بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک
و فوتونیک ایران و چهاردهمین
کنفرانس مهندسی و فناوری
فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۲-۱۴ بهمن ۱۴۰۰

بررسی اثر اندازهٔ روزنه بر سیگنال نورگرمایی و ضریب پخش گرمایی

ایمان بیداروند[۱] و فاطمه مطرودی[۱]

[۱]گروه فیزیک، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

(im.bidaravand@gmail.com, f.matroodi@scu.ac.ir)

چکیده- در این مقاله اثر اندازهٔ روزنه بر بزرگی سیگنال نورگرمایی و نیز نتیجهٔ به دست آمده به عنوان ضریب پخش گرمایی از تحلیل سیگنال نورگرمایی، مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور تولید سیگنال نورگرمایی از چیدمان بیناب نمایی عدسی گرمایی استفاده شده است؛ در این چیدمان از دیود لیزر در طول موج ۵۳۲nm به عنوان لیزر القاگر و از لیزر هلیم - نئون در طول موج ۶۳۲٫۸nm به عنوان لیزر کاوشگر استفاده شده است که به صورت هم راستا و منطبق بر هم از نمونه می‌گذرند؛ به عنوان نمونه نیز از اتانول با درصد خلوص ۹۹٫۵ استفاده شده است. نتایج نشان داد که اندازهٔ روزنه با این که بر سیگنال نور گرمایی اثر مستقیم دارد، اما اگر به درستی تنظیم شود، بر نتیجهٔ تحلیل سیگنال‌ها اثر چندانی ندارد.

کلید واژه- بیناب نمایی عدسی گرمایی، روزنه، سیگنال نور گرمایی، ضریب پخش گرمایی.

Investigation of the effect of the pinhole size on photothermal signal and thermal diffusivity

Iman Bidarvand, Fatima Matroodi

Physics Department, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Abstract- In this paper we investigate the effect of the pinhole size on the magnitude of the photothermal signal and the result of signal analyses to obtain the thermal diffusivity. In this experiment, in the thermal lens spectroscopy (TLS) setup, a diode laser operating at 532nm and a He-Ne laser operating at 632.8nm were used as pump and probe respectively, and they passed co-linearly through the sample. Pure ethanol (99.5%) was used as the sample. Results show that despite the direct effect of the pinhole size on the magnitude of photothermal signal, if aligned properly, it does not have a considerable effect on analyses of thermal diffusivity.

Keywords: photothermal signal, pinhole, thermal diffusivity, thermal lens spectroscopy.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

مقدمه

بیناب نمایی عدسی گرمایی به عنوان یکی از روش‌های بیناب نمایی نورگرمایی نخستین بار در سال ۱۹۶۵ میلادی توسط گوردن و همکارانش هنگام قرار دادن سلول مایع‌های شفاف قطبی و غیر قطبی در تشدیدگر لیزر هلیم- نئون مشاهده شد [۱]. این روش به علت حساسیت بالا به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲]. چیدمان بیناب نمایی عدسی نور گرمایی از شش بخش اصلی تشکیل می‌گردد: منبع نوری القاگر، منبع نوری کاوشگر، نمونهٔ مورد مطالعه، فیلتر نوری، آشکارساز نوری و پردازشگر سیگنال. به طور معمول در این روش از لیزر به عنوان منبع نوری القاگر و کاوشگر استفاده می‌شود. چیدمان‌های بیناب نمایی عدسی گرمایی را به چندین روش می‌توان تقسیم کرد: بر اساس تعداد لیزر، بر اساس زاویه تابش لیزرها نسبت بر هم، بر اساس تطابق و یا عدم تطابق حالت[۱] لیزرها و نیز بر اساس نوع مطالعه (زمانی و یا فرکانسی). پرتوهای لیزر القاگر پس از عبور از نمونه با انتقال انرژی به آن باعث بر انگیختگی ذرات نمونه می‌شوند، این برانگیختگی با واهلش حالت برانگیخته همراه است که با فرض گاوسی بودن باریکهٔ لیزر القاگر، باعث گرم شدن نمونه به صورت شعاعی با دور شدن از نقطه تمرکز لیزر القاگر و درنتیجه ایجاد گرادیان شعاعی دما در نمونه می‌شوند. این تغییر در دما، تغییر متغیرهای ترمودینامیکی وابسته به دما نظیر چگالی و فشار را در پی خواهد داشت. تغییرات چگالی باعث تغییرات ضریب شکست شده و در پی آن گرادیان ضریب شکست شعاعی به مرکزیت نقطه تمرکز لیزر القاگر در نمونه ایجاد می‌کند. این گرادیان ضریب شکست به صورت یک عدسی عمل کرده و پرتوهای لیزر کاوشگر را مورد تاثیر قرار می‌دهد. پس از نمونه و قبل از روزنه و آشکارساز، فیلتر نوری قرار دارد که پرتوهای لیزر کاوشگر را عبور داده و پرتوهای لیزر القاگر را حذف می‌کند. سپس پرتوهای عبوری لیزر کاوشگر پس از عبور از روزنه به آشکارساز نوری می‌رسند و سیگنال نورگرمایی خوانده شده توسط آشکارساز نوری، به کمک پردازشگر سیگنال نمایش داده می‌شوند [۳]. در این روش نقش روزنهٔ استفاده شده قبل از آشکارساز نوری، عبور دادن قسمتی از پرتو لیزر کاوشگر که تحت تاثیر عدسی گرمایی قرار گرفته، بر ناحیهٔ حساس آشکارساز نوری است. روزنه با این که می‌تواند بر داده‌های دریافتی آشکارساز نوری اثر مستقیم بگذارد، اما اگر با توجه به اندازهٔ عدسی گرمایی و ناحیهٔ حساس آشکارساز نوری و نیز راستای پرتوهای لیزر کاوشگر، به درستی تنظیم شود، نباید در نتیجهٔ تحلیل داده‌ها اثر چندانی بگذارد [۴]. در این مقاله اثر سه روزنه با اندازه‌های مختلف بر داده‌ها و نتیجهٔ تحلیل آنها برای به دست آوردن ضریب پخش گرمایی، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

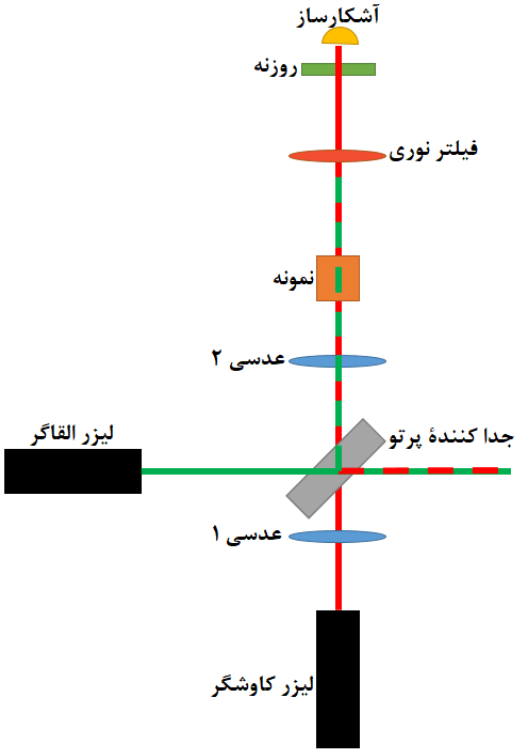
چیدمان بیناب نمایی عدسی گرمایی

چیدمان مورد استفاده در این مقاله از دو لیزر استفاده می‌کند که پرتوهای آنها برهم منطبق هستند و در وضعیت عدم تطابق حالت قرار دارند. در این چیدمان از دیود لیزر سبز با طول موج خروجی ۵۳۲nm به عنوان لیزر القاگر و از لیزر هلیم - نئون با طول موج خروجی ۶۳۲٫۸nm به عنوان لیزر کاوشگر استفاده شده است که پرتوهای آن‌ها به صورت موازی و منطبق بر هم از نمونهٔ اتانول با درصد خلوص ۹۹٫۵ عبور می‌کنند. به منظور موازی و منطبق سازی پرتوهای لیزر کاوشگر و القاگر از جدا کنندهٔ پرتو[۲] استفاده شده است. پرتوهای لیزر القاگر توسط یک عدسی با فاصلهٔ کانونی ۱۲cm در مرکز نمونه متمرکز می‌شود و پرتوهای لیزر کاوشگر پس از موازی سازی توسط دو عدسی با فاصله‌های

[۱] mode-matched or mode-mismatched
[۲] beam splitter

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

کانونی ۶cm و ۱۲cm، از نمونه می‌گذرند سپس پرتوهای لیزر القاگر به کمک فیلتر نوری حذف شده و پرتوهای لیزر کاوشگر پس از عبور از روزنه به آشکارساز نوری که در فاصلهٔ ۲۳۰cm از نمونه قرار دارد می‌رسند. شماتیک چیدمان در شکل ۱ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱: شماتیک چیدمان بیناب نمایی عدسی نورگرمایی.

محاسبهٔ ضریب پخش گرمایی

همانطور که اشاره شد ضریب پخش گرمایی از خواص فیزیکی کاربردی مواد است که به کمک روش بیناب نمایی نور گرمایی قابل محاسبه است. برای محاسبه ضریب پخش گرمایی به روش شن، ابتدا سیگنال نور گرمایی که توسط پردازشگر نوری به دست آمده است را به صورت زیر نرمال می‌کنیم:

$$S(z,t) = [T(z,t) - T_0]/T_0 \qquad (۱)$$

که در آن $T(z,t)$ سیگنال مربوط به افت شدت لیزر کاوشگر بر اثر عدسی گرمایی است و T_0 سیگنال اولیهٔ مورد مطالعه است. از آنجایی که سیگنال مورد نظر مربوط به افت شدت پرتو لیزر کاوشگر توسط عدسی گرمایی بوده و به صورت نزولی است، مقدار T_0 بیشینهٔ سیگنال مورد مطالعه است. سپس باید سیگنال نرمال شده به کمک رابطهٔ (۱) را با معادلهٔ تئوری برازش[۱] داد. به این منظور بر اساس روش شن، معادلهٔ تئوری به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S(z,t) = \phi_0 \arctan(4m(z)v(z)t/t_c(z)) \Big/ \{\frac{[1+2m(z)+v(z)^2]2t}{t_c(z)} + [1+2m(z)]^2 + v(z)^2\} \qquad (۲)$$

که در آن:

$$\phi_0 = P_0 l(\frac{dn}{dT})/\kappa\lambda_p \qquad (۳)$$

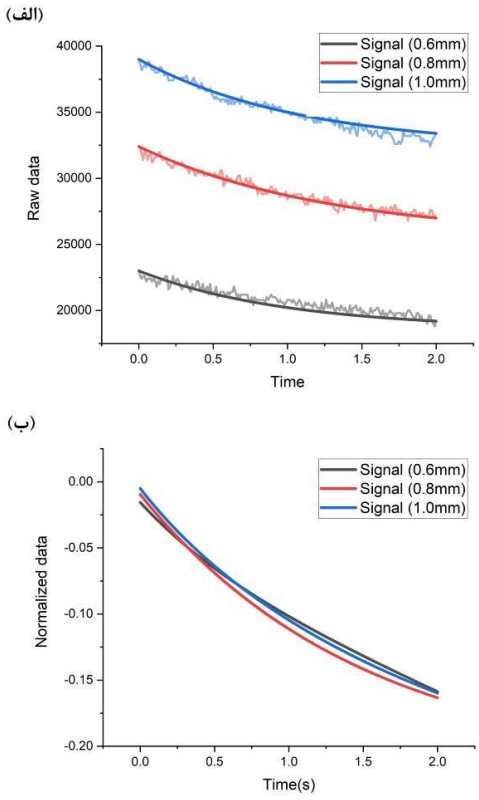
$$t_c(z) = \omega_0(z)^2/4D \qquad (۴)$$

در معادلات بالا، v بیانگر عامل هندسی لنز گرمایی، m درجهٔ عدم تطابق مد پرتوهای دو لیزر، ϕ_0 دامنهٔ عدسی گرمایی القایی، l طول نمونه، κ ضریب رسانندگی گرمایی نمونه، t_c مشخصه زمانی لنز گرمایی، P_0 توان لیزر القاگر، D ضریب پخش گرمایی و α و dn/dT به ترتیب ضریب جذب و نسبت تغییرات ضریب شکست به تغییرات دما در نمونه هستند. تمامی متغیرهای رابطهٔ (۲) بجز D و ϕ_0 به سادگی برای چیدمان قابل محاسبه هستند و D و ϕ_0 نیز به کمک مقایسه و برازش معادلهٔ تئوری با سیگنال تجربی به دست می‌آیند [۶ و ۵]. مقایسه و برازش سیگنال تجربی با معادلهٔ تئوری توسط نرم‌افزار Mathematica و Origin صورت گرفته و برنامهٔ نوشته شده توسط نویسندگان انجام گرفته است.

[۱] fitting

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]

سیگنال‌ها نور گرمایی ثبت شده پس از عبور از سه روزنه با قطر ۰٫۶mm، ۰٫۸mm و ۱mm به صورت جداگانه مورد بررسی واقع شده‌اند. سیگنال‌ها خام قبل از نرمال شدن به کمک رابطهٔ (۱)، در شکل ۲ قسمت (الف) و سیگنال‌ها خام پس از نرمال شدن و برازش توسط نرم افزار Mathematica و Origin در شکل ۲ قسمت (ب) نمایش داده شده‌اند.



شکل ۲: سیگنال‌های مربوط به آزمایش با روزنهٔ ۰٫۶mm با رنگ سیاه، ۰٫۸mm با رنگ قرمز و ۱mm با رنگ آبی نمایش داده شده‌اند. تصویر (الف) مقایسهٔ سیگنال‌ها قبل از نرمال شدن و (ب) مقایسهٔ سیگنال‌ها پس از نرمال شدن و برازش تابع نمایی درجهٔ دو بر داده‌ها.

نتایج محاسبهٔ ضریب پخش گرمایی برای سیگنال‌های رسم شده در شکل ۲، در جدول ۱ نمایش داده شده‌اند.

جدول ۱: مقایسهٔ سیگنال‌ها، ضریب پخش گرمایی و ϕ_0 برای نمونهٔ اتانول با خلوص ٪۹۹٫۵ در حضور سه روزنه.

ابعاد روزنه (mm)	بیشینهٔ سیگنال ثبت شده	کمینهٔ سیگنال ثبت شده	ضریب پخش گرمایی $(10^{-5}\frac{cm^2}{s})$	ϕ_0
۰٫۶	۲۳۰۰۰۰	۱۹۲۰۰	۹۵	-۰٫۱۶۴
۰٫۸	۳۲۴۰۰	۲۷۰۰۰	۹۵	-۰٫۱۶۴
۱	۳۹۰۰۰	۳۳۴۰۰	۹۷	-۰٫۱۵۹

نتیجه‌گیری

تاثیر اندازهٔ روزنه به عنوان یکی از اجزای بیناب نمایی عدسی نورگرمایی بر سیگنال نورگرمایی و نیز ضریب پخش گرمایی حاصل از تحلیل سیگنال نورگرمایی در نمونهٔ اتانول مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج به دست آمده در شکل ۲ و جدول ۱ با وجود اثرگذاری اندازهٔ روزنه بر بزرگی سیگنال‌های نورگرمایی، این اندازه اثر چندانی بر مقدار به دست آمده برای ضریب پخش گرمایی ندارد؛ علت این موضوع استفاده از سیگنال نرمال شده بر اساس رابطهٔ (۱) در محاسبهٔ ضریب پخش گرمایی است.

مرجع‌ها

[1] J. Gordon, R. Leite, R. Moore, S. Porto, and J. Whinnery, *"Long-transient effects in lasers with inserted liquid samples,"* Applied Physics 36, 3-8, 1965.

[2] T. Nideep, M. Ramya, V. Nampoori, and M. Kailasnath, *"The size dependent thermal diffusivity of water soluble CdTe quantum dots using dual beam thermal lens spectroscopy,"* Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures 116, 113724 2020.

[3] S. E. Bialkowski, *"Photothermal spectroscopy methods for chemical analysis,"* Vol. 177 John Wiley & Sons, 1996.

[4] Q. He, R. Vyas, and R. Gupta, "Photothermal lensing detection: theory and experiment," Applied optics 36, 7046-7058 1997.

[5] H. Cabrera, F. Matroodi, H. D. Cabrera-Díaz, and E. E. Ramírez-Miquet, *"Frequency-resolved photothermal lens: An alternative approach for thermal diffusivity measurements in weak absorbing thin samples,"* International Journal of Heat and Mass Transfer 158, 120036 2020.

[6] J. Shen, R. D. Lowe, and R. D. Snook, *"A model for cw laser induced mode-mismatched dual-beam thermal lens spectrometry,"* Chemical physics 165, 385-396 1992.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03]