دانشکده علوم پایه

پایان نامه دکتری

بررسی نظری و تجربی پراکندگی القایی بریلوئن و دوپایایی نوری

از

محمد جابری

اساتید راهنما:

دکتر حمید رحیم پور سلیمانی

دکتر امیر حسین فرهبد

خرداد ۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

(گرایش حالت جامد)

بررسی نظری و تجربی پراکندگی القایی بریلوئن و دوپایایی نوری

از

محمد جابری

اساتید راهنما:

دکتر حمید رحیم پور سلیمانی

دکتر امیر حسین فرهبد

خرداد ۱۳۹۳

این پایان‌نامه را ضمن تشکر و سپاسگزاری و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می‌نمایم به:

حضور ارزشمند پدر و مادر عزیزم، همسر مهربانم و خواهران و برادرانم

که همواره یار و یاور من بوده‌اند.

سپاس و ستایش خدای را بر آنچه از وجود مبارکش به ما شناسانده و بر آنچه از شکرش به ما الهام فرموده و بر آن درهای دانشش که به پروردگاریش بر ما گشوده، و بر اخلاص ورزیدن در توحید و یگانگی اش ما را رهنمون شده و قلب ما را از الحاد و شک در کار خود دور داشته ، سپاس که حدش را پایان، و شماره آنرا حساب، و پایان آنرا نهایتی، و مدت آنرا انتفاعی نباشد. سپاس که باعث رسیدن به طاعت و بخشش او و سبب رضا و خوشنودی او، وسیله آمرزش او، و یار و مددکار بر طاعت او ، و مانع از معصیت او، و کمک بر ادای حق و وظایف حضرت او باشد.

و سلام و درود بر حضرت ختمی مرتبت محمّد (ص) و خاندان پاکش ، طاهران معصوم(علیهم السلام)، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛

نگارنده از تمام کسانی که در انجام این پژوهش با وی همکاری و همفکری نموده اند بویژه اساتید محترم راهنما، همکاران محترم ، دوستان عزیز و در نهایت خانواده بزرگوار خود، صمیمانه قدردانی و سپاسگزاری می نماید.

فهرست مطالب

مقدمه ۱

۱. پراکندگی القایی بریلوئن ۴

۱-۱ مقدمه ۵

۱-۲ پراکندگی فوتون از ماده ۶

۱-۳ فرآیند پراکندگی خود به خودی ۸

۱-۴ پراکندگی بریلوئن ۹

۱-۵ پراکندگی استوکس ۱۳

۱-۶ پراکندگی القایی ۱۵

۱-۷ معادله موج و قطبش غیر خطی ۱۷

۱-۸ بررسی نظری فرایند پراکندگی القایی بریلوئن ۱۸

۱-۹ حل تحلیلی یک بعدی پراکندگی القایی بریلوئن ۲۲

۱-۹-۱ حضور میرایی در معادلات شدت و حذف جذب در ماده ۲۲

۱-۹-۲ حضور جذب در ماده و صرف نظر از میرایی در شدت لیزر ۲۳

۱-۱۰ مقدمه ای بر مزدوج اپتیکی فاز ۲۴

۱-۱۰-۱ مفهوم موج مزدوج فازی ۲۴

۱-۱۱ خود جبرانی اعوجاج‌ها با استفاده از مزدوج فاز اپتیکی (OPC) ۲۷

۱-۱۱-۱ تقویت دو عبوری: ۲۸

۱-۱۱-۲ جبران اعوجاج‌های ایجاد شده بر روی تصویر در یک موجبر ۲۸

۱-۱۲ مزدوج فاز از طریق پراکندگی القائی بریلوئن (SBS-PC) ۲۹

۱-۱۳ مواد مورد مطالعه برای SBS ۳۴

۱-۱۴ ساختار دو سلولی مولد-تقویت کننده ۳۹

۱-۱۵ فشرده سازی پهنای زمانی موج از طریق SBS ۴۱

۱-۱۵-۱ تحلیل فشردگی زمانی پالس بریلوئن ۴۴

۲. شفافیت القای الکترومغناطیسی و دوپایایی نوری ۴۶

۲-۱ شفافیت القای الکترومغناطیسی ۴۷

۲-۱-۱ مفاهیم فیزیکی ۴۷
۲-۱-۲ تداخل بین حالت‌های کوانتومی ۵۰
۲-۱-۳ نظریه و استخراج معادلات ۵۶
۲-۱-۳-۱ برهمکنش نور با یک سیستم سه ترازی ۵۶
۲-۱-۳-۲ محاسبه هامیلتونی حاکم بر EIT ۵۸
۲-۱-۳-۳ عملگر چگالی ۶۲
۲-۱-۳-۴ تحول زمانی عملگر چگالی ۶۲
۲-۱-۳-۵ محاسبهی ماتریس چگالی ۶۳
۲-۱-۳-۶ محاسبه پذیرفتاری (χ) مغناطیسی سیستم لاندا ۶۶
۲-۲ دوپایایی نوری ۶۸
۲-۲-۱ تعریف و انواع دو پایایی اپتیکی ۶۸
۲-۳-۲ دو پایایی اپتیکی پاشنده ۷۱
۲-۳-۳ دوپایایی نوری جاذب ۷۶
۳. نتایج تجربی ۷۸
۳-۱ مقدمه ۷۹
۳-۲ ساختار مد طولی برای تشدیدگر حلقوی نا هم سطح ۷۹
۳-۲-۱ آرایش تجربی تک مد سازی لیزر ۸۱
۳-۲-۱-۱ تک مد سازی طولی ۸۵
۳-۲-۱-۲ بررسی ساختار مدی با استفاده از الگوی فابری- پرو ۹۱
۳-۳ نتایج تجربی پراکندگی القایی بریلوئن ۹۶
۳-۳-۱ آرایش تجربی ۹۶
۳-۳-۲ تعیین ضریب تضعیف قطعات مورد استفاده در چیدمان آزمایش ۹۸
۳-۳-۳ تاخیر زمانی بین نوسانگر و تقویت کننده ۹۹
۳-۳-۴ اندازه‌گیری واگرایی باریکه لیزری خروجی از نوسانگر ۱۰۱
۳-۳-۵ تقویت دو عبوری با آینه انتهایی ۱۰۳
۳-۳-۶ آرایش تک سلولی ۱۰۵
۳-۳-۶-۱ مشخصات سلول مولد ۱۰۶

۳-۳-۶-۲ ساختار تک عبوری در حالت تک مد ۱۰۸

۳-۳-۶-۳ ساختار دو عبوری در حالت تک مد طولی ۱۱۲

۳-۳-۶-۴ ساختار دو عبوری در حالت ۲ مد و چند مدی ۱۱۸

۳-۳-۷ آرایش دو سلولی ۱۲۳

۳-۳-۷-۱ مشخصات سلول مولد و تقویت کننده ۱۲۵

۳-۳-۷-۲ ساختار دو عبوری برای تمامی حالات مدی ۱۲۶

۴. محاسبات عددی ۱۳۷

۴-۱ رفتار طیفی آینه مزدوج فازی ۱۳۸

۴-۱-۱ روش عددی ۱۳۸

۴-۱-۲ نتایج محاسبات عددی ۱۴۴

۴-۲ اثر واهلش اسپینی الکترون‌ها در ترازهای حفره سبک و حفره سنگین بر روی دوپایایی نوری ۱۵۲

۴-۲-۱ مدل و معادلات دو پایایی ۱۵۲

۴-۲-۲ نتایج محاسبات و بحث ۱۵۷

۴-۳ کنترل فاز OB و OM در یک موجبر چاه کوانتومی ۱۶۲

۴-۳-۱ نتایج و بحث ۱۶۳

نتایج ۱۶۸

پیشنهادات ۱۶۸

۵. پیوست‌ها ۱۶۹

پیوست الف ۱۷۰

تک مد سازی لیزر ۱۷۰

پیوست ب ۱۷۴

محاسبه توزیع طیفی و ساختار مدی با استفاده از حلقه‌های فابری_ پرو ۱۷۴

فهرست منابع ۱۷۶

فهرست جداول

جدول ۱-۱ - مواد مورد مطالعه در گذشته برای پراکندگی القایی بریلوئن و مقدار کمیت‌های بدست آمده از آزمایش‌ها.....۳۶

جدول ۳-۱ گستره انرژی خروجی، پهنای طیفی و میانگین تعداد مدهای مشاهده شده برای نوسانگر در مراحل مختلف تکمیل فرایند تک مد سازی..... ۹۰

جدول ۳-۲- ضریب تضعیف و ضریب عبوردهی قطعات اپتیکی موجود در چیدمان آزمایش..... ۹۹

جدول ۳-۳- نقش‌های سوختگی ناشی از باریکه لیزری در تقویت کننده تک عبوری با آینه انتهایی.....۱۰۴

جدول ۳-۴- نقش‌های سوختگی در چیدمان تک عبوری با یک سلول SBS در حالت تک مد به ازای ولتاژها و موقعیت‌های مکانی مختلف..... ۱۱۰

جدول ۳-۵- نقش‌های سوختگی در ساختار دوعبوری برای یک سلول SBS در حالت تک مد طولی. در این جدول مقدار $D1 = 130\ mm$ و بقیه کمیت‌ها مقادیر قبلی را دارا می‌باشند..... ۱۱۳

جدول ۳-۶- نقش‌های سوختگی در چیدمان دو عبوری با دو سلول SBS در حالت تک مد به ازای ولتاژها و موقعیت‌های مکانی مختلف..... ۱۲۹

جدول ۳-۷- نقش‌های سوختگی در چیدمان دو عبوری با دو سلول SBS در حالت دو مد و چند مدی به ازای ولتاژها و موقعیت‌های مکانی مختلف..... ۱۲۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ – شمایی از فرایند پراکندگی نور ۶

شکل ۱-۲- طیف فرکانسی پراکندگی خود به خودی نور. ۷

شکل ۱-۳- برهمکنش میدان تابشی لیزر EL با محیط پراکنش را نشان می‌دهد. ES میدان پراکنده شده استوکس و نوسانات اکوستیکی در ماده به صورت موج صوتی با بردار موج Q نشان داده شده است ۱۳

شکل ۱-۴- پراکندگی استوکس و الف) رابطه بین فرکانس میدان تابشی و پراکنده شده (فوتون‌ها) و ب) رابطه شماتیک بین بردارهای موج را نشان می‌دهد. ۱۴

شکل ۱-۵ طرح واره‌ای از سلول SBS به طول L و محل ورود باریکه‌های لیزر و استوکس به محیط ۲۲

شکل ۱-۶ حذف انحراف ایجاد شده در باریکه ورودی در باریکه مزدوج فازی با عبور دوباره از محیط ابیراتور[۱۴] ۲۶

شکل ۱-۷ مقایسه باریکه ورودی و باریکه مزدوج قبل و بعد از عبور از ابیراتور[۱۴] ۲۷

شکل ۱-۸- خود جبرانی دو عبوری ۲۸

شکل ۱-۹ نمودار فوق شدت را برحسب واگرایی نشان می‌دهد و در سمت راست لکه ورودی به سلول و لکه خروجی پس از ابیراتور را نشان می‌دهد که نمایان کننده از بین رفتن انحراف ایجاد شده در ابیراتور است[۱۴, ۱۵] ۳۰

شکل ۱-۱۰- چیدمان آزمایشی مناسب به منظور بررسی بازسازی جبهه موج توسط سلول SBS به روش تداخل دو باریکه. ابیراتور را در مکان‌های A و B در مسیر اپتیکی می‌توان قرار داد. (برگرفته از مرجع [۱۴]) ۳۰

شکل ۱-۱۱ آثار تداخلی ایجاد شده توسط دو باریکه لیزر(الف) بدون ابیراتور (ب) با ابیراتور در مکان A (ج) تداخل ناشی از دو باریکه استوکس بدون ابیراتور (د) با حضور ابیراتور در مکان B. (بر گرفته از مرجع[۱۴]) ۳۱

شکل ۱-۱۲: نمایی از سازوکار مزدوج فازی در سلول SBS [۱۷] ۳۲

شکل ۱-۱۳- عملکرد پراکندگی القایی بریلوئن در (الف) مولد (ب) تقویت کننده ۳۹

شکل ۱-۱۴ –شمایی از چیدمان سیستم دو سلولی به عنوان آینه مزدوج فاز ۴۰

شکل ۱-۱۵ شکل گیری پالس فشرده شده استوکس پس از ورود پالس لیزر به درون سلول با شدتی بیشتر از آستانه بریلوئن[۱۷] ۴۲

شکل ۱-۱۶: شیب لبه صعودی برای پالس استوکس (نمودار خط چین) و پالس دمش (نمودار با خط ممتد). ۴۳

شکل ۱-۱۷ فشرده سازی با دو سلول SBS. (الف) تحول زمانی فشردگی پالس توسط SBS. (ب) چیدمان آزمایش، PBS جداکننده قطبش باریکه QWP تیغه ربع موج[۴۸] ۴۴

شکل ۲-۱ اثر میدان‌های کنترل و کاوشگر بر روی یک سیستم سه ترازی هنگامی که لیزر کنترل خاموش باشد یک قله جذب لورنتزی مشاهده می‌شود (IMX1) (شکل سمت چپ) وقتی لیزر کنترل بر محیط اعمال شود قله جذب شکسته می‌شود و در هنگامی که بیشینه جذب وجود داشت محیط شفاف می‌گردد. مؤلفه حقیقی معرف پاشندگی است(REX1) و رابطه سرعت به فرکانس موج را بیان می‌کند[۵۴]. ۴۸

شکل ۲-۲ مقدار قدر مطلق پذیرفتاری مرتبه سوم بر حسب فرکانس ωP [۵۴]..... ۴۹

شکل ۲-۳- در یک سیستم اتمی سه ترازی سه ساختار انرژی به شکل آبشاری، V و Λ ، برای توصیف EIT تعریف می‌گردد هر کدام از حالات دو گذار دوقطبی مجازو یک گذار دوقطبی ممنوع دارند. تنها تفاوت این ساختارها در چیدمان ترازهای انرژی است..... ۵۰

شکل۲-۴ ترازهای انرژی سیستم سه ترازی از نوع Λ با گذارهای مجاز $|3> \rightarrow |1>, |3> \rightarrow |2>$ می‌باشد ωij فرکانس تشدید در هر گذار می‌باشد..... ۵۱

شکل ۲-۵- EIT در ساختار Λ (الف) حالت‌های اتم مجزا در حضور میدان ضعیف کاوشگر و میدان قوی اتصالی (ب) حالت‌های ترکیبی ایجاد شده بر اثر حضور میدان قوی اتصالی در حالیکه میدان کاوشگر هنوز در فرکانس تشدید حالت‌های مجزا $\omega 13$ حضور دارد ۵۴

شکل ۲-۶ EIT در ساختار لاندا (الف) مسیر مستقیم از حالت $|1\rangle$ به حالت $|3\rangle$ توسط میدان کاوشگرΩp (ب) ایجاد مرتبه‌های بالاتر بدلیل حضور میداناتصالی Ωc مسیر غیر مستقیم به صورت $|1\rangle \rightarrow |3\rangle \rightarrow |2\rangle \rightarrow |3\rangle$ ایجاد شده و تداخل بین مسیرهای (الف) و (ب) رخ می‌دهد..... ۵۵

شکل ۲-۷ تراگسیل یک نمونه دوپایای اپتیکی برای یک محیط غیر خطی غیر برانگیخته..... ۶۹

شکل ۲-۸- کاواک حلقوی تک جهتی با میدان ورودی EI و میدان خروجی ET در حضور ماده غیر خطی این ساختار در مطالعات دوپایایی متداول است..... ۷۱

شکل ۲-۹ قله‌های نوعی تراگسیل از درون کاواک. تقاطع خطوط مستقیم و قله‌ها نشان از نوسان‌های محتمل در دوپایایی اپتیکی پاشنده می‌باشد. $R = 0.7, \beta 0 = 2, \beta 2 = -3.1$..... ۷۳

شکل ۲-۱۰ شدت عبوری IT بر حسب II بر طبق معادله (۲-۶۵) برای دوپایایی پاشنده. این شکل حلقه پسماندی را که شدت تراگسیل دنبال می کند را نشان می‌دهد..... ۷۵

شکل ۲-۱۱- نمودار میدان خروجی بر حسب میدان ورودی برای دوپایایی اپتیکی جاذب تنظیم شده نسبت به فرکانس مرکزی. $\alpha 0lT = 0, 4, 8, 16$ به منظور کاهش شیب انتخاب شده‌اند..... ۷۷

شکل ۳-۱ - نمایی از چیدمان اپتیکی آزمایش تک مد سازی لیزر، M: آینه‌های تمام بازتابان در زاویه ۴۵ درجه نسبت به نور فرودی ، BM: آینه تمام بازتابان در زاویه صفر درجه،برای تک جهتی کردن تشدیدگر، BS: آینه شکافنده باریکه با ضریب بازتاب ۵۰٪ ، FLA: روزنه به قطر ۲/۵ MM، $ET1$ اتالن با ضخامت ۶ MM و ضریب بازتاب $R = 36\%$ و $ET2$ اتالن با ضخامت۱۵ MM و ضریب بازتاب $R = 65\%$، DP: منشور داو، AM: محیط فعالND:YAG و PD: فوتو دایود ۸۲

شکل ۳-۲- (الف) تپ خروجی از نوسانگر حلقوی مثلثی تک جهتی قبل از قرار گرفتن منشور داو با انرژی خروجی ۴۰MJو (ب) بعد از حضور منشور و عمل سوییچ Q تپ با انرژی ورودی ۲۵/۲۸۱Jو انرژی خروجی میانگین۴۸/۰۸MJ را نشان می‌دهد. تبدیل فوریه تپ بیش از هفت مد طولی را به وضوح نشان می‌دهد. ۸۳

شکل ۳-۳- (الف) رفتار زمانی تپ و فرایند جفت شدگی بین مدی، (ب) نیمرخ باریکه خروجی از لیزر با انرژی خروجی میانگین ۱۲/۸MJ در ولتاژ اعمالی۷۵۰ V و ظرفیت خازن ۸۰ میکرو فاراد را نشان می‌دهد..... ۸۴

شکل ۳-۴- (الف) بستگی تعداد تپ‌های خروجی از نوسانگر (معادل تعداد اشباع شدگی سوئیچ Q) نسبت به انرژی دمش به محیط فعال نوسانگر(ب) بستگی انرژی خروجی از نوسانگر بر حسب انرژی دمش به نوسانگر (ج) انرژی خروجی از نوسانگر نسبت به تعداد فرکانس‌هایی که توسط تبدیل فوریه سریع شدت FFT بدست آمده برای یک بار سوییچ Q ۸۵

شکل ۳-۵- (الف) پالس لیزر خروجی با انرژی دمش ۳۱ J و ولتاژ کاری ۱۲۵۰ V، ظرفیت خازن ۴۰ μF در حضور اتالن ۶ MM بیشتر از دو مد طولی را نشان می‌دهد (ب) بستگی انرژی خروجی از نوسانگر در حضور اتالن ۶ MM با ضریب بازتاب $R = 36\%$ بر حسب انرژی دمش به لامپ، افزایش ناگهانی انرژی خروجی از نوسانگر، ناشی از اشباع دوباره سوییچ-Q انفعالی در انرژی $38\,\mathrm{J}\sim$ می‌باشد..... ۸۶

شکل ۳-۶- (الف) نمونه‌ای پالس لیزر خروجی با انرژی دمش ۲۸/۸ J و ولتاژ کاری ۱۲۰۰V، ظرفیت خازن 40 μF در حضور هر دو اتالن ۶ MM با ضریب بازتاب $R = ۰/۳۶$ و ۱۵MM با ضریب بازتاب $R = ۰/۶۵$. یکنواختی رفتار زمانی تپ، عدم زنش مدی، تکرار پذیری صد در صد آن و تبدیل فوریه تپ نشان از تک مد شدگی تپ دارد. (ب) بستگی انرژی خروجی از نوسانگر با حضور دو اتالن و ظرفیت خازن ۸۰ μF بر حسب انرژی دمش به لامپ، افزایش انرژی خروجی بدلیل اشباع دوباره سوییچ انفعالی در انرژی بالاتر از ۴۳ ژول می‌باشد. ۸۸

شکل ۳-۷- رفتار انرژی و پهنای تپ خروجی از نوسانگر حلقوی نا هم سطح تک مد (الف) انرژی خروجی از نوسانگر لیزر و پایداری نسبی آن نسبت به افزایش انرژی دمش. (ب) تغییرات پهنای زمانی تپ خروجی از نوسانگر با افزایش ولتاژ اعمالی. ظرفیت خازن ۴۰ μF روزنه۲/۵ میلیمتر و نرخ تکرار پالس ۰/۰۵ هرتز می‌باشد. ۸۹

شکل ۳-۸ - چیدمان تداخل سنج فابری_ پرو مورد استفاده در آزمایش. بلور KTP همانگ دوم لیزر را تولید می‌کند، M آینه تمام بازتابان در طول موج ۱۰۶۴NM ومانع از ایجاد تداخل بین هماهنگ دوم و فرکانس اصلی موج می‌گردد، N-LENS عدسی واگرا با فاصله کانونی $fN = -5CM$ برای مخروطی کردن باریکه، ET اتالن، P_LENS عدسی همگرا با فاصله کانونی $fN = +40CM$ برای ایجاد فریزها روی دوربین CCD می‌باشد. ۹۱

شکل ۳-۹ فرانژهای فا بری – پرو برای نوسانگر تک مد در ولتاژ کاری تشدیدگر μF ۱۲۰۰ ، ظرفیت خازن‌ها $40\ \mu F$ و فاصله زمانی بین هر دو تپ ۲۰ ثانیه برای هارمونیک دوم NM ۵۳۲ بوده است. (سمت راست) ناشی از اتالن با ضخامت (ETA) -۱۵MM و (سمت چپ) به اتالن با ضخامت (ETB) -۶MM،..... ۹۲

شکل ۳-۱۰ الگوی تداخلی سنجه فابری-پرو هنگامی که تنها یک سنجه ۶ MM داخل نوسانگر قرار دارد. حلقه مرکزی و حلقه اول به خوبی دو مد نوسانی، و نوسانات نمودار شدت ترکیب دو مد را نشان می دهند، انرژی دمش ۳۱ ژول و انرژی خروجی نوسانگر ۱۱ میلی ژول است. ۹۴

شکل ۳-۱۱ چیدمان تک و دو عبوری با آینه انتهایی و یا آینه مزدوج فازی ۹۸

شکل ۳-۱۲ ساختار ترازهای انرژی برای دمش و گذار لیزری در بلور ND^{3+}:YAG..... ۱۰۰

شکل ۳-۱۳- زمان تأخیری بین تحریک لامپ درخش نوسانگر و تقویت کننده را برحسب انرژی خروجی در یک و دو عبور را نشان می‌دهد. تقویت کننده بایستی در حدود ۱۰۰ میکرو ثانیه زودتر از نوسانگر تحریک شود تا بیشینه انرژی خروجی داشته باشیم. ۱۰۱

شکل ۳-۱۴- شکل لکه باریکه خروجی از نوسانگر به ترتیب از چپ به راست در فواصل صفر، ۱۴۰، ۲۸۰و ۴۰۰ سانتی‌متری ۱۰۲

شکل ۳-۱۵- (الف) مقایسه انرژی خروجی از چیدمان تک و دو عبوری . (ب) نسبت انرژی خروجی از تقویت کننده دو عبوری به تک عبوری برحسب انرژی داده شده به تقویت کننده را نشان می‌دهد ۱۰۳

شکل ۳-۱۶- چیدمان تجربی پراکندگی القایی بریلوئن با یک سلولSBS..... ۱۰۵

شکل ۳-۱۷- سلول مولد در ساختار تک سلولی ۱۰۶

شکل ۳-۱۸- ترسیم تغییرات انرژی استوکس پس از عبور از تقویت کننده (E_{AS}) برحسب فاصله عدسی تا دهانه ورودی سلول (D_1). نمودار پایینی (بالایی) مربوط به ولتاژ دمش ۸۰۰ ولت (۹۰۰ ولت) می‌باشد..... ۱۰۷

شکل ۳-۱۹- (الف) میزان انرژی وارد شده به سلول و انرژی استوکس برگشتی برحسب انرژی داده شده به تقویت کننده. (ب) انرژی بازتابی از سلول نسبت به انرژی وارد شده به سلول ترسیم شده است. ۱۰۹

شکل ۳-۲۰- الف) شکل پالس زمانی خروجی از نوسانگر در حالت تک مد (ب، ج، د) پالس زمانی استوکس به ترتیب در انرژی‌های دمش ۲۴/۵، ۳۶/۱۲۵ و ۵۰ ژول به تقویت کننده (ولتاژ کاری ۷۰۰ ، ۸۵۰، ۱۰۰۰ ولت) می‌باشد. نیم پهنای زمانی نمودارها در سمت راست نمودار نشان داده شده است. نمودار قرمز رنگ در پایین هر یک از شکل‌ها نمایانگر تبدیل فوریه پالس و تعداد تقریبی مد ها می‌باشد..... ۱۱۱
شکل ۳-۲۱- (الف) انرژی استوکس تقویت شده در تقویت کننده در ساختار دوعبوری و انرژی وارد شده به سلول بر حسب انرژی داده شده به تقویت کننده. (ب) نسبت انرژی استوکس خروجی به انرژی وارد شده به سلول $(ER-2PA)$ بر حسب انرژی ورودی به سلول SBS..... ۱۱۴
شکل ۳-۲۲- الف) شکل پالس زمانی خروجی از نوسانگر که کاملا تک مد می‌باشد (ب، ج، د) پالس زمانی استوکس به ترتیب در انرژی‌های دمش ۱۸ ، ۳۶ و ۶۰.۵ ژول (ولتاژ کاری ۶۰۰ ، ۸۵۰، ۱۱۰۰ ولت) به تقویت کننده می‌باشد. نیم پهنای بیشینه زمانی پالس‌ها در سمت راست نمودار نشان داده شده است. نمودار قرمز رنگ در پایین هر یک از شکل‌ها نمایانگر تبدیل فوریه پالس و تعداد تقریبی مد ها است. هر قسمت در راستای افق ۲۰NS است..... ۱۱۵
شکل ۳-۲۳- (الف)تغییرات پهنای پالس استوکس برگشتی تک مد در آرایش دو عبوری و (ب) ضریب فشرگی پالس ورودی نسبت به پالس استوکس برحسب انرژی دمش به تقویت کننده..... ۱۱۷
شکل ۳-۲۴- مقایسه (الف) انرژی استوکس برگشتی در ساختار دوعبوری برحسب انرژی کل دمش و (ب) برحسب انرژی ورودی به سلول (ج) انرژی بازتابی دو عبوری $(ER-2PA)$ نسبت به انرژی ورودی به تک سلول SBS بین آینه تمام بازتابان (♦)در حالت تک مد طولی و آینه SBS درحالت تک مد(●) حالت دو مد (▲) و حالت چند مدی (■)..... ۱۱۹
شکل ۳-۲۵-شکل پالس‌های زمانی گرفته شده توسط اسیلوسکوپ (الف، ب) به ترتیب خروجی از نوسانگر دو مدی و چند مدی (ج، ه، ز) پالس زمانی استوکس دو مدی (د، و، ح) پالس زمانی استوکس چند مد در ساختار دو عبوری با یک سلول SBS به ترتیب در انرژی‌های دمش ۲۴/۵ ، ۳۶ و ۵۰ ژول (ولتاژ کاری ۷۰۰ ، ۸۵۰، ۱۰۰۰ ولت) به تقویت کننده می‌باشد. نمودار قرمز رنگ در پایین هر یک از شکل‌ها تبدیل فوریه پالس و تعداد تقریبی مد ها را نشان می‌دهد. ۱۲۱
شکل ۳-۲۶- ضریب فشرگی پهنای پالس ورودی نسبت به پهنای پالس استوکس برحسب انرژی دمش به تقویت کننده برای تمامی حالت‌های مدی..... ۱۲۳
شکل ۳-۲۷- چیدمان تجربی پراکندگی القایی بریلوئن با دو سلولSBS..... ۱۲۴
شکل ۳-۲۸- نمای طراحی شده برای سلول SBS همراه با نمای انفجاری به منظور نمایش تمامی قطعات مورد استفاده به منظور آب بندی سلول..... ۱۲۵

شکل ۳-۲۹- تصویر گرفته شده از دو سلول مورد استفاده در آزمایش ۱۲۶

شکل ۳-۳۰- مقایسه بین حالت تک مد(●) حالت دو مد (▲) و حالت چند مدی (■) در ساختار دوعبوری با دو سلول SBS (الف) انرژی استوکس برحسب انرژی کل دمش (ب) انرژی بازتابی دو عبوری $(ER-2PA)$ نسبت به انرژی ورودی به سلول تقویت کننده ۱۲۷

شکل ۳-۳۱- انرژی استوکس برگشتی از سلول تقویت کننده در حالت چند مدی در ساختار دوعبوری با دو سلول برحسب انرژی کل دمش هنگامی که سلول مولد از مدار خارج شده است ۱۲۸

شکل ۳-۳۲- شکل پالس‌های زمانی استوکس برگشتی گرفته شده توسط اسیلوسکوپ در ساختار دو عبوری با دو سلول مولد و تقویت کننده (الف، ب) حالت تک مد (ج ،د) حالت دو مدی (ه ، و) حالت چند مدی (الف، ج، ه) در انرژی‌های دمش ۳۶ ژول (ولتاژ کاری ۸۵۰ ولت) به تقویت کننده (ب، د، و) در انرژی‌های دمش ۵۵- ۵۰ ژول (ولتاژ کاری ۱۰۵۰- ۱۰۰۰ ولت) می‌باشد ۱۳۰

شکل ۳-۳۳- نمودار ضریب عبوردهی سلول‌های مولد و تقویت کننده بر حسب انرژی ورودی به سلول تقویت کننده. مقایسه بین حالت تک مد(●) حالت دو مد (▲) و حالت چند مدی (■) برای (الف) سلول تقویت کننده (ب) سلول مولد (ج) هر دو سلول ۱۳۱

شکل ۳-۳۴- ضریب فشرگی پهنای پالس ورودی نسبت به پهنای پالس استوکس برحسب انرژی دمش به تقویت کننده برای تمامی حالت‌های مدی در چیدمان دو سلولی ۱۳۲

شکل ۳-۳۵- مقایسه انرژی بازتابی دو عبوری $(ER-2PA)$ در تک سلول و دو سلول SBS بر حسب انرژی ورودی به سلول ، (الف)حالت تک مد(● و ○)(ب) حالت دو مد (▲ و △) و (ج) حالت چند مدی (■ و □). ۱۳۳

شکل ۳-۳۶ عکس نوسانگر حلقوی تک جهتی ۱۳۵

شکل ۳-۳۷ نمای کلی از چیدمان اپتیکی آزمایش از سمت تقویت کننده ۱۳۵

شکل ۳-۳۸ نمای کلی از چیدمان آزمایشی از طرف سلول‌های SBS ۱۳۶

شکل ۴-۱- شمایی از هندسه کانونی شدن باریکه را درون سلول SBS نشان می‌دهد. ۱۴۰

شکل ۴-۲ تصاویر پالس‌های زمانی گرفته شده توسط اسیلوسکوپ (الف، ج ، ه) به ترتیب خروجی از نوسانگر در حالت تک مد، دو مد و چند مدی با انرژی دمش ۲۹ ژول (ب، د، و) به ترتیب مربوط به پالس زمانی استوکس تقویت شده تک مد، دو مد و چند مدی در ساختار دو عبوری با دو سلول SBS. نمودار قرمز رنگ در پایین هر یک از شکل‌ها تبدیل فوریه پالس و تعداد تقریبی مد ها را نشان می‌دهدو در تممی شکل‌ها انرژی لیزر ورودی به تقویت کننده ۱۱MJ و بهره محیط فعال $g0 = 0.125\ \mathrm{CM} - 1$ ۱۴۵

شکل ۴-۳ (الف، ج، ه) به ترتیب پالس تولید شده محاسباتی در حالت تک مد، دو مد، و چند مدی (ب، د، و) رفتارمحاسبه شده برای شدت پالس استوکس تقویت شده متناظر با حالت تک مد، دو مد و چند مد طولی در ساختار دو عبوری با آینه مزدوج فازی. شرایط دقیقاً مانند شکل ۴-۲ می‌باشد انرژی لیزر ورودی به تقویت کننده ۱۱ MJ و بهره محیط فعال $g0 = 0.125\,\mathrm{CM} - 1$ ۱۴۶

شکل ۴-۴ مقایسه دامنه‌های فوریه برای پالس استوکس تقویت شده با استفاده از دو سلول SBS (دایره‌ها ●) با پالس برگشتی تقویت شده توسط آینه معمولی (مربع ■) نسبت به دامنه دومین مد طولی نرمال شده به دامنه مد اصلی ($a2$). به ازای انرژی‌های دمش $EP = 18, 26, 34, 41\ mJ$. پالس لیزر دارای دو مد طولی بوده است. ۱۴۸

شکل ۴-۵ نرخ دامنه فوریه شدت پالس خروجی $a2_CM/a2_SBS$ بر حسب انرژی دمش لیزر قبل از عدسی $FL2$ در ساختار دو عبوری. پالس دمش دارای دو مد طولی بوده است. مقادیر خطای انرازی‌گیری شده میزان واریانس از مقدار میانگین را نشان می‌دهد. شرایط همانند شرایط شکل ۴-۴ می‌باشد. ۱۴۹

شکل ۴-۶ مقایسه دامنه‌های فوریه برای پالس استوکس تقویت شده با استفاده از دو سلول SBS (ستون‌های پر) با پالس برگشتی تقویت شده توسط آینه معمولی (ستون‌های هاشور خورده) نسبت به دامنه مدهای طولی نرمال شده به دامنه مد اصلی ($a2, a3, a4, a5$). پالس لیزر دارای پنج مد طولی بوده است به ازای ۴ ترکیب مختلف از دامنه‌های فوریه. انرژیدمش در تمامی حالات $EP = 18\ mJ$ ۱۵۰

شکل ۴-۷ دامنه‌های فوریه برای پالس استوکس تقویت شده با استفاده از دو سلول SBS (خطوط بریده آبی رنگ) پالس برگشتی تقویت شده توسط آینه معمولی (خطوط قرمز رنگ) بر حسب فرکانس (الف) پالس لیزر دو مدی بوده $a2 = 0.2$ (ب) پالس لیزر ۵ مدی بوده است با دامنه‌های $(a2, a3, a4, a5) = (0.15, 0.1, 0.05, 0.025)$ به ازای انرژی‌های دمش $EP = 18\ mJ$ ۱۵۱

شکل ۴-۸: (الف) تصویر شماتیک ساختار نواری GAAS و شکافته شدن ترازهای تبهگن دو گانه بدلیل جفت شدگی اسپین-مدار (ب) شکافتن تراز تبهگن چهارگانه نوار رسانش GAAS بین حالات حفره سنگین و حفره سبک ۱۵۳

شکل ۴-۹ تصویر شماتیک از سیستم سه ترازی موثر انتخاب شده که باتوجه به واهلش اسپینی یک سیستم اتمی چهار ترازی بدست می‌آید ۱۵۴

شکل ۴-۱۰ کاواک حلقوی تک جهتی با نمونه اتمی به طول L ۱۵۵

شکل ۴-۱۱ منحنی‌های میدان ورودی-خروجی برای میدان کاوشگر ضعیف (الف) مقادیر متفاوت Ωc در غیاب (خط پر) و در حضور (خط چین) نرخ واهلش اسپین. پارامترهای دیگر به صورت زیر انتخاب می شوند: ۱۵۸

شکل ۴-۱۲منحنی‌های میدان ورودی-خروجی برای میدان کاوشگر ضعیف (الف) مقادیر متفاوت Δc با $\Delta p = 1.5\gamma$ (ب) مقادیر متفاوتΔpبا$\Delta c = 1.5\gamma$ در غیاب (خط پر) و در حضور (خط چین) نرخ واهلش اسپین. پارامترهای دیگر به صورت زیر انتخاب می شوند: $\Omega c = 4\gamma$, $C = 200\gamma$, $\gamma 3 = \gamma 4 = \gamma$, $\gamma 12 = 0.0$. ۱۵۹

شکل ۴-۱۳ منحنی‌های میدان ورودی-خروجی برای میدان کاوشگر ضعیف و مقادیر متفاوت C در غیاب (خط پر) و در حضور (خط چین) نرخ واهلش اسپین. پارامترهای دیگر به صورت زیر انتخاب شده‌اند: ۱۶۰

شکل ۴-۱۴ (الف) نمودار جذب و (ب) نمودار پاشندگی برای میدان ضعیف کاوشگر به ازای مقادیر متفاوت میدان اتصالی در حضور (خطوط صاف) و در غیاب (خط چین) واهلش اسپینی. پارامترهای دیگر عبارتند از: ۱۶۱

شکل ۴-۱۵ (الف) نمودار جذب و (ب) نمودار پاشندگی برای میدان ضعیف کاوشگر به ازای مقادیر متفاوت میدان اتصالی در حضور (خطوط صاف) و در غیاب (خط چین‌ها) واهلش اسپینی. پارامترهای دیگر عبارتند از: ۱۶۱

شکل ۴-۱۶ ترازهای انرژی و گذارهای اپتیکی در یک موج بر چاه کوانتومی. حالت‌های زیر لایه والانس حفره-سبک LH با $Jz = \pm 1/2$ و حالت‌های نوار رسانش با $Sz = 1/2$ (اسپین بالا) و $Sz = -1/2$ (اسپین پایین) نشان داده شده‌اند.گذار با $Sz - Jz = \pm 1$ توسط میدان کاوش و گذارهای $Sz - Jz = 0$ توسط میدان اتصالی به صورت همدوس بدست می‌آیند ۱۶۲

شکل ۴-۱۷ نمودار شدت میدان خروجی بر حسب میدان فرودی باریکه کاوشگر. خط پیوسته متناظر با $\Omega c = 3\, meV$ و خط بریده شده متناظر $\Omega c = 4\, meV$با پارامترهای دیگر $\Delta = 0$, $\phi = 0$ ۱۶۳

شکل ۴-۱۸ نمودار شدت (الف) جذب و (ب) پاشندگی باریکه کاوشگر. خط پیوسته متناظر با $\Omega c = 3\, meV$ و خط بریده شده متناظر با $\Omega c = 4\, meV$ پارامترهای دیگر شبیه شکل ۴-۱۷ می‌باشد ۱۶۴

شکل ۴-۱۹ نمودار شدت میدان خروجی بر حسب میدان فرودی باریکه کاوشگر. (الف)خط پیوسته متناظر با $\Delta = 0$ و خط بریده شده متناظر با $\Delta = 1$ و خط نقطه چین متناظر با $\Delta = 2$ (ب) خط پیوسته متناظر با $\phi = 0$ و خط بریده شده متناظر با $\phi = \pi/4$ و خط نقطه چین متناظر با $\phi = \pi/2$ می‌باشند. پارامترهای دیگر شبیه شکل ۴-۱۷ می‌باشد ۱۶۵

شکل ۴-۲۰ نمودار شدت (الف) جذب و (ب) پاشندگی باریکه کاوشگر خط پیوسته متناظر با $\phi = 0$ و خط بریده شده متناظر با $\phi = \pi/4$ و خط نقطه چین متناظر با $\phi = \pi/2$ می‌باشند. پارامترهای دیگر شبیه شکل ۴-۱۷ می‌باشد ۱۶۵

شکل ۴-۲۱ نمودار شدت میدان خروجی بر حسب میدان فرودی باریکه کاوشگر. خط پیوسته متناظر با $\phi = 0$، خط بریده شده متناظر با $\phi = \pi/6$ و نقطه چین متناظر با $\phi = \pi/4$، پارامترهای دیگر $\Omega c = 1.5meV$ و $\Delta = 1$ هستند. ۱۶۶

شکل ۴-۲۲ نمودار شدت (الف) عبوردهی و (ب) جذب باریکه کاوشگر برحسب تابعی از فاز و $\Omega c = 4\,meV$ و پارامترهای دیگر شبیه شکل ۴-۱۷ می‌باشد ۱۶۶

شکل ۴-۲۳ تفسیر فیزیکی مسیرهای کوانتومی که در همدوسی $\rho 41$ شرکت دارند که رفتار میدان کاوشگر را تغییر می‌دهد (الف) نوع اختلاط موج همدوس (ب) روش ESC ۱۶۷

شکل ۵-۱- عبور باریکه لیزر از یک اتالن با دامنه موج E_0، امنه میدان عبوری در چهار نقطه خروجی در سمت راست نمودار آمده است. ۱۷۲

شکل ۵-۲- نسبت شدت عبوری از اتالن به شدت لیزر با ضریب ظرافت مختلف بر حسب فرکانس ترسیم شده است، همچنین نمودار بازه طیفی آزاد و پهنای طیفی اتالن را نیز نشان می‌دهد ۱۷۲

شکل ۵-۳- : استفاده از سنجه داخل تشدیدگر برای ایجاد تک مد طولی نوسانگر لیزر. ۱۷۳

چکیده

بررسی نظری و تجربی پراکندگی القایی بریلوئن و دوپایایی نوری

محمد جابری

در این رساله پراکندگی القایی بریلوئن با استفاده از یک و دو سلول SBS برای تقویت کننده تک و دو عبوری با محیط فعال حالت جامد Nd:YAG مورد بررسی و تحلیل تجربی و نظری قرار گرفته است. اثر تعداد مدهای طولی در فرایند SBS و تعیین تعداد مدهای طولی برای داشتن بهینه انرژی بازتابی و جبران اثرات غیر خطی در شکل فضایی پالس لیزر و همچنین پالایش طیفی پالس استوکس و بررسی علل آن از جمله اهداف مورد نظر می باشد که برای اولین بار مد نظر قرار گرفته است. بدین منظور یک نوسانگر تک جهتی حلقوی در مد عرضی TEM_{00} با قابلیت تولید یک تا چند مد طولی بکار گرفته شد. ساختار مدی تشدیدگر به دو روش تبدیل فوریه سریع(FFT) و نقش تداخلی ناشی از یک اتالن فابری_پرو، مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفت. میدان لیزری با شدت‌های مختلف اعمال و شدت میدان استوکس بازگشتی برای تمامی حالات مدی در چیدمان تک و دو سلول SBS ارزیابی و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد ساختار دو سلولی موجب پالایش مدی پالس استوکس گردیده و کیفیت فضایی استوکس بسیار نزدیک به باریکه لیزر اولیه است، حذف ابیراهی‌ها ناشی از قطعات اپتیکی کاملاً مشهود و از مزیت‌های بدست آمده می‌باشد. وجود سلول تقویت کننده موجب کاهش شدت پالس دمش و مانعی برای تشکیل مدهای صوتی ثانویه می‌باشد که منجر به پالایش مدی در پالس استوکس می‌گردد. صحت نتایج بدست آمده با حل معادلات حاکم بر SBS دو سلولی همراه با شرایط مرزی و معادلات نرخ برای شدت و تفاوت انبوهی در تقویت کننده لیزری، به صورت عددی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهند که آینه مزدوج فازی نسبت به آینه معمولی تمام بازتابان، رفتار طیفی کاملاً متفاوتی از خود نشان می‌دهد که منجر به پالایش طیفی موج پراکنده می‌گردد که با نتایج تجربی تطابق خوبی دارد. مطالعه مختصری بر روی شفافیت القای الکترومغناطیسی به عنوان تکنیکی برای حذف اثر محیط در انتشار باریکه الکترومغناطیسی و به عنوان فرایندی که در کاربردهای SBS در نیمه رساناها مورد توجه قرار گرفته و منجر به ایجاد رفتارهای دو پایایی نوری نیز می‌گردد، انجام گرفت. نتایج اثر واهلش اسپینی بر رفتاردوپایایی از طریق همدوسی غیر تابشی بین ترازهای حفره سنگین و حفره سبک در نیمه رسانا با تنظیم میدان اتصالی و کاوش مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داده شد، نرخ واهلش اسپینی باعث افزایش آستانه دو پایایی و چند پایایی نوری شده است. همچنین اثر فاز در یک موجبر چاه کوانتومی با ساختار چهار ترازی بر روی دو پایایی اپتیکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میدان لیزری اتصالی منجر به کاهش شدت آستانه OB شده و فاز نسبی بین میدان‌های بکار رفته می‌تواند جذب را فرونشاند و اثر شدیدی بر غیرخطی بودن ماده داشته باشد.

کلمات کلیدی: پالایش طیفی، دوپایی نوری، ساختار مدی، مزدوج فاز، واهلش اسپین.

Abstract

Theoretical and Experimental investigation of Stimulated Brillouin Scattering And Optical Bistability

Mohammad Jaberi

In this dissertation, stimulated Brillouin scattering for single and two pass amplification in Nd:YAG active medium by single and two SBS cells were studied experimentally and theoretically. Effects of longitudinal mode structure and determination of longitudinal mode number for optimum energy reflectivity and compensating nonlinear effects in the laser pulse waveform and filtering spectral behavior of laser pulse were considered for the first time. For this purpose, a passively Q-switched non-planar unidirectional ring-resonator, with Nd:YAG active medium at TEM_{00} transverse mode With the capability of producing one or multi-longitudinal mode was used. The mode structure of the oscillator was analyzed by Fabry-Perot fringes of an external etalon and fast Fourier transform techniques. Different intensity of laser field was applied and then the Stokes back-scattered intensity for single and multi-longitudinal modes of single and two SBS cells have been investigated and compared with each other. The results show that when the laser oscillator operates in multi-mode two-cell configuration higher reflectivity and much better distortion elimination of the back-scattered Stokes waveform was obtained. Furthermore, SBS amplifier with reduction of pump pulse intensity and prevention of secondary acoustic modes formation lead to production of completely filtered SBS Stokes pulse. The accuracy of the results was examined numerically by solving two cells SBS governed equations and considering boundary conditions and rate equations of intensity and population inversion in laser amplifier. Numerical results of the amplified intensity show considerable differences between amplifier equipped with PCM and a two-pass amplifier with a conventional mirror under the same output energy. The amplifier with PCM has a completely filtered and different spectral behavior with clearly reduction of the beating between Fourier components of input optical field that is in good agreement with the experimental results. EIT was studied as a technique for the elimination of the medium effect on the electromagnetic beam propagation and as a process of SBS application in the semiconductor engineering and it also leads to optical bistability . The influence of the spin-relaxation on the optical bistability via a nonradiative coherence between the heavy-hole and the light-hole in a semiconductor inside a unidirectional ring cavity is studied. It was found that the spin-relaxation leads to increase in threshold intensity of optical bistability and multistability. Furthermore, In a quantum well waveguide coupled by orthogonally polarized optical fields, the influence of spin coherence on the optical bistability and multistability was investigated. It was shown that optical bistability and multistability are very sensitive to the relative phase between applied fields.

Keyword: spectral filtration, optical bistability, mode structure, phase conjugation, spin relaxation.