

## مطالعه وابستگی خطوط طیفی لیزر اتمی فلئور به فشار گاز و تحلیل سازوکار دمش لیزر در فشارهای مختلف

محمدصادق زعفرانی، پرویز پروین، رسول صدیقی  
مرکز تحقیقات لیزر  
سازمان انرژی اتمی ایران

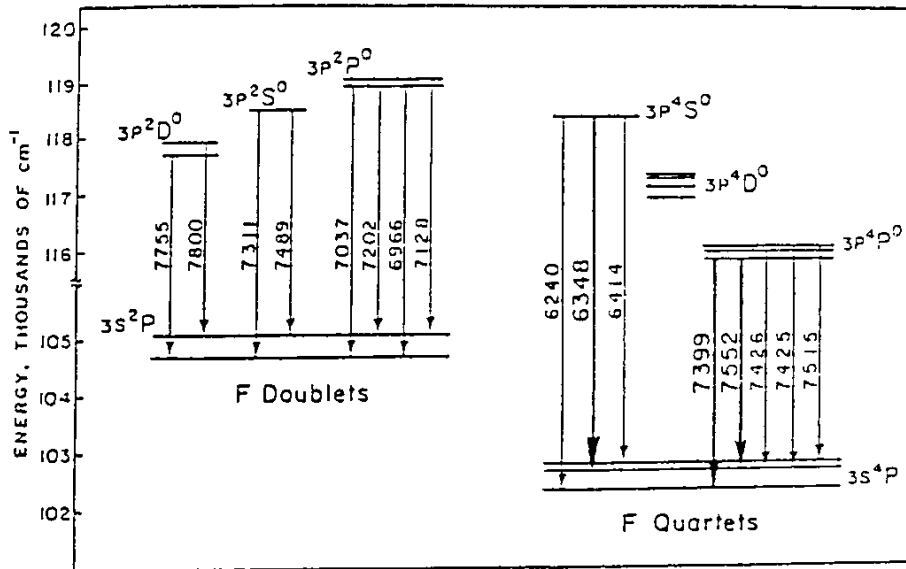
### چکیده

در این آزمایش از سیستم تخلیه الکتریکی بلوملین با ولتاژ کاری ۱۵-۱۰ kV و سیستم پیش یونش ۶۵-۵۵ kV همراه با عناصر کلیدزنی سریع (Hy-۱۱۰۲ EG&G) استفاده شده و دمش سریع و پر توان لیزر اتمی فلئور در مخلوط ۰/۲٪ گاز  $F_2$  رقیق شده در فشار چند جو گاز هلیوم فراهم آمده است. در تمام موارد آزمایش تعداد خطوط طیفی و شدت نسبی آنها قویاً به فشار مخلوط گاز بستگی داشته است. با افزایش فشار گاز به حدود فشار جو و بالاتر، علاوه بر تغییرات چشمگیری که در جهت افزایش بهره و قدرت خروجی حاصل می شود، خطوط جدیدی نیز پدیدار و تقویت می شوند. این خطوط جدید لیزری، با خطوط مولفه‌های حالت دوتایی به دست آمده در فشارهای پایین متفاوت‌اند و به مولفه‌های حالت چهارتایی  $3p^2P^{\circ} \rightarrow 3s^2P$  مربوط می شوند. دمش لیزر فلئور در فشارهای پایین از طریق انتقال بار از یون  $He^+$  به یون  $F^-$  و تولید  $F^*(3p)$  صورت می گیرد. در فشارهای زیاد جو، امکان برخورد یونهای  $He^+$  با اتمهای He بیشتر است و یونهای  $He_2^+$  تولید می شود و این یونها در این حالت از طریق فرایند انتقال بار، نقش عمده‌ای در دمش لیزر ایفا می کنند. بر خلاف برخی گزارشهای موجود، آزمایشها نشان می دهند که ترازهای بالای مولفه‌های  $3p^2S^{\circ} \rightarrow 3s^2P$  بس - لای چهارتایی فلئور شامل خطوط  $6240 \text{ \AA}$ ،  $6348 \text{ \AA}$  و  $6414 \text{ \AA}$  نمی توانند توسط یونهای  $He_2^+$  دمیده شوند.

### مقدمه

۲۷ گذار مختلف از مولفه‌های ساختار ریز بس - لاهای دوتایی و چهارتایی فلئور مجاز است [۲] و تاکنون حداقل ۱۶ گذار لیزری از این مولفه‌ها در بازه  $6240-7800 \text{ \AA}$  مشاهده شده است [۳-۱۹]. لیزر اتمی فلئور در این بازه نسبتاً وسیع طیفی با تغییرات فشار گاز قابل تنظیم است و تقریباً در کلیه فشارها کار می کند. محیط فعال این لیزر از رقیق کردن یکی از دهنده‌های فلئور (مانند  $CF_4$ ،  $SF_6$ ،  $C_2F_6$ ،  $HF$ ،  $NF_3$  و  $F_2$ ) در مخلوطی با فشار چند تور تا چندین جو گاز هلیوم به دست می آید. در شکل (۱) ترازهای انرژی و گذارهای لیزری اتم فلئور به طور طرح وار آمده است.

لیزر اتمی فلئور اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط کواکس و اولتی با استفاده از سیستم دمش تخلیه الکتریکی تپی در مخلوط گازی با فشار چند تور از He و  $CF_4$  ابداع شد [۱] و خطوط  $712/8$ ،  $703/7$  و  $720/2 \text{ nm}$  با عرض تب حدود  $1 \mu s$  و قله توان حدود  $150 \text{ W}$  به دست آمد. اتم فلئور پنج الکترون  $2p$  در لایه خارجی دارد. هر یک از این الکترونها که به تراز بالاتر  $3p$  برانگیخته شوند، در ترکیب با چهار الکترون دیگر، حالت‌های  $S$ ،  $P$  و  $D$  با اسپین کل متناظر با حالت‌های دوتایی یا چهارتایی را تشکیل می دهند. بنابر قاعده انتخاب،

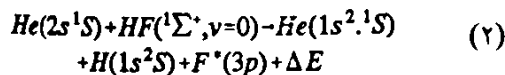
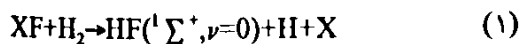


شکل ۱- نمودار طرح وار ترازهای انرژی و گذارهای لیزری اتم فلئورید

مخلوط گاز (He:F<sub>v</sub>(۵۴۰۰:۱)) با فشار کل چند تور گزارش شده و توان ۲۰۰ mW به دست آمده است [۱۸].

#### سازوکار دمش لیزر اتمی فلئورید

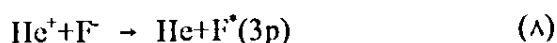
جفرز و ویسوال [۳] که عملکرد لیزر فلئورید را با استفاده از مخلوط (۶:۱) He:HF گزارش دادند، سازوکار دمش آن را از طریق برخورد هلیوم برانگیخته به تراز نیمه پایدار ۲s¹S با یک دهنده فلئورید (مانند HF) توصیف کردند:



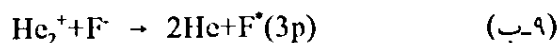
که در آن XF یک دهنده فلئورید (مانند CF<sub>v</sub>, C<sub>v</sub>F<sub>v</sub>)، اما بعداً معلوم شد که واکنشهای (۱) و (۲) تنها یک حالت خاص از دمش

در سال ۱۹۷۶ عملکرد لیزر اتمی فلئورید با به کارگیری دمش الکتریکی سریع توسط بیجیو و بگلی [۶] وارد مرحله جدیدی شد و انگیزه ادامه تحقیقات بر روی این لیزر جالب توجه را تقویت کرد. در آزمایش آنها پنج خط مختلف لیزری در نزدیکی ۷۱۰ nm با عرض تب ۲۰-۳۰ ns و قله توان ۷۰ kW به دست آمد. اولین آزمایشهای فشار بالای این لیزر توسط لوری و زی [۸] با استفاده از سیستم پیش یونش UV و مخلوط ۰/۸ درصد F<sub>v</sub> در He تا فشار حدود ۰.۲ atm و نیز توسط لیزریتسین و رازف [۹] با استفاده از مخلوط (۱۰۰:۱) He:Nf<sub>v</sub> تا فشار ۴ atm انجام شد. مدتی بعد قله توان ۳۰۰ kW توسط گروه چاپفسکی به دست آمد [۱۰]. عملکرد تب بلند (≥ ۱۰۰ μs) این لیزر با استفاده از سیستم کاند میان تهی و ایجاد ناحیه پرتو منفی در مخلوط گازی با فشار چند تور از He:SF<sub>v</sub> و He:Nf<sub>v</sub> گزارش شد [۱۳] و امکان عملکرد پیوسته یا شبه پیوسته این لیزر نیز مورد بررسی قرار گرفت [۱۵]. عملکرد موج پیوسته این لیزر در سال ۱۹۸۴ با استفاده از سیستم دمش باریکه الکترونی پر انرژی در

و F به نحو موثری جفت شود [۲۰]. این مطلب به طور تجربی نیز مورد تأیید قرار گرفت [۱۴]. میلر و مورگنر در عوض، سطح مقطع نسبتاً بزرگی برای واکنش زیر پیش بینی کردند.

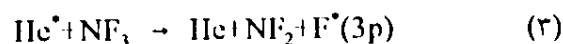


از طرف دیگر کالیتز و همکارانش [۱۶] در فشارهای زیاد جو ارتباطی قوی بین جمعیت یونهای  $\text{He}_2^+$  ایجاد شده توسط باریکه الکترونی پر انرژی از یکسو و شدت گسیل خود به خودی مولفه های حالت چهارتایی  $3p^1P^{\circ}_{5/2} \rightarrow 3s^1P_{3/2}$  و  $3p^1P^{\circ}_{3/2} \rightarrow 3s^1P_{5/2}$  فلئوئر اتمی از سوی دیگر مشاهده کردند. آنها پیشنهاد کردند که واکنش (۹) محتملترین سازوکار دمش لیزر اتمی فلئوئر در فشارهای زیاد جو است.

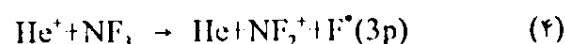


واکنش (۹ - ب) یک فرایند انتقال بار را توصیف می کند که در آن ابتدا یک الکترون ۲p یون  $\text{F}^-$  به یون  $\text{He}_2^+$  منتقل و سپس الکترون دیگر با انرژی اضافی موجود به تراز ۳p برانگیخته می شود. در شکل‌های (۲) و (۳) سازوکار دمش لیزر اتمی فلئوئر به طور طرح‌وار آمده و فرایندهای اتلافی و واهلشی نیز مشخص شده است [۱۹]. در فشارهای پایین، سازوکار دمش متفاوت است و واکنش (۸) محتملترین سازوکار را تشکیل می دهد. به عبارت دیگر، دمش لیزر در فشارهای پایین از طریق انتقال بار از یون  $\text{He}^+$  به یون  $\text{F}^-$  و تولید  $\text{F}^*(3p)$  صورت می گیرد. یونهای  $\text{F}^-$  از تجزیه‌دهنده‌های فلئوئر در برخوردهای الکترونی تولید می شوند. از این طریق، بیشتر انرژی دمش صرف جمعیت‌دارکردن تراز بالایی بس - لای

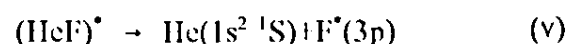
لیزر فلئوئر است، زیرا این واکنشها مستلزم حضور  $\text{He}_2^+$  است که جزء ضروری این سیستم لیزری به شمار نمی رود. لاولر و همکارانش [۱۴] ضمن تأکید بر این مطلب که هلیوم به هرحال جزء ضروری این سیستم لیزری است، با اندازه گیری حد فوقانی آهنگ واهلش برخوردهای هلیوم ( $2^1P$  و  $2^3P$ ,  $2^1S$ ) نشان دادند که انتقال انرژی از هلیوم برانگیخته خشی به  $\text{NF}_3$  نمی‌تواند سازوکار دمش لیزر را در مخلوط  $\text{He}:\text{NF}_3$  تشکیل دهد:



آنها امکان واکنش زیر را نیز غیر محتمل دانستند.



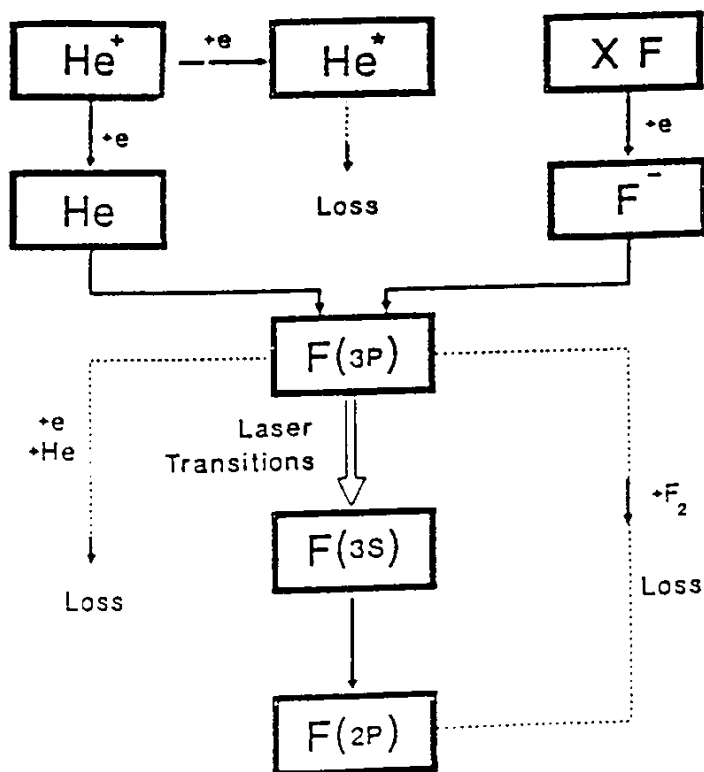
زیرا این واکنش گرماگیر است و با حداکثر انرژی در دسترس که حدود ۱۰/۲ eV است تولید  $\text{F}^*(3p)$  با انرژی ۱۴/۷۵ eV امکان پذیر نخواهد بود. در سال ۱۹۷۶، هوکر و فی [۷] فرض کردند که دمش لیزر فلئوئر از طریق تجزیه اکسایمر  $(\text{HeF})^*$  به حالت پایه هلیوم و حالت برانگیخته فلئوئر  $\text{F}^*(3p)$  انجام می شود. بر طبق نظر هوکر، اکسایمر  $(\text{HeF})^*$  از تلفیق اتم فلئوئر در حالت پایه و اتم هلیوم برانگیخته به تراز  $2^1S$  یا  $2^1P$  تشکیل می شود.



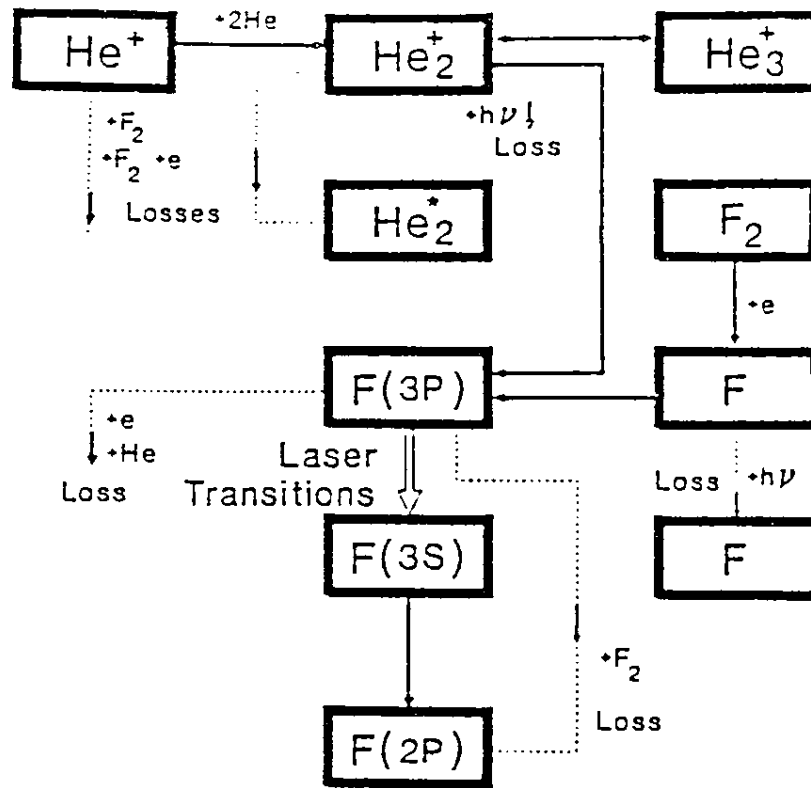
اما مدل نظری میلر و مورگنر نشان داد که بخش جاذب منحنی پتانسیل  $(\text{HeF})^+$  نمی‌تواند با کانال ورودی  $\text{He}^+$

$3p^1S^0 \rightarrow 3s^1P$  (شامل خطوط  $6240\text{\AA}$ ,  $6348\text{\AA}$  و  $6414\text{\AA}$ ) متعلق به بس - لای چهارتایی فلورور نمی تواند توسط یونهای  $He^+$  دمیده شوند زیرا شدت خطوط لیزری حاصل از آنها در فشارهای زیاد جو با افزایش فشار کاهش می یابد و به تدریج به صفر می رسد.

دوتایی فلورور ( $3s^1P \rightarrow 3p^1S^0$ ,  $3s^1P \rightarrow 3p^1P^0$ ) و  $3p^1D^0 \rightarrow 3s^1P$  می شود. اما در فشارهای زیاد جو امکان برخورد یونهای  $He^+$  با اتمهای  $He$  بیشتر است و یونهای  $He^+$  تولید می شوند که قبل از این تجربه تصور می شد دمش کلیه خطوط حالتی چهارتایی فلورور  $3p^1P^0 \rightarrow 3s^1P$  و  $3p^1S^0 \rightarrow 3s^1P$  را برعهده دارند. تاکنون برای خطوط متعلق به مولفه های بس - لای چهارتایی رفتار متفاوتی گزارش نشده است. مادر آزمایش های مکرر خود بدین نتیجه رسیدیم که مولفه های



شکل ۲- نمودار طرح وار سازوکار دمش لیزر اتمی فلورور در فشارهای پایین



شکل ۳- نمودار طرح‌وار سازوکار دمش لیزر اتمی فلونور در فشارهای زیاد

### وسایل و تجهیزات آزمایش

به دلیل میل ترکیبی شیمیایی شدید فلونور، جنس محفظه لیزر از تفلون (PTFE) انتخاب شده است. تفلون نه تنها قدرت تحمل ولتاژهای خیلی بالا را داراست و در فشارهای چندین جو از استحکام خوبی برخوردار است، بلکه در مقابل اثر خوردگی گاز فلونور نیز بسیار مقاوم است. برای ساخت محفظه لیزر، بر روی قطعه مکعب مستطیلی از تفلون به ابعاد  $5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 68 \text{ cm}$  کانالی به ابعاد  $3/5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 62 \text{ cm}$  ایجاد شده است [۲۳]. پنجره‌های لیزر از جنس  $\text{MgF}_2$  انتخاب شده و آینه‌ای با پوشش آلومینیومی به عنوان آینه عقب از خارج بروی یکی از پنجره‌های آن نصب شده است. دمش الکتریکی لیزر توسط سیستم بلوملین انجام

می‌شود که توانایی ایجاد تپهای بزرگ جریان را در زمانهای بسیار کوتاه داراست [۲۱]. این سیستم شامل یک کلیدزنی سریع ولتاژ بالا (تایروترون هیدروژنی EG&G Hy-۱۱۰۲) و خازنهای صفحه‌ای بزرگ (خطوط انتقال صفحه‌ای) با خودالقایی بسیار کم و با ظرفیتهای  $14 \text{ nF}$  و  $10/8 \text{ nF}$  است. تخلیه الکتریکی در این سیستم به صورت عرضی است و با ولتاژ شارژ  $10\text{ kV}$  -  $15 \text{ kV}$  در فشارهای گاز تا چندین جو قابل اجراست. خیزش تپ جریان در کانال تخلیه بسیار سریع و در حدود  $2\text{ nsec}$  -  $3 \text{ nsec}$  است [۲۲]. الکترودها از جنس آلومینیوم و به طول  $55 \text{ cm}$  انتخاب شده‌اند و به فاصله  $1 \text{ cm}$  از یکدیگر قرار دارند. برای این که سیستم دمش تخلیه الکتریکی بلوملین بتواند در فشارهای زیاد جو عمل کند و برای اجتناب از

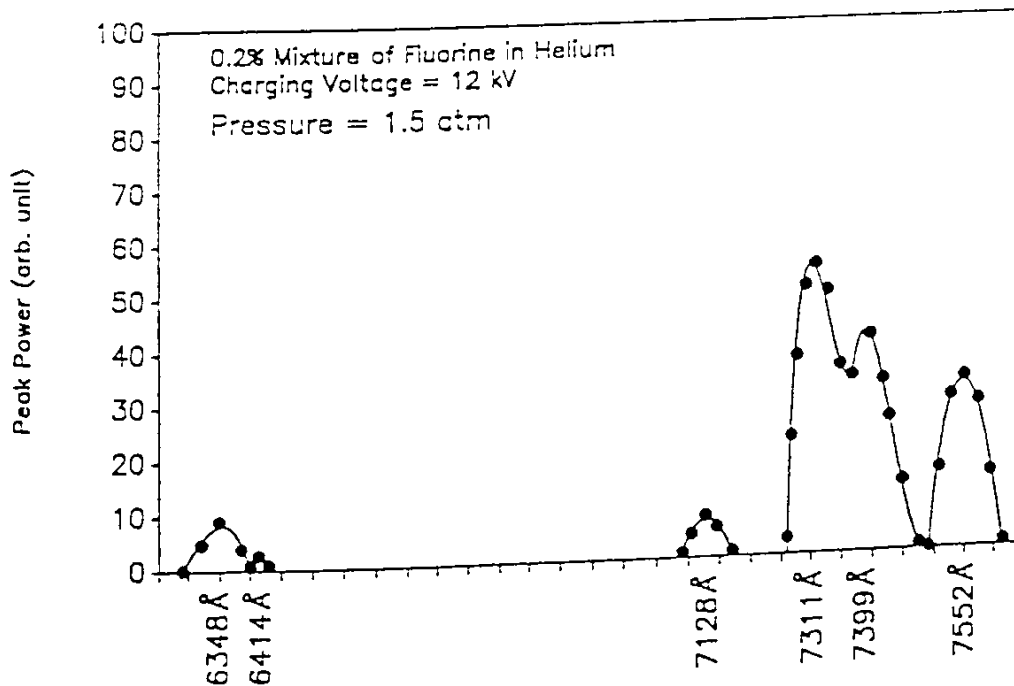
آشکارساز نیمه‌رسانای ۱۰۰ P-I-NEG&G-FND با پاسخ سریع و نوسان نمای نکترونیکیس ۴۰۰ MHz (۷A ۱۸ & ۷B ۹۲A Plug in ۷۸۲۴) همراه با دوربین عکسبرداری انجام شده و برای جداسازی خطوط لیزر از تکفام ساز منشوری WDG۳۰ مجهز به شمارگر طول موج استفاده شده است [۲۴]. به منظور جلوگیری از هرگونه اختلال ناشی از نوفه سیستمهای مجاور، کل سیستم آشکارسازی و اندازه‌گیری در داخل محفظه‌ای با پوشش آلومینیومی قرار داده شده است.

#### نتایج مشاهدات تجربی

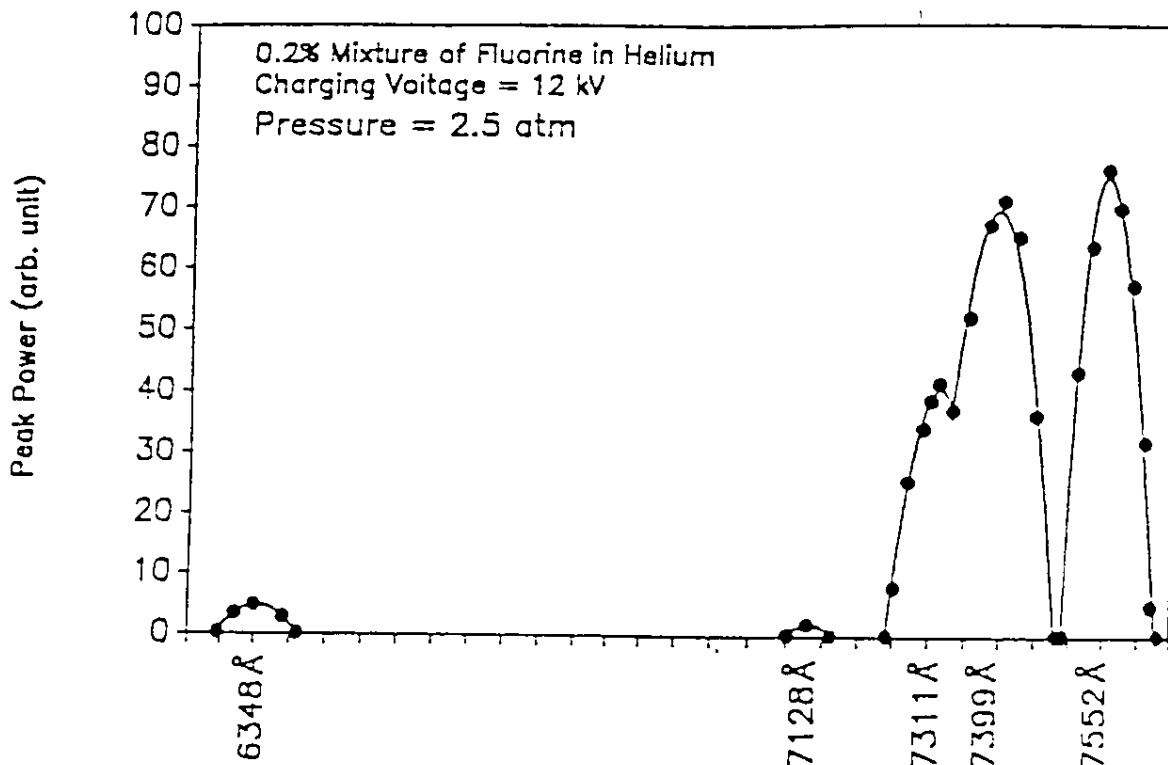
در آزمایشهای متعددی که با استفاده از نوسانگر لیزر انجام شد، خطوط مختلف لیزری حالت‌های دوتایی و چهارتایی فلورور اتمی با استفاده از مخلوط ۰/۲٪ گاز  $F_2$  رقیق شده در هلیوم به دست آمد. در شکل‌های (۴، ۵ و ۶) طیف خطوط به دست آمده از نوسانگر لیزر اتمی فلورور در ولتاژ شارژ ۱۲kV و به ازای سه فشار مختلف رسم شده است.

به کار بردن ولتاژهای بسیار زیاد که به کارایی گاز لطمه می‌زند و فرایندهای سیتیک آن را مختل می‌کند و به خاطر حفظ یکنواختی تخلیه، لازم است از یک سیستم پیش یونش مناسب استفاده شود. این سیستم با فراهم آوردن ولتاژ ضربه‌ای ۶۵-۵۵ kV از طریق یک الکتروود خارجی، حالت ضعیفی در محیط فعال لیزرایجاد می‌کند و پاگیری (امپدانس) آن را کاهش می‌دهد تا سطح ولتاژ شکست به طور نسبی تنزل یابد و محیط لازم برای تخلیه الکتریکی یکنواخت و بدون جرقه آماده شود. الکتروود پیش یونش در بالای محفظه لیزر روی خط مرکزی به موازات الکتروودهای اصلی تخلیه نصب شده است. سیستم پیش یونش شامل یک مولد تپی ولتاژ بالا است که شبیه مولد مارکس عمل می‌کند و دارای دو خازن ( $C_1=25nF, C_2=2nF$ )، یک تاپروترون هیلدروژنی (EG&G-۱۱۰۲ Hy)، و شش کابل موجبر هم محور (RG-۲۱۸/U) به طول ۱۰m و با پاگیری مشخصه  $50 \Omega$  است.

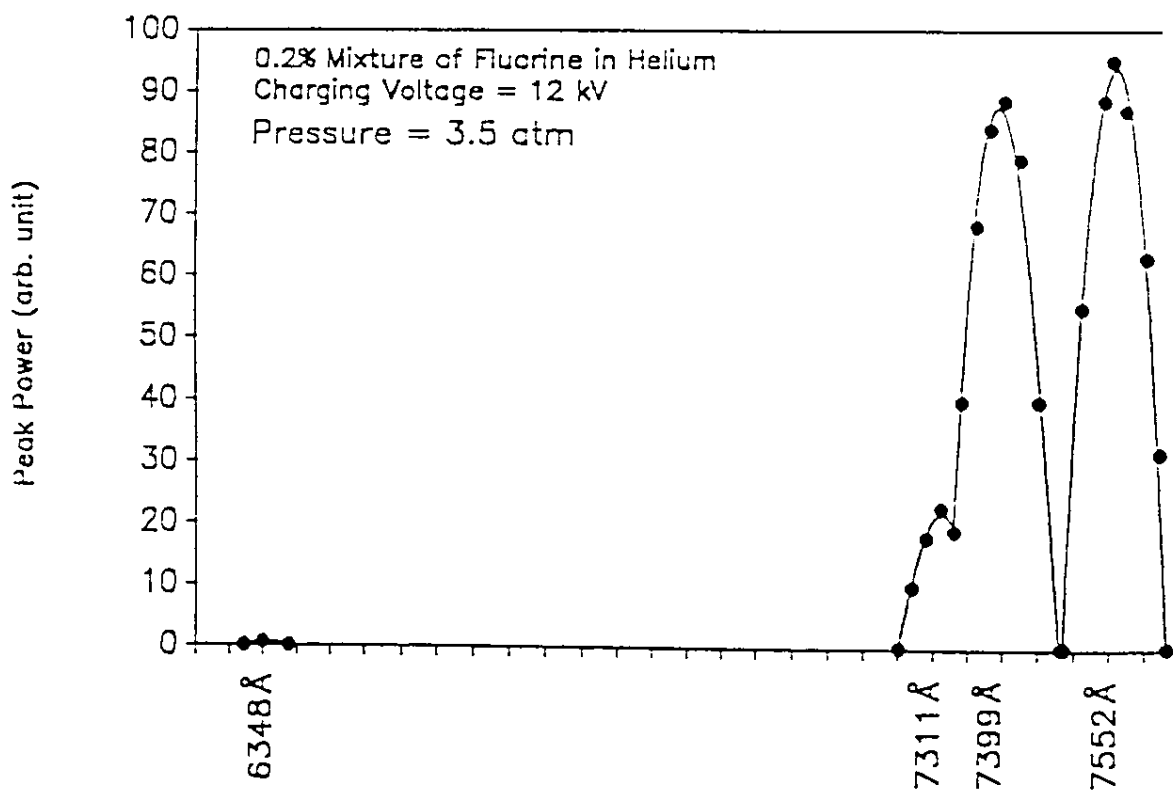
آشکارسازی و اندازه‌گیری تپهای سریع لیزر با عرض حدود ۸ns و بسامد تکرار ۱-۳ Hz، توسط



شکل ۴- طیف خطوط لیزری فلورور اتمی در فشار ۱/۵ atm



شکل ۵. طیف خطوط لیزری فلورین اتمی در فشار ۲/۵ atm



شکل ۶. طیف خطوط لیزری فلورین اتمی در فشار ۳/۵ atm

شکل (۱۰) تغییرات قله توان کل لیزر اتمی فلئوئور را بر حسب تغییرات فشار و به ازای چند ولتاژ شارژ مختلف نشان می دهد. منحنی تغییرات قله توان کل بر حسب تغییرات ولتاژ شارژ سیستم به ازای چند فشار مختلف در شکل (۱۱) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود در محدوده ولتاژ شارژ ۱۴-۱۰ kV، توان کل لیزر به ازای یک فشار ثابت با افزایش ولتاژ به طور خطی افزایش می یابد.

#### نتیجه گیری

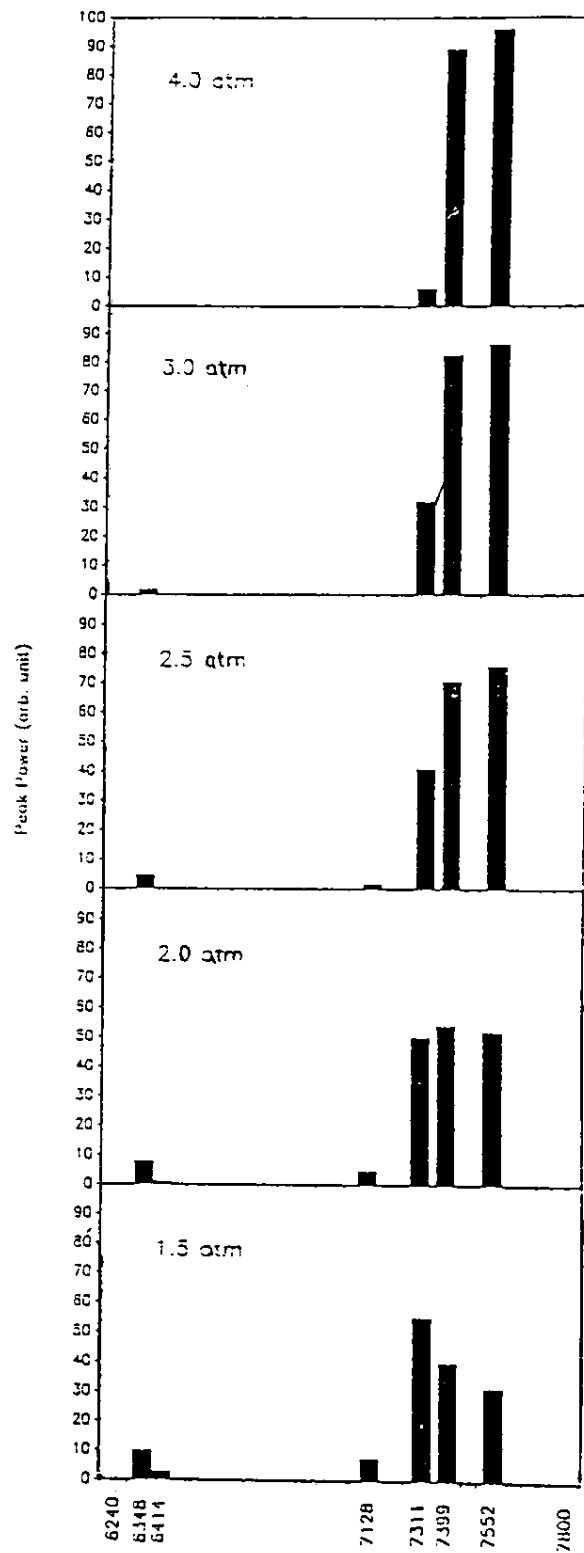
نتایج حاصل از این پروژه دستاوردهای نظری و تجربی آزمایشهای پیشین بر روی لیزر اتمی فلئوئور را تصحیح و تکمیل می کند. آزمایشها نشان می دهند که اولاً سازوکار دمش این لیزر در فشارهای بالا با سازوکار دمش در فشارهای پایین تفاوت دارد. به طوری که در فشارهای بالا دمش لیزر عمدتاً از طریق فرایند انتقال بار از یونهای  $He_7^+$  صورت می گیرد، و ثانیاً ترازهای بالایی مولفه های  $3s^1P \rightarrow 3p^1S^0$  بس - لای چهارتایی فلئوئور شامل خطوط  $6240\text{\AA}$ ،  $6348\text{\AA}$  و  $6414\text{\AA}$  نمی توانند توسط یونهای  $He_7^+$  دمیده شوند، زیرا شدت خطوط لیزری حاصل از آنها در فشارهای زیاد جو با افزایش فشار کاهش می یابد و به تدریج به صفر می رسد.

لیزر اتمی فلئوئور به دلیل قدرت خروجی بالا، علاوه بر کاربردهای فوتوشیمیایی، برای دمش لیزرهای رزین آی فرورسرخ نزدیک نیز مناسب است. این سیستم لیزری همچنین به دلیل دارا بودن قابلیت دمش سریع و پر توان و نیز مقاوم بودن در مقابل اثر خوردگی هالوژنها، برای دمش کلیه لیزرهای گروه اکسایمر مناسب است [۲۵] و [۲۶].

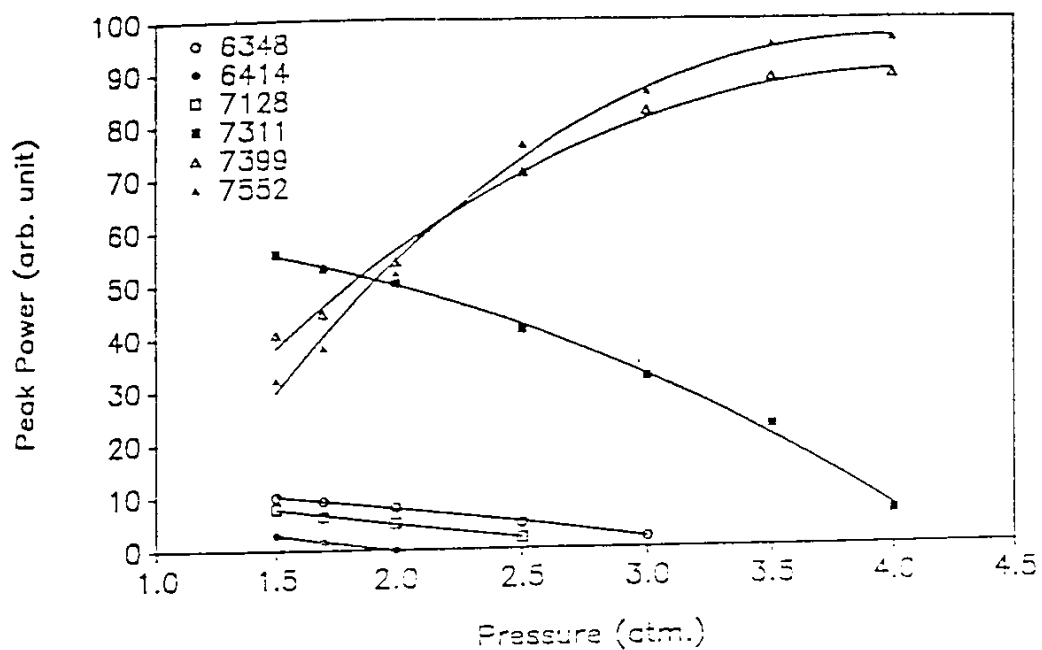
همان طور که در شکلها مشاهده می شود، شدت خطوط دوتایی  $7128\text{\AA}$  و  $7311\text{\AA}$  و نیز شدت خطوط چهارتایی  $6348\text{\AA}$  و  $6414\text{\AA}$  با افزایش فشار گاز کاهش می یابد، در حالی که شدت خطوط چهارتایی  $7399\text{\AA}$  و  $7552\text{\AA}$  افزایش می یابد. شکل (۷) همین نتایج را به ازای پنج فشار مختلف نشان می دهد. این نتایج از طرفی گزارش لیزتسین و رازف [۹] را در مورد این که در فشارهای بالاتر از ۲atm فقط دو خط لیزری  $7399\text{\AA}$  و  $7552\text{\AA}$  حضور دارند، تایید می کند و از طرف دیگر در حقیقت تصحیحی بر گزارشهای قبلی است [۸]، [۱۱]، و برای اولین بار منحنی تغییرات شدت خطوط لیزری فلئوئور اتمی را بر حسب تغییرات فشار کل گاز تا ۲atm به دست می دهد. شکل (۸) نمودار این تغییرات را برای مخلوط ۶/۰٪ گاز  $F_2$  در هلیوم و به ازای ولتاژ شارژ ۱۲ kV نشان می دهد. این نمودار، نتایج مشاهدات هوکر و فی [۷] در فشارهای پایین را تکمیل می کند.

مجموع خطوط لیزری فلئوئور اتمی به دست آمده در فشارهای زیاد جو، خروجی پر توانی را تشکیل می دهد که به علت بهره بالای لیزری استفاده از کاواک تشدید را برای عملکرد این لیزر غیر ضروری می سازد. در توافق با نتایج کار محققان ژاپنی [۱۱]، تفاوتی در الگوی خروجی لیزر بین تابش ابرتابندگی و تابش حاصل از کاواک مشاهده نمی شود. پهنای تب خروجی لیزر (FWHM) در تمام موارد آزمایش تقریباً ثابت و حدود ۸ ns بوده است. شکل (۹) تب مجموع خطوط لیزر را که در ولتاژ شارژ ۱۲ kV، بسامد ۱/۵ Hz و به ازای فشار کل ۲/۵ atm به دست آمده است، با تضعیف شدت حدود ۱/۵٪ شدت ورودی آشکارساز ( $50\% \times 30\% \times 10\% = NDF$ ) نشان می دهد.

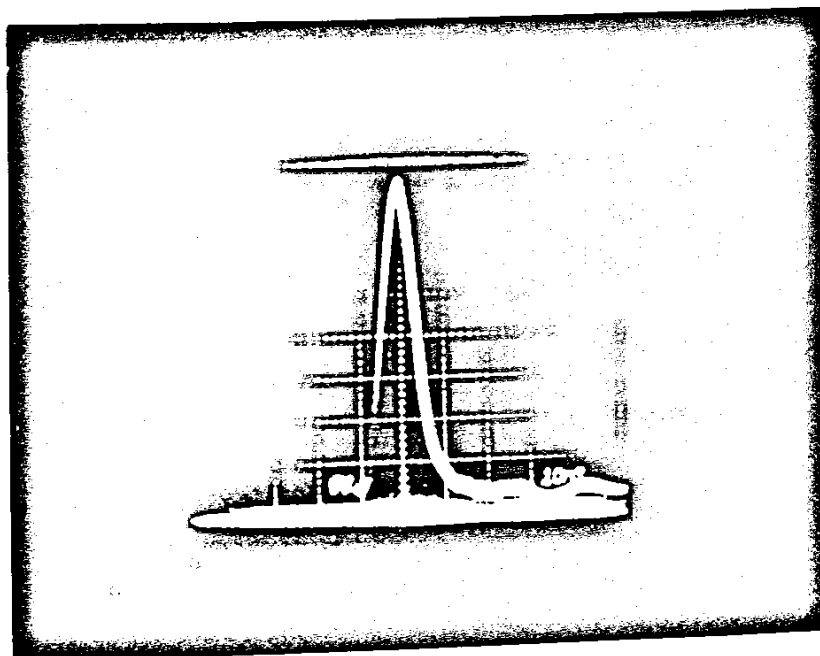




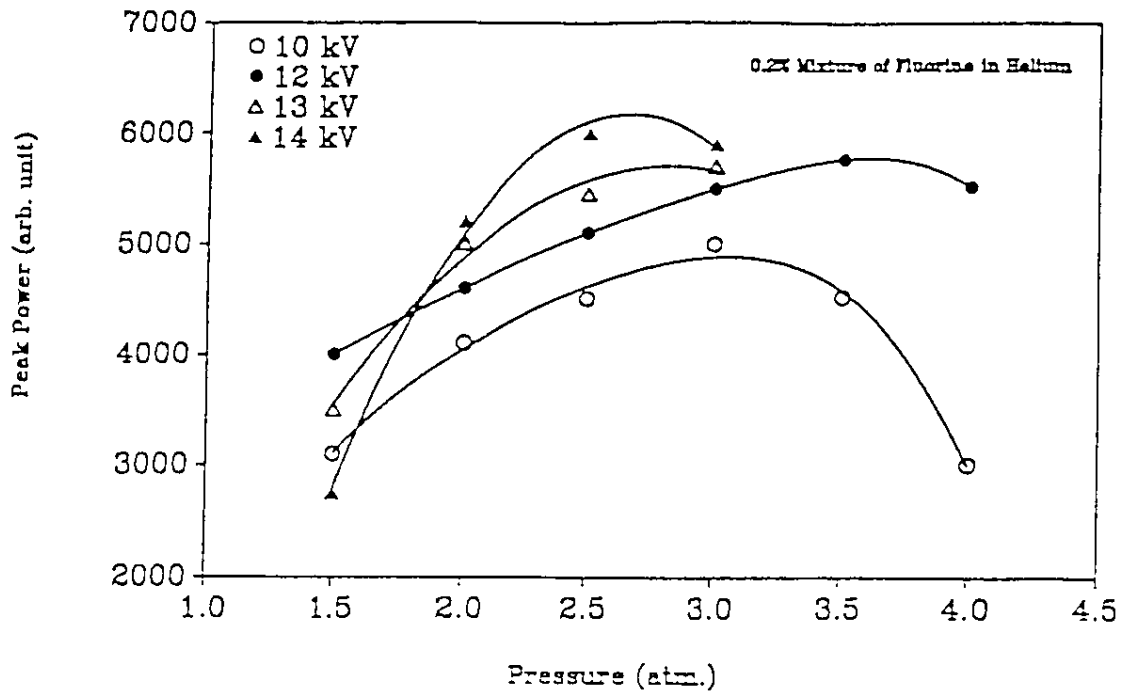
شکل ۷- تغییرات شدت خطوط لیزری فلئور اتمی به ازای فشارهای مختلف



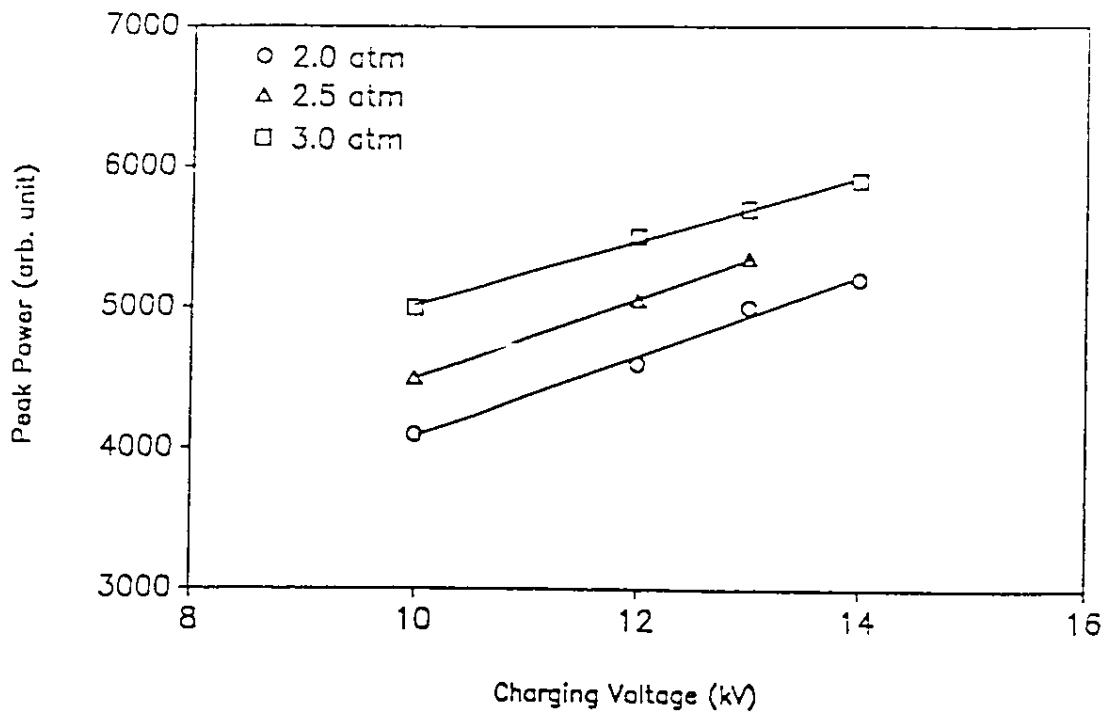
شکل ۸- منحنی تغییرات شدت خطوط لیزری فلورنور اتمی بر حسب تغییرات فشار گاز



شکل ۹- تب مجموع خطوط لیزر اتمی فلورنور در فشار ۲/۵ atm



شکل ۱۰- منحنی تغییرات توان کل لیزر اتمی فلورینور برحسب تغییرات فشار



شکل ۱۱- منحنی تغییرات توان کل لیزر اتمی فلورینور برحسب تغییرات ولتاژ شارژ

## References

1. M.A. Kovacs and C.J. Ultee, *Appl. Phys. Lett.* 17,39 (1970).
2. C.B. Moore, *Atomic Energy Levels (National Bureau of Standards Circular, 1949), Vol.1*
3. W.Q. Jeffers and C.E. Wiswall, *Appl. Phys. Lett.* 17,444 (1970).
4. A.E. Florin and R.J. Jensen, *IEEE J. Quant. Electron.* QE-7, 472 (1971).
5. D.G. Sutton, L. Galvan, P.R. Valenzuela, and S.N. Suchard, *IEEE J. Quant. Electron.* QE-11, 54 (1975).
6. I.J. Bigio and R.F. Begley, *Appl. Phys. Lett.* 28, 263 (1976).
7. L.O. Hocker and T.B. Phil, *Appl. Phys. Lett.* 29, 493 (1976).
8. T.R. Lorce and R.C. Sze, *Opt. Commun.* 21, 255 (1977).
9. V. N. Lisitsyn and A.M. Razhev, *Sov. Tech. Phys. Lett.* 3(9), 350 (1977).
10. P.L. Chapovsky, S.A. Kochubei, V.N. Lisitsyn, and A.M. Razhev, *Appl. Phys.* 4,231 (1977).
11. S. Sumida, M. Obara, and T. Fujioka, *J. Appl. Phys.* 50, 3884 (1979).
12. A. Rothem and S. Rosewaks, *Opt. Commun.* 30, 227 (1979).
13. J. K. Crane and J.T. Verdeyen, *J. Appl. Phys.* 51(1), 123 (1979).
14. J.E. Lawler, J.W. Parker, L.W. Anderson and W.A. Fitzsimmons, *IEEE J. Quant. Electron.* QE-15, 609 (1979).
15. O.G. Bespalov, V.V. Veselovskii, A.I. Nastyukha, & O.A. Kushlyanskii, *Sov. Tech. Phys. Lett.* 6(12), 640 (1980).
16. C.B. Collins, F.W. Lee, and J.M. Carroll, *Appl. Phys. Lett.* 37, 857 (1980).
17. R. Sadighi-Bonabi, F.W. Lee, and C.B. Collins, *J. Appl. Phys.* 33, 3418 (1982).
18. J.J. Rocca, J.D. Meyer, B.G. Pihlstrom, and G.J. Collins, *IEEE J. Quant. Electron.* QE-20, 6, 625 (1984).
19. R. Sadighi-Bonabi, *Proceedings of The 7th International Congress, Laser & Optoelectronics*, 771-782 (1985).
20. W.H. Miller and H. Morgner, *J. Chem. Phys.* 67, 4923 (1977).
21. P. Parvin, M.S. Zaeferani, A. Zare, and R. Sadighi, "Simulation of Electric Discharge in a Blumlein Pumping Circuit", *Proceedings of International Conference on Electrical Engineering*, Amirkabir University, May (1993).
22. P. Parvin, Etol, "Computer Simulation of Nitrogen Laser", *Proceedings of the 2nd International Conference on Lasers and their Applications*", AEOI, August (1993).
23. M.S. Zaeferani, P. Parvin, and R. Sadighi, "Fabrication and Optimization of Series Oscillator-Amplifier of an Atomic Fluorine Laser", *Abstracts of Annual Physics Conference of Iran*, Kordestan University, August (1994).

24. M.S. Zaeferani, P. Parvin, and R. Sadighi, "Pressure Dependence of Spectral Lines of a High Power High Pressure Atomic Fluorine Laser", *Journal of Optics & Laser Technology*, Vol. 28, No. 3, PP. 203 - 205, April (1996).
25. P. Parvin, M.S. Zaeferani, and R. Sadighi, "Intense Blue - Green XeF (C → A) Laser Radiation for Transmitting Communication Signals to Submerged Submarines", *Proceedings of International Conference on Telecommunications*, Istanbul, Turkey, April (1996).
26. P. Parvin, M.S. Zaeferani, and R. Sadighi, "Measurement of the Small Signal Gain and Saturation Intensity of XeF Discharge Laser", Accepted for Publication by the *Optical Society of America, Applied Optics*, Vol. 36/No. 6/20 Feb (1997).

**PRESSURE DEPENDENCE OF THE SPECTRAL LINES OF AN ATOMIC FLUORINE LASER  
AND THE PUMPING MECHANISMS**

M.S. Zaeferani, P. Parvin and R. Sadighi  
Laser Research Center  
Atomic Energy Organization of Iran

**Abstract**

An atomic fluorine laser was operated over a wide range of pressures and the total of six intense lines were observed with nearly the same pulse width of 8 nsec for various gas pressures. It was found that the number of the lasing lines strongly depends upon the pressure. At high pressure, the intensity of two quartet lines, 6348 and 6414 Å, like that of the doublet lines, decreases with increasing the total pressure, and the laser transitions are mainly in two quartet lines, 7399 and 7552Å. The pumping mechanisms at high pressures appear to be different from those of relatively low pressures.