بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد
دانشکده فیزیک
گروه اتمی مولکولی

پایان‌نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

بررسی انتشار سالیتون‌های فضایی در فرامواد با فاز منفی کنترل شده

استاد راهنما:
دکتر محسن حاتمی

استاد مشاور:
دکتر محمد کاظم توسلی

پژوهش و نگارش:
حمیده هادی مقدم

اسفند ۱۳۹۱

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم، به پاس ایثار و از خودگذشتگی‌شان و به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است و به پاس قلب‌های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید و به پاس محبت‌هایشان که هرگز فروکش نمی‌کند.

و تقدیم به:

همسرم، اسطوره زندگیم، پناه خستگیم و امید بودنم

فرزند دلبندم، زیباترین هدیه‌ی خداوند که آرام جان ماست

و به شما که وسعت نگاهتان تمامی خورشید را با خود همراه دارد.

تقدیر و تشکر

برگی دیگر از تقویم زندگی ورق خورد و در آستانه‌ی آغاز فصلی دیگر ایستاده‌ام، اما حرف‌های ناگفته زیادی باقی ماند، حرف‌هایی که از اعماق وجودم سرچشمه می‌گیرد و هیچ‌گاه کلمات قادر به توصیف چنین احساساتی نبوده‌اند. اما اکنون ابزاری در دست نیست، پس سپاس سپاس آن بی‌همتایی را که سردی وجودم را با گرمای عشقش جانشین کرده، او را سپاس می‌گویم که مرا لایق آموختن گردانید، او را که تجلی وجودش در دو گوهر گرانمایه زندگی‌ام ، پدر و مادر عزیزم که اسوه ایثار و عشقند، هزاران بار دستان پرمهرشان را می‌بوسم. در این مسیر بر خود لازم می‌دانم از کلیه کسانی که مرا در به انجام‌رسانیدن این پایان‌نامه یاری و همراهی کرده‌اند،تشکر نمایم.

از جناب آقای دکتر محسن حاتمی استاد راهنمای گرانقدرم که صبورانه با راهنمایی‌ها و نظرات راهگشای خود مرا در تدوین این پایان‌نامه یاری نمودند و بزرگوارانه تجربیات خویش را در اختیارم قرار دادند کمال تشکر و قدردانی را دارم. سپاس‌گزارم از جناب آقای دکتر محمدکاظم توسلی که زحمت مشاوره این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند و با راهنمایی‌های سازنده خود مرا در پیش‌برد این امر یاری نمودند. همچنین از جناب آقای دکتر بهجت و جناب آقای دکتر هنرآسا که داوری این پایان‌نامه را قبول زحمت نمودند کمال سپاس‌گزاری را دارم.

بی‌شک این کار علمی بدون حمایت‌های همه جانبه‌ی تمامی اعضای خانواده‌ام به انجام نمی‌رسید. سپاس‌گزارم از پدر و مادر عزیزم که همواره در مسیر زندگی مشوق و پشتیبان من بوده‌اند، از دو خواهر عزیزم که وجودشان شادی‌بخش و صفایشان مایه آرامش من است و همچنین از همسر عزیزم که آرامش روحی و آسایش فکری فراهم نمود تا در محیطی مطلوب، مراتب پایان‌نامه را به نحو احسن به اتمام برسانم سپاس‌گزاری می‌نمایم. از کلیه اساتیدی که در دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد از محضر آنها کسب فیض نمودم، همچنین سرکارخانم عباس‌پور که با همفکری و مساعدت خود باعث پیشرفت مراحل انجام پایان‌نامه اینجانب شدند و تمامی دوستان تشکر و قدردانی می‌نمایم و برایشان آرزوی توفیق و بهروزی دارم.

چکیده

واژه‌ی سالیتون در سال ۱۹۶۵ مطرح و پیشرفت در زمینه‌ی سالیتون‌ها طی ده سال اخیر گسترش یافته است. اخیرا تحقیقاتی در انتشار سالیتون روی فرامواد صورت گرفته و مشاهده شده که فرامواد ابزار مناسبی برای تحریک سالیتون‌ها هستند. یک فراماده، ماده‌ی مرکب مصنوعی است که خواصی از خود نشان می‌دهد که در مواد موجود در طبیعت یافت نمی‌شود. بارزترین این خواص، ضریب شکست منفی است.

در این پایان نامه، معادله‌ی غیرخطی شرودینگر حاکم بر انتشار سالیتون‌های فضایی روشن و تاریک در فراماده را با جملات پراش غیرخطی مرتبه‌ی سوم و پنجم گسترش داده و انتشار پالس، بخصوص سالیتون پایه که جوابی از معادله‌ی غیرخطی شرودینگر است را بررسی کرده‌ایم. با شبیه‌سازی انتشار سالیتون فضایی روشن پایه در یک موجبر مسطح غیرخطی با هسته‌ی فراماده، نشان داده‌ایم که پراش غیرخطی مرتبه‌ی سوم باعث پهن‌شدگی در سالیتون می‌شود و اثر کر نمی‌تواند آن را جبران کند و برای رسیدن به یک جواب سالیتون پایدار باید جملات دیگر به معادلات اضافه شود. با درنظرگرفتن اثر پراش غیرخطی مرتبه‌ی پنجم، نشان داده‌ایم که این سالیتون پایه در هنگام انتشار ابتدا مقداری پهن و سپس بدون تغییر شکل در محیط منتشر می‌شود که در محیط‌های معمولی این اتفاق نمی‌افتد و پالس معمولا به پهن‌شدگی خود ادامه می‌دهد، بنابراین به یک شکل سالیتونی پایه متناسب با سالیتونی که در معادله‌ی غیرخطی شرودینگر وجود دارد دست یافته‌ایم. با بررسی اثرات غیرخطی مرتبه‌ی پنجم به شکل موجی می‌رسیم که در دوره‌های معینی شکل خود را تکرار می‌کند. این نوع شکل موج را متناظر با سالیتون مرتبه‌ی دوم در معادله‌ی غیرخطی شرودینگر در محیط‌های معمولی در نظر می‌گیریم. با شبیه‌سازی انتشار سالیتون فضایی تاریک پایه در همان موجبر، نشان داده‌ایم که بر خلاف انتشار سالیتون‌های فضایی تاریک در مواد معمولی که از پایداری خاصی برخوردار هستند،

به نظر می‌رسد که در فراماده، سالیتون‌های تاریک ناپایداری بیشتری از خود نشان می‌دهند و اضافه کردن اثرات غیرخطی و پراش غیرخطی مرتبه‌ی بالاتر باعث ایجاد اعوجاج بیشتر در پالس می‌شود.

فهرست مطالب

فهرست تصاویر ث

فصل ۱: اپتیک غیرخطی ۱
۱.۱ مقدمه ۳
۲.۱ قطبش غیرخطی ۴
۳.۱ محیط‌های غیرخطی ۵
۴.۱ ضریب شکست غیرخطی و اثر کر ۷
۵.۱ مدولاسیون خودفازی ۱۰
۶.۱ خودکانونی ۱۰

فصل ۲: فیبرهای نوری ۱۳
۱.۲ مقدمه ۱۵
۲.۲ ساختار فیبرهای نوری ۱۶
۱.۲.۲ فیبرهای ضریب پله‌ای ۱۷
۲.۲.۲ فیبرهای ضریب تدریجی ۱۸
۳.۲ مدها ۱۹
۱.۳.۲ فیبرهای تک مده ۲۰
۲.۳.۲ فیبرهای چند مده ۲۰
۳.۳.۲ انتشار مدها در فیبرهای نوری ۲۱
۴.۲ پاشندگی فیبر ۲۴
۵.۲ انتشار پالس در فیبرهای غیرخطی ۲۵

فصل ۳: سالیتون‌های نوری ۳۱
۱.۳ مقدمه ۳۳
۲.۳ سالیتون‌های زمانی ۳۴
۱.۲.۳ سالیتون‌های زمانی روشن ۳۶
۲.۲.۳ سالیتون‌های زمانی تاریک ۳۸

۳.۳ سالیتون‌های فضایی ۳۹
۱.۳.۳ معادله‌ی غیرخطی سالیتون‌های فضایی ۴۰
۲.۳.۳ سالیتون‌های فضایی روشن و تاریک ۴۲

فصل ۴: فراماده ۴۵
۱.۴ مقدمه ۴۷
۲.۴ فراماده چیست؟ ۴۷
۳.۴ پارامترهای مؤثر ماکروسکوپیکی ۴۸
۴.۴ ضریب شکست منفی و شکست منفی ۵۰
۱.۴.۴ اثر دوپلر معکوس ۵۴
۲.۴.۴ تابش چرنکوف معکوس ۵۵
۳.۴.۴ عدسی کامل ۵۵
۴.۴.۴ چگالی انرژی در محیط با ضریب شکست منفی ۵۶
۵.۴ مروری بر پیدایش فراماده ۵۷
۱.۵.۴ نام‌های فراماده ۶۰
۶.۴ ساختار فراماده ۶۱
۱.۶.۴ مواد با گذردهی الکتریکی منفی ۶۲
۲.۶.۴ آرایه‌ی تناوبی از سیم‌های فلزی نازک ۶۲
۳.۶.۴ مواد با تراوایی مغناطیسی منفی ۶۴
۴.۶.۴ مشددهای حلقه شکافته (SRRها) ۶۵
۵.۶.۴ ترکیب اتم‌های الکتریکی و مغناطیسی ۶۹
۷.۴ کاربردهای فراماده ۷۰
۱.۷.۴ عدسی کامل ۷۲
۲.۷.۴ پوشش الکترومغناطیسی فراماده ۷۳
۳.۷.۴ آنتن‌های فراماده ۷۷
۸.۴ موجبرهای فراماده ۷۸

فصل ۵: انتشار سالیتون‌های فضایی در فراماد غیرخطی ۸۳
۱.۵ مقدمه ۸۵
۲.۵ فراماد غیرخطی ۸۵
۱.۲.۵ پاسخ غیرخطی فراماد ۸۶
۲.۲.۵ تراوایی مغناطیسی غیرخطی ۸۷
۳.۲.۵ گذردهی دی الکتریک غیرخطی ۸۸

۳.۵ انتشار پرتو در موجبر مسطح غیرخطی ۸۹
۱.۳.۵ پراش غیرخطی ۹۱
۲.۳.۵ معادله‌ی پوش برای یک فراماده ۹۲
۴.۵ انتشار سالیتون فضایی روشن در فراماده و بررسی اثر پراش غیرخطی . . . ۹۶
۵.۵ انتشار سالیتون فضایی تاریک در فراماده و بررسی اثر پراش غیرخطی . . . ۹۷
۶.۵ معادله‌ی غیرخطی شرودینگر با در نظر گرفتن جملات غیرخطی مرتبه‌ی بالاتر در فراماده ۹۹
۱.۶.۵ انتشار سالیتون فضایی روشن در فراماده و بررسی اثرات مرتبه‌ی بالاتر پراش غیرخطی ۱۰۰
۲.۶.۵ انتشار سالیتون فضایی تاریک در فراماده و بررسی اثرات مرتبه‌ی بالاتر پراش غیرخطی ۱۰۳
۷.۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۰۵

فصل آ: ۱۰۷

فصل ب: ۱۱۱

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۱۱۵

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۱۲۳

مراجع ۱۳۱

فهرست تصاویر

۱.۱ رابطه‌ی $\vec{P} - \vec{E}$ در محیط دی‌الکتریک (آ) خطی (ب) غیرخطی[۲] ۵

۲.۱ رابطه‌ی $\vec{P} - \vec{E}$ در محیط دی‌الکتریک غیرخطی مرتبه‌ی سوم[۲] ۸

۳.۱ محیط غیرخطی مرتبه‌ی سوم که مثل یک عدسی رفتار می‌کند که قدرت کانونی کنندگی آن به شدت پرتو فرودی بستگی دارد[۲] ۱۱

۱.۲ نمونه‌ای از فیبر نوری که در آن هسته، غلاف و محافظ نمایش داده شده است$(www.fadak.us/)$. ۱۶

۲.۲ نمایی از سطح مقطع فیبر نوری که در آن هسته، غلاف و محافظ نمایش داده شده است[۴]. ۱۷

۳.۲ نمایی از ضریب شکست فیبر ضریب پله‌ای نسبت به فاصله‌ی شعاعی فیبر[۴] ۱۷

۴.۲ نمایی از ضریب شکست فیبر ضریب تدریجی نسبت به فاصله‌ی شعاعی فیبر[۲] ۱۸

۵.۲ نمایی از فیبر ضریب پله‌ای تک مده[۲] ۲۰

۶.۲ نمایی از فیبر ضریب پله‌ای چند مده[۲] ۲۰

۱.۳ نمایی از مشاهدات امواج سالیتوری اسکات راسل در کانال آب $(http : //pahlavan.persiangig.com/blog.html)$ ۳۳

۲.۳ انتشار پالس $u(\circ,\tau) = sech(\tau)$ با $N = ۱$ در فیبر نوری که نشان می‌دهد پالس بدون تغییر در شکل، دامنه و پهنا در طول فیبر منتشر می‌شود. . . . ۳۶

۳.۳ انتشار پالس $u(\circ,\tau) = ۱/۳\ sech(\tau)$ با $N = ۱/۳$ در فیبر نوری که نشان می‌دهد شدت پالس در ابتدا افزایش یافته و سپس کم می‌شود و متعاقبا با کم و زیاد شدن شدت، پالس دوباره به حالت اولیه‌ی خود باز می‌گردد. البته این اختلال کوچک، سالیتون را ناپایدار نمی‌کند و سالیتون دوباره بازیافت می‌شود. ۳۷

۴.۳ انتشار پالس $u(\circ,\tau) = \tanh(\tau)$ با $N = ۱$ در فیبر نوری که نشان می‌دهد پالس بدون تغییر در شکلش در طول فیبر منتشر می‌شود. ۳۹

۵.۳ انتشار پالس $u(\circ,\tau) = ۱/۳\tanh(\tau)$ با $N = ۱/۳$ در فیبر نوری که نشان می‌دهد پالس در حین انتشار تغییر چندانی نمی‌کند و پایدار می‌ماند. . . . ۳۹

۱.۴ نمایی از فضای پارامتر برای ε و μ[۱۲] ۵۰
۲.۴ جهتگیری بردارهای میدان الکتریکی و مغناطیسی $\vec{E}$ و $\vec{H}$، بردار پوئین تینگ $\vec{S}$ و بردار موج $\vec{k}$ در محیط راستگرد (RHM) و محیط چپگرد (LHM)[۱۵] ۵۲
۳.۴ جهتگیری بردارهای سرعت فاز و گروه در یک ماده با ضریب شکست منفی[۱۶] ۵۳
۴.۴ شکست پرتو نور هنگام عبور از مرز (آ) هوا - PIM (ب) هوا - NIM[۱۲] ۵۳
۵.۴ (آ) به ترتیب از راست به چپ: لیوان خالی با یک میلهی فلزی، همان لیوان که با مایعی با ضریب شکست $n = ۱/۳$ پر شده است، همان لیوان که با مایعی با ضریب شکست $n = -۱/۳$ پر شده است.(ب) چگونگی مشاهدهی یک ماهی به ترتیب از راست به چپ در آب و آب ساخته شده از فراموا[۱۷، ۱۸] . . ۵۴
۶.۴ جهت تابش چرنکوف در یک محیط با سرعت گروه (آ) مثبت (ب) منفی . $\vec{v}$ بیانگر جهت سرعت ذره، $\vec{k}$ بیانگر جهت بردار موج تابش گسیلی و $\vec{S}$ جهت بردار پوئین تینگ است. بردار $\vec{S}$ در جهت بردار سرعت گروه $\vec{v}_g$ قرار دارد و جهت واقعی گسیل را نشان میدهد[۱۹]. ۵۵
۷.۴ متمرکز کردن پرتوها توسط یک تیغه با ضریب شکست منفی در فضای آزاد. هر مرز مثل یک عدسی رفتار میکند به طوری که هم در داخل تیغه و هم در خارج از آن تصویر تشکیل میشود[۲]. ۵۶
۸.۴ نمایی از فرامادهی دوبعدی ساخته شده توسط اسمیت و همکارانش، متشکل از ردیفهای SRR و سیمهای نازک[۲۷] ۵۹
۹.۴ تاریخچهی ساخت فرامواد: از SRR تا ساختار $fishnet$[۱۷] ۶۰
۱۰.۴ تغییرات بخشهای حقیقی و موهومی ε بر حسب فرکانس[۳۴] ۶۳
۱۱.۴ ساختار شبکهی سه بعدی از سیمهای نازک برای کاهش فرکانس پلاسما که توسط پندری پیشنهاد شد[۳۴]. ۶۳
۱۲.۴ (آ) مشدد حلقه شکافتهی دوتایی به عنوان واحد ساختمانی یک فرامواد با پاسخ مغناطیسی در فرکانسهای میکروویو (ب) مدار معادل SRR دوتایی[۱۲] ۶۸
۱۳.۴ چند نمونهی معمول از ساختار اتمهای مغناطیسی: (آ) مشدد حلقه شکافتهی دوتایی (ب ، ج ، د) مشددهای حلقه شکافته به ترتیب با یک، دو و چهار شکاف (ه) مشدد حلقه شکافتهی U شکل (و) ساختار Ω[۱۸] ۶۹
۱۴.۴ (آ) ساختار فرامادهی یک بعدی ساخته شده از سیمهای نازک و مشددهای حلقه شکافته (ب) روابط پاشندگی μ و ε طبق مدل درود - لورنتز[۴۳] . . . ۷۱
۱۵.۴ نمایشی از عملکرد یک عدسی کامل[۴۵] ۷۳

۱۶.۴ نمایی از ساختار پوشش میکروویو دو بعدی با رسم پارامترهای ماده. برای وضوح بیشتر μ_r (خط قرمز) ۱۰ برابر شده است. μ_θ (خط سبز) مقدار ثابت ۱ و ε_z (خط آبی) مقدار ثابت ۳/۴۲۳ دارد. همچنین SRRهای استوانه‌ی داخلی (اولین استوانه) و استوانه‌ی خارجی(دهمین استوانه) در شکل نشان داده شده‌اند[۴۷]. ۷۵

۱۷.۴ نمایی از طرح SRR. پارامترهای این سلول واحد به صورت $a_\theta = a_z =$ ۱۰/۳mm و $w =$ ۰/۲mm می‌باشند. حلقه مربعی با طول لبه‌ی $l =$ ۳mm است[۴۷]. ۷۵

۱۸.۴ الگوی میدان الکتریکی حالت پایای وابسته به زمان، با خطوط سیاه پیوسته که بیانگر جهت شارش توان(بردار پوئین تینگ) می‌باشد. پوشش در ناحیه‌ی حلقوی بین دایره‌های سیاه قرار دارد و یک استوانه رسانا را در شعاع داخلی احاطه کرده است. (آ) نتایج شبیه‌سازی با خواص دقیق ماده طبق رابطه‌ی (۱۳.۴) (ب) نتایج شبیه‌سازی در حالت ایده‌آل با خواص تغییر یافته‌ی ماده طبق رابطه‌ی (۱۴.۴)[۴۷] ۷۶

۱۹.۴ توزیع گردابی‌مانند بردار پوئین تینگ در انتشار موج سطحی در طول سطح مشترک $LH - RH$[۵۲]. ۸۰

۱.۵ نمایی از انتشار پرتو الکترومغناطیسی قطبیده‌ی TE، جایگزیده در موجبر مسطح. سالیتون فضایی در جهت محور z منتشر و در جهت محور x پراشیده می‌شود[۵۷]. ۸۹

۲.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی روشن بدون اثر پراش غیرخطی، با پارامترهای $\kappa =$ ۰، $A =$ ۲ . . . . . ۹۶

۳.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی روشن با در نظر گرفتن اثر پراش غیرخطی، با پارامترهای $\kappa =$ ۰/۱۷، $A =$ ۲ . . . . . ۹۷

۴.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی روشن با تغییر دامنه‌ی پالس، با پارامترهای $\kappa =$ ۰/۱۷، $A =$ ۱ . . . . . ۹۷

۵.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی تاریک بدون اثر پراش غیرخطی، با پارامترهای $\kappa =$ ۰، $A =$ ۱ . . . . . ۹۸

۶.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی تاریک با در نظر گرفتن اثر پراش غیرخطی، با پارامترهای $\kappa =$ ۰/۳۵، $A =$ ۱ . . . . . ۹۸

۷.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی تاریک با تغییر دامنه‌ی پالس، با پارامترهای $\kappa =$ ۰/۳۵، $A =$ ۱/۱ . . . . . ۹۹

۸.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی روشن بدون اثر پراش غیرخطی مرتبه‌ی بالاتر، با پارامترهای $\kappa = ۰/۱۷$، $\kappa' = ۰$، $\kappa'' = ۰$، $A = ۱$ ۱۰۱
۹.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی روشن با در نظر گرفتن اثر پراش غیرخطی مرتبه‌ی بالاتر، با پارامترهای $\kappa = ۰/۱۷$، $\kappa' = ۰$، $\kappa'' = ۰/۲۵$، $A = ۱$ ۱۰۲
۱۰.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی روشن با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی مرتبه‌ی بالاتر، با پارامترهای $\kappa = ۰/۱۷$، $\kappa' = ۰/۵$، $\kappa'' = ۰/۲۵$، $A = ۱$ . . . ۱۰۲
۱۱.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی تاریک بدون اثر پراش غیرخطی مرتبه‌ی بالاتر، با پارامترهای $\kappa = ۰/۲۵$، $\kappa' = ۰$، $\kappa'' = ۰$، $A = ۱$ ۱۰۳
۱۲.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی تاریک با در نظر گرفتن اثر پراش غیرخطی مرتبه‌ی بالاتر، با پارامترهای $\kappa = ۰/۲۵$، $\kappa' = ۰$، $\kappa'' = ۰/۱۷$، $A = ۱$ ۱۰۴
۱۳.۵ شبیه‌سازی رفتار پرتو سالیتون فضایی تاریک با در نظر گرفتن هر دو اثرات غیرخطی مرتبه‌ی پنجم و پراش غیرخطی مرتبه‌ی پنجم، با پارامترهای $\kappa =$ ۰/۲۵، $\kappa' = ۰/۱$، $\kappa'' = ۰/۱۷$، $A = ۱$ ۱۰۴

فصل ۱
اپتیک غیرخطی