



NAISL

Volume 3, Number 3, 2019

Pages: 13-18

Print ISSN: 2588-6401

Online ISSN: 2588-641X

Website: shaajournal.msrt.ir

Introduction to Dynamic Light Scattering

Morteza Nazari^{1*}, Ali Hallaj Jahani², Soheil Shirazian³

Abstract

Particle size characterization affects many material properties and is a valuable factor of quality and performance. Dynamic light scattering is an optical measurement technique for describing nanoparticle systems. This approach is one of the most general methods used to determine the particle size distribution. Brownian motion phenomena of the particles in solutions is used to determine the particle size distribution. When monochromatic light beam incidents to moving particles the intensity of the incoming light changes randomly, depending on the size of the particles. This spectroscopy method performs measurements at the nano scale and micro scale indirectly. It is also a non-invasive, fast, easy, accurate, reliable and relatively inexpensive technology which requires very low amount of sample and low maintenance cost. Although, this technique has got limitations such as: results fluctuations due to changes in temperature and viscosity; sample preparation; refractive index and a must for dispersed particles in Solution regarding to the physical and chemical interaction of the particles with the liquid, finding a right solution is a matter of difficulty. Due to the reliable results providing by the technique, it is very popular in universities laboratories and industrial institutes. The application of this technique is expanding in the fields of nanomaterials, physics, chemistry, biology, medicine and fluid mechanics rapidly. In this paper, the theory of dynamic light scattering technique and the mathematical principles of measurement are briefly presented.

Key Words:

Dynamic Light Scattering,
Brownian motion,
Rayleigh Scattering,
Nanoparticles,
Particle Size Distribution

(*) Corresponding author

1. Nanometrology Expert / Aria Fan Varzan Co, Tehran, Iran.

E-mail: nsb@ariafan.com

Tel: 021885036332

2. Nanometrology Supervisor / Aria Fan Varzan Co, Tehran, Iran.

E-mail: nano@ariafan.com

Tel: 02188503633

3. Nanometrology Expert / Aria Fan Varzan Co

Sharif university of technology/ Department of Physics, Tehran, Iran.

E-mail: Soheilshirazian@alum.sharif.edu

Tel: 02188503633

معرفی روش پراکندگی نور دینامیکی



نشریه رویکردهای نوین در
آزمایشگاه‌های علمی ایران
سال سوم، شماره ۳، ۱۳۹۸
صفحات: ۱۸-۱۳
شاپای چاپی: ۶۴۰۱-۲۵۸۸
شاپای الکترونیکی: ۶۴۱X-۲۵۸۸
وبسایت: shaajournal.msrt.ir

مرتضی نظری^{۱*}، علی حلاج جهانی^۲، سهیل شیرازیان^۳

اندازه ذرات شاخصی با ارزش از نظر کیفیت و عملکرد است و بر بسیاری از خواص مواد تأثیر می‌گذارد. پراکندگی نور دینامیکی یک تکنیک اندازه‌گیری نوری برای توصیف سیستم‌های نانو ذرات است. این روش یکی از عمومی‌ترین روش‌ها برای تعیین توزیع اندازه ذرات است. برای تعیین اندازه ذرات از حرکت براونی ذرات در مایعات استفاده می‌شود. هنگام برخورد نور تکفام به ذرات در حال حرکت، براساس نوع پراکندگی، طول موج یا شدت نور ورودی تغییر می‌کند که این تغییر به اندازه ذره مربوط می‌شود. این روش طیف سنجی به صورت غیر مستقیم اندازه‌گیری در مقیاس نانو و زیر-میکرو را انجام می‌دهد و علاوه بر این یک فناوری غیر تهاجمی، سریع، آسان، دقیق، قابل اعتماد و نسبتاً ارزان است که نیاز به نمونه بسیار کم و هزینه کم تعمیر و نگهداری دارد. هر چند این تکنیک دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد از جمله: تغییرات در نتایج به دلیل تغییر دما و ویسکوزیته؛ نیاز به آماده‌سازی نمونه؛ نیاز به اطلاع از ضریب شکست نسبی و همچنین اینکه ذرات باید به صورت پراکنده در مایعات باشند که در این صورت به دلیل اثر متقابل فیزیکی و شیمیایی ذرات با مایع، یافتن مایع مناسب مشکل خواهد بود. اما این تکنیک به دلیل نتایج قابل اعتمادی که ارائه می‌دهد، در آزمایشگاه‌های دانشگاه‌ها و مراکز صنعتی از محبوبیت زیادی برخوردار است. کاربرد این تکنیک در زمینه‌های نانومواد، فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، پزشکی و مکانیک سیالات به سرعت در حال گسترش است. در این مقاله ضمن ارائه نظریه تکنیک پراکندگی نور دینامیکی، به طور مختصر اصول ریاضی اندازه‌گیری آن ارائه شده است.

چکیده



علی حلاج جهانی



مرتضی نظری



سهیل شیرازیان

واژگان کلیدی:

پراکندگی نور دینامیکی،
حرکت براونی،
پراکندگی رابلی
تعیین اندازه ذرات،
توزیع اندازه ذرات

(*) مسئول مکاتبات.

۱. کارشناس نانو مترولوژی / شرکت آریا فن ورزان، تهران، ایران.

ایمیل: nsb@ariafan.com

تلفن: ۰۲۱۸۸۵۰۳۶۳۳

۲. مسئول دپارتمان نانومترولوژی / شرکت آریا فن ورزان، تهران، ایران.

ایمیل: nano@ariafan.com

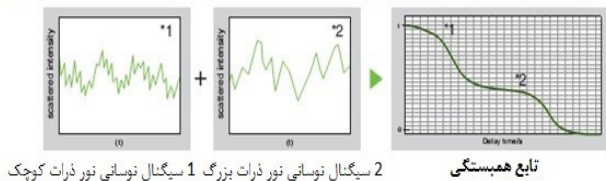
تلفن: ۰۲۱۸۸۵۰۳۶۳۳

۳. کارشناس نانو مترولوژی / شرکت آریا فن ورزان، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده فیزیک، تهران، ایران.

ایمیل: Soheilshirazian@alum.sharif.edu

تلفن: ۰۲۱۸۸۵۰۳۶۳۳

متحرک تغییر می‌کند و یک تغییر داپلر را ایجاد می‌کند، که این تغییر فرکانس و شدت در مقایسه با نور ورودی بسیار کوچک است. این تغییرات اطلاعاتی در مورد اندازه، توزیع، شکل و ساختار ذرات ارائه می‌دهد. [۲]



شکل ۱) نور پراکنده شده لیزر توسط ذرات کوچک و بزرگ با وضوح بالا اندازه‌گیری می‌شود. در تصویر فوق سیگنال نوسانی حاصل از پراکندگی نور لیزر به وسیله ذرات بزرگ و کوچک نشان داده شده است.

نظریه پراکندگی رایلی و پراکندگی مای:

خصوصیات پراکندگی نور به نسبت اندازه ذره به طول موج نور ورودی بستگی دارد. برای بررسی نظری پراکندگی نور از ذرات ریز از پارامتر معیار اندازه استفاده می‌شود. اگر پارامتر بدون بعد معیار اندازه را x تعریف کنیم: [۳]

$$x = \frac{2\pi r}{\lambda} \quad (1)$$

که در معادله بالا، r شعاع ذره و λ طول موج نور فرودی است. اگر میزان این پارامتر حدود ۰/۱ باشد، پراکندگی رایلی و برای معیار اندازه حدود یک که قطر آن‌ها با طول موج نور فرودی قابل مقایسه است از نظریه پراکندگی مای استفاده می‌شود. [۳]

۱ مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در ادوات اپتیکی، اندازه‌گیری تغییرات بسیار کم فرکانس و شدت نور پراکنده شده از نمونه را ممکن ساخته است. علاوه بر این، به دلیل شدت زیاد منبع لیزر که در یک نقطه متمرکز می‌شود، امکان اندازه‌گیری نور پراکنده شده ضعیف نیز وجود دارد. بنابراین هنگام استفاده از منبع نور لیزر، عمده‌ترین مشکلات در انجام این نوع آزمایش‌های پراکندگی نور که در گذشته وجود داشت، از بین می‌رود. این امر سبب افزایش قابل توجه آزمایش‌های پراکندگی نور لیزر در سال‌های اخیر است.

مطالعات تجربی تیندال^۱ در پراکندگی نور از ذرات معلق در هوا در سال ۱۸۶۹ میلادی صورت گرفت و کار اولیه نظری رایلی^۲ بر روی پراکندگی نور برای مطالعه انواع پدیده‌های فیزیکی در سال (۱۸۷۱ تا ۱۸۸۱ میلادی) انجام شده است. رایلی در سال ۱۸۷۱ میلادی با توضیح رنگ آبی آسمان و تاثیر ذرات جوی یکی از تاثیرات مهم پراکندگی نور توسط ذرات کوچک‌تر از طول موج نور را گزارش داد. وی در مقاله خود در سال ۱۸۸۱ میلادی نظریه تقریبی برای ذرات از هر شکل و اندازه که دارای ضریب شکست نسبی برابر با یک است، را ارائه داد. در سال‌های بعد نظریه پراکندگی رایلی^۳ توسط مای^۴، اسمولچوفسکی^۵، انیشتین^۶ و دبی^۷ توسعه یافت. برای مثال دبی در سال ۱۹۱۵ نظریه رایلی را بسط داد و محاسبات را به ذره‌هایی با شکل غیرکروی گسترش داد. [۱]

اساس پراکندگی نور دینامیکی:

پراکندگی نور دینامیکی^۸ بر مبنای اندازه‌گیری تفکیک زمانی^۹ نور همدوس پراکنده شده توسط ذرات (مانند مولکول‌های بزرگ یا ذرات ریز) در نمونه است (شکل ۱). هنگامی که نور به ماده برخورد می‌کند، میدان الکتریکی نور سبب القای قطبش نوسانی الکترون‌ها در مولکول‌ها می‌شود. مولکول‌ها بعنوان منبع ثانویه نور و متعاقباً تابش (پراکندگی) نور عمل می‌کنند. تغییرات فرکانس، توزیع زاویه‌ای، قطبش و شدت پراکندگی توسط اندازه، شکل و برهم‌کنش‌های مولکولی در ماده پراکنده شده تعیین می‌شوند. بنابراین با استفاده از ویژگی‌های پراکندگی نور یک سیستم و با کمک نظریه مکانیک آماری وابسته به زمان، می‌توان اطلاعاتی در مورد ساختار و پویایی مولکولی محیط پراکندگی بدست آورد. [۱]

هنگامی که ذرات میکروسکوپی درون یک حلال پراکنده می‌شوند، به دلیل برخورد این ذرات با اتم‌ها یا مولکول‌های حلال، حرکت تصادفی خواهند داشت که این حرکت را حرکت براونی^{۱۰} می‌نامند. ذرات کوچکتر سریعتر حرکت کرده و مسافت‌های طولانی‌ترین را طی می‌کنند؛ در حالی که ذرات بزرگ‌تر کندتر حرکت کرده و مسافت‌های کمتری را طی می‌کنند. ذرات درون نمونه دارای حرکت براونی هستند که به وسیله پرتو لیزری تک فرکانس برانگیخته می‌شوند. براساس نوع پدیده پراکندگی طول موج و شدت نور ورودی پس از برخورد به ذرات

^۱Tyndall
^۲Rayleigh
^۳Rayleigh scattering
^۴Mie
^۵Smoluchowski
^۶Einstein
^۷Debye
^۸Dynamic Light Scattering
^۹Time-resolved
^{۱۰}Brownian motion

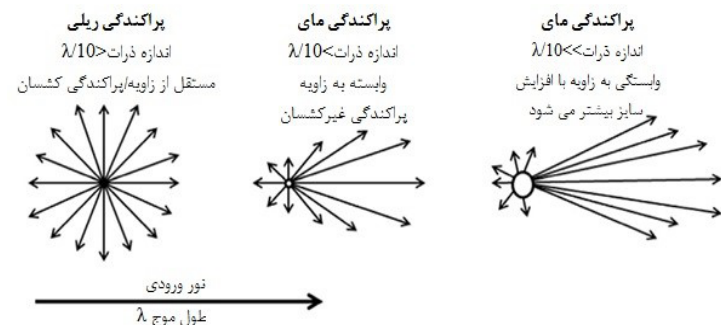


نور برخوردی به ذرات برای تعیین اندازه آن‌ها، باید تکفام باشد. به عبارتی، تمام اشعه‌های نور برخوردی باید یک طول موج و یک فرکانس داشته باشند.

- ذره باید کروی باشد، چون شکل ذره بر الگوی پراکندگی اثرگذار است.
- ذرات باید همسان باشند، اگر ذره غیر همسان باشد خصوصیات نوری آن در جهات مختلف متفاوت خواهد بود.
- نور برخوردی باید به صورت امواج صفحه‌ای و تخت باشد.
- هم پراکندگی و هم جذب باید در نظر گرفته شوند.
- ضریب شکست محیط و ذره باید شناخته شده باشد.

و بالاخره مجموعه باید همگن باشد، زیرا ناهمگنی روی الگوی پراکندگی اثر دارد. برخی از این شرایط جزء شرایط اصلی نظریه مای هستند ولی برخی دیگر برای ساده سازی مسئله و تعیین اندازه به کار گرفته می‌شوند. منظور از الگوی پراکندگی، همان تغییرات شدت نور پراکنده شده بر حسب زاویه پراکندگی، پس از برهم کنش نور با ذره است و زاویه پراکندگی، زاویه‌ای است که پرتو نور پراکنده شده با امتداد پرتو نور فرودی می‌سازد. بنابراین مجموعه‌ای از ذرات، یک الگوی نور پراکنده شده را تولید می‌کنند که توسط شدت و زاویه تعریف می‌شود و می‌تواند تبدیل به توزیع اندازه ذرات شود. دامنه نور پراکنده شده در زوایای مختلف (الگوی پراکندگی)، نه تنها به غلظت و اندازه ذرات وابسته است، بلکه به نسبت ضرایب شکست ذرات، به محیطی که ذرات در آن قرار دارند نیز بستگی دارد و نسبت به تغییرات کوچک در اندازه یا مقادیر ضریب شکست، بسیار حساس است. [۶]

تفاوت پراکندگی رایلی و پراکندگی مای به صورت طرح وار در شکل ۲ نمایش داده شده است. [۷]



شکل ۲) تاثیر اندازه ذره نسبت به طول موج نور ورودی که سبب ایجاد پراکندگی رایلی و پراکندگی مای می‌شود. پراکندگی رایلی، پراکندگی کشسان و پراکندگی مای، پراکندگی غیر کشسان است [۷]

- رایلی در سال ۱۸۷۱ میلادی نظریه خود مبنی بر پراکندگی نور خورشید توسط مولکول‌های گازی موجود در جو را مطرح و بدین وسیله رنگ آسمان را توصیف کرد. به طور کلی‌تر، پراکندگی رایلی پراکندگی الاستیک نور توسط ذرات بسیار کوچک‌تر از طول موج نور تابشی را توصیف می‌کند. پراکندگی رایلی از قطبش پذیری الکتریکی ذرات حاصل می‌شود. هنگامی که چنین ذره کوچکی در معرض امواج الکترومغناطیسی قرار می‌گیرند، میدان الکتریکی نوسان کننده یک موج نوری بر روی بارهای درون یک ذره اثر می‌گذارد و باعث قطبی شدن ذرات می‌شوند، به گونه‌ای که بارهای منفی از هسته مثبت فاصله بگیرند. در نتیجه جدا شدن بار، ذره دوقطبی لحظه‌ای، p ، را بدست می‌آورد. [۴]

سپس ذره در اثر بار شتاب‌دار تابش می‌کند. دو قطبی نوسان کننده یک میدان الکتریکی نوسان کننده تولید می‌کند، که متناسب با مربع فرکانس نوسان است. از آنجا که شدت، یعنی توان ناحیه ساطع شده، متناسب با مربع دامنه میدان E است، سطح مقطع حاصل از پراکندگی رایلی به طول موج بستگی دارد و تقریباً با توان چهارم طول موج رابطه عکس دارد، یعنی $(\sigma_{\text{ray}} \propto \lambda^{-4})$ است. بنابراین میزان پراکندگی به طور معکوس با توان چهارم طول موج متناسب است. [۵]

اگر اندازه ذرات در حدود یا کمی بزرگ‌تر از طول موج نور فرودی باشند، نمی‌توان از تقریب رایلی استفاده کرد. برای ذرات بزرگ‌تر نسبت به طول موج نور، مای با توصیف معادلات ماکسول^{۱۱} برای شرایط مرزی تعریف شده نظریه‌ای را برای مطالعه پراکندگی نور از ذرات، با توجه به شکل ذرات و تفاوت در ضریب شکست بین ذرات و محیطی که در آن‌ها پراکنده می‌شوند، مطرح کرد. ذرات بزرگ در مقایسه با ذرات کوچک نور را در زاویه‌های کوچک‌تر نسبت به پرتو فرودی پراکنده می‌کنند. [۵]

در نظریه مای، کاربر نیاز به دانستن ضریب شکست ذره و محیط یا همان ضریب شکست نسبی دارد. شدت نور پراکنده شده از ذرات، تابعی از طول موج نور، زاویه پراکندگی، اندازه ذره، و ضریب شکست نسبی ذره و محیط است. به عبارت دیگر در الگوی پراکندگی، شدت نورهای پراکنده شده در زوایای مختلف تابع اندازه، شکل و خصوصیات نوری ذره است. [۶]

برای استفاده از نظریه مای، شرایطی وجود دارد، که این شرایط بدین شرح است:

^{۱۱}Maxwells equations



$$|q| = \frac{4\pi n_0}{\lambda_0 \sin \frac{\theta}{2}}$$

که در معادله فوق، n_0 ضریب شکست^{۱۸} حلال، λ_0 طول موج در خلا و θ زاویه پراکندگی نسبت به راستای انتشار است.

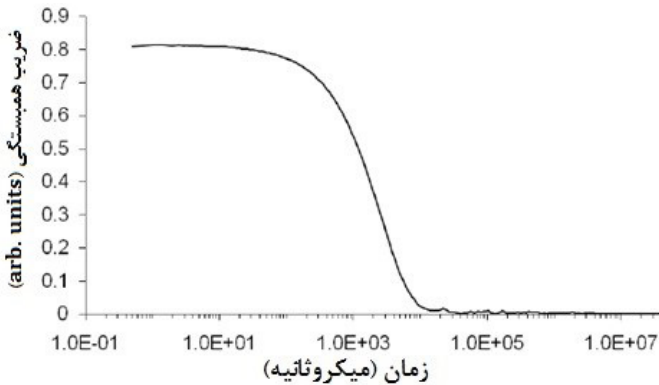
تابع همبستگی شدت به عنوان تابعی از عملکرد همبستگی میدانی^{۱۹} ($G_1(\tau)$) نوشته می‌شود، همانطور که در معادله ۴ ذکر شده است:

$$G_2(\tau) = 1 + G_1(\tau)^2 \quad \text{معادله (۴)}$$

سیگنال را می‌توان از لحاظ عملکرد همبستگی تفسیر کرد. داده‌های ورودی در یک زمان واقعی با یک دستگاه پردازش سیگنال دیجیتالی (همبستگی^{۲۰}) پردازش می‌شوند و عملکرد همبستگی به عنوان تابعی از زمان تاخیر، τ ، استخراج می‌شود. در ابزارهای DLS از تابع همبستگی خام^{۲۱} (ACF) در برابر زمان تاخیر^{۲۲} یک همبستگی (τ) ترسیم می‌شود، این مطلب در شکل ۴ نشان داده شده است. [۱۱]

$$RCF = G_2(\tau) - 1 = G_1(\tau)^2 \quad \text{معادله (۵)}$$

معادله فوق نشان می‌دهد RCF وابسته به عملکرد همبستگی میدانی ($G_1(\tau)$) است.



شکل ۴) داده‌های ورودی در یک زمان واقعی با یک دستگاه پردازش سیگنال دیجیتالی پردازش می‌شوند و عملکرد همبستگی به عنوان تابعی از زمان تاخیر، τ استخراج می‌شود. همبستگی یک نمونه حاوی ذرات که در آن همبستگی سیگنال در برابر زمان فروپاشی رسم شده است.

^{۱۸}Waves interference

^{۱۹}Fourier-transformed

^{۱۴}Decay Intervals

^{۱۵}Intensity autocorrelation function

^{۱۶}Diffusion Coefficient

^{۱۷}Scattering vector

^{۱۸}Refractive index

^{۱۹}Field correlation function

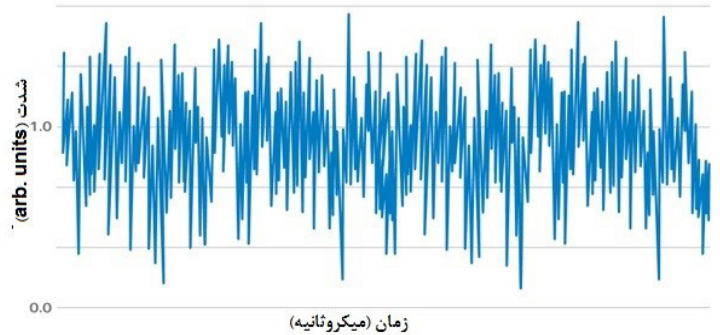
^{۲۰}Correlogram

^{۲۱}Raw correlation function

^{۲۲}Delay time

ذرات درون محیط پراکندگی کلئیدی نور ورودی لیزر را پراکنده می‌کنند و شدت نور پراکنده در DLS توسط آشکارسازی مشخص می‌شود. ذرات به طور پیوسته حرکت می‌کنند و در الگوی پراکندگی باعث ایجاد تداخل‌های سازنده و مخرب می‌شوند و همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، شدت نور پراکنده در طول زمان در نوسان است. [۸]

تداخل حاصل از پرتوهای نوری پراکنده از ذرات مختلف باعث ایجاد امواج تداخل^{۱۱} می‌شود. شدت این امواج تداخل به وسیله آشکارساز اندازه‌گیری می‌شوند. بنابراین، شدت نوری که توسط آشکارساز تشخیص داده می‌شود با گذشت زمان در نوسان است. این سیگنال برای تعیین فرکانس در مقابل توزیع شدت (طیف توان) تبدیل فوریه شده و براساس آن توزیع اندازه ذرات قابل محاسبه است. تبدیل فوریه^{۱۳} یک عمل ریاضی است که می‌تواند شدت نسبی هر فرکانس موجود در سیگنال امواج تداخل را تعیین کند. سیگنال نوری بدست آمده به دلیل تغییر موقعیت نسبی ذرات، تغییرات تصادفی را نشان می‌دهد. این مسئله به صورت طرح وار در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳) نوسانات شدت پراکندگی نور در مقابل زمان. به دلیل حرکت براونی ذرات شدت نور تشخیص داده توسط آشکارساز تغییر می‌کند. با استفاده از تبدیل فوریه شدت نور رسیده به آشکارساز به فرکانس تبدیل می‌شود.

اصول ریاضی تکنیک پراکندگی نور دینامیکی:

در تکنیک DLS نوسان شدت در نور پراکنده با فواصل فروپاشی کوتاه^{۱۴} (τ) و تابع همبستگی شدت^{۱۵} (ACF) از طریق معادله ۲ برای نمونه‌هایی که ذرات پراکندگی یکسانی دارند بدست می‌آید: [۹]

$$G(\tau) = 1 + b, e^{-2D_t q^2 \tau} \quad \text{معادله (۲)}$$

که در آن، b ثابت وابسته به ابزار و تنظیمات اپتیکی، D_t ضریب انتشار^{۱۶} و q بردار پراکندگی^{۱۷} است. تابع همبستگی معیاری برای تعیین نظم موجود در یک سیستم است درحقیقت، توابع همبستگی چگونگی ارتباط متغیرهای میکروسکوپی در نقاط مختلف سیستم را توصیف می‌کنند.

بردار پراکندگی در معادله ۲ به صورت زیر تعریف می‌شود:



تعیین اندازه ذرات، بررسی تأثیرات فیزیکی و شیمیایی و مطالعه تعامل بین ماکرومولکول‌ها است. اندازه ذره بر ویژگی‌های زیادی از مواد تأثیر گذار است و شاخص مهمی از کیفیت و عملکرد به حساب می‌آید. این امر برای پودرها، سوسپانسیون‌ها، امولسیون‌ها به کار می‌آید. اندازه و شکل پودرها روی ویژگی‌های شارش و بهم چسبیدن آن‌ها تأثیر می‌گذارد. اغلب ذرات بزرگ‌تر آسان‌تر نسبت به ذرات کوچک‌تر، شارش دارند. ذرات کوچک‌تر خیلی سریعتر حل می‌شوند و این امر منجر به ویسکوزیته‌های بالاتر در سوسپانسیون نسبت به ذرات بزرگ‌تر می‌شوند.

مراجع

- [1]. Berne, B. J., & Pecora, P(2000). Dynamic Light Scattering: With Applications to Chemistry, Biolog, and Physic. Dover Publications.
- [2]. Amiya, A., Noushaba, N., Mafy, M., & Muhibur, R. Aggregation of urea in water: Dynamic light scattering analyses. Journal of Molecular Liquids, 294, 111612.
- [3]. Guang S. H., Hai-Yan Q., & Qingdong Z. (2009). Rayleigh, Mie, and Tyndall scatterings of polystyrene microspheres in water: Wavelength, size, and angle dependences. Journal of Applied Physics, 105, 023110
- [4]. Luisa, B. G (2012). Introduction to Dynamic Light Scattering by Macromolecules. Academic Press.
- [5]. R, Pecora. (2000). Dynamic light scattering measurement of nanometer particles in liquids. Journal of Nanoparticle Research, 2, 123-131.
- [6]. احمدپور، فاطمه، و مقیم، محمد هادی (۱۳۹۵). روش پراکنندگی نور دینامیکی (DLS) برای مطالعه اندازه نانوذرات، سایت آموزش فناوری نانو. <http://edu.nano.ir/paper/86>
- [7]. Brian C., H., & Jeong-Yeol Y. (2011). Nanoparticle immunoagglutination Rayleigh scatter assay to complement microparticle immunoagglutination Mie scatter assay in a microfluidic device. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 85, 168-173
- [8]. Patricia, M., Carvalho, M. R., Felicio, N., Sonia, G & Marco, M. D., (2018). Application of Light Scattering Techniques to Nanoparticle Characterization and Development. Frontiers in Chemistry, 6, 237-292
- [9]. Sourav, B. (2016). DLS and zeta potential – What they are and what they are not. Journal of Controlled Release, 235, 337-351

^{۲۳}Data fitting

^{۲۴}Hydrodynamic Radius

توابع همبستگی در DLS توسط تناسب داده‌ها^{۲۳} محاسبه می‌شود و سپس D_t با استفاده از معادله ۲ محاسبه می‌شود. شعاع هیدرودینامیکی^{۲۴} (R_H) ذرات کروی را می‌توان از معادله استوکس- انیشتین به دست آورد.

$$D_t = \frac{k_B T}{6\pi\eta R_H} \quad \text{معادله (۶)}$$

که در آن K_B ثابت بولتزمن، T درجه حرارت، η ویسکوزیته و R_H شعاع هیدرودینامیکی است. همانطور که در معادلات بالا مشخص است، نتایج DLS به متغیرهای از جمله ویسکوزیته حلال، دما، ضریب شکست ماده بستگی دارد.

قطر هیدرودینامیکی (HD)، نمایانگر قطر کره فرضی است که دارای ضریب انتشار یا ویسکوزیته مشابه با همان ذره مورد بررسی است. بنابراین کره با قطر هیدرودینامیکی با همان سرعت ذرات مورد آزمایش، پخش می‌شوند. قطر هیدرودینامیکی هر چند به راحتی تعیین می‌شود ولی می‌تواند به میزان قابل توجهی از اندازه فیزیکی واقعی متفاوت باشد. [۹]

نتیجه گیری:

تکنیک پراکنندگی نور دینامیکی (DLS) برای بررسی توزیع اندازه نانوذرات در مایعات استفاده می‌شود. در این روش، نوسانات زمانی شدت نور پراکنده شده توسط ذرات بررسی می‌شوند. میزان کاهش تابع همبستگی این نوسانات برای اندازه-گیری مستقیم ضریب انتشار ذرات، که به نوبه خود به شعاع هیدرودینامیکی ذرات مربوط است، استفاده می‌شود.

وقتی که اندازه ذرات کوچکتر از $\lambda/10$ نور فرودی باشد، نور پراکنده شده دارای همان انرژی نور فرودی است (پراکنندگی الاستیک) و مستقل از زاویه می‌باشد که به آن پراکنندگی رایلی می‌گویند. هنگامی که اندازه ذرات از آستانه $\lambda/10$ نور فرودی فراتر رود، پراکنندگی رایلی با پراکنندگی مای جایگزین می‌شود که در آن نور پراکنده شده، انرژی نابرابر با نور ورودی دارد (پراکنندگی غیراستاتیک) و این پراکنندگی به زاویه نیز وابسته است.

خصوصیات نانوذرات از اهمیت ویژه‌ای در علم نانو مواد و تهیه فرمولاسیون‌های نانو برخوردار است. تعیین اندازه ذرات برای توصیف مناسب نانوذرات ضروری است. روش پراکنندگی نور دینامیکی به عنوان ابزاری ساده، آسان و تکرارپذیر برای تعیین اندازه ذرات مورد استفاده قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری پراکنندگی نور دینامیکی برای کنترل کیفیت و برای ارزیابی نمونه، برای

