بنام خداوند بخشنده مهربان

٤٨٢٥٩

۱۳۸۲ /۵/ ۳۰

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده علوم - بخش فیزیک

پایان‌نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد فیزیک

تحت عنوان:

تحلیل نظری تک‌مدسازی قفل تزریقی در لیزرهای $TEA-CO_2$

استاد راهنما:

دکتر علیرضا بهرامپور

مؤلف:

علی قلی‌زاده

دی‌ماه ۱۳۸۰

۴۸۴۵۹

بسمه تعالی

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد

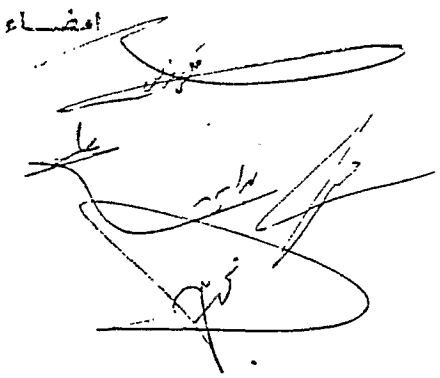
به

بخش فیزیک

دانشکده علوم ، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

امضاء



دانشجو : علی قلی زاده

استادراهنما: دکترعلیرضا بهرامپور

داور۱: دکترحسن رنجبر عسکری

داور۲: دکترمحمد آقابلوریزاده

داور۳:

داور٤:

حق چاپ محفوظ و متعلق به مولف است.

دانشگاه شهید باهنر
کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

تقدیم به دستان پرتلاش پدر ومادر مهربانم

تشکر و قدردانی

سپاس می‌گویم خدای را که هستی‌ام بخشید.

درود می‌فرستم به روان زنده‌یاد مهندس افضلی‌پور که ققنوس‌وار در آتش عشق خود سوخت تا آگاهی بخشد و عاشقی و ایثار.

از پدر و مادر عزیزم که در تمام سالهای تحصیل مشوق و یاور من بوده‌اند تشکر می‌کنم، بی‌گمان زبان من از قدردانی زحمات ایشان قاصر است.

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر علیرضا بهرامپور که تبیین و راهنمایی پایان‌نامه با ایشان بود و به واقع استاد علم و اخلاق من بودند و همواره با وسعت نظر و حوصله، مرا راهنمایی کردند سپاسگزارم.

از آقای دکتر محمد بلوریزاده و آقای دکتر رنجبر از دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان که زحمت داوری پایان‌نامه را عهده‌دار شدند و با حسن ظن خود مرا در تنظیم بهتر مطالب یاری دادند تشکر می‌کنم.

همچنین از سرکار خانم مانی که زحمت تایپ پایان‌نامه را پذیرفتند سپاسگزارم.

علی قلی‌زاده

دی‌ماه ۱۳۸۰

چکیده

لیزر $TEA - CO_2$ به خاطر داشتن پالس‌هایی با طول زمانی کم و توان بیشینه‌ی بالا، کاربردهای فراوانی خصوصاً در رادارهایی که در ناحیه طیفی فرابنفش کار می‌کنند دارد. برای کاربردهای ذکر شده و بسیاری موارد دیگر خروجی لیزر $TEA - CO_2$ باید در یک مد طولی خاص و در فرکانس خاصی نوسان کند.

انتخاب مد در لیزر به روشهای مختلف از جمله با استفاده از روزنه مناسب یا منشور امکان‌پذیر است. یک روش مناسب و جالب برای تنظیم طول موج لیزر پالسی $TEA - CO_2$ تزریق لیزر پیوسته تنظیم شده دیگری به داخل آن است.

در این پایان‌نامه ابتدا معادلات حاکم بر لیزر TEA را با در نظر گرفتن اثر نویز و لیزر پیوسته تزریقی به دست می‌آوریم. سپس از طریق نوشتن برنامه‌های کامپیوتری مناسب معادلات را حل عددی می‌نمائیم. بررسی رفتار زمانی شدت میدانها، پیروی خروجی لیزر $TEA - CO_2$ را از لیزر پیوسته نشان می‌دهد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: ساختار مدهای مختلف یک لیزر ۶

۲ـ۱ تشدیدکننده‌های نوری ۷

۲ـ۲ نوسان لیزر و مدهای حفره‌ی لیزر ۸

۲ـ۲ـ۱ شرایط مناسب برای نوسان لیزر ۸

۲ـ۲ـ۲ شرط نوسان لیزر در حالت پایا ۹

۲ـ۲ـ۳ شرط لازم برای فرکانس یا فاز میدان در یک گردش کامل ۱۰

۲ـ۳ تشدید در حفره‌ی لیزر ۱۲

۲ـ۴ عدد فرنل ۱۸

۲ـ۵ فاکتور کیفیت برای حفره ۱۹

۲ـ۶ الگوهای مشاهده شده برای مدها ۲۰

۲ـ۷ تبهگنی مد و اثر آن بر خروجی لیزر ۲۳

فصل سوم: بررسی طیف لیزر CO_2 ..... ۲۷

۳ـ۱ مقدمه ۲۸

۳ـ۲ مدهای طبیعی ارتعاش ۲۹

۳ـ۳ معادله‌ی موج ۳۲

۳ـ۴ توزیع خط چرخشی ۳۹

۳ـ۵ تشدید فرمی ۴۲

۳ـ۶ انتقال مربوط به باندهای عادی ۴۴

۳ـ۷ نسبتهای بهره برای باند عادی ۴۵

۳ـ۸ فرکانسهای مستقل ایزوتوپهای CO_2 ..... ۴۷

فصل چهارم: بررسی روشهای مختلف انتخاب مد در لیزر ۴۹
۴ـ۱ مقدمه ۵۰
۴ـ۲ دلایل نوسان چندمدی ۵۰
۴ـ۳ انتخاب مد عرضی با کج کردن آینه‌ها ۵۴
۴ـ۴ انتخاب مد عرضی با استفاده از روزنه‌ی دایره‌ای شکل ۵۴
۴ـ۵ انتخاب مد در لیزر بلند ۵۵
۴ـ۵ـ۱ روش انتخاب مد خارجی (اسمیت) ۵۷
۴ـ۵ـ۲ روش انتخاب مد داخلی (اسمیت و فاکس) ۵۹
۴ـ۶ انتخاب مد به وسیله‌ی منشور ۶۳
۴ـ۷ لیزر گازی دی‌اکسیدکربن و انتخاب مد در آنها ۶۶
۴ـ۷ـ۱ لیزرهای گازی دی‌اکسیدکربن ۶۶
۴ـ۷ـ۲ قفل تزریقی و انتخاب مد در لیزرهای $TEA-CO_2$ ۶۷
فصل پنجم: تحلیل نظری تک‌مدسازی قفل تزریقی در لیزر $TEA-CO_2$ ۷۱
۵ـ۱ معادلات میدان در داخل حفره‌ی لیزر ۷۲
۵ـ۲ لیزر تک‌مد ـ تقریب مرتبه‌ی اول ۷۷
۵ـ۳ حل عددی معادلات شدت میدان ۸۲
۵ـ۴ نتیجه‌گیری ۸۵
پیوست ۸۶
مراجع ۹۱

فصل اول

مقدمه

لیزر گازی دی‌اکسید کربن یکی از مهمترین انواع لیزرهایی است که در آن لیزر از نوسان بین ترازهای ارتعاشی-چرخشی انرژی مولکول است. در این لیزر مخلوطی از گازهای CO_2، N_2 و He وجود دارد. نوسان بین حالتهای انرژی در گاز CO_2 صورت می‌گیرد و گازهای N_2 و He با عمل مناسب بهره‌ی لیزر را افزایش می‌دهند. لیزر CO_2 در واقع یکی از پرقدرت‌ترین لیزرهاست که توان خروجی آن از یک وات در کابردهای علمی تا دهها کیلووات در کابردهای صنعتی متغیر است. این لیزر در طول موج ۹ تا ۱۱ میکرومتر در یک یا چند خط در حفره‌های تنظیم شده یا تنظیم نشده عمل می‌کند.

در سالهای ۱۹۶۹ و ۱۹۷۰ بود که برای اولین بار بیولی (A.J. Beaulieu) و همکارانش [۱] لیزر گازکربینک با تخلیه‌ی عرضی را که در فشار حدود یک اتمسفر کار می‌کرد معرفی کرده و ساختند. این لیزر که به لیزر $TEA - CO_2$[1] شهرت دارد با حجم معمولی حفره در فشار بالا کار می‌کند و این مزیت را دارد که در این فشار بالا مولکولهای زیادی از گاز دی‌اکسیدکربن تحریک می‌شوند و بنابراین خروجی لیزر توان بالایی دارد. لیزر $TEA - CO_2$ به دلیل داشتن همین توان بالا همچنین طول زمانی کم پالسها و قابلیت تکرار خوب پالسها، کابردهای فراوانی به خصوص در رادارهای نوری که در طیف فرابنفش کار می‌کنند دارد.

در بسیاری از کاربردهای ذکر شده لازم است که خروجی لیزر که در حالت عادی دارای مدهای مختلف می‌باشد، در یک مد طولی خاص تنظیم شود. روشهای مختلفی برای تک مدسازی خروجی لیزر طراحی و اجرا شده‌اند. از اولین روشها کج کردن آینه‌های حفره لیزر است. با کج کردن آینه‌ها در واقع حجم در دسترس یک مد خاص را می‌توان افزایش داد تا تقویت برای آن بیشتر از بقیه انجام شود و به این وسیله عمل انتخاب مد را انجام داد. مارکوس (G. Marcus) و کی (J.H.Coy) [۲] در سال ۱۹۶۹ با این روش

1. Transversely Excited Atmospheric

موفق به انتخاب مد در لیزر گاز کربنیک شدند.

در سال ۱۹۶۴ ریگرد و کوگلنایک (W.W Rigrod, H. Kogelnik) [۳]انتخاب مد عرضی در لیزر گازی هلیم - نئون را با قرار دادن یک صفحه که در آن روزنه‌ای دایره‌ای با شعاع مناسب در نظر گرفته شده بود - در حفره لیزر گزارش دادند. در این روش صفحه عمود بر محور حفره طوری قرار می‌گیرد که روزنه دقیقاً روی محور حفره باشد،تفاوت اتلاف برای مدهای عرضی مختلف در اثر عبور از روزنه باعث تضعیف برخی مدها و تقویت برخی دیگر می‌شود. اسمیت (P.W.Smith) و همکارانش [۴] در سال ۱۹۶۵ با عبور دادن خروجی لیزر از میان یک تداخل سنج فابری - پرو که به طور مناسب در داخل یا خارج حفره طراحی شده بود توانستند عمل انتخاب مد را انجام دهند. در این روش در واقع از شرط $\frac{c}{2l}$ که برای فاصله‌ی فرکانسهای مجاز در داخل حفره می‌باشد استفاده می‌شود و حفره‌ی ثانویه‌ای که تشکیل تداخل سنج فابری پرو می‌دهد طوری تنظیم می‌شود که فقط یک مد از خروجی لیزر چند مدی عبور می‌کند و بقیه بازتاب می‌شوند.

یکی دیگر از روشهای انتخاب مد استفاده از منشور به عنوان بازتاباننده در یک یا هر دو انتهای حفره می‌باشد. انتخاب مد در این روش براساس تغییرات سریع شدت بازتاب با تغییر زاویه‌ی برخورد پرتو لیزر است. اولین بار گیوردماین و کایسر (J.A.Giordmine,W.Kaiser) [۵] در سال ۱۹۶۴ از این روش استفاده کردند و توانستند به طور قابل ملاحظه‌ای پهنای باند خروجی لیزر را کاهش دهند.

در سال ۱۹۷۷ لی و آگاروال (N.lee,R.L.Aggarwal)[۶] گزارشی در مورد انتخاب مد با استفاده از اتالن در داخل حفره منتشر کردند. در سال ۱۹۷۶ جین لوئیس لاچامپر (j.L.Lachamber) و همکارانش [۷] روش قفل تزریقی را برای انتخاب مد در لیزر $TEA\text{-}CO_2$ بررسی و پیشنهاد کردند.

در این روش یک سیگنال خارجی با توان کم به داخل حفره‌ی لیزر $TEA-CO_2$ تزریق می‌شود. بررسی خروجی لیزر در این حالت نشان می‌دهد که برای تزریق‌هایی با زاویه‌ی تنظیمی کوچک (حدود $\frac{n}{10}$)، توان پالس تولیدی در اثر تزریق از خارج، از توان پالس تولیدی در اثر نویز بسیار قوی‌تر می‌شود و این نشان می‌دهد که با این روش می‌توان با تنظیم میدان تزریقی در فرکانس مورد نظر باعث تقویت مدی خاص و نهایتاً انتخاب مد شد. هرچند پیش‌بینی مدل لاچامبر به طور قابل قبولی با نتایج تجربی که خود او انجام داد توافق دارد اما در مدل پیشنهادی او روش مناسبی برای به دست آوردن معادلات حاکم بر میدانها در محیط فعال ارائه نشده است. لاچامبر معادلات حاکم بر میدانها را مستقیماً از معادله‌ی مرزی استنباط کرده است.

در سال ۱۹۸۷ رینز دنتی (R. Denti) و همکارانش [۸] روش قفل تزریقی را در لیزر $TEA-CO_2$ بررسی کردند. آنها مشخصه‌های لازم برای خروجی تک مد در اثر تزریق از خارج را ارائه کرده‌اند.

در سال ۱۹۹۶ مرزوف (Morozov) و کراسنیکف (Krasnikova) [۹] بستگی فرکانسی افت و خیزهای شدت تشعشعات نوری در مدهای مختلف یک لیزر تزریقی تحت مدولاسیون rf[1] جریان پمپ را به طور عددی بررسی کردند. آنها وابستگی مؤلفه‌های پیوسته و گسسته تشعشعات نوری به مشخصه‌های لیزر در سیستم پالسی را تجزیه تحلیل کرده و اثر تزریق خارجی روی این مؤلفه‌ها را تشریح کردند.

از تکنیک قفل تزریقی برای کاهش پهنای باند لیزر در لیزرهای مختلف استفاده می‌شود. چنانکه کندراچک (Kondratuk) و شاگف (Shagove) [۱۰] در سال ۱۹۹۶ از این روش در لیزر یاقوت استفاده کردند.

---

1. Radio frequency

در این پایان‌نامه روشی برای محاسبه و اثبات معادلات حاکم بر میدانها در محیط فعال لیزر $TEA - CO_2$ ارائه شده است. در این روش از معادلات اساسی ماکسول شروع کرده و با در نظر گرفتن نویز و لیزر پیوسته‌ی تزریقی از خارج معادلات به دست می‌آیند. مسئله برای لیزر تک مد در تقریب مرتبه‌ی اول حل شده است و معادلات به دست آمده با نوشتن برنامه‌ی کامپیوتری مناسب حل عددی و ترسیم شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که میدان بوجود آمده در اثر تزریق از خارج در شرایط خاصی دارای توان نسبتاً بیشتری از میدان نوسانی لیزر که از نویز به وجود آمده می‌باشد و در واقع می‌تواند اساس انتخاب مد باشد.

در فصل‌های بعدی ضمن بررسی مقدمات لازم نظیر شرایط خاص نوسان لیزر و الگوهای مشاهده شده برای مدها همچنین مطالعه‌ی طیف لیزر CO_2 به توضیح مفصل این فرمول‌بندی و نتایج حاصل از آن می‌پردازیم.

فصل دوم

ساختار مدهای مختلف یک لیزر

۲ـ۱ تشدید کننده‌های نوری

هدف از طراحی حفره‌ی لیزر این است که تابش تولید شده در محیط فعال حفره، به تکرار از درون این محیط عبور داده و در نتیجه بهره‌ی تولید شده در اثر گسیل القایی از اتلاف بیشتر شود. هندسه‌ی انتخابی برای حفره باعث ایجاد موج ایستاده، موج متحرک یا حتی هر دو باهم در آن می‌شود. به عنوان مثال درون حفره‌ی ساخته شده با آینه‌های تخت موازی یا کروی شامل موج ایستاده خواهد بود در حالی‌که اگر آینه‌های حفره از نوع گوشه مکعبی باشند موج متحرک ایجاد می‌شود.

در مدهای موج متحرک، بین مدهای امواج عبوری در مسیرهای یکسان ولی با جهتهای مختلف هیچ رابطه‌ای وجود ندارد، اما در موج ایستاده یک رابطه‌ی ثابت بین فازها و دامنه‌های امواج عبوری در مسیرهای یکسان ولی با جهت‌های مخالف وجود دارد.

یک مد را می‌توان به عنوان یک توزیع میدان که به طور همزمان با انتشار بین آینه‌ها، خودش را در یک توزیع فضایی با اختلاف در دامنه، باز تولید می‌کند تعریف کرد. دلیل اینکه دامنه در موج باز تولید شده با دامنه اولیه برابر نیست، وجود اتلاف در حفره به دلیل اثر پراش و انعکاس از سطح آینه‌هامی‌باشد، که امری قابل انتظار است. این اتلافهای غیرقابل پرهیز باعث می‌شوند که هر مد دارای یک طول عمر باشد که به صورت مدت زمان لازم برای آنکه دامنه موج به $\frac{1}{e}$ مقدار اولیه‌اش برسد، تعریف می‌شود.

مدهای موجود در حفره به دو دسته تقسیم می‌شوند: مدهای طولی و مدهای عرضی.

مدهای طولی بر اساس تعداد گره‌های موجود در امتداد محور حفره بین آینه‌ها و مدهای عرضی بر اساس تعداد گره‌های موجود در صفحه‌ی آینه یعنی صفحه‌ای عمود بر محور حفره تعریف می‌شوند. لازم به یادآوری است که نقاط گره نقاطی هستند که میدانها در آنجا دقیقاً خلاف هم بوده و لذا برآیند آنها در آنجا

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک