بسم الله الرحمن الرحيم

٣٣١.٠٤

۱۳۷۹ /۷/ ۲۵

دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده علوم

دانشکده علوم - بخش فیزیک

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
کمیته مدارک

پایان‌نامه به عنوان بخشی از شرایط احراز درجه کارشناسی‌ارشد فیزیک

تحت عنوان:

بررسی مدهای عرضی در لیزر $TEA - CO_2$

استاد نگارش :

محمد میرزایی

۱۰۱۹۹

استاد راهنما :

دکتر علیرضا بهرامپور

شهریور ۱۳۷۴

۳۳۱۰۴

بسمه تعالی

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد

به

بخش فیزیک

، دانشگاه شهید باهنر کرمان

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

امضاء

دانشجو : محمد سیرانی

استاد راهنما : علیرضا ابراهیمی نژاد

داور ۱ : محمد طبیانی

داور ۲ : احمد امجدی

داور ۳ : کهزاد بهزیزاده

داور ٤ : —

دانشگاه شهید باهنر
کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

حق چاپ محفوظ و متطق به مولف است

تقدیم به

پدر و مادر گرامی‌ام

سپاسگزاری

اکنون که به عنایت خداوند متعال اجرای این پروژه خاتمه یافته برخود لازم می‌دانم از همهٔ سرورانی که به نحوی در اجرای این مهم یاریم نموده‌اند صمیمانه سپاسگزاری نموده و برایشان آرزوی موفقیت کنم.

از آقای دکتر بهرامپور که همواره راهنما و هدایت‌گرم بوده‌اند.

از آقایان دکتر امجدی و دکتر طبیانی اعضاء هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف که زحمت داوری این پایان نامه را متحمل شدند.

از آقایان مهندس ایلاقی، نجیب‌زاده و شجاعی پرسنل کارگاه فیزیک که در ساخت قطعات یاریم دادند.

از آقای میرزا باقری که امکانات کارگاه الکترونیک را در اختیارم نهادند.

از مسئولین محترم جهاد دانشگاهی که به مدت یکسال منبع تغذیه ولتاژ بالا را در اختیارم گذاشتند.

از مسئولین محترم مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی که امکان استفاده از کتابخانه مرکز را برایم فراهم آوردند.

از خانم باقری که زحمت تایپ پایاننامه را متقبل شدند.

و از همه کسانی که به نحوی در این امر یاری رسانده و اسمی از آنها برده نشده صمیمانه سپاسگزارم.

میرزائی

شهریور ۷۴

چکیده:

در این پایان‌نامه طراحی یک لیزر پنج طبقه $TEACO_2$ و بررسی پایداری تخلیه الکتریکی در آن بطور تجربی بررسی شده است. سیستم پیش‌یونش از نوع تخلیه ناقص کرونا تولید شده از توری استفاده شده است. ضمناً با استفاده از یک لیزر TEA اثر فیلتر فضائی داخل حفره مورد بررسی تجربی و نظری قرار گرفته است.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : مقدمه	۰
۱ـ۱ لیزر	۲
۱ـ۲ لیزرهای گازی	۳
فصل دوم : فرآیندهای لیزری در CO_2	۴
۲ـ۲ گسیل برانگیخته	۷
۲ـ۳ بهره لیزر	۸
۲ـ۴ شکل خط	۱۰
۲ـ۵ تعریف و محاسبه بهره سیگنال کوچک	۱۰
۲ـ۶ مدل دمایی فرآیند لیزری	۱۰
۲ـ۷ برانگیختگی ارتعاشی تراز بالای لیزر	۱۰
۲ـ۸ پدیده‌های واهلش و دماهای ارتعاشی	۱۰
۲ـ۹ نقش هلیوم (He) و بخار آب (H_2O) در مخلوط لیزر	۱۰
فصل سوم : سیستمهای پالسی	۱۸
۳ـ۱ مفاهیم اصلی لیزر	۱۹
۳ـ۲ اصول بنیادی لیزر TEA	۵۲
۳ـ۳ انتقال انرژی الکترون و مشخصات $I-V$ مخلوط گاز	۶۹

عنوان	صفحه
۳ـ۴ سیستم پیش یونش uv دوتخلیه‌ای	۶۹
۳ـ۵ پروفیل الکترود میدان یکنواخت (الکترود چانگ)	۶۹
۳ـ۶ پیش یونش کرونای دی‌الکتریک	۶۹
فصل چهارم : ساخت لیزر	۷۵
۴ـ۱ محفظه اصلی	۷۶
۴ـ۲ سیستم تخلیه الکتریکی	۷۹
۴ـ۲ـ۱ طرز کار مدار الکتریکی	۲۰
۴ـ۲ـ۲ آتشگر	۲۰
۴ـ۲ـ۳ مدار فرمان	۲۰
۴ـ۳ الکترودها	۸۴
۴ـ۴ خازنها	۹۰
۴ـ۵ سیستم گازرسانی	۹۰
فصل پنجم : اندازه‌گیری انرژی خروجی و تحلیل نتایج	۴
۵ـ۱ تحقیق وابستگی قدرت خروجی به فشار گاز	۹۰
۵ـ۲ تحقیق وابستگی قدرت خروجی به قطر روزنه خروجی	۹۰
مراجع	۹۲
ضمائم	۹۹
پیوست ۱ : نقشه‌ها و نمودارها	۱۰۰
پیوست ۲ : جداول	۱۰۰

فصل اول

مقدمه

۱ـ۱ لیزر

لیزر دستگاهی است که نور را توسط نشر برانگیخته تابش تقویت می‌کند. در عمل، معمولاً از لیزر به عنوان منبع یا مولد تابش استفاده می‌شود. چنین *مولدی با اضافه کردن یک مکانیزم فیدبک*[1] *متشکل از دو آینه، به یک محیط فعال بدست می‌آید.* مسئله اساسی در ساخت چنین دستگاهی، تولید ماده‌ای است که دارای ضریب تقویت کافی باشد، تا بهره حاصل افت اجتناب ناپذیر دستگاه را جبران کند و قدرتی اضافی نیز بدست آید.

محیط فعال لیزر ممکن است جامد، مایع یا گاز باشد که لیزرهای مختلفی را بدست می‌دهد، مثل لیزر حالت جامد یاقوت، لیزر نیمه هدی کالیوم ارسنایید، لیزر رنگ و لیزرهای گازی که در این پایان نامه یک نوع لیزر گازی طراحی و ساخته می‌شود.

۱ـ۲ لیزر گازی

بررسی کیفی جذب تابش نوری در گازها

در گازها مانند جامدات نشر برانگیخته تابش فقط تحت شرایطی از قبیل تراکم اتم معکوس، کاهش دما، حالت جذب منفی یا دمای منفی ایجاد می‌شود. این وضعیت نامتعادلی است که توسط یک زوج تراز انرژی که در آن تراز بالایی تراکم اتم بیشتری از تراز پایینی دارد، مشخص می‌شود. بحث خود را با بررسی پدیده‌هایی که در گازها رخ می‌دهند و در رابطه با جذب منفی مطرح هستند، ادامه می‌دهیم.

پدیده‌های فیزیکی که در گازها رخ می‌دهند، بسیار پیچیده هستند و نوسانات لیزری فقط زمانی بدست می‌آیند که این پدیده‌ها به شکل حساب شده‌ای اندرکنش کنند و تراکم اتم معکوس بوجود آورند. ساختن لیزر گازی نیاز به داشتن اطلاعات در نور شناسی و فن خلاء دارد. اما مشکلترین مسئله یافتن بهترین گذار بین ترازهای انرژی گاز که برای تولید نوسانات لیزری قابل استفاده باشد، و نیز پیدا کردن بهترین شرایط

---

[1] Feed back

تحریک این نوسانات است.

خوشبختانه بیناب نمایی در مورد گازها ساده‌تر از جامدات است. نمودارهای ترازهای انرژی اتمها در گازها، از نمودارهای ترازهای انرژی در مورد اتمهایی که در یک شبکه بلوری قرار دارند، ساده‌ترند. قواعد گزینش عموماً در اینجا نیز رعایت می‌شوند، گذارهای غیر تابشی در گازها کمیابتر از جامدات هستند و اگر وجود داشته باشند، حاکی از انتقال انرژی در اثر برخورد می‌باشند. البته عدم وجود نوارهای جذبی ایجاد شرایط جذب منفی را مشکل می‌کند، یعنی نمی‌توان با یک جسم سیاه معمولی بعنوان منبع تحریک نوری سیستم را برانگیخته کرد. زیرا جذب در گاز فقط روی خطوط بینابی مجزا صورت می‌گیرد. بنابراین حصول یک تحریک شدید نوری در گاز مشکل است، چون برای این کار چشمه‌ای لازم است که خطوط بینابی نشری آن بر خطوط بینابی جذبی گاز منطبق باشد.

خوشبختانه برای تحریک گاز طرق دیگری نیز وجود دارد، در صورتی که در مورد جامدات چنین نیست، تحریک *بوسیله بمباران الکترونی و انتقال تحریک بین اتمهایی که با هم برخورد می‌کنند*. بدیهی است که نه تنها فرآیندهای تحریک (افزایش انرژی) بلکه فرآیندهای تحریک‌زدایی (کاهش انرژی اتم تحریک شده) را نیز باید مورد مطالعه قرار داد، زیرا خارج کردن الکترونها از تراز نهایی در انجام چرخه فلورسانس اهمیت دارد.

هرگاه اتمهایی که به یکی از دو روش تحریک شده‌اند به ترازهای انرژی پایین‌تر ریزش[۲] کنند، حالت نامتعادل پایداری ایجاد خواهد شد که در آن تراکم اتم حالتهای مختلف انرژی ثابت می‌ماند. این حالت پایدار وقتی بوجود می‌آید که در واحد زمان، تعداد اتمهایی که به یک حالت انرژی می‌رسند (به تمام روشهای ممکن) برابر تعداد اتمهایی باشند که از آن خارج می‌شوند. تعداد اتمها در هر حالت طوری تنظیم می‌شوند که تعادل ایجاد شود. حالتهایی که سرعت فرار از آنها کم است از تعداد زیادی اتم انباشته می‌شوند. انباشتگی بویژه در حالتهای پایدار اتفاق می‌افتد، اینها حالتهایی هستند که انرژی آنها بیشتر از انرژی حالت پایدار

[۲] disexitation

است ولی گذار تابشی آنها به ترازهای انرژی کمتر توسط قواعد گزینش مکانیک کوانتومی غیر مجاز شناخته شده‌اند.

ایجاد تراکم اتمی معکوس وابسته است به آهنگ تحریک و آهنگ تخلیه ترازهایی که از در فرآیند ریزش شرکت دارند. یک تراز انرژی می‌تواند به روشهای گوناگون تخلیه شود. فرآیند تابشی، برخورد با الکترونها، برخورد با اتمهای تشکیل دهنده جداره ظرف گاز، علاوه بر این باید امکان محبوس شدن تابش بوسیله تشدید (یعنی تحریک اتم به یک حالت اشغال شده در نتیجه تابش نشر شده توسط اتم دیگری از گاز) را نیز مورد توجه قرار داد. این پدیده بستگی زیادی به فشار گاز و ساختمان هندسی دارد و آهنگ کلی ریزش مجدد اتمها به طرف پایدار را کم می‌کند.

تحریک بوسیله برخورد الکترونی را می‌توان به طریقی بسیار ساده توسط تخلیه الکتریکی انجام داد. هنگامی که در یک گاز تخلیه الکترونی انجام می‌شود، یونها و الکترونهای آزاد تشکیل می‌شوند. این حاملهای بار توسط میدانی که ایجاد تخلیه می‌کند شتاب می‌گیرند و انرژی جنبشی بدست می‌آورند. حرکت یونها تأثیر چندانی ندارد ولی الکترونها عامل عمده کسب انرژی از منبع نیرو و توزیع آن در برخورد با اتمها هستند. در یک تخلیه پایدار این توزیع در مدت کمتر از یک هزارم ثانیه به حالت پایدار می‌رسد. این توزیع از نوع توزیع ماکسول-بولتزمان است که با دمای Te، متناسب با انرژی جنبشی متوسط الکترونها، مشخص می‌شود.

ممکن است بین الکترونها و اتمها برخوردهای غیر الاستیک، که در آنها اتمها انرژی کسب می‌کنند یا از دست می‌دهند، انجام شوند. ولی این مبادله انرژی فقط در محدودهٔ ترازهای مجاز انرژی صورت می‌گیرد. اگر فرآیندهای دیگری وجود نداشته باشند این برخوردها باعث می‌شوند که اتمها بین ترازهای انرژی، طبق قانون بولتزمان در دمای Te، توزیع شوند. در اینصورت N_i تبدیل به $N_1 e^{-\frac{E_i}{kT_e}}$ می‌شود.

در حقیقت تعداد اتمهای تحریک شده در حالت i، به دو علت خیلی کمتر است

۱ - در نتیجه برخوردهای اتمی، مقداری از انرژی تحریک به انرژی جنبشی تبدیل خواهد شد، این فرآیند

اتمها را به توزیعی مناسب در دمای کمتر از T_1 می‌کشاند.

۲ ـ انتشار تابشی صورت می‌گیرد و در نتیجه، اتمها از حالت با انرژی زیاد به حالتهایی با انرژی کمتر منتقل می‌شوند. معمولاً این فرآیند اهمیت بیشتری دارد زیرا احتمال انجام شدن این گذارها بیشتر است.

وقتی تخلیه در چند گاز صورت می‌گیرد، ممکن است بین اتمهای مختلفی که با یکدیگر برخورد می‌کنند و دارای دو تراز انرژی نزدیک به هم هستند مبادله تحریک انجام گیرد. احتمال چنین معادله‌ای متناسب است با $e^{-\frac{\Delta}{kT}}$ که در آن Δ اختلاف انرژی بین ترازهای مربوطه و T درجه حرارت گاز است. این فرآیند تبادل، انتقال انرژی توسط تشدید[۳]، نامیده می‌شود. این گذار مخصوصاً وقتی جالب است که گذار بین تراز نیمه پایداری از یک نوع اتم با تراز عادی اتم نوع دیگر صورت گیرد. اتم نوع دوم راهی برای فرار از تراز نیمه پایدار شلوغ پیدا می‌کند. همچنین انتقال تحریک به اتمهای نوع دوم ممکن است تغییر شکلی در توزیع آنها دهد که تراکم اتم معکوس ایجاد شود.

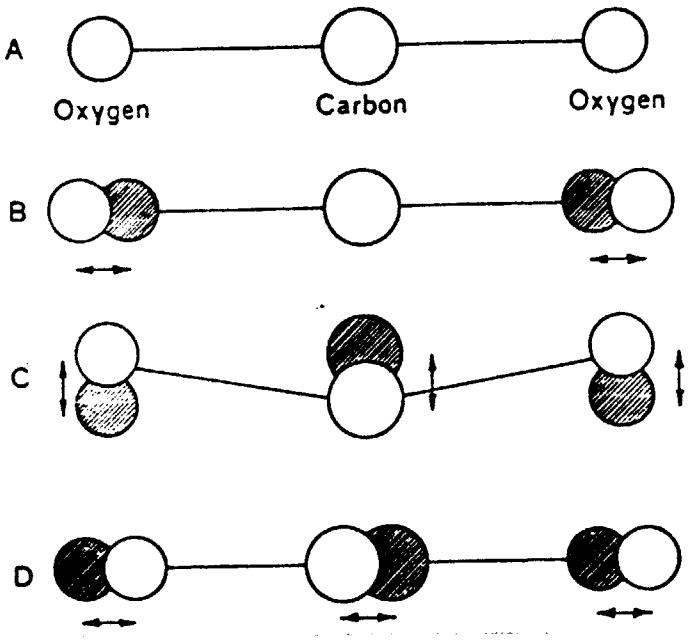
بوسیله تحریک الکترونی می‌توان تراکم اتمی یک گاز خالص را معکوس کرد ولی بهره‌برداری از پدیده انتقال انرژی بین دو گاز راه موفقیت را هموارتر می‌کند. به عنوان مثال برای تسهیل ایجاد وارونی جمعیت در گاز نئون می‌توان از گاز هلیوم استفاده کرد. فرآیند مشابهی می‌تواند در بین اتمهای تحریک شده و مولکولهای دو اتم یا چند اتم رخ دهد و وارونی جمعیت را در یکی از مولکولها ایجاد کند. چنین فرآیندی پدیده لیزر را در اکسیژن، ازت، اکسید کربن، گوگرد بوجود می‌آورد. اتمهای هلیوم، نئون یا آرگون به عنوان حاملهای انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این اتمها توسط تخلیه الکتریکی تحریک می‌شوند.

برای ایجاد فرآیند لیزر لازم نیست که حتماً گذار بین ترازهای یک اتم رخ دهد. بلکه در مولکولها ترازهای چرخشی و ارتعاشی گوناگونی وجود دارد که گذار بین این ترازها می‌تواند در شرایطی خاص منجر به نوسان لیزری شود. به عنوان مثال یک مولکول CO_2 یک مولکول خطی است که از یک اتم کربن در وسط

---

[۳] resonant transfer of energy

و دو اتم اکسیژن در دو طرف تشکیل شده. اتمها می‌توانند در مولکول ارتعاش کرده و مدهای ارتعاشی را بوجود آورند. همچنین مولکول می‌تواند حول محورهای گوناگون چرخیده و حالتهای چرخشی ایجاد کند. در اینجا مدهای نرمال ارتعاشی مولکول CO_2 را نمایش می‌دهیم.



CO_2 تحریک نشده

۳ مد تحریک شده

۱ـ۳ لیزر CO_2

لیزر CO_2 همانند هر لیزر گازی دیگری توان الکتریکی را مصرف نموده و تابش لیزری با توان کمتر و با طول موج حدود ۱۰ میکرون را ارائه می‌دهد. اختلاف بین توان ورودی و خروجی بصورت گرمای زائد به محیط داده می‌شود و باعث گرم شدن محیط فعال می‌شود. برای بالا بردن توان خروجی باید توان ورودی را افزایش داد اما محدودیتهای تکنیکی و فیزیکی انرژی ورودی را محدود می‌کند. در حقیقت نحوه خنک کردن لیزر نوع آن را مشخص می‌کند. به عنوان مثال می‌توان از سیستمهای پیوسته CW[۴]، سیستمهای پرتوان

[۴] continuous-wave systems

جریان سریع[۵] و سیستمهای پالسی[۶] را نام برد.

لیزر CO_2 از طریق مبادله انرژی بین ترازهای پایین انرژی چرخشی-ارتعاشی در مولکول CO_2 عمل می‌کند. مولکولهایی که در حالتهای انرژی بالاتر قرار دارند توسط میدان تابشی به مد ارتعاشی در حالت انرژی کمتر منتقل می‌شوند. اختلاف انرژی این حالات بصورت تابش مادون قرمز گسیل می‌شود. تحریک مولکول CO_2 *به تراز بالاتر توسط تخلیه الکتریکی و یا توسط انتقال تشدیدی فرمی توسط نیتروژن که بصورت ارتعاشی تحریک شده صورت می‌گیرد.* و در هر دو مورد انرژی ورودی باید بیشتر و یا برابر انرژی تراز بالاتر باشد. حداکثر بهره قابل حصول با توجه به نمودار تراز انرژی ۳۸٪ است که البته این حد نظری است و در عمل قابل حصول نیست. بهره سیستمهایی که خوب طراحی شده‌اند حداکثر به ۲۰٪ می‌رسد.

فرآیند تابش لیزر در تمام لیزرهای CO_2 نسبت به دمای مولکولهای گاز در تخلیه محیط فعال وابسته است که این خود یک محدودیت به حساب می‌آید.

با دادن انرژی بیشتر به گاز دمای گاز همراه با آن جمعیت تراز پایین‌تر افزایش می‌یابد در نتیجه وارونی جمعیت کاهش یافته و توان بیشتری تلف خواهد شد. در عمل ملاحظه می‌شود که با افزایش انرژی ورودی در ابتدا توان خروجی زیاد می‌شود و در یک مرحله معین به ماکزیمم رسیده و سپس وقتی دما به حدود ۱۵۰° می‌رسد شروع به کاهش می‌کند.

با توجه به این محدودیتها می‌توان توان خروجی یک لیزر را تخمین زد، این توان به روش خارج کردن گرمای زائد بستگی دارد. سه راه برای این منظور وجود دارد. ساده‌ترین روش استفاده از رسانایی گرمایی گاز که گرما را به دیواره‌های سرد متصل می‌کند، است. این روش در لیزرهای پیوسته با توان خروجی کمتر از ۱۰۰ وات بکار می‌رود. دومین راه خنک کردن، خارج کردن گاز از محیط است. این روش در لیزرهای جریان سریع که در گستره چندین کیلو وات توان خروجی کار می‌کنند بکار می‌رود. سومین روش استفاده

---

[۵] Fast-Flow systems

[۶] Pulsed system