پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی

گروه فوتونیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی فوتونیک گرایش مخابرات

عنوان فارسی

پاسخ VCSEL تزریق شده به مدولاسیون مستقیم/غیرمستقیم

عنوان انگلیسی

Response of an injected VCSEL to Direct/Indirect modulation

استاد راهنما

جناب آقای دکتر رضا خردمند

استاد مشاور

جناب آقای دکتر مصطفی صحرایی

پژوهشگر

فریبا لطفی

شهریور 93

شکر و سپاس خدا را که بزرگترین امید و یاور در لحظه لحظه زندگیست...

این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به:

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند،

پدر و مادر عزیزم

خواهرانم و برادرانم که وجودشان شادی بخش و صفایشان مایه آرامش من است.

استاد فرزانه و فرهیخته جناب آقای دکتر رضا خردمند که در راه کسب علم و معرفت مرا یاری نمودند و با پیگیری های مداوم در طول انجام پروژه با من همراه و همگام بودند. مراتب تشکر خود را از استاد مشاورم جناب آقای دکتر مصطفی صحرایی عرض می دارم.

با سپاس بی دریغ خدمت دوستان گرانمایه ام سرکار خانم دکتر سحر احمدی پناه و جناب آقای دکتر اسلامی که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده اند.

و دوستان عزیزم که در لحظات سختی و خوشی، غم و شادی همواره همراه و یاور و مایه دل گرمی من بوده اند.

گل نازم، نیکا که کودکی گمشده ام را در چهره معصومش پیدا کردم.

نام‌خانوادگی دانشجو: لطفی **نام:**فریبا

عنوان پایان‌نامه: پاسخ *VCSEL* تزریق شده به مدولاسیون مستقیم/غیرمستقیم

استاد راهنما: دکتر رضا خردمند

استاد مشاور: دکتر مصطفی صحرایی

مقطع تحصیلی: کارشناسی‌ارشد **رشته:**فوتونیک **گرایش:**مخابرات

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** پژوهشکده فیزیک کاربردی و ستاره شناسی

تاریخ فارغ‌التحصیلی: شهریور ماه 1393 **تعداد صفحه:** 94

کلید واژه‌ها: نوسانات واهلشی، پرتو نگه‌دارنده، نامیزانی، دوپایایی، مدولاسیون جریان، رزونانس، پرتو تزریق قفل شده، زنش، ناپایداری

چکیده:

لیزرهای نیم رسانا به‌دلیل حجم کوچک و زمان پاسخ‌دهی نسبتا کوتاه، مدتی است که به‌عنوان کاندیدای مناسبی برای کاربردهای پردازش اطلاعات مطرح هستند. از این میان *VCSEL* (*vertical cavity surface emitting laser*) ها، که از ابعاد میکرومتری و تکنولوژی ساخت سهل‌الوصول‌تری برخوردار هستند، جایگاه مهمی را در پژوهش‌ها به خود اختصاص داده‌اند. دینامیک غیرخطی *VCSEL* ها از این‌رو حائز اهمیت شده‌اند که نیازهای روبه رشد عصر اطلاعات، بهینه‌سازی پارامترهای چنین لیزرهایی را جهت بهبود عملکرد آن در مخابرات و پردازش نوری می‌طلبد.

یکی از پارامترهای ذاتی لیزرهای نیم‌رسانا نوسانات واهلشی ذاتی آن‌هاست که هم می‌تواند یک عامل محدود کننده باشد و هم یک عامل مفید. محدود کننده از این جهت که زمان پاسخ‌دهی لیزر توسط این نوسانات تحت‌الشعاع قرار می‌گیرد و می‌تواند عامل مخربی در پردازش سریع اطلاعات باشد. پارامتر

نرخ میرایی که در واقع از فرکانس نوسانات واهلشی مشتق می‌شود می‌تواند برای بهینه‌سازی لیزر نیم‌رسانا موردمطالعه قرار گیرد. این نوسانات واهلشی از این جهت می‌توانند مفید واقع شوند که ایده‌ی رزونانس کردن عوامل تحریک کننده لیزر با فرکانس آن‌ها نوید نتایج قابل توجهی را در این زمینه می‌دهد. عوامل تحریک کننده لیزرهای نیم‌رسانا، به‌ویژه *VCSEL* ها، پرتو میدان تزریقی و جریان پمپاژ می‌باشند. البته *VCSEL*های با جاذب اشباع‌پذیر که دارای مزایای مختص به خودشان هستند از پرتوی تزریقی خارجی بهره نمی‌گیرند و در واقع این نقش به عهده‌ی دو ماده، متفاوت فعال و جاذب داخل کاواک می‌باشد. اما آن‌چه که در این پروژه مطرح است افزودن پرتو خارجی به *VCSEL* بوده که درجه‌ی آزادی سیستم را به نوعی کاهش می‌دهد. اختلاف فرکانس بین پرتو تزریقی و فرکانس رزونانس کاواک لیزر منجر به مطرح شدن مفاهیمی چون قفل‌شدگی تزریق و ناپایداری هوپف می‌شود که می‌تواند نوسانات واهلشی میرا یا نامیرا را به‌وجود آورد. مطالعه این نوسانات و دینامیک سیستم در حضور سالیتون‌های کاواک قدم اول در این پایان‌نامه محسوب می‌شود. از طرحی برای ایجاد رزونانس بین عوامل تحریک کننده سیستم نیاز به مدولاسیون هارمونیک آن‌ها در فرکانس واهلشی سیستم داریم. برای این منظور دو روش مورد مطالعه قرار خواهد گرفت، مدولاسیون مستقیم و غیر مستقیم. منظور از مدولاسیون مستقیم، مدولاسیون پرتو نگه دارنده و غیر مستقیم مدولاسیون جریان است. مطالعه دینامیک سالیتون‌های کاواک و طرح‌های نوری در حضور چنین مدولاسیون‌هایی مدنظر است که با مطالعه مکانیسم‌های قفل‌شدگی و ناپایداری هوپف همراه خواهد بود.

به‌دلیل وجود بهره‌ی نوری بیشتر در سالیتون‌های کاواک نسبت به نقاط عادی در صفحه‌ی عرضی لیزر نیم‌رسانا، انتظار می‌رود که نتایج بهتری از پاسخ سالیتون‌های کاواک به مدولاسیون مستقیم و غیرمستقیم به‌دست آید.

فهرست مطالب

عنوان0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000صفحه

فصل اول : بررسی منابع(مفاهیم پایه‌ای و مقدمه پژوهشی)

1سالیتون..... 5

1-1ضریب شکست کر و اثر کر 7

1- 2 سالیتون‌های کاواک 7

1- 3 سالیتون‌های نوری فضایی.....9

1-3-1 پراش.....9

1-3-2خود کانونی 11

1-3-3 سالیتون‌های نوری زمانی.....12

1-3-4 پاشندگی سرعت گروه 12

1-3- 5مدولاسیون خود فازی 13

1-4 کاربردهای سالیتون کاواک 14

1-4-1 حافظه‌های تمام نوری.....14

1-4-2خط تاخیری تمام نوری 15

1-4-3 میکروسکوپ سالیتونی.....16

1-4-4 طرح‌های نوری 18

1-5دوپایایی نوری 19

1-5-1 سوئیچ زنی نوری.....21

1-6میکرومشددهای نیم‌رسانا 21
1-7لیزرهای نیم‌رسانا..... 22
1-7-1تاریخچه 22
1-7-2اساس کار 23
1-7-3بهره‌ی نوری و اتلاف 26
1-8لیزرهای نیم‌رسانای گسیل از لبه 27
1-9لیزرهای نشرکننده از سطح با کاواک عمودی..... 28
1-10لیزرهای چاه کوانتومی..... 30
1-10-1لیزرهای تک چاه کوانتومی 30
1-10-2 چاه‌های کوانتومی چندگانه 32
1-11مکانیسم قفل شدگی تزریق 33
1-12مدولاسیون 34
1-12-1مدولاسیون پرتو نگه‌دارنده..... 35
1-12-2مدولاسیون جریان 36
1-13مدولاسیون سیگنال کوچک 37
1-13-1فرکانس نوسانات واهلشی 37
1-13-2فرکانس *Chirping* 38
1-14دلایل استفاده از *VCSEL*برای مدولاسیون..... 38
1-14-1کاربرد *VCSEL* و رزونانس واهلشی 38
1-14-2منابع نویز نوری..... 39

1-14-3نرخ خاموشی (ER) 40
1-14-4سطح یک 40
1-14-5سطح صفر 40

فصل دوم :مواد و روش‌ها:

2-1مدل میکرومشددهای نیم‌رسانا: 44
1-1-1معادلات ماتریس چگالی 44
2-2معادلات ماکسول بلاخ ماکروسکوپیک 47
2-3پارامترهای κ, ξ: 52
2-4مدل کاواک و معادلات ماکروسکوپیک ماکسول-بلاخ تعمیم‌یافته: 52
2-5برازش منحنی بهره: 60
2-6روش انتگرال‌گیری: 62
2-6روش گام‌های مجزا: 62

فصل سوم: بحث و نتایج:

3-1جواب‌های هموژن پایا 67
3-2تحلیل پایداری خطی 69
3-3 نتایج شبیه سازی شده 73
3-3-1رسم شاخه سالیتونی 73
3-4فرکانس رزونانس 76
3-5نوشتن شاخه سالیتونی با جریان گاوسی توسط مدولاسیون جریان 81
3-6پهنای باند 85

فهرست شکل‌ها

عنوان0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000صفحه

شکل 1-1: کانال آب در اسکاتلند که همه ساله علاقه‌مندان را برای تکرار آزمایش اسکات راسل به این منطقه می‌کشاند. 5

شکل 1-2: سالیتون‌های کاواک با حلقه پراش در کناره 7

شکل 1-3:a)پدیده‌های خودکانونی و پراش و اثر آن‌ها در تشکیل سالیتون‌های فضایی b)همگرایی نور توسط غیرخطی 11

شکل 1-4: اثر غیرخطی (پدیده کر) پاشندگی طبیعی پالس را خنثی می‌کند،در شرایط برابری کامل این‌دو پدیده سالیتون‌های زمانی می‌توانند تشکیل شوند. 14

شکل 1-5 : شبیه سازی عددی؛ نوشتن حروف IT با سالیتون‌های کاواک در یک آرایه‌ی مربعی از پیکسل‌ها. 15

شکل 1-6 : عبور یک سالیتون کاواک از مقابل آرایه‌ای خطی از پنج دتکتور (A-E) . شکل سمت چپ: مسیر زمانی این دتکتورها. دتکتور A نقطه‌ی آدرس‌دهی شده توسط پرتوی نویسنده را مانیتور می‌کند. شکل سمت راست: مکان‌های دتکتورها در صفحه‌ی عرضی.....17

شکل 1-7: نمایش میکروسکوپی سالیتونی در یک تقویت کننده‌ی کاواک عمودی 17

شکل 1-8: منحنی دوپایایی؛ شدت ورودی بر حسب شدت خروجی 19

شکل 1-9: نمای شماتیک از سطح انرژی باند رسانش و ظرفیت نسبت به تکانه کریستال در ماده نیم‌رسانا ..23

شکل 1-10: لیزر نیم‌رسانا الف) قبل از اعمال میدان، ب) بعد از اعمال میدان 24

شکل 1-11: با اعمال ولتاژ الکترون‌ها و حفره‌ها با هم ترکیب شده و فوتون‌ها گسیل می‌شوند 25

شکل 1-12: : لیزر نیم‌رسانای نشرکننده از لبه 28

شکل 1-13: طرح شماتیک یک لیزر نشرکننده از سطح با کاواک عمودی 29

شکل 1-14: شکل شماتیک ترازهای انرژی لیزر نیم‌رسانای چاه کوانتومی 30
شکل 1-15: لیزر نیم‌رسانای چاه کوانتومی چندگانه 32
شکل 2-1:منحنی قسمت حقیقی $G' = \frac{G}{g_0}$ را برای $g_0 = 275358m^{-1}$ برای چهار چگالی حاملین متفاوت را نشان می‌دهد 58
شکل 3-1: مقایسه نمودار دوپایایی به ازای 10و20 درصد بالای آستانه لیزرزایی 69
شکل 3-2: (a)نواحی ناپایدار هوپف برای جریان‌های تزریق 10و 20 درصد بالای آستانه لیزرزایی، (b) منحنی ناپایداری تورینگ برای همان جریان‌ها. K قدرمطلق بردار موج عرضی است که پایداری جواب هموژن نسبت به آن تحلیل شده است. 72
شکل 3-3: شاخه سالیتون‌های کاواک در جریان 20% بالای آستانه لیزری بدون اعمال مدولاسیون 73
شکل 3-4: دامنه سالیتون‌های نوسانی در شدت 0.7 74
شکل 3-5: دامنه سالیتون‌های پایا در شدت0.925 75
شکل 3-6: میرایی نوسانات واهلشی 76
شکل 3-7: نمودار مقایسه فرکانس رزونانس سالیتون‌ها با استفاده از مدولاسیون جریان و پرتو نگه‌دارنده در ناحیه تزریق قفل شده 77
شکل 3-8: نمودار مقایسه فرکانس رزونانس سالیتون‌ها با استفاده از مدولاسیون جریان و پرتو نگه‌دارنده در ناحیه هوپف 78
شکل 3-9: نمودار مقایسه فرکانس رزونانس سالیتون‌ها در ناحیه هوپف و تزریق قفل شده با استفاده از مدولاسیون جریان 78
شکل 3-10: نمودار مقایسه فرکانس رزونانس سالیتون‌ها در ناحیه هوپف و تزریق قفل شده با استفاده از مدولاسیون پرتو نگه‌دارنده 79
شکل 3-11: (a) شاخه سالیتونی بدون و با مدولاسیون جریان در فرکانس رزونانس 85 گیگاهرتز؛ (b) شاخه سالیتونی بدون و با مدولاسیون جریان در فرکانس رزونانس 80 گیگاهرتز 80

شکل 3-12: شاخه سالیتونی که توسط جریان گاوسی شبیه سازی شده است 82
شکل 3-13: شاخه سالیتونی شکل 3-12 که با استفاده از مدولاسیون جریان شبیه سازی شده است 82
شکل 3-14: (a) شاخه سالیتونی که ابتدا توسط جریان گاوسی شبیه‌سازی شده و سپس مدولاسیون اعمال شده است؛ (b) شاخه سالیتونی که توسط جریان گاوسی شبیه‌سازی شده و همزمان مدولاسیون اعمال شده است 83و84
شکل 3-15: (a) تحول زمانی حاملین شکل 3-14 (b) ؛(b) تحول زمانی حاملین شکل 3-14 (a) 84و85

فهرست جدول

جدول 3-1: فرکانس رزونانس در دوناحیه هوپف و تزریق قفل شده با استفاده از مدولاسیون پرتو نگه‌دارنده و مدولاسیون جریان..... 76

جدول 1-2: مقایسه فرکانس رزونانس و فرکانس پهنای و پهنای باند برای سالیتون‌های نوسانی و سالیتون‌های قفل شده با دو متد مدولاسیون پرتو نگه‌دارنده و مدولاسیون جریان..... 86

مقدمه

سالیتون یک موج منفرد خود-تقویت کننده (یک بسته موج یا پالس) است که وقتی با سرعت ثابت حرکت می‌کند شکلش را حفظ می‌کند. سالیتون‌ها در نتیجه خنثی‌سازی آثار غیرخطی و پاشندگی در محیط حاصل می‌شوند. «آثار پاشندگی» به رابطه پراش بین فرکانس و سرعت امواج برمی‌گردند.که غیر خطیت ماده، پراش(در سیستم‌های فضایی) یا پاشندگی (در سیستم‌های زمانی) را خنثی می‌کند. این تعادل منجر به یک ساختار جایگزیده‌ای می‌شود که سالیتون نامیده شده است. همچنین برای توصیف جواب‌های جایگزیده ی غیرخطی که در گستره وسیعی از شرایط فیزیکی وجود دارند،که توسعه سریع این مفهوم منجر به پوشش جواب‌های موج منفرد در سیستم های پایستار و غیرپایستار می شود.

تاریخچه‌ی سالیتون‌های کاواک را می‌توان به سه دوره تقسیم کرد: عصر سنگ، عصر فضا و عصر اطلاعات. عصر سنگ حدودا تا سال 1990 ادامه یافت. طی این دوره برخی از پیشروان این دانش پدیده‌های فضایی مربوط به کاواک‌ها را مورد بررسی قرار دادند. در عصر فضا چندین شرایط موافق هم ترکیب شدند و توجه بسیاری را به اپتیک غیرخطی فضایی-زمانی جلب کردند. بهبود روش‌های برنامه نویسی امکان شبیه‌سازی دینامیکی طرح‌های دو بعدی میدان را به‌وجود آورد. به‌علاوه، مدل‌های ساده میدان میانگین چنین سیستم‌هایی چارچوب مناسبی را به‌دست داد که به‌راحتی با مطالعات تشکیل طرح در شاره‌ها و دیگر رشته‌ها سازگار می‌شد.. عصر اطلاعات هنوز به صورت کامل آغاز نشده است؛ در این دوره تمرکز از صرف وجود سالیتون‌های کاواک به مهندسی و کاربردهای آن تغییر خواهد کرد.

تاریخ سالیتون‌های نوری کاواک با مقاله مولونی و همکارانش شروع شد، که روش گام-مجزای تبدیل فوریه سریع را برای شبیه سازی اثرات عرضی در دوپایایی نوری به‌کار بردند. مدل سیستم یک کاواک حلقوی تحریک شده با پرتوی گاوسی بود که شامل محیط غیرخطی خودکانون کر می‌شد. میدان حول کاواک منتشر می‌شد و به‌طور همدوس به پرتوی محرک در ورودی به‌واسطه یک شکافنده اضافه می شد.

در ده سال اخیر به منظور ارائه مدل جامع تر برای میکروکاواک‌های نیم‌رسانا، گروه لوجیاتو با استفاده از فرمول بندی ماتریس چگالی تلاشی را آغاز کرده‌اند که به پیش‌بینی وجود سالیتون‌های کاواک در این سیستم‌ها منجر

شد. در این پایان‌نامه با استفاده از این مدل و مرتبه دوم منحنی بهره، معادلـه حـاکم بـر پلاریزاسـیون تغییـر داده شده و نتایج شبیه‌سازی‌ها و محاسبات مربوط به ناپایداری‌های سیستم در جریان پمپاژ 20 درصد بالای آستانه‌ی لیزرزایی است.

در این پایان‌نامه مدولاسیون سالیتون‌های کاواک و بررسی تاثیرآن روی سـالیتون‌هـا هـدف مـوردنظر مـی‌باشـد. تفاوت رفتاری سالیتون‌های پایا و سالیتون‌های نوسانی مورد بررسی قرار گرفتـه اسـت. دو نـوع مدولاسـیون در نظر گرفته می‌شود؛ مدولاسـیون مسـتقیم، مدولاسـیون غیرمسـتقیم. مدولاسـیون مسـتقیم یـا مدولاسـیون پرتـو نگه‌دارنده که ،مدولاسیون زمانی جریان پمپاژ سیستم و غیر مستقیم یا مدولاسیون جریان که ناظر بر مدولاسیون زمانی پرتو تزریق خارجی است. مطالعه دینامیک سالیتون‌هـای کـاواک و طـرح‌هـای نـوری در حضـور چنـین مدولاسیون‌هایی مدنظر است که با مطالعه مکانیسم‌های قفل‌شدگی و ناپایداری هوپف همراه خواهد بود.

در این پایان‌نامه با استفاده از نتایج شبیه سازی پهنای باند بالا تحت شرایط خاص از مدولاسیون و با اسـتفاده از مکانیسم‌های نام‌برده در بالا مورد مطالعه قرار گرفته است. پهنای باند به تزریق قفل شده وابسته است. لیزرهـای نیم‌رسانای تزریق قفل شده قوی که دارای پهنای بانـد بـالایی مـی‌باشـند و دارای کاربردهـای زیـادی در انتقـال اطلاعات در شبکه فیبر نوری در مخابرات هستند.

و عوامل موثر در مدولاسیون و به تبع آن پهنای باند، یعنی فرکانس نوسانات واهلشی و نرخ میرایی می‌باشد کـه به تفصیل در این پایان‌نامه بررسی شده است.

این پایان‌نامه در سه بخش اصلی تنظیم شده است. در فصـل اول بررسـی منـابع در مـورد سـالیتون‌هـای نـوری کاواک با مروری بر کاربردهای آن‌ها و مفهوم دوپایایی نوری صورت گرفته است. و همچنین میکرو مشـددهای نیم‌رسانا و لیزرهای نیم‌رسانا مورد بحث قرار گرفته است. سپس تاثیر مدولاسیون روی رفتار این سالیتون‌هـا و عوامل موثر در مدولاسیون و دلایل اینکه چرا *VCSEL* برای هدف موردنظر ما یعنی مدولاسیون انتخاب شده و مزیت‌های آن مورد بحث قرار گرفته است.

در فصل دوم پس از بدست آوردن یک مدل تئوری، با استفاده از معـادلات ماکسـول-بـلاخ تعمـیم یافتـه بـرای نیم‌رسانای مورد مطالعه آهنگ تغییرات میدان الکتریکی نـور، پلاریزاسـیون و جمعیـت حـاملین توصـیف شـده

است. و روش دینامیکی به‌کار رفته برای حل معادلات به روش گام مجزا ارائه شده است.

در فصل سوم نتایج به‌دست آمده از حل همگن و تحلیل پایداری‌ها و شبیه‌سازی‌ها ارائه شده و پس از آن مهمترین نتایج به دست آمده مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

در انتهای پایان‌نامه مراجع درج شده است.

فصل اول

بررسی منابع

1 فصل اول : بررسی منابع(مفاهیم پایه‌ای و مقدمه پژوهشی)

سالیتون به موجی گفته می‌شود که به صورت منفرد با شکل، ارتفاع،و سرعت ثابت به پیشروی و انتشار خود در محیط ادامه می‌دهد، در حالی‌که در صورت برخورد با سالیتون‌های دیگر شکل خود را حفظ می‌کند. سالیتون‌ها حاصل تعادلی ظریف بین دو فرآیند فیزیکی مخالف هستند که یکی اجازه پخش شدن نور را می‌دهد و دیگری امکان تمرکز توزیع جایگزیده نور را به‌وجود می‌آورد. تحقیق بر روی پاسخ‌های سالیتونی و موج های سالیتوری، اولین بار در قرن 19(سال 1844) توسط جان اسکات راسل هنگامی‌که مسیر یک موج سالیتوری[1] را در یک کانال آب در اسکاتلند دنبال می‌کرد، صورت گرفت. او مشاهده کرد که قله موج آبی در این کانال، بدون تغییر شکل چندین کیلومتر را در امتداد کانال طی می کند [1]. گزارش او در سال 1844 منتشر شد و شامل متن زیر بود "وقتی قایق در امتداد کانال با سرعت حرکت کرده و ناگهان متوقف شد، در جلوی قایق موجی تولید شد که با سرعت زیادی امتداد کانال را پیمود بدون اینکه میرا شود."

شکل 1-1: کانال آب در اسکاتلند که همه ساله علاقه‌مندان را برای تکرار آزمایش اسکات راسل به این منطقه می‌کشاند[2].

سالیتون‌ها را می‌توان از نقطه نظر اپتیکی به دو دسته کلی سالیتون‌های زمانی و فضایی تقسیم کرد. بسته به اینکه

[1] Solitory

موج در حال انتشار در زمان یا فضا محصور و جایگزیده باشد، سالیتون‌های فضایی و زمانی خواهیم داشت. سالیتون‌های زمانی[1] پالس‌های نوری هستند که بدون پاشندگی منتشر می‌شوند و سالیتون‌های فضایی[2] پرتو نوری هستند که در صفحه عرضی بر مسیر انتشار بدون پراش منتشر می‌شوند.

در مورد سالیتون‌های زمانی تقابل بین دو پدیده یعنی پاشندگی سرعت گروه و مدولاسیون خودفازی و در مورد سالیتون های فضایی تعادل بین پهن شدگی ناشی از پراش و خودکانونی اثر کر مکانیسم اصلی تشکیل سالیتون را توجیه می‌کند.

در سال 1993 کراس و هوهنبرگ[3][3] بیان کردند که تشکیل طرح های خود به خودی نتیجه ای از غیرخطیت در سیستم‌های گسترده فضایی است که این طرح‌ها در گستره وسیعی از سیستم‌های گوناگون از جمله سیالات دینامیک، مواد شیمیایی، حوزه زیست‌شناسی، مایعات فرو، مواد متخلخل و در اپتیک (لاگلین[4][4]، لوجیاتو و لفور[5][5]، آبراهام و فرث[6][6]، نوبکر[7][7]، روزانوف[8][8]، آرچی [9][9]، اکمن و لانگ[10][10]، اپو[11][11]) پیش بینی و یا مشاهده شده‌اند. اگرچه اتلافات نقش مهمی را در بیشتر سیستم‌های طبیعی بازی می‌کنند، اما بیشتر تحقیقات اولیه در مورد خودجایگزیدگی روی محدودیت‌های کنسرواتیو به ویژه سالیتون متمرکز شده است، در واقع جواب‌های دقیق به معادلات موج غیرخطی، کنسرواتیو انتگرال‌پذیر. این جواب‌ها سالیتون‌های اتلافی فضایی اپتیکی هستند که در حقیقت برآشفتگی‌های اپتیکی خودجایگزیده مستقر در یک زمینه یکنواخت یا شبه یکنواخت در یک محیط اتلافی مثل یک کاواک اپتیکی غیرخطی می‌باشند. در واقع در اپتیک اغلب به آن‌ها سالیتون کاواک[12] گفته می‌شود. سالیتون‌های کاواک علاوه بر دستیابی به پیشرفت‌های بنیادی در دانش اندرکنش نور-ماده و یافتن حالات جدید، کاربردهای جدیدی را در پردازش تمام نوری اطلاعات نظیر کدگذاری فضایی

[1] Temporal Soliton
[2] Spatial Soliton
[3] Cross and Hohenberg
[4] McLaughlin
[5] Lugiato and Lefever
[6] Abraham and Firth
[7] Neubecker
[8] Rosanov
[9] Arecchi
[10] Ackemann and Lange
[11] Oppo
[12] Cavity Solitons

اطلاعات، دستکاری و باز پیکربندی بر اساس توزیع عرضی نور، در دسترس قرار داده‌اند[12] .

1-1 ضریب شکست کر و اثر کر

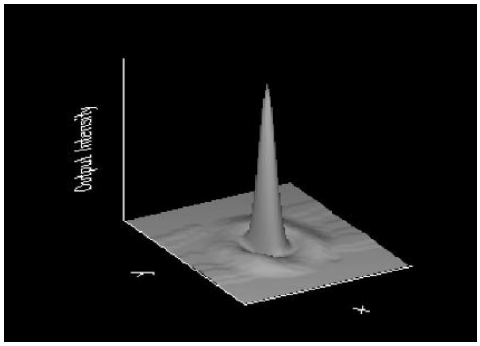
ضریب شکست وابسته به شدت که به‌عنوان ضریب شکست کر نامیده می‌شود، به‌شکل رابطه 1-1 می‌باشد:

$$n = n_0 + n_2 I. \qquad \textbf{(1-1)1}$$

در حقیقت زمانی که یک پالس اپتیکی در داخل یک محیط غیر خطی انتشار می یابد اثر کر منجر به تاخیر فازی می شود که تاثیر زیادی در قسمت هائی از پالس که شدت بالا دارد (وسط پالس گوسی)و کمتر بر قسمت های با شدت پائین، می گذارد.

2-1 سالیتون‌های کاواک

در اپتیک سالیتون‌های اپتیکی فضایی پرتوهای نوری هستند که در آن‌ها غیرخطیت و پراش در تقابل هم هستند که منجر به یک ساختار قوی می‌شوند که بدون تغییر شکل منتشر می‌شود. در بین این‌ها، نقاط روشن جایگزیده[1] در مورد طرح‌های فضایی[2] که در داخل میکروکاواک‌ها شکل می‌گیرند، در دامنه فضایی، امکان کدگذاری عناصر اطلاعات منحصر به‌فرد در این طرح‌ها، به علت درجه بالایی از همبستگی فضایی[3]، از بین می‌رود. سالیتون‌های کاواک که نوعی از سالیتون‌های فضایی هستند بهترین گزینه برای مقابله با این پدیده هستند[13].



شکل 1-2: سالیتون‌های کاواک با حلقه پراش در کناره[14]

[1] Localization Bright Spots
[2] Spatial Patterns
[3] Spatial Correlation

سالیتون‌های کاواک که در واقع لکه‌های روشن و پرشدت نور هستند که در پس‌زمینه تاریک شکل می‌گیرند، با مشخصات زیر شناخته می‌شوند: 1) سالیتون‌های کاواک حالت‌های خود جایگزیده‌ای هستند که از مرزهای سیستم مستقل‌اند و شکل و اندازه‌شان با پارامترهای سیستم تنظیم می‌شود و به آشفتگی که باعث به‌وجود آمدن آن‌ها شده است بستگی ندارند; 2) می‌توانند در موقعیت‌های عرضی مختلف کاواک وجود داشته باشند و قابلیت دست‌کاری مستقل از هم (نوشته شدن و پاک کردن) را دارند; 3) می‌توانند حرکت داده شوند[15].

سالیتون‌ها در داخل کاواک شکل می‌گیرند و در داخل کاواک همیشه اتلافاتی نظیر عبور از آینه‌ها و واهلش وجود دارد. البته این اتلافات توسط پرتو نگه‌دارنده جبران می‌شود. این نوع از سالیتون‌ها نتیجه توازن سه پدیده فیزیکی هستند: پراش، غیرخطیت و بازگشت از آینه‌ها.

غیرخطیت عامل خنثی کننده پراش در سیستم است و آینه‌ها شرط دوپایایی را که یکی دیگر از شرایط لازم برای تولید سالیتون‌های کاواک است به‌وجود می‌آورند. با انتخاب مناسب پارامترهای موثر در تولید سالیتون‌های کاواک می‌توان بستر مناسب را برای تشکیل خود به خودی و القایی آن‌ها به‌وجود آورد.

در حالت القایی سالیتون کاواک می‌تواند توسط یک اختلال محلی[1] در هر موقعیت عرضی یک کاواک حوزه وسیع غیرخطی نوشته و یا پاک شود و از این‌رو نقش پیکسل‌ها یا بیت‌های منطقی فضایی[2] را بازی می‌کند. می‌توان سالیتون‌های کاواک را از نظر فاز و یا گرادیان شدت دست‌کاری کرد. ضمنا آن‌ها قابل کنترل و حرکت داده شدن هستند[16].

ساده‌ترین کاواکی که قادر به تولید ساختارهای محلی فضایی است و تحلیل نظری آن هم آسان است، کاواک حلقوی شامل ماده کر خودکانونی کننده است. میدان اعمالی به کاواک بعد از عبور از شکافنده در مشدد حلقوی دور زده و در ورودی کاواک به‌طور همدوسی با پرتو ورودی ترکیب می‌شود.

این سیستم غیرخطی قادر به ایجاد دوپایایی نوری است. مک دونالد و ویلی فرث نشان دادند [17] که با اعمال پرتو پمپی با شرایط مناسب می‌توان سالیتون‌های منحصر به‌فرد و مستقلی را به‌وجود آورد. آن‌ها یک حافظه 20

[1] Local Perturbation
[2] Spatial Logical bits

بیتی از سالیتون‌ها به‌وجود آوردند که می‌توانستند تک تک آن‌ها را به‌طور مستقل روشن و خاموش کنند.

ان. ان. رزوانو و جی.کی. خودوا[18] و ام.تلیدی، و آر.لوفر[19] نیز از پیشگامان این علم به شمار می‌روند. در سال‌های اخیر ویلی.اجی.فرتز و همکارانش [20] وجود سالیتون‌های کاواک پایدار در مواد جاذب اشباع‌پذیر را بااستفاده از مدل ساده سیستم‌های دو ترازی پیش‌بینی کردند، در حالی‌که تولید و کنترل اندرکنش‌های سالیتون‌های کاواک همین مدل در مرجع[21] مورد مطالعه واقع شده است. تفسیر چگونگی تولید این نوع سالیتون‌ها کاملا دقیق ارائه نشده است. یکی تفسیر ممکن توسط فرث [20] و بر اساس نامیزانی کاواک ارائه شده است. طبق استدلال فرتز، طرح وقتی تولید می‌شود که کاواک نامیزان باشد به‌طوریکه طول موج نور کوتاه‌تر از مد کاواک باشد. تحت چنین شرایطی، امواج خارجی از محور می‌توانند کاواک را برازش کنند و چنین برازش‌هایی از بردار موج برای مشخص کردن مدهای ناپایدار ضروری است. برای سالیتون‌های کاواک چنین توجیهی به‌طور کامل درست نیست، زیرا انطباق مستقیمی بین سالیتون‌های کاواک و بردار موج عرضی وجود ندارد.

اولین مشاهده تجربی سالیتون‌های کاواک در اوائل دهه 1990 منتشر شد که در آن از کریستال‌های مایع با پاسخ زمانی کند به عنوان محیط غیرخطی استفاده شد[21] . این نوع سالیتون‌ها اخیرا در میکروکاواک‌های نیم‌رسانا به‌طور تجربی دیده شده‌اند و به روشی جالب تولید و پاک شده‌اند.

3-1 سالیتون‌های نوری فضایی

سالیتون‌های فضایی، پرتو نوری هستند که در صفحه عرضی عمود بر مسیر انتشار بدون واگرایی منتشر می‌شوند. این اثر به علت تغییر در ضریب شکست محیط که از طریق شدت خود میدان الکتریکی به سیستم القا شده است، به وجود می‌آید که در حالت کلی به عنوان اثر کر[1] شناخته می‌شود. وابستگی ضریب شکست به شدت میدان تابشی، اثر غیرخطی خود کانونی[2] را به سیستم تحمیل می‌کند. سالیتون‌های فضایی از برابری اثر خود کانونی با پراش طبیعی ماده اپتیکی ایجاد می‌گردند. کار اولیه روی سالیتون‌های فضایی مربوط به سال

[1] Kerr Effect
[2] Self focusing