

## مقدمه‌ای بر روش پراکندگی نور دینامیکی و مقایسه تجربی چیدمان‌های اپتیکی مختلف بر نتایج آزمایش

محمد باقری<sup>۱</sup>، مهدی خورسندی<sup>۲</sup>

## چکیده

## اطلاعات مقاله:

پراکندگی نور دینامیکی که همچنین با نام‌های طیف سنجی همبستگی فوتونی و پراکندگی نور شبه الاستیک شناخته می‌شود، روشی فیزیکی است که به طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری ذرات در مقیاس نانو و زیرمیکرو مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین این تکنیک برای مطالعه رفتار دینامیکی برهمکنش‌های کلوییدی و بررسی فرآیندهایی مانند انباشتگی و انعقاد قابل استفاده است.

در تکنیک DLS، ضرایب انتشار مرتبط با حرکت براونی ذرات موجود در یک سوسپانسیون اندازه‌گیری می‌شود. این اندازه‌گیری با متمرکز ساختن یک پرتو لیزر بر نمونه و با آشکارسازی نوسانات شدت پرتوهای پراکنده شده ناشی از ذراتی که تحت تاثیر حرکت براونی قرار دارند، انجام می‌شود. اطلاعات مربوط به ضرایب انتشار و شعاع هیدرودینامیکی ذرات را می‌توان از تجزیه و تحلیل این نوسانات بدست آورد.

در این مقاله، ضمن بیان نظری تکنیک پراکندگی نور دینامیکی و ریاضیات مرتبط با آن، رهیافت‌های همچون آشکارسازی پس‌پراکندگی و تغییر نقطه کانونی لیزر معرفی شده است. سپس به منظور بررسی تاثیرات این رهیافت‌ها بر دقت و حساسیت تکنیک DLS، با استفاده از دستگاه BeNano ۱۸۰ Zeta pro بر روی پنج عدد استاندارد اندازه ذرات غلیظ در زوایای آشکارسازی ۹۰ و ۱۷۳ درجه آزمایش انجام شده و نتایج حاصل از آشکارسازی پس‌پراکندگی و آشکارسازی جانبی تجزیه و تحلیل شده است. نتایج حاکی از آن است که در در آنالیز اندازه ذرات نمونه‌های غلط، به کارگیری روش آشکارسازی پس‌پراکندگی و کاهش عمق نفوذ لیزر موجب کاهش قابل ملاحظه شدت پرتوهای چندپراکندگی شده و در نتیجه دقت و صحت نتایج بدست آمده از این تکنیک افزایش می‌یابد.

نشریه رویکردهای نوین در  
آزمایشگاه‌های علمی ایران  
سال پنجم، شماره ۲، ۱۴۰۰  
صفحات: ۳۶-۳۱  
شاپای چاپی: ۶۴۰۱-۲۵۸۸  
شاپای الکترونیکی: ۶۴۱X-۲۵۸۸  
وبسایت: shaajournal.msrt.ir  
تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۵/۲۵  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۴  
نشر آنلاین: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸



مهدی خورسندی



محمد باقری

واژگان کلیدی: پراکندگی نور دینامیکی، اندازه ذرات، حرکت براونی، شعاع هیدرودینامیکی، آشکارسازی پس‌پراکندگی، آشکارسازی جانبی

نویسندگان:

۱. مسئول فنی شرکت دانش پیشرفته آزمایشگاهی پی‌برد، تهران، ایران.

ایمیل: m.bagheri@peyboardco.com

تلفن: ۰۲۱۴۰۰۲۱۹۲۲-۷

۲. مدیر عامل شرکت دانش پیشرفته آزمایشگاهی پی‌برد، تهران، ایران.

ایمیل: m.khorsandi@peyboardco.com

تلفن: ۰۲۱۴۰۰۲۱۹۲۲-۷

\* نویسنده مسئول



بسیار کوتاه تغییر می‌کند [۴].

در حرکت بروانی ذرات کوچک با سرعت بیشتری نسبت به ذرات بزرگ در حرکت هستند. در نتیجه موجب به وجود آمدن نوسانات شدت سریع‌تری نسبت به ذرات بزرگ می‌شوند. با استفاده از یک همبسته‌ساز خودکار<sup>۱۱</sup> امکان تجزیه و تحلیل این نوسانات شدت، دستیابی به اطلاعاتی نظیر اندازه ذرات، توزیع اندازه ذرات فراهم می‌کند. همچنین در صورت مشخص بودن اندازه ذرات، اطلاعاتی در مورد ویسکوزیته نمونه قابل دستیابی است.

در طی فرآیند پراکندگی، امواج الکترومغناطیسی می‌توانند انرژی و یا تکانه را به ذرات پراکنده شده منتقل و یا از آنها دریافت کند. با این حال، انرژی امواج تابیده شده و امواج پراکنده شده بسیار نزدیک به هم است. از اینرو تکنیک DLS همچنین پراکندگی نور شبه الاستیک<sup>۱۲</sup> نیز نامیده می‌شود. [۵]

انتقال اندازه حرکت<sup>۱۳</sup> و یا بردار پراکندگی q مهمترین پارامتر در DLS است که به صورت اختلاف میان بردارهای امواج تابیده و پراکنده شده، مطابق معادله زیر تعریف می‌شود [۶].

$$q = \frac{4\pi n}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad \text{معادله ۱}$$

در معادله ۱ آن n ضریب شکست حلال<sup>۱۴</sup>،  $\lambda$  طول موج پرتو ورودی در حلال،  $\theta$  زاویه پراکندگی است. همچنین مقیاس طولی طوی شده توسط تکنیک DLS، با استفاده از معکوس بردار پراکندگی ( $q^{-1}$ ) تعیین می‌شود.

نوسانات در شدت نور پراکنده شده، با تابع خود همبستگی<sup>۱۵</sup> زمانی مطابق معادله ۲ تعیین می‌گردد:

$$g_{(1)}(t) \equiv \left[ \frac{1}{\beta} \left( \frac{I(t)I(0)}{I(0)^2} - 1 \right) \right] \equiv 1 + |g_{(1)}(t)|^2 \quad \text{معادله ۲}$$

در معادله ۲،  $\beta$  یک ضریب تصحیح است که که توسط پارامترهای اپتیکی در چیدمان آزمایش تعیین می‌شود و I(t) شدت تابش در یک زمان مشخص است [۷]. در شکل ۱ مثالی از یک تابع خود همبستگی بدست آمده از تکنیک DLS در شکل نشان داده شده است.

در صورتی که ذرات نمونه تک پراکنده<sup>۱۶</sup> باشند با استفاده از معادله ۳ می‌توان میان تابع  $g_1$  و ضریب انتشار D ذرات ارتباط ایجاد کرد:

$$g_{(1)}(t) = e^{-Dq^2 t} \quad \text{معادله ۳}$$

اگر فرض شود ذرات موجود در نمونه کروی است و برهمکنشی میان آنها وجود ندارد. شعاع ذرات را می‌توان با استفاده از ضریب انتشار و معادله استوک-اینشتین<sup>۱۷</sup>، به صورت زیر بدست آورد:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta R} \quad \text{معادله ۴}$$

## ۱- مقدمه

یکی از اولین آزمایش‌های پراکندگی نور، در سال ۱۸۶۸ توسط جان تیندال<sup>۱</sup> طراحی شد. در این آزمایش، پرتوهای پراکنده شده توسط یک سوسپانسیون که در آنها اندازه ذرات بزرگتر از طول موج پرتو تابیده شده بودند (اثر تیندال)، مورد بررسی قرار گرفت. اندکی پس از آن در سال ۱۸۷۱ لرد رایلی<sup>۲</sup> با توضیح پدیده رنگ آبی آسمان، پراکندگی نور از ذراتی که از طول موج تابیده شده کوچکتر بودند را توصیف کرد (پراکندگی رایلی) [۱]. سپس در سال ۱۹۰۸ گوستاو می<sup>۳</sup> نظریه‌ای برای مطالعه پراکندگی نور از ذراتی که بزرگتر از طول موج پرتو تابیده شده بودند را با در نظر گرفتن ضریب شکست ذرات و محیط ارائه داد.

مطالعات پیتر دبی<sup>۴</sup> در سال ۱۹۱۸ نشان داد پراکندگی از ذرات را می‌توان مستقل از ویژگی‌هایی همچون جرم، اندازه و یا حجم به صورت تابعی از زاویه پراکندگی مورد مطالعه قرار داد. همچنین اینشتین<sup>۵</sup> نظریه حرکت بروانی که حرکت مولکول‌ها در یک مایع را توضیح می‌دهد، ارائه کرد. در این نظریه او ثابت کرد که ذرات به دلیل برخورد دائمی با مولکول‌های حلال در معرض نیروهای تصادفی قرار می‌گیرند که منجر به حرکت تصادفی ذرات می‌شود. بعدها اینشتین رابطه‌ای میان ضریب انتشار ذرات و اصطکاک انتقالی آنها برقرار ساخت و پیشنهاد کرد اصطکاک اعمال شده توسط یک ذره متحرک با شعاع آن و ویسکوزیته<sup>۶</sup> حلالی که ذرات را احاطه کرده مرتبط است. [۲]

از یک سو پیدایش لیزر در دهه ۶۰ میلادی و همزمان با آن پیشرفت تکنولوژی‌های مرتبط با ساخت ادوات اپتیکی و از سوی دیگر نیاز روزافزون مراکز صنعتی و تحقیقاتی به مشخصه‌یابی ذرات، منجر به ساخت اولین نمونه‌های تجاری دستگاه‌های DLS شد.

امروزه این تکنیک به صورت گسترده‌ای برای شناسایی خواص فیزیکی انواع مختلف ذرات از جمله رنگدانه‌ها، جوهرها، میکروامولسیون‌ها<sup>۷</sup>، سرامیک‌ها، داروها، نوشیدنی‌ها، مواد غذایی، لوازم آرایشی، فلزات، چسب‌ها، پلیمرها، کلویدها<sup>۸</sup>، ماکرومولکول‌های آلی و بسیاری مواد دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳].

بخش نخست این مقاله، به بیان نظری تکنیک پراکندگی نور دینامیکی و ریاضیات مرتبط با آن اختصاص داده شده است. بخش دوم و سوم به ترتیب تاثیر زوایای آشکارسازی مختلف و نقطه کانونی لیزر بر دقت و حساسیت نتایج بررسی شده و فناوری مکان یابی هوشمند برای تعیین موقعیت بهینه آشکارسازی معرفی گردیده است. در آخر به وسیله دستگاه Zeta pro ۱۸۰ BeNano محصول شرکت Bettersize بر روی پنج عدد استاندارد اندازه ذرات آزمایش انجام شده و نتایج حاصل از آشکارسازی پس پراکندگی و آشکارسازی جانبی مقایسه شده است.

## نظریه پراکندگی نور دینامیکی

اساس تکنیک DLS، پراکندگی نور توسط ذرات متحرک است. بدین منظور در یک آزمایش DLS، پرتو لیزر تک رنگ و پلاریزه<sup>۹</sup> از یک پراکندگی کلوییدی رقیق عبور داده می‌شود. حرکت براونی<sup>۱۰</sup> کلویدها و مولکول‌ها موجب پراکندگی فوتون‌ها با زوایای مشخصی که وابسته به اندازه ذرات است، می‌شود. شدت نوری که هر لحظه با آشکارساز میرسد به الگوی تداخل ایجاد شده توسط فوتون‌های پراکنده شده از تمام ذرات بستگی دارد. همانطور که ذرات حرکت می‌کنند، الگوی تداخل نوسان می‌کند. بنابراین شدت اندازه‌گیری شده در مقیاس‌های زمانی

<sup>1</sup>John Tyndall

<sup>2</sup>Lord Rayleigh

<sup>3</sup>Gustav Mie

<sup>4</sup>Peter Debye

<sup>5</sup>Einstein

<sup>6</sup>Viscosity

<sup>7</sup>Microemulsion

<sup>8</sup>Colloid

<sup>9</sup>Polarized

<sup>10</sup>Brownian motion

<sup>11</sup>Autocorrelator

<sup>12</sup>Quasi-elastic light scattering

<sup>13</sup>Momentum transfer

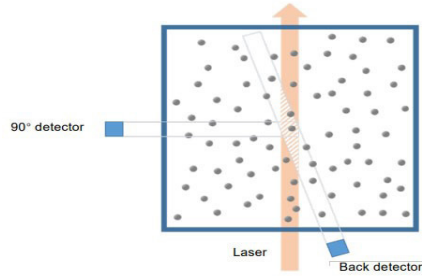
<sup>14</sup>Medium

<sup>15</sup>Correlation function

<sup>16</sup>Monodisperse

<sup>17</sup>Stokes-Einstein Equation

در ادامه هر کدام از زوایای آشکارسازی مورد بررسی قرار گرفته و تاثیر آن بر نتایج حاصل تکنیک DLS بیان شده است:



شکل 2: موقعیت هریک از آشکارسازهای ۹۰ و ۱۷۳ نسبت به محور فرضی منطبق بر پرتو لیزر

### آشکارسازی در زاویه ۱۷۳:

در صورتی که آشکارساز در زاویه ۱۷۳ درجه قرارگیرد، آشکارسازی پس پراکندگی<sup>۲۰</sup> نامیده می‌شود. در این زاویه پرتوهایی که در قسمت دیواره جلویی کووت پراکنده شده، شناسایی می‌شود. این بدان معناست که عمق نفوذ لیزر در نمونه بسیار کوتاه است. از اینرو، به دلیل کاهش اثر پراکندگی چندگانه، به عنوان یک روش آشکارسازی ایده‌آل برای نمونه‌های بسیار غلیظ و کدر مورد استفاده قرار می‌گیرد. پراکندگی چندگانه<sup>۲۱</sup> بدین معناست که پرتو نور در مسیر آشکارساز بیشتر از یک مرتبه پراکنده شود که می‌تواند موجب اختلال در سیگنال‌های اندازه‌گیری شده، شود [۳].

### آشکارسازی در زاویه ۹۰:

در صورتی که آشکارساز در زاویه ۹۰ درجه قرار گیرد، پراکندگی‌های جانبی قابل اندازه‌گیری می‌شود. این روش آشکارسازی، برای ذرات با قابلیت پراکندگی ضعیف مناسب است [۱۰]. چراکه به دلیل موقعیت مکانی آشکارساز، از ایجاد اختلال توسط پرتو لیزر زبانه کشیده شده در دیواره کووت، جلوگیری می‌شود. بنابراین در این نوع آشکارسازی حساسیت کمتری نسبت به کیفی و خراش روی دیواره کووت وجود دارد.

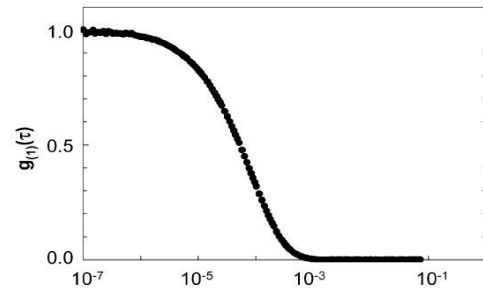
### آشکارسازی در زاویه ۱۵:

آشکارسازی در زاویه ۱۵ درجه برای بررسی انباشتگی<sup>۲۲</sup> ذرات و یا وجود ذرات درشت در نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از آنجایی که ذرات درشت نسبت به ذرات کوچک، پرتوها را در زاویه کوچک‌تری پراکنده می‌کند، با مقایسه نتایج حاصل از آشکارسازی در ۱۵ و آشکارسازی در دیگر زوایا، وجود تراکم و توده ذرات در نمونه قابل پیش‌پیش می‌باشد.

که در آن K ثابت بولتزمن<sup>۱۸</sup>، T، دما،  $\eta$  ویسکوزیته حلال و R شعاع ذرات است.

بنابراین در مرحله اول، تکنیک DLS ضرایب انتشار ذرات معلق را اندازه‌گیری می‌کند. سپس در صورت مشخص بودن ویسکوزیته سوسپانسیون، شعاع ذرات قابل محاسبه می‌باشد [8]. در صورتی که ذرات غیر کروی باشد، لایه‌ای از مولکول‌های حلال وجود خواهد داشت که همراه با ذرات حرکت می‌کند به ویژه در مواردی که سطح ناصاف و دارای قسمت‌های بیرون زده است. در نتیجه تکنیک DLS شعاع هیدرودینامیکی<sup>۱۹</sup> ذرات را اندازه‌گیری می‌کند [5].



شکل ۲: تابع همبستگی  $g(t)$  برای پرتوهای پراکنده شده در تکنیک DLS. این توابع مستقیماً از نوسانات شدت آشکارسازی شده ایجاد می‌شوند [9].

تابع همبستگی تعریف شده در معادله ۳ تنها در صورتی صادق است که نمونه حاوی ذرات تک پراکنده باشند. در اکثر موارد، نمونه حاوی ذراتی با دامنه اندازه مشخص است. در چنین حالتی معادله ۳ به جمع وزنی ذرات با اندازه‌های مختلف موجود در نمونه، تبدیل می‌شود. و همچنین برای یک توزیع پیوسته، جمع وزنی با انتگرال جایگزین شود:

معادله ۵

$$g_{(1)}(t) = \int_0^{\infty} G(\Gamma) e^{-\Gamma t} d\Gamma$$

در معادله ۵،  $T=Dq^2$  و  $G(T)$  مربوط به شدت پراکنده شده از ذرات با D مشخص، در بردار پراکندگی q است.

حل معادله فوق برای بدست آوردن توزیع اندازه ذرات به علت خطای تجهیزات آزمایش، ممکن نیست و راه حل‌های ریاضی بسیار ناپایدار است. بدین دلایل، روش‌های جایگزینی برای استخراج اطلاعات در مورد توزیع اندازه ذرات توسعه یافته است.

همه این روش‌ها از یک مجموعه مجزا از شعاع‌های از پیش تعیین شده استفاده می‌کنند. این شعاع‌ها به عنوان مجموعه‌ای از متغیرها، برای محاسبه تابع همبستگی خودکار منطبق شده، از طریق معادله استوکس-اینشتین در معادله ۴ مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس این تابع با تابعی که به صورت تجربی بدست آمده مقایسه می‌شود. این فرآیند تا زمانی که انطباق خوبی میان دو تابع بدست آید تکرار می‌شود [۵].

### بررسی زوایای آشکارسازی

امروزه دستگاه‌های مدرن DLS، از زوایای آشکارسازی مختلفی (معمولاً زوایای ۱۵، ۹۰ و ۱۷۳) برای آشکارسازی پرتوهای پراکنده شده توسط ذرات بهره‌مندی می‌برند. در شکل ۲ موقعیت هریک از این آشکارسازها نسبت به محور فرضی منطبق بر پرتو لیزر مشاهده می‌شود.

<sup>۱۸</sup>Boltzmann constant

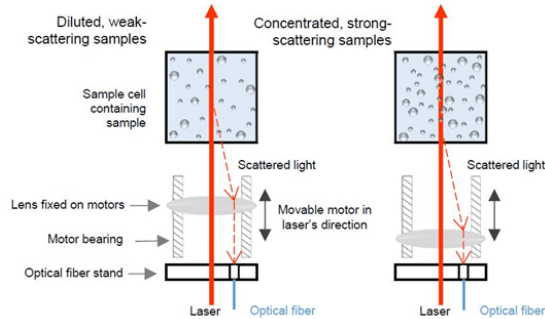
<sup>۱۹</sup>Hydrodynamic

<sup>۲۰</sup>Backscattering

<sup>۲۱</sup>Multiscattering

<sup>۲۲</sup>Accumulation

## بررسی نقطه کانونی لیزر:



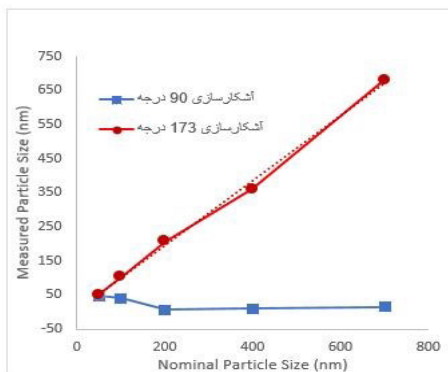
شکل ۴: چیدمان اپتیکی برای مکان یابی هوشمند، به منظور دستیابی به نقطه کانونی بهینه. با حرکت دادن لنز، نقطه آشکارسازی در هر موقعیت مکانی از مرکز تا سطح کووت قرار می‌گیرد.

## مقایسه تجربی نتایج حاصل از آشکارسازی ۱۷۳ و ۹۰

در این پژوهش، به منظور بررسی تاثیر زاویه آشکارسازی و بر دقت و صحت نتایج حاصل از تکنیک SLD، بر روی استاندارد اندازه ذرات، آزمایش انجام شده است.

برای انجام این آنالیز، پنج نمونه استاندارد به ترتیب با مقادیر ۵۰nm، ۱۰۰nm، ۲۰۰nm، ۴۰۰nm و ۷۰۰nm تهیه گردید. با استفاده از حلال آب تمامی استانداردها به غلظت ۰/۱ رسانیده شد. سپس با استفاده از دستگاه Zeta Pro ۱۸۰ BeNano بر روی تمامی استانداردها در زوایای ۹۰ و ۱۷۳ درجه و دمای ۲۵ C<sup>o</sup> آنالیز انجام پذیرفت. برای بررسی تکرارپذیری، اندازه‌گیری بر روی هر استاندارد ۳ بار تکرار شده است. میانگین نتایج بدست آمده در نمودار ۱ مشاهده می‌شود.

در این نمودار محور افقی مقادیر اسمی اندازه ذرات و محور عمودی مقادیر حاصل از آزمایش را نشان می‌دهد. همچنین، مقادیر اندازه‌گیری شده توسط آشکارساز ۹۰ درجه با مربع‌های آبی و مقادیر اندازه‌گیری شده توسط آشکارساز ۱۷۳ درجه با دایره‌های قرمز مشخص شده است.

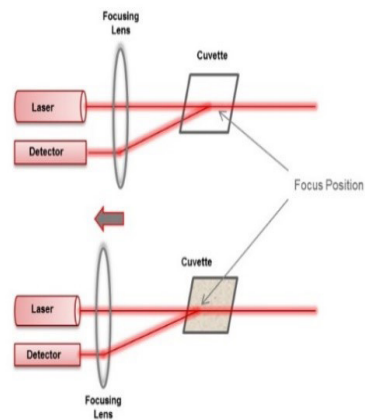


نمودار ۱ مربع‌های آبی: مقادیر اندازه‌گیری شده توسط آشکارساز ۹۰ درجه، دایره‌های قرمز: مقادیر اندازه‌گیری شده توسط آشکارساز ۱۷۳ درجه

## نتیجه‌گیری

در این مقاله، نخست به پیشینه تاریخی و تئوری تکنیک DLS پرداخته شده. سپس چیدمان‌های اپتیکی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. امروزه دستگاه‌های مدرن DLS، از زوایای آشکارسازی مختلفی (معمولاً زوایای ۱۵، ۹۰ و ۱۷۳) برای شناسایی پرتوهای پراکنده شده توسط ذرات بهره می‌برند. در آشکارسازی ۱۷۳ درجه، اثر پراکندگی چندگانه به حداقل می‌رسد. در نتیجه می‌توان به عنوان یک روش آشکارسازی ایده‌آل برای نمونه‌های بسیار غلیظ و کدر مورد استفاده قرار گیرد.

در تکنیک DLS دستیابی به نتایج دقیق مستلزم آن است که از پراکندگی چندگانه پرتوها اجتناب شود. به عبارت دقیق‌تر، پرتو لیزر در مسیر رسیدن به آشکارساز تنها یک بار پراکنده شود. بدین منظور، نمونه مورد بررسی باید شفاف و رقیق باشد. در غیر این صورت می‌توان عمق نفوذ لیزر در نمونه را با استفاده از روش‌های اپتیکی کاهش داد. در شکل ۳ نقاط کانونی مختلف در آشکارسازی پس‌پراکندگی مشاهده می‌شود.



شکل ۳: عمق نفوذ لیزر در کووت به وسیله تغییر مکان عدسی، با استفاده از یک موتور متحرک قابل تغییر است. عمق نفوذ، برای نمونه‌های غلیظ و رقیق، به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد.

## نقطه کانونی آشکارسازی در وسط کووت:

در این مورد، حجم پس‌پراکندگی بسیار زیاد است از این رو آشکارساز سیگنال‌های پراکندگی زیادی را از ذرات دریافت می‌کند و در نتیجه موجب بهبود دقت و افزایش حساسیت آشکارسازی برای نمونه‌های رقیقی که در بردارنده ذرات کوچک‌تری هستند، می‌شود. با این حال برای نمونه‌هایی با غلظت بسیار بالا و اثر پراکندگی قوی، دقت اندازه‌گیری کاهش می‌یابد.

## نقطه آشکارسازی نزدیک دیواره کووت است:

در این حالت، نقطه آشکارسازی در نزدیکی دیواره کووت قرار دارد. از اینرو اثر پراکندگی چندگانه نمونه‌های با غلظت بالا طور موثری کاهش می‌یابد. در نتیجه دقت و تکرار پذیری نتایج حاصل از نمونه‌های غلیظ افزایش پیدا می‌کند. با این حال، از آنجایی که در این نوع طراحی اپتیکی مقدار پرتوهای پراکنده شده کم است، این طراحی اپتیکی مناسب اندازه‌گیری ذراتی که موجب پراکندگی ضعیف می‌شوند و نمونه‌های بسیار رقیق نیست.

دستگاه Zeta Pro ۱۸۰ BeNano با بهره‌گیری از فناوری جستجوی هوشمند برای تعیین موقعیت بهینه آشکارسازی، قادر است نقطه کانونی بهینه را برای آشکارسازی پیدا کند. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود. با حرکت دادن لنز، نقطه آشکارسازی در هر موقعیت مکانی از مرکز تا سطح کووت قرار می‌گیرد.

در نتیجه، برای دستیابی به بالاترین دقت، فاصله کانونی بهینه و شدت لیزر، بر اساس پارامترهایی همچون غلظت نمونه، محدوده اندازه و توان پراکندگی ذرات تنظیم می‌شود.



[9]. M. Alexander and D. G. Dalgleish, "Dynamic light scattering techniques and their applications in food science," *Food Biophysics*, vol. 1, no. 1. pp. 2–13, Mar. 2006. doi: 10.1007/s11483-005-9000-1.

آشکارسازی در زاویه ۹۰ درجه برای ذرات با قابلیت پراکندگی ضعیف و نمونه‌های رقیق مناسب است. همچنین، آشکارسازی در زاویه ۱۵ درجه برای بررسی انباشتگی ذرات و یا وجود ذرات درشت و توده در نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

[10]. M. Sartor, "Dynamic light scattering to determine the radius of small beads in Brownian motion in a solution," *University of California San Diego*, pp. 1–21, 2003.

از دیگر پارامترهای موثر بر دقت و صحت تکنیک DLS، میزان عمق نفوذ لیزر در کووت است. در صورتی که نقطه کانونی لیزر در نزدیکی دیواره کووت باشد، اثر پراکندگی چندگانه نمونه‌های غلیظ به طور موثری کاهش می‌یابد.

به منظور بررسی تاثیر زوایای آشکارسازی و بر دقت و صحت نتایج حاصل از تکنیک DLS، بر روی پنج استاندارد اندازه ذرات غلیظ آنالیز انجام پذیرفت. نتایج آزمایش حاکی از آن بود که در آشکارسازی پس‌پراکندگی به علت نزدیک بودن نقطه کانونی لیزر به دیواره کووت اثر پراکندگی چندگانه به طور موثری کاهش یافت و مقادیر اندازه-گیری شده ذرات توسط این آشکارساز، با دقت بالایی بر مقادیر واقعی منطبق بوده است.

در نتیجه، پرسش اصلی در هنگام بکارگیری تکنیک DLS باید مطرح شود این است که آشکارسازی در کدام زوایا قابل انجام است و کدام یک از این زوایا برای نمونه مورد نظر مناسب است.

## منابع

- [1]. R. Lord, "On the light from the sky, its polarization and colour," *Phil Mag*, vol. 41, p. 274, 1871.
- [2]. J. Stetefeld, S. A. McKenna, and T. R. Patel, "Dynamic light scattering: a practical guide and applications in biomedical sciences," *Biophysical Reviews*, vol. 8, no. 4. Springer Verlag, pp. 409–427, Dec. 01, 2016. doi: 10.1007/s12551-016-0218-6.
- [3]. M. Kaszuba, D. McKnight, M. T. Connah, F. K. McNeil-Watson, and U. Nobbmann, "Measuring sub nanometre sizes using dynamic light scattering," *Journal of nanoparticle research*, vol. 10, no. 5, pp. 823–829, 2008.
- [4]. R. Pecora, *Dynamic light scattering: applications of photon correlation spectroscopy*. Springer Science & Business Media, 1985.
- [5]. M. Alexander and D. G. Dalgleish, "Dynamic light scattering techniques and their applications in food science," *Food Biophysics*, vol. 1, no. 1, pp. 2–13, 2006.
- [6]. S. E. Harding and K. Jumel, "Light scattering," *Curr Protoc Protein Sci*, vol. 11, no. 1, pp. 7–8, 1998.
- [7]. W. Brown, *Dynamic light scattering: the method and some applications*, vol. 49. Clarendon Press, 1993.
- [8]. B. Jachimska, M. Wasilewska, and Z. Adamczyk, "Characterization of globular protein solutions by dynamic light scattering, electrophoretic mobility, and viscosity measurements," *Langmuir*, vol. 24, no. 13, pp. 6866–6872, 2008.

## Introduction to Dynamic Light Scattering method and experimental comparison of different optical arrangements on the test result

Mohammad Bagheri<sup>1</sup>, Mehdi Khorsandi<sup>2\*</sup>

### Article Info:

#### NAISL

Volume 5, Number 2, 2022

Pages: 31-36

Print ISSN: 2588-6401

Online ISSN: 2588-641X

Website: shaajournal.msrt.ir

Date Received: 2022/08/16

Acceptance date: 2022/10/26

Online publishing: 2023/05/28

### Abstract

Dynamic light scattering, also known as photon correlation spectroscopy and quasi-elastic light scattering, is a physical method widely used to measure particles at the nano and submicron scale. This technique can also be used to study the dynamic behavior of colloidal interactions and processes such as accumulation and coagulation.

In the DLS technique, the diffusion coefficients associated with the Brownian motion of the particles in a suspension are measured. This measurement is performed by focusing a laser beam on the sample and detecting fluctuations in the intensity of scattered beams from particles affected by Brownian motion. Information about the diffusion coefficients and the hydrodynamic radius of the particles can be obtained from the analysis of these fluctuations.

In this paper, while theoretically expressing the technique of dynamic light scattering and related mathematics, approaches such as back-scattering detection and intelligence changing of laser focal points are introduced. Then, to investigate the effects of these approaches on the accuracy and sensitivity of the DLS technique, using the BeNano 180 Zeta Pro device, tests were performed on five standards of concentrated particle sizes at 90 and 173 angles, and the results of the back-scattering and lateral-scattering detection were analyzed. The results indicate that in the particle size analysis of concentrated samples, the use of backscattering methods and laser beam depth reduction In this paper, while theoretically expressing the technique of dynamic light scattering and related mathematics, approaches such as back-scattering detection and intelligence changing of laser focal points are introduced. Then, to investigate the effects of these approaches on the accuracy and sensitivity of the DLS technique, using the BeNano 180 Zeta Pro device, tests were performed on five standards of concentrated particle sizes at 90 and 173 angles, and the results of the back-scattering and lateral-scattering detection were analyzed. The results indicate that in the particle size analysis of concentrated samples, the use of backscattering methods and laser beam depth reduction led to a magnificent reduction in multi-scattering intensities. As a result, the accuracy and validity of results increase.



Mehdi Khorsandi



Mohammad Bagheri

**Key Words:** Dynamic light scattering, particle size, Brownian motion, hydrodynamic radius, back-scattering detection, lateral detection.

### Authors:

<sup>1</sup>. Technical manager of Peybord Advanced Laboratory Knowledge Company, Tehran, Iran.

E-mail: m.bagheri@peybordco.com

Tel: 02140021922-7

<sup>2</sup>. Managing Director of Peybord Advanced Laboratory Knowledge Company, Tehran, Iran.

E-mail: m.khorsandi@peybordco.com

Tel: 02140021922-7

\*.Corresponding author