



## بررسی اثر گسست چندفوتونی گاز $\text{SF}_6$ بر شکل تپ‌های لیزری گاز کربنیک فشار اتمسفری

صالحه بهشتی پور<sup>۱\*</sup>، ابراهیم صفری<sup>۱</sup>، عباس مجدآبادی<sup>۲</sup>، فاطمه رازقی<sup>۲</sup>، داود احدپور<sup>۲</sup>، زهرا پورحسن‌نژاد<sup>۲</sup>، مریم ایلچی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز

<sup>۲</sup> پژوهشکده لیزر و اپتیک، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران

چکیده - در این پژوهش، اثر گسست چندفوتونی گاز  $\text{SF}_6$  بر شکل تپ‌های لیزری گاز کربنیک فشار اتمسفری بررسی شده است. فشار گاز  $\text{SF}_6$  در گستره ۰-۱۲۰ mbar تغییر داده شد و در هر فشار، شکل تپ‌ها ثبت شدند. با افزایش فشار در بازه ۷۰-۸۵ mbar، یک افت ناگهانی در نسبت دامنه میخه به دنباله تپ لیزری دیده شد که سرانجام در فشارهای بالاتر از ۸۵ mbar به حذف کامل میخه و برجا ماندن دنباله‌ی تپ‌ها همچون یک تپ بلند ۴-۵  $\mu\text{s}$  انجامید.

کلید واژه- لیزر گاز کربنیک فشار اتمسفری، گاز هگزافلوروئوریدسولفور، گسست چندفوتونی

## Investigation on Multi-Photon Dissociation Effects in $\text{SF}_6$ on TEA $\text{CO}_2$ Lasers Pulse Shape

S.Beheshtipour<sup>1\*</sup>, E.Safari<sup>1</sup>, A.Majdabadi<sup>2</sup>, F.Razeghi<sup>2</sup>, D.Ahadpour<sup>2</sup>, Z.Pourhassannejad<sup>2</sup> and M.Eilchi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics, University of Tabriz, Tabriz

<sup>2</sup> Laser & Optics Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran

Abstract- In this work, the effects of multi-photon dissociation in  $\text{SF}_6$  on TEA  $\text{CO}_2$  lasers pulse shape were investigated. The pressure of  $\text{SF}_6$  gas was changed in 0-120 mbar range and the related laser pulse shapes were recorded. By increasing the gas pressure up to 70-85 mbar, a sudden drop in the spike to tail amplitude ratio was observed tending to a 4-5  $\mu\text{s}$  long pulse with completely removed spike at the pressures higher than 85 mbar.

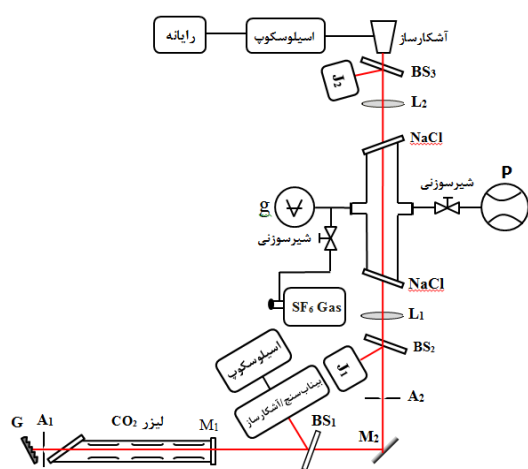
Keywords: TEA  $\text{CO}_2$  laser,  $\text{SF}_6$ , Multi-Photon Dissociation

## ۱- مقدمه

تپ‌های لیزری به کمک عدسی‌های مناسب، با کاهش اندازه سطح مقطع باریکه و افزایش شاریدگی آن، به‌ویژه در لکه‌ی کانونی، به شاریدگی آستانه‌ی گسست چندفوتونی مولکول‌های خواسته شده و بسیار بالاتر از آن نیز دست یافت.

## ۲- آزمایش

چیدمان به کار گرفته شده در این رشته آزمایش‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): چیدمان آزمایشگاهی به کاررفته.

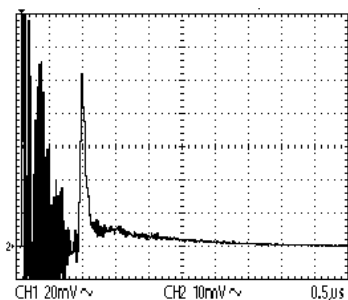
این چیدمان، دربرگیرنده یک لیزر گازکربنیک تپی فشار اتمسفری کوک‌پذیر Lumonics, model 103-2 است که روی خط  $10P(20)$  تنظیم شده است. کاواک بازآواگر لیزر دربرگیرنده یک توری پراش خمیده  $100\text{ mm}^{-1}$  به شعاع  $m$  ۳۰ و آینه‌ی جلوی ژرمانیومی  $M_1$  با تراگیل ۵۰٪ است. تپ‌های گسیلی این لیزر دارای انرژی  $4\text{ J}$  و دربرگیرنده یک لبه پیشرو با دیرش زمانی پیرامون  $90\text{ ns}$  و یک دنباله به درازای  $5-3\text{ }\mu\text{s}$  با آمیزه‌ی گازی

$5:4:0.1\text{ CO}_2:\text{N}_2:\text{He}$  است. برای بهبود کیفیت باریکه گسیلی لیزر و حذف ناهنجاری‌های فضایی آنها، از روزنه‌ی  $A_1$  جاگذاری شده بین توری  $G$  و پنجره بروستر استفاده شده است. برای بررسی خط گسیلی لیزر، بخشی از تپ‌های گسیلی از لیزر به کمک باریکه‌شکاف  $BS_1$  از جنس  $\text{NaCl}$  با بازتابندگی ۸٪ به یک بیناب‌سنج لیزری (Opt. Eng. Inc., 16-A) فرستاده می‌شود. شکل تپ‌های اولیه به کمک یک آشکارساز فوتون‌دراگ (ORIE, 7415) و یک اسیلوسکوپ

شکل‌دهی تپ‌های لیزری، به‌ویژه لیزرهای گازکربنیک، در زمینه‌های گوناگون، از اهمیت فراوانی برخوردار است. تپ‌های کوتاه این لیزرها، کاربردهای گوناگونی در زمینه‌هایی چون اپتیک غیرخطی، برهمکنش لیزر با ماده، جداسازی ایزوتوپ‌ها و لیدار دارند، که برای دستیابی به آنها از روش‌هایی مانند قفل‌شدگی مدی [۱]، بستاور نیم‌رسانا [۲]، برشگر پلاسمایی [۳] و جاذب‌های اشباع‌پذیر [۴] استفاده می‌شود. از سوی دیگر، تپ‌های بلند این لیزرها نیز در مواردی همچون پزشکی، شناسایی پلاسمای بیناب‌نمایی غیرخطی، برشکاری و جوشکاری استفاده می‌شوند. در این راستا نیز، تاکنون روش‌هایی گوناگونی مبتنی بر ایجاد تغییر در ساختار مدار تخلیه [۵]، نسبت آمیزه‌های گازی و ساختار اپتیکی [۶ و ۷] لیزر گسترش داده شده‌اند.

افزون بر اینها، بهره‌گیری از گازهای جاذب اشباع‌پذیری مانند  $\text{SF}_6$ ، برای شکل‌دهی تپ‌های لیزرهای گازکربنیک نیز، به‌خوبی شناخته شده است [۴]. اما به نظر می‌رسد که در این پژوهش‌ها، اشاره‌ای به اثر گسست چندفوتونی این مولکول‌ها در شکل‌دهی تپ‌های لیزری نشده است. بنابراین، در این پژوهش به بررسی اثر این فرآیند در شکل‌دهی تپ‌های لیزری گازکربنیک فشار اتمسفری پرداخته شده است.

با تابش‌دهی مولکول‌های  $\text{SF}_6$ ، با تپ‌های پرشدت لیزر گازکربنیک کوک شده روی خط  $10P(20)$  (با طول‌موج  $10.6\text{ }\mu\text{m}$ ) که در تشدید با گذارهای ارتعاشی-چرخشی پایه‌ی این مولکول‌ها هستند، طی فرآیندهای جذب و گسست چندفوتونی، سرانجام مولکول‌ها از هم گسیخته و دچار تغییر شیمیایی می‌شوند. از آن‌جا که فرآیند گسست چندفوتونی، فرآیندی بسیار تیز و سریع با یک آستانه‌ی شاریدگی تپ فروودی است و با جذب چشمگیر انرژی لیزری فروودی انجام می‌پذیرد، می‌تواند اثرات قابل ملاحظه‌ای روی شکل تپ‌های تراگیلی داشته باشد. شایان یادآوری است که تپ‌های گسیلی لیزرهای گازکربنیک به‌خودی خود دارای شاریدگی بسیار پایین‌تری از شاریدگی آستانه‌ی گسست بیشتر مولکول‌ها هستند. از همین رو، می‌توان با کانونی‌سازی



شکل (۲): رد زمانی تپ‌های گسیلی لیزر به کار رفته.

داده‌های به‌دست آمده در فشارهای گوناگون در جدول (۱) آورده شده‌اند.

جدول (۱): داده‌های مربوط به فشارهای گوناگون.

| فشار گاز<br>(mbar) | نسبت دامنه میخه<br>به دنباله تپ | انرژی خروجی<br>(mJ) |
|--------------------|---------------------------------|---------------------|
| ۵                  | ۷٫۷                             | ۱۴۰۰                |
| ۱۰                 | ۸٫۶                             | ۱۲۰۰                |
| ۲۰                 | ۸                               | ۱۰۰۰                |
| ۳۰                 | ۸                               | ۸۵۷                 |
| ۴۰                 | ۷                               | ۸۰۰                 |
| ۵۰                 | ۷٫۶                             | ۶۵۴                 |
| ۶۰                 | ۷٫۴                             | ۶۰۰                 |
| ۷۰                 | ۶٫۳                             | ۴۱۴                 |
| ۸۰                 | ۳٫۶                             | ۳۵۷                 |
| ۸۵                 | ۲٫۸                             | ۳۱۴                 |
| ۹۰                 | ۰                               | ۳۰۰                 |
| ۱۰۰                | ۰                               | ۲۴۰                 |
| ۱۱۰                | ۰                               | ۱۷۰                 |
| ۱۲۰                | ۰                               | ۱۲۰                 |

از داده‌های جدول روشن است که با افزایش فشار گاز  $SF_6$  در بازه‌ی ۰-۶۰ mbar، همراه با افت کم و یکنواخت انرژی خروجی، نسبت دامنه‌ی میخه به دنباله‌ی تپ، نسبتاً ثابت می‌ماند. اما در فشارهای ۷۰-۸۵ mbar، روند افت دامنه‌ی

دیجیتالی با پهنای باند ۲۵۰ MHz نمایش داده می‌شود. قطر باریکه‌ی ورودی به سلول به کمک روزنه‌ی  $A_2$  به قطر mm ۱۷ قبل از عدسی اول  $L_1$  انتخاب شده است. انرژی تپ ورودی به اتاقک نیز، به کمک باریکه‌شکاف  $BS_2$  از جنس NaCl با بازتابندگی ۸٪ و ژول‌سنج  $J_1$  (Coherent, LM-P10) اندازه‌گیری می‌شود.

اتاقک تابش‌دهی از جنس پیرکس، به درازای ۹ cm و قطر داخلی ۱۸ mm با پنجره‌های بروستر در دو سمت آن، ساخته شده است. در دو سوی اتاقک، دو عدسی همسان  $L_1$  و  $L_2$  از جنس ZnSe، با فاصله کانونی ۱۰ cm و لایه‌نشانی پادبازتاب قرار داده شده‌اند. از آن‌جا که شاریدگی آستانه برای گسست مولکول‌های  $SF_6$  برابر  $J/cm^2$   $\phi_{th} = 2$  گزارش شده [۸]، عدسی  $L_1$  در فاصله‌ای از اتاقک قرار داده شده که پنجره‌های بروستر آن بتوانند شدت پرتو لیزری را روی خود تحمل نمایند و همزمان، پرتو لیزری کانونی شده به محض ورود به آن دارای چگالی انرژی بالاتر از آستانه‌ی گسست چندفوتونی باشد. برای تنظیم فشار گاز  $SF_6$  درون اتاقک نیز، از یک پمپ روتاری P و دو شیرسوزنی در ورودی و خروجی، به همراه یک فشارسنج مکانیکی g، در بازه‌ی ۱۲۵-۰ mbar سود جسته شده است.

تپ‌های تراگسیلیده از عدسی دوم نیز با یک آشکارساز فوتون‌دراگ (ORIE, 7415) و همان اسیلوسکوپ ردیابی می‌شوند. انرژی این تپ‌ها نیز به کمک باریکه‌شکاف  $BS_2$  از جنس NaCl با بازتابندگی ۸٪ و ژول‌متر  $J_2$  (Coherent, LM-P10) اندازه‌گیری می‌شود.

فشار گاز  $SF_6$  درون اتاقک، از ۵-۱۲۰ mbar تغییر داده شد و همزمان، شکل تپ‌های لیزری ثبت گردیدند.

### ۳- نتایج و بحث

نمونه‌ای از شکل تپ‌های ورودی لیزر در شکل (۲) نشان داده شده که در آن، میخه‌ی تیز پیشرو، دارای دیرش زمانی ۹۰ ns و یک دنباله‌ی دراز ۵ µs است.

$\text{SF}_6$  در مسیر تابش‌دهی باقی می‌مانند و می‌توانند با جذب فوتون‌های دنباله‌ی تپ‌ها، از شدت آنها بکاهند.

بدین ترتیب، با این روش نه تنها می‌توان نسبت دامنه‌ی میخه به دنباله را در لیزرهای گاز کربنیک فشار اتمسفری کنترل نمود، که می‌توان تپ‌های با درازی چند  $\mu\text{s}$  از این لیزرها را نیز فراهم ساخت.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر گسست چندفوتونی گاز  $\text{SF}_6$  بر شکل تپ‌های لیزری گاز کربنیک فشار اتمسفری بررسی شد. نشان داده شد که با افزایش فشار گاز  $\text{SF}_6$ ، دامنه‌ی میخه‌ی تپ لیزر گاز کربنیک کاهش می‌یابد و در نهایت در فشار ۹۰ mbar، به طور کامل حذف می‌شود و تنها دنباله‌ی تپ به درازی  $5 \mu\text{s}$  با انرژی قابل ملاحظه‌ای برجا می‌ماند.

#### سپاسگزاری

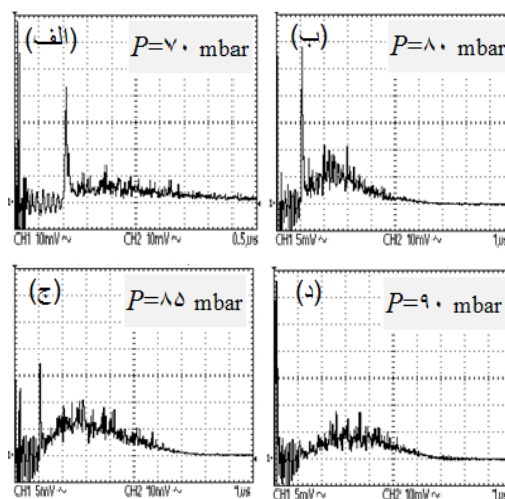
نویسندگان، از کمک‌های فنی آقایان محمدرضا صدر قاینی و محمد طالبی از پژوهشکده لیزر و اپتیک پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ایران سپاسگزاری می‌نمایند.

#### مراجع

- [1] F. Ouellette, M. Piche, "Pulse shaping and passive mode-locking with a nonlinear Michelson interferometer". Optics Comms. Vol 60, pp. 99-103, 2002.
- [2] Alcock, A. and P. Corkum, "Ultra-fast switching of infrared radiation by laser-produced carriers in semiconductors". Canadian Journal of Physics. 57(9): p. 1280-1290, 1979.
- [3] Hurst, N. and S. Harilal, "Pulse shaping of transversely excited atmospheric  $\text{CO}_2$  laser using a simple plasma shutter". Review of Scientific Instruments. 80(3): p. 035101, 2009.
- [4] H. Kleiman and S. Marcus.  $\text{CO}_2$  laser pulse shaping with saturable absorbers. Journal of Applied Physics 44, 1646, 1973.
- [5] Kazuyuki Uno, "Relation between discharge length and laser pulse characteristics in longitudinally excited  $\text{CO}_2$  laser". J Infrared Milli Terahz Waves, 34:225-230, 2013.
- [6] K. R. Manes and H. J. Seguin, "Analysis of the  $\text{CO}_2$  TEA laser". Journal of Applied Physics 43, 5073, 1972.
- [7] N.R. Heckenberg, "Pulse shaping in a laser with an irradiance dependent cavity mirror". Journal of Modern Optics, 37:11, 1815-1824, 1990.
- [8] J. L. Lyman, "Multiplephoton isotope separation in  $\text{SF}_6$ : Effect of laser pulse shape and energy, pressure, and irradiation geometry", The Journal of Chemical Physics 67, 4545, 1977.

میخه‌ی تپ، آهنگ تندتری می‌یابد، تا این که از فشارهای ۹۰ mbar به بالا، میخه‌ی تپ لیزری به‌طور کامل حذف و تنها دنباله‌ای به درازی  $5 \mu\text{s}$  برجا می‌ماند.

نمونه‌هایی از شکل تپ‌های لیزری در فشارهای مختلف در



بازدهی ۷۰-۹۰ mbar در شکل (۳) نشان داده شده‌اند.

شکل (۳): نمونه‌هایی از شکل تپ‌های لیزری در فشارهای مختلف از گاز داخل اتاقک (به مقیاس‌های عمودی و افقی توجه شود).

با توجه به شاریدگی بسیار بالای تپ‌های فرودی، گمان می‌رود که این رفتار ریشه در فرآیند گسست چندفوتونی مولکول‌های  $\text{SF}_6$  داشته باشد. چنین می‌توان گفت که در این شاریدگی بالا، بخش بزرگی از مولکول‌هایی که در مسیر تابش‌دهی قرار دارند گسسته می‌شوند. با این حال، در فشارهای پایین‌تر از ۸۵ mbar انرژی لازم برای گسستن همه‌ی مولکول‌ها هنوز کمتر از کل انرژی میخه‌ی تپ است. با بالا رفتن فشار و چگالی گاز، در مرز ۸۵ mbar، شمار مولکول‌هایی که تابش‌دهی می‌شوند به اندازه‌ای می‌رسد که انرژی لازم برای گسست آنها تقریباً برابر با انرژی میخه‌ی تپ‌های فرودی است. به این ترتیب، با گسسته شده همه‌ی این مولکول‌ها، مسیری که توسط دنباله تپ پیموده می‌شود دارای چگالی گاز جاذب بسیار پایینی خواهد بود که جذب کم و عبور بالای آن را به دنبال خواهد داشت. با افزایش بیشتر فشار تا ۱۲۰ mbar، دیده شد که دامنه‌ی دنباله‌ی تپ‌ها نیز رفته رفته کاهش می‌یابد؛ چرا که در این فشارها پس از جذب کل انرژی میخه‌ی تپ‌ها هنوز هم مولکول‌های