسالیتونی در صفحه ورودی بلور نورشکستی *SBN* (الف) موازی- غیر موازی (ب) غیر موازی- غیر موازی برحسب مختصات بهنجار شده x/x_0 . فاصله جدایی بهنجار شده میان دو پرتو $1/2$ است. پارامترهای ورودی دو پرتو و مشخصات بلور مطابق دو سالیتون موازی و غیر موازی شکل ۲-۵ در نظر گرفته شده است ۶۸

شکل ۳-۴. نمودار ضریب شکست القایی دو پرتو (الف) موازی- غیر موازی (ب) غیر موازی- غیر موازی بر حسب مختصات بهنجار شده x/x_0 . فاصله جدایی بهنجار شده میان دو پرتو $1/2$ و پارامترهای ورودی دو پرتو و مشخصات بلور مطابق دو سالیتون موازی و غیر موازی شکل ۲-۵ در نظر گرفته شده است..... ۶۹

شکل ۳-۵. تصویر برخورد بین سالیتونهای ناهمدوس موازی (پرتو پایینی) و غیر موازی (پرتو بالایی) با شدت و قطبش یکسان در بلور *SBN* به ازای فاصله جدایی بهنجار شده مختلف به x_0 برابر 0.14 ، 0.18 ، $1/2$ ، $1/6$ و $2/10$ به ترتیب در شکل‌های (الف) تا (ث) به ازای دو طول پراش نشان داده شده است. در برخورد ناهمدوس سالیتونهای پوششی نورشکستی یک بعدی جذب دوره ای بین دو پرتو سالیتونی اتفاق می افتد و با افزایش فاصله جدایی پرتوها دیرتر یکدیگر را جذب می کنند..... ۷۱

شکل ۳-۶. تصویر برخورد بین سالیتونهای ناهمدوس غیر موازی و غیر موازی با شدت و قطبش یکسان در بلور *SBN* به ازای فاصله جدایی بهنجار شده مختلف به x_0 برابر 0.14 ، 0.18 ، $1/2$ ، $1/6$ و $2/10$ به ترتیب در شکل‌های (الف) تا (ث) به ازای دو طول پراش نشان داده شده است. در این برخورد ناهمدوس نیز سالیتونهای پوششی نورشکستی یک بعدی جذب دوره ای بین دو پرتو سالیتونی اتفاق می افتد و با افزایش فاصله جدایی پرتوها دیرتر یکدیگر را جذب می کنند..... ۷۲

شکل ۳-۷. تصویر برخورد بین سالیتونهای ناهمدوس موازی (پرتو پایینی) و غیر موازی (پرتو بالایی) که شدت آنها نصف شدت سالیتونهای قبلی است، ازای فاصله جدایی بهنجار شده مختلف به x_0 برابر 0.14 ، 0.18 ، $1/2$ ، $1/6$ و $2/10$ به ترتیب در شکل‌های (الف) تا (ث) به ازای دو طول پراش نشان داده شده است. در برخورد ناهمدوس سالیتونهای پوششی نورشکستی با شدت کمتر مشخص گردید که پرتوهای سالیتونی مقاومت بیشتری را در برابر فرآیند جذب نسبت به پرتوهای خود به دام افتاده با شدت کمتر از خود نشان می دهند..... ۷۴

شکل ۳-۸. تصویر برخورد بین سالیته‌های ناهمدوس غیر موازی - غیر موازی که شدت آنها نصف شدت سالیته‌های قبلی است، ازای فاصله جدایی بهنجار شده مختلف به x_0 برابر 0.14 ، 0.18 ، 0.22 ، 0.26 و 0.30 به ترتیب در شکلهای (الف) تا (ث) به ازای دو طول پراش نشان داده شده است. در برخورد ناهمدوس سالیته‌های پوششی نورشکستی با شدت کمتر مشخص گردید که پرتوهای سالیته‌ی مقاومت بیشتری را در برابر فرآیند جذب نسبت به پرتوهای خود به دام افتاده با شدت کمتر از خود نشان می دهند.....۷۵

فهرست جدولها

جدول ۱-۲. تبدیل ضرایب r_{ijk} به r_{hk}۲۹

فصل اول

سالیتهای اپتیکی فضایی و اثر نورشکستی

۱- مقدمه

شناخته ترین ویژگی انتشار امواج این است که وقتی در فضای محدود منتشر می شوند، در اثر پراش و اگر می شوند. این واگرایی ناشی از پراش با واگرایی پالسهای زمانی که در محیطهایی که دارای پراکندگی رنگی هستند، معادل است. اینکه بتوان این واگرایی پرتوها را از بین برد، یکی از شگفت انگیز ترین و بارزترین ویژگیهای فیزیک نوری غیر خطی می باشد. برای اینکه چنین حالتی اتفاق بیافتد باید یک برهم کنش غیر خطی موثر بین موج و محیطی که موج در آن انتشار می یابد به وجود آید، که نتیجه آن شکل گیری یک پرتو خود به دام افتاده یا یک سالیتون فضایی^۱ است [۲۱]. سالیتهای فضایی پرتوهای نوری هستند که در یک محیط غیر خطی بدون پراش منتشر می شوند. یک سالیتون فضایی تعادل واقعی را بین پراش و اثر غیر خطی، که پدیده خود کانونی^۲ را القا می کند، برقرار می سازد. همانطور که در شکل ۱-۱ به صورت طرح واره نشان داده شده است [۶].

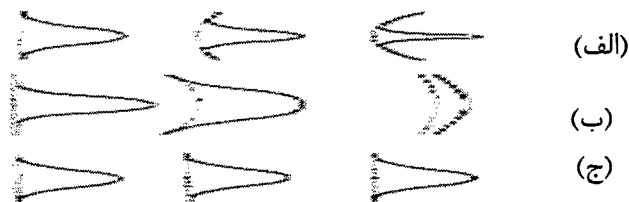
۱-Spatial soliton

۲-Self-focusing effect

در روش کاملاً مشابه با سالیتهونهای فضایی، سالیتهونهای زمانی^۱ هنگامی شکل می گیرند که سرعت پاشندگی گروه^۲ بوسیله اثر خود کانونی یا اثر خود فازی^۳ کنترل شود [۱۰].

همه سالیتهونها برای شکل گیری نیازمند این هستند که یک اثر غیر خطی موثر بین خودشان و محیطی که در آن منتشر می شوند رخ دهد، و این اثر معمولاً نیازمند این است که طول پراش برای سالیتهونهای فضایی و طول پراکندگی برای سالیتهونهای زمانی قابل مقایسه با طول محیطهای غیر خطی باشد که در آنها اثر خود کانونی ایجاد می شود [۹].

در مورد سالیتهونهای زمانی کم بودن تلفات باعث می شود که مسافت انتشار پایا از مرتبه کیلومتر باشد. اما در مورد سالیتهونهای فضایی طول انتشار در حد سانتی متر است، بنابراین لازم است درجه غیر خطی محیط و یا توان اعمال شده بزرگ باشد [۱].



شکل ۱-۱. طرحی از نمای پرتوهای فضایی (خط های ممتد) و جبهه های فاز (خط های نقطه چین) برای: (الف) خود کانونی پرتو (ب) پراش پرتو (ج) سالیتهون

آنچه سالیتهونهای فضایی را از همتای فیبریشان متمایز می سازد، بعد پذیری آنهاست. سالیتهونهای زمانی به صورت یک بعدی وجود دارند اما سالیتهونهای فضایی به هر دو صورت یک بعدی و دو بعدی مشاهده شده اند که خود منجر به پدیده های جذاب و جالبی می شود، که

۱-Tempral solitons
 ۲- Group-Velocity Dispersion
 ۳-Self-phase Modulation

در مورد سالیته‌های زمانی وجود ندارد. به عنوان مثال بر هم کنش دو بعدی بین سالیته‌ها، سالیته‌های فنی^۱، سالیته‌های گردابی^۲، اثرهای تکانه زاویه ای^۳، چرخش دو قطبی سالیته‌های برداری و غیره از مباحث جذاب سالیته‌ی به شمار می‌روند [۲۱].

همچنین تعداد فرآیندهای غیر خطی که سالیته‌های فضایی را پشتیبانی می‌کنند از همتای زمانی خود بیشتر است، بنابراین تحقیقات زیادی در مورد سالیته‌های فضایی صورت گرفته است. مقالاتی که تا سال ۱۹۹۰ میلادی به صورت گذرا درباره سالیته‌های فضایی نوشته شده‌اند هنوز هم در حال بررسی هستند و ویژگی‌های مهم و مشخصی در مورد سالیته‌های فضایی به دست آمده و آزمایش‌های گوناگونی صورت گرفته است [۶].

سالها بحث این بود که آیا پرتوهای خود به دام افتاده را واقعا می‌توان سالیته نامید؟ این سوالی است که سالها ذهن متخصصان را به خود مشغول کرده است.

از نظر تاریخی لفظ سالیته در ادبیات ریاضی بوده است و برای پرتوها و بسته موجهایی به کار برده می‌شد که از معادله‌های دیفرانسیل غیر خطی انتگرال پذیر به دست می‌آیند. در اپتیک غیر خطی معادله غیر خطی شرودینگر مثالی از این معادلات است. این معادله که برای توصیف انتشار امواج یک بعدی در محیط غیر خطی^۴ مورد استفاده قرار می‌گیرد با استفاده از نظریه پراکندگی معکوس^۵ قابل حل است. به خاطر همین خاصیت انتگرال پذیر بودن، شکل سالیته‌ها در طول انتشار بدون تغییر باقی می‌ماند. با این حال بیشتر سیستم‌های فیزیکی غیر خطی به وسیله معادلات غیرانتگرال پذیر توصیف می‌شوند. جواب چنین معادلاتی در ابتدا به

۱-Soliton spiralin

۲-Vortex Soliton

۳-Angular momentum effect

۴-Kerr nonlinear medium

۵- Inverse scattering theory

امواج منفرد^۱ معروف شد. در مجموع امواج منفرد و سالیتونها در بر همکنش و برخورد با یکدیگر ویژگیهای مخصوص به خود را دارند که آنها را از یکدیگر متمایز می سازد. سالیتونها در فرآیند بر هم کنش و برخورد ترکیب نمی شوند و تعداد سالیتونها پایسته می ماند، اما این مورد درباره امواج منفرد صدق نمی کند. با این وجود علی رغم اختلافات ریشه ای اشان، امواج منفرد مانند سالیتونها ویژگیهای شبه ذره ای از خود نشان می دهند، به طوریکه انرژی و سرعت آنها در برخوردها ثابت باقی می ماند. امروزه دیگر تمایز در عنوان به طور کلی از بین رفته است و همه پرتو های خود به دام افتاده را سالیتون می نامند [۳ و ۱۷].

۱-۲ مشاهدات تجربی سالیتونهای فضایی:

اگرچه از نظر تاریخی سالیتونهای زمانی به طور گسترده گسترش یافته اند و چندین سال از پیدایش آنها می گذرد، اما چه از لحاظ نظری و چه از لحاظ تجربی، که منجر به کشف سالیتونهای فضایی جدیدی شد، این سالیتونها از همتای زمانی خود در حوزه وسیعتری مورد بررسی قرار گرفته اند [۶].

اولین گزارش علمی از بسته موجهای خود به دام افتاده در سال ۱۸۳۴ میلادی توسط دانشمند اسکاتلندی به نام جان. اس. راسل^۲ ارائه شد. وی مشاهده کرد که یک موج منفرد خوش ترکیب می تواند مسافت زیادی را در یک کانال باریک و کم عمق بدون تغییر شکل یا کاهش سرعت طی کند. این پدیده جالب و جذاب را تحت عنوان " انتقال موج " بیان کرد. این بسته موجها مانند ذرات رفتار و با یکدیگر برهم کنش می کنند [۱۲].

۱-Solitary wave
۲-John S.Russell

حدود پانزده سال بعد کورتگ^۱ و دوریس^۲ معادله ای به دست آوردند که بر امواج منفرد و انتشار این امواج بدون تغییر تاکید می کرد و متوجه شدند که امواج منفرد دامنه بزرگتر از حد معمول دارند که ناشی از رفتار غیر خطی محیط است. به طوریکه در سال ۱۹۶۰ برای آنها لفظ سالیتون به کار گرفته شد. و در فیزیک و ریاضی مورد استفاده قرار گرفت [۲].

این ایده که یک پرتو نور می تواند یک موجبر را القا کند و خودش را در آن موجبر هدایت کند، ابتدا در سال ۱۹۶۲ بوسیله آسکاریان^۳ بیان شد [۱۳]. برای بررسی این اثر معادله موج در محیط غیر خطی کر هم در یک بعد و هم در دو بعد تجزیه و تحلیل گردید. به طوری که بعد از کشف لیزر در سال ۱۹۶۰، دانشمندانی به نام چیائو^۴، گارمیر^۵، تاونز^۶ و تالانوف^۷ در سال ۱۹۶۴ هر کدام به طور مستقل به بررسی پرتوهای خود به دام افتاده فضایی در محیط های کر پرداختند و نشان دادند که سالیتون اپتیکی را می توان در یک محیط غیر خطی نوری تولید کرد [۱۴].

یک سال بعد کلی^۸ نشان داد که سالیتونهای فضایی دو بعدی کر ناپایدار هستند اما به عنوان یک نتیجه این واقعیت وجود داشت که سالیتونهای یک بعدی در یک محیط غیر خطی کر به صورت پایدار باشد [۱۵]. تنها چند سال بعد از مقاله کلی دانشمندانی به نام های داووز^۹ و ماربرگر^{۱۰} دریافتند که محیط های غیر خطی اشباع شده قادر به ایجاد سالیتونهای فضایی

۱-Korteweg
۲-De Veries
۳-Askar yan
۴-Chiao
۵-Garmire
۶-Townes
۷-Talanov
۸-Kelly
۹-Dawes
۱۰-Marburger

پایدار می باشند. این نظریات، اساس پیشرفت آزمایشها را برای ۲۰ سال آینده تشکیل داد. علاوه بر این، ایده محیطهای غیر خطی اشباع شده- موادی که در آنها تغییر ضریب شکست یک مرز بالایی دارد و با افزایش شدت پرتو ضریب شکست تغییر میکند- به عنوان کلیدی برای کشف سالیتونهای جدید شناخته شد [۱۶]. ارتباط بین پرتوهای خود به دام افتاده و نظریه سالیتون در سال ۱۹۷۲ به طور کامل تری توسعه یافت [۸].

اولین آزمایشهای مربوط به سالیتونهای فضایی قابل رویت در سال ۱۹۷۴ توسط آشکین^۱ و بجرکهلم^۲ مشاهده گردید. آنها از یک پرتو با تقارن دایره ای در محیط دو بعدی استفاده کردند. یک سلول را توسط بخار سدیم پر کردند و لیزر ورودی در حدود طول موج زرد سدیم بود. آنها مشاهده کردند که در توانهای کم پرتو لیزر در سلول گازی پراکنده می شود در حالی که در توانهای بالا قطر پرتو به طور خود به خود ثابت می ماند و بدون هیچ شکستی منتشر می شود [۱۷]. این یک روش کلاسیک برای ایجاد سالیتونهای فضایی است. محیطهای غیر خطی که در آزمایشات اولیه به کار گرفته شد، محیطهای غیر خطی کر نبودند، بلکه محیطهای غیر خطی قابل اشباع شده بودند. این تمایز بین محیط های غیر خطی اشباع شده و محیط های غیر خطی کر مهم است، زیرا سالیتونهای فضایی دو بعدی تنها در محیط های غیر خطی اشباع شده پایدار هستند. این اولین آزمایش اثبات شده در مورد خود به دام افتادگی پرتوها در یک محیط غیر خطی با خاصیت خود کانونی بود. در این حالت ضریب شکست با شدت پرتو افزایش می یابد. به طوریکه ضریب شکست محیط در راس قله بیشینه است ولی در انتهای پرتو مقدار ضریب

۱-Ashkin
۲-Bjorkholm

شکست شکست کاهش می یابد، بنابراین سرعت فاز در قله پرتو کمترین است ولی هرچه به انتهای پرتو نزدیک می شویم افزایش می یابد [۱].

در واقع پرتو سالیتون موجبری را برای خود القا می کند، که ضریب شکست در مرکز پرتو نسبت به نواحی دیگر آن بیشتر است و نتیجه آن انتشار پرتو بدون پهن شدگی می باشد و پدیده خود به دام افتادگی پرتو اتفاق می افتد [۸]. این نتایج مطابق شکل (۲-۱) به صورت یک خمیدگی در جبهه های موج ظاهر می شود و منجر به کانونی شدن پرتو و شکل گیری سالیتون فضایی می شود [۱].

در سال ۱۹۷۲ به صورت نظری نشان داده شد که بر خلاف سالیتون روشن، سالیتون تاریک^۱ هم باید در یک بعد وجود داشته باشد. هنگامی که غیر خطی بودن محیط از نوع خود نا کانونی^۲ باشد، این سالیتون در دو بعد به صورت یک حفره سیاه در یک زمینه روشن و در یک بعد یک خط تاریک با پهنای محدود در امتداد محور Z می باشد. برای شکل گیری این سالیتون نیاز به یک محیط خود ناکانونی است [۱۸]. اولین آزمایش بر روی سالیتون های تاریک در سال ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۱ میلادی انجام گردید. در حقیقت امواج تخت در محیط های خود کانونی ناپایدار هستند ولی در محیط های خود نا کانونی پایدار هستند [۱۹ و ۲۰]. خیلی زود بعد از مشاهده سالیتونهای تاریک یک بعدی، انتشار پایداری از یک سالیتون دو بعدی تاریک (سالیتونهای گردابی شکل) برای اولین بار در محیط های غیر خطی خود ناکانونی مشاهده گردید [۲۱]. این نوع سالیتونهای تاریک به صورت یک حفره تاریک متقارن دایره ای شکل است که در روشنایی زمینه ای محیطهای غیر خطی خود- ناکانونی ظاهر می شوند. سالیتونهای گردابی شکل بدون

۱-Dark soliton
۲-Self-defocusing

تغییر شکل منشر می شوند و تنها حول مرکز جرم خود دارای فاز چرخشی هستند. سالیته‌های تاریک در اپتیک غیر خطی جایگاه ویژگی دارند [۲۲].

در دهه های اخیر با استفاده از آزمایشهای گوناگون دسته های جدیدی از سالیته‌ها در محیط های مختلف گشف گردیده است، که با خانواده سالیته‌های کر بسیار متفاوت هستند. این سالیته‌های جدید ویژگی های زیادی را از خود نشان می دهند که با سالیته‌های کر شباهت دارند اما فرآیند فیزیکی آنها، که در پشت ویژگی غیر خطی اشان نهفته است، با سالیته‌های کر کاملاً متفاوت است [۱].

بیشترین نوع از سالیته‌های فضایی که به طور آزمایشی مشاهده گردیده اند، سالیته‌های درجه دو^۱ است که در سال ۱۹۷۰ به طور آزمایشی توسط ساخاروکوف^۲ و کارامزین^۳ پیش بینی شدند، و در سال ۱۹۹۵ به طور آزمایشی نشان داده شدند. در این مورد فرآیند پرتو خود به دام افتاده به خاطر تبادل انرژی بین هارمونیک اول و دوم است، که با معادله های جفت مدی^۴ توصیف می شوند. در این نوع دو پرتو ورودی قطبیده شده و بر یکدیگر عمود هستند. ساختمان هندسی بلور به گونه ای است که هارمونیک اول و دوم موج اصلی از پرتو اصلی دورتر می شوند و با استفاده از بسط قطبش پرتوها برحسب هارمونیکها، می توان دید که پرتو اصلی به گونه ای است که منجر به کم شدن پهنای دو پرتو می شود و این اثر پراش را خنثی می کند و سالیته‌های پایدار درجه دو را بوجود می آورند [۲۳].

دسته جالب دیگر از پرتوهای خود به دام افتاده مربوط به یک شبکه غیر خطی مجزا می باشد که همانند مجموعه ای بزرگ از موجبرهای بهم پیوسته است. این حالت، بر خلاف دیگر

۱- Quadratic soliton

۲-Sukhorukov

۳-Karamzin

۴-Coupled-mode equations