بسم الله الرحمن الرحیم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی فیزیک

گرایش نظری

عنوان پایان نامه

سالیتون در پیوندگاه جوزفسون

استاد راهنما:

دکتر کیومرث منصوری

نگارش:

سمانه قیصری

آذر ۱۳۸۹

Razi University

Faculty of Basic Science
Department of Physics

M.Sc.Thesis

Title of the Thesis
Soliton in Josephson Junction

By: Samaneh Gheysari

Evaluated and approved by thesis committee:as

Supervisor Dr. K. Mansouri

External Examiner Dr. Sh. Salimi

Internal Examiner Dr. S. Behrouzi

December ٢٠١٠

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته ی فیزیک گرایش نظری

نام دانشجو سمانه قیصری

تحت عنوان

سالیتون در پیوندگاه جوزفسون

در تاریخ ۸۹/۹/۱۷ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما دکتر کیومرث منصوری با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

۲- استاد داور داخل گروه دکتر صمد بهروزی با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

۳-استاد داور خارج از گروه دکتر شهریارسلیمی با مرتبه ی علمی استادیار امضاء

تقدیر و تشکر

سپاس خداوند بی همتا را که توفیق گذراندن این مرحله از زندگیم را به من اعطا فرمود.

با سپاس و تشکر فراوان از راهنمایی های استاد گرامی جناب آقای دکتر منصوری .

سپاس و تشکر از شادروان پدرم که تمام زندگی و آرزوهایش را وقف موفقیت فرزندانش کرد و چه حیف که فرصت دیدار لبخند رضایت او در گذراندن این دوره تحصیلی از من گرفته شد.

از زحمات همسرم آقای حمید یوسفی که در تمام مراحل تهیه و تدوین این پروژه از هیچ کوشش و ارشادی دریغ ننموده و صبورانه مرا یاری داد کمال تشکر و قدردانی را دارم .

همچنین از خانواده ی عزیزم که همواره باعث دلگرمی ام بوده اند و تمامی دوستانم (دانشجویان کارشناسی ارشد ۸۷) که همچون خواهرانی مهربان مرا یاری کردند صمیمانه ابراز قدردانی و تشکر را دارم .

تقدیم به روح جاودان پدرم

مادر مهربانم

و همسر عزیزم

چکیده

در این پایان‌نامه پیوندگاه جوزفسون توسط پدیده میکروسکوپی تونل‌زنی و تاثیر اعمال ولتاژ به دو سر آن و حضور در میدانهای مغناطیسی مورد بررسی و معرفی قرار می‌گیرد. در اینجا هدف، دست یافتن به جوابهای معادله سینوسی گوردون است که رفتار پیوندگاه جوزفسون را توصیف می‌کند.

اثر جوزفسون پدیده‌ای شامل شارش جریان در عرض دو ابررسانای مجزا که بطور ضعیف توسط یک لایه نازک بهم متصل شده‌اند، می‌باشد. پیوندگاه جوزفسون با تونل‌زنی جفت‌های کوپر همراه است. پیوندگاه جوزفسون طویل پیوندگاهی است که حداقل یک بعد بزرگتر از طول جوزفسون دارد و در فیزیک کاربرد زیادی دارد. پیوندگاه جوزفسون طویل برای مطالعه سالیتونها پیشنهاد می‌شود. یک فلاکسون در یک پیوندگاه جوزفسون طویل یک کوانتوم شار مغناطیسی را حمل می‌کند و در خیلی از موارد رفتار آن مانند سالیتونها است. این شار مغناطیسی که توسط یک ابرجریان چرخشی تولید شده اغلب گردابه جوزفسون نامیده می‌شود و بین دو ابررسانا که توسط یک لایه نازک نانومتری عایق از هم جدا شده‌اند، جایگزیده است. فلاکسون از لحاظ ریاضی با یک کینک از اختلاف فاز کوانتومی بین دو الکترود ابررسانای پیوندگاه متناسب است.

سالیتون جوزفسون همچنین یک پالس الکترومغناطیسی است. وقتی سالیتونها بطور تناوبی به قسمت انتهای آزاد یک پیوندگاه خطی می‌رسند، تابشی در ناحیه میکروموج و یا موج میلیمتری از طیف الکترومغناطیس گسیل می‌شود که منجر به کاربرد پیوندگاههای جوزفسون طویل بعنوان نوسانگرها می‌شود.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول

مقدمه ای بر سالیتون

فصل اول

مقدمه‌ای بر سالیتون

۱-۱ مقدمه

سالیتون[۱] ها نقش مهمی در بسیاری از پدیده‌ها ایفا می‌کنند. گاهی آنها به شکل بی‌خطری مثل امواج منفرد در یک کانال ظاهر می‌شوند و گاه به شکل امواج عظیمی به نام سونامی که مسافت های طولانی را می‌پیمایند، تهدیدی برای سواحل به شمار می‌آیند. سالیتونهای اپتیکی ظرفیت فیبرها را برای ارتباطات تلفنی زیاد کرده‌اند و سالیتونهای Sine-Gordon، در مواد چگال اتفاق می‌افتند. در همه این موارد یک سالیتون پایدار است. هدف اصلی در این پایان‌نامه بررسی پیوندگاه جوزفسون و رسیدن به معادله حاکم برآن یعنی معادله سینوسی گوردون است. در سال ۱۹۶۲ برایان جوزفسون[۲] شارش جریان همراه با تونل‌زنی کوانتومی همدوس جفتهای کوپر از بین سد میان دوالکترودهای ابررسانا یعنی یک پیوندگاه جوزفسون را پیش‌گویی کرد، که متناسب با تابع سینوسی اختلاف فاز است و به عنوان رابطه dc جوزفسون شناخته می‌شود. مشتق زمانی اختلاف فاز دو سر پیوند متناسب با ولتاژ در عرض سد است، که به عنوان رابطه ac جوزفسون شناخته می‌شود[۳] . معادله سینوسی گوردون که از این دو رابطه نتیجه می‌شود دارای دو نوع همگن و ناهمگن است و جوابهای این معادله فلاکسونها نامیده می‌شوند که در اغلب موارد مانند سالیتونها رفتار می‌کنند.

در فصل اول این پایان‌نامه به معرفی سالیتونها به عنوان امواج منزوی خود تقویت کننده پرداخته شده است. در فصل دوم، دیدگاههای میکروسکوپی و ماکروسکوپی ابررسانایی و پدیده تونل زنی در پیوندگاه جوزفسون مورد بررسی قرار می‌گیرد. فصل سوم شامل معرفی فلاکسون و اثبات معادلات پایه ای جوزفسون با استفاده از روابط ریاضی و ویژگیهای فیزیکی می‌شود. فصل چهارم به شبیه‌سازی پیوندگاه جوزفسون و تاثیر میدان مغناطیسی بر روی پیوندگاه جوزفسون پرداخته است و در فصل پنجم با مدل‌سازی پیوندگاه جوزفسون به معادلات سینوسی گوردون همگن وناهمگن رسیده وجوابهای آنها را به روش تحلیلی و محاسبات عددی به دست می‌آوریم. در انتهاکاربردها و نتیجه گیری بیان شده است.

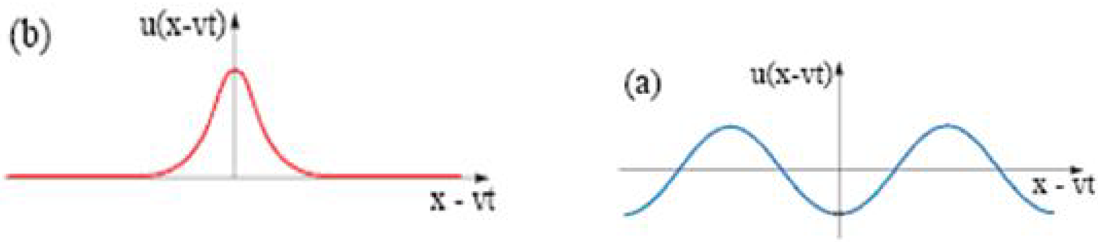
---

۱ Soliton
۲ Brayan Josephson

۱-۲ موج منفرد

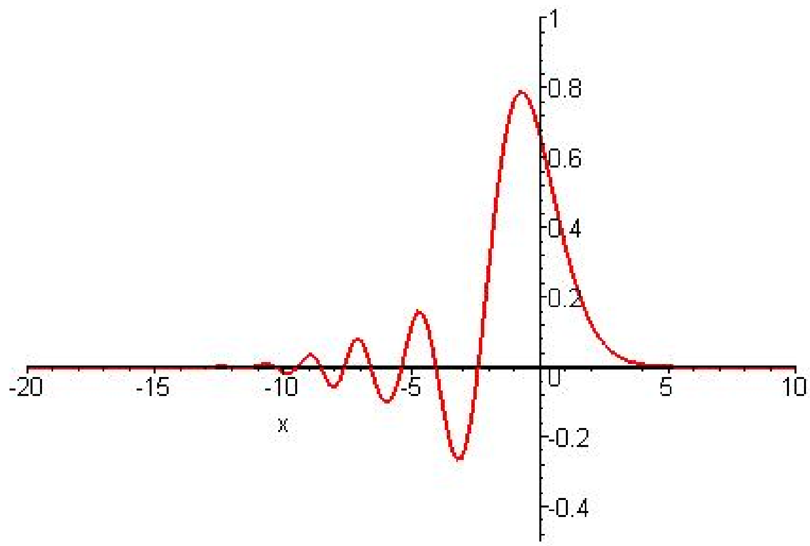
تا سال ۱۹۶۰ فیزیکدانها فکر می‌کردند که تقریباً به تمامی خـواص و ویژگـی‌هـای حرکـت مـوجی پـی برده‌اند. امواج در محیطهای گوناگون مثل امواج آب و امواج الکترومغناطیسی و . . . جملگی از قوانین بنیادی واحدی پیروی می‌کنند که دامنه ، بسامد و سرعت امواج با معادلات ساده‌ای به خواص محیط انتـشار مربـوط می‌شوند. اما درمیان امواج غیرعادی‌تر موج و همچنین انواعی که توصیف ریاضی آنها دشوارتر است امواجی هستند که آنها را امواج منفرد می‌نامند. موج منفرد شـامل یـک برآمـدگی یـا یـک فرورفتگـی اسـت کـه بـه صورت انفرادی حرکت می‌کند.

اکثر امواج واقعی کاملاً سینوسی نیستند. امواج غیر سینوسی را امواج مرکب مـی‌نامنـد و مـی‌توانـد بـسیار متنوع باشد. به عنوان مثال، شکل امواج دریا ممکن است پیچیده و پر اعوجاج باشد، نور به‌ندرت تکفام است، موج صوتی نوعاً آمیزه‌ای از چندین بسامد است و طنین آن عمدتاً توسط شکل موج تعیین مـی‌شـود. تحلیـل ریاضی امواج مرکب نسبت به امواج سینوسی خالص به مراتـب دشـوارتر اسـت. مـثلاً مـوج مرکـب در حـین انتشار الزاماً شکل خود را حفظ می‌کند و بنابراین معادلات توصیف کننده این امواج بایـد وابـستگی آنهـا بـه زمان و مکان را به صراحت نشان بدهند. در مقابل امواج سینوسی دست کم در محیط بدون اصطکاک هرگز تغییر نمی‌کنند. پس معادلات آن هم بسیار ساده‌ترند. به غیر از امواج منفـرد تمـامی امـواجی کـه دربـاره‌شـان صحبت کردیم تناوبی‌اند و این از مشخصه‌های ماهیتی آنهاست. از لحاظ ریاضی دامنـه چـنین مـوجی در هـر نقطه یک تابع تناوبی از مکان و زمان است. به عنوان مثال یک مـوج یـک بعـدی مثـل مـوج در یـک طنـاب بینهایت دراز و بدون اصطکاک را در نظر بگیرید. فرض می‌شود طول موج λ و دوره تنـاوب T باشـد. در اینصورت اگر دامنه در مکان مشخصی مثل x معلـوم باشـد ، در $\lambda - x$ ، λ و $\lambda + x$ و الـی آخـر هـم معلوم خواهد بود. بهمین ترتیب اگر دامنه در زمان t اندازه‌گیری شود فوراً می‌توان مقدار آن را در زمانهای $T-t$ ، T و $T+t$ نیز معلوم کرد. در نتیجه کل موج را بـه جهـت الگـوی تکرارشـونده‌اش مـی‌تـوان بـا دانستن شکل یک طول موج توصیف کرد [۶] .



شکل(۱-۱) موج سینوسی(a) وموج منفرد(b)

برای بررسی شکل موجهای مرکب آنالیز فوریه فوق‌العاده مفید است. نیازی نیست که انتشار امواج مرکب را مستقیماً توصیف کرد بلکه می‌توان آنها را به مولفه‌های سینوسی شان ، توابع سینوسی و کسینوسی سری فوریه تجزیه کرد و به بررسی حرکتهای ساده‌تر این امواج پرداخت. این مولفه‌ها که دامنه‌های آنها توصیفی از موج معینی را بدست می‌دهند هارمونیک نامیده می‌شوند. در مرحله نهایی می‌توان این امواج سینوسی را مجدداً باهم جمع کرد تا موج جدیدی حاصل شود. این فرایند که مکمل آنالیز فوریه است سنتز فوریه نام دارد. یکی از خواص مهم امواج مرکب که به کمک آنالیز فوریه آن را به آسانی می‌توان فهمید، پاشیدگی است. پاشیدگی گرایش موج به پخش شدن در فضاست که به اتلاف آن می‌انجامد. علت اساسی پاشندگی این است که امواج دارای بسامدهای مختلف در بیشتر محیطها با سرعتهایی حرکت می‌کنند که اندکی باهم فرق دارند. قاعدتاً هرچه بسامد امواج بیشتر باشد حرکت آنها آهسته‌تر است واین امواج در پشت پیکره اصلی موج ظاهر می‌شوند وموج کوتاهتر و پهن‌تر می‌شود. هرچه این امواج بیشتر پیش می‌روند تعداد بیشتری از امواج عقب می‌افتند و پیکره اصلی موج بازهم کوتاهتر و پهن‌تر می‌شود. اگر موج می‌توانست بطور نامتناهی پیش برود، چنان پهن و کوتاه می‌شد که به کلی ناپدید می‌شد[۶].

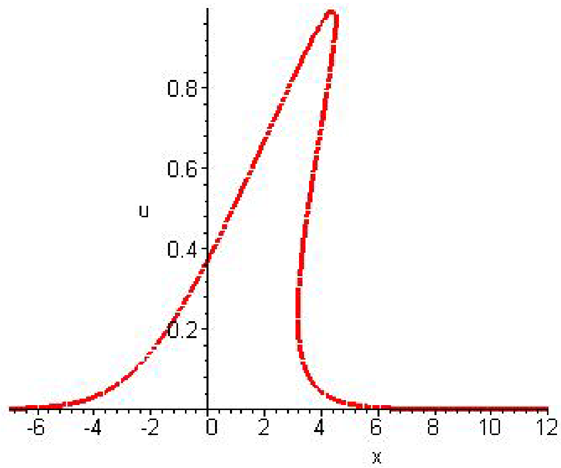


شکل(۱-۲) پاشندگی موج[٦]

این حکم درباره امواج صوتی و امواج آب و نیز امواج نوری که در محیطهای مادی در حرکت باشند صادق است. پاشندگی می‌تواند موج را تحت شرایط ایده‌آل که هیچ‌گونه تضعیف ناشی از اصطکاک یا اثرهای مرتبط با آن وجود ندارد منهدم کند. موج سینوسی ساده علی‌الاصول می‌تواند تا بینهایت دوام بیاورد اما موج مرکب عمر محدودی دارد و در اثر پاشندگی از بین می‌رود[۵]. ازآنجا که هر موج منفرد ضرورتاً یک موج مرکب است پس هر موج منفرد باید در معرض پاشندگی باشد. قانون پاشندگی در مورد امواج مرکب لغو نمی‌شود، اما اثر جبران کننده‌ای هم در کار است که دقیقاً با پاشندگی موازنه می‌کند. از آنجا که پاشندگی حاصل جفت‌شدگی بسامد موج با سرعت انتشار موج است. اثر جبران کننده در امواج منفردباید

حاصل جفت‌شدگی دامنه و سرعت باشد.این اثر جبران کننده را اثر غیر خطی موج می‌نامند. یعنی درمحیطهای گوناگون که حامل امواج منفردند، امواج مرتفعتر سریعتر حرکت می‌کنند. همین جفت‌شدگی است که موج منفرد را پایدار می‌سازد و به آن همدوسی چشمگیری می‌دهد.

با پاشیده شدن موج منفرد، مولفه‌های دارای بسامد بیشتر از مولفه‌های دارای بسامد کمتر عقب می‌مانند. در نتیجه کل موج تخت‌تر می‌شود. یا به عبارت دیگر دامنه‌اش کاهش می‌یابد. اما مولفه‌های کم دامنه‌تر آهسته‌تر حرکت می‌کنند.و این یعنی که قله موج کم‌کم از لبه پیش‌رونده که دامنه کمتری دارد سبقت می‌گیرد. اثر دامنه شیب موج را تیزتر می‌کند که معادل با وارد کردن مولفه‌های با بسامد بیشتر است شکل (۱-۳). این دو پدیده رقیب، پهن‌شدن ناشی از وابستگی بسامد و تیزشدن شیب به علت وابستگی دامنه به سرعت به یک تعادل پایدار می‌رسند و شکل موج ثابت می‌ماند. اثرهای غیرخطی در بسیاری از انواع موجها تحت شرایط حدی مشاهده می‌شوند و برای تشکیل امواج منفرد و سولیتونها بسیار اساسی‌اند. اینکه پاشندگی و غیرخطی بودن دقیقاً یکدیگر را خنثی می‌کنند و امواج منفرد پدید می‌آورند، شاید یک توصیف غیر عادی و ناموجه به نظر برسد و در واقع تصادف هیچ دخالتی در این قضیه ندارد. شکل موج را توازن بین این گرایشها ی متضاد تعیین می‌کند. درست به گونه‌ای که وزن قایق با نیروی شناوری آب به تعادل می‌رسد. اگر شرایط به نفع پاشندگی بیشتر تغییر کند موج منفرد به یک نمایه پهن‌تر تغییر خواهد کرد و اگر آثار غیر خطی غالب شوند موج تیزتر خواهد شد. یکی از پیامدهای غیرخطی بودن این است که اصل برهم‌نهی دیگر صادق نیست یعنی یک موج بزرگ با مجموع دو موج کوچکتر معادل نیست [۶].



شکل(۱-۳) اثر غیر خطی موج [٦]

امواج منفرد را نخستین بار در اواسط قرن نوزدهم از راه آزمایش مشاهده کردند، اما ۵۰ سال طول کشید تا توضیح مناسبی دال بر وجود آنها پیدا شد و۵۰ سال دیگر گذشت تا تکنیک‌های مناسبی تدوین شدند و امکان پژوهش درباره این امواج را فراهم آورند.

۱-۳ در جستجوی سالیتونها

جان اسکات راسل که مهندس ساختمان و اهل اسکاتلند بود در سال ۱۸۳۴ برای نخستین بار امواجی با شکل ثابت را ثبت کرد. او یک موج سالیتوری را در کانال مشترک در اسکاتلند مشاهده کرد. راسل برای تحقیقات عملی و نظری روی این امواج مقداری زمان صرف کرد، او مخزنهای موجی در خانه‌اش ساخت و متوجه برخی خواص کلیدی شد.

- امواج پایدار بودند و می‌توانستند در مسیرهای خیلی طولانی حرکت کنند (امواج معمولی مایلند که یا پهن شوند و یا سرازیر شده و بیافتند)

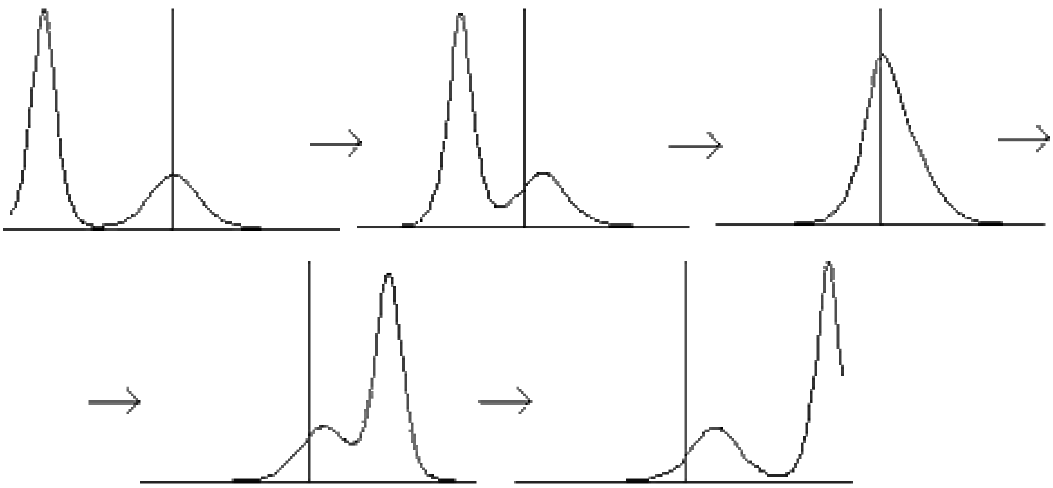
- سرعت به اندازه‌ی موج و به پهنایش روی عمق آب بستگی دارد.

- برخلاف امواج معمولی هیچ گاه ترکیب نمی‌شوند و بنابرین یک موج بزرگ بجای ترکیب با یک موج کوچک ،از آن سبقت می گیرد.

- اگر یک موج به ازای عمق آب خیلی بزرگ باشد به دو موج یکی بزرگ و دیگری کوچک تقسیم می-شود.

- سرعت چنین موجی دقیقاً به دامنه‌ی آن بستگی دارد. سرعت امواج در آب عمیقتر ، بیشتر است و امواج مرتفعتر سریعتر از امواج تخت‌تر حرکت می کنند[۸].

تا سال ۱۹۶۰ به نظر می‌رسید که در امواج منفرد چیزهای عجیب و غریب دیگری وجود ندارد اما بعد کشف غیر منتظره‌ای روی داد. نورمن زابوسکی از آزمایشگاههای بل و مارتین کروسکال از دانشگاه پرینستون مشغول مطالعه تغییرات این امواج از طریق شبیه سازیهای کامپیوتری حرکت آنها بودند. چیزی که در شبیه‌سازیها مشاهده شد این بود که دو موج منفرد پس از برخورد از میان یکدیگر عبور می کنند و با همان شکل و هویت قبلی خود سالم از طرف دیگر در می‌آیند. امواج منفرد چنان همدوسی و پایداری چشمگیری را به نمایش گذاشتند که به نظر می‌رسید شبیه ذرات ماده هستند تا شبیه امواج. به همین جهت زابوسکی و کروسکال به پیروی از این رسم که ذرات بنیادی در فیزیک با کلمات مختوم به اون نامگذاری می‌شوند این امواج را سالیتون نامیدند. برجسته ترین خصوصیت سالیتونها اینست که آنها شبیه ذرات رفتار می کنند..مطابق شکل(۱-۴) که برخورد دو موج سالیتونی را نشان می‌دهد موج با دامنه بیشتر سریعتر حرکت می کند و پس از برخورد با موج کوتاهتر بدون تغییر شکل به مسیر خود ادامه می‌دهد [۶].



شکل (۱-٤) برخورد دو موج منفرد

درازین و جانسون (۱۹۸۹) سه خاصیت به سالیتون نسبت دادند. به موجی که سه خاصیت زیر را دارا باشد سالیتون می گویند.

۱. شکل آن تغییر نکند.
۲. در منطقه‌ای از فضا محدود باشد.
۳. بعد از برخورد با سالیتونهای دیگر شکل خود را حفظ کند.

روشهای جدید و قدرتمندی برای توصیف این امواج به زبان ریاضی ابداع شده و بیش از یکصد معادلـه به دست آمده که امواج منفرد می‌توانند جوابهای آنها باشند. از جملـه معادلـه کورتـوگ -دوریـز (KDV)، معادله غیر خطی شرودینگر و معادله ساین – گوردون و . . . بعلاوه این امواج در حوزه‌های طبیعی گونـاگون مثل جو اقیانوسها، فیزیـک پلاسـما و احتمـالاً در دسـتگاههای عـصبی موجـودات زنـده مـشاهده شـده‌انـد. و سالیتونها نقش مهمی در ارتباطات راه دور برعهده گرفتند. پایداری شکل و مصونیت امواج در برابر اعوجاج، آنها را حاملهای ایده‌آلی برای سیگنالهای راه دور ساخته است. سالیتونها را بر طبق معادلات غیر خطی‌ای کـه تکامل آنها را توصیف می کند می‌توان طبقه بندی کرد.در اینجا دو نوع از این معادلات آمده است.

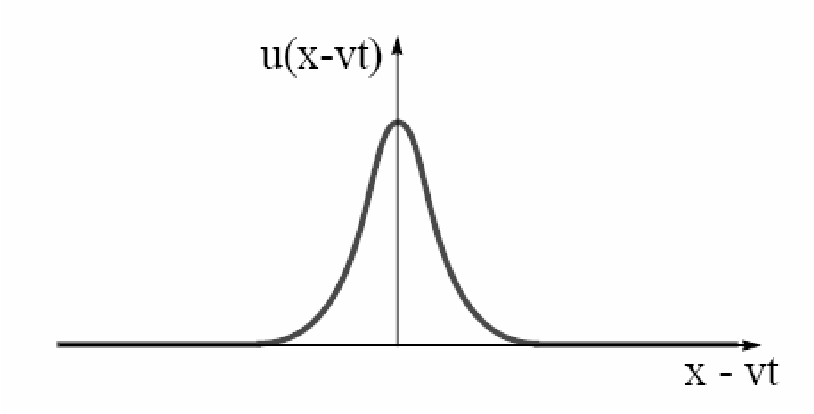
۱) معادله KDV $$u_t = 6uu_x - u_{xxx}$$

۲) معادله Sine-Gordon $$u_{tt} = u_{xx} - \sin u$$

در این معادلات، u تابعی بی بعد و وابسته به متغیرهای زمانی و فضای است.

۱-۳-۱ سالیتون معادله KDV

ویژگیهای اساسی سالیتون KDV را می‌توان به شکل زیر خلاصه کرد. شکل جواب دقیق معادله KDV به صورت زیر است.



شکل (۱-۵) جواب معادله KDV (Korteweg–de Vries)

۱) دامنه آنها با سرعت افزایش پیدا می‌کند (و بالعکس) بنابراین آنها نمی‌توانند در حالت سکون وجود داشته باشند.

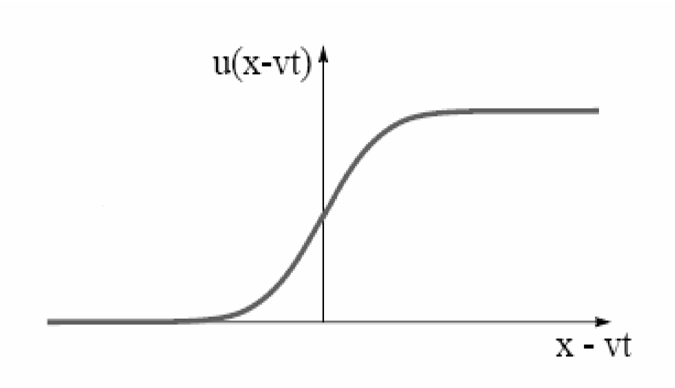
۲) پهنای آنها به طور معکوس با ریشه مربعی سرعتشان متناسب است.

۳) یک پالس موج یک سویه است، یعنی سرعتش نمی‌تواند برای جوابهای معادله KDV منفی باشد.

۱-۳-۲ سالیتون معادله Sine-Gordon

معادله Sine-Gordon نقش مهمی در بیشتر شاخه‌های فیزیک ایفا می‌کند.این معادله می‌تواند در تئوری جابجاشدگی مواد، در تئوری اتصال جوزفسون و مانند آن یافت شود. همینطور می‌تواند در تفسیر فرایندهای زیستی معینی مثل دینامیکDNA استفاده شود. جوابهای این معادله را از روشهای مختلفی می‌توان بدست آورد. یکی از این روشها، جداسازی متغییرها است که البته در این مورد جوابهای محدودی به ما می‌دهد. روش دیگر تبدیلات بکلاند است که از طریق آن جوابهای چند سالیتونی را می‌توان بطور کامل بدست آورد. ویژگی اصلی سالیتونهای Sine-Gordon، که در شکل(۱-۶) نشان داده شده است به صورت زیر خلاصه می گردد.

۱. دامنه‌اش مستقل از سرعت است، و این دامنه برای سرعت صفر دارای مقداری ثابت خواهد بود. بنابراین کینک ممکن است ایستا هم باشد.
۲. ویژگیهایی از یک ذره نسبیتی دارد.
۳. کینکی که جهت پیچ خورده مخالفی دارد آنتی‌کینک نامیده می‌شود.



شکل (۱-٦)جواب معادله Sine-Gordon

این سالیتونها بینهایت پایدار هستند و تحت تأثیر اصطکاک، سرعتشان کند می‌شود و سرانجام می‌ایستند و در حالت سکون می‌توانند و برای مدتها باقی بمانند[۶].