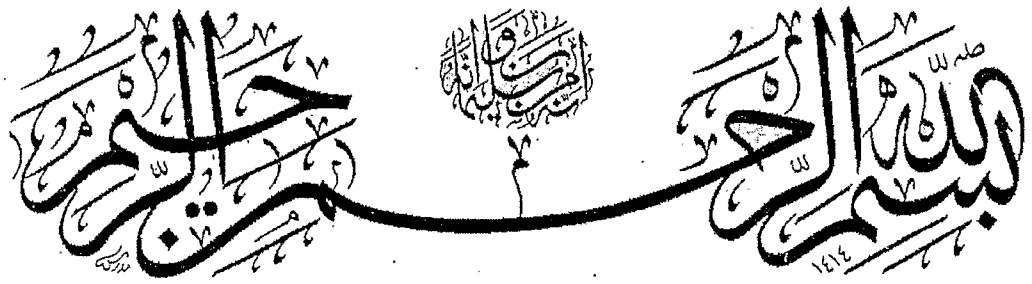


٩٩٨٤

۸۷/۱/۱۰۴۵۰۸
۸۷/۱۱/۱۶

دانشکدهٔ فیزیک

گروه فیزیک اتمی - مولکولی

پایاننامهٔ دکتری

برای دریافت درجهٔ دکتری (Ph.D) در رشته فیزیک اتمی مولکولی (لیزر)

عنوان

بررسی سولیتونهای کاواک در میکرومشددهای نیم رسانا در بالای آستانهٔ لیزرزائی

Investigation of Cavity Solitons in Semiconductor Microcavities Above Lasing Threshold

استادان راهنما

استاد حبیب تجلی

پروفسور لویجی لوجیاتو

استاد مشاور

دکتر رضا خردمند

پژوهشگر

کیوان محمود اقدمی

۱۳۸۷ /۵/ ۱

۹۹۸۸۳

اسفند ۱۳۸۶

چکیده

نام خانوادگی دانشجو: **محمود اقدمی** نام: **کیوان**

عنوان پایاننامه: **بررسی سولیتونهای کاواک در میکرومشددهای نیم رسانا در بالای آستانهٔ لیزرزائی**

استادان راهنما: **دکتر حبیب تجلی و پروفسور لویجی لوجیاتو**

استاد مشاور: **دکتر رضا خردمند**

مقطع تحصیلی: **دکتری** رشته: **فیزیک** گرایش: **اتمی مولکولی- لیزر** دانشگاه: **تبریز**

دانشکده: **فیزیک** تاریخ فارغ التحصیلی: **۸۶/۱۲/۱۲** تعداد صفحه: **۱۳۳**

کلید واژه ها: **سولیتون کاواک، لیزر نیم رسانا، کلیدزنی تمام نوری، زمان کلیدزنی، ناپایداری هوپف.**

چکیده:

سولیتونهای کاواک، لکه های روشنِ ایستا و خود- جایگزیدهٔ شدت میدان الکترومغناطیسی هستند که بر روی یک زمینهٔ همگن و ایستا، درون کاواکِ حاوی مادهٔ غیرخطی ظاهر میشوند. سولیتونهای کاواک بخاطر داشتن خواص منحصر بفردی، پتانسیل بالایی را درکاربردهای آینده در پردازش اطلاعات نوری بعنوان یک بیت دارا میباشند و به همین دلیل در دهه های اخیر در کانون توجه قرار داشته و بررسی های متعدد تئوری و تجربی در این زمینه انجام گرفته است. دراکثر قریب به اتفاق این مطالعات، کاواک توسط یک پرتو همدوس و تقریبا تختی بنام پرتو نگه دارنده مورد تابش قرار گرفته و با فراهم آوردن شرایط مساعد و دمش محیط غیرخطی درون کاواک در زیر و یا اندکی بالای آستانهٔ لیزرزائی، کاواک بعنوان مدوله کننده و (یا) تقویت کنندهٔ این پرتو عمل میکند.

حذف پرتو نگه دارنده، میتواند جهشی را در مکانیزم، کارائی و انعطاف پذیری این نوع از سولیتونهای نوری بوجود آورد و کاواک مدوله کننده را تبدیل به منبع مستقل تولید کنندهٔ لیزری با خواص سولیتون میکند که بر آن لیزر سولیتون کاواک نام نهاده شده است.

در این پایاننامه، بصورت تئوری، در ابتدا امکان تولید لیزر سولیتون کاواک در میکرومشددهای نیم رسانا، که الزاماً در بالای آستانه دمش نوری یا الکتریکی میشوند، با معرفی یک جاذب نیم رسانای اشباع پذیر درون کاواک بررسی شده است. ضمن مطالعهٔ تاثیر پارامترهای مختلف بر حصول دوپایائی نوری و ناپایداری های هوپف و مدولاسیون، و همچنین نقش پدیده هایی مانند بازترکیب نوری حاملین و ضریب پخش میدان

چکیده

الکتریکی در شکل و پایداری آنها، سعی در هرچه جامعتر شدن اطلاعات لازم برای تحقق آزمایشگاهی سولیتونهای لیزری کاواک در آینده انجام گرفته است.

در مرحلهٔ بعدی با انتگرال گیری از معادلات دیفرانسیلی توصیف کنندهٔ مدل به روش موسوم به گام مجزا و استفاده از روش تبدیل فوریه در محاسبات مشتقات فضایی، سولیتونهای لیزری شبیه سازی گردیده اند. از آنجائیکه بعلت عدم وجود پرتو نگه دارنده، بایستی عملیات کلیدزنی (روشن و خاموش کردن سولیتون) توسط پرتو کنترل بصورت غیرهمدوس انجام می گرفت، روش های جدیدی بنامهای کلیدزنی ناهمدوس و کلیدزنی شبه همدوس در دو فرکانس کاواک و سولیتون ارائه گردیده، کارایی این روش ها بررسی و با همدیگر مقایسه گردید. همچنین از طریق شبیه سازی معلوم شد که آهنگ واهلش غیر نوری حاملین در دو محیط بهره و جاذب، نقش اساسی در پایداری سولیتونها دارد. بعنوان نمونه، برابری این پارامتر در هر دو محیط را میتوان بعنوان یکی از شرایط ایده آل برای داشتن سولیتونهای پایدار نام برد.

یکی از خواص منحصر بفردی که سولیتونها در میان سایر طرحواره های نوری دارند، امکان ایجاد آرایه ای از سولیتونهایی است که بتوان هریک رامستقلا نوشت و یا پاک کرد که به آن پردازش موازی اطلاعات گویند. امکان این عمل در سولیتونهای لیزری کاواک و بدست آوردن حد اقل فاصله بین دو سولیتون مستقل از دیگر کارهایی است که در این پایاننامه به آن پرداخته شده است.

نهایتاً درستی جوابهای سولیتونی بدست آمده، توسط روش دیگری موسوم به نیوتن – رافسون تایید گردیده و نوع ناپایداری آنها بدین روش مورد بررسی تکمیلی قرار گرفته و علاوه برآن نوع یک بُعدی از این سولیتونها پس از حصول از این روش، توسط روش گام- مجزا شبیه سازی گردید.

تقدیم به همسر مهربانم

که نمونه فداکاری و بردباری است

و تقدیم به دختر عزیزم

ستاره فروزان زندگیمان

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر سرشار از مهر و محبتم

که آرزوهای بلندبالایشان مسیر زندگیم را روشن گردانید

و

تقدیم به خانواده گرامی، همسرم

که همواره حامی و مشوق من بودند

سپاسگذاری

Acknowledgments

سپاس و ستایش خداوندی را که این توان و فرصت را نصیب من گردانید تا بتوانم گامی هرچند ناچیز در راه اعتلای علمی میهنم برداشته و دین خود را به این آب و خاک ادا کنم.

در ابتدا برخویش لازم میدانم از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر تجلی بخاطر راهنمایی های ارزشمندشان و فراهم نمودن امکانات تحقیق و حمایت های معنویشان از صمیم قلب تشکر نمایم. همچنین از دوست صمیمی آقای دکتر خردمند که با تقبل مشاورهٔ این پایاننامه دانسته های خویش را سخاوتمندانه در اختیارم قرار دادند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

I wish to thank Prof. Luigi Lugiato and Dr. Franco Prati for their scientific guidance and for their hospitality when I was at Como. I also appreciate all other people of team in University of Insubria for all their kindness to me and for their constant support.

از داوران محترم پایاننامه آقایان دکتر بهرامپور و دکتر مهدوی از دانشگاه صنعتی شریف و آقای دکتر جعفریزاده که زحمت بررسی آن را برعهده گرفتند نیز سپاسگذارم.

در آخر از کلیهٔ اساتید، کارکنان و دوستان در پژوهشکدهٔ فیزیک کاربردی و دانشکدهٔ فیزیک دانشگاه تبریز بخاطر راهنمایی ها و مساعدتهای بیدریغشان متشکرم.

کیوان محمود اقدمی

۸۶/۱۲/۱۲

مقدمه ۴

۱) فصل اول: بررسی منابع(پایه های نظری و پیشینه پژوهش) ۱۱

۱-۱) سولیتونهای فضایی ۱۱

۱-۱-۱) پراش و واگرایی ۱۲

۱-۱-۲) پدیده های نوری غیر خطی ۱۳

۱-۱-۳) انتشار نور در محیط غیرخطی و معادلهٔ غیرخطی شرودینگر ۱۵

۱-۲) سولیتونهای نوری زمانی ۱۷

۱-۲-۱) انتشار پالس در یک موجبرخطی ۱۸

۱-۲-۲) انتشار در محیطهای پاشندهٔ غیرخطی ۱۸

۱-۲-۳) انتشار غیرخطی پالس: سولیتون ۲۰

۱-۳) سولیتونهای کاواک ۲۳

۱-۴) طرحواره های نوری ۲۸

۱-۵) دینامیک عرضی میدان در کاواک شامل مواد غیرخطی ۳۶

۱-۵-۱) سیستم دوترازی ۳۶

۱-۵-۱-۱) ماده جاذب اشباع پذیر : ۳۸

۱-۵-۱-۲) مواد کر: ۳۹

۱-۵-۱-۳) مواد غیر خطی مرتبه دوم $\left(\chi^{(2)}\right)$ ۳۹

۱-۶) میکرو مشدد نیم رسانا ۴۰

۱-۷) لیزرهای نیم رسانا ۴۴

۱-۷-۱) اساس کار ۴۴

۱-۷-۲) لیزرهای نشرکننده از لبه ۴۷

۱-۷-۳) لیزرهای نشرکننده از سطح با کاواک عمودی ۴۹

۲) فصل دوم: مواد و روشها ۵۱

۲-۱) لیزرهای سولیتون کاواک ۵۱
۲-۲) معادله پیرامحوری ماکسول در تقریب تغییرات آهسته و در حد میدان متوسط ۵۴
۲-۲-۱) شرایط مرزی و رابطهٔ حد میدان متوسط ۵۸
۲-۳) تئوری میکروسکپی معادلات بلوخ در نیم رسانا ۶۱
۲-۴) معادلات آهنگ ماکسول- بلوخ در نیم رسانا ۶۴
۲-۵) الحاق پدیدهٔ بازترکیب نوری ۶۷
۲-۶) ارائه مدل کاواک با جاذب اشباع پذیر ۶۸
۲-۷) جواب همگن و ایستای سیستم و ناپایداری های آن ۷۰
۲-۸) روشهای محاسباتی عددی ۷۳
۲-۸-۱) روش گام مجزا برای حل دینامیکی ۷۳
۲-۸-۲) روش نیوتن- رافسون برای جوابهای ایستا ۷۶
۳) فصل سوم: بحث، نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۹
۳-۱) جوابهای همگن سیستم و بستگی آن به پارامترها ۸۰
۳-۲) بررسی پایداری جوابهای همگن ۸۴
۳-۲-۱) ناپایداریهای موج تخت ۸۵
۳-۲-۲) ناپایداری مدولاسیون ۸۷
۳-۳) شبیه سازی عددی ۸۹
۳-۳-۱) شاخهٔ سولیتونی ۹۱
۳-۳-۲) کلید زنی بروش ناهمدوس ۹۲
۳-۳-۳) کلیدزنی شبه همدوس ۹۷
۳-۳-۴) کلید زنی شبه همدوس در فرکانس سولیتون ۱۰۶
۳-۳-۵) تاثیر اعمال ضریب پخش میدان بر وضعیت سولیتونها ۱۰۸
۳-۳-۶) پردازش موازی ۱۰۹
۳-۳-۷) تاثیر آهنگ بازترکیب غیرنوری حاملین در پایداری سولیتون ۱۱۱

۳-۴) تعیین جوابهای ایستا بروش نیوتن- رافسون ۱۱۳

۴) نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۱۷

۵) ضمائم ۱۲۱

ضمیمه الف: دوشاخگی در سیستمهای غیرخطی ۱۲۱

الف-۱) دوشاخگی نقطهٔ زینی ۱۲۱

الف-۲) دو شاخگی چنگالی ۱۲۲

الف-۳) دوشاخگی هوپف ۱۲۳

ضمیمهٔ ب: تبدیل فوریهٔ سریع(FFT) و استفاده در حل معادلات غیرخطی ۱۲۴

۶) منابع مورد استفاده ۱۲۶

مقدمه

پرتوهای نوری، امواج تولیدشده در آب و سایر پدیده های موجی در طبیعت به هنگام انتشار در فضا همواره تمایل به واگرایی دارند، که در فیزیک این حالت عمومی پهن شدگی را پراش[۱] نامند. بنابر این بسیار جالب توجه خواهد بود اگر شرایطی پیش آید که موجی بدون تغییر درشکل، قابلیت انتشار داشته باشد. به اینگونه امواج در حالت عمومی امواج سولیتاری اطلاق میشود.

اولین مشاهده علمی سولیتون در سیالات است که به سال ۱۸۳۴ بر می گردد. دانشمند اسکاتلندی به نام جان اسکات راسل[۲] وجود یک موج انتقالی تولید شده توسط قایق درکانال باریک آب بین گلاسکو و ادینبرگ را گزارش کرد. راسل متوجه شد که این موج با یک حرکت روبه جلو بدون تغییر شکل و کاهش در سرعت در طول کانال آب منتشر میشود، در حالیکه آب هر دو طرف موج ساکت است [۱].

پنجاه سال بعد از گزارش راسل، د. کورتج[۳] و جی . د . وریس[۴] نقش واهمیت غیرخطیت را در این پدیده مورد مطالعه قرار دادند[۲].در سال ۱۹۶۵، ن . زابوسکی[۵] و م . کراسکال[۶] برای اولین بار دریافتند که توان و اندازه حرکت خطی چنین پالسهایی بعد از اندرکنش پایسته می ماند و همانند ذرات رفتار می کنند[۳] در نتیجه نام سولیتون (معادل یونانی ذره) را برای این پدیده انتخاب کردند.

علاوه بر ظاهر شدن این پدیده در دینامیک سیالات، میتوان در سایر شاخه های علوم نیز با آن مواجه شد که از آن جمله: امواج پلاسما [۴]، امواج صوتی در He^3 مایع[۵]، سولیتونهای زمانی در فنرهای مکانیکی و سیستم های جرم [۶] سیگنالهای الکتریکی در خطوط تلگراف، نمونه هایی در ماده چگال، ذرات بنیادی، نجوم وکیهانشناسی و حتی در زنجیره DNA می باشد[۷].

سولیتونها در اپتیک نیز خود را به اشکال مختلفی نشان میدهند: سولیتونهای زمانی[۷] در فیبرهای نوری[۸ و۹] که در آن پالس نوری عرض زمانی خود را پس از صدها کیلومتر انتشار حفظ می کند، سولیتونهای

---

۱ -Diffraction
۲ - John Scott Russel
۳ -D.Korteweg
۴ -G.de Veries
۵ -N.Zabusky
۶ -M. Kruskak
۷ - Temporal optical Solitons

فضایی[۱۰و۱۱] که در آن باریکه نوری مسافتی معادل چندبرابر طول پراکندگی را بدون واگراشدن انتشار میابد، سولیتونهای فضایی- زمانی [۱۲و۱۳]، سولیتونهای گسسته[۱۴و۱۵]، سولیتونهای گاف(یا براگ) [۱۶و۱۷] و سولیتونهای کاواک [۱۸و۱۹] که مورد بحث این پایاننامه است.

سولیتونهای کاواک ساختارهای محلی بصورت لکه های روشن در یک زمینهٔ تاریک (و یا بالعکس) در صفحه عرضی میدان الکتریکی درون کاواک، که عموما با سطح وسیع انتخاب میشود، هستند که مستقل از هم بوده و بطور جداگانه قابل آدرس دهی می باشند. این سولیتونهای نوری در کاواک های حاوی مواد غیر خطی نوری، عموما بخاطر رقابت بین پراش و پدیده های غیر خطی (از قبیل خود کانونی) تولید میشوند. یک یا چند عدد از آنها را میتوان در یک کاواک بوجود آورد و تک تک آنها بصورت جداگانه قابل نوشتن و پاک کردن هستند. این سولیتونها خواصی را در حال انتشار و برخورد با هم از خود نشان میدهند که گاه آنها را به ذرات حقیقی وابسته کرده و به آنها اینرسی نسبت میدهند. این خواص منحصر بفرد در سولیتونهای کاواک که اجازهٔ دستکاری (نوشتن، پاک کردن و...) آنها بصورت انفرادی توسط یک پرتو کنترلی اعمالی از بیرون را میدهد، باعث شده است که از آنها کاندیدای مناسبی در پردازش اطلاعات نوری، کدگذاری نوری و کاربرد در تکنولوژی اطلاعات[۱] ایجاد کرده و به همین سبب موضوع سولیتونهای کاواک در سالهای اخیر همواره در کانون توجه بوده است.

قدیمی ترین مطالعات بر روی سولیتونهای کاواک توسط جی.وی.مولونی [۲] و همکارانش [۲۰،۲۱و ۲۲] برمی گردد که بروش شبیه سازی در یک کاواک سادهٔ حلقوی شامل مادهٔ خودکانونی کِر در حضور پدیدهٔ دوپایائی، طرحهای متناوب عرضی را در یک بُعد پیش بینی نمودند. از دیگر افرادی که کارهای مهمی در این حوزه انجام دادند، ان . ان روزانو[۳] و جی . کی . خودوا [۴] [۲۳] و ام. تلیدی[۵]، پ. مندل[۶] و آر. لوفر[۷] [۲۴و۲۵] هستند. درحالیکه ال.لوجیاتو[۸] و لوفر در سال ۱۹۸۷ مدلی را که بر تقریب میدان متوسط استوار است برای کاواک

---

۱ -Information Technology (IT)
۲ -Moloney
۳ - N. N. Rosanov
۴ - G. K. Khodova
۵ -M. Tlidi
۶ -P. Mandel
۷ -R. Lefever
۸ -L. Lugiato

های حاوی مواد غیرخطی کِر ارائه دادند [۲۶]، در سالهای اخیر نیز ویلی . اجی. فرتز[۱] و همکارانش [۲۷] وجود سولیتونهای کاواک پایدار در مواد جاذب اشباع پذیر را با استفاده از مدل ساده سیستم دو ترازی پیش بینی کردند. در این میان کارهای فراوان دیگری نیز در زمینهٔ تولید سولیتونهای کاواک در مشدد های حلقوی حاوی ماده نور شکست[۲۸]، مواد فعال جاذب اشباع پذیر[۲۹،۳۰،۳۱] و مواد غیر خطی مرتبه دوم[۳۲، ۳۳، ۳۴ و۳۵] انجام گرفته است.

اولین مشاهدهٔ تجربی سولیتونهای کاواک در ۱۹۹۷ منتشر شد که در آن از کریستالهای مایع با پاسخدهی زمانی کند (درحد میلی ثانیه) بعنوان محیط غیرخطی استفاده شده بود[۳۶] اما این محیطها بخاطر کند بودن زمان پاسخدهی قادر نیستند که پتانسیل بالای سولیتونهای کاواک را در عمل برآورده کنند.

با گسترش مطالعات بر روی ساختارهای محلی به میکرومشددهای نیم رسانا با سطح گسترده[۲] که از تقریبا ده سال قبل توسط ام. برامبیلا و همکاران شروع شد [۱۸]، جنبه های کاربردی تر سولیتونهای کاواک در این محیطها جذاب تر گردید زیرا این کاواک ها دارای ابعاد کوچک هستند ($\sim 1\mu m$)، مقیاس زمانی و پاسخدهی سریعی دارند ($\sim 1ns$)، دارای تکنولوژی رشد پیشرفته با درجهٔ کنترل و یکنواختی بالا هستند و نهایتا استفاده های گسترده ای در ارتباطات و الکترونیک نوری دارند. درپی ملاحظات تئوری گروه لوجیاتو [۳۷] اولین نمایش واضح از سولیتونهای کاواک نیم رسانا در سال ۲۰۰۲ در انستیتو غیرخطی نیس[۳] در فرانسه در گروهی به سرپرستی جی. تردیچه[۴] انجام شد[۳۸]. در این آزمایش بسیار عالی، با استفاده از لیزر نشرکننده از سطح با کاواک عمودی[۵] VCSEL دارای سطح لیزرزائی پهن (به قطر۱۵۰میکرون) انجام گرفت که توسط جریان الکتریکی اندکی زیر آستانهٔ لیزری دمش میشد. در این آزمایش عمل نوشتن و پاک کردن را برای یک یا چندین (تا ۷) لکهٔ نوری روشن بقطر ۱۰ میکرون در صفحهٔ عرضی میدان، با تاباندن پرتو آدرسی همدوس با پرتو نگهدارنده، انجام داده شد و سپس این سولیتونها توسط پرتو آدرس دیگری با موفقیت پاک شدند. در مدت تقریبا ۱۰ سال اخیر کارهای تئوری، شبیه سازی و آزمایشگاهی فراوانی در ارتباط با روشهای تولید، کلید زنی، پایداری و چرخش سولیتونها و همچنین جابجائی سولیتونها تحت گرادیان های فاز و دامنهٔ پرتو

---

[۱] -W.J.Firth
[۲] -Broad-area semiconductor microresonator
[۳] -Institut Non Lineaire de Nice
[۴] -J. Tredicce
[۵] -Vertical Cavity Surface Emitting Laser

نگه دارنده و گرادیان حرارتی انجام گرفته است که از جملهٔ آنها کارهایی است که قبلا در دانشگاه تبریز توسط ح. تجلی و ر. خردمند در این حیطه انجام گردیده است [۹۰، ۹۲ و۹۳].

در تمامی مطالعاتی که تا کنون در مورد سولیتونهای کاواک انجام شده، وجود یک پرتو همدوس ایستا با توزیع شدت تقریبا یکنواخت بنام پرتو نگه دارنده[۱] بعنوان یک عنصر اساسی سیستم مورد توجه بوده و از آن بعنوان عامل کنترلی، تامین کنندهٔ انرژی و مشخص کنندهٔ مرجع فاز میدان درون کاواک استفاده شده است. در این حالت کاواک حاوی مادهٔ غیرخطی نیم رسانا فقط بعنوان مدوله کننده فضایی و (یا) تقویت کنندهٔ پرتو نگه دارنده عمل میکند و سولیتونهای کاواک از بطن این پرتو و الزاماً هم فرکانس و هم فاز با آن بوجود می آیند. در محل سولیتون غالباً یک توزیع تقریباً گوسی شدت، و در بقیهٔ نقاط شدت نور برابر با شدت پرتو نگه دارنده است. عمل کلید زنی سولیتون، که در این حالت همدوس نامند، بدین صورت انجام میگیرد که عمل نوشتن سولیتون توسط یک پرتو کنترل با شدت، پهنا و دوام پالس مناسب که لزوماً همدوس و هم فاز با پرتو نگه دارنده است انجام میگیرد، بطوریکه پس از قطع آن سولیتون بصورت دائمی و ایستا در محل تزریق پرتو کنترل ایجاد میشود. جهت پاک کردن سولیتونی، محل آن با پرتو کنترلی دیگری که در فاز مخالف پرتو نگه دارنده است، تزریق میگردد. از آنجائیکه در این حالت عمل نوشتن و پاک کردن توسط پرتو کنترل لزوماً همدوس با پرتو نگه دارنده انجام میگیرد، اصطلاحاً آن را کلید زنی همدوس نامند.

از آنجائیکه وجود پرتو نگه دارنده علاوه بر حجیم کردن آرایش تجربی در تحقق سولیتونهای کاواک، انعطاف پذیری را در این سیستمها کاهش میدهد، بنظر میرسد که حذف آن پیشرفت قابل توجهی را در این حیطه بوجود خواهد آورد. در این حالت یک کاواک امکان تولید چندین باریکه نوری با خواص جالب و منحصر بفرد سولیتونها را بصورت ابتدا به ساکن خواهد داشت و مسلم است که در چنین سیستمی سولیتونهای کاواک در یک زمینهٔ تاریکتر از حالتهای قبل که متناظر با شدت نشر خودبخودی قرار خواهند گرفت. بنابراین در این حالت اختلاف شدت بین قلهٔ سولیتونی و پس زمینه در حالت بهینه خواهد بود. از آنجائیکه این باریکه با تقویت و رفت و برگشت درون مشدد فابری پرو در شرایطی مناسب از لحاظ همدوسی زمانی و فضایی تولید خواهد شد، میتوان این وسیلهٔ بدیع را به جرأت لیزر سولیتون کاواک[۲] (CSL) نامید.

---

[۱] - Holding beem
[۲] - Cavity Soliton Laser (CSL)

این ایده برای اولین بار توسط ان. ان. روزانو و همکاران در سال ۱۹۹۲ ارائه گردید [نقل از منبع شماره ۳۹] که در آن از معادلات گینزبورگ- لاندائو[۱] برای لیزر جهت توصیف هیدرودینامیک سیستم لیزری در راستایی عرضی، که قبلا توسط ک. استالیوناس[۲][۴۰] پیشنهاد گردیده بود، استفاده شده بود. این بررسی ها درحالت کلی در مورد لیزرهای کلاس B میباشد که در آنها بعلت خیلی سریع بودن زمان واهلش قطبش اتمی میتوان از تغییرات زمانی آن بصورت آدیاباتیک صرفنظر کرد. از آنجائیکه لیزرهای نیم رسانا را نیز میتوان در دستهٔ لیزرهای کلاس B قرار داد، بنابر این تعمیم موضوع سولیتونهای لیزری کاواک به لیزرهای نیم رسانا امری ممکن بنظر رسیده و بخاطر خواص ویژه مواد نیم رسانا بعنوان محیطهای غیرخطی، تحقق این سولیتونهای لیزری در میکروکاواک های نیم رسانا بخاطر پتانسیل بالایی که در کاربرد در پردازش اطلاعات نوری دارند، بسیار جا لب توجه مینماید.

برای این منظور بایستی معادلات آهنگ برای میدان و جمعیت حاملین در نیم رسانا بدست آمده و شرایط مرزی کاواک نیز در آن لحاظ گردد، که اصطلاحاً به آن معادلات ماکسول- بلوخ در نیم رسانا گویند. مطابق با کارهای قبلی که در فوق اشاره گردید، معرفی یک جاذب اشباع پذیر همراه با محیط بهره که در بالای آستانه دمش میشود، جهت حصول دوپایائی در خروجی سیستم لیزرزا ضروری است. این محیط جاذب میتواند از همان جنس نیم رسانای کپه ای و یا از نوع چاه کوانتمی بکار رفته در محیط بهره باشد، با این تفاوت که دمش الکتریکی و یا نوری در آن طوری تنظیم میشود که محیط در زیر آستانهٔ لیزرزائی قرار میگیرد. در کل میتوان سیستم را با سه معادلهٔ جفت شده که یکی برای میدان الکتریکی درون کاواک و دوتای دیگر برای تغییرات زمانی جمعیت در دو محیط است، مدل سازی کرد و سپس یا توسط حل دینامیکی معادلات بروش گام مجزا و یا از روش حل جوابهای ایستا از روشهایی مانند نیوتن – رافسون، بدنبال سولیتونهای لیزری گشت و پایداری آنها و مکانیزم کلید زنی در آنها را بررسی کرد که اساس این پایاننامه را تشکیل میدهند. اما قبل از آن نیاز به بررسی جوابهای همگن و ایستایی آن از لحاظ ناپایداریهای هوپف و تورینگ میباشد که روشهای آن در فصل دوم و نتایج در فصل سوم آمده اند.

از طرف دیگر، حذف پرتو نگه دارنده سبب نامعلوم شدن فرکانس سولیتون تولیدی و فاز آن میشود. لذا دیگر

---

[۱] -Laser Ginzburg-Landau equation
[۲] - K. Staliunas

امکان کلید زنی بروش همدوس، مطابق با آنچه که در سولیتونهای معمول در کاواک های تقویت کننده بکار می رفت، غیر عملی است. حل این مشکل روش های جدیدی را در کلید زنی در لیزرهای سولیتون کاواک می طلبد. در این پایاننامه این مشکل با پیشنهاد و بررسی دو مکانیزم اصلی بنامهای کلید زنی ناهمدوس و شبه همدوس حل گردیده است که نوع دوم نیز میتوان در دو حالت مجزا از لحاظ فرکانس پرتو کنترلی در فرکانسهای کاواک خالی و تزریق در فرکانس سولیتون بررسی شده است.

یکی دیگر از کارهای انجام شده در این پایاننامه بررسی تاثیر اِعمال پدیده های واهلش نوری حاملین و همچنین اعمال ضریب پخش میدان الکتریکی، و تاثیر آنها در پایداری جوابهای همگن و سولیتونهاست. اعمال پدیدهٔ اول علاوه بر نزدیکتر شدن مدل با واقعیت، تاثیر شگرفی در شرایط پارامتری جهت حصول سولیتونها دارد و این شرایط را برای تحقق آزمایشگاهی سولیتونهای لیزری تلطیف می سازد.

استفاده از روش نیوتن- رافسون برای بدست آوردن جوابهای سیستم در دو بعد و سپس تعمیم آن به یک بعد از دیگر کارهای مهمی است که در این پروژه انجام گرفته و زمینه را برای تعمیم آن به سولیتونهای سه بعدی که به گلوله های نوری[۱] موسوم بوده و قبلا بصورت تئوری پیش بینی شده است فراهم میسازد.

این پایاننامه از سه بخش اصلی تشکیل یافته است. در فصل اول بررسی منابع در مورد انواع سولیتونهای نوری اعم از سولیتونهای فضایی، زمانی و کاواک با مروری بر پدیده های پراش و اثرات غیر خطی نور انجام گرفته است. سپس به طرحواره های نوری و دینامیک عرضی میدان الکتریکی در کاواک های حاوی مواد غیرخطی در سیستم های مختلف پرداخته شده و در نهایت بصورت مفصل تری بر روی میکرومشددهای نیم رسانا و انواع لیزرهای نیم رسانا بحث گردیده است.

در فصل دوم، پس از بدست آوردن یک مدل تئوری، با استفاده از معادلات ماکسول و معادلات بلوخ نیم رسانا برای توصیف آهنگ تغییرات میدان الکتریکی نور و جمعیت حاملین در محیط نیم رسانای درون کاواک، روشهای بکار رفته جهت یافتن جوابهای همگن و بررسی ناپایداریهای آن توضیح داده شده و همچنین حل عددی معادلات دیفرانسیلی بروش دینامیکی مبتنی بر روش گام مجزا و استاتیکی بروش نیوتن- رافسون بتفصیل ارائه شده است.

---

[۱] -Light bullet

در فصل سوم نتایج بدست آمده از تحلیل پایداریها و شبیه سازی های انجام گرفته ارائه گشته و پس از آن مهمترین نتایج بدست آمده به اختصار اشاره گردیده و پیشنهادها برای ادامهٔ این کار ارائه شده است.

این پایاننامه نهایتاً به دو پیوست و بخش منابع ختم شده است.

فصل اول

بررسی منابع

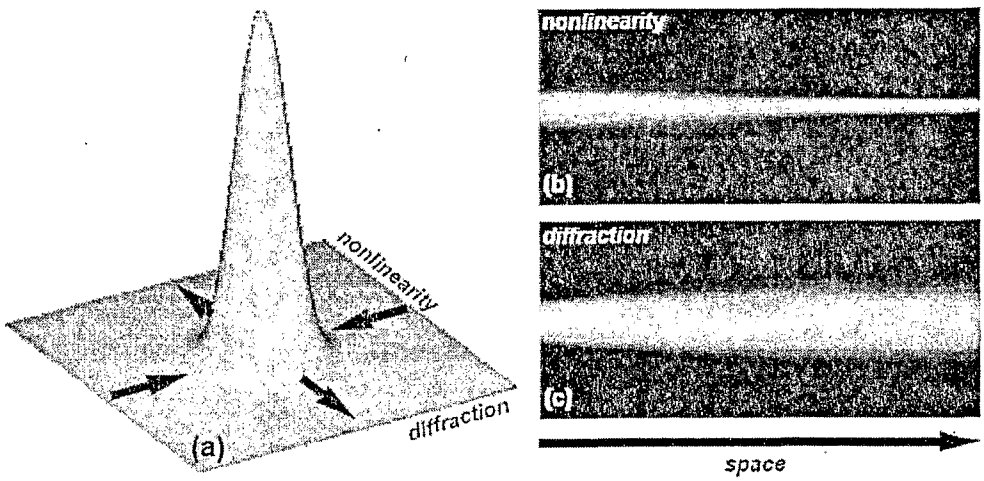
(پایه های نظری و پیشینه پژوهش)

۱) فصل اول: بررسی منابع(پایه های نظری و پیشینه پژوهش)

در ابتدا جهت آشنایی با مبحث سولیتونها در علم اپتیک، دو دستهٔ مهم از آنها بنامهای سولیتونهای نوری فضایی و سولیتونهای نوری زمانی بررسی و سپس به موضوع اصلی پایاننامه که سولیتونهای کاواک بویژه در نیم رسانا است، پرداخته خواهند شد.

۱-۱) سولیتونهای فضایی

تحقیقات برروی سولیتونهای فضایی در دههٔ ۱۹۹۰ به اوج خود رسید و بصورت آزمایشگاهی در دو نوع مختلف مواد غیرخطی کپه ای (سلول شیشه ای محتوی گاز سدیم و کریستالهای فتورفراکتیو ازجمله نیوبات باریم استرانسیم (SBN) بطور بارز مشاهده شد[۴۱و۴۲]. در این آزمایشها مشاهده گردید که یک سولیتون قادر است در طی چندین ده میکرون قطر اولیه اش را حفظ کند که چندین برابر طول مشخصهٔ پراشی می باشد[۴۳].



شکل ۱ ـ ۱: تصویرهای سمت راست پدیده های خودکانونی و پراش را از بالا به پائین نمایش میدهد و نقش هر یک از آنها در ایجاد تعادل در سولیتون فضایی در شکل سمت چپ نشان داده شده است.

سولیتونهای فضایی اپتیکی، پرتوهای نوری هستند که در عبور از محیط های غیرخطی بدون تغییر در شکل فضایی، منتشر میشوند زیرا هرگونه پراش در محیط توسط پدیدهٔ غیرخطی خود کانونی[۱] عینا جبران میشود. همانگونه که در شکل ۱ ـ۱ قابل مشاهده است پراش و خودکانونی بترتیب تمایل به واگرایی و همگرایی عرضی پرتو دارند و بوجود آوردن تعادل بین آندو منجر به ایجاد پدیدهٔ سولیتونی میگردد که با معادلهٔ غیرخطی شرودینگر قابل توصیف و بررسی میباشد. در بخشهای زیر هریک از این عوامل به اختصار بررسی میشوند.

۱-۱-۱) پراش و واگرایی

ازنقطه نظر تاریخی پدیده های پراش و تداخل بصورت برخورد بین فوتونها که بصورت ذرات تلقی میشدند، توصیف می گردید[۴۴]. اما در سال ۱۹۰۸ در آزمایش ساده ای که توسط دانشمند بریتانیائی جی.آی. تیلور[۲] با تصویر برداری از طرح پراشی نوک سوزن انجام گرفت، اشتباه بودن این فرضیه روشن گردید. او با کاهش شدت نوردهی در مدت زمان بسیار طولانی، تصویر طرح پراشی نوک سوزن را همانگونه بدست آورد که با شدت بالا نیز بهمان صورت قبلا بدست آمده بود. در نتیجه با کم بودن شدت منبع احتمال عبور دو یا چند کوانتای انرژی بطور همزمان از دریچه عملا بسیار کوچک بوده و فرضیهٔ برخورد و اندرکنش بین فوتونها در ایجاد طرح پراشی اشتباه است. همانگونه که بعدها توسط افراد دیگر از طرق مختلف بررسی گردید، روشن شد که پدیده های پراش و تداخل تنها وابسته به یک فوتون است نه بیشتر.

این پدیده را میتوان از جنبه های مختلف بررسی کرد، از جمله دید کوانتمی مسئله که با استفاده از عدم قطعیت در مکان و تکانهٔ فوتون قابل بیان است. اما مناسبترین روش در مبحث سولیتون این است که یک باریکه نوری را بصورت امواج تختی با شدتها و فازهای متفاوت در نظر گرفت که در راستای بسیار نزدیک بهم منتشر میشوند، بطوریکه در محل باریکه تداخل سازنده و در اطراف تداخل ویرانگر ایجاد کرده اند. در یک محیط خطی هرموج تخت، مستقل از بقیه، در راستا و با انرژی مربوط به خود منتشر میشود. در این محیط هر اندازه که یکی از موجهای تخت بطور مایل نسبت به محور اصلی منتشر شود، طبیعتا نسبت به موجی که

---

۱ -Self focusing
۲ -G.I. Taylor