بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

بررسی جریان همرفتیِ ایجاد شده توسط نور لیزر در مایعات به وسیله ی تداخل سنجی

محمد جعفری، روح‌الله کریم‌زاده و مسعود قورچی‌بیگی

دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده – در این مقاله تحول زمانی پدیده حرارتی همرفت‌که در اثر عبور باریکه لیزر از محیط مایع ایجاد می شود را مورد مطالعه قرار می‌دهیم.برای این منظور، نمونه شامل محلول ماده رنگی دای در اتانول را در سیستم تداخل سنجی قرار داده وسپس با استفاده از لیزر پمپ در نمونه جریان همرفتی ایجاد می‌کنیم. به وسیله‌ی عکسبرداری از زمان‌های مختلف تحول سیال،رفتار سیال را بعد از پمپ شدن مورد بررسی قرار داده و با استفاده از آنالیز فوریه و تحلیل هیدرودینامیکی جریان همرفتی ، مدلی مناسب برای اندازه گیری پروفایل موضعیِ سرعت جریان همرفت به دست می‌آوریم.

کلید واژه- تداخل سنجی، آنالیز فوریه،جریان همرفتی ، پاسخ ترمو- اپتیکی

Study of convection heat flow induced by pump laser beam using interferometry

M. Jafari and R.Karimzadeh, M. G.Beygi

Department of physics, Shahid Beheshti University, Tehran

Abstract-In this work we have studied the time evolution of convective field induced by propagation of laser beam through the liquid samples. For this purpose the cell containing the red solution of dye in ethanol is placed in the interferometer setup. Then, the convection heat flow is induced in the sample by 532nm Gaussian laser beam. The profile of the flow velocity is investigated based on the Fourier analysis of the interferogram and hydrodynamic model for the convection current.

Keywords: Interferometry, Fourier analysis, Convective field, Thermo-optical response

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

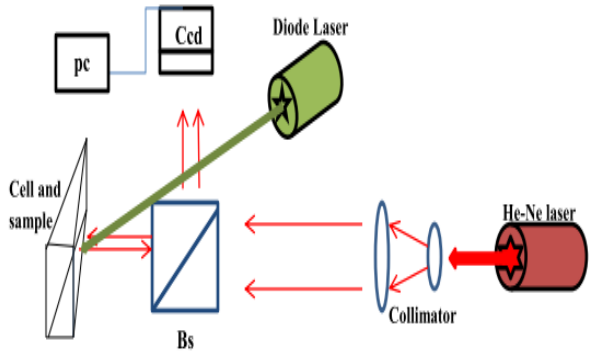
۱-مقدمه

تا کنون از روش‌های متعددی برای مطالعه و بررسی ویژگیهای اپتیکی و حرارتی مایعات وسیالات استفاده شده است[1,2]. تداخل سنجی روشی سریع ودقیق برای اندازه‌گیری خواص ترمو-اپتیکی ماده ومشاهده‌ی تحول زمانی آن می باشد.در تداخل سنجی معمولاً نمونه دریکی از بازوهای تداخل سنج قرار گرفته و سپس با استفاده از لیزر در پاسخ نوری ماده تغییراتی ایجاد می‌شود.این تغییرات اختلاف فازی را در باریکه‌ی کاوش ایجاد می‌کند که با آنالیز آن خواص نوری ماده به دست می‌آید [3,4]. همچنین بررسی جریان همرفتی سیال بعد از پمپ شدن از اهمیت و توجه خاصی برخوردار است .با تحلیل مناسب فریزهای تداخلی می توان نمایه‌ی تغییر فاز ودر نتیجه تغییر ضریب شکست ناشی از پمپ را با دقت بالابه دست آورد[6,5].

در این کار با استفاده از روش تداخل سنجی جریان همرفتی ایجاد شده در مایع در اثر عبور نور لیزر پمپ، مورد بررسی قرار گرفته است. برای تولید فریزهای تداخلی از چیدمان تداخل سنجی ساده‌ای شامل ظرف کوچک گوه‌ای شکل استفاده شده است. این چیدمان بر خلاف تداخل سنجهای دیگر که از دو بازو تشکیل شده‌اند، به نوسانات وارتعاشات حساس نمی باشد و فضای کمی را اشغال می‌کند.بررسی روی محلول رقیقی از کبالت نیترات ۶ آبه($Co(NO3)_2.6H2O$) در اتانول انجام شده و با تحلیل فریزهای تداخلی و آنالیز هیدرودینامیکی، مدل مناسبی برای اندازه‌گیری پروفایل موضعی سرعت ارائه شده است.

۲-چیدمان تجربی

باریکه‌ی لیزر هلیوم نئون(λ =632.8nm) بعد از موازی شدن از باریکه شکن عبور کرده و به ظرف گوه شکل شیشه‌ای برخورد می کند.قسمتی از باریکه از سطح اول ظرف که شیبدار است بازتاب و قسمتی دیگر بعد از عبور از نمونه از سطح دوم بازتاب می شود و بعد از بازگشت از محلول با باریکه‌ی اول تداخل می‌کند و طرح تداخلی تشکیل می‌دهد. این طرحهای تداخلی که شامل فریزهای خطی است به دلیل زاویه‌ی ظرف و پیمودن اختلاف راه‌های متفاوت ازآن به وجود می‌آیند. تصاویر مربوط به طرحهای تداخلی ایجاد شده را با دوربین ccd (۲۹فریم برثانیه) ثبت می‌کنیم (شکل۱). در این کار، از محلول ماده‌ی رنگی کبالت نیترات ۶ آبه ($Co(NO3)_2.6H2O$) در اتانول به عنوان نمونه، استفاده می شود.برای ایجاد جریان همرفتی نیز از لیزر دیودی$Nd:YVO_4$ با طول موج ۵۳۲nm استفاده می‌شود. ضریب جذب خطی نمونه در طول موج لیزر پمپ (532nm) $0.25m^{-1}$ اندازه‌گیری شده است. وقتی نمونه در معرض باریکه ی لیزر پمپ قرار می‌گیرد، اختلاف فاز موضعی در نمونه ایجاد شده که باعث انحراف فریزهای تداخلی می‌شود.

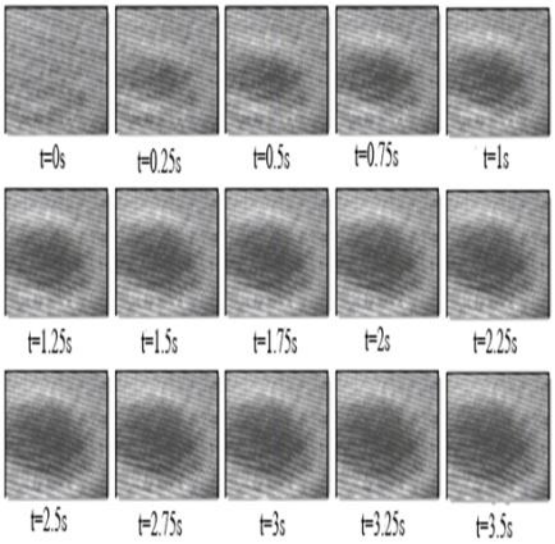


شکل ۱-چیدمان تجربی آزمایش

۳- نتایج وبحث

تصاویر مربوط به تحول زمانی فریزهای تداخلی بعد از پمپ شدن در شکل ۲ نشان داده شده است. فاصله‌ی هر دو فریم متوالی ۰/۲۵ ثانیه است و مشاهده می شود که بعد از ۳ ثانیه به یک حالت پایدار می‌رسیم. در زمان t=0 پمپ روشن می شود. با توجه به تصاویر ثبت شده بعد از شروع پمپ یک توزیع شعاعی و نامتقارن حول منطقه‌ی داغ مرکز پمپ رشد می‌کند که باعث جریان همرفتی در سیال می‌شود، این جریان از داغترین ناحیه به سمت نواحی سرد رو به بالا حرکت می‌کند. با افزایش غلظت ماده‌ی رنگی در محلول و یا با افزایش شدت لیزر پمپ میزان اختلاف فاز ایجاد شده بیشتر می شود به طوری که شکل فریزها بیشتر تغییر میکند. هنگامی که نور لیزر وارد محیط جاذب می‌شود ،گرادیان دمایی متناسب باپروفایل گاوسی شدت لیزر در نمونه به وجود می‌آید، و متناسب با

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]



شکل ۲-تحول زمانی فریزهای تداخلی بعد از پمپ شدن توسط باریکه ی لیزر

آن ضریب شکست نیز توزیع فضایی پیدا می‌کند.این تغییرات باعث می‌شود که نمونه همانندعدسی رفتار کرده، و نور عبوری از آن را همگرا یا واگرا کندکه به اثر عدسی گرمایی معروف است. با توجه به تغییر ضریب شکست، اختلاف راه نوری به وجود آمده را می توان به صورت زیر نوشت [7] :

$$\Delta PL = \frac{dn}{dT}\int_0^L (T(x,y,z) - T_0)ds \quad (1)$$

برای هر فریز تداخلی ، اختلاف راه نوری ΔPL ثابت می ماند و می‌توان نوشت:

$$\int_0^L (T(x,y,z) - T_0)ds = \frac{\Delta PL}{\frac{dn}{dT}} = const \quad (2)$$

انتگرال $\int_0^L (T(x,y,z)$ را می توان به صورت $\overline{T}L$ نوشت که $\overline{T}$ مقدار متوسط $T(x,y,z)$ در راستای عبور پرتوی کاوش از نمونه می‌باشد. با فرض اینکه جریان گرمایی دو بعدی است و با در نظر گرفتن جذب خطی می‌توان گفت که در راستای عبور s، تغییر ضریب شکست در اثر تغییر دما را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta n = \frac{dn}{dT}\Delta T \quad (3)$$

با تغییر ضریب شکست ایجاد شده تغییر فاز و در نتیجه تغییر شدت طرح تداخلی به صورت زیر بیان می شود:

$$I(x,y,z) = I_0\ [1+\gamma\cos\Delta\varphi(x,y,z)] \quad (4)$$

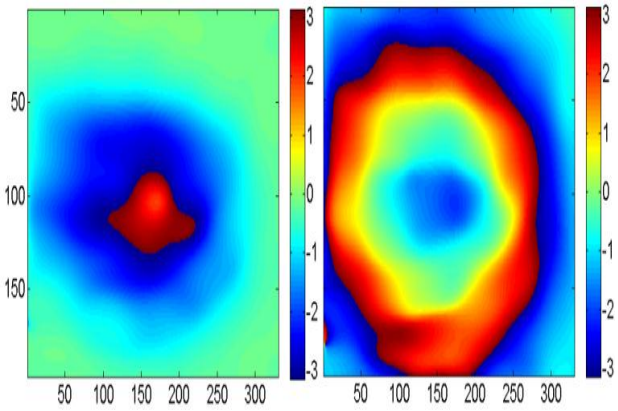
$$\Delta\varphi(x,y,z) = \frac{4\pi[n(x,y,z)-n_0]e}{\lambda} \quad (5)$$

که در آن I_0 شدت لیزر هلیوم-نئون ، γ نمایانی فریزها ، e ضخامت نمونه و λ طول موج لیزر هلیوم-نئون است‌که برای تشکیل طرح تداخلی ازآن استفاده شده است. n_0 و $n(x,y,z)$نیز ضریب شکست نمونه قبل وبعد از پمپ شدن می‌باشد. به وسیله آنالیز فوریه‌ی دو بعدی اختلاف فاز ، $\Delta\varphi$، ناشی از باریکه‌ی پمپ را به دست می آوریم.بدین منظور با انجام تبدیل فوریه‌ی دو بعدی بر روی طرح تداخلی و انتقال به فضای فرکانس دو توزیع متقارن نسبت به مرکز به دست می‌آید. یکی ازاین توزیع‌ها را با فیلترمناسب جدا می‌کنیم .این کار را بدون در نظر گرفتن لیزر پمپ (t=0) و همچنین برای حالتی که لیزر پمپ از نمونه عبور داده شده است انجام می‌دهیم و با تقسیم نتایج حاصل از تبدیل فوریه‌ی معکوس برای توزیع فیلتر شده قبل و بعد از اعمال پمپ ، اختلاف فاز گرمایی ناشی از اعمال لیزر پمپ را به دست می‌آوریم[8]. برای مشاهده‌ی تحول زمانی تغییر فاز، توزیع مکانی اختلاف فاز را در زمانهای ۰/۷۵ ثانیه و ۳/۵ ثانیه به دست می‌آوریم. (شکل۳).با در نظر گرفتن اختلاف فاز به دست آمده و پروفایل شدت لیزر پمپ در محل برهم کنش می‌توان ضریب ترمو-اپتیکی محلول را به دست آورد که مقدار آن $4.5\times10^{-4}(K^{-1})$ می‌باشد.برای محاسبه‌ی توزیع فضایی سرعت با فرض اینکه حجم ثابت است (مایع محصور است) می‌توان از رابطه ترمودینامیکی زیر استفاده کرد :

$$pT^{-1} = const \quad (6)$$

با مشتق گرفتن از این رابطه, تغییرات فشار به تغییرات دما مرتبط می‌شود. با توجه به اینکه تحلیل جریان‌های دینامیکی سیال در شرایط غیر پایا بسیار پیچیده است و همچنین نمونه‌ی ما در زمان t=3s به حالت پایا می‌رسد،به همین دلیل تغییرات فاز را در زمانهای بعد از t=3s بررسی می‌کنیم.در چنین شرایطی برای سیال

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

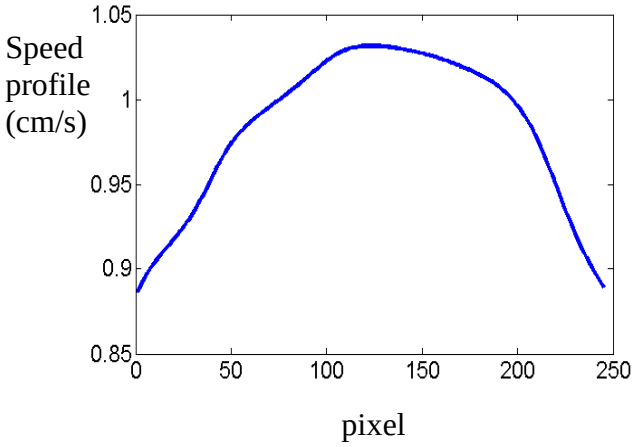


شکل۳-نمایه ی تغییرات فاز در ثانیه ۰.۷۵ (چپ) و ۳.۵ (راست)

تراکم ناپذیر با جریان آرام میتوان از معادله برنولی استفاده کرد:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z + P = const \quad (7)$$

برای به دست آوردن ثابت معادله‌ی (۷) می‌توان از صفر بودن سرعت سیال در ته ظرف استفاده کرد. با توجه به شکل ۳ مقادیر تغییر فاز را در ثانیه‌ی ۳/۵ برای یک سطر از تصویر که از مرکز پمپ می‌گذرد به دست آورده و با استفاده از روابط (۳)،(۵)،(۶) تغییرات فشار را به دست می آوریم و به کمک تغییر فشار به دست آمده واستفاده از رابطه‌ی(۷) می‌توان تغییرات سرعت را اندازه گیری کرد که در شکل ۴ نشان داده می‌شود.ملاحظه می‌شود که بیشترین سرعت جریان همرفتی در مرکز پمپ قرار دارد.



شکل۴-نمایه‌ی موضعی سرعت برای یک سطر افقی(پیکسل۱۰۴) از مرکز پمپ

۴-نتیجه‌گیری

در این مقاله تحول جریان همرفتی سیال بعد از پمپ شدن توسط باریکه‌ی لیزر مورد بررسی قرار گرفت. از آنالیز فوریه دو بعدی برای تحلیل فریزهای تداخلی استفاده شد.نشان داده شد تداخل سنجی می تواند روشی مناسب برای بررسی جریانهای همرفتی سیال باشد.

مراجع

[1] V. P. KOZICH,* A. MARCANO O.,t F. E. CASTILLO HERNANDEZ, and J. A., *Use of Differential Thermal Lensing to Study Two-Photon Absorption in Solutions*, **APPLIED SPECTROSCOPY** Volume 48, Number 12, 1994

[2] Young Ho Kim, Seong Jun Park, Sie-Wook Jeon, Seongmin Ju, Chang-Soo Park, Won-Taek Han, and Byeong Ha Lee, Thermo-optic coefficient measurement of liquids based on simultaneous temperature and refractive index sensing capability of a two-mode fiber interferometric probe, **OPTICS EXPRESS** Vol. 20, No. 21 / 23751

[3] Z.Rafael Escalona, Rosi Carlo pace andtime,*characterization of a thermal lens using an interferometric technique*,**Opt. Eng.** 38 (9) (1999) 1591.

[4] J A P Lima[1], E Marín[1,3], O Correa[1], M G da Silva[1], S L Cardoso[1], C Gatts[1], C E Rezende[1], H Vargas[1] and L C M Miranda[2] , *Measurement of the thermal properties of liquids* using a thermal wave interferometer ,J A P Lima *et al* 2000 ***Meas. Sci. Technol.*** 11 1522

[5] L. Rodrı´guez, C. Simos, M. Sylla, A. Marcano,X.NguyenPhu,*New holographic technique for third-Orderoptical properties measurement* , **Opt. Commun**. 247 (2005)

[6] R. Escalona**,** *Study of a convective field induced by thermal lensing using* ,**Optics Communications** 281 (2008) 388–394

[7] Goldstein. New York: **Hemisphere Publishing Corporation**; 1983(2nd ed. 1999).

[8] L. Rodriguez, R. Escalona,, ,**Optics Communications** 277 (2007) 57–62.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]