عنوان: روش پراکندگی نور دینامیکی برای مطالعه اندازه نانوذرات

نویسندگان : ۱- فاطمه احمدپور ۲- محمدهادی مقیم

سیستم جامع آموزش فناوری نانو

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو در راستای تأمین نیازهای آموزشی دانش آموزان و دانشجویان مقاطع و رشته‌های مختلف و سایر علاقه مندان به علوم وفناوری نانو اقدام به تدوین سیستم جامع آموزش فناوری نانو نموده است. فایل حاضر، فایل ارائه مقاله ای است که در سایت آموزش فناوری نانو با جانمایی:

دوره؛ روش های شناسایی نانوساختارها
درس؛ روش های تعیین اندازه ذرات
جلسه؛ دوم

بارگذاری گردیده که به منظور کمک به یادگیری مطالب اصلی توسط کاربر و نیز روان شدن برگزاری کارگاه ها و سمینارهای آموزشی، طراحی شده که در اختیار علاقه مندان قرار گرفته است. استفاده از این فایل ها ضمن کمک به یادگیری بهتر مخاطبان، برگزاری سمینارها و کارگاه های تخصصی را برای نهادهای ترویجی آسانتر خواهد نمود.

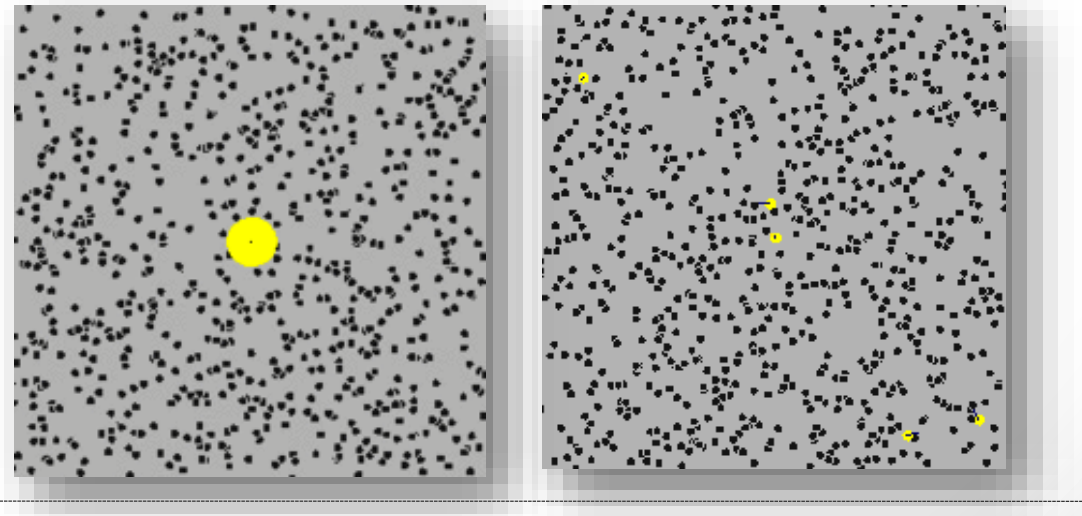
مقدمه

- دانستن اندازه و توزیع اندازه ذرات، از اطلاعات پیش نیاز برای تولید و ساخت محصولات مختلف است.
- روش تفرق دینامیک نور (DLS: Dynamic Light Scattering)، یا طیف سنجی ارتباط فوتونی (PCS: Photon Correlation Spectroscopy) برای اندازه گیری اندازه ذرات در محیط مایع مورد استفاده قرار می گیرد.

http://edu.nano.ir

حرکت براونی Brownian Motion

- **حرکت براونی :** در یک محلول، برخورد ذرات و مولکول های کوچک با مولکول های حلال، منجر به حرکت تصادفی مولکول ها می شود.
  - هر ذره در سوسپانسیون، دائماً در حال حرکت است و حرکتش به ذرات دیگر مرتبط نیست.
  - ذرات بزرگ تر نسبت به ذرات کوچک تر، بسیار آهسته تر حرکت می کنند.



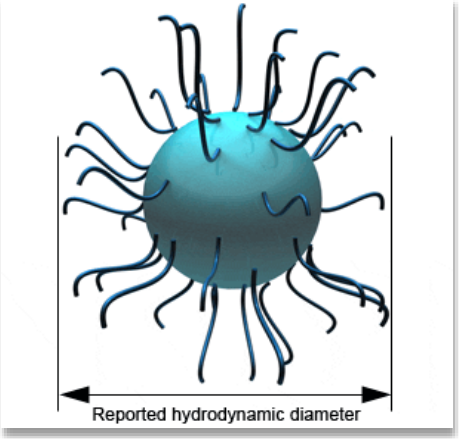
حرکت براونی Brownian Motion

- اگر به ذره ای کوچک (کوچک تر از ۲۵۰nm) نور لیزر تابیده شود، ذره، نور را در تمام جهات پراکنده می سازد.
- هنگامی که پرتو لیزر با فرکانس معین به ذرات متحرک برخورد کند، نور با فرکانس متفاوت پخش شده و در فاز نور پخش شده نوسان ایجاد می شود.
- میزان تغییر در فرکانس نور پخش شده با اندازه ذرات ارتباط دارد. در سرعت متوسط بیشتر، ذرات کوچک تر تغییر بیشتری در فرکانس نور ایجاد می کنند.

http://edu.nano.ir

حرکت براونی Brownian Motion

- شدت نوسان نور پخش شده مستقیماً به سرعت نفوذ مولکول در حلال بستگی دارد.
- قطری که در این روش اندازه گیری می شود، **قطر هیدرودینامیکی نمونه** نامیده می شود.
- این قطر مربوط به کره ای با ضریب انتقال معادل ذره ی مورد نظر است.
- این اندازه می تواند بزرگتر از مقدار حاصل از روش میکروسکوپ الکترونی باشد.



حرکت براونی Brownian Motion

- ارتباط بین اندازه ذرات و سرعت حرکت براونی آنها بوسیله معادله ی استوک-انیشتین تعریف می شود:

$$d(H) = \frac{kT}{3\pi\eta D}$$

d_H قطر هیدرودینامیکی ذره، K ثابت بولتزمن، η ویسکوزیته حلال است که به دما وابسته بوده و به چگالی و فشار سیستم مرتبط نیست، T دمای مطلق و D ضریب نفوذ است.

http://edu.nano.ir

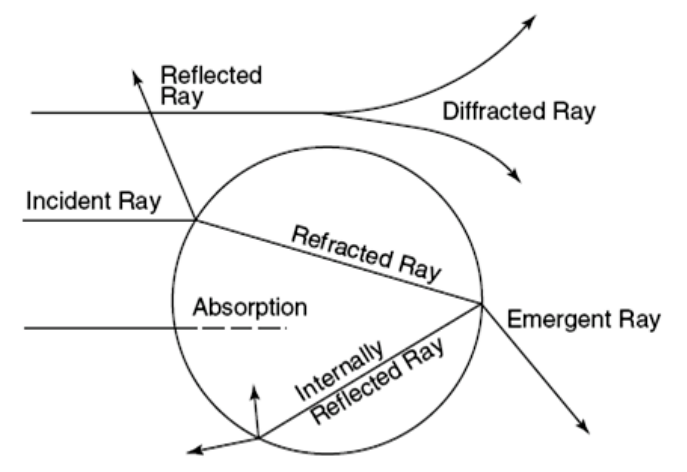
برهمکنش نور با ماده

- نور در برخورد با ذرات، چهار نوع برهم کنش از خود نشان می دهد:

۱- تفرق یا **Diffraction**، ۲- انعکاس یا **Reflection**، ۳- جذب یا **Absorption**،

۴- شکست یا **Refraction**.

تفرق: انتشار نور دورتر از لبه های هندسی یک ذره، به طوری که نور کمی از مسیر مستقیم اصلی خود دچار انحراف شده است.



انعکاس: بازگشت نور توسط سطح بدون اینکه تغییری در فرکانس یا طول موج نور بوجود آید.

http://edu.nano.ir

برهمکنش نور با ماده

جذب: کاهش شدت باریکه نور با عبور از یک محیط، بواسطه تبادل انرژی در آن محیط.

شکست: تغییر در جهت نور همراه با تغییر در سرعت انتشار آن، هنگامی که از یک محیط وارد محیط دیگر می شود.

- قانون اسنل :

$$n_m \cdot sin\theta_m = n_p \cdot sin\theta_p$$

n_m و n_p ضرایب شکست دو محیط یا به عبارتی دیگر، ضریب شکست ذره و محیطی است که در آن پخش شده، زوایای θ_m و θ_p زوایای انحراف نور از مسیر اصلی اش با ورود به این دو محیط می باشند.

http://edu.nano.ir

برهمکنش نور با ماده

❖ ضریب شکست مختلط:

$$N_p = n_p - k_p \cdot i$$

قسمت حقیقی ضریب شکست یا n، نسبت سرعت نوردر خلأ به سرعت نور در محیط مورد استفاده است.

قسمت موهومی ضریب شکست، K، قسمت جذب را نشان می دهد.

❖ ضریب شکست نسبی:

$$m = N_p / n_m$$

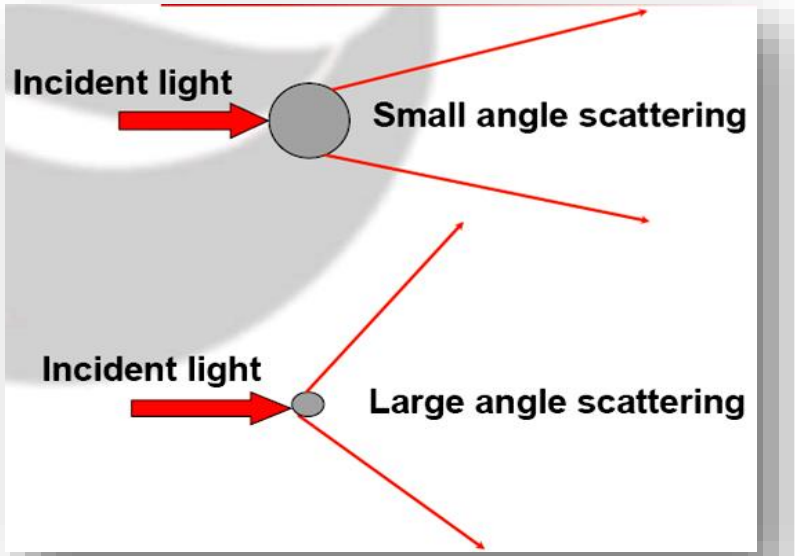
نسبت ضریب شکست مختلط ذره به ضریب شکست محیطی که ذره در آن پخش شده است.

- از این ضریب شکست در تئوری Mie استفاده می شود.

http://edu.nano.ir

تئوری Mie

- ذرات بزرگتر، نور را در زوایای کوچکتری پراکنده می کنند و ذرات کوچکتر، در محدوده زوایای وسیع تری نور را پراکنده می سازند.



- تئوری Mie وقتی اتفاق می افتد که ذرات هم اندازه یا کمی بزرگتر از طول موج نوری هستند که با آنها برخورد می کند.

http://edu.nano.ir

تئوری Mie

- برای استفاده از این تئوری، کاربر نیاز به دانستن ضریب شکست ذره و محیط یا همان ضریب شکست نسبی دارد.
- تئوری Mie، بهترین راه حل عمومی برای ذرات کوچکتر از ۵۰ µm و همچنین ذرات مات می باشد.
- شدت نور پراکنده شده از ذرات، تابعی از طول موج نور λ، زاویه پراکندگی Θ، اندازه ذره d و ضریب شکست نسبی ذره و محیط n است.

http://edu.nano.ir

تئوری Mie

❖ شرایط استفاده از تئوری Mie:

✓ نور برخوردی به ذرات برای تعیین اندازه آنها، باید تکفام باشد.

✓ ذره باید کروی باشد.

✓ ذرات باید ایزوتروپ و همسان باشند.

✓ نور برخوردی باید به صورت امواج صفحه ای باشد.

✓ هم پراکندگی و هم جذب باید در نظر گرفته شوند.

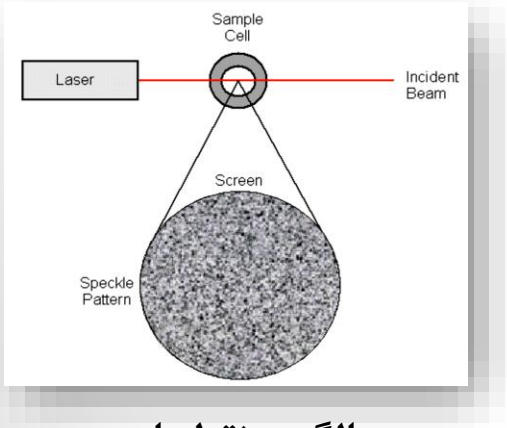
✓ ضریب شکست محیط و ذره باید شناخته شده باشد.

✓ مجموعه باید همگن باشد.

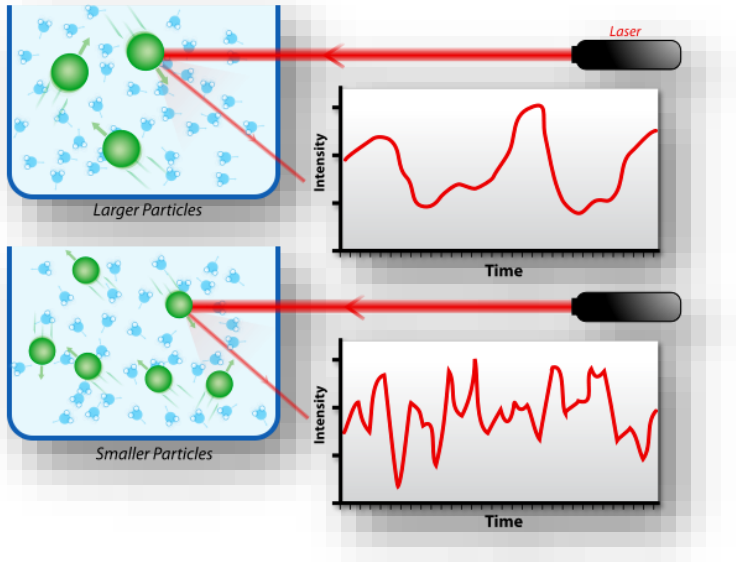
http://edu.nano.ir

DLS چطور کار می کند؟

- **الگوی نقطه ای برای ذرات ثابت : نقاط تیره مشخص کننده نورهای پراکنده شده به صورت غیرهم فاز است که یکدیگر را دفع می کنند. نقاط روشن حاصل تداخل سازنده نور پراکنده شده از ذرات است که با یکدیگر هم فاز هستند.**
- **در سیستمی که ذرات حرکت براونی دارند، افزایش فاز از ذرات متحرک الگوهای جدیدی را ایجاد می کند.**



الگوی نقطه ای



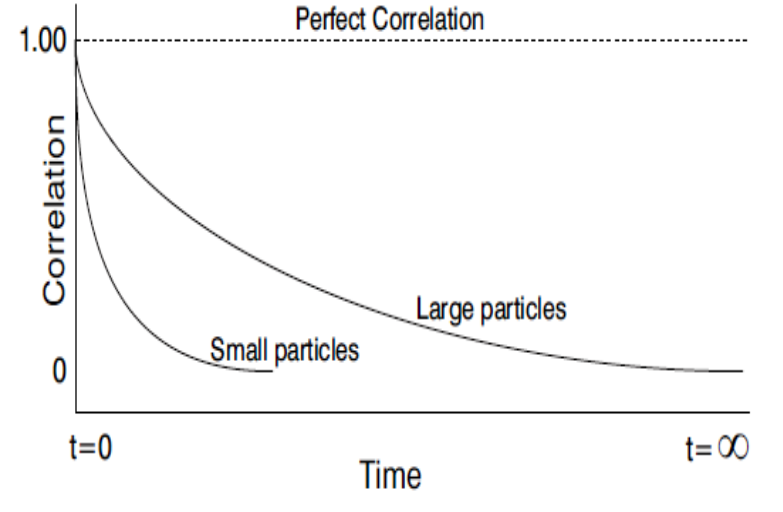
DLS چطور کار می کند؟

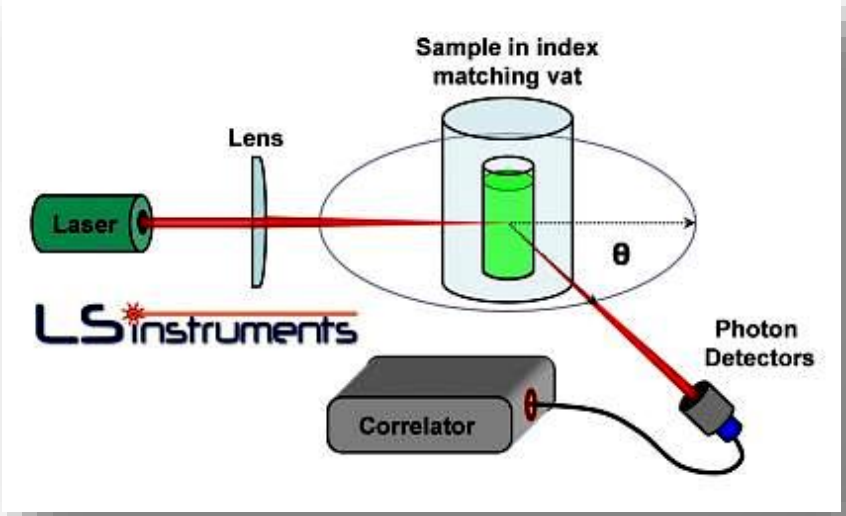
- **ارتباط دهنده** : درجه تشابه دو سیگنال را در محدوده زمانی خاصی اندازه گیری می کند.
- اگر شدت سیگنال بدست آمده در لحظه ی زمانی **t**، با شدت سیگنال حاصله در زمان کوتاه بعدی (**t+δt**) مقایسه شود، تشابه و ارتباط نزدیک دو سیگنال به یکدیگر مشخص می شود.
- با اندازه گیری تابع ارتباط در زمان های **t+3δt**، **t+4δt** و **t+5δt** و **t+6δt**، میزان ارتباط کاهش یافته و نهایتاً به صفر می رسد.

http://edu.nano.ir

تعیین اندازه ذرات با استفاده از تابع ارتباط

- سرعت حرکت ذرات، نقش مهمی در رابطه ی بین تابع ارتباط و اندازه ذرات دارد.
- سرعت افت تابع ارتباط، به اندازه ی ذرات بستگی دارد و در مورد ذرات کوچکتر، سریعتر از ذرات بزرگ است.





http://edu.nano.ir

تعیین اندازه ذرات با استفاده از تابع ارتباط

- ارتباط دهنده، تابع ارتباط G(τ) را از شدت نور پراکنده شده ایجاد می کند. که τ اختلاف زمان ارتباط دهنده است.

$$g_1(t) = \langle I(t)I(t+\tau)\rangle = \exp(-t\Gamma)$$

- برای ذرات بزرگ که حرکت براونی دارند تابع ارتباط با زمان ارتباط دهنده به صورت اکسپتانسیلی کاهش می یابد. Γ پهنای خط طیف است که با ضریب نفوذ رابطه دارد.

$$\Gamma = Dq^2 \quad q = \frac{4\pi n}{\lambda_o}\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

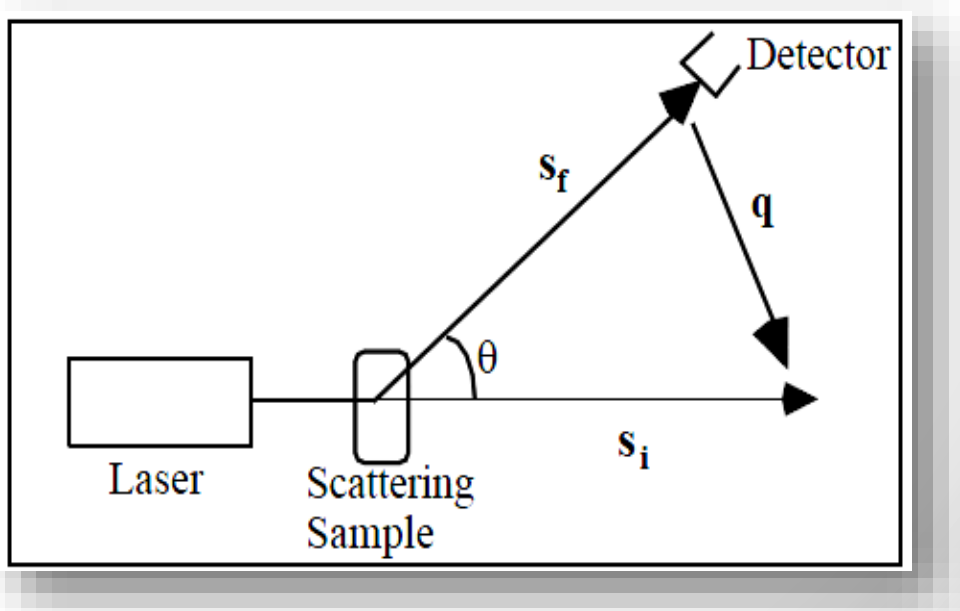
q بردار پراکندگی، n ضریب شکست محیط مایع، θ زاویه پراکندگی و λ_0 طول موج لیزر است.

http://edu.nano.ir

تعیین اندازه ذرات با استفاده از تابع ارتباط

- **بردار پراکندگی**، به صورت اختلاف بردار موج پراکنده شده و برخوردی تعریف می شود.
- با ترکیب معادله استوک-انیشتین با پهنای خط، معادله ای برای شعاع ذرات پراکنده کننده نور بدست می آید:

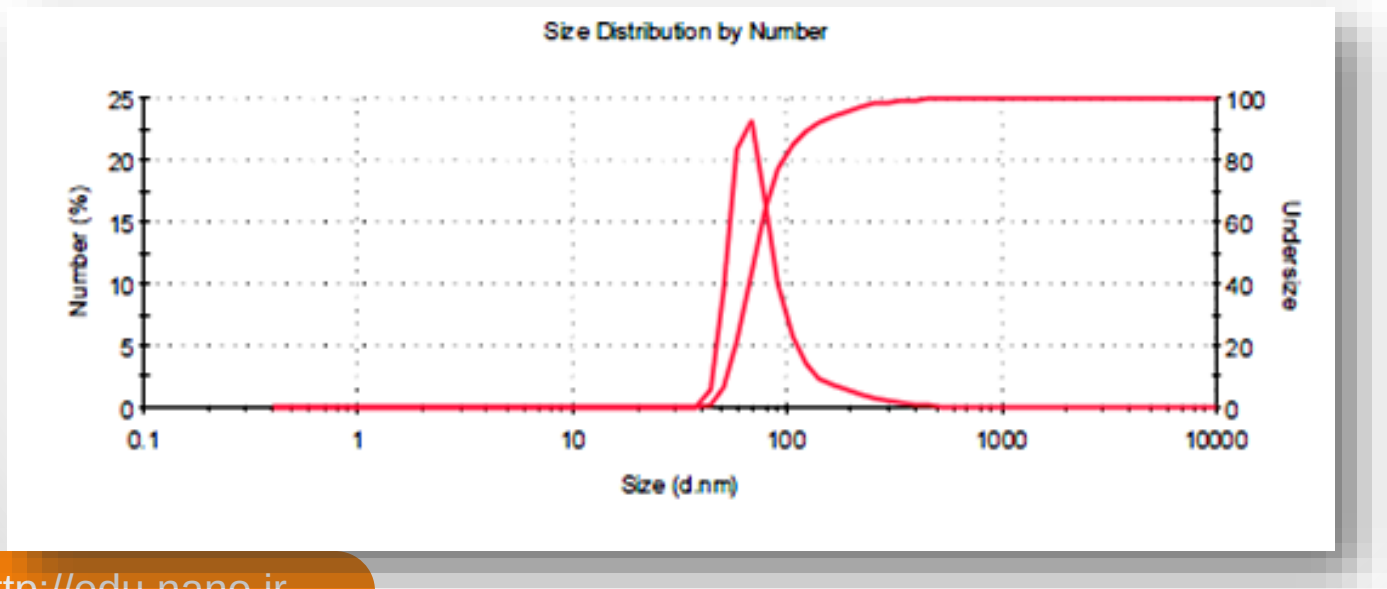
$$r = \frac{k_B T q^2}{6\pi\eta\Gamma}$$



http://edu.nano.ir

تعیین اندازه ذرات با استفاده از تابع ارتباط

- طیف سنجی ارتباط فوتونی به صورت دیجیتالی نوسانات شدتی سیگنال را در فوتون اندازه گیری می کند. برای هر زمانی تابع خود همبستگی بوسیله ارتباط دهنده اتوماتیک محاسبه می‌شود. زمانی که لگاریتم تابع خودهمبستگی با زمان رسم شود، شیب خط نهایی پهنای خط است، که با استفاده از معادله قبل اندازه ذرات پراکنده کننده تعیین می شود.



http://edu.nano.ir

مشارکت در توسعه سیستم جامع آموزش فناوری نانو

سیستم جامع آموزش فناوری نانو با مشارکت دانشجویان و علاقه مندان در مقاطع دکتری وکارشناسی ارشد گرایش های مختلف فناوری نانو و سایر رشته های مرتبط با این فناوری نوین در حال توسعه است. لذا از تمامی اساتید، دانشجویان، متخصصین و علاقه مندان تقاضا می گردد نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود را به منظور توسعه هر چه بهتر این سیستم با سایت آموزش فناوری نانو در میان بگذارند.

Edu@nano.ir

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
کارگروه ترویج و فرهنگ سازی عمومی

پایان

Edu@nano.ir