نشریه علمی سازمان انرژی اتمی
شماره ۴، تابستان ۱۳۶۳، ص ۳۶-۴۶

مقایسه‌مشخصات یک لیزرگازکربنیک بانتایج‌بدست آمده‌ازمدل تئوری پنج‌درجه‌حرارتی*

سیاوش مشفق همدانی ، علی اصغربراقچی ، فاطمه مداح ،
فریدون سلطانمرادی و محمدحسین بینش مروستی

مرکزتحقیقات هسته‌ای
سازمان انرژی اتمی

چکیـــــده ــ دراین‌مقاله‌خصوصیات‌طیفی مولکول‌سه‌اتمی‌خطی‌گازکربنیک‌و ترازهای‌ارتعاشی وگردشی‌آن‌مورد تجزیـــه وتحلیل‌قرارگرفته وطرق‌مختلـف تحریک‌وتبـدیل‌انرژی دربین‌حالات‌ارتعاشی‌وگردشی‌بصورت‌یک‌مدل‌تئوری پنج‌درجه‌حرارتی عرضه‌می‌شوند . معادلات‌بدست‌آمده‌بصورت‌یک‌مجموعـــه معادلات دیفرانسیل‌می‌باشدکه‌درآن‌ازپنج‌درجه‌حرارت مختلف‌برای‌تشریح حالت‌فیزیکی مخلوط گازی $He-N_2-Co_2$ وازدیادشدت نوری‌درداخل‌کاواک لیزراستفاده‌می‌شود . این‌معادلات‌بوسیله‌کدکامپیوتری "لیزر" حل‌گشته‌شکل خروجی‌قدرت لیزربرحسب‌زمان ،انرژی‌کل‌لیزروسایرپارامترهای‌تجربـــی را بدست‌می‌دهد . این‌نتایج‌تئوری‌بانتایج عملی درموردیک‌لیزرگازکربنیک بـــا تخلیه‌عرضی درفشاریک‌اتمسفروقدرت ۵ مگاوات‌که‌تماما" درهمین‌بخش‌ساخته شده‌است‌مقایسه‌می‌شود . جزئیات‌طرح‌وساخت‌این‌لیزرنیزبتفصیل‌ارائه‌گشته است . تغییرات‌بدست‌آمده‌برحسب‌نسبت‌گازهای‌مخلوط، ولتاژتخلیه‌وسایر پارامترهای‌عملی باپیش‌بینی‌تئوری‌مقایسه‌می‌شود . این‌مقایسه‌نشان‌می‌دهد که‌مدل‌تئوری‌مذکورازکیفیت‌خوبی برخوردارربوده‌قادراست‌شرایط فیزیکـــی و عملی‌رابادقت‌قابل‌توجهی پیش‌بینی‌کند .

مـــقـــدمـــه

ازاختـــراع لیزرببیش ازبیست وچـــندسال‌نمی‌گذرد . باوجوداین ، لیزرازنظرتکنولوژی اقتصادی وصنعتی‌پیشرفت بسیارچشمگیری‌داشته‌ودرکلیه‌ابعادروزمره‌زندگی امروزه‌نفوذکرده است . کاربردهای فراوان آن‌ازتمام‌نگاری‌ومخابرات گرفته ، سوراخکاری وبرش‌درصنایـــع ، جراحی ،تمام‌نگاری‌میکروسکپی ،تعمیرمینای‌دندان درپزشکی ،غنی‌کردن‌اورانیوم ،جداسازی پلوتونیوم‌وفیوژن بالیزروکاربردهای فراوان تحقیقاتی آن درعلوم‌همه‌موبداین نظراست‌که لیزریکی ازابزارلازم‌وحتمی تمدن فرداخواهدبود .

ازبین انواع‌لیزرهای مختلف که‌تاکنون ساخته‌شده‌اند ، سهولت نسبی تحریک گازهای فعال ، امکان ایجادقدرت نوری ضربه‌ای ومداوم بسیارزیادوبالاخره‌بهره‌نوری بسیارخـوب باعث شده‌است که‌لیزرگازکربنیک بعنوان یکی ازمهمترین انواع لیزرگازی شناخته‌شـــود .

---

*طراحی‌وساخت‌این‌لیزرتوسط آقایان‌دکتررضاخوانساری‌موسوی وعلی‌اصغربراقچی درسالهای ۱۳۵۷-۱۳۵۶ دربخش‌لیزرانجام‌پذیرفته‌است .

تحریک این لیزرباروشهای گوناگون ازقبیل تخلیه‌الکتریکی طولی مداوم درفشارکم وتخلیه عرضی‌ضربانی درفشاراتمسفر(TEA)انجام می‌گیرد . درروش اخیربرای‌ایجادتخلیه‌الکتریکی ازتزریق‌پرتوالکترونی درمخلوط گازی‌لیزردرامتدادعمودبرمحورلیزراستفاده‌می‌گردد . پرتوی الکترونی دراثربرخوردباگازهای محیط آنرایونیزه‌کرده ، الکترونهای ثانویه‌حاصل ازاین برخوردبا‌انرژی حدودچندالکترون ولت بوجودمی‌آید . این الکترونهادرمیدان الکتریکی لیزرشتاب یافته‌ضمن پایدارنمودن عمل تخلیه‌الکتریکی موجب تحریک ترازهای ارتعاشی مولکولهای گازکربنیک وازت‌دررژیم‌مادون قرمزمی‌گردد . این عمل درنهایت موجب ایجاد وارونی انبوهی (Population Inversion)درگازکربنیک گشته‌وپرتوهای لیزردرطول موجهای بین ۹/۴ تا ۱۰/۶ میکرون گسیل می‌شوند .

درقسمت دوم‌این مقاله‌جزئیات طرح وساختمان وطرزکاریک لیزرگازکربنیک باتخلیه عرضی وفشاراتمسفرازنوع(TEA) که‌تماما "درلابراتوارلیزرساخته‌شده‌است ارائه‌می‌شود .این لیزرازدو قسمت مشابه هرکدام‌باحجم‌فعال $45\times4\times4/5\ Cm^3$ تشکیل شده‌است . تحریک بوسیله‌فتویونیزاسیون وازطریق‌جرقه‌الکتریکی‌اعمال‌می‌شود .طول‌کاواک لیزر ۱۶۰ سانتیمتر است وازیک آئینه‌باپوشش طلا ، شعاع‌انحنای ۱۰ متروضریب انعکاس نزدیک‌به ۱۰۰% ویک آئینه مسطح ژرمانیوم‌باضریب انعکاس ۴۰% تشکیل شده‌است . ولتاژاعمال شده‌بین‌دو الکترود لیزر ۳۳ کیلوولت ، نسبت گازهای مخلوط ورودی ۲ : ۳ : ۴۰($He : N_2 : Co_2$) وچگالی انرژی تحریک ۵۰ ژول برلیتربراتمسفرمی‌باشد . انرژی خروجی‌بدست‌آمده ۵ ژول وطول زمانی ضربانی خروجی درحدودیک میکروثانیه‌است . قدرت لحظه‌ای لیزردرقله ضربان خروجی از ۵ مگاوات تجاوزمی‌کند .

درقسمت سوم‌سیستم‌لیزرگازکربنیک ازنظرتئوری موردتجزیه‌وتحلیل قرارگرفته‌ترازهای انرژی ارتعاشی وگردشی مولکول سه‌اتمی خطیCo_2وجزئیات طیفی وهمچنین‌نحوه‌تحریک آن دراثرتخلیه‌الکتریکی درحضورمولکولهای N_2 واتمهای He بررسی می‌شود . فرمولها و قوانین‌فیزیکی موردنظرارائه‌گشته ،نتایج‌بدست آمده‌بصورت‌یک‌سیستم‌معادلات دیفرانسیل که‌درآن ازپنج‌درجه‌حرارت مختلف جهت مشخص نمودن حالت انرژی‌سیستم‌استفاده‌شده است عرضه‌می‌شود ، سپس چگونگی استفاده‌عملی ازاین مدل تئوری‌ومعادلات بدست آمده بوسیله‌برنامه‌کامپیوتری توضیح‌داده‌می‌شود .

درخاتمه‌درقسمت چهارم‌نتایج‌آزمایشات عملی بدست آمده‌بانتایج برنامه‌کامپیوتری‌در حالات مختلف تجربی مقایسه‌می‌شود . انطباق نتایج درحالات مختلف نشان می‌دهدکه مدل عرضه‌شده‌قادراست حقایق فیزیکی راتااندازه‌زیادی تشریح‌نموده‌نتایج عملی‌رابادقت قابل قبولی پیش بینی کند .

طرح وساختمان لیزرضربانی

آزمایشات متعددبالیزرگازکربنیک نشان داده‌است که‌بهترین نقطه‌کاربرای این لیزراز نظرفشارورولتاژاعمال شده‌درمحدوده $\bar{E}/P$ (نسبت میدان الکتریکی به‌فشار) ۱۰ تا ۵۰ ولت برسانتیمتربرتورمی‌باشد . برای‌تخلیه‌ای‌بطول ۱ متروفشار ۸۰۰ تور (تخلیه‌طولی) ولتاژی

نزدیک به 8×10^5 تا 4×10^6 ولت لازم‌است تا عمل لیزربخوبی انجام‌پذیرد. نگهداری‌حالت پایداردرچنین‌تخلیه‌ای (تخلیه‌پایداردرفشاربالایا Glow Discharge) بدون‌داشتن جرقه‌عملا "مشکل است وعمل‌کرد لیزرهای Co_2 درچنین فشاربالائی‌تنهابروش پالسی امکان پذیرمی‌باشد. بعلاوه‌ولتاژهای نزدیک به‌ناحیه‌مگاوات تحت شرایط پالسی خیلی آسانترازحالت پیوسته‌قابل حصول می‌باشد (توسط ترانسفورمرهای پالسی). به‌کمک ژنراتورMarx Bank می‌توان‌ولتاژی حدود ۰/۵ مگاوات رابصورت ضربانی تولیدنمود، ولی حصول به‌چنین ولتاژبالائی عملا" (حتی بگونه‌پالسی) بااشکالات فنی بسیارزیادی مواجه‌است ومحدودیتهای تکنیکی، این کاررامشکل یاغیرممکن می‌سازد. مسائل فوق‌باعث شده‌است که‌درلیزرهای‌گازی‌بافشاربالاتحریک ازجهت عرضی موردتوجه‌وآزمایش‌قرارگیرد. دراین حالت تخلیه‌الکتریکی درعرض محفظه‌لیزرانجام‌می‌گیرد. بدین ترتیب فاصله‌بین الکترودهاازچندین مترکه‌اساس تحریک لیزرهادرطول محوراست به‌حدودچندسانتیمتردر عرض تقلیل می‌یابد. این تکنیک باعث سادگی حصول وارزانی‌قیمت لیزرهای پالسی TEA باانرژی اپتیکی تاچندین مگاوات‌وحتی جیگاوات شدوباتوجه‌به‌کاربرد وسیع‌لیزرهای Co_2 گام‌موثری دراستفاده‌بیشترازآن گردید. چنین لیزرهایی‌که‌درفشار اتمسفروبروش تحریک غیرمداوم عمل می‌کنند، به‌لیزرهای TEA موسومند (Transversely Excited Atmospheric)، برای عمل تخلیه‌عرضی تولیدیک تخلیه‌الکتریکی درخشان پایداروهمگن فضائی (Glow) درفشاربالاضروریست بطوریکه‌در این هنگام‌انرژی الکترونها ۱ تا ۲ الکترون ولت وحرارت گازدرحدود ۳۰۰ درجه کلوین می‌باشد. درچنین تخلیه‌ای افزایش مستقیم حجم‌تخلیه، فشارگازهاوانرژی ورودی باعث ناپایداری تخلیه‌وناهماهنگی فضائی وحتی تخلیه‌مقطعی یاجرقه (Arc) می‌شود. این امر به‌نوبه خودسبب می‌شودکه انرژی خروجی لیزرکاهش یافته‌کیفیت اپتیکی اشعه‌لیزرخراب شود.

برای ازبین بردن اشکالات فوق ازدوروش استفاده‌می‌شود: ۱ــ درحالتی که‌نسبت میدان الکتریکی E درپلاسمابه‌فشارگاز p زیادباشدازیک پالس سریع برای تحریک وتخلیه پلاسمااستفاده‌می‌شود ۲ــ وقتی نسبت‌میدان الکتریکی‌به‌فشارگازکم‌باشد ازیک‌یونیزاسیون اولیه‌که‌قبل ازتخلیه‌اصلی انجام‌می‌گیرداستفاده‌می‌شود.

حالت اول ــ انرژی الکتریکی ذخیره‌شده‌درخازن بایستی بصورت سیلی ناگهانی از الکترون‌درزمانی کوتاه‌وبصورت یکنواخت تخلیه‌شود. این عمل بایدقبل ازاینکه‌تخلیه‌به صورت مقطعی باجرقه‌درآیدانجام‌شود. اولین لیزرهای (TEA) باتخلیه‌سوزنی که‌درآن الکترودهابصورت دوماریچ مقابل هم‌قراردارند، نمونه‌ای ازاین حالت هستندکه‌تخلیه بصورت عرضی‌وهماهنگ درطول لیزرانجام‌می‌گیرد. همگنی فضائی‌پرتوخروجی این‌لیزرها ازکیفیت خوبی برخوردارنیست.

حالت دوم ــ دراین‌حالت دونوع‌روش‌یونیزاسیون وجوددارد‌که‌یکی روش تخلیه‌بصورت دوبل‌ودیگری توسط اشعه‌الکترونی است.

تحریک لیزرهای ملکولی باروش اول بااشکالاتی همراه‌است زیرارابطه E/N (چگالی اتمها = N) رابایستی طوری انتخاب کردتاحدمتعادلی بین یونیزاسیون باراندمان بالا وتحریک ارتعاش داخل گازایجادگردد.

درروش دوم این مسئله کلا "وجود ندارد زیرا دوفاکتور فوق ازیکدیگر مجزا می‌شود (یعنی بطور جداگانه کنترل می‌شوند) . استفاده ازروش دوم باعث شده تا بتوان مقدار انرژی بیشتری ازحجم مشابه ایجاد نمود که نهایتا " منجربه راندمان وکیفیت اپتیکی بهترگشته باعث افزایش انرژی خروجی لیزرمی‌گردد .

اشکالی که درروش اول مطرح می‌شود بیشتر باین صورت حل می‌گردد ، که ازامواج ماوراء بنفش (UV) جهت یونیزاسیون اولیه استفاده شود ویا اینکه ازیک اشعه الکترونی پرانرژی درنزدیکی کاتد قبل ازانجام تخلیه اصلی استفاده گردد ، که هردومهیاکننده مخلوط گازی ازطریق ایجاد یونیزاسیون اولیه قبل ازانجام تخلیه اصلی می‌باشند .

برای استفاده از UV روشهای گوناگون ازقبیل ایجاد جرقه بین سوزنهای الکترود باشبکه کاتد ویا استفاده ازجرقه‌های مجزی ویا استفاده ازفلاش لامپ بکارگرفته می‌شود .

درلیزر TEA باروش تحریک عرضی (Transverse Excitation) ازیک مخلوط گازی شامل Co_2 ، N_2 ، He استفاده می‌شود . تحریک عرضی اجازه می‌دهد تا مقدار زیادی انرژی درداخل گازدرفشار یک اتمسفرریخته شود ، درحالیکه ولتاژی درشأن این مخلوط اعمال می‌گردد . وقتی گازها درمعرض دانسیته بالای جریان درفشار اتمسفر قرارداده می‌شوند پلاسمائی ناپایدار تشکیل می‌گردد که تمایل به فشرده شدن درکانال باریکی ازقوس الکتریکی دارد که موسوم به قوس یا Arc های درخشنده هستند .

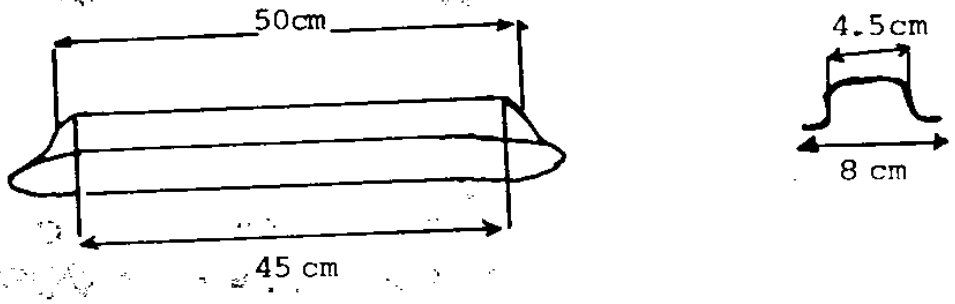
وقتی این عمل اتفاق بیفتد انرژی الکتریکی بطوربی‌ثمری ازبین می‌رود که نهایتا "باعث کاهش شدید انرژی خروجی لیزرمی‌گردد . قوس عمل لیزررا محدود می‌سازد .

لیزر TEA ساخته شده دراین مرکز

این لیزرازنوع لیزرهائیست که سیستم ایجادکننده UV درآن بطریق جرقه بین سوزنهای الکترودبا کاتد برقرارمی‌شود . حجم فعال این لیزربعنی فضای بین سراسر الکترودها ۴×۴/۵×۹۰ سانتیمترمکعب یاحدودا " ۷/۳ لیترمی‌باشدکه داخل لوله‌ای ازجنس پلکسی گلاس قراردارد . طول حفره نوری این لیزر ۱۶۰ سانت بوده ودوانتهای آن بوسیله دوآئینه یکی باانعکاس ۱۰۰% وشعاع تقعر ۱۰ مترودیگری باانعکاس ۴۰% ازجنس ژرمانیوم بصورت مسطح ، محدودمی‌گردد . سیستم الکترودهای آن دومرحله‌ای بوده (هرکدام بطول فعال ۴۵ سانتیمتر) که باولتاژ ۳۳ کیلو ولت تخلیه انجام می‌پذیرد وازسه قسمت آند ، سوزنهای کاتدوشبکه کاتد تشکیل یافته‌است . انرژی خروجی این لیزربرای هرپالس یک میکروثانیه‌ای ۵ ژول می‌باشد که توانی معادل ۵ مگاوات رادارا ست .

سیستم تخلیه الکتریکی

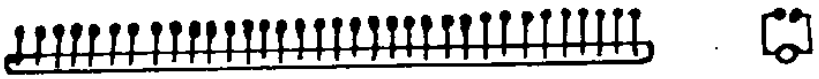
درطرح این لیزرچندین روش برای کاهش جرقه بکارگرفته شده‌است . یکی شکل هندسی الکترودهاست که یک میدان الکتریکی یکنواخت درناحیه الکترودهای داخلی برقرارمی‌سازد (شکل ۱) . دوم سرعت تخلیه خازن است که بایک جریان پالس کوتاه وسریع ازتشکل جرقه



شکل ۱ــ الکترودهای لیزر TEA کهازآلومینیوم (آند) وصفحه‌فلزی مشبک (کاتد) ساخته شده‌است.

جلوگیری بعمل می‌آورد. سوم سیستم پیش‌یونش (Preionization) است که‌یک درجه یکنواخت ازیونیزاسیون رادرسراسرحجم تخلیه‌قبل ازجریان پالس اصلی ایجادمی‌کند.

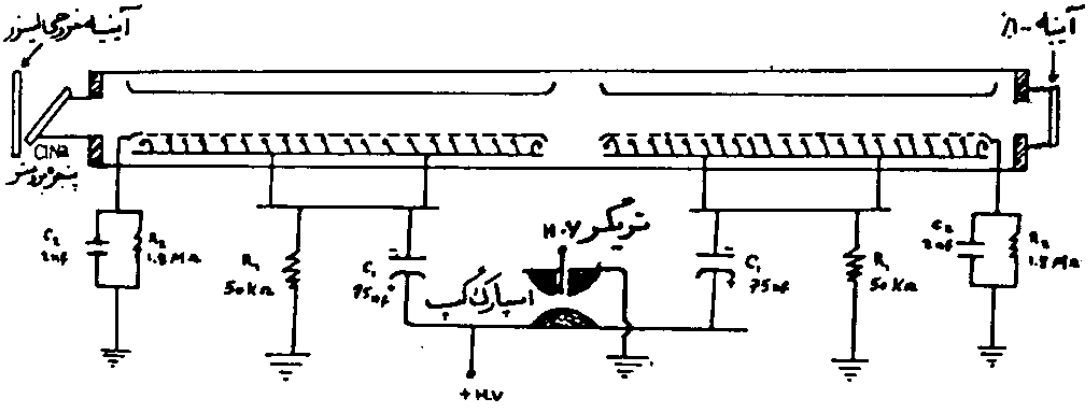
شکل هندسی الکترودهـاگرچه‌خیلی مهم‌است ولی درعمل نمی‌توان‌این الکترودهارا مطابق باتئوری کلاسیک مربوطه‌ساخت. بااین وجودطی آزمایشات بالیزراین مسئله‌بخوبی حل شده‌که‌صاف وصیقلی‌بودن سطح کاتدوآندویکسان‌بودن‌فاصله‌سوزنهاازکاتدازضرورتهای ایجادونگهداری یک تخلیه‌الکتریکی همگن ویکنواخت است (شکل ۲).



شکل ۲ــ ساختمان سوزنهای کاتد.

پالس الکتریکی ونتیجتا" تخلیه‌الکتریکی می‌تواندبطورمناسب به‌سه‌مرحله‌تقسیم شود، مرحله‌فوق ولتاژ(Overvoltage)، مرحله‌پیش یونش ومرحله‌تخلیه‌اصلی. پالس تخلیه‌با آتش کردن‌اسپـارک گپ شروع‌می‌شود، کـه‌آن باعث افتادن ولتـاژروی گوی‌تریگر می‌شود (شکل ۳). چون گازدراین‌حالت‌غیرفعال‌است‌هیچگونه‌انتقال یاهدایتی بین الکترودهای اصلی لیزربرقرارنمی‌شود. ولتاژاسپارک گپ بیشترازولتاژ شکست DC شده‌واسپارک گپ‌بطور یکنواخت می‌شکند. مرحله‌فوق رافوق ولتاژمی‌نامندزیرا ولتاژاعمال شده‌مافوق ولتاژلازم جهت شکست گازمی‌باشد. مرحله‌یونیزاسیون اولیه‌موقعی شروع‌می‌شودکه‌تخلیه‌بین سوزنها

وشبکه کاتد باعث شارژ خازن کاتد شده و یونیزاسیون را تولید کند . در این مرحله یک جرقه از سوی سوزنهای الکترود کاتد به کاتد مشبک لیزر را آماده می‌کند تا به پالس جریان اصلی جواب دهد . زمان مرحله جریان اصلی توسط ثابت های الکتریکی مدار تخلیه تعیین می‌گردد . و بایستی زمان پالس را آنقدر کوتاه کنیم که مجال ایجاد قوس الکتریکی Arc در محفظه لیزر نباشد .



شکل ۳ ــ ساختمان کلی لیزر TEA و مدار الکتریکی مربوطه .

ساخت الکترودها

طرح الکترودهای این سیستم براساس مدل روگوسکی (Rogowski) انتخاب شده است . درمیدانهای الکتریکی یکنواخت لازم است از الکترودهائی باشکل ویژه استفاده شود ، بطوریکه این گونه الکترودها بایستی درنزدیکی محور خود ناحیه یکنواختی ازمیدان الکتریکی راایجاد نمایند . درجائیکه میدان ازحالت یکنواخت خارج شود عمل تخلیه درهمان ناحیه اتفاق می‌افتد درحالیکه درقسمتهای دیگر آن تخلیه‌ای نخواهیم داشت .

شکل کلی وشعاع انحنای بیشتر الکترودها تجربی بوده و دارای سطح تختی هستند که دو لبه‌های آن بوسیله سطحی خمیده محدود شده‌اند (شکل ۱) شعاع انحنای قسمتهای کناری ابتدا زیاد ولی بتدریج هرچه به لبه نزدیکتر می‌شود کمتر می‌شود . برای یک الکترود مهمترین مسائل عبارتنداز : الف ــ ابعاد سطح تخت میانی ب ــ فرمول ناحیه خمیده . درلیزرهای بافشاربالا معمولا" ازالکترودهای روگوسکی (۱) یاچانگ (۲) استفاده می‌شود . اخیرا" فرمولهای جدیدتری نیز برای نیمرخ سطح الکترود ارائه شده‌اند (۳) .

فرم الکترودی که درمرکز ساخته شده با استفاده ازتجربه ومدل روگوسکی بوده که براساس آن قالبی توپرازسرب مطابق شکل ۱ بالبه اضافی ۱/۵ سانتیمتر ریخته شده که بوسیله دستگاه تراش زوایا وخمیدگیهای آن بادقت مطابق برمنحنی روگوسکی ساخته شده است . برای ساخت آند ، ورق استیل به ضخامت ۲ میلیمتر را گرفته وبرروی این قالب پرس نموده ایم شبکه کاتد

این سیستم نیز با استفاده از آهن مشبک به ضخامت ۲ میلیمتر با استفاده از همان قالب پرس شده است. بعد از پرس، ابتدا با سوهان وسپس سمباده نرم قسمتهای ناهموار ونقاط تیز دو الکترود صاف می شود تا از ایجاد جرقه های ناخواسته در سیستم جلوگیری شود (شکل ۱).

بعد از آماده شدن آند وشبکه، سوزنهای کاتد را تهیه می کنیم بدین ترتیب که لوله ای از جنس مس را به قطر ۱/۵ سانتیمتر انتخاب کرده دوردیف سوراخ درطول آن ایجاد می کنیم (شکل ۲) فاصله سوراخهای هر ردیف از یکدیگر ۱۵ میلیمتر وفاصله دو ردیف از یکدیگر نیز ۱۵ میلیمتر می باشد. قطر هر سوراخ ۲ میلیمتر انتخاب شده تا میله هائی از جنس استیل بهمان قطر درداخل آن تعبیه وجوش داده شود. درانتهای هرمفتول استیل یک عدد ساچمه به قطر ۳ میلیمتر جوش داده می شود تا مسئله نوکهای تیز این سوزنها در ولتاژ بالا مطرح نباشد (شکل ۲). مهمترین مسئله در این مورد هم سطح بودن سرهای این سوزنها در سیستم می باشد که بایستی نسبت به شبکه یک فاصله کوتاه ودرعین حال یکسان داشته باشند درضمن برای اینکه این فاصله ثابت حفظ شود از دو رابط عایق برای اتصال شبکه به سوزنها استفاده می شود تا سیستم کاتد و شبکه یکپارچه گردد. واین مسئله عینا "درمورد فاصله شبکه تا آند نیز صدق می کند، لذا ارتباط این دو سیستم نیز با یکدیگر توسط عایقهای نگهدارنده حفظ می شود.

محفظه لیزر اصلی

همانطورکه قبلا "اشاره شده الکترودها درداخل یک لوله از جنس پلکسی به قطر داخلی ۱۵ و ضخامت ۱cm قرار می گیرند که این لوله توسط پایه هائی به کف جعبه اصلی لیزر ثابت می شوند. درداخل این جعبه به ابعاد ۳۵×۴۰×۱۴۰ سانتیمتر لوله لیزر، خازنها، تریگر واجزای الکترونیکی دیگر بعلاوه لوله های مربوط به گاز وخلاء قرار می گیرند. این سیستم طوری طرح ریزی شده تا از ایجاد تشت های الکتریکی ناخواسته وهمینطور اندوکتانس اضافی جلوگیری شود. برای کاهش اندوکتانس از نوارها وصفحات مس بجای رابطهای سیمی استفاده شده است.

شکل ۳ شمای کامل لیزر را از لحاظ سیستم الکترودها ومدار الکترونیکی نشان می دهد.

تریگر

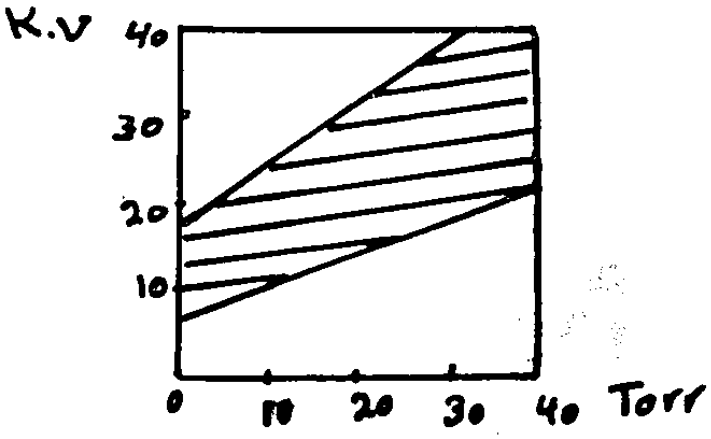
تریگر یا کلید گازی از محفظه ای از جنس پلکسی تشکیل شده که در دو طرف آن الکترودهای مثبت ومنفی تعبیه شده اند، داخل این محفظه، گاز ازت N_2 فرستاده می شود که با فشار این گاز ولتاژ لازم جهت عمل تریگر کنترل می شود زیرا هرقدر فشار گاز بیشتر باشد ولتاژ لازم جهت شکست آن بیشتر خواهد بود. همچنین این دستگاه دارای یک وسیله دیگر جهت براه انداختن عمل اتصال می باشد وآن عبارتست از یک شمع اتومبیل که ولتاژی حدود ۴ کیلوولت برآن اعمال می گردد. عمل جرقه زدن این شمع باعث یونیزه شدن جزئی محفظه تریگر می گردد که نتیجتا" باعث شکستن ولتاژ ۳۳ KV خازن درداخل آن ویونیزه شدن کامل واتصال کوتاه درزمان محدود شارژ خازن خواهد شد.

این تریگر دارای خصوصیات ویژه زیر می باشد:

انرژی پالس	۱۴ کیلوژول
جریان حداکثر	۲۰۰کیلوآمپر
انتقال بارالکتریکی	۲ کلمب
تعدادپالسهای تکراری	۱۰۰پالس درثانیه
قدرت متوسط	۲ کیلووات

درموردحداکثرولتاژبایدتوجه داشت بااعمال ولتاژبیشترازحدمعمول ، تخلیه‌الکتریکی در خارج‌ازمحفظه‌اتفاق خواهدافتادکه بایدطرح این تریگربرحسب‌قدرت و ولتاژلیزرانجام پذیرد . واگرچنین اتفاقی افتادبرای مهارکردن جرقه درخارج ازمحفظه‌باید کلیدگازی در داخل روغن یاگازفرئون(Freon)ویاهرگازغیرمشتعل بافشارزیادقراردادەشود .

شکل ۴ منحنی محدوده‌عمل کلیدمی‌باشد ، بدین‌ترتیب که‌محورعمودی نشانگرولتاژ و



شکل ۴ ــ منحنی ولتاژ شکست کلیدسریع اسپارک گپ(Spark Gap) برحسب فشاربرای گازازت .

محورافقی نمایانگرفشارداخل محفظه‌می‌باشد .

اگرولتاژبحدی باشدکه‌برخط بالائی‌منطبق‌باشدبدون فرمان می‌شکندواگربرخط پائینی منطبق باشدباعمل‌فرمان‌هم‌نمی‌شکندپس برای عمل‌بایستی ولتاژوفشاررادرمحدوده‌هاشور خورده‌انتخاب نمود .

طرزکارمدارالکتریکی

همانطورکه‌دربالا اشارەشد بعدازاینکه تریگرعمل‌نمودولتاژ ۳۳ کیلوولت خازن به الکترودهای لیزراعمال شده‌باعث تخلیه‌اصلی محفظه‌لیزرمی‌گردد . درابتداخازنی‌که‌برای این‌کاربکارگرفته‌شده‌بود دارای ظرفیت ۰/۱ μF واندوکتانس بالائی بودکه‌باعث بالاتر رفتن زمان تخلیه‌خازن می‌گشت کداین خودبخودباعث بروزاشکالاتی ازلحاظ غیرهمگن شدن تخلیه‌وایجاد جرقه‌درسیستم‌لیزرمی‌شد . لذاخازنهای مربوطه‌باخازنهای باظرفیت ۰/۰۷۵ μF بااندوکتانس پائین ترتعویض شدند .

نقش مقاومت R_1 درمدارکه‌بین کاتدوزمین متصل شده‌است ($R_1 = 50 K\Omega$) بدینقرار است که‌باعبورجریان ازطریق زمین خازن C_1 راشارژ می‌کند ، اگراین مقاومت‌وجودنداشته باشدیعنی بازباشددیگرمسیری برای شارژ خازن وجودنخواهدداشت واگربسته‌باشد یعنی بصورت اتصال کوتاه عمل‌کندیابطورکلی مقاومت ان ازمقاومت الکترودهای مخلوط گازی بهنگام‌تخلیه‌کمترباشد انرژی خازن درآن تخلیه‌خواهدشد و صرف تحریک گازهانخواهد گشت . زمان شارژ این خازن بقرارزیراست :

$$R_1 C_1 = 50\ K\Omega \times 0/075\ \mu F = 3/75 \times 10^{-3}$$ میلی ثانیه $3/75$ ثانیه

درواقع‌مقدارمقاومت R_1 رابایستی طوری تعیین نمودکه‌نه‌آنقدرزیاد باشدتازمان‌شارژخازن راطولانی سازدونه‌آنقدرکم‌انتخاب‌شودکه باعث شودعمل تخلیه‌الکتریکی بین سوزنها و شبکه‌کاتدانجام‌نشودوبااینکه بطورناقص صورت پذیرد . چنانچه‌گفته‌شددراین صورت‌خازن بدلیل کم‌بودن مقاومت R_1 نسبت به‌مقاومت فضای بین سوزنهاوشبکه‌کاتددراین مقاومت تخلیه‌گشته‌باعث می‌شودتایونیزاسیون اولیه‌ومتعاقب آن یونیزاسیون ثانویه‌که‌تخلیه‌اصلی راایجادمی‌کندانجام‌نگردد . برای ایجادپیش یونش (Preionization) ازخازن و مقاومت C_2 و R_2 استفاده‌می‌شود .

این اجزاء درسیستم‌پیش یونش یایونیزاسیون اولیه‌نقش اساسی رابازی‌می‌کنندبدین ترتیب که‌پس ازشکستن ولتاژخازن C_1 بین‌سوزنهاوشبکه ، شبکه‌توسط خازن C_2 باثابت زمانی $R_2 C_2$ دارای پتانسیل ۳۳ کیلوولت می‌گردد ، لیکن بدلیل وجودمقاومت زیاد $R_2 = 1/8 M\Omega$ تخلیه‌خازن C_1 ازطریق فضای بین شبکه‌وکاتد که‌متصل به‌زمین است‌صورت می‌پذیردکه‌این مرحله‌شروع‌تخلیه‌جریان اصلی درسیستم‌لیزراست .

همانطورکه‌شکل ۳ طرح‌کلی لیزرTEA نشان‌می‌دهددوسیستم $R_2 C_2$ ودوخازن‌ومقاومت $R_1 C_1$ داریم‌که‌این برای یکنواختی وهمگن شدن جریان تخلیه‌اصلی درسراسرحجم‌فعال لیزرمی‌باشد درشکل (۵) فرم‌ساخته‌شده‌آن درمرکزآورده‌شده .

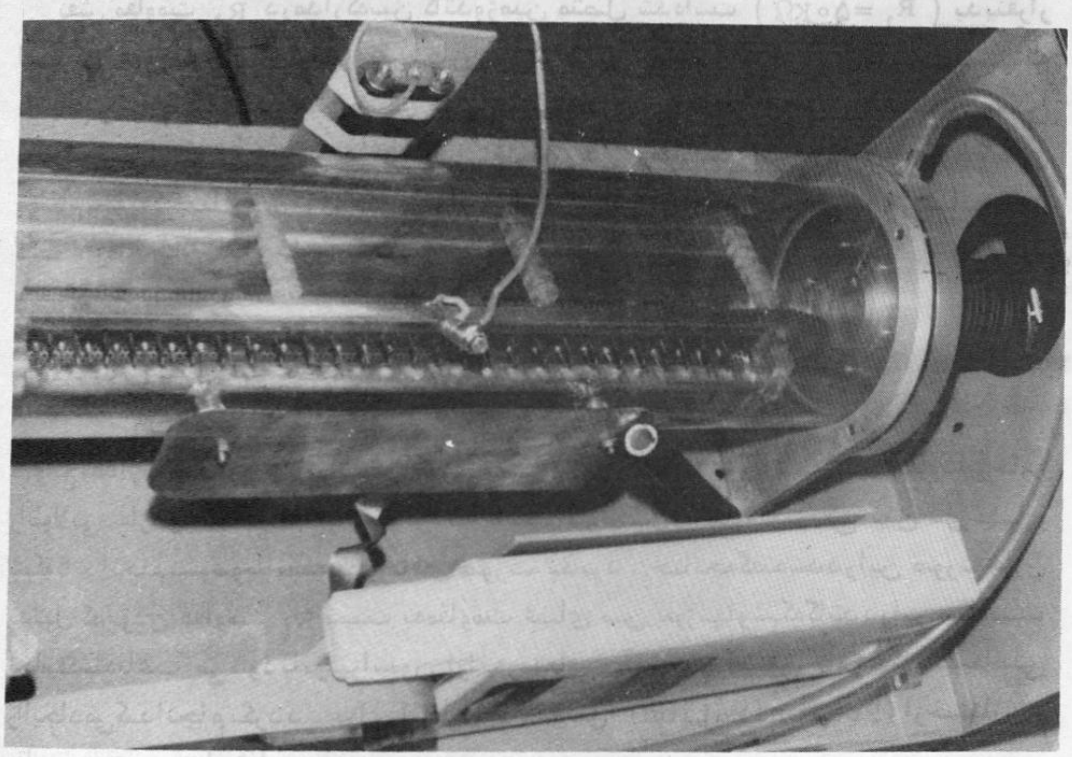
علت استفاده‌ازدوخازن‌سری درسیستم‌پیش‌یونش دردسترس نبودن خازن‌باولتاژ ۴۰ کیلوولت می‌باشدکه‌معادل آن بصورت زیرحاصل می‌شود .

$$C_2 = \frac{0/001\ \mu F}{2} = 0/5 \times 10^{-3}\ \mu F = 500\ pF \ ،\ 40\ KV$$

ثابت زمانی مدارپیش یونش برابراست با :

$$R_2 C_2 = 1/8 \times 10^{6} \times 0/5 \times 10^{-9} = 0/9 \times 10^{-3}$$ ثانیه $\approx$ 1 msec

دریک لیزرپالسی بایدثابت‌زمانی‌مدارتخلیه‌طوری‌انتخاب شودتامجال تشکیل‌یک‌جرقه‌قبل ازانجام‌عمل تخلیه‌دادەنشود .واین کاملا" روشن است‌که‌وضع هندسی لیزرومخلوط گازها تماما" تاثیرقابل توجهی درموفقیت وتکمیل این مدارتخلیه‌خواهنداشت .



شکل ۵ــ عکس قسمتی ازمحفظه‌لیزر TEA که‌سوزنهاوشبکه‌کاتدرانشان می‌دهد .

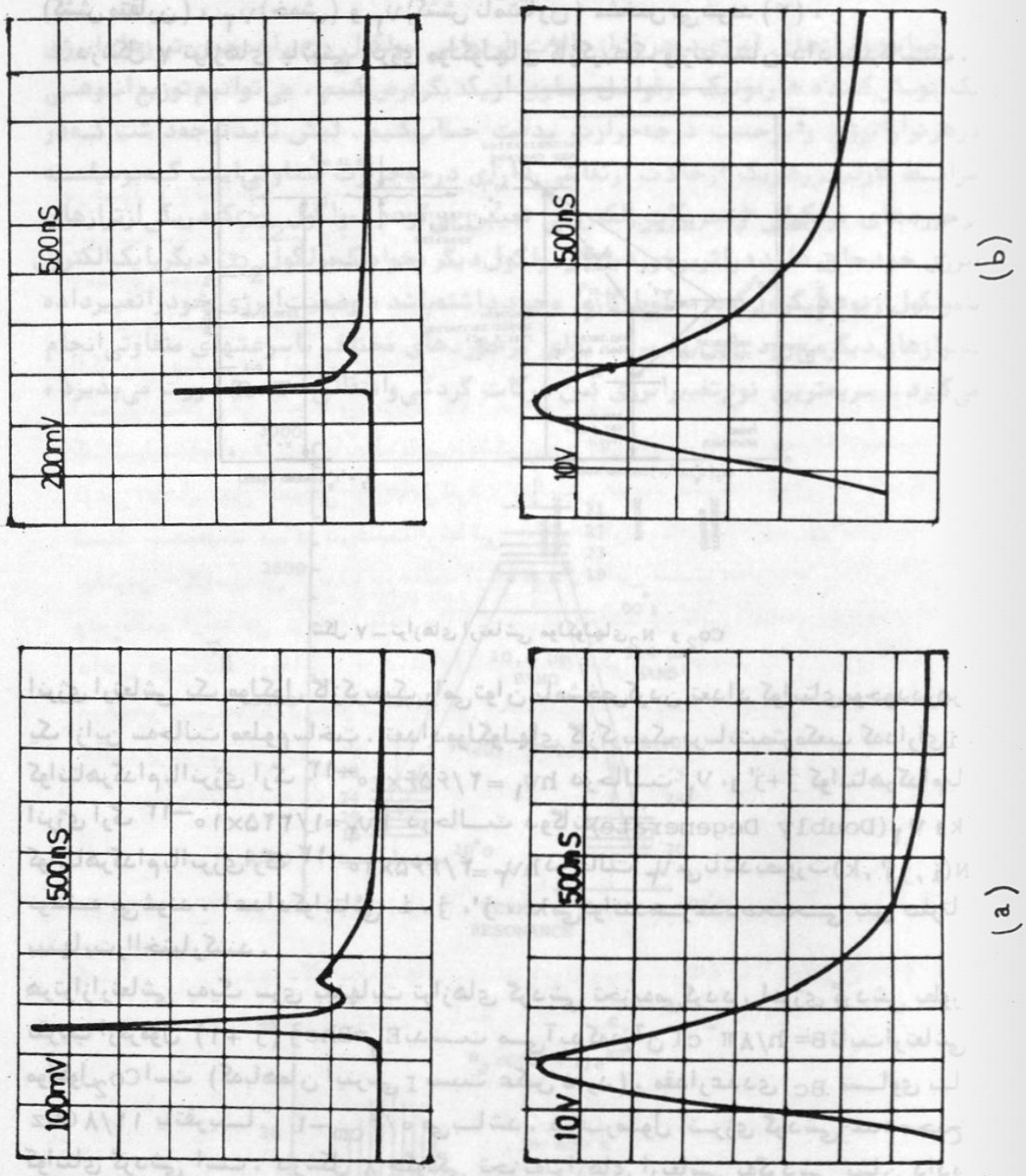
بهترین نسبت حجمی مخلوط گازهای $He-N_2-Co_2$ برای بهترین قدرت خروجی بدست آمده‌این لیزربترتیب ۲ : ۳ : ۴۰ می‌باشد . دراین نسبت گازها ، انرژی خروجی حدود ۵ ژول ازلیزرفوق بدست می‌آید .
سطح‌مقطع پرتولیزردایره‌ای به‌قطر ۳ سانتیمتر (قطرداخلی پنجره‌بروستر) می‌باشد . شکل زمانی ضربان لیزربرحسب درصد گازهای مخلوط وجریان عبوری ازداخل مخلوط گازی درشکل ۶ نشان داده‌شده‌است .

۳ــ تئوری ومدل‌سازی کامپیوتری

ترازهای انرژی ارتعاشی‌وگردشی مولکول Co_2 درماخذومقالات متعدد (۴ تا ۷) بتفصیل موردتجزیه‌وتحلیل قرارگرفته‌ومدلهای مختلف (۸ تا ۱۰) کامپیوتری‌برای لیزرگازکربنیک ارائه‌گشته‌اند . دراین قسمت این اطلاعات رابصورت خلاصه‌مرورکرده‌ومدل تئوری که در قسمتهای بعدی مورداستفاده‌قرارمی‌گیرد عرضه می‌شود . کلیات طیفی مولکول Co_2 دربند ۱ــ۳ ، طریقه‌احتساب جمعیت ترازهای انرژی دربند ۲ــ۳ ، معادلاتی که‌برتغییرات این جمعیتها‌حاکمند دربند ۳ــ۳ وبالاخره‌مدل کامپیوتری دربند ۴ــ۳ ارائه‌گشته‌اند .

۱ــ۳ــ ترازهای انرژی

مولکول سه‌اتمی خطی Co_2 دارای سه‌حالت ارتعاشی مستقل می‌باشدکه‌باحروف v_1

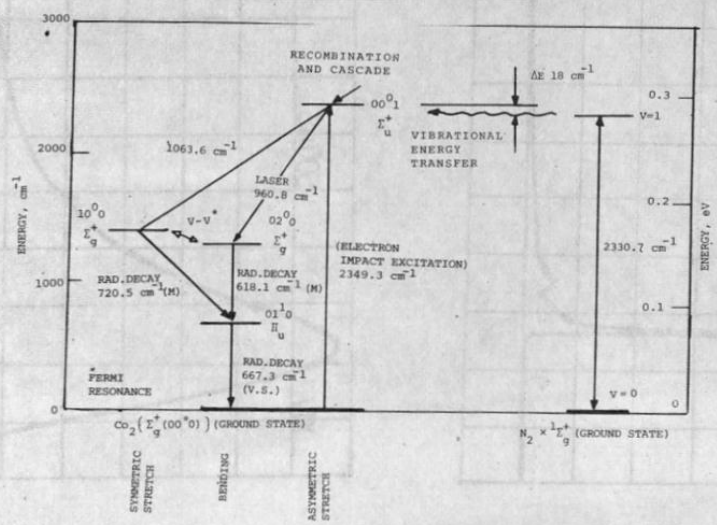


شکل ۶ ــ تغییرات زمانی خروجی لیزر TEA (بالا) وجریان عبوری ازمخلوط گازی (پائین)
برای دوترکیب متفاوت گازها (اندازه‌گیری تجربی)

a) $He , Co_2 , N_2 = (۱۴ : ۱/۰۵ : ۰/۷)$

b) $He , Co_2 , N_2 = (۱۴ ; ۱/۰۵ : ۱/۳)$

(کشش متقارن) ، ν_2 (خمش) و ν_3 (کشش نامتقارن) مشخص می‌شوند (۴) .
درشکل ۷ ترازهای پائینی انرژی مولکولهای گازکربنیک وازت نشان داده‌شده‌است .



شکل ۷ ــ ترازهای ارتعاشی مولکولهای N_2 و CO_2

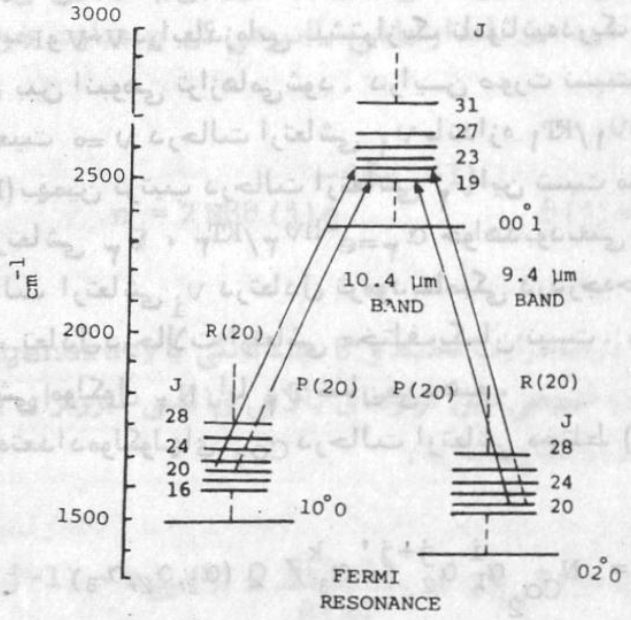
انرژی ارتعاشی یک مولکول گازکربنیک رامی‌توان بامشخص‌کردن تعداد کوانتای‌موجوددرهر یک ازاین سه‌حالت معلوم‌ساخت . تعدادمولکولهای گازکربنیک برسانتیمترمکعب که‌دارای i کوانتاهرکدام باانرژی ارگ $h\nu_1 = 2/656\times10^{-13}$ درحالت ν_1 ، و $j+j'$ کوانتاهرکدام با انرژی ارگ $h\nu_2 = 1/325\times10^{-13}$ درحالت دوگانه(Doubly Degenerate) ν_2 و k کوانتاهرکدام باانرژی‌ارگ $h\nu_3 = 4/665\times10^{-13}$ درحالت ν_3 می‌باشد بصورت $N(i,j,j',k)$ نوشته می‌شوند . اعدادکوانتائی i ، j ، j' ، k می‌توانندهرعددصحیحی بین صفرتا بینهایت‌رااختیارکنند .

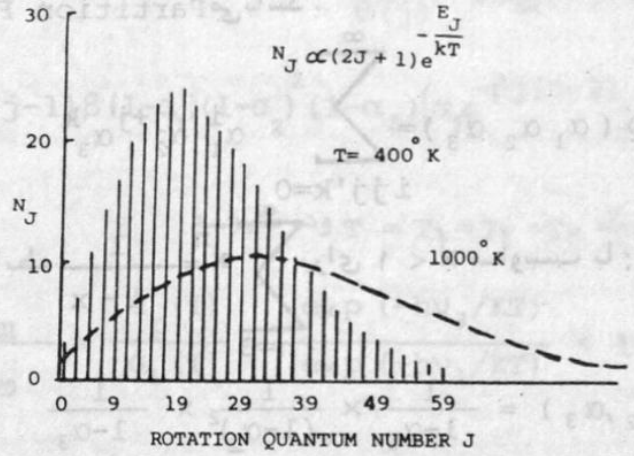
هرترازارتعاشی به‌یک سری بینهایت ترازهای گردشی تجزیه‌می‌گردد . انرژی گردشی بطور تقریب ازفرمول $E_j = Bhcj(j+1)$ بدست می‌آیدکه‌درآن $B = h/8\pi^2 cI$ ثابت‌ارتعاشی مولکول CO_2 است (که‌باهمان اینرسی I نسبت عکس دارد) . مقدارعددی Bc مساوی با ۱۱/۸ GHz یاتقریبا" $0/4\ cm^{-1}$ می‌باشد . درفرمول انرژی گردشی‌زعددصحیح کوانتای گردشی است . درشکل ۸ چگونگی تجزیه‌ترازهای ارتعاشی به‌گردشی نشان داده شده‌است .

هرخط طیفی باعدد j مربوط به‌ترازززیرین مشخص می‌شود . ازآنجاکه‌بدلیل تقارنهای موجوددرمولکول CO_2 فقط جهشهای بین ترازهای انرژی باتغییرعدد کوانتائی باندازه ±1 Δj مقدورند ، ترازبالائی بایددارای عددکوانتائی گردشی $j\pm1$ باشدکه‌اگرعلامت موردنظرمنفی باشدخط مذکورراباحرف P(j) واگرمثبت باشدبا R(j) مشخص می‌نمائیم . بدین ترتیب باند ۱۰/۴ میکرون CO_2 ازجهشهای بین ترازپائینی (۰،۰،۱ ، j) وتراز بالائی (۱،۰،۰ ، $j\pm1$) وباند ۹/۴ میکرون‌آن‌بین ترازپائینی (۰،۰،۲ ، J)وترازهای بالائی (۱،۰،۰ ، $j\pm1$) بدست می‌آیند .

۲ـ۳ـ انبوهی ترازهای انرژی

چنانچه‌ترازهای انرژی‌درهریک‌ازحالات ارتعاشی مولکول Co_2 راهمچون ترازهای‌انرژی یک نوسان‌کننده هارمونیک درفواصل مساوی ازیکدیگرفرض کنیم ، می‌توانیم‌توزیع‌انبوهی درهرترازانرژی رابرحسب درجه‌حرارت بدقت حساب‌کنیم . لیکن بایدتوجه‌داشت که‌در شرایط کارلیزرهریک ازحالات ارتعاشی دارای درجه‌حرارت متفاوتی‌است که‌بوسیله برخوردهای مولکولی وتحریکات الکترونی تعیین می‌گردد . مولکول Co_2 که‌دریکی‌ازترازهای انرژی خودجای دارد‌دراثربرخوردبایک مولکول‌دیگر ،خواه‌یک‌مولکول Co_2 دیگریایک‌الکترون یامولکول‌ازنوع‌دیگری که‌درمخلوط گازی وجودداشته‌باشد ، وضعیت‌انرژی خودراتغییرداده به‌ترازهای‌دیگرمی‌رود . این تغییرات برای برخوردهای مختلف باسرعتهای متفاوتی‌انجام می‌گیرد . سریعترین نوع‌تغییرانرژی بین‌حرکات گردشی‌وانتقالی (R-T) صورت می‌پذیرد ،





شکل ۸ ـ تجزیه‌ترازهای ارتعاشی مولکول Co_2 به‌ترازهای گردشی (بالا) وتوزیع انبوهی مولکولهای Co_2 درباند ارتعاشی (۰۰۱) برحسب عدد کوانتای گردشی j در تعادل حرارتی (پائین)

باین معنی که‌مولکول دراثربرخوردانرژی حرکتی مولکول دیگررامی‌گیردوبه‌انرژی گردشی خودمی‌افزایدیابالعکس. این تغییرات باسرعتی درحدود $10^{7}\ P\ sec^{-1}=\frac{1}{t}$ که‌درآن فشارکل مخلوط گازی برحسب توراست انجام‌می‌گیرد (۱۱). بعنوان مثال درلیزرگاز کربنیک درفشاریک اتمسفرزمان متوسط برای این تغییرات ثانیه $t=\frac{1}{760\times10^{7}}$ یا درحدود ۰/۱ نانوثانیه‌است. باین دلیل است که‌می‌توان درزمانهای طولانی‌تر از ۰/۱ نانوثانیه‌حرکات گردشی وانتقالی رادرتعادل فرض کردوهردورابوسیله‌درجه‌حرارت محیط Tمشخص نمود.

توزیع‌انبوهی درهریک ازترازهای ارتعاشی نیزبوسیله‌برخوردهای مولکولی، تحریکات الکترونی وتغییرات انرژی ارتعاشی(V-V) که‌درزمان متوسطی بین ۵ تا ۱۰ برابرطولانی‌تر ازتغییرات گردشی انجام‌می‌پذیرد (۱۲) تعیین می‌شود. بدین ترتیب می‌توان فرض‌کرد که‌تغییرات R-T وV-V درابعادزمانی بیشترازیک نانوثانیه‌دریک اتمسفرفشارمنجربه‌ایجاد نوعی تعادل بین انبوهی ترازهامی‌شود. دراین صورت نسبت انبوهی ترازانرژی $\nu=1$ نسبت به‌جمعیت $\nu=0$ درحالت ارتعاشی ν_1 باندازه $\alpha_1=e^{-h\nu_1/KT_1}$ کمتراست (ثابت بولتزمن = K) بهمین ترتیب درحالت ارتعاشی ν_2 این نسبت مساوی با $\alpha_2=e^{-h\nu_2/KT_2}$ ودرحالت ارتعاشی ν_3 ، $\alpha_3=e^{-h\nu_3/KT_3}$ خواهدبودیعنی انبوهی ترازهای انرژی در داخل هرحالت ارتعاشی ν_i درتعادل ترمودینامیکی دردرجه‌حرارت T_i می‌باشدلیکن این درجه‌حرارت، تعادل‌درحالات ارتعاشی مختلف‌یکسان نیست. بهمین ترتیب درجه‌حرارت حالت ارتعاشی مولکول N_2 رابا T_4 نشان‌می‌دهیم.

درنتیجه‌تعدادمولکولهای Co_2 درحالت ارتعاشی مختلط $(i, j+j', k)$ عبارتست از:

$$N(i,j,j',k) = N_{Co_2}\,\alpha_1^{i}\,\alpha_2^{j+j'}\,\alpha_3^{k} / Q(\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3) \qquad (1)$$

که‌درآن N_{Co_2} تعدادکل مولکولهای Co_2 و $Q(\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3)$ تابع توزیع ترمودینامیک یا Partition Function می‌باشد.

$$Q(\alpha_1\,\alpha_2\,\alpha_3)=\sum_{ijj'k=0}^{\infty}\alpha_1^{i}\,\alpha_2^{j+j'}\alpha_3^{k} \qquad (2)$$

که‌بااستفادازرابطه $\sum_{n=D}^{\infty}x^{n}=\frac{1}{1-x}$ برای $x<1$ مساویست با:

$$Q(\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3) = \frac{1}{1-\alpha_1}\times\frac{1}{(1-\alpha_2)^2}\times\frac{1}{1-\alpha_3} \qquad (3)$$

بدین ترتیب:

$$N(i,j',j,k) = N_{Co_2}\,\alpha_1^{i}\,\alpha_2^{j+j'}\alpha_3^{k}(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)(1-\alpha_3) \qquad (4)$$

درنتیجه‌انبوهی کل ترازارتعاشی (۰،۰،۱) مساویست با: (i =0 , j = j'=0 ,k=1)

$$N_{001} = N_{Co_2}\alpha_3(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)^2(1-\alpha_3) \qquad (۵)$$

وانبوهی کل ترازارتعاشی (۱،۰،۰) مساویست با: (i=1 , j=j'=0 k=0)

$$N_{100} = N_{Co_2}\alpha_1(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)^2(1-\alpha_3) \qquad (۶)$$

چنانچه‌قبلا" گفته‌شدانبوهی هرترازارتعاشی بین یک سری ترازهای گردشی تقسیم می‌شود انبوهی هرترازگردشی j درداخل باندارتعاشی باانبوهی کل N عبارت خواهدبوداز (۵ تا ۸ و ۱۳):

$$n_j = 2N\beta\theta(j)e^{-j\beta(j+1)} \qquad \theta(j)=2j+1 \qquad (۷)$$

که‌درآن $\beta = \frac{Bhc}{KT}$ و T درجه‌حرارت محیط و θ چندگانگی یاDegeneracy ترازمورد نظراست. درنتیجه‌اختلاف انبوهی بین ترازهای بالائی وپائینی لیزربرای یک خط طیفی ازنوع P درباند ۰۰۱ ← ۱۰۰ مساویست با:

$$\Delta N = n_{001}(j-1) - n_{100}(j)\times\frac{\theta(j-1)}{\theta(j)} = 2N_{001}\theta(j-1)\beta e^{-\beta j(j-1)} - \frac{\theta(j-1)}{\theta(j)}2N_{001}\theta(j)\beta e^{-\beta j(j+1)}$$

$$=2N_{Co_2}\theta(j-1)\beta(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)^2(1-\alpha_3)\left(\alpha_3 e^{-\beta j(j-1)} - \alpha_1 e^{-\beta j(j+1)}\right) \qquad (۸)$$

درترازمندی ترمودینامیک $T = T_1 = T_2 = T_3$ ودرنتیجه:

$$\frac{N_{001}}{N_{100}} = \frac{\alpha_p(T)}{\alpha_1(T)} = \frac{\exp(-h\nu_3/KT)}{\exp(-h\nu_1/KT)} < 1 \qquad (۹)$$

واختلاف انبوهی ΔN بین ترازهای بالائی وپائینی منفی خواهدبود. ولیکن درشرایط کار لیزرترازمندی ترمودینامیک‌بهم‌خورده‌درجات‌حرارت T_3 ، T_2 ، T_1 ، T اختلاف‌خواهند داشت بصورتیکه‌اختلاف‌جمعیت ΔN موردنظرمثبت خواهدشد.

بدین ترتیب برای مشخص نمودن اختلاف انبوهی نیاز بدانستن چهار درجه حرارت T، T_1، T_2، T_3 داریم که بترتیب β، α_1، α_2، α_3 را مشخص می‌کند. گذشته از این باید انبوهی تراز $\nu = 1$ مولکول N_2 را نیز مشخص نمود. اگر درجه حرارت تعادل ارتعاشی این مولکول را نیز T_4 بنامیم نسبت جمعیت در تراز $\nu = 1$ نسبت به جمعیت در تراز $\nu = 0$ مساویست با $\alpha_4 = e^{-h\nu_4/KT_4}$ که در آن $h\nu_4 = 2330/7\,cm^{-1}$ اختلاف انرژی بین دو تراز است. در نتیجه بصورت مشابه با روابط ۱ تا ۶ انبوهی تراز ارتعاشی $\nu = 1$ مولکول N_2 بدست می‌آید:

$$N(\nu = 1) = \alpha_4 \ (1-\alpha_4) N_{N_2}$$

بدین ترتیب انبوهی تراز‌های مورد نظر در اندرکنشهای اصلی لیزر بدست می‌آیند. اکنون باید طریق ترازمنه‌ی انرژی بین این ترازها را بوسیله مطالعه معادلات تغییرات انبوهی تعیین نمائیم.

۳ـ۳ـ معادلات تغییرات انرژی حالات ارتعاشی برحسب زمان (Rate Equations)

برای بررسی چگونگی نقل وانتقال انرژی در بین مولکولهای مختلف مخلوط گازی و الکترونهای مولود تخلیه الکتریکی وهمچنین توزیع این انرژی در ترازهای مختلف یک مولکول، از مدل تئوری پنج درجه حرارتی (۸،۵) استفاده می‌کنیم که بصورت اختصار شامل فرضیات زیر می‌باشد:

۱ـ از بین کلیه برخوردهای مولکولی والکترونی در این مدل به بررسی ده نوع برخورد که در شکل ۹ نشان داده شده است اکتفا می‌شود.

۲ـ سطح مقطع تحریک مولکولها توسط الکترونها که با X_1، X_2، X_3، X_4 نشان داده شده‌اند در این مدل ثابت فرض شده‌اند در حالیکه در حقیقت تابعی از سرعت مولکول هستند که در کل دارای یک توزیع ماکسولی می‌باشد.

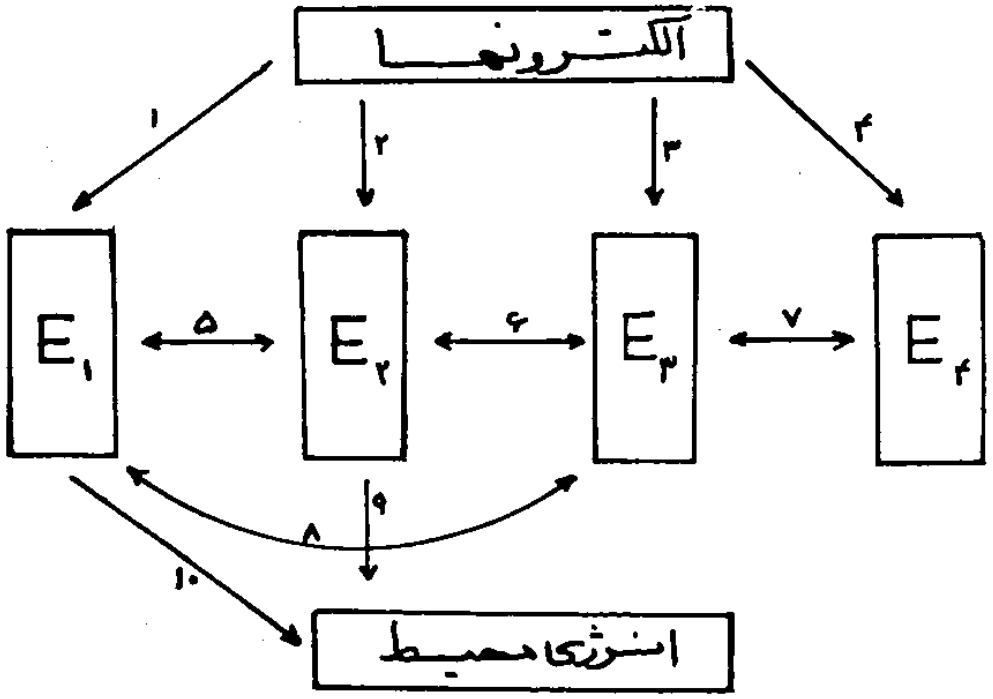
۳ـ یکی از پنج درجه حرارت مورد نظر در این مدل درجه حرارت محیط T می‌باشد که در اثر گرم شدن مخلوط گازی بالا می‌رود، لیکن این امر در مدل حاضر منظور نشده و درجه حرارت محیط ثابت ومساوی با $300^{\circ}K$ فرض شده است برای دستیابی بیک مدل جامع ترکه نکات فوق را نیز در نظر بگیرد می‌توان به مرجع ۵ رجوع کرد.

نقل وانتقال انرژی برحسب تغییرات زمانی انرژی ذخیره شده در هریک از سه حالت ارتعاشی مولکول Co_2 (به ترتیب E_1 برای ارتعاشی متقارن، E_2 برای ارتعاشی خمشی و E_3 برای ارتعاشی نامتقارن) وحالت ارتعاشی متقارن مولکول N_2 (E_4) مورد تجزیه وتحلیل قرار می‌گیرد. مقادیر E_1 تا E_4 برحسب ارگ برسانتیمتر مکعب می‌باشد وهرکدام از حاصلضرب انبوهی مربوطه (N_1 تا N_4) در انرژی تراز مورد نظر ($h\nu_1$ تا $h\nu_4$) بدست می‌آیند. برای تغییرات زمانی چگالیهای انرژی ارتعاشی E_1 تا E_4 چهار معادله دیفرانسیل نوشته می‌شود. اولین معادله مربوط به چگالی انرژی E_1 درحالت ارتعاشی متقارن مولکول Co_2 می‌باشد:

$$\frac{dE_1}{dt} = N_e(t)\, N_{Co_2}\, h\nu_1 X_1 + \nu_1 \Delta N\, W\, I(t) + \frac{h\nu_1}{h\nu_3}\, \frac{E_3 - E_3(T, T_1, T_2)}{\tau_3(T, T_1, T_2)}$$

$$- \frac{E_1 - E_1(T)}{\tau_{10}(T)} - \frac{E_1 - E_1(T_2)}{\tau_{12}(T_2)} \qquad (۱۰)$$

دراین معادله E_1 بر اثر تحریک الکترونی (جمله‌اول و برخورد ۱ درشکل ۹)، فوتونهای ایجادشده‌توسط گسیل برانگیخته (جمله‌دوم) وانتقال انرژی ازحالت‌ارتعاشی E_3 (جمله‌سوم‌وبرخورد ۸ درشکل ۹) افزایش یافته‌ودراثربازگشت مولکول به‌حالت انتقال غیرارتعاشی دراثربرخورد V-T (جمله‌چهارم‌وبرخورد ۱۰ درشکل ۹) وهمچنین برخورد V-V وتبدیل انرژی به‌حالت ارتعاشی خمشی (جمله‌آخروبرخورد ۵ درشکل ۹) کاهش می‌یابد. $N_e(t)$ تعدادالکترونهابرسانتیمترمکعب درزمان t و X_1 آهنگ (Rate) تحریک حالت ارتعاشی متقارن بوسیله‌الکترون می‌باشد. همچنین درجمله‌دوم مربوط به



شکل ۹ ــ نقل وانتقال انرژی بین الکترونهای تحریک ، انرژی محیط (انرژی حرکتی مولکولها) وحالات ارتعاشی E_1 تا E_4 درمولکولهای N_2 و Co_2:
۱ــ۲ــ۳ــ۴ــ تحریک ارتعاشی بوسیله‌برخورد باالکترون.
۵ــ۶ــ۷ــ۸ــ تبدیل انرژی ارتعاشی وتعادل آن دراثربرخوردمولکولهای Co_2 با یکدیگروبا N_2 (V-V Energy transfer)
۹ــ۱۰ــ ترآوری انرژی ارتعاشی به‌انتقالی (انرژی حرکتی) دراثربرخورد با جداره‌های محیط یاباتمهای هلیوم وبامولکولهای دیگر (V-T Energy Transfer)

گسیل برانگیخته I (t) شدت میدان فوتونهای لیزر در داخل کاواک (Cavity) لیزر زمان t بر حسب ارگ بر ثانیه بر سانتیمتر مربع ، ΔN اختلاف انبوهی و

$$W = \frac{F\lambda^2}{4\pi^2 h\nu\, \Delta\nu\, \tau_{sp}} \qquad (11)$$

آهنگ گسیل برانگیخته در قله (Peak) خط طیفی است . در رابطه ۱۱ $\lambda = \frac{c}{\nu}$ طول موج لیزر مساوی با ۱۰/۶ میکرون ، F = نسبت حجم فعال لیزر به حجم کل ، ثانیه $\tau_{sp} = 5$ عمر متوسط فوتون برای گسیل خودبخود از حالت ارتعاشی متقارن و $\Delta\nu$ پهنای همگن خط طیفی مورد نظر است که بستگی به نسبت گازها ، فشار کل و درجه حرارت دارد :

$$\Delta\nu = \alpha P_{Co_2} + \beta P_{He} + \gamma P_{N_2} \qquad (12)$$

در این معادله P_{Co_2} ، P_{He} و P_{N_2} به ترتیب فشار جزئی گاز کربنیک ، هلیوم و ازت در مخلوط گازی (برحسب تور) و α و β و γ ضرایب پهن شدگی (Broadening Coefficients) خط طیفی گاز کربنیک توسط گاز کربنیک ، هلیوم و ازت برحسب مگاهرتز بر تور می باشد این ضرایب در مآخذ متعددی مورد بررسی قرار گرفته و ضرائب مختلفی بدست آمده است (۵، ۸، ۹، ۱۴، ۱۵) که از بین آنها نتایج و روش اندازه گیری مآخذ (۱۴) قابل اطمینان تر می باشد و در برنامه کامپیوتری از آن استفاده شده است . مقادیر مآخذ در درجه حرارت ۳۰۰ K بقرار زیر می باشد :

$\alpha = 7.6$ MHZ/torr $\beta = 4.9$ MHZ/torr $\gamma = 5.6$ MHZ/torr

جملات سوم تا پنجم رابطه ۱۰ مربوط به تبادل انرژی بین حالتهای مختلف ارتعاشی مولکول Co_2 می باشد . در جمله سوم این تغییر انرژی که از ارتعاش نامتقارن E_3 کم و به ارتعاش متقارن E_1 می افزاید با زمان متوسط τ_3 انجام می گیرد که تغییرات آن برحسب درجات حرارت مختلف T ، T_1 ، T_2 بصورت زیر است (۵، ۸)

$$\tau_3(T, T_1, T_2) = \frac{(\alpha_1 - 1)(\alpha_2 - 1)}{A_3 N_{Co_2}\left(\frac{\alpha_i\, \alpha_2\, \alpha_3(T)}{\alpha_1(T)\alpha_2(T)} - 1\right)} \qquad (13)$$

مقدار عددی τ_3 در توازن ترمودینامیک در درجه حرارت $300^\circ K$ از رابطه زیر بدست می آید :

$$\frac{1}{\tau_3} = K_{Co_2} N_{Co_2} + K_{N_2} N_{N_2} + K_{He} N_{He} \qquad (14)$$

که‌پس ازبررسی مقادیرعددی گوناگون ومتفاوتی که‌برای K_t درمآخذمختلف ارائه‌گشته‌است مقادیرزیر (برحسب $cm^3/part.sec$) اتخاذگردید :

$$K_{Co_2} = 5\times10^{-15} \qquad K_{N_2} = 2\times10^{-15} \qquad K_{He} = 1\times10^{-15} \quad (۱۵)$$

باجایگزین نمودن این ثابتهادررابطه ۱۴ مقدار τ_3 برای $T=T_1=T_2$ وپس ازجایگزین‌کردن دررابطه ۱۳ مقدارعددی ثابت A_3 بدست می‌آید. بدین ترتیب مقدار τ_3 درشرایط کلی T و T_1 و T_2 مشخص می‌شود.
درجمله‌چهارم‌رابطه ۱۰ تحلیل انرژی‌ارتعاش متقارن E_1 ازطریق بازگشت مولکولهای CO_2 به‌ترازپایه (۰۰۰) مشخص شده‌است. این بازگشت بازمان متوسط $\tau_{10}(T)$ انجام می‌شودکه ازرابطه‌زیربدست می‌آید (۵و۸).

$$\tau_{10}(T) = 4.5\ \tau_{20}(T) \quad (۱۶)$$

دراینجا $\tau_{20}(T)$ زمان متوسط بازگشت به‌ترازپایه‌مولکولهای CO_2 درحالت ارتعاش خمشی E_2 می‌باشدکه‌بنوبه‌خودازرابطه

$$\frac{1}{\tau_{20}(T)} = K'_{Co_2} N_{Co_2} + K'_{N_2} N_{N_2} + K'_{He} N_{He} \quad (۱۷)$$

بدست می‌آید که پس ازبررسی مقادیرعددی گوناگون که برای K'_i درمآخذمختلف (۵،۸،۱۶،۱۷) ارائه‌گشته‌است مقادیرزیراتخاذگردید :

$$K'_{Co_2} = 5.5\times10^{-15} \qquad K'_{N_2} = 1.1\times10^{-15} \qquad K'_{He} = 1.0\times10^{-13} \quad (۱۸)$$

درجمله‌پنجم رابطه ۱۰ تبادل انرژی بین ارتعاش متقارن E_1 وارتعاش خمشی E_2 درنظر گرفته‌شده‌است. این تبادل بازمان متوسط $\tau_{12}(T_2)$ انجام می‌گیردکه‌بنوبه خودازرابطه:

$$\tau_{12}(T_2) = \frac{1}{A_{12} N_{Co_2}} \cdot \frac{1-\alpha_2(T_2)}{1+\alpha_2(T_2)} \quad (۱۹)$$

بدست می‌آید. برای بدست آوردن ثابت A_{12} مقدار τ_{12} دردرجه‌حرارت تعادل $300^\circ K$ ازرابطه‌زیربدست می‌آید (۵و۸).

$$\frac{1}{\tau_{12}(300)} = K''_{Co_2} N_{Co_2} \qquad 4.5 \times 10^{-11} = K''_{Co_2} \qquad (۲۰)$$

که‌باجایگزین کردن آن دررابطه ۱۹ مقدار A_{12}بدست می‌آید وسپس می‌توان $\tau_{12}(T_2)$را برای هردرجه حرارت T_2 بدست آورد. مقدارچگالی انرژی‌ارتعاشی E_1 در تعادل ترمودینامیک‌در درجه‌حرارت T_i ازرابطه‌زیربدست می‌آید.

$$E_1(T_i) = h\nu_1 \frac{N_{Co_2}}{\exp h\nu_1/KT_1 - 1} = N_{Co_2} \alpha_1(T_i) h\nu_1 / \left(1 - \alpha_1(T_i)\right) \qquad (۲۱)$$

وبالاخره‌مقدارچگالی انرژی ارتعاشی E_3 درحالت تعادل ازرابطه‌زیربدست می‌آید:

$$E_3(T, T_1, T_2) = N_{Co_2} h\nu_3 \frac{\alpha_1(T_1)\alpha_2(T_2)\alpha_3(T)}{\alpha_2(T)\alpha_1(T)} \qquad (۲۲)$$

مقدارچگالی انرژی ارتعاشی خمشی E_2 ازمعادله‌زیربدست می‌آید:

$$\frac{dE_2}{dt} = N_e(t) N_{Co_2} h\nu_2 X_2 + \frac{E_1 - E_1^e(T_2)}{\tau_{12}(T_2)} - \frac{E_2 - E_2^e(T)}{\tau_{20}(T)} + \frac{h\nu_2}{h\nu_3} \frac{E_3 - E_3^e(T, T_1, T_2)}{\tau_3(T, T_1, T_2)} \qquad (۲۳)$$

دراین رابطه X_2آهنگ تحریک حالت ارتعاش خمشی بوسیله‌الکترون می‌باشدو

$$E_2^e(t) = 2N_{Co_2} \hbar\nu_2 \alpha_2(t) / \left(1 - \alpha_2(T)\right) \qquad (۲۴)$$

مقدارچگالی انرژی ارتعاشی درحالت نامتقارن E_3 ازمعادله‌زیربدست می‌آید:

$$\frac{dE_3}{dt} = N_e(t) N_{Co_2} h\nu_3 X_3 - \frac{E_3 - E_3^e(T, T_1, T_2)}{\tau_3(T, T_1, T_2)} + \frac{E_4 - E_4^e(T_3)}{\tau_{43}(T)} - h\nu_3 \Delta NWI(t) \qquad (۲۵)$$

این انرژی بوسیله‌ارتعاشات مولکول N_2 وتحریک الکترون تغذیه‌می‌شودوباگسیل‌برانگیخته و گسیل خودبخود (τ_3) کم‌می‌شود. X_3 آهنگ تحریک الکترونی می‌باشدمقدارعددی τ_{43}از رابطه: (مآخذ ۵ ــ ۸)

$$\frac{1}{\tau_{43}(T)} = 6 \times 10^{-13} N_{N_2}$$

بدست می‌آید . بالاخره‌چگالی انرژی ارتعاشی E_4 درمولکول N_2 بوسیله‌الکترونهاازدیـــاد می‌یابدوازطریق مولکول Co_2 درارتعاش نامتقارن کم می‌شود :

$$\frac{dE_4}{dt} = N_e(t) N_{N_2} h\nu_4 X_4 - \frac{E_4 - E_4(T_3)}{\tau_{43}(T)} \qquad (۲۶)$$

مقدار E_4 درتعادل دردرجه‌حرارت T_3 ازرابطه‌زیربدست می‌آید :

$$E_4^e(T_3) = N_{N_2} h\nu_4 \alpha_4(T_3) / \left(1-\alpha_4(T_3)\right) \qquad (۲۷)$$

ومقادیردرجات حرارت سه‌حالت مولکول Co_2 ازفرمولهای زیربدست می‌آیند :

$$T_1 = \frac{h\nu_1}{\kappa \ln\left(N_{Co_2}(h\nu_1/E_1)+1\right)} \quad , \quad T_2 = \frac{h\nu_2}{\kappa \ln\left(N_{Co_2}(2h\nu_2/E_2)+1\right)}$$

$$T_3 = \frac{h\nu_3/\kappa}{\ln\left(N_{Co_2}(h\nu_3/E_3)+1\right)} \qquad (۲۸)$$

آخرین معادله‌ایکه‌برای تکمیل مدل تئوری فوق موردنیازاست معادله‌تغییرات شدت‌نوردر داخل کاواک‌لیزراست :

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{I}{\tau} + ch\nu\ \Delta N(WI + S) \qquad (۲۹)$$

که‌درآن

$$\tau = \frac{-2L}{C \ln R}\ \frac{(1-R)}{(1-R-\bar{L})} \qquad (۳۰)$$

طول عمرحفره‌لیزراست (L =طول‌لیزر ، $\bar{L}$ مقداراتلاف انرژی لیزر ، R = ضریب انعکـاس آئینه‌خروجی) S مقدارگسیل خودبخودرا تعیین می‌کند ، $S=Ch\nu W$ بطوریکه درهرحالت

(Mode)کاواک لیزرفوتون خودبخودوجوددا شته‌باشد .

جهت تعیین آهنگ تحریک الکترونی (X_1 تا X_4) بایدمقدار E/N (نسبت میدان الکتریکی برچگالی اتمها) مشخص باشد . درلیزر TEA موردنظرولتاژ ۳۳ KV به‌دوالکترود که درفاصله ۴ سانتیمترازیکدیگرقراردارند اعمال می‌شود . فشاراتمسفریک درمحوطه آزمایشگاهها نیزدرطول سال ۴ ±۶۶۶ تورگزارش شده‌است . درنتیجه :

$$\frac{E}{N}=\frac{33\ KV/4\ cm}{2.547\times10^{19}\left(\frac{mol}{cm^3}\right)\times\frac{666}{760}}=3.7\times10^{-16}\ \ V/cm^2 \qquad (۳۱)$$

پس ازرجوع به‌ماخذ ۸ ، ۱۸ ، ۱۹ ، ۲۰ جهت تعیین X_1 تا X_4 دراین مقدار E/N ،مقادیرزیر انتخاب شد :

$$X_1=X_2=4\times10^{-9}(cm^3/sec)\ ,\ X_3=5\times10^{-9}(cm^3/sec)\ ,\ X_4=2\times10^{-e}(cm^3/sec) \qquad (۳۲)$$

درخاتمه‌بایدبرای $N_e(t)$ معادله‌تحلیلی باشکل عددی خاصی قائل شد . دراین زمینه با استفاده‌ازاندازه‌گیری جریان تخلیه‌الکتریکی درلیزربوسیله‌حلقه‌های روگوسکی وتطبیق آن بامعادله‌تحلیلی بشکل :

$$N_e(t)=N_o(1-e^{-t/\tau_1})\,e^{-t/\tau_2} \qquad (۳۳)$$

مقادیر $\tau_1=1\ \mu sec$ و $\tau_2=0.5\mu sec$ انتخاب شده‌دربرخی مواردنیزشکل تجربی جریان الکتریکی پس ازاندازه‌گیری باحلقه‌روگوسکی بصورت عددی به‌برنامه‌کامپیوتری داده‌شده است :

درآخرین قسمت برنامه‌کامپیوتری شدت پرتوی خروجی لیزر P_{out} ازروی مقدار I حساب می‌شود . دراین قسمت بادرنظرگرفتن ضریب انعکاس خروجی (R) ومقداراتلاف انرژی درلیزر ($\bar{L}$) داریم :

$$P_{out}(t)=\frac{-A}{2}(\ln R)\,I\times\frac{1-R-\bar{L}}{1-R} \qquad (۳۴)$$

که‌درآن A سطح‌مقطع لیزراست . بدین ترتیب شکل زمانی ضربان خروجی لیزربدست می‌آید .

۴-۳- کدکامپیوتری "لیزر"

باتوجه‌به‌مدل تئوری فوق، کدکامپیوتری "لیزر" (LASER) بزبان فورتران نوشته‌و تکمیل گشت. درخروجی این برنامه‌مقدارشدت خروجی ضربان لیزرکه‌درچهارهزارفاصله زمانی ($\Delta t = 1n\ s$) محاسبه‌شده‌است، درفواصل ۵۰ نانوثانیه‌ای بصورت جدول چاپ شده‌بوسیله‌برنامه‌فرعی (Printer Plot) بصورت منحنی تنظیم‌وارائه‌می‌شود. بدین ترتیب می‌توان شکل زمانی ضربان خروجی لیزررابرحسب پارامترهای تجربی مختلف ،از جمله‌درصدترکیب گازهای لیزر، ضریب انعکاس‌آئینه‌خروجی، طول وسطح‌مقطع فعال‌لیزر مقدارضریب اتلاف، تغییرات ضرائب سینتیکی وغیره‌موردمطالعه‌قرارداد.

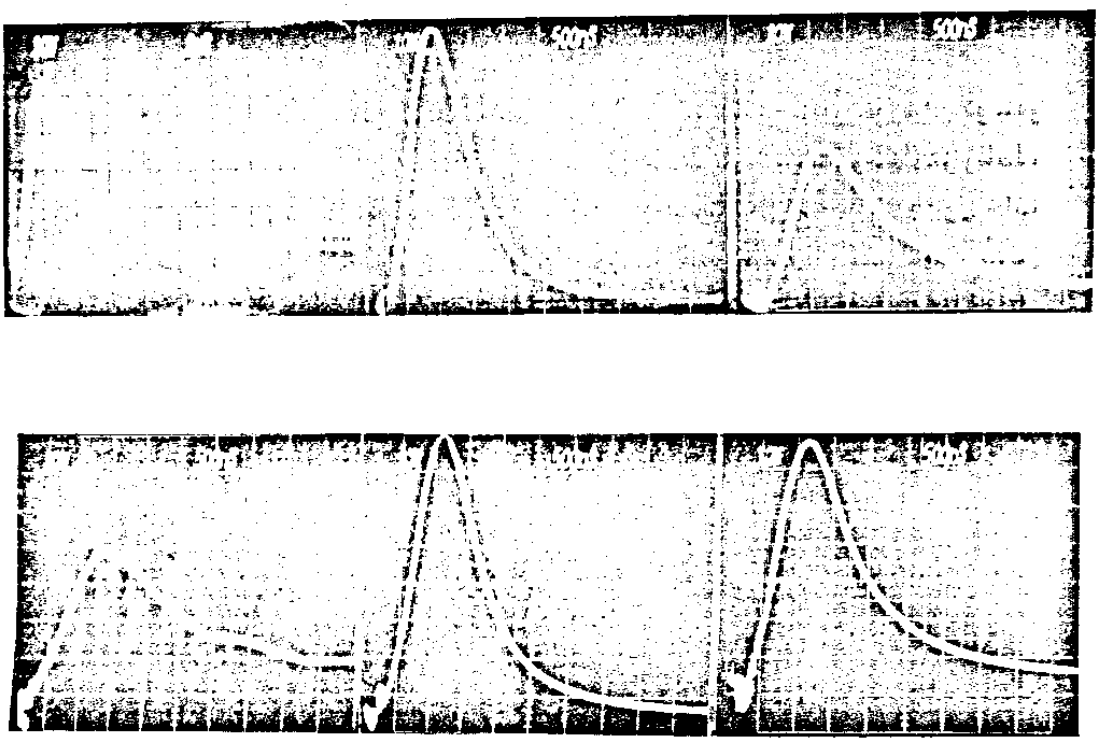
پنج‌معادله‌دیفرانسیل مربوط به E_1 تا E_4 و I ازطریق معادله‌ساده‌زیرحل می‌شوند:

$$Y_{n+1} = Y_n + Y'_n \Delta t \qquad (۳۵)$$

دریک محاسبه‌دقیق‌تر می‌توان ازمتد رونج وکوتا(Runge-Kutta)بامتد هامینگ (Hamming) که‌یک متدپیش‌بینی کننده‌ـ تصحیح کننده (Predictor-Corrector) است استفاده‌نمود. دراین متداخیرابتدامقادیرچهارنقطه‌اولیه‌بوسیله‌متدرونج ـ کوتا محاسبه‌شده‌وسپس بااستفاده‌ازتکنیکهای محاسبات عددی مربوطه (۸) مقدار Y درنقطه بعدی پیش بینی شده‌وسپس بامقایسه‌بانتایج قبلی تصحیح می‌شود. متدهای محاسباتی اخیردارای زمان محاسبات(C P U Time) چندین برابرفرمول ساده (۳۵) می‌باشند در حالیکه‌اگرفاصله زمانی Δt باندازه‌کافی کوچک اختیارشود ($1n\ s$) ازنظرنتایج‌محاسباتی زیاددقیق‌ترنمی‌باشند. درنتیجه درکد "لیزر" ازرابطه (۳۵) استفاده‌شده‌است.

۴- نتایج عملی ومقایسه‌بامدل تئوری

درشکل ۶ شکل زمانی ضربان‌لیزروجریان عبوری‌ازمخلوط‌گازی برای دوترکیب‌متفاوت گازی نشان داده‌شده‌است. جریان بااستفاده‌ازحلقه‌روگوسکی وشدت ضربان لیزربااستفاده ازدتکتور (فوتون دراگ) ژرمانیم‌مادون قرمزاندازه‌گیری شده‌است. درشکل ۱۰ مقدار جریان اندازه‌گیری شده برای ۶ مخلوط مختلف نشان داده‌شده‌است. چنانچه‌مشاهده می‌شوددرمحدوده‌مخلوطهای موردآزمایش مقدارحداکثرجریان تاحدود ۵۰% تغییر دارد. جهت مقایسه‌نتایج عملی بامدل کامپیوتری می‌توان جریان رابارابطه‌ریاضی (۳۴) نشان دادوبرای هرمخلوط پارامترهای مناسب N_0 و τ_1 و τ_2 رابنحوی انتخاب کردکه‌باشکل عملی ومقدارحداکثرجریان تطابق داشته‌باشد. بطورکلی بهترین‌نتایج عملی ازنظرانرژی‌خروجی وعدم‌وجودجرقه‌درتخلیه‌گازی برای منحنی های ۶ و ۲ درشکل ۱۰ بدست می‌آید که‌اولی مربوط به‌مخلوط (۴۰/۳/۲) $He - N_2 - Co_2$ می‌باشدودرمخلوط دومی فشارجزئی Co_2 حدودا" ۰/۷% ازمخلوط قبلی بیشتراست. دربرنامه‌کامپیوتری عموما "ازمقادیر $\tau_1 = 1$ میکروثانیه‌و $\tau_2 = 0/5$ میکروثانیه‌استفاده‌شده‌ومقدارعددی N_0 یک‌پارامترورودی به‌برنامه



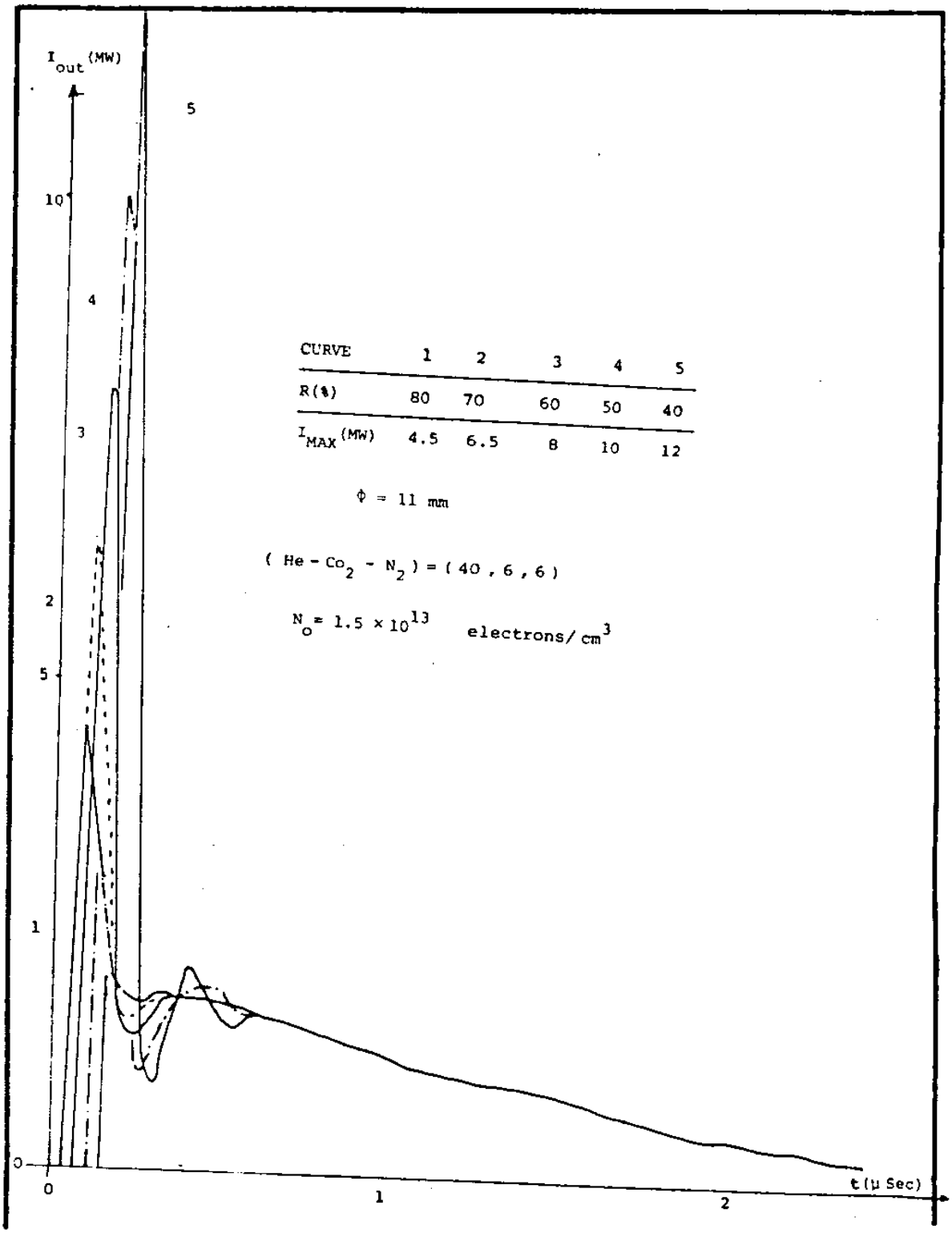
شکل ۱۰ ــ جریان عبوری ازمخلوط گازی برای ۶ مخلوط مختلف گازهای He، Co_2، N_2
(اندازه‌گیری تجربی)

He	Co_2	N_2	
۱۴	۱/۷	۱/۳	(۱)
۱۴	۱/۱۵	۰/۷	(۲)
۱۴	۲	۲/۷	(۳)
۱۴	۱/۰۵	۲/۷	(۴)
۱۴	۱/۰۵	۱/۳	(۵)
۱۴	۱/۰۵	۰/۷	(۶)

است که‌باتوجه‌به‌شرایط عملی (شکل ۱۰) درحدود 10^{13} الکترون برسانتیمترمکعب انتخاب می‌شود.

۱ـ۴ـ انتخاب ضریب انعکاس مناسب برای آئینه‌خروجی

جهت انتخاب بهترین ضریب انعکاس برای آئینه‌خروجی، درشکل ۱۱ نتایج برنامه

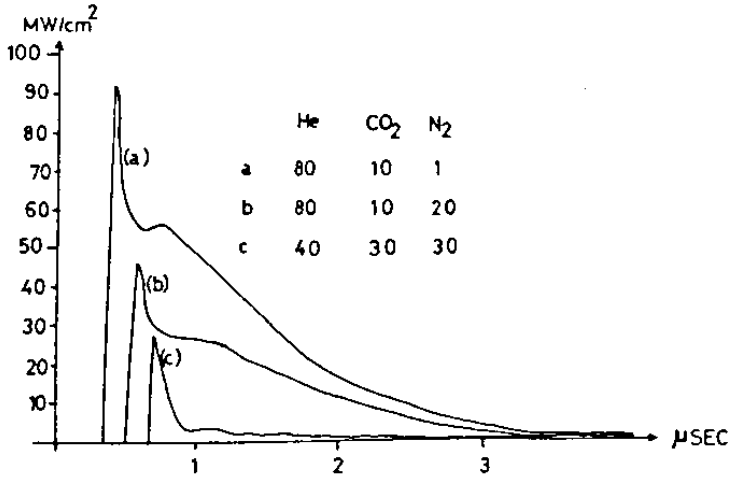


شکل ۱۱ ــ قدرت خروجی لیزر TEA (مگاوات) برحسب زمان برای مقادیرمختلف ضریب انعکاس آئینه‌خروجی (R) (پیش بینی تئوری) قطرپرتوی لیزر: ۱۱ میلی‌متر ــ مخلوط گازی (N_2 ،Co_2 ،He) (۱۴ ،۱/۱۵ ،۰/۷)

کامپیوتری برای $N_0 = 1/5 \times 10^{13}$ الکترون برسانتیمترمکعب برحسب‌تغییرات ضریب انعکاس آئینه‌خروجی بین ۳۰٪ تا ۸۰٪ نشان‌داده‌شده‌است نتایج درجدول مربوط به‌این شکل مشاهده‌می‌شود. مقادیرکل انرژی خروجی پیش بینی شده وحداکثرقدرت مربوطه‌در داخل وخارج حفره‌برای یک لیزرباقطرفعال ۱۱ میلیمتر (سطح‌مقطع ۰/۹۵ سانتیمترمربع) نشان‌داده‌شده‌است. نتایج نشان می‌دهدکه‌برای یک مخلوط (۶ : ۶ : ۴۰) کل انرژی خروجی تغییرمحسوسی نسبت به ضریب انعکاس آئینه‌خروجی‌ندارد لیکن حداکثرقدرت داخلی حفره‌بین ۲۴ تا ۴۳ مگاوات وحداکثرقدرت خروجی بین ۲/۴ تا ۵ مگاوات‌تغییر می‌کند. درعمل آئینه‌خروجی ازیک صفحه‌ژرمانیم باضریب انعکاس حدود ۴۰٪ تشکیل شده‌است. هنگامیکه‌جهت مقایسه‌این‌نتایج باآزمایشهای عملی درلیزرموردنظرازیک آئینه دیگرباضریب انعکاس ۸۰٪ استفاده‌شد لایه‌انعکاس آئینه‌دراثر قدرت لحظه‌ای زیادلیزردر داخل حفره‌صدمه‌دیده‌وپس ازچندضربه‌لیزرازبین رفت. درضمن ازآنجاکه قدرت خروجی لیزربرای ضرایب انعکاس کمتر، بیشتراست، می‌توان نتیجه‌گرفت که‌برای لیزرفوق ضریب انعکاس حدود ۴۰٪ مناسب می‌باشد.

۲-۴- ترکیب مخلوط گازی

درشکل ۱۲ خروجی پیش بینی شده‌لیزربرای سه‌ترکیب‌مختلف‌مخلوط گازی نشان‌داده شده‌است. چنانچه‌مشاهده‌می‌شود باحذف گازازت فقط قله‌اولیه‌درشکل زمانی قدرت خروجی لیزربافی می‌ماندوباافزایش مقدارازت، ضمن اینکه‌نوسانهای لیزر، بدلیل ضریب تقویت بیشتر، زودترشروع‌می‌شود، مقدارحداکثرقله‌قدرت افزایش یافته‌ومقدارزیادی انرژی به‌قسمت دوم ضربان لیزرکه‌دردنباله قله‌اولیه‌ظاهرمی‌گردد، اضافه‌می‌شود. این تغییرات ناشی ازعمل مولکول ازت بعنوان یکانبارذخیره انرژی برای تحریک مولکول گازکربنیک می‌باشدکه‌درقسمت تئوری بآن اشاره‌شده‌است. نتایج مدل کامپیوتری کاملا"با نتایج عملی مطابقت داردوباحذف گازازت ازمخلوط لیزرانرژی آن تقلیل یافته وشکل ضربان‌خروجی به‌یک تک ضربه‌بطول زمانی ۱۰۰ نانوثانیه‌که‌مطابق‌بامنحنی‌زیرین‌شکل ۱۲



شکل ۱۲ ــ قدرت خروجی لیزربرحسب زمان برای سه‌مخلوط مختلف گازهای He ، Co_2 ، N_2 (پیش بینی تئوری)

می‌باشدتبدیل می‌گردد. ازنظرانتخاب بهترین مخلوط برای لیزرموردنظرنتایج‌کامپیوتری نشان می‌دهدکه‌هرقدرمقدار Co_2 وN_2 درمخلوط بیشترباشدقدرت وانرژی خروجی نیز بیشترمی‌شود. این امربانتایج عملی انطباق ندارد. دلیل این امردراین است که‌ازدیاد Co_2 درمخلوط گازی باعث ایجادجرقه‌در تخلیه‌الکتریکی می‌شودواین امردرمدل‌تئوری درنظرگرفته‌نشده‌است. لذاجهت دستیابی به‌بهترین مخلوط گازی بایدبه‌نتایج عملی اتکاءکرد. این نتایج نشان می‌دهدکه‌درترکیب $He - N_2 - Co_2$ (۴۰ : ۳ : ۲) تخلیه باندازه‌کافی پایداربوده‌وانرژی وقدرت خروجی بیشترین مقادیررادارا‌هستند.

درحال حاضرآزمایشهائی جهت اندازه‌گیری ضریب تقویت درلیزرگازکربنیک ضربانی دردست انجام‌است. ازآنجاکه‌ضریب تقویت مستقیما" به‌اختلاف جمعیت دوترازلیزر بستگی دارد، می‌توان مستقیما" اختلاف انبوهی‌اندازه‌گیری شده‌رابانتایج مدل تئوری فوق مقایسه‌نمود. روش فوق‌باحذف پارامترهای چندی ازقبیل ضرایب انعکاس‌آئینه‌های لیزرومقدار اتلاف انرژی درحفره‌لیزر، مقایسه‌نتایج عملی باتئوری وتکمیل کد کامپیوتری "لیزر" راتسهیل خواهدبخشید.

۵ـ نتیجه‌گیری

بطورخلاصه‌دراین مقاله جزئیات طرح وساخت عملی یک لیزرگازکربنیک ضربانی با تخلیه‌عرضی (TEA) وهمچنین یک برنامه‌کامپیوتری که‌براساس مدلهای سینتیکی تئوری مربوطه نوشته‌شده‌است عرضه‌گشته‌اند.

نتایج عملی باپیش بینهای تئوری‌مدل‌مربوطه‌بادقت قابل قبولی تطبیق‌دارند. جهت ازدیاددقت‌مدل تئوری‌درآینده‌می‌توان ازمتد انتگرال‌گیری رونج‌ـکوتادربرنامه‌کامپیوتری استفاده‌نمود وجهت مقایسه‌دقیق‌تربانتایج عملی ضریب‌تقویت لیزرمربوطه‌رابرای خطوط طیفی مختلف ودرشرایط مختلف فشارجزئی ترکیب گازهااندازه‌گیری نمود. اقدامات فوق دردست انجام‌بوده‌وتکمیل کدکامپیوتری "لیزر" رابرای پیش بینی مشخصات لیزرهای‌گاز کربنیک(TEA)برای دستیابی به‌دقت بیشترمیسرخواهدساخت.

REFERENCES

1. J.A. Harrison, Britt. J. Appl. Phys. 18, 1617, (1967).
2. T.Y. Chang, Rev. of Scient. Inst. 44, 405, (1973).
3. E.A. Stappaerts, Appl. Phys. Lett. 40, 1018, (1982).
4. S. Moshfegh Hamadani, Technical Report AEOI-64, NRC 76-39, (1976).
5. K. Smith and R.M. Thomson, Computer Modeling of Gas Lasers, Plenum Press, (1978).
6. G. Herzberg, Molecular Spectra and Molecular Struo-ture II: Infrared and Raman Spectra of Polyatomic Molecules. Van Nostrand (1945).
7. R.J. Harrach, IEEE. J. of Q.E. QE11, 349 (1975).
8. K.R. Manes and H.J. Seguin, J. of Appl. Phys. 43,5073 (1972).
9. J.L. Lachambre et al IEEE. J. of Q.E. QE14, 170 (1978).
10. A.J. Alcock et al IEEE. J. of Q.E. QE11, 767 (1975).
11. P.K. Cheo and R.L. Abrams Appl. Phys. Lett. 14, 47 (1969) also 15, 177 (1969).
12. I. Burak et al, IEEE J. of Q.E. QE9, 541 (1973).
13. J.C. Stephenson et al J. Chem. Phys. 48, 4790 (1968).
14. R.L. Abrams, Appl. Phys. Lett. 25, 609 (1974).
15. N.G. Basov et al, Sov. J. of Q.E, 5, 13339 (1976).
16. C. Bradley Moore et al, J. of Chem. Phys, 46, 4222 (1967).
17. R.L. Taylor and S. Bitterman, Rev. of Mod. Phys, 41, 26 (1969).
18. W.L. Nighan and J.R. Bennett, Appl. Phys. Lett, 14, 240 (1969).
19. W.L. Nighan and J.R. Bennett, Phys. Rev, A2, 1989 (1970).
20. C.J. Elliott et al Los Alamos Scientific Report No.LA 5562-MS (April 1974).

COMPARISON OF THE CHARACTERISTICS OF A CO_2 GAS LASER WITH THE PARAMETERS OBTAINED BY THE FIVE-TEMPERATURE THEORETICAL MODEL*

S. Moshfegh Hamedani, A.A. Yaraghchi, F. Madah
F. Soltanmoradi, M.H. Binesh Marvasti

abstract- Vibro-rotational spectroscopic details of the Co_2 linear triatomic molecule are analysed and energy transfer between vibrational and rotational modes is presented in the form of a five-temperature theoretical model. A system of five coupled partial differential equation is obtained describing the physical state of the Co_2-N_2-He mixture and optical intensity build-up in the laser cavity.

A computer code is developed to solve the above equations and predict laser intensity pulse shapes in time, total output energy and other experimental parameters for a given Co_2 TEA laser. The results are compared with experimental data obtained from a Co_2 TEA laser with transverse excitation, atmospheric pressure and 5 MW output power built in our laboratories. Design construction and performance details of this laser are also presented. Output pulse shapes for various gas mixtures, discharge voltage, mirror reflectivity and other experimental parameters are compared with corresponding theoretical and computational predictions. These comparisons show that the above theoretical model is a valid one and is able to predict the physical and experimental results with very good accuracy.

*This Laser was designed and constructed by Dr.Reza K. Mosavi and Aliasghar Yaraghchi in the Laser Division during the years of 1977-8.