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

اندازه گیری سرعت نانو ذرات در نانوسیال‌ها با استفاده از روش تقاطع از صفر

مقصود ارشدی، محمدمهدی جهانبخشیان و روح الله کریم زاده
دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی،تهران

چکیده – ما در این پژوهش به محاسبه سرعت نانوذرات معلق در سیال با استفاده از روش " تقاطع از صفر" پرداخته‌ایم. هنگامی که سیال را مقابل پرتو گاووسی لیزر قرار می‌دهیم، پرتو لیزر با برخورد به نانوذرات پراکنده می‌شود که آثار تداخلی این امواج پراکنده شده درمنطقه پراش فرنل موجب ایجاد سلول‌های تاریک و روشن می‌شود. با آشکار سازی توان این سلول‌های تداخلی توسط یک توان سنج با روزنه دایروی می‌توان سرعت نانوذرات متحرک را بدست آورد. در این پژوهش سرعت نانوذرات کادمیوم سولفید روی معلق در اتانول، برای دماهای مختلف سیال اندازه گیری می‌شود.

کلید واژه- پرتو گاووسی لیزر، نانو ذره، سلول‌های شدت، تقاطع از صفر

Measurement of the Velocity of Nanoparticles in Nanofluids using the Zero-Crossing Method

M Arshadi, M jahanbakhshian, R Karimzadeh

Department of physics, Shahid Beheshti University,Tehran

Abstract- In this paper, we measure the velocity of nanoparticles suspended in a fluid by using the "zero-crossing" of the intensity fluctuation of laser speckles. The speckle patterns are formed by illuminating the CdZnS nanoparticles suspended in ethanol with a Gaussian laser beam. The zero crossing number of scattered speckle pattern is detected in diffraction field by a circular aperture in front of power meter. The velocity of nanoparticles is measured by counting the zero crossing of the spatially integrated speckle intensity fluctuation in different temperature.

Keywords : Gaussian Laser Beam, Nanoparticle, Speckle Intensity , Zero-Crossing

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

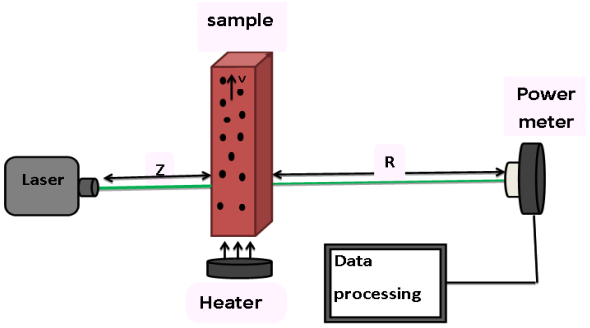
۱- مقدمه

مفهوم نانو سیال برای اولین بار در سال ۱۹۹۵ مطرح شد[1]. در مقایسه معمولی بین نانوسیال و سیال‌هایی که شامل ذرات با ابعاد بزرگتری- مانند میکرو- هستند؛ نانوسیال‌ها پایداری بیشتری دارند، لخته لخته نمی‌شوند و برای سیال‌هایی با کسرحجمی خیلی کوچک از نانوذرات جامد، افزایش قابل توجهی در رسانندگی گرمایی مشاهده می‌شود [2,3]. این نشان می‌دهد که حرکات نانو ذرات در نانو سیال‌ها مکانیزم بارز و مشخص برای افزایش رسانندگی گرمایی این سیال‌ها هستند[4,5]. آزمایش‌ها ثابت می‌کنند که حرکت براونی نانو ذرات در نانو سیال‌ها، نقشی کلیدی در افزایش رسانندگی گرمایی دارند. ولی حرکت براونی تنها حرکت نانو ذرات در سیال‌ها نمی‌باشد بلکه نانو ذرات دارای حرکات دیگری نیز هستند که در اثر وارد آمدن نیروهایی مانند: نیروی ارشمیدس ،نیروی گرانشی ذرات، نیروی اصطکاک بین ذرات وسیال و... ایجاد می‌شود. اما حرکت غالب و بارز نانو ذرات که باعث افزایش رسانندگی گرمایی نیز می‌شود حرکت براونی است که در اثر نیروی براونی ایجاد می‌شود[6].

هنگامی که پرتو گاووسی لیزر به این نانوسیال‌ها تابیده می‌شود به دلیل متحرک بودن نانو ذرات پرتوهای ورودی پراکنده می‌شوند و این پرتوهای پراکنده شده با ایجاد تداخل, نواحی روشن و تاریکی در پشت نمونه ایجاد می‌کنند. در روش "تقاطع از صفر" (Zero-Crossing) هدف ما ایجاد یک سیستم اپتیکی مناسب برای اندازه گیری شدت این نواحی روشن و تاریک است. بعد از اندازه گیری این شدت‌ها می‌توانیم از روی منحنی آنها تعداد نقاط عبوری از خط مبدأ را بدست آوریم. توان به خودی خود صفر و یا منفی نمی‌شود پس برای ایجاد خط پایه صفر یا خط مبدأ، میانگین همه شدت‌های آشکارسازی شده را بعنوان خط مبدأ در نظر می‌گیریم. حال با رسم نمودار شدت‌های آشکار سازی شده برحسب زمان تعداد نقاطی که نمودار ما از خط مبدأ عبور می‌کند را شمارش می‌کنیم. به این نقاط عبوری، تقاطع از صفر می‌گویند. با داشتن تعداد این نقاط سرعت ذرات نیز قابل محاسبه می‌شود. از آنجایی که در این روش سرعت باید ثابت و در یک جهت فرض شود باید بااعمال شرایطی ازحرکت براونی صرفنظر کنیم و سرعت را تقریبا ثابت در نظر بگیریم.

۲- چیدمان تجربی

در این آزمایش، نمونه شامل نانو پودر کادمیوم سولفید روی ($CdZnS$) معلق در اتانول را در فاصله $z=32\ cm$ از کمره باریکه گاووسی لیزر هلیوم-نئون($\lambda=632\ nm$) با توان ورودی $12\ mW$و شعاع باریکه $w_0=1.1\ mm$ قرار می‌دهیم و نور پراکنده شده از نانو ذرات متحرک را در فاصله $R=100\ cm$ از مرکز نمونه توسط توان‌سنج با روزنه دایروی با شعاع $d=5\ mm$ آشکارسازی می‌کنیم. برای کنترل دمای نمونه و برای اینکه اکثر نانوذرات در داخل نانو سیال در یک جهت حرکت کنند یک گرمکن درزیر نمونه قرار می‌دهیم تا حرارت وارد شده بر نمونه باعث شود که ذرات رو به بالا حرکت کنند و بتوانیم از حرکت براونی صرفنظر کنیم، از طرفی سرعت ذرات رابصورت تقریبی ثابت در نظر می‌گیریم.



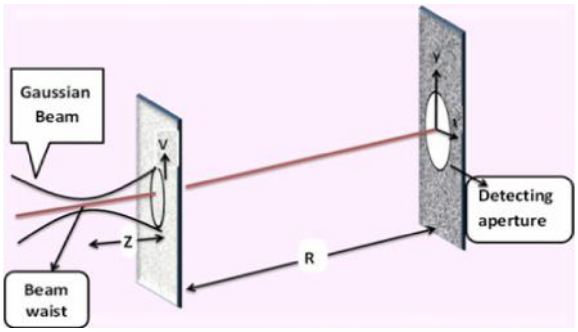
شکل۱: چیدمان تجربی بکار رفته برای آزمایش

توان‌های اندازه گیری شده را بر حسب زمان انجام آزمایش رسم می‌کنیم سپس از روی نمودار توان بر حسب زمان تعداد نقاط عبوری از خط مبدأ را می‌شماریم. یعنی به ازای هر لحظه‌ای که نمودار توان بر حسب زمان خط مبدأ را قطع نماید، ما به تعداد نقاط عبوری یک واحد اضافه می‌کنیم. با داشتن تعداد کل این نقاط عبوری سرعت ذرات قابل محاسبه می‌شود. چیدمان تجربی ما بصورت شکل شماتیکی ۱ است.

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

۳- بحث و نتایج

شکل ۲ بصورت شماتیکی، سیستم اپتیکی این روش را نشان می‌دهد.



شکل۲: روابط مکانی بین فرم دینامیکی سلول‌های شدت, برای حالتی که نمونه تحت تابش نور گاووسی لیزر قرار می‌گیرد

در این روش پرتو گاووسی به صفحه حاوی نانوذرات متحرک می‌تابد و این ذرات که با سرعت ثابت و در یک جهت حرکت می‌کنند، باعث پراکندگی پرتو می‌شوند. پرتوهای پراکنده شده در هر محل از صفحه مشاهده باهم تداخل می‌کنند وتداخل این پرتوهای پراکنده شده در هر مکان کوچک در منطقه پراش فرنل باعث می‌شود که آن مکان روشن یا تاریک شود که به این محل‌ها یا سلول‌های روشن یا تاریک که از تداخل پرتوهای همدوس ایجاد می‌شوند، اسپیکل شدت می‌گویند. افت و خیز انرژی یا شدت سلول‌ها بصورت $\Delta I(\mathrm{t}) = I(\mathrm{t}) - < I(\mathrm{t}) >$ تعریف می‌شود که علامت <..> *نشاندهنده* میانگین تغییرات زمانی شدت است. زمانی که تعداد این سلول‌های تداخلی در صفحه روزنه آشکارساز به اندازه کافی زیاد باشد براساس تئوری مرکزی، انتگرال فضایی افت وخیز شدت این سلول ها بصورت توزیع گاووسی با مقدار ویژه صفرمی‌شود[7].

تحت این شرایط تعداد نقاط عبوری از خط مبدأ در واحد زمان بصورت تابع‌ای از انتگرال فضایی تغییرات شدت سلول‌های تداخلی خواهد شد[8]:

$$N_0 = \frac{1}{\pi}[-\frac{\Gamma''_{\Delta I}(0)}{\Gamma_{\Delta I}(0)}]^{\frac{1}{2}} \qquad (1)$$

که $\Gamma_{\Delta I}(0)$ و $\Gamma''_{\Delta I}(0)$ به ترتیب تابع خودهمبستگی از $\Delta I(\mathrm{t})$ و مشتق دوم آن هستند. تابع خودهمبستگی برای افت و خیز شدت سلول‌ها در منطقه پراش فرنل که تحت تابش پرتو گاووسی همدوس قرار دارد، بصورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\Gamma_{\Delta I} = < \Delta I(\mathrm{t}) \times \Delta I(\mathrm{t}+\tau) >$$
$$= c\, e^{-\frac{|\vec{v}|^2\tau^2}{\omega^2}} \int D(\mathrm{x}) \exp(-(\frac{\pi\omega}{\lambda R})^2[\vec{x} - (\frac{R}{\rho}+1)\vec{v}\mathrm{t}])d\vec{x} \quad (2)$$

c یک ثابت است و $D(\mathrm{x})$ تابع همدوسی فضایی از تابع روزنه آشکارساز است که ما روزنه را بصورت شکل دلخواه با اندازه محدود در نظر میگیریم. اگر تابع عبور روزنه را با $A(\mathrm{x})$ نشان دهیم برای $D(\mathrm{x})$ خواهیم داشت:

$$D(\mathrm{x}) = \int A(\vec{x})A(\vec{x},\vec{X})\,\mathrm{d}\,\vec{x} \qquad (3)$$

که $\vec{x} = (\mathrm{x},\mathrm{y})$ بردار مکان و $\vec{X} = x_1 - x_2$ نشاندهنده فاصله دو نقطه x_1 و x_2 روی صفحه روزنه است. همچنین در معادله ۲، ρ و ω نشاندهنده پهنا و شعاع انحنای جبهه موج پرتو گاووسی در فاصله z از کمره پرتو است که بصورت زیر تعریف می‌شوند.

$$\omega = \omega(\mathrm{z}) = \omega_0(1+\frac{z^2}{a^2})^{\frac{1}{2}} \qquad (4)$$

$$\rho = \rho(\mathrm{z}) = \mathrm{z}(1+\frac{a^2}{z^2}) \qquad (5)$$

$$a = \frac{\pi\omega_0^2}{\lambda} \qquad (6)$$

اگر روزنه را بصورت دایروی فرض کنیم تابع موج پرتو در محل روزنه بصورت زیر خواهد شد.

$$A(\mathrm{x}) = \mathrm{A}_0\ \exp(-\frac{2}{d}(\mathrm{x}^2+y^2)) \qquad (7)$$

که d شعاع روزنه است.

با استفاده از روابط بالا در رابطه ۱ ملاحظه می‌شود که تعداد نقاط عبوری از خط مبدأ در واحد زمان متناسب با قدرمطلق سرعت ذرات است.

$$N_0 = \beta\ |\vec{v}| \qquad (8)$$

ثابت تناسب β برابر است با:

$$\beta = \frac{\sqrt{2}}{\pi}\sqrt{\frac{1}{\omega^2}+\frac{\sigma^2}{\Delta x^2+d^2}} \qquad (9)$$

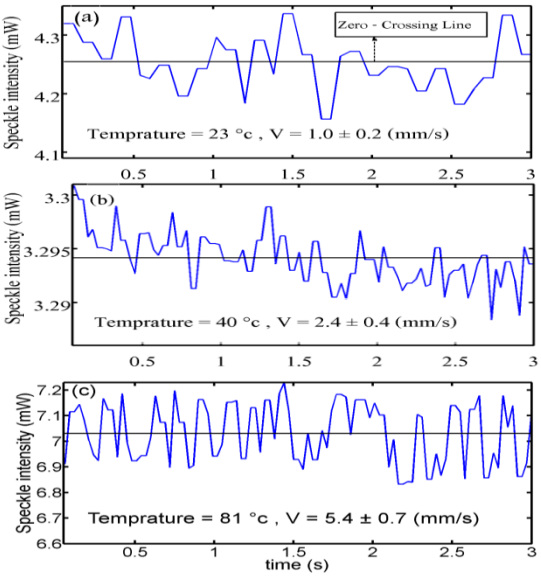
$$\Delta x = \frac{\lambda R}{\pi\omega} \qquad (10)$$

$$\sigma = \frac{R}{\rho}+1 \qquad (11)$$

که Δx بیانگر اندازه تقریبی سلول‌ها درصفحه روزنه است. برای این منظور ۳ دمای مختلف گرمکن را انتخاب کرده و برای هردما ۲۵ بار آزمایش را تکرار می‌کنیم. بعنوان نمونه شکل 3-a تا 3-c یکی از منحنی‌های شدت برحسب

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

زمان بدست آمده برای سه دمای مختلف را نشان می‌دهد. سرعت بدست آمده برای هر دما را برای هر ۲۵ آزمایش حساب کرده، میانگین آنها را بعنوان سرعت نانوذرات در آن دما درنظر می‌گیریم.



شکل۳: نمودار توان بر حسب زمان برای دماهای مختلف نمونه a) دمای ۲۳ درجه سانتیگراد یا دمای اتاق b) دمای ۴۰ درجه سانتیگراد c) دمای ۸۱ درجه سانتیگراد

میانگین سرعت‌های محاسبه شده بصورت جدول شماره ۱ می‌باشد. ما برای انجام این آزمایش دو تقریب در نظر گرفتیم اول اینکه ذرات را در صفحه فرض کردیم در صورتی که در آزمایش تجربی ظرف نمونه دارای حجم است و دوم فرض کردیم ذرات در یک جهت خاص(رو به بالا) حرکت می‌کنند، و این شرط را با قرار دادن گرمکن در زیر ظرف نمونه تا حدودی برآورده کردیم. باتوجه به نتایج بدست آمده ملاحظه می‌کنیم با افزایش دمای نمونه سرعت نانو ذرات نیز افزایش می‌یابد و این نتیجه برای این ذرات قابل پیش بینی بود زیرا با افزایش دما انرژی ذرات افزایش می‌یابد و ذرات با سرعت بیشتری حرکت می‌کنند.

جدول۱ : سرعت های اندازه گیری شده با استفاده از روش تقاطع از صفر برای دماهای مختلف

Temprature (°C)	Velocity (mm/s)
23	1.0±0.2
40	2.4±0.4
81	5.4±0.7

۴- نتیجه گیری

هدف ما در این پژوهش محاسبه سرعت نانوذرات معلق در سیال با استفاده از روش " تقاطع از صفر" بود. در این روش پرتو گاووسی به صفحه حاوی نانوذرات متحرک می‌تابد و این ذرات که با سرعت ثابت و در یک جهت حرکت می‌کنند، باعث پراکندگی پرتو می‌شوند. این پرتوهای پراکنده شده با ایجاد تداخل، نواحی روشن و تاریکی در صفحه مشاهده ایجاد می‌کنند. با اندازه گیری شدت این نواحی و استفاده از روش تقاطع از صفر می‌توان سرعت نانوذرات را بدست آورد. در این مقاله ما سرعت نانوذرات کادمیوم سولفید روی معلق در اتانول را به ازای سه دمای ۲۳، ۴۰ و ۸۱ درجه سانتی‌گراد بدست آوردیم که سرعت نانوذرات در این دماها بترتیب برابر با 1.0±0.2 ، 2.4± 0.٠ و 5.4± 0.٬ میلی متر بر ثانیه شد.

مراجع

[1] CHOI S U S 1995 ASME FED 231 99
[2] LEE S, CHOI S U S, LU S AND EASTMAN J A 1999 **ASME J.HEAT TRANSFER** 121 280
[3] EASTMAN J A, CHOI S U S 2001 **APPL. PHYS. LETT**. 78 718
[4]XUAN Y M AND ROETZEL W F 2000 **INT. J. HEAT MASS TRANSFER** 43 3701
[5] EVANS W, FISH J AND KEBLINSKI P 2006 **APPL. PHYS. LETT**. 88 093116
[6] CHON C H AND KIHM K D 2005 **APPL. PHYS. LETT**. 87 153107
[7] GOODMAN, J . W., 1975, *LASER SPECKLE AND RELATED PHENOMENA*, EDITED BY J .C . DAINTY, P . 9
[8] TAKAI, N., IWAI, T ., AND ASAKURA, T., 1981**, OPT . ENGNG**, 20 (TO BE PUBLISHED) .
[9] YAN QIN,LUJIAN, NI XIAO-WU,2012,**CHIN.PHYS .LETT.VOL**.29,NO.4 044207
[10] YAN QIN,LUJIAN, NI XIAO-W , 2009,**CHIN.PHYS .LETT** .VOL.24,NO.4 044201

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