بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

مطالعه تأثیر حضور نانو ذرات فلزی در رسانش گرمایی سیال

پریسا سالمی[۱] و سیف‌اله رسولی[۱و۲]

۱- دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران
۲- پژوهشکده اپتیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

چکیده - نانو سیال‌ها به دلیل توانایی بالا در انتقال گرما در سیستم‌های تبادل گرمایی استفاده می‌شوند و حضور آنها باعث کاهش دبی سیال می‌گردد. روش طیف‌سنجی عدسی گرمایی روشی توانمند در مطالعه نانو سیال‌ها است. این روش با آرایش‌های مختلف و با استفاده از یک یا دو لیزر انجام می‌شود. استفاده از دو لیزر به روش پمپ-پروب معروف است که خود به طرق مختلف برپا می‌شود. لیزر پمپ به‌منظور ایجاد گرادیان دما در محیط و پروب برای تحریر تغییرات مشخصات فیزیکی سیال به‌کار می‌رود. در این کار، مطالعه رسانش گرمایی نانوسیال در حضور عدسی گرمایی با استفاده از انحراف سنجی ماره‌ای ارائه می‌شود. برای کمینه‌سازی جریان همرفتی از آرایش قائم استفاده شده تا اثر گرانش باعث ایجاد جریان همرفتی نگردد. با روشن شدن پمپ و ایجاد عدسی‌گرمایی فریزهای ماره در محل عبور باریکه پمپ منحرف می‌شوند و به علت وجود رسانش گرمایی فریزهای در فواصل دورتر از محل عبور باریکه پمپ نیزبا تاخیر زمانی منحرف می‌شوند. با اندازه‌گیری مقادیر جابجایی فریزهای ماره در گذر زمان، در فواصل دور از محل عبور باریکه پمپ و البته هم ارتفاع با آن محل، ضریب‌رسانش‌گرمایی نانوسیالِ تعیین می‌شود.

کلید واژه: رسانندگی گرمایی نانوسیال، عددسی گرمایی، انحراف سنجی ماره‌ای، تکنیک پمپ-پروب، نانو ذرات فلزی

Investigation of metallic nano-particles role in the thermal conductivity of fluids

Parisa Salemi[1] and Saifollah Rasouli[1, 2]

1- Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan 45137-66731, Iran
2- Optics Research Center, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan 45137-66731, Iran

Abstract- Nano-fluids due to their high ability in heat transfer are widely used in the heat transfer systems. The use of nano-particles reduces the base fluid flow rate. Thermal lens spectroscopy is a powerful method in the study of nano-fluids. This method is used by one or two laser beams with different set ups. Meanwhile, in the use of two laser beams called as pump-probe technique, different arrangements of the beams can be applied. The pump beam creates a temperature gradient in the fluid and the probe beam is used for measuring the changes of the physical properties of the fluid. In this work, the thermal conductivity of a nano-fluid in presence of thermal lens producing by a pump beam using moiré deflectometry is presented. To minimize vertical convection, here the pump beam is impinging to the fluid vertically from the upper side. By measuring moiré fringes deflections around the location of the thermal lens and at places far from there, thermal conductivity of the fluid is determined.

Keywords: Thermal conductivity of fluids, thermal lens, pump-probe technique, moiré deflectometry, metallic nano-particle

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

۱- مقدمه

انتقال گرما توسط مایعات اهمیت ویژه‌ای در بسیاری از بخش‌های صنعتی از جمله تامین انرژی و خنک سازی قطعات الکترونیکی دارد. بنابراین رسانندگی گرمایی مایعات نقش ویژه‌ای در توسعه تجهیزات انتقال حرارت ایفا می‌کنند. از آنجایی که جامدات از رسانندگی گرمایی بالاتری نسبت به سیالات برخوردار می‌باشند. بنابراین پراکنده سازی ذرات ریز جامدات باعث بهبود رسانندگی‌گرمایی سیالات می‌شود. پراکنده‌سازی ذرات در ابعاد میلی‌متری یا میکرومتری دارای یکسری معایب از جمله فرسایش و گرفتگی لوله‌ها و همچنین موجب افت بیش از حد فشار جریان سیال در لوله-ها می‌شود. این مشکلات را می‌توان با جایگزینی نانو ذرات در سیال حل نمود زیرا این ذرات قابلیت و ثبات بالاتری در انتقال حرارت دارند، افت فشار کمتری ایجاد می‌کنند و البته موجب فرسایش کمتر قطعات هم می‌شوند. به این دسته از مواد نانوسیال گفته می‌شود. چوی[۱] اولین کسی بود که اصطلاح نانوسیال را به کار برد [۱]. به دلیل وجود خواص جالب نانوسیال‌ها از جمله افزایش غیر عادی رسانندگی گرمایی مطالعات فراوانی بر روی این دسته از مواد صورت گرفته است[۲]. مدل‌سازی نظری رسانندگی گرمایی سوسپانسیون‌ها یک قرن پیش توسط ماکسول انجام شده است [۳]. بدین صورت که او با در نظر گرفتن محلول بسیار رقیق از ذرات کروی با صرف نظر کردن از بر هم کنش‌های بین ذرات معادله لاپلاس را برای میدان دمایی در بر گیرنده ذرات حل نمود که در نهایت توانست رسانش گرمایی موثر مخلوط حاوی ذرات میلی‌متری و میکرومتری را تعیین کند ولی این نظریه قادر به توجیه افزایش غیر عادی رسانندگی گرمایی نانوسیالات نمی‌باشد. چندین محقق سعی در اصلاح این نظریه برآمدند ولی کماکان نتوانستند رفتار غیرعادی رسانندگی گرمایی نانوسیالات را توجیه کنند. زیرا عوامل مختلفی در افزایش رسانندگی نانو سیالات نقش ایفا می‌کند. از جمله عوامل موثر در افزایش رسانندگی غیر عادی عبارتند از: ۱-نانولایه تشکیل شده در اطراف نانوذرات[۴] ۲-حرکت براونی نانوذرات[۵] ۳-اندازه نانوذرات[۶] و .... روشهای مختلف تجربی به منظور بررسی رسانندگی نانوسیالات وجود دارد. از جمله این روش‌ها: سیم روش داغ(THW) [۷] و همچنین یکسری روشهای اپتیکی از جمله طیف سنجی عدسی گرمانوری[۸] . تمامی این روشها به منظور بدست آوردن یک مکانیسم کلی برای پیش‌بینی افزایش رسانندگی گرمایی نانو سیالات به کار گرفته شده‌اند. در این مقاله نیز رسانندگی گرمایی نانوسیال با استفاده از تکنیک انحراف سنجی ماره‌ای در آرایش قائم پمپ-کاوه محاسبه شده است.

۲- مبانی نظری

۲-۱- انتقال گرما

تئوری کلاسیکی هدایت حرارتی با استفاده از قانون فوریه بیان می‌شود[۹] که با استفاده از آن می‌توان معادله پخش حرارتی را بدست آورد:

$$\nabla^2 T(r,t) = \frac{1}{D}\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} \quad . \qquad (۱)$$

Tدما، D ضریب پخش گرمایی که با رسانندگی گرمایی k و ظرفیت گرماییC رابطه دارد:

$$D = Ck \quad . \qquad (۲)$$

اگر انتقال حرارت را به صورت دور شدن از محور استوانه‌ی فرضی در نظر بگیریم با حل این معادله در مختصات استوانه‌ای می‌توان رابطه‌ای برای رسانندگی گرمایی در بازه زمانی مشخص بدست آورد:

$$k = \frac{q}{4\pi(T_2 - T_1)} ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \ , \qquad (۳)$$

که q شارگرمایی و t پارامتر زمان است. از طرف دیگر چون وجود گرادیان دما باعث بروز گرادیان ضریب شکست می‌شود زمانی که باریکه لیزر به صورت عمود برتغییرات ضریب شکست از محیطی به طولl عبور می‌کند در راستای افزایش ضریب شکست دچار انحراف می‌شود، که با استفاده از اصل فرما می‌توان رابطه گرادیان دما با انحراف باریکه را برای حالتی که تغییرات ضریب شکست در جهت x است بدست آورد[۱۰]:

$$\Delta T = -\frac{\partial T}{\partial n}\frac{n_s}{l}\theta\Delta x \ , \qquad (۴)$$

که θ میزان انحراف باریکه وn_s ضریب شکست موثر محیط

[۱] choi

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

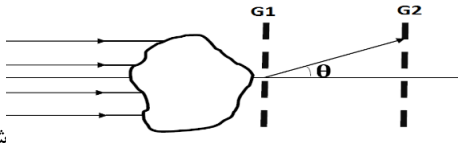
و $\frac{\partial n}{\partial T}$ ضریب ترمواپتیکی می‌باشد. همچنین به علت وجود جذب در ماده به طول h، ضریب جذب α و غلظت c با عبور باریکه لیزر از ماده انرژی باریکه کاسته می‌شود که مقدار انرژی لیزر را در هر عمقی می‌توان با استفاده از قانون بیرلامبرت بدست آورد:

$$I = I_0 e^{-\alpha c h} \quad . \qquad (۵)$$

I_0 شدت ورودی به نمونه و I شدت خروجی.

۲-۲- انحراف سنجی مارەای

انحراف‌سنجی مارەای یک روش متداول برای اندازه‌گیری میزان انحراف نور زمانی که از میان جسم فازی عبور می‌کند می‌باشد. بدین صورت که در مقابل دو توری که در فاصله تالبوت (z_γ) از هم قرار دارند یک جسم فازی قرار داده می‌شود باریکه موازی نور بعد از عبور از جسم منحرف شده و به توری‌ها برخورد می‌کند و با عث می‌شود که فریزهای مارە جابجا شوند که از روی جابجایی فریزهای مارە با MATLAB می‌توان میزان میزان انحراف باریکه (θ) را بدست آورد.



شکل ۱:انحراف سنجی مارەای

رابطه انحراف فریزهای مارە $\Delta\eta$ با زاویه θ به صورت زیر است[۱۱]:

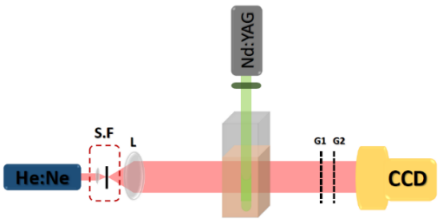
$$\theta = \frac{d}{d_m}\frac{1}{z_\gamma}\Delta\eta \qquad (۶)$$

d گام توری‌ها و d_m گام فریزهای مارە می‌باشد.

۳- کارهای تجربی

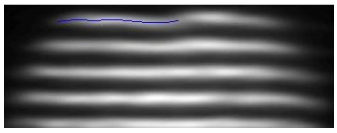
۳-۱- چیدمان آزمایش

باریکه لیزر He-Ne با طول موج 632nm به عنوان باریکه کاوه ابتدا با عبور از پالایه فضایی پهن و سپس با استفاده از یک عدسی موازی می‌شود باریکه موازی لیزر پس از عبور از سل شفاف حاوی نمونه با ضخامت 2mm به دو توری یکسان که با کمی زاویه نسبت به هم چرخیده‌اند برخورد می‌کند و سپس طرح مارە با استفاده از CCD ثبت و به رایانه منتقل می‌شود. باریکه لیزرNd-YAG به عنوان لیزر پمپ با توان کل 50mw دارای دو طول موج 532nm و1064nm می‌باشد. این لیزر از بالا به منظور حذف جریان همرفت به نمونه تابیده و باعث ایجاد گرادیان دما و در نتیجه گرادیان ضریب شکست در نمونه شده و باریکه پروب هنگام عبور از این ناحیه در راستای افزایش ضریب شکست منحرف می‌شود. لازم به ذکر است که ما در محاسبات لیزر پمپ را با یک میله داغ معادل گرفته که در این صورت انتشار گرما در ماده به صورت استوانه‌ای می‌باشد. که به علت وجود جذب در ماده می‌توانیم رسانندگی گرمایی را به عنوان تابعی از ارتفاع نقاط مختلف از ماده بدست آوریم. شکل۲ نمای ساده از چیدمان آزمایشگاهی مورد استفاده می‌باشد.



شکل۲:نمای ساده از چینش آزمایشگاهی

همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود رد فریز مارەی روشن مجاور سطح سیال رسم شده است.



شکل۳:طرح نقش مارە و رد فریز مارەی روشن مجاور سطح سیال

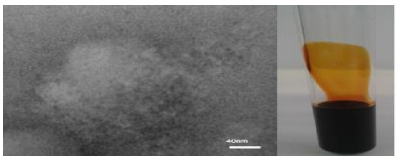
فریزهای نزدیک سطح دارای انحراف بیشتری هستند چرا که گرادیان دما در سطح بیشتر و هرچه عمق بیشتر می‌شود به دلیل جذب ماده انرژی باریکه کاهش یافته و در نتیجه گرادیان دما کمتر می‌شود.

۳-۲- آماده سازی نمونه

نانو ذرات مورد استفاده ما نانو ذرات FeO_2H محلول در آب می‌باشند. این نانو ذرات دارای ابعاد 5nm که از شرکت Sigma Aldrichتهیه شده اند. تصویر TEM مربوط به این نانو ذرات در شکل زیر می‌باشد.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

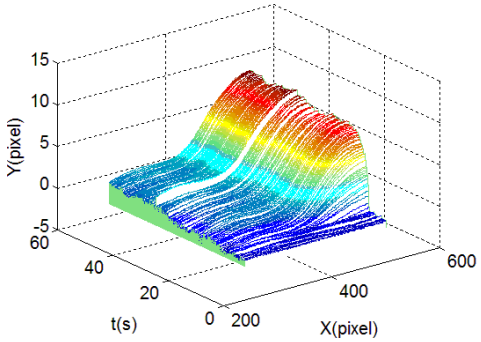
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]



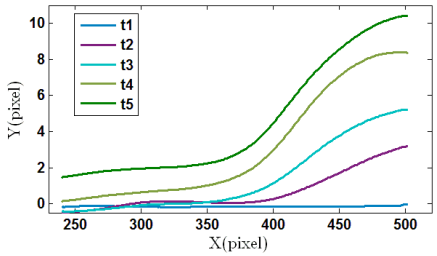
شکل۴: تصویر TEM نانو ذرات FeO_2H محلول در آب

۳-۳- نتایج

ما رسانندگی گرمایی را برای نانوسیال FeO_2H در آب برای غلظت 0.8% درصد حجمی با استفاده از روش فوق محاسبه نموده‌ایم. ضریب جذب این نمونه برابر با 0.23 و ارتفاع فریز مورد مطالعه از سطح ماده برابر با 0.48mm می‌باشد. توری‌های مورد استفاده ما در این آزمایش دارای گام 10 خط در میلی‌متر و فاصله این دو توری از هم برابر با 3.2cm می‌باشد. توان کل لیزر در محل نمونه برابر با 15.5mw اندازه‌گیری شده است. رد اولین فریز ماره با گذشت زمان در شکل۵ و ۶ رسم شده است.



شکل۵: رد فریز ماره با گذشت زمان



شکل۶: رد فریز ماره به ترتیب t5=41.08, t4=3.8, t3=1.17 t2=0.54, t1=0 ثانیه می‌باشد.

همانطور که در شکل دیده می‌شود ابتدا فریز که در محل لیزر پمپ هست انحراف پیدا کرده و با گذشت زمان به دلیل و جود رسانش گرمایی گرما به کناره‌های سل انتقال پیدا کرده بنابراین کناره‌های فریز نیز منحرف می‌شود. مقدار به دست آمده برای رسانندگی گرمایی نانو سیال FeO_2H برای غلظت 0.8 درصدحجمی و توان لیزر برابر با 15.5mw برابر با 4.6(W/K.m) بدست آمد.

۴- نتیجه‌گیری

رسانندگی گرمایی نانوسیال FeO_2H در آب با استفاده از روش انحراف سنجی ماره‌ای محاسبه شد. نتایج بدست آمده حاکی از افزایش حدودا ۸ برابری رسانندگی گرمایی آب به هنگام افزودن نانو ذرات می‌باشد. و همچنین می‌توان گفت روش انحراف سنجی ماره‌ای به عنوان یک روش قدرتمند برای اندازه گیری رسانندگی گرمایی نانو سیالات می‌باشد.

۵- سپاسگزاری

از اعضای دانشکده شیمی دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان آقای دکتر محمد مهدی نجف‌پور و خانم دکتر زهرا زند به خاطر کمک در تهیه نانو ذرات صمیمانه تشکر می‌نماییم.

مراجع

[1] Choi S. U.S., Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, Developments and Applications of Non-Newtonian flows, ASME, FED 231/MD 66, pp. 99-105, 1995.
[2] Dae-Hwang Yoo , K.S. Hong, Ho-Soon Yang, Study of thermal conductivity of nanofluids for the application of heat transfer fluids, Thermochemical Acta 455, 66–69, 2007.
[3] J.C. Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, second ed., Oxford University Press, Cambridge, 1904, pp. 435–441.
[4] H. Xie, M. Fujii, X. Zhang, Effect of interfacial nanolayer on the effective thermal conductivity of nanoparticle–fluid mixture, Int. J. Heat Mass Transfer 48 (2005) 2926–2932.
[5] Seok Pil Jang and Stephen U. S. Choi, Role of Brownian motion in the enhanced thermal conductivity of nanofluids.
[6] Pramod Warrier, Amyn Teja, Effect of particle size on the thermal conductivity of nanofluids containing metallic nanoparticles. Nanoscale Research Letters 2011, 6:247.
[7] Clement Kleinstreuer, Yu Feng, Experimental and theoretical studies of nanofluid thermal conductivity enhancement: a review, Nanoscale Research Letters 2011, 6:229.
[8] J.L. Jim´enez P´erez1,a, R. Gutierrez Fuentes1, J.F. Sanchez Ramirez1, and A. Cruz-Orea, Study of gold nanoparticles effect on thermal diffusivity of nanofluids based on various solvents by using thermal lens spectroscopy, Eur. Phys. J. Special Topics 153, 159–161 (2008).
[9] Fourier, J. B. J., Analytical Theory of Heat, (Encyclopedia Britannica, Inc., Chicago IL, 1952).
[10] B. D. Guenther ,MODERN OPTICS, 1990.
[11] K. Patorski, "Handbook of the moiré fringe technique",Elsevier, Amsterdam, 1993.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]