بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بررسی طیف‌سنجی رامان القایی در سیکلوهگزان

فاطمه مطرودی، سید حسن توسلی

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده – در این تحقیق طیف‌سنجی رامان القایی نمونه مایع سیکلوهگزان بررسی شد. با کانونی کردن باریکه هماهنگ دوم لیزر *Nd:YAG* درون نمونه، گسیل پراکندگی رامان القایی حاصل شده با استفاده از یک طیف‌سنج اشل و آشکارساز *ICCD*، ثبت شد. افزایش انرژی باریکه لیزر از ۲.۶*mJ* تا ۱۶*mJ* به افزایش سیگنال رامان القایی انجامید ولی با افزایش انرژی بالاتر از حد فروشکست برای نمونه مایع، سیگنال‌های رامان القایی افت پیدا می‌کنند و برای انرژی‌های بیشتر از ۲۰*mJ* تقریبا ناپدید می‌شوند.

کلید واژه- طیف‌سنجی رامان، طیف‌سنجی رامان القایی، سیکلوهگزان، فروشکست.

Investigation of stimulated Raman spectroscopy in cyclohexane

Fatima Matroodi, Seyed Hassan Tavassoli

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, G. C. Evin, Tehran, Iran

Abstract- In this paper, stimulated Raman scattering of cyclohexane in liquid state is investigated. By focusing the second harmonic beam of a Nd:YAG laser into the sample, Emitted stimulated Raman photons were collected and recorded by an Echelle spectrograph and an ICCD detector. Increasing the laser energy from 2.6mJ to 16mJ leads to increase in Stimulated Raman signal. By increasing the laser energy above the breakdown threshold of cyclohexane, stimulated Raman signals decay and above 20mJ they almost disappeared.

Keywords: Raman spectroscopy, stimulated Raman spectroscopy, cyclohexane, breakdown.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-13]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

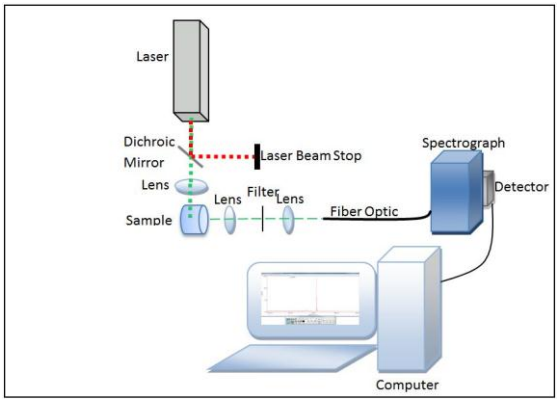
طیف‌سنجی رامان، طیف‌سنجی ارتعاشی بر مبنای اثر رامان است. اثر رامان، پراکندگی ناکشسان تابش الکترومغناطیسی در اثر گذارهای چرخشی و ارتعاشی در مولکول‌هاست و مشخصه آن تغییر انرژی فوتون‌های باریکه پراکنده نسبت به باریکه فرودی است. اختلاف طول‌موج بین نور فرودی و نور پراکنده به ارتعاشات مولکولی مربوط است و "اثرانگشت شیمیایی" منحصربه‌فرد نمونه به حساب می‌آید و می‌تواند در تشخیص ترکیبات مولکولی، روی یک سطح، درون یک مایع یا در هوا استفاده شود.[۱]

پراکندگی رامان القایی یک اثر غیرخطی است. اگر شدت دمش از حد آستانه برای این اثر بگذرد، دیده می‌شود. حد آستانه دمش برای رامان القایی به ماده فعال رامان بستگی دارد. با توجه به مشخصات طیفی می‌توان رامان القایی را از رامان عادی تشخیص داد. در حالی‌که در رامان عادی، شدت نوارهای رامان چندین مرتبه کمتر از شدت لیزر دمش است، در رامان القایی شدت نوارهای رامان می‌تواند از مرتبه شدت لیزر باشد و برای بیشتر مواد تنها قوی‌ترین نوارهای رامان ماده تقویت می‌شوند و در طیف ثبت شده برای ماده غالب می‌شوند.

در این تحقیق، طیف رامان القایی از طریق دمش باریکه هماهنگ دوم لیزر Nd:YAG بدست می‌آید و یک طیف‌سنج و یک آشکارساز کار ثبت طیف را انجام می‌دهند. طیف‌های حاصل و ویژگی‌های آنها در اینجا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- چیدمان تجربی

چیدمان تجربی به‌کار رفته در این آزمایش در شکل (۱) به طور شماتیک نمایش داده شده است. آینه دورنگی هماهنگ اول ۱۰۶۴nm را بازتاب می‌دهد اما هماهنگ دوم را عبور می‌دهد. به این ترتیب، هماهنگ اول از باریکه لیزر حذف می‌شود. هماهنگ دوم لیزر Nd:YAG با طول‌موج ۵۳۲ نانومتر و پهنای پالس ۸ نانوثانیه پس از عبور از آینه دورنگی و عبور از عدسی با فاصله کانونی ۳.۵cm با نمونه برهم‌کنش می‌کند. گسیل‌های حاصل از این برهم‌کنش توسط سیستم اپتیکی متشکل



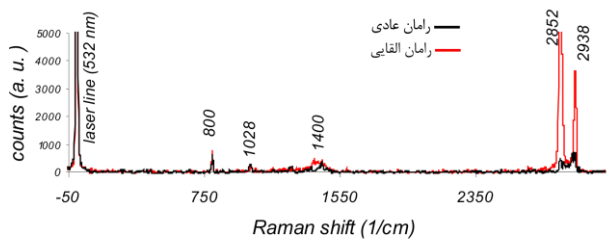
شکل ۱: چیدمان آزمایش طیف‌سنجی رامان القایی.

از عدسی‌ها، فیلتر و فیبر نوری به طیف‌سنج اشل هدایت می‌شود. بازه زمانی لازم جهت جمع‌آوری طیف‌ها و زمان شروع آن در آشکارساز ICCD به‌وسیله دستگاه تاخیرساز کنترل می‌شود. آشکارساز گسیل‌های نوری نمونه را از لحظه برخورد لیزر به نمونه تا ۵ میکروثانیه بعد از آن جمع‌آوری و تقویت می‌کند. آزمایش برای انرژی لیزر از ۲.۴mJ تا ۲۹mJ و برای هر انرژی پنج مرتبه تکرار شد.

نمونه مورد بررسی در این آزمایش سیکلوهگزان با فرمول شیمیایی C_6H_{12} است. نوارهای رامان نمونه در جدول۱ آمده است. دو نوار ۲۸۵۲ cm^{-1} و ۲۹۳۸ cm^{-1} بیشترین شدت را در طیف رامان سیکلوهگزان دارند.

۳- نتایج و بحث

شکل (۲) طیف رامان عادی و رامان القایی را نشان می‌دهد. طیف رامان عادی زمانی بدست می‌آید که باریکه لیزر درون نمونه متمرکز نمی‌شود. وقتی باریکه لیزر توسط عدسی درون نمونه متمرکز می‌شود، اثرات غیرخطی القا می‌شود و نوارهای قوی‌تر طیف رامان تا شدت‌هایی از مرتبه شدت لیزر، تقویت می‌شوند.



شکل ۲: طیف‌های رامان عادی و رامان القایی سیکلوهگزان.

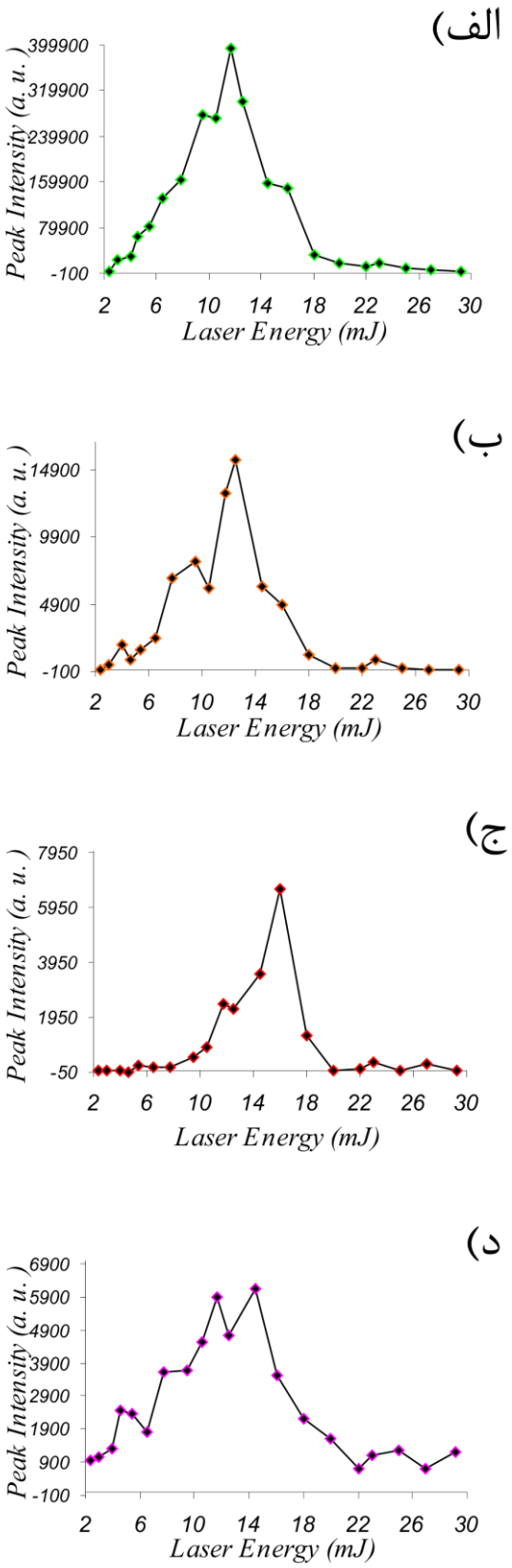
[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-13]

جدول ۱. مدهای رامان سیکلوهگزان[۲, ۳]

	Raman shift	Raman mode
1	800 cm^{-1}	C-H stretch
2	1028 cm^{-1}	CH_2 rocking
4	1400 cm^{-1}	CH_2 wagging
5	2852 cm^{-1}	CH_2 symmetric stretch
7	2938 cm^{-1}	C-H asymmetric stretch

با افزایش انرژی باریکه لیزر، نوارهای اصلی ۲۸۵۲cm^{-1} و ۲۹۳۸cm^{-1} هم افزایش شدت نشان می‌دهند و برای انرژی‌های بالاتر از ۸mJ نوار رامان پاد استوکس متناظر با ۲۸۵۲cm^{-1} نیز در طیف‌ها شدت پیدا می‌کند و در سمت چپ خط لیزر در شیفت رامان ۲۸۵۲cm^{-1}- ظاهر می‌شود. ثبت نوار پاد استوکس مستلزم آن است که تراز ارتعاشی متناظر از طریق پراکندگی رامان استوکس تا اندازه‌ای اشغال شده باشد.

با افزایش بیشتر انرژی در بالاتر از ۱۶mJ، هر چهار نمودار شکل۳ کاهش شدت نشان می‌دهند. دلیل این کاهش، ایجاد جرقه درون مایع سیکلوهگزان در اثر افزایش انرژی لیزر بالاتر از حد فروشکست مایع است. در نتیجه این جرقه که در مرکز مایع صورت می‌گیرد، باریکه لیزر در مایع جذب می‌شود و تنها سهمی از آن پراکنده می‌شود و تنها این سهم در ایجاد رامان القایی می‌تواند نقش داشته باشد. هر چه انرژی بیشتر می‌شود، سهم بیشتری از باریکه در ایجاد جرقه نقش خواهد داشت و تابش پراکنده‌ای که به آشکارساز می‌رسد، کمتر می‌شود.



شکل ۳: نمودار شدت قله الف) نوار ۲۸۵۲cm^{-1} ب) نوار ۲۹۳۸cm^{-1} ج) نوار ۲۸۵۲cm^{-1}- و د) لیزر برحسب افزایش انرژی باریکه کانونی شده در مایع.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-13]

۴- نتیجه‌گیری

آزمایش طیف-سنجی رامان القایی برای نمونه مایع سیکلوهگزان انجام شد. نوار اصلی در $۲۸۵۲cm^{-1}$ شدتی از مرتبه لیزر دمش نشان می‌دهد. شدت طیف رامان القایی در انرژی ۱۶mJ به بیشترین شدت در این آزمایش می-رسد و افزایش بیشتر انرژی، شدت طیف را کاهش می-دهد. دلیل این کاهش افزایش انرژی متمرکز درون نمونه بالاتر از آستانه فروشکست در سیکلوهگزان و ایجاد جرقه-ی مختصر در نمونه است.

مراجع

[1] K. A. Esmonde-White, "RAMAN SPECTROSCOPY DETECTION OF MOLECULAR CHANGES ASSOCIATED WITH OSTEOARTHRITIS," (The University of Michigan, 2009).

[2] N. Sivasankar, and S. Vasudevan, "Stabilization of a distorted conformation of cyclohexane adsorbed in the voids of silicalite-1," Catal. Lett. **97**, 53-58 (2004).

[3] H. Yamada, H. Nagata, and H. Teranishi, "Surface enhanced Raman scattering of cyclohexene and pyridine adsorbed on silver colloids," The Journal of Physical Chemistry **90**, 2384-2388 (1986).

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-13]