

دستگاه ZetaView® Nanoparticle Tracking Analyzer (NTA)

یکی از آزمون‌هایی که دستگاه ZetaView® انجام می‌دهد، آزمون اندازه‌گیری پتانسیل زتا است. پتانسیل زتا در حوزه‌هایی که معلق ماندن فاز جامد در مایع و فاز مایع در مایع دارای اهمیت باشد، مانند داروسازی، سرامیک، مواد غذایی و غیره، از اهمیت فراوانی برخوردار بوده و اندازه‌گیری آن می‌تواند سبب بهبود کیفیت محصولات تولید شده در صنایع فوق گردد و زمینه پیشرفت تحقیقاتی را در این زمینه‌ها فراهم سازد. دستگاه ZetaView®، توانسته با کاهش زمان انجام آزمون، بالا بردن دقت و کاهش خطای اندازه‌گیری، کیفیت نتایج به دست آمده از آزمون را ارتقا بخشد و انجام آزمون را برای نمونه‌هایی که رسانایی خیلی بالا دارند و یا نمونه‌هایی که دارای مقاومت الکتریکی زیادی هستند و به نوعی اندازه‌گیری پتانسیل زتا در آنها کار دشواری محسوب می‌شود، آسان سازد.



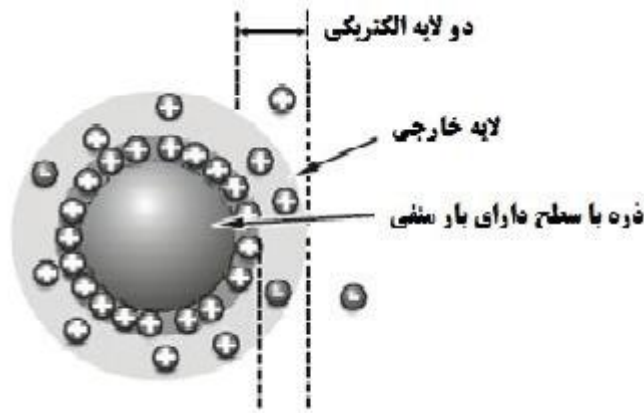
شکل ۱. تصویر دستگاه ZetaView®. ساخت شرکت ParticleMetric

۱- تئوری و محاسبه پتانسیل زتا

همواره ذره در داخل سیال دارای بار سطحی بوده و در اطراف سطح ذره‌ای که درون سیال قرار گرفته است، افزایش غلظت یون‌های با بار مخالف سطح ذره، دیده می‌شود. بنابراین، یک لایه اضافی از این یون‌ها سطح ذره را احاطه می‌کند و لایه اضافی دیگری در دور ذره به وجود می‌آورد. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، این لایه به وجود آمده دور ذره را می‌توان به دو قسمت تقسیم نمود؛

۱. لایه درونی که به آن لایه استرن نیز گفته می شود و در آن یون ها به شدت محدود هستند و به صورت کاملاً متراکم در کنار یکدیگر قرار گرفته اند.

۲. لایه بیرونی که یونها تا حدودی از لایه قبلی آزادی بیشتری دارند و توانایی جابجایی آنها بیشتر است.



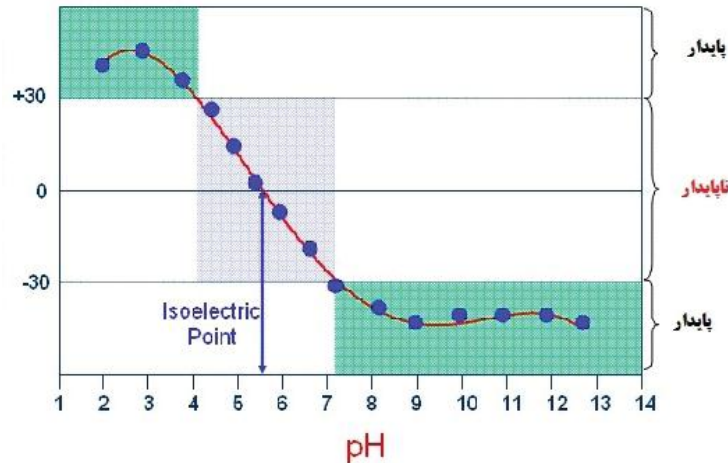
شکل ۱: نمایی از لایه های درونی و بیرونی

وقتی ذره درون سیال حرکت می کند، لایه های درونی و بیرونی اطراف آن نیز به همراه ذره جابجا می شوند و با ذره حرکت می کنند. بنابراین، می توان یک فاصله فرضی بین ذره و محیط سیال تصور نمود که این فاصله فرضی همان لایه مضاعفی است که ذره را احاطه کرده است. این فاصله را در اصطلاح، فاصله هیدرودینامیکی می نامند و پتانسیلی را که در این فاصله وجود دارد به نام پتانسیل زتا می شناسند.

سامانه های کلئیدی که دستگاه ZetaView می تواند پتانسیل زتای آنها را محاسبه کند عموماً به صورت سوسپانسیون و امولسیون هستند. اگر همه ذرات داخل سوسپانسیون دارای بار منفی و یا مثبت باشند، ذرات تمایل به دفع یکدیگر دارند و تمایلی به هم انباشتگی از خود نشان نمی دهند. تمایل ذرات هم بار به دفع یکدیگر رابطه مستقیمی با پتانسیل زتا دارد. به طور کلی مرز پایداری و ناپایداری سوسپانسیون را می توان برحسب پتانسیل زتا تعیین نمود.

ذراتی که پتانسیل زتای آنها از ۳۰ میلی ولت بیشتر و یا از ۳۰- میلی ولت کمتر باشد، پایدارند و این می تواند عاملی باشد که بیشترین اهمیت را در تعیین اندازه pH پتانسیل زتا دارد. اگر با اضافه کردن افزودنی، محیط سوسپانسیون قلیایی تر شود، ذره میل کمتری برای هم انباشتگی خواهد داشت و در نتیجه پتانسیل زتای آن منفی تر می شود.

مطابق شکل ۲ نقطه ای از نمودار که در آن پتانسیل زتا به صفر می رسد، اصطلاحاً نقطه ایزوالکتریک نامیده می شود. نقطه ایزوالکتریک، نقطه ای است که در آن سامانه کلئیدی کمترین پایداری را دارد.



شکل ۲: نمودار پایداری و ناپایداری سامانه کلئیدی بر حسب اندازه پتانسیل زتا

۱-۶ - اثرات الکتروسینتیک

هنگامی که ذرات درون الکترولیت قرار بگیرند و جریان الکتریکی از الکترولیت عبور کند، اصطلاحاً شارژ الکتریکی روی سطح ذرات ایجاد می‌شود. در چنین شرایطی، سطح ذرات، اثرات خاصی از خود نشان می‌دهند که ناشی از اعمال میدان الکتریکی خارجی است. اثرات به وجود آمده در شرایط فوق، اثرات الکتروسینتیک هستند که می‌توان آن را به چهار قسمت مجزا تقسیم نمود:

۱. اثر الکتروفوریتیک (Electrophoretic)

به حرکت ذره باردار درون سیال نسبت به مایعی که در آن معلق است، در شرایط اعمال یک میدان الکتریکی خارجی، اثر الکتروفوریتیک گفته می‌شود.

۲. اثر الکترواسمز (Electroosmosis)

هنگامی که به یک سیال دارای ذرات، در درون آن است، میدان الکتریکی اعمال شود، سیال متأثر از میدان الکتریکی اعمال شده نسبت به سطح باردار ذره، جابجایی دارد که این جابجایی ناشی از اثر الکترواسمزی است.

۳. پتانسیل جریان (Streaming potential)

جریان نشأت گرفته از عبور سیال از کانال یا حفره ای که دارای دیواره باردار است.

۴. پتانسیل ترسیب (Sedimentation potential)

این میدان الکتریکی زمانی تولید می‌شود که ذرات باردار درون مایعی ثابت در حرکت باشند.

لازم به ذکر است که برای تعیین پتانسیل زتا در نمونه‌ها، از پدیده تفرق نور الکتروفورزی استفاده می‌شود. دستگاه در این پدیده، اثرات الکتروفورتیکی و الکترواسمز که روی تحرک ذره و سیال سامانه کلوئیدی نقش به‌سزایی دارند، مورد استفاده قرار گرفته‌است. زمانی که میدان الکتریکی در سراسر یک الکتروولیت اعمال می‌شود، ذرات باردار معلق درون الکتروولیت، جذب الکتروود با بار مخالف می‌شوند. در این زمان، نیروهایی در برابر این جابجایی مقاومت نموده و با حرکت ذرات باردار مخالفت می‌کنند. وقتی بین نیروی جابجایی ذرات و نیروی مخالف حرکت ذرات با هم در حال رقابت باشند، ذرات با سرعت ثابتی درون الکتروولیت حرکت می‌کنند. به سرعت حرکت ذرات در یک میدان الکتریکی، اصطلاحاً تحرک الکتروفورتیکی گفته می‌شود. این حرکت ذرات درون الکتروولیت به عواملی وابسته است که عبارتند از:

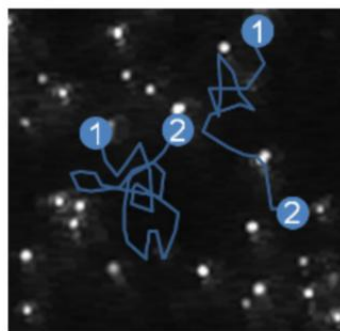
- میدان الکتریکی اعمال شده؛
- ثابت دی‌الکتریک الکتروولیت؛
- ویسکوزیته الکتروولیت؛
- پتانسیل زتای ذرات.

با این پیش‌فرض می‌توان پتانسیل زتای ذرات معلق درون دیسپرسانت را با محاسبه تحرک الکتروفورتیکی، با استفاده از معادله هنری به دست آورد.

تئوری

ثابت پخش ذرات از مشاهده‌ی مستقیم حرکت براونی ذرات به منظور محاسبه‌ی اندازه‌ی سایز ذرات به دست می‌آید. با اندازه‌گیری تحرک الکتروفورتیکی می‌توان پتانسیل زتا را اندازه‌گیری نمود.

Particle size by Brownian motion: Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)



AuNP 40 nm

Quantification of average mean square displacement per time interval

$$Dt = \frac{\langle \bar{x}, \bar{y}^2 \rangle}{4}$$

Stokes - Einstein equation

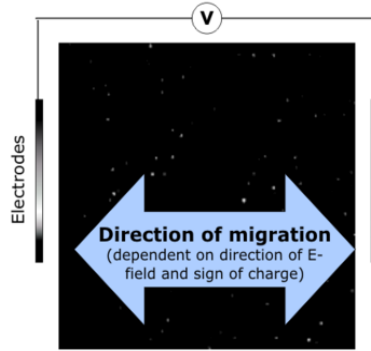
$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta r}$$

D = Diffusion coefficient k_B = Boltzmann constant
 $\langle \bar{x}, \bar{y}^2 \rangle$ = Mean square displacement T = Temperature
 η = Viscosity
 r = Particle radius

Dt میانگین مربع جابجایی در بازه‌ی زمانی و D رابطه‌ی استوکس-انیشتمین می‌باشد.

اساس محاسبه‌ی پتانسیل زتا بر مبنای جابجایی الکتروفورتیک به ازای هر تک ذره می‌باشد که مطابق روابط زیر محاسبه می‌گردد.

Principle of zeta potential determination



Electrophoretic migration is captured for each single particle

$$\mu_e = \frac{v}{E}$$

Zeta potential ζ is obtained from **Smoluchowski** ($f=1$), **Henry** ($f=1.5$, depending on size and conductivity)

$$\zeta = \frac{4\pi\eta}{\epsilon} f(\kappa a) \cdot \mu_e$$

ϵ = Dielectric constant
 η = Viscosity of medium
 $f(\kappa a)$ = Debye function
 ζ = Zeta potential
 μ_e = Electrophoretic mobility
 v = Velocity of particle in E-field
 E = Electrical field

در رابطه‌ی فوق μ_e پتانسیل زتا، μ_e تحرک الکتروفورتیکی، ϵ ثابت دی الکتریک، η ویسکوزیته و $f(\kappa a)$ تابع هنری (دبی) است که بر حسب نمونه مورد آزمایش، می‌تواند ۱ یا ۱,۵ باشد. همان طور که در رابطه بالا مشاهده می‌شود، برای به دست آوردن پتانسیل زتای نمونه مورد آزمایش، عوامل تحرک الکتروفورتیک، ثابت دی الکتریک، ویسکوزیته و تابع هنری، مورد نیاز است. این‌ها مقادیری هستند که به دستگاه داده می‌شود و در اصل، کار دستگاه برای به دست آوردن پتانسیل زتا، محاسبه مقدار تحرک الکتروفورتیک است.

۲ - معرفی دستگاه ZetaView®; Nanoparticle Tracking Analyzer (NTA)

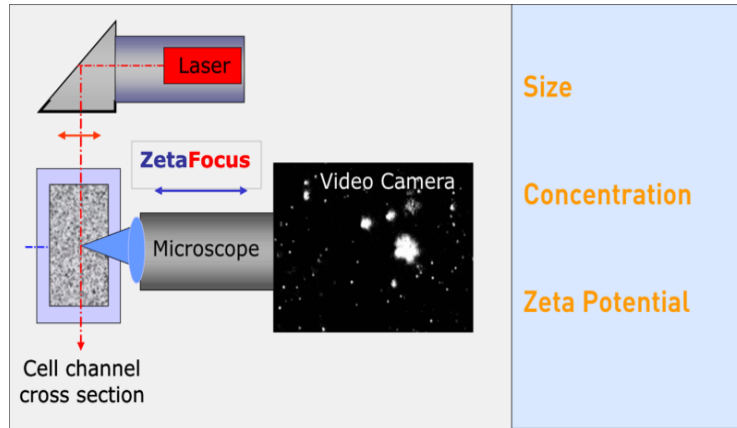
دستگاه ZetaView®، ساخت شرکت ParticleMetrix، کشور آلمان، به عنوان یکی از اصلی‌ترین سیستم‌ها در زمینه‌ی ردیابی ذرات Nanoparticle Tracking Analyzer (NTA) است که به منظور اندازه‌گیری سایز هیدرودینامیکی، اولین الکتروفورز پتانسیل زتا، سایز انتشار براونی و غلظت نانو ذرات بکار برده می‌شود. عملکرد دستگاه ZetaView® بر اساس اسکن نتایج پتانسیل زتا و سایز هیستوگرام هزاران ذره استوار شده‌است. بعلاوه غلظت ذرات را می‌توان از طریق ارزیابی و شمارش فریم‌های ویدئویی ذرات با استفاده از دستگاه ZetaView® به دست آورد. در دستگاه ZetaView® حمل سلول‌های نمونه با استفاده از چند دستگیره و بدون دخالت مستقیم دست انجام می‌گیرد. شکل ۱ شمایی از دستگاه ZetaView® می‌باشد. دستگاه ZetaView® یکی از دستگاه‌هایی است که تحت عنوان آنالیزر زتا می‌باشد.

از اصلی‌ترین ویژگی‌های دستگاه ZetaView® می‌توان به قابلیت اسکن خودکار آن، خودکانونی شونده آن، طراحی ضد ارتعاشی، قابلیت برخورداری از سیستم جانبی Slide-in cell cassette و امکان استفاده از بازه‌ی وسیعی از لیزرها (UV تا قرمز)، اشاره نمود.



Slide-in cell cassette with sample cell carrier on top

طراحی دستگاه ZetaView® به عنوان یک ابزار خود تنظیم شونده و مقاوم بودن آن در برابر انواع ارتعاشات سبب افزایش یافتن پایداری و کیفیت نتایج فریم‌های ویدئویی و تصویری دستگاه ZetaView® گردیده‌است. با استفاده از اسکن چندگانه‌ی زیر مجموعه‌ها و میانگین‌گیری از داده‌های حاصل می‌توان به نتایج پایدار و دقیق-تری دست یافت. دستگاه ZetaView® قابلیت عملکردی در سه مد کاربردی مختلف شامل؛ اندازه‌گیری سایز، پتانسیل زتا و غلظت ذرات را دارد. دستگاه ZetaView® به واسطه‌ی ته‌نشینی (رسوب‌گذاری) جهت داده‌شده‌ی دیواره‌ی سل از پوشش‌دهی نامتقارن سلول جلوگیری شده‌است. شکل ۲ شمایی از میکروسکوپ پراکندگی نور لیزری دستگاه ZetaView می‌باشد که حساسیت آن نسبت به نانوذرات ۱۰۰ برابر کمتر از سطح پراکندگی تقریبی یک میکرونی است.



شکل ۴. چیدمان اپتیکی ردیابی خودکار ذرات ZetaView[®] مجهز به واحد پراکندگی نور لیزری "ZetaFocus" به عنوان کنترلر همزمان لیزر و کانونی سازی میکروسکوپ، بدون هیچ نوع نیازی به تغییر در اپتیک لیزر همچنين دستگاه ZetaView[®] از یک Cell channel cassette دارای ساختار "Slide-in" استفاده شده است که با یک سیستم کنترل دمایی و ضربه گیر کوپل گشته است.

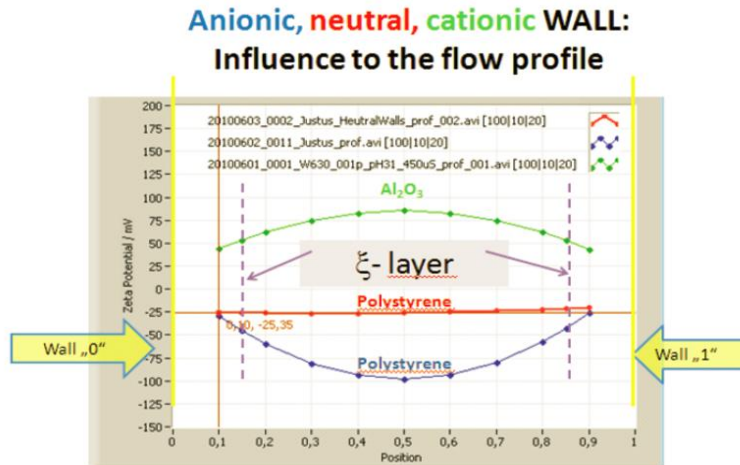
۳ - آنالیزور ردیابی ذرات (NTA) و تفرق دینامیکی پویا (DLS)

تمامی دستگاه‌های DLS و ردیابی نانوذرات (NTA) از نوعی کاهش سریع حساسیت اندازه‌گیری ذراتی با سایز زیر ۱۰۰ نانومتر رنج می‌برند. کمترین محدوده‌ی سایزی برای DLS چیزی در حد ۰,۵ نانومتر و برای NTA در حد ۱۰ نانومتر می‌باشد. در حالت کلی، اصلی‌ترین تفاوت بین DLS و NTA رنج غلظت آنهاست. در صورتی که غلظت خیلی کم باشد دستگاه آنالیزور ردیابی نانوذرات ZetaView ردیابی نانوذرات را با سرعت و دقت بیشتری انجام خواهد داد. در حالی که دستگاه DLS-180[°] عمدتاً به منظور آنالیز نمونه‌هایی با غلظت بالا مناسب است.

۴ - ویژگی‌های دستگاه

✓ محدوده‌ی اندازه‌گیری در این دستگاه عمدتاً بستگی به ساختار نمونه دارد. برای مثال دستگاه آنالیز ذرات اندازه‌گیری را در محدوده‌ی سایزی ۱۰ نانومتری انجام می‌دهد. در مورد نمونه‌هایی که پایدار هستند (به صورت رسوبی و یا شناور نیستند) پتانسیل زتا برای اندازه‌ی ذره‌ی ۳ میکرومتری ممکن است مقدار بالایی باشد.

- ✓ شمارش ذرات از روی ارزیابی فریم‌های ویدئویی برای تعداد ذرات به دست می‌آید. این اندازه‌گیری نرمالیزه شده است به حجم پراکنده شده در ازای هر کلاس سایز مربوطه. مینیمم غلظت ۱۰۵ ذره در ازای حجم cm^3 را می‌توان محاسبه کرد، که ماکزیمم مقدار آن 10^{10} p/cm^3 است. در غلظتهایی تا ۱۰۰۰ ppm از سایز ذرات ۲۰۰ nm را می‌توان آنالیز نمود.
- ✓ دقت اندازه‌گیری: برای پتانسیل زتا، ۵ mV است که دقت آن ۴ mV بوده و تکرار پذیری ابزار به ابزار ۵ mV می‌باشد. برای تعیین سایز از یک سوسپانسیون ساکن استاندارد ۱۰۰ nm استفاده شده است.
- ✓ انعطاف‌پذیری: این ابزار به صورت پک و یکجا بوده و می‌تواند به صورت خودکار کار کند. راه‌اندازی در عرض چند دقیقه صورت می‌پذیرد و از آن می‌توان به صورت شبکه و یا به تنهایی بهره برد.
- ✓ کیفیت اندازه‌گیری: کیفیت داده‌ها می‌تواند متأثر از یک سری حباب‌ها و خاک در سلول باشد. بنابراین یک‌سری تحولات آماری مربوط به کیفیت پرتو انجام می‌شود. از اندازه‌گیری سرعت و راستای حرکت ذرات تحت تأثیر میدان الکتریکی اعمالی، تحرک الکتروفوریتیک و قطبش تعیین می‌شوند. بدون وجود میدان شمارش فقط حرکت براونی قابل انجام و شناسایی می‌باشد. میدان الکتریکی، دما و رسانندگی طی هر آزمایشی مانیتور می‌شوند. با پوشش سطح مقطع سلول و ترتیب‌دهی زیر مجموعه‌ها می‌توان نتایج آماری خیلی خوبی بدست آورد. دستگاه ZetaView به منظور اندازه‌گیری پتانسیل زتا و همچنین بررسی کیفیت نوع پتانسیل زتا که از تحریک الکتروفوریتیک حساب می‌شود از دو لایه‌ی ساکن در سلول ("ZP" / ζ -layer) به دست می‌آید و یا می‌توان از روی پروفایل سرعت الکتروسینتیکی که از اسکن سراسری سلول به دست می‌آید، آنها را به دست آورد.



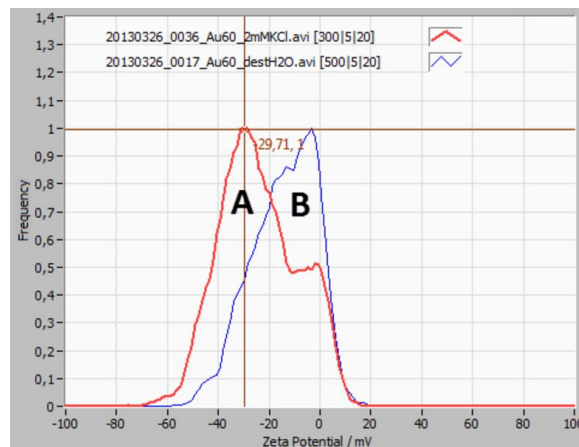
در تصویر بالا، نمودار سبز رنگ بیانگر ZP ی مربوط به Al_2O_3 در حد 50 mV است که دیواره‌ها به صورت یونی پوشش دار شده‌اند.

نمودار قرمز رنگ: ZP، 15 mV - پلی استرن آنیونی (دیواره‌ها خنثی می‌باشند) را نشان می‌دهد.

نمودار آبی رنگ: نمونه‌ی پلی‌استرن ZP، 40 mV - دیواره‌های سلول آنیونی بوده و عموماً به صورت شیشه‌های بدون پوشش می‌باشند.

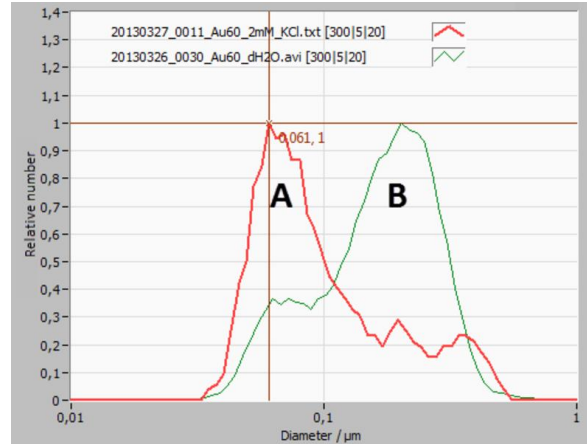
توزیع پتانسیل زتا

از جمله مثال‌هایی که توانمندی‌های ZetaView را نشان می‌دهد، اندازه‌گیری توزیع پتانسیل زتا می‌باشد. محلول دیسپرسن طلا ی 60 نانومتری به منظور مطالعه‌ی سایز توزیع پتانسیل زتا مطابق شکل زیر ارائه شده- است. در این مثال نمونه تقریباً به صورت bi-modal است.



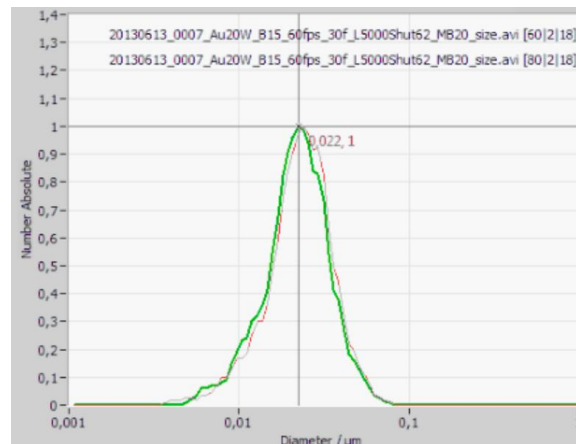
مطابق شکل بالا توزیع پتانسیل زتا ی ذرات 60 نانومتری طلا برای نمودار

A: دیسپرشن شده در محلول (پایدار) ۲ mM KCL و B: دیسپرشن شده در آب مقطر (ناپایدار)، مشخص شده است.

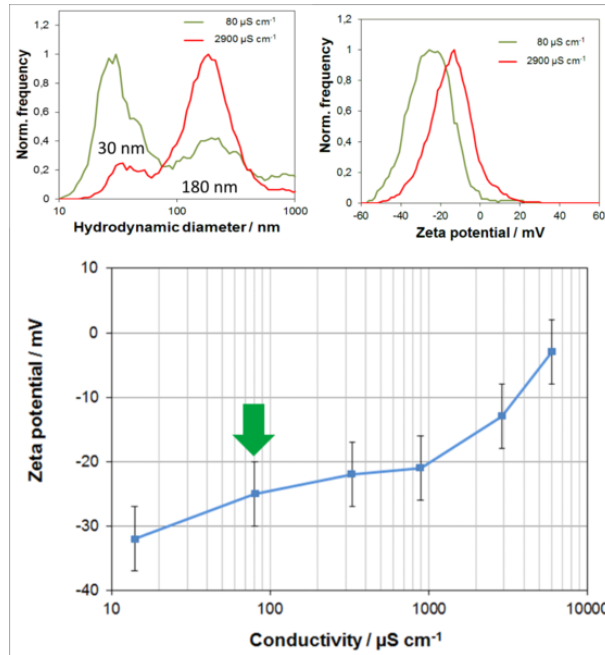


توزیع پتانسیل زتا مربوط به منحنی B، بیانگر یک پیک نزدیک ۰ mV است که باعث ناپایدار شدن سوسپانسون می‌شود. اکثر ذرات ۶۰ نانومتری به صورت آگلومره می‌باشند که به صورت واضحی در منحنی بالا نشان داده شده است.

دستگاه PMX 110 ZetaView دارای محدودیت آشکارسازی کمتری از (LOG) 20 nm است که در تصویر زیر نشان داده شده است. برای موادی با عملکرد پراکندگی کمتر، به ترتیب محدودیت سایز کمتر و حد مجاز بالاتر است.



به عنوان مثالی از سلول BMBO در محلول بافری PH7 وابستگی بین رسانایی، پتانسیل زتا و توزیع سایز در شکل زیر آورده شده است. داده‌های رسانایی به صورت خودکار و اتوماتیک در طی فرایند داده‌برداری ثبت می‌شوند.



این شکل بیانگر رابطه‌ی بین رسانایی، پتانسیل زتا و توزیع سایز ذرات است.

کاربردهای پتانسیل زتا

از پتانسیل زتا می‌توان به عنوان ابزاری برای مطالعه دقیق توزیع پتانسیل در فصل مشترک مواد استفاده کرد. این بررسی در حضور یون‌های ساده و سیستم‌های پیچیده‌تر مانند مواد فعال سطحی، یون‌های چند ظرفیتی، پلیمرها و حتی پروتئین‌ها نیز قابل انجام است. همچنین پتانسیل زتای نمونه، در تعیین تمایل ذرات درون مایع برای اتصال به یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

کانی‌ها و سنگ‌های معدن

بسیاری از مواد معدنی خام نظیر سنگ معدن مس، قلع، روی و تنگستن با غربال کردن، مخلوط کردن به کمک یک جمع‌کننده (Collector) و سپس معلق نمودن در آب، جدا می‌شوند. در مرحله بعدی که شناورسازی نام دارد، درون مخلوط هوا دمیده شده و جمع‌کننده باعث چسبیدن مواد معدنی جمع‌آوری شده خواهد شد و در نهایت می‌توان از این طریق پتانسیل زتای ذرات را کنترل نمود.

خاک رس و گل حفاری

خاک رس به عنوان گل حفاری چاه‌های آب و چاه‌های نفت مورد استفاده قرار می‌گیرد و از نظر شیمیایی این ویژگی را دارد که در طول عمل حفار، خواص آن تغییر می‌کند. برای مراحل ابتدایی حفار، یک سوسپانسیون به شدت باردار مناسب است. در این حالت، آن‌ها به صورت کلوئیدهای جدا از هم بوده و می‌توانند در دیواره متخلخل چاه حفار شده نفوذ کرده و با مسدود کردن رخنه‌های درون خاک، یک لایه نازک نشت‌ناپذیر تولید کنند. با این عمل از هدر رفتن گل حفاری جلوگیری می‌شود. در ادامه، بار الکتریکی ذرات کاهش یافته و یک سوسپانسیون توده‌ای به وجود می‌آید که در حال حفار از انسداد در مناطق زیرین جلوگیری می‌کند.

سرامیک

برای اطمینان از فشرده و متراکم بودن ذرات سرامیک، پتانسیل زتای بالایی مورد نیاز است و در این حالت، نمونه دوام زیادی دارد. برای تولید ابزار آلات و وسایل سرامیکی در حجم‌های بالا از روش ریخته‌گری دوغابی استفاده می‌شود. یک سوسپانسیون رسی تهیه شده و داخل قالب‌های منفذدار ریخته می‌شود و آب را به کمک خاصیت موئینگی از ذرات رس جذب می‌کنند. هنگامی که آب کاملاً خارج شد لایه مورد نظر تشکیل می‌شود. ساختار لایه رس بستگی به درجه پراکندگی سوسپانسیون رس دارد. در روش ریخته‌گری دوغابی، سوسپانسیون‌های رسی برای قالب‌گیری باید دارای کم‌ترین ویسکوزیته باشند تا به راحتی حباب‌های هوای داخل خود را رها کنند. براین مبنا، بیشترین مقدار پتانسیل زتا مربوط به مقادیر کم ویسکوزیته است.

رنگ‌ها

رنگ‌دانه‌های درون رنگ باید به اندازه کافی پراکنده و جدا از هم باشند تا رنگ عملکرد مطلوبی داشته باشد. اگر رنگ‌دانه تجمع یافته و به صورت توده در آینده، از کیفیت رنگ کاسته می‌شود. نرمی، صافی و بافت رنگ نیز بر روی درجه پراکندگی ذرات موثر است. اندازه‌گیری پتانسیل زتا در این مورد، می‌تواند برای کنترل کیفیت رنگ و مقدار ماده افزودنی برای بهینه‌کردن میزان پراکندگی به کار رود.

لخته سازی در فرایند تصفیه آب و فاضلاب

عمل انعقاد و لخته‌سازی در تصفیه آب و فاضلاب به تغییر pH، افزایش مواد لخته‌کننده (نظیر پلیمرها) و حضور آلومنیوم کلرید یا نمک‌های با بار زیاد وابسته است. اندازه‌گیری پتانسیل زتا، با در نظر گرفتن این پارامترها، برای تصفیه بهینه فاضلاب مورد توجه است. استفاده از پتانسیل زتا یک روش سهل و راحت برای بهینه‌کردن میزان ماده لخته‌کننده در فرایند تصفیه آب و فاضلاب است. کلوئیدها به خاطر اندازه کوچکشان به راحتی از صافی فرار می‌کنند. کلوئیدها دشوارترین جامدات معلق، برای جداکردن از آب هستند. نکته کلیدی برای حذف موثر کلوئیدها، کاهش پتانسیل زتا با لخته‌کردن توسط آلوم، آهن کلرید (III) و یا پلیمرها کاتیونی است. با به کار

گیری مواد ذکر شده، لخته‌های بسیار ریز شروع به تجمع کرده و رشد می‌کنند. در این حالت به راحتی رسوب کرده و قابل صاف کردن هستند.

داروها

خواص فیزیکی یک سوسپانسیون دارویی، اثر بخشی دارو را در فرد استفاده کننده تحت تاثیر قرار می‌دهد. یک سوسپانسیون خوب به صورت لخته در نیامده و برای مدت طولانی شکل خود را حفظ می‌کند. در مورد کلوئیدهای ریز، این موضوع با اضافه کردن یک گونه تعلیق کننده برای افزایش پتانسیل زتا و تولید بیشترین مقدار دافعه بین ذرات قابل دسترسی است. چنین سیستمی، با سرعت بسیار کم رسوب می‌کند. راه دیگر، که گاه مطلوب تر است، تولید یک سوسپانسیون لخته شده ضعیف است. ذرات لخته شده به سرعت ته نشین شده و یک توده چسبنده سست را پدید می‌آورند که با یک تحریک آرام به سادگی به صورت معلق در می‌آید. این لختگی سست و ضعیف نیاز به پتانسیل زتا در حد صفر دارد .

به هر حال پتانسیل زتا دارای کاربردهای متعددی بوده و شناخت و نحوه به کارگیری و تنظیم آن، در بسیاری از صنایع مفید خواهد بود.