بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک
ایران و دوازدهمین کنفرانس مهندسی و
فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران

مطالعه تجربی لیزر تصادفی در محلول فوق اشباع Rd6G به وسیله گسیل فلورسانس دیمری

ملیکا افشار، علی بوالی*، مرضیه امانی، علی رحمت پناهی، فاطمه احمدی نوری، محمد سلطانی نژاد.
دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: alibavali@aut.ac.ir

چکیده– در این پژوهش، مدهای همدوس لیزر تصادفی ناشی از جایگزیدگی نور در محلول بسیار غلیظ (نزدیک به حدّ اشباع حل شوندگی) رنگینه‌ی رودامین 6G در اتانول آشکار سازی شده است. بررسی آماری مدهای تولید شده در طیف‌های دریافتی پی در پی و نیز آزمایش پس‌پراکندگی همدوس از نمونه نشان می‌دهد که این مدها از تداخل‌های سازنده نور ناشی از پراکندگی‌های چندگانه درون محیط بوجود آمده‌اند. دلیل ایجاد خاصیت پراکنندگی محلول بر اساس انبوهش مونومرها و انتقال انرژی تابشی و غیرتابشی بر پایه نظریه اکسیتون شرح داده شده است. این پراکندگی و همچنین بازجذب قوی گسیل‌های مونومر توسط دیمرها سبب تولید قله‌های لیزر تصادفی بر روی طیف فلورسانس دیمری با بازده کوانتومی کم می‌شوند.

کلید واژه- لیزر تصادفی،گسیل فلورسانس، محلولRd6G ، مونومر، دیمر.

Experimental studying of random lasing in highly concentrated Rd6G solution using dimeric fluorescence emission

Melika Afshar, Ali Bavali, Marziye Amani, Ali Rahmatpanahi, Fatemeh Ahmadinouri, Mohammad Soltaninezhad.

Department of Physics and Energy Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

Abstract- In this research, coherent modes of random laser are observed in highly concentrated Rhodamine 6G solutions (close to the solubility limit). The statistical survey of the spikes in the successive spectra as well as the coherent backscattering test of the sample indicates that these modes are provided by constructive interference events due to multiple scattering of photons within medium. The results are explained based on the monomer aggregation and radiative/non-radiative energy transfer processes according to the exciton theory. The scattering feedback besides strong reabsorption of monomeric emission by dimers provides RL spikes over low quantum yield dimeric fluorescence spectra.

Keywords: Random laser, fluorescence emission, Rd6G solution, monomer, dimer.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

۱-مقدّمه

لیزرهای تصادفی چند مدی و همدوس که به عنوان یک ابزار مناسب برای طیف‌سنجی و تکنیک‌های عکس‌برداری استفاده می‌شوند، با مدهای باریک و مجزّا (پهنای حدود ۰/۵ نانومتر) با شدت‌های متغیّر و در عین حال تصادفی شناخته می‌شوند [۲،۱].

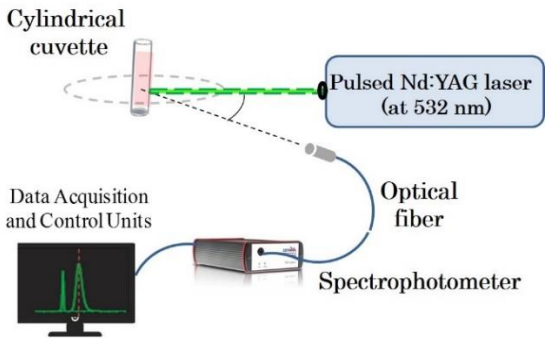
پژوهش‌های تجربی نشان داده است که در لیزرهای تصادفی آستانه لیزر به چگالی پراکننده‌ها و همچنین غلظت رنگینه وابسته است [۳]. با توجه به این امر که چگالی پراکننده‌ها در آزمایش‌های مختلف به شدّت دستخوش تغییر می‌شود، غلظت مناسب رنگ‌دانه برای دستیابی به بیش‌ترین بهره می‌بایست انتخاب شود [۴]. شدّت فلورسانس محلول‌های رنگی فوق‌اشباع به علّت خودفرونشانی، بازجذب و یا فرایند غیرفعال‌سازی به صورت غیرخطی بر حسب غلظت کاهش می‌یابد [۵]. بنابراین تنظیم میزان مناسب محلول رنگی برای حصول بیش‌ترین میزان بهره بسیار حائز اهمیت است [۳].

یکی دیگر از خواص ویژه و مورد توجّه در محلول‌های رنگی فوق اشباع، پدیده گسیل دوفام تابش فلورسانس است. اخیراً تابش دوفام لیزر کاتوره‌ای مد گسترده (ناهمدوس) نیز در رنگینه رودامین 6G حاوی نانوذرات دی اکسید تیتانیوم گزارش شده است [۶]. پژوهشگران نشان داده اند که با کنترل شرایط آزمایش می‌توان شدّت نسبی دو قله لیزری را بطور دلخواه کنترل کرد. این ویژگی رنگدانه در طراحی و ساخت زیست حسگرها کاربردی است.

در این تحقیق، برای اوّلین بار مدهای همدوس لیزر تصادفی به‌وسیله برانگیزش محلول اتانولی و خالص Rd6G با آستانه حلّالیت ۱۷۰ میلی مولار و بدون اضافه‌کردن نانوساختارها به محلول رنگینه بررسی شده و نشان داده شده است که تحت شرایط مناسب، قله‌های لیز در طیف فلورسانس دیمری در محلول Rd6G پدیدار می‌شوند.

۲-بخش تجربی

به منظور کمینه‌کردن اثرات تشدید بازتابی از دیواره‌های شیشه‌ای ظرف (کاواک فابری-پرو) هر نمونه مورد مطالعه در داخل یک شیشه استوانه‌ای با قطر داخلی ۱۰ میلی‌متر و ضخامت۱ میلی‌متر قرار داده شده است. برانگیختن مولکول‌های Rd6G به وسیله یک لیزر Nd:YAG کلیدزنی شده Q با طول‌موج ۵۳۲ نانومتر (هماهنگ دوم ۱۰۶۴ نانومتر)، دوره زمانی تپ ۱۰ نانوثانیه، نرخ تکرارتپ ۵ هرتز و قطر لکه نوری غیرمتمرکز حدود ۲ میلیمتر انجام می‌شود. در شکل (۱) چینش آزمایشگاهی این سامانه نمایش داده شده است.



شکل۱: طرحواره لیزر تصادفی.

گسیل فلورسانس توسط یک طیف‌سنج توری پراش (Spectrophotometer- S150) با وضوح ۰/۴ نانومتر و NA ۰/۲۲ سنجیده شد.

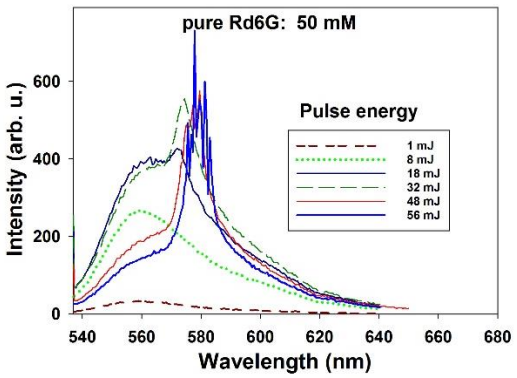
در این آزمایش از محلول Rd6G با وزن مولی ۴۷۹/۰۱ گرم بر مول و به علت وزن مولی پایین، حلال اتانول با خلوص بیش از ۹۹/۹ ٪ استفاده شد. مطالعات نشان می‌دهد که با کاهش وزن مولی حلّال و طول زنجیر آلکیل، احتمال به هم چسبیدن مولکول‌ها تقویت می‌شود [۷]. لازم به ذکر است که حلّالیت Rd6G در اتانول ۸۰ میلی‌گرم بر مول در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد است.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

۳-بحث و تحلیل نتایج

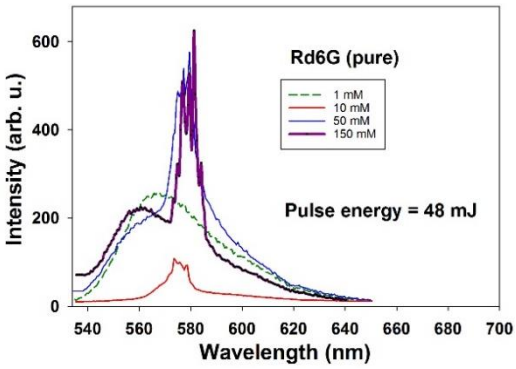
در شکل ۲ طیف نشری محلول Rd6G با غلظت ۵۰ میلی‌مولار در بازه دمش ۱ تا ۵۶ میلی‌ژول بر تپ نشان داده شده است. انرژی دمش بیشتر، منجر به اشباع شدت-های آشکارشده می‌شود. در انرژی‌های دمش پایین، گسیل فلورسانس بصورت یک طیف پهن رخ می‌دهد که در طول-موج گذار ارتعاشی مونومر (۵۶۰ نانومتر) بیشینه می‌شود. قله فلورسانس دیمری برای انرژی‌های بالاتر از ۱۸ میلی-ژول مشاهده می‌شود که با افزایش بیش‌تر انرژی این قله، جابجایی کوچک به سمت نور قرمز را تجربه می‌کند. این نکته قابل توجه است که در انرژی‌های کمتر از ۱۸ میلی-ژول بر تپ، قله‌ها حتی به ازای غلظت‌های نزدیک به حل شدن هم مشاهده نمی شوند. به این معنا که تا انرژی دمش به یک آستانه نرسد، لیزر در محیط بهره شکل نمی‌گیرد.



شکل ۲: طیف گسیلی ناشی از برانگیزش ۵۰ میلی‌مول Rd6G برای مقادیر مختلف انرژی دمش.

مطالعات نشان می‌دهد که قله‌های لیزر تصادفی در سامانه‌هایی با پراکنندگی ضعیف، به ازاء بهره نوری بالا و دمش قوی امکان ظهور می‌یابند [۸]. از طرفی چنین رویدادی را می‌توان با کاهش حجم محیط بهره به وسیله دمش موضعی و یا فرایند بازجذب فلورسانس در خارج از ناحیه دمش نیز برقرار کرد [۹].

در شکل ۳ طیف نشری محلول Rd6G با غلظت‌های متفاوت در بازه ۱ تا ۱۵۰ میلی‌مول که همگی با انرژی ۴۸ میلی‌ژول دمش شده اند نشان داده شده است. با افزایش میزان غلظت محلول، قله‌های لیزر تصادفی به مقدار قابل توجّهی تقویت می‌شوند. به عبارت دیگر، برای دستیابی به گسیل همدوس و پایدار لیزر، در یک انرژی دمش مشخص غلظت محلول می بایست از یک آستانه بیشتر شود.



شکل ۳: طیف گسیلی با انرژی دمش ۴۸ میلی‌ژول برای غلظت‌های مختلف Rd6G .

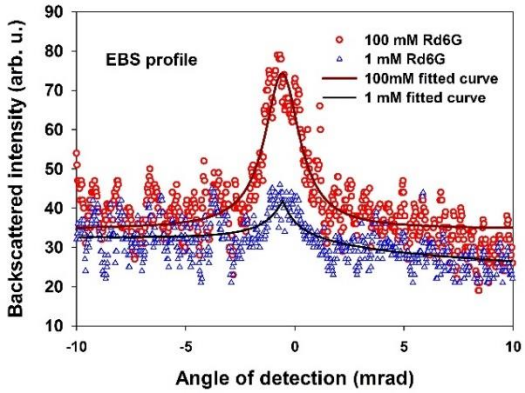
به منظور بررسی احتمال رخداد پراکندگی چندگانه (به عنوان عامل تشدید در محیط)، پس‌پراکندگی همدوس(CBS) لیزر دیودی با طول‌موج پیوسته ۶۵۰ نانومتر برای محلول Rd6G با غلظت ۱۰۰-۱ میلی‌مولار اندازه‌گیری و بررسی شد. شکل ۴ توزیع زاویه‌ای شدت پس‌پراکندگی را نشان می‌دهد. پهنای لکّه ی پس‌پراکنده-شده و ضریب تقویت محلول رنگی در محلول‌های غلیظ بسیار بیشتر از محلول رقیق است. از این رو قدرت پراکنندگی محلول غلیظ بیش‌تر از محلول رقیق است.

نتایج بیانگر آن است که دیمرها عامل پراکندگی فوتون‌های فلورسانس در محلول فوق‌اشباع هستند. این در حالی است که چنین رخدادی از مونومرها انتظار نمی-رود. زیرا مونومرها بطور مستقیم توسط لیزر برانگیخته شده اند. دیمرها در محلول‌های فوق اشباع Rd6G هم تابش مونومرها بازجذب می‌کنند و هم سبب پراکندگی چندگانه

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]

فوتون‌ها می‌شوند. این اتفاق، تجمع فوتون‌ها نزدیک به ناحیه دمش‌شده را در پی دارد.



شکل۴: توزیع زاویه‌ای شدت پس‌پراکنده‌شده در تابشدهی محلول Rd6G با غلظت ۱۵۰ میلی‌مولار توسط لیزر دیودی ۶۵۰ نانومتر. (تصویر درج‌شده: لکه CBS ثبت‌شده توسط CCD در غلظت ۱۵۰ میلی‌مول.)

در واقع، دیمرها بعد از بازجذب تابش فلورسانس مونومرهایی که در جهت‌های مختلفی گسیل‌شده بودند، برانگیخته می شوند. در نهایت اندازه‌گیری طیف فلورسانس در زوایای مختلف نسبت به جهت انتشار پرتو لیزر، انجام شد. ملاحظه شد که قله‌ها تنها در زاویه آشکارسازی کمتر از ۴۵ درجه قابل مشاهده هستند که در زاویه ۳۰ درجه بهینه شدّت حاصل شد. این نوع وابستگی به زاویه را می‌توان به علت ناهمگن بودن دمش مولکول های مونومر در محلول‌های فوق اشباع توجیه کرد.

۴-نتیجه‌گیری

در این مطالعه، مدهای لیزر کاتوره ای در نشر فلورسانس لیزر تصادفی همدوس ناشی از برانگیزش محلول Rd6G (به وسیله لیزر نانوثانیه غیرمتمرکز) مشاهده شد و رابطه این قله‌ها با غلظت و شدت دمش مورد بررسی قرار گرفت. وابستگی شدید قله‌ها به زاویه آشکارسازی (به علّت دمش ناهمگن در محیط توسط پرتو جهتمند لیزر) مطالعه شد و این التزام همراه با تحلیل آماری طیف پیوسته و آزمایش پس‌پراکندگی همدوس (CBS) نشان داد قله‌های لیزر، مدهای رقابتی هستند که توسط تشدید ضعیف در مولکول‌های بزرگ متمرکز شکل گرفته‌اند.

منابع:

1. X. Wu, W. Fang, A. Yamilov, A. A. Chabanov, A. A. Asatryan, L. C. Botten, and H. Cao., “Random lasing in weakly scattering systems”, *Phys. Rev. A*, 74, 053812, 2006.
2. S. Mujumdar, M. Ricci, R. Torre, and D. S. Wiersma, “Amplified Extended Modes in Random Lasers”, *Phys. Rev. Lett.* 93, 053903, 2004.
3. S. Mujumdar, M. Ricci, R. Torre, and D. S. Wiersma, “Amplified Extended Modes in Random Lasers”, *Phys. Rev. Lett.* 93, 053903, 2004.
4. K. L. van der Molen, A. P. Mosk, Ad. Lagendijk, “Quantitative analysis of several random lasers”, *Opt. Commu.*, 278, 110, 2007.
5. A. Penzkofer and W. Leupacher, “Fluorescence behavior of highly concentrated Rhodamine 6G solutions,” *J. Lumin*. 37(2), 61, 1987.
6. L. Moura, P. I.R. Pincheira, L. J.Q. Maia, A. S.L. Gomes, C. B. de Araújo, “Two-color random laser based on a Nd3+ doped crystalline powder”, *J. Lumin.*, 181, 44, 2017.
7. A. Ya milov, X. Wu, H. Cao and A. L. Burin, “Absorption-induced confinement of lasing modes in diffusive random media”, *Opt. Lett.*, 30, No. 18, 2005.
8. Ramy G S El-Dardiry, Ronald Mooiweer, Ad Lag endijk, “Experimental phase diagram for random laser spectra”, *New J. Phys.*, 14, 113031, 2012.
9. R. C. Polson, A. Chipouline and Z. V. Vardeny, “Random Lasing in π-Conjugated Films and Infiltrated Opals”, *Adv. Mater*. 13, 760, 2001.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18]