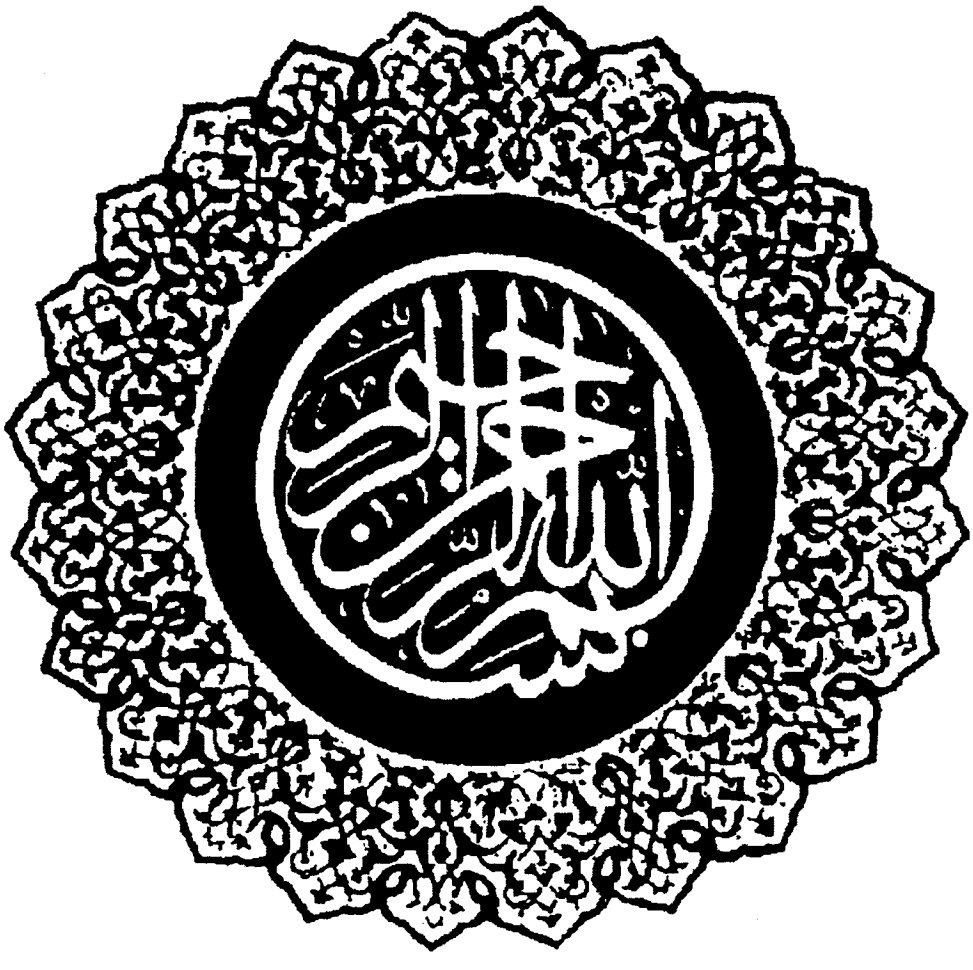


١٤٧٩١٨

دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

دانشکده علوم

« پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد فیزیک »

موضوع:

طراحی و ساخت یک دستگاه لیزر $T.E.A-CO_2$ با آهنگ تکرار بالا

استاد راهنما:

دکتر علیرضا بهرامپور

استاد مشاور:

دکتر حسن رنجبر عسکری

۱۳۸۹/۹/۱۴

مؤلف:

حمیدرضا محمدی

۱۳۸۴

ب

۱۴۷۳۱۸

بسمه تعالی

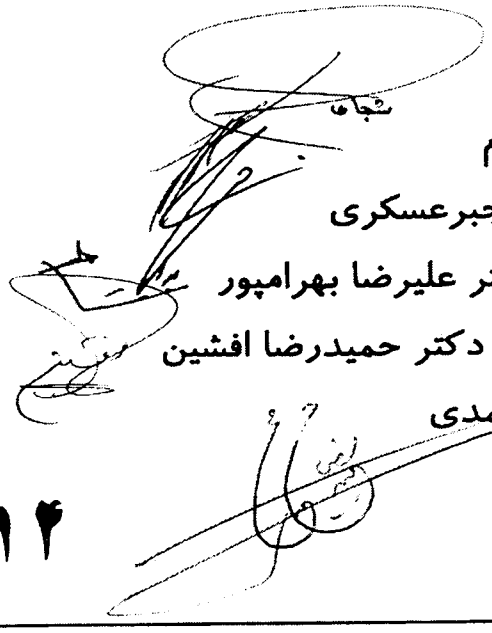
این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه فیزیک

دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره‌ی مزبور شناخته نمی‌شود



داور ۱ : دکتر محمد شجاعی

داور ۲ : دکتر رضا فرهی‌مقدم

استاد مشاور : دکتر حسن رنجبرعسکری

استاد راهنمای پایان‌نامه : دکتر علیرضا بهرامپور

نماینده‌ی تحصیلات تکمیلی : دکتر حمیدرضا افشین

دانشجو : آقای حمیدرضا محمدی

۱۳۸۹/۹/ ۱۴

حق چاپ محفوظ و مخصوص به مولف است .

تقدیم به:

پدر، مادر و همسر

دلسوز،مهربان و فداکارم.

تشکر و قدردانی:

با تشکر از جناب آقای دکتر بهرامپور که راهنمایی اینجانب را عهده‌دار بودند و همچنین با تشکر از جناب آقای دکتر رنجبر عسکری که با کمک‌های بی‌دریغشان مرا در این امر یاری رساندند. و با سپاس از آقایان دکتر فرهی‌مقدم و دکتر شجاعی که داوری این رساله را برعهده داشتند. و تشکر و قدردانی مخصوص از آقای علیرضا شمسی و نیز آقایان امین صالحی، مهدی دهقانی، علی حدادی، محمدلاو لطفی، حسین بهداد، محمدباقر ملک‌حسینی که مرا در نیل به این هدف یاری‌نمودند.

فهرست مطالب **شماره‌ی صفحه**

فصل ۱ مقدمه ۲

فصل ۲ لیزر مولکولی CO_2

۲-۱ ترازهای انرژی مولکول CO_2 ۷

۲-۲ ترازهای انرژی در لیزر CO_2 و سازوکار لیزردهی این لیزر ۸

فصل ۳ تخلیه‌ی گازی

۳-۱-سازوکارهای تخلیه‌ی الکتریکی گاز در فشارهای بالا ۱۹

۳-۱-۱-سازوکار فروشکست تاونزند ۲۰

۳-۱-۲-سازوکار فروشکست جویباری ۲۱

-مراحل فروشکست جویباری ۲۲

-معیار فروشکست جویباری ۲۴

۳-۲-شرایط تشکیل و پایداری تخلیه‌ی تابان حجمی توزیع‌شده‌ی یکنواخت در فشارهای بالا ۲۵

۳-۳- انواع روش‌های ایجاد پیش‌یونش درگاز ۳۰

۳-۳-۱-پیش یونش توسط اشعه‌ی U.V ۳۱

۳-۳-۱-۱-سازوکارهای یونیزاسیون نوری در ترکیب گاز ۳۲

۳-۳-۱-۲-قدرت جذب U.V در ترکیب گازهای مختلف ۳۳

۳-۳-۱-۳-پیش‌یونش توسط گاف جرقه‌زن ۳۳

-نقش خازن سریع‌ساز در ایجاد تخلیه‌ی یکنواخت ۳۵

۳-۳-۴-۱-پیش‌یونش کرنا ۳۶

۳-۳-۵-۱-پیش‌یونش کرنای عایق ۳۷

۳-۳-۲-روش پرکردن ابتدایی گاف تخلیه با شار الکترونی ناشی ازپلاسمای تخلیه کمکی

(کاتد پلاسما) ۴۱

۳-۳-۲-۱-مدل ایستائی یک بعدی ۴۲

۳-۳-۲-۲- مشخصات مدار الکتریکی ۴۵

۳-۳-۲-۳-مدل‌بندی انتشار شار الکترونی و تخلیه الکتریکی ۴۷

۳-۳-۲-۴- اثر اضافه‌کردن مواد آلی سریعاً یونیزه‌شونده ۵۰

فهرست مطالب **شماره‌ی صفحه**

۳-۳-۲-۵-مزایا و کاربردهای این روش ۵۱

۳-۴- برانگیزش تراز لیزر ۵۳

فصل چهارم لیزرهای $T.E.A-CO_2$ با آهنگ تکرار بالا

۴-۱- عوامل محدودکننده‌ی آهنگ تکرار در لیزرهای H.R.R ۵۸

۴-۱-۱- ناپایداری‌های پلاسمای تخلیه ۵۸

-ناپایداری یونیزاسیون ناشی از داغ شدن گاز ۵۹

-ناپایداری ناشی از وجود مولکول‌های برانگیخته ارتعاشی ۶۰

۴-۱-۲- اثر اختلال در چگالی گاز ۶۱

۴-۱-۲-۱- منابع ایجاد اختلال درگاز و تأثیر آنها بر آهنگ تکرار و انرژی قابل تزریق به محیط ۶۳

-انبساط گاز گرم‌شده ۶۴

-گرم‌شدن گاز توسط موج‌های ضربه ۶۴

-اثرات صوتی ۶۴

-ناپایداری گرمایی- صوتی ۶۵

-اثر لایه‌های مرزی ۶۵

۴-۱-۲-۲- اثر اختلالات ناشی از دینامیک گاز برکیفیت پرتوی خروجی لیزر ۶۵

۴-۲- ایجاد آهنگ تکراربالا ۶۶

۴-۳- مشخصات لیزرهای H.R.R ۶۷

۴-۳-۱- بازده‌ی لیزرهای H.R.R ۶۹

۴-۴-دمش اپتیکی لیزرهای CF_4 و NH_3 ۷۰

فصل پنجم طراحی، ساخت و بهینه سازی یک لیزر $H.R.R-T.E.A-CO_2$

۵-۱-طراحی مناسب ۷۷

۵-۱-۱- طراحی بدنه‌ی لیزر ۷۹

۵-۱-۲-طراحی الکترودها ۸۰

۵-۱-۳-پنجره‌ها ۸۰

۵-۲-انتخاب و تهیه‌ی مواد خام لازم ۸۰

فهرست مطالب | شماره‌ی صفحه

۵-۳-اجرای طرح روی مواد خام و تولید قطعات ۸۳
۵-۴-مونتاژ قطعات و تکمیل ساخت دستگاه لیزر ۸۴
۵-۵-نصب و راه اندازی دستگاه لیزر ۸۵
۵-۵-۱-نصب و راه اندازی سیستم گازرسانی و گردش گاز وسایل جانبی مورد نیاز ۸۶
۵-۵-۲-نصب و راه اندازی سیستم خنک‌کننده و وسایل جانبی موردنیاز آن ۸۷
۵-۵-۳-طراحی مدار الکتریکی و نصب آن ۸۷
۵-۵-۳-۱-مشخصات مدار الکتریکی ۸۷
۵-۵-۳-۲-طراحی و ساخت گاف جرقه‌ی چرخنده R.S.G ۸۸
۵-۵-۳-۲-۱- طراحی مناسب ۸۹
۵-۵-۳-۲-۲- تهیه‌ی مواد خام و وسایل جانبی مورد نیاز ۹۱
۵-۵-۳-۲-۳- اجرای طرح روی مواد خام و تولید قطعات ۹۲
۵-۵-۳-۲-۴- مونتاژنمودن قطعات و تکمیل دستگاه R.S.G ۹۲
۵-۵-۳-۲-۵- راه اندازی دستگاه R.S.G ۹۳
۵-۵-۳-۳-پیاده سازی مدار الکتریکی ۹۳
۵-۵-۴-بستن آینه‌ها و تنظیم آنها ۹۴
۵-۵-۵-روشن‌کردن لیزر و نتایج حاصل از آن ۹۵
۵-۶-بهینه‌سازی دستگاه لیزر و یافتن پارامترهای بهینه ۹۷
۵-۶-۱-بهینه‌سازی مدار الکتریکی ۹۷
۵-۶-۱-۱- تعیین مقادیر بهینه C_M و C_p ۹۸
۶-۵-۲-۱- تعیین تجربی مقادیر بهینه R و R^* ۹۹
۵-۶-۲-تعیین مقدار بهینه فشار و بهترین ترکیب گاز ۹۹
۵-۶-۳-بهینه‌سازی حفره ۱۰۰
۵-۶-۴- دستیابی به آهنگ تکرار بالاتر ۱۰۰
۵-۶-۴-۱-بهینه‌سازی سیستم خنک‌کننده‌ی گاز ۱۰۱
۵-۶-۴-۲- بهینه‌سازی سیستم چرخاننده گاز بصورت عرضی ۱۰۱

فهرست مطالب **شماره‌ی صفحه**

۵-۶-۴-۳-استفاده از لیزرهای چند طبقه جهت دستیابی به آهنگ تکرار بالاتر ۱۰۱

-ساخت و راه اندازی یک لیزر دو طبقه ۱۰۲

فصل ششم نتیجه‌گیری ۱۰۴

پیوست الف ۱۰۹

پیوست ب ۱۱۶

پیوست ج ۱۲۲

مراجع ۱۲۷

فصل اول

مقدمه

بی‌شک لیزر CO_2 یکی از پرکاربردترین لیـزرها به‌شمارمی‌آید. از ابتدای کشف این لیزر در سال ۱۹۶۱میلادی [۱] تاکنون ساختمان این لیزر دست‌خوش تغییرات زیادی شده و روزبه‌روز به انواع وکاربردهای این لیزر- در زمینه‌های تحقیقاتی، صنعتی و تسلیحات نظامی و هسته‌ای - افزوده‌می‌شود. امروز که بیش از ۴۴ سال از کشف این لیزر می‌گذرد، این لیزرها جزء جداناپذیری از صنعت و تسلیحات و همچنین پروژه‌های تحقیقاتی به‌حساب‌می‌آیند. بازده و بهره‌ی بالا و همچنین توان خروجی فوق‌العاده زیاد، لیـزرهای گـازکربنیک را از لیـزرهای دیگر متمایزمی‌نماید.

لیزرهای CO_2 غالباً به‌صورت الکتریکی دمیده‌می‌شوند[۱]، یعنی عمل دمش و ایجاد وارونی جمعیت در این نوع لیزرها در پلاسمای تخلیه الکتریکی صـورت‌می‌گیرد. تقریباً در تمام لیزرهای گازکربنیک، گاز CO_2 به‌همراه گازهایی از قبیل‌نیتروژن (N_2) و هلیم (He) (به نسبت فشارهای متفاوت)، استفاده‌می‌شود. این گازها نقش به‌سزایی در ایجاد وارونی جمعیت و عمل لیزدهی، ایفامی‌کنند. لیزرهای گازکربنیک را می‌توان از لحاظ نوع خروجی به سه دسته تقسیم نمود:

۱)لیزرهای موج‌پیوسته[۲] ۲)لیزرهای ضربه‌ای[۳] ۳)لیزرهای ضربه‌ای با آهنگ تکرار بالا[۴]

لیزرهای موج‌پیوسته، جهت تحریک گاز از یک تخلیه D.C در فشارگاز پایین بهره‌می‌جویند. این نوع لیزرها دارای توان خروجی میانگین بالایی، در بازه‌های بلند زمانی، می‌باشند. لیزرهایی از این نوع و با جریان طولی و آرام گاز قادر به ایجاد توان‌های خروجی ۵۰ تا ۵۰۰ وات می‌باشند. لیزرهای ۵۰ تا ۱۰۰ وات برای جراحی با لیزر مورد استفاده قرارمی‌گیرند و توان‌های تا ۵۰۰ وات برای کارهایی نظیر حکاکی روی سرامیک، برش مواد غیرفلزی، افزایش مقاومت وجوشکاری فلزات باضخامت حدود چند میلی‌متر استفاده می‌شود.

لیزرهای موج‌پیوسته با **محفظه بسته**[۵] قادر به تولید توان‌های خروجی حدودm W/ ۶۰ می‌باشند، لیزرهایی از این نوع با طول بسیار کوتاه (توان خروجی درحدود یک وات) و درنتیجه تک مد، غالباً در **آشکارسازهای اپتیـکی هتـــرودین**[۶]، بـه‌عنـوان نوسانگرهای موضعی استفاده‌می‌شوند. لیزرهای محفظه بسته CO_2 با توان حدود ۱۰ وات برای جراحی میکرونی با لیزر مورد توجه هستند. علت محدودشدن توان خروجی در این نوع لیزرها اثرات گرمایی

۱-در لیزرهای دینامیک گازی (G.D.L) عمل دمش و ایجاد وارونی جمعیت توسط تخلیه الکتریکی صورت‌نمی‌گیرد، بلکه با انبساط مخلوط گازی (شامل CO_2)، که ابتدا آنرا تا دمای بالایی حرارت‌داده‌اند، صورت‌می‌گیرد.

۲-Continuous Wave(C.W)
۳-pulsed laser systems
۴-high repetition rate pulsed laser systems
۵-sealed off-CO_2 lasers
۶-optical Heterodyne detectors

است. بنابراین به‌منظور دستیابی به توان‌های بالاتر از **لیزرهای با جریان سریع گاز**[۱] استفاده‌می‌نمایند. به‌منظور افزایش سرعت خروج گاز از ناحیه تخلیه معمولاً جریان گاز را به‌صورت عرضی (نسبت به محور اپتیکی) عبورمی‌دهند. لیزرهای گازکربنیک از نوع **T.E**[۲] و با جریان سریع عرضی گاز قادر به ایجاد توان‌های خروجی بالا (در حدود kW ۱۵-۱) می‌باشند و در بسیاری از کارهای مربوط به فلزکاری از قبیل برش فلزات با ضخامت چند اینچ و جوشکاری و **سخت‌کاری سطوح**[۳] و همگدازی سطحی فلزات استفاده‌می‌شود.

برخلاف لیزرهای موج‌پیوسته، لیزرهای ضربه‌ای از یک تخلیه ضربه‌ای، در فشار گاز بالا (درحدود و یا بالاتر از اتمسفر)، جهت تحریک گاز بهره می‌جویند. برای اینکه ولتاژ برانگیزش درحد قابل قبولی باقی‌بماند، میدان الکتریکی را به‌صورت عرضی نسبت به محور اپتیکی لیزر اعمال‌می‌کنند. چنین لیزرهای تحریک‌شده‌ی عرضی که در فشار اتمسفر کارمی‌کنند؛ به لیزرهای **T.E.A**[۴] معروفند. اغلب برای جلوگیری از بروز قوس‌الکتریکی در هنگام تخلیه درگاز یک پیش‌یونش ایجادمی‌نمایند. با توجه به نوع **پیش‌یونش**[۵]، لیزرهای **$T.E.A-CO_2$** بسیار زیادی ساخته‌شده‌اند. از ویژگی‌های این لیزرها پهنای‌خط نسبتاً زیاد آنها است (~ ٤GHz). سازوکار پهنای خط در این لیزرها در اثر **پهن‌شدگی فشاری**[۶] می‌باشد. پهنای‌خط نسبتاً زیاد این لیزرها، آنها را در زمره‌ی یکی از پرکاربردترین لیـــزرها در زمینه طـیف‌سنجی و تشخیص مواد (LIDAR[۷]) قرارداده‌است. لیزرهای T.E.A قادر به ایجاد تپ‌هایی با توان قله بیشتر از TW ۱۰۰ و کل انرژی kJ ۱۰۰ هستند و بنابراین کاربردهای زیادی در زمینه تسلیحات نظامی و هسته‌ای دارند. در لیزرهای ضربه‌ای اگر بتوانیم تعداد ضربه‌ها را در ثانیه افزایش‌دهیم، توان میانگین خروجی - در بازه‌های بلند زمانی- بالا می‌رود. در این نوع لیزرها به‌منظور جلوگیری از اثرات گرمایی ناشی از آهنگ تکرار بالای ضربه‌ها از جریان سریع گاز -که اغلب به‌صورت عرضی است- استفاده‌می‌نمایند. لیزرهای T.E.A با آهنگ تکرار بالا، هم دارای مزایای لیزرهای موج‌پیوسته -یعنی توان میانگین بالا در بازه‌های بلند زمانی- و هم دارای مزیت‌های لیزرهای‌ضربه‌ای - یعنی توان قله بالا و همچنین کار در فشار بالا (که از یک‌سو امکان تنظیم پیوسته‌ی طول‌موج را روی گستره‌ی وسیعی از طول موج‌ها را فراهم‌می‌آورد و ازسوی دیگر ساختمان دستگاه لیزر را بسیار فشرده‌می‌سازد)- می‌باشند. از لحاظ کاربردی این نوع لیزرها نه‌تنها قادر به انجام کارهای نامبرده برای هریک از

۱-fast flow lasers
۲-Transversely Exited
۳- surface hardening
۴-Transversely Exited Atmospheric pressure
۵-pre-ionization
۶-pressure broadening
۷-LIght Detection And Ranging

لیزرهای موج‌پیوسته و ضربه‌ای می‌باشند، بلکه کاربردهای منحصربه‌فردی نیز دارند که بعداً به برخی از آنها اشاره خواهیم‌نمود.

موضوع این پایان نامه، «**ساخت و طراحی یک دستگاه لیزر $T.E.A-CO_2$ با آهنگ تکرار بالا**» می‌باشد. در فصل دوم، مرور مختصری بر سازوکار لیزردهی درلیزرهای CO_2 و نقش فشارهای جزئی N_2 و He، خواهیم‌داشت. سپس درفصل سوم، به‌شرح مختصری بر فرآیندها و سازوکارهای تخلیه‌گازی می‌پردازیم. این فصل شامل چهار بخش می‌باشد، در بخش اول سازوکارهای تخلیه در فشارهای بالا را مورد تجزیه و تحلیل قرارمی‌دهیم و سپس در بخش دوم ، شرایط ایجاد یک **تخلیه تابان حجمی یکنواخت خودنگهدار**[1] را مورد بررسی قرارمی‌دهیم.

لازم به‌ذکر است، ایجاد چنین تخلیه‌ای به‌منظور تحریک و دمش یکنواخت گاز لازم و ضروری می‌باشد. همچنین در این بخش اثر تعداد الکترون‌های اولیه را بر یکنواختی تخلیه بررسی‌می‌نمائیم. در تخلیه‌های خودنگهدار، الکترون‌های اولیه توسط ایجاد پیش‌یونش در گاز تأمین‌می‌شوند. در بخش سوم، به برخی روش‌های ایجاد پیش‌یونش در گاز (پیش‌یونش U.V و کاتد پلاسما) خواهیم‌پرداخت و نهایتاً در بخش چهارم، برانگیزش تراز بالایی لیزر را مورد بررسی قرارخواهیم‌داد.

«لیزرهای $T.E.A-CO_2$ با آهنگ تکرار بالا» عنوان فصل چهارم این پایان نامه می‌باشد. در این فصل به مشکلات ایجاد آهنگ تکرار بالا (ناشی از ناپایداری‌های تخلیه و اختلال در گاز هم به‌علت تخلیه و هم به‌علت جریان سریع گاز) و نحوه‌ی غلبه برآنها و همچنین به شرح مشخصات کلی لیزرهایی از این نوع پرداخته‌شده‌است.

در فصل پنجم، اصول طراحی و ساخت یک لیزر $T.E.A-CO_2$ با آهنگ تکرار بالا آورده‌شده‌است. مراحل طراحی، ساخت، راه‌اندازی و بهینه‌سازی این لیزر مرحله به مرحله شرح داده‌شده و یک الگوریتم کار مناسب، بدین منظور ارائه شده‌است. پیش‌یونش این نوع لیزر از نوع کرنای عایق تشکیل‌شده روی یک **فیبر مدار چاپی**[2] دوطرف مس می‌باشد. الکترودها شامل یک کاتد مسی با **الگوی روگوفسکی**[3] و یک آند متشکل از یک فیبر مدار چاپی می‌باشند. مدار الکتریکی توسط یک دستگاه **گاف جرقه‌زن چرخان**[4] با آهنگ تکرار بالا شلیک‌می‌شود. بدین منظور مراحل طراحی، ساخت و راه‌اندازی یک دستگاه R.S.G مرحله به مرحله و به‌صورت الگوریتم‌وار آورده‌شده‌است. و سپس پیشنهادهایی جهت بهینه‌سازی لیزر ساخته‌شده آورده‌شده‌است. در پایان، جهت دستیابی به آهنگ تکرار بالاتر

۱-self-sustained homogeneous volumetric glow discharge
۲-Printed Circuit Board(P.C.B)
۳-Rogowsky profile
۴-Rotating Spark Gap(R.S.G)

مراحل ساخت یک لیزر دو طبقه آورده‌شده‌است. نتیجه کار در فصل ششم جمع‌آوری‌شده‌است. نقشه‌ها و طرح‌های مربوط به دستگاه‌های لیزر یک طبقه و دو طبقه و دستگاه R.S.G به‌ترتیب درپیوست‌های (الف) ، (ب) و (ج) نمایش‌داده‌شده‌اند. قابل ذکر است این طرح‌ها توسط نرم‌افزار طراحی اتوکد[1] (نسخه‌های ۲۰۰۲ - ۲۰۰۴) تهیه‌شده‌اند.

۱-Auto CAD

فصل دوم

لیزر مولکولی CO_2

لیزر CO_2 یکی از جالب‌ترین و مؤثرترین لیزرها به‌شمارمی‌آید و به‌اعتبار این مشخصه‌ها یکی از پرکاربردترین لیزرهایی است که تا امروز کشف‌شده و بیشترین مطالعات درباره‌ی آن انجام‌گرفته‌است. در حالی‌که اکثر لیزرهای گازی دارای بازدهی‌حدود دهم درصد هستند، بازده اندازه‌گیری‌شده برای لیزر CO_2 چند ده درصد است. یک لیزر کوچک از این نوع می‌تواند ده‌ها وات توان تولیدکند و همچنین با استفاده از زنجیره‌ای از نوسانگرهای اصلی تقویت‌کننده توان (MOPA)[1] می‌توان به یک توان ضربه‌ای به‌بزرگی تراوات دست‌یافت، و نیز می‌توان با لیزرهایی از این نوع در مد پیوسته (C.W) به توانی در حدود کیلووات دست‌یافت.

غالبا یک دستگاه لیزر CO_2، متشکل از محفظه‌ای از گازهای CO_2 و N_2 و He است و توسط اعمال یک میدان الکتریکی قوی روی آن تحریک‌می‌شود. در این فصل به توضیح سازوکار لیزردهی این لیزر و نقش گازهای N_2 و He می‌پردازیم.[۶- ۱]

۲-۱ ترازهای انرژی مولکول CO_2

لیزر CO_2 از دسته لیزرهای گازی مولکولی می‌باشد. بنابراین لازم‌است ترازهای انرژی یک مولکول را بشناسیم؛ عموماً انرژی کل یک مولکول مجموع چهار نوع انرژی است: (الف) انرژی الکترونیکی (E_e)، ناشی از حرکت الکترون‌ها به‌دورهسته‌ها: (ب) انـرژی ارتعاشی (E_v)، ناشی از حرکت (ارتعاشـات) هسته‌ها (ج) انرژی چرخشی (E_r)، ناشی از حرکت چرخشی مولکول و (د) انرژی انتقالی. چون انرژی انتقالی معمولاً کوانتیده نیست آن را بررسی‌نخواهیم‌کرد. ولی، انواع دیگر انرژی کوانتیزه هستند. با یک بررسی اجمالی می‌توان نشان‌داد [۵] که فاصله‌ی ترازهای چرخشی درحدود یک‌صدم فاصله‌ی ترازهای ارتعاشی است. فاصله‌ی بین ترازهای ارتعاشی هم در حدود یک‌صدم فاصله ترازهای الکترونی است. با در نظرگرفتن این ارقام مشاهده‌می‌کنیم که مرتبه‌ی بزرگـی فرکانس ارتعاشی $\nu_v = \frac{\Delta E_v}{h}$ درحدود $۱۰۰۰\ cm^{-1}$ ($\nu_v \sim ۳\times۱۰^{۱۳} Hz$) است.

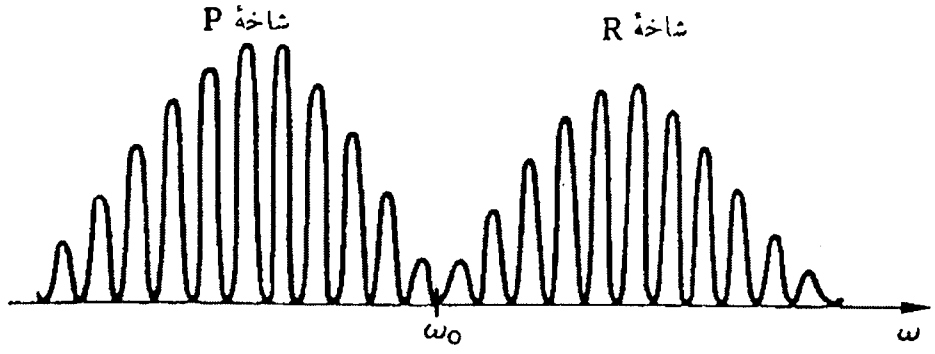
۱-Master Oscillator Power Amplifier

بنابراین هر تراز ارتعاشی در واقع نماینده‌ی تمامی مجموعه ترازهای چرخشی نزدیک به‌هم است. اگر این موضوع را به‌حساب‌بیاوریم. می‌بینیم که جذب و نشر بین یک تراز چرخشی از حالت ارتعاشی پائین‌تر $v=0$ و یک تراز چرخشی حالت ارتعاشی بالاتر $v=1$ صورت‌می‌گیرد [۶-۳]. برای مولکول‌های دو اتمی یا مولکوهای سه اتمی خطی(مانند CO_2) قوانین انتخاب معمولاً ایجاب‌می‌کنند که $\Delta J = \pm 1$ باشد ($\Delta J = J'' - J'$، که J' و J'' اعداد چرخشی حالت‌های ارتعاشی پائین‌تر و بالاتر هستند). یک گذار مفروض مثلاً $v=1 \longrightarrow v=0$ را درنظر بگیرید، اگر چرخش درکارنباشد، فقط یک فرکانس ω_0 خواهیم‌داشت. درواقع (با در نظرگرفتن چرخش مولکول) از دو دسته خطوط تشکیل‌می‌شود (شکل (۲-۱)). اولین دسته که فرکانس‌های پائین‌تری دارند، شاخه‌ی P نامیده‌می‌شوند و مربوط به گذار $\Delta J = +1$ هستند. به‌علت آنکه انرژی چرخشی تراز بالاتر کمتر از انرژی چرخشی تراز پائین‌تر است، فرکانس‌های گذار این شاخه از ω_0 کمترند. دومین دسته که فرکانس‌های بالاتری دارند، شاخه‌ی R نامیده‌می‌شوند و مربوط به گذار $\Delta J = -1$ هستند. بالاخره خاطرنشان‌می‌کنیم که برای مولکول‌های پیچیده‌تر ممکن‌است قانون انتخاب $\Delta J = 0$ نیز برقرارباشد (شاخهQ)[۶-۲].

۲-۲ ترازهای انرژی در لیزر CO_2 و سازوکار لیزردهی این لیزر:

عمل لیزدهی در لیزر CO_2 بین ترازهای ارتعاشی- چرخشی (VR) از مولکول CO_2 رخ‌می‌دهد. ترازهای انرژی مربوط به $He : N_2 : CO_2$ در شکل (۲-۲) نشان‌داده‌شده‌اند. چون N_2 یک مولکول دو اتمی است، تنها دارای یک مد ارتعاشی است، و در شکل دو تراز پائین ارتعاشی آن ($v=0$ و $v=1$) نشان‌داده‌شده‌است. چون CO_2 یک مولکول سه اتمی خطی است، ترازهای انرژی‌اش پیچیده‌تر است. در این مورد سه مد غیرتبهگن ارتعاشی وجوددارد.(۱) مد کشیدگی متقارن v_1 (۲) مد خمشی v_2 (۳) مد کشیدگی نامتقارن v_3.

ترازهای ارتعاشی به‌وسیله‌ی این سه عدد کوانتومی که به‌ترتیب از چپ به راست $(v_1 v_2^l v_3)$نوشته‌می‌شود. (v_i، تعداد کوانتوم‌ها در مد ارتعاشی i ام است)، شاخص بالای v_2 (l)، ناشی از تبهگنی دوگانه‌ی ارتعاش خمشی است. ارتعاش می‌تواند هم در صفحه شکل و هم در صفحه عمود بر آن صورت‌بگیرد، بنابراین ارتعاش خمشی متشکل از ترکیب این دو ارتعاش است و عدد l این ترکیب را مشخص‌می‌کند.

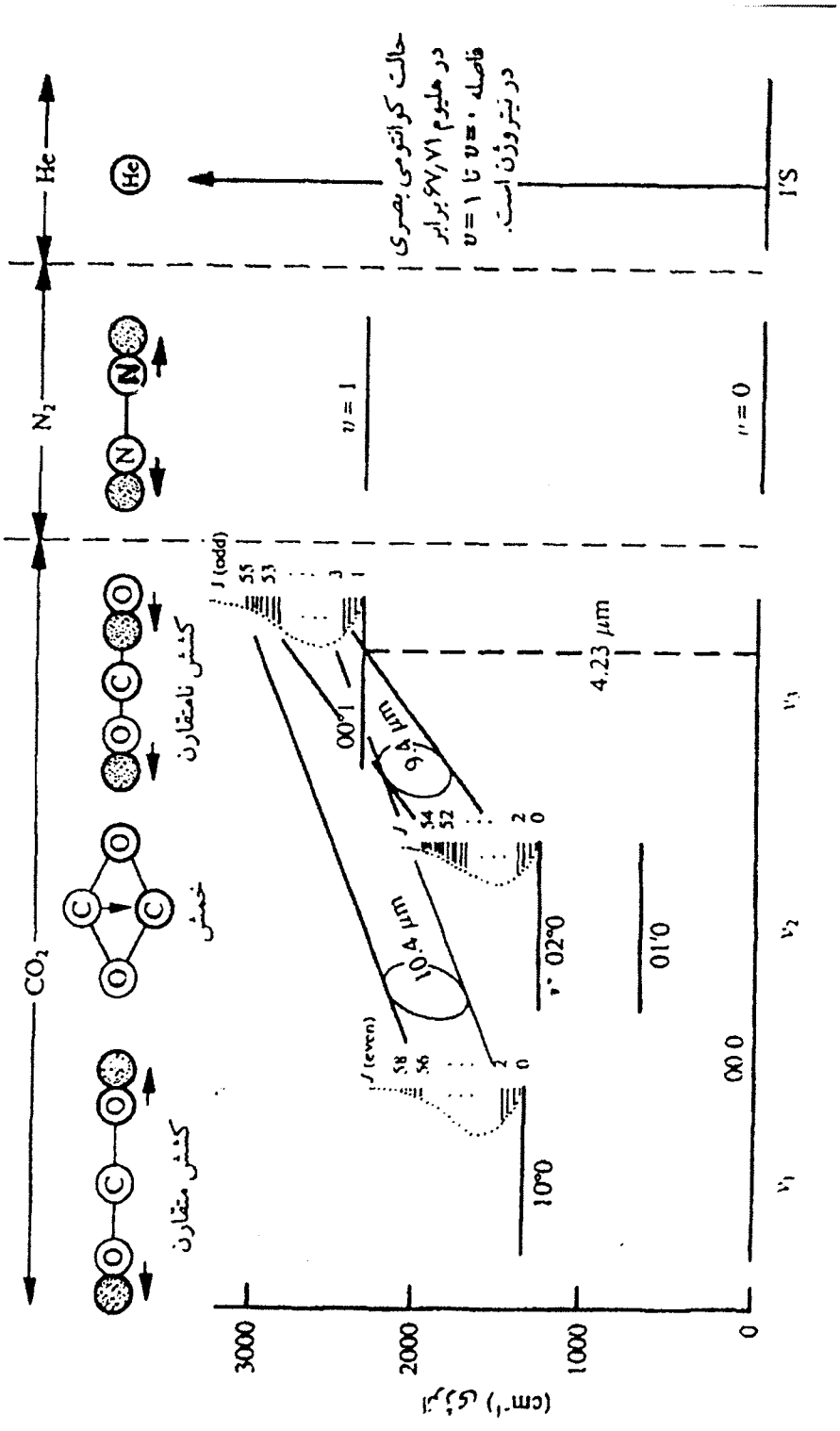


شکل(۲-۱) گذارهای بین دو تراز ارتعاشی که در آن شکافتگی چرخشی منظور شده‌است. در غیاب گذارهای چرخشی، این گذار فقط شامل یک خط به مرکز ω_0 است. شاخه‌ی P که متناظر با جهشی در عدد کوانتومی چرخشی به‌صورت $\Delta J = +1$ است، دارای فرکانسی پایین‌تر از ω_0 است. شاخه‌ی R که متناظر با جهشی در عدد کوانتومی چرخشی به‌صورت $\Delta J = -1$ است، دارای فرکانسی بالاتر از ω_0 است.

چون مد ۲ (خمشی) در بین این سه مد دارای کمترین مقدار ثابت نیروست (حرکت ارتعاشی آن عرضی است)، دارای کمترین انرژی خواهدبود. عمل لیزر بین ترازهای (۰۰°۰) ⟵ (۰۰°۱) ($\lambda \sim 10/4\mu m$) صورت‌می‌گیرد، درحالی که امکان‌دارد نوسان لیزری بین ترازهای (۰۲°۰) ⟵ (۰۰°۱) ($\lambda \sim 9/4\mu m$) نیز به‌دست‌آورد. نوسان لیزری بین ترازهای چرخشی فرد ۰۰۱ و حالت‌های چرخشی زوج ۱۰۰ یا ۰۲۰ انجام‌می‌شود.

توجه کنید که نخستین تراز ارتعاشی N_2 با تراز بالایی لیزر (۰۰۱) به‌نحو تنگاتنگی منطبق است. در واقع اغلب ترازهای ارتعاشی N_2 از $v=1$ تا $v=8$ طوری قرارگرفته‌اند که با فاصله‌ی ترازهای (۰۰۰) تا (۰۰۴) در CO_2 به‌نحو فوق‌العاده‌ای منطبق‌اند. N_2 یک مولکول تک هسته‌ای است و از این‌رو، به‌دلیل تقارن، گذارهـای تابشی بین ترازهای ارتعاشی آن ممنوع می‌باشد. به‌بیان دیگر ترازهای ارتعاشی N_2 شبه‌پایدارند. به‌این‌ترتیب، اگر بتوان مولکول N_2 را به‌صورت ارتعاشی برانگیخت، آنها می‌توانند این انرژی به‌دام افتاده را به‌صورت گزینشی به تراز بالایی لیزر منتقل کنند.

سرانجام، توجه‌کنید که ترازهای انرژی هلیم را نمی‌توان روی نمودار شکل (۲-۲) نشان‌داد. اولین حالت برانگیخته هلیم در $159850\ cm^{-1}$ اتفاق‌می‌افتد. درحالی که تراز بالایی لیزر CO_2 (۰۰۱) فقط در $2349\ cm^{-1}$ قراردارد. این تمایز این موضوع را که چرا لیـزر CO_2 خیلی مؤثرتر از لیزر هلیم - نئون است، توجیه‌می‌کند. برای برانگیزش حالت (۰۰۱) از CO_2 به‌تأمین حدود $0/5eV$ انرژی نیازداریم، در حالی‌که برای برانگیزش تراز بالایی لیزر هلیم - نئون به بیش از $19/8eV$ انرژی نیازمندیم.



شکل (۲-۲): نمودار ترازهای انرژی لیزر $CO_2:N_2:He$

عمل دمش و ایجاد وارونی جمعیت اغلب توسط اعمال تخلیه الکتریکی یکنواخت بر ترکیب گاز CO_2 -N_2 -He (با نسبت‌های فشار جزئی متفاوت) صورت‌می‌گیرد. مراحل ابتدایی دمش به‌شرح زیر است:

۱- توان الکتریکی از طریق میدان الکتریکی به الکترون‌ها منتقل‌می‌شود.

۲- الکترون‌ها این توان را از طریق برخورد، به گاز خنثی منتقل‌می‌نمایند، این توان می‌تواند به سه صورت مختلف در گاز سرشکن‌شود:

الف- گرمایش گاز: براثر برخورد کشسان الکترون‌ها و گاز خنثی ب-برانگیزش الکترونی و یونش ج- برانگیزش ترازهای ارتعاشی و ایجاد وارونی جمعیت (دمش)

در فصل‌های بعدی به‌توصیف مراحل (الف) و (ب) خواهیم‌پرداخت و در اینجا به‌توصیف فرآیندهایی که موجب تحریک ترازهای ارتعاشی CO_2، و نهایتاً به وارونی جمعیت می‌انجامند، خواهیم‌پرداخت.

تراز بالایی لیزر CO_2 (یعنی تراز ۰۰°۱) به‌خوبی توسط دو فرآیند زیر دمیده‌می‌شود:

۱- برخورد الکترونی

$$e + CO_2(000) \longrightarrow CO_2(001) + (e - K.E) \qquad (۱-۲)$$

سطح مقطع برخورد الکترونی برای این فرآیند بسیار بزرگ است. برخوردهای الکترونی ترجیحاً تراز (۰۰°۱) را انبوه‌می‌کند و ترازهای پایین لیزری را (۱۰°۰) و (۰۲°۰) را پرنمی‌کند. احتمالاً علت این امر این‌است که گذار (۰۰°۰) ⟵ (۰۰°۱) یک گذار مجاز اپتیکی است، درحالی‌که گذار (۰۰°۰) ⟵ (۱۰°۰) چنین‌نیست.

۲-انتقال انرژی تشدیدی از مولکول N_2

به‌علت اختلاف بسیار کوچک $\Delta E = ۱۸\ cm^{-1}$ بین تراز $v = ۱$ از مولکول N_2 وتراز بالایی لیزر (۰۰°۱) این فرآیند نیز بسیار مؤثر است. علاوه‌براین، برانگیختگی N_2 از حالت پایه به تراز v=۱ به‌وسیله برخوردهای الکترونی فرایند بسیار مؤثری است. به‌علاوه ترازهای ارتعاشی بالاتر N_2 نیز با ترازهای انرژی مربوط به CO_2 تا تراز (۰۰°۴) در تشدید هستند ($\Delta E < KT$) و گذارهای بین ترازهای برانگیخته (۰۰n) و (۰۰۱) بسیار سریع‌اند. این گذارها در اثر برخورد با مولکول CO_2 درحالت پایه انجام‌می‌شوند. فرآیندهای مذکور مطابق فرآیندهای زیر صورت‌می‌گیرند.

$$e + N_2(v = 0) \longrightarrow N_2(v = n \le ۸) + (e - K.E) \qquad (۲-۲)$$

$$N_2(v = n) + CO_2(000) \longrightarrow N_2(v = n - ۱) + CO_2(001) \qquad (۳-۲)$$

و یا