



KARAKTERIZACIJA MIKRO I NANOČESTICA METODOM DINAMIČKOG RASPRŠENJA SVJETLOSTI I ODREĐIVANJE ZETA POTENCIJALA ČESTICA

Doc. dr. sc. Fabio Faraguna

Doc. dr. sc. Marin Kovačić

Dr. sc. Marko Racar

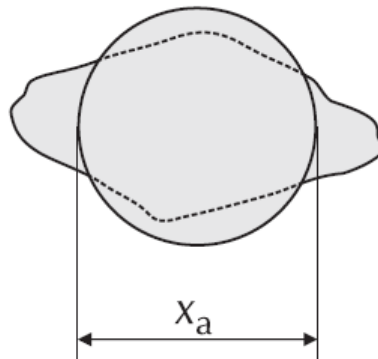
SADRŽAJ

- ▶ Veličina čestica
- ▶ Dinamičko raspršenje svjetlosti
- ▶ Princip rada DLS-a
- ▶ Zeta potencijal
- ▶ Princip rada određivanja
Zeta potencijala
- ▶ Zanimljivi primjeri uporabe DLS-a
i metode određivanja zeta potencijala

ŠTO JE VELIČINA ČESTICE

$$V_s = V_p \quad x_v = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} V_p}$$

$$A_s = A_p \quad x_A = \sqrt{\frac{A_p}{\pi}}$$



Volumni promjer, x_v - Promjer kugle volumena jednakog volumenu čestice

Površinski promjer, x_s - Promjer kugle oplošja jednakog površini čestice

Promjer projicirane površine, x_A - Promjer kruga površine jednake površini projicirane slike čestice koja leži u najstabilnijem položaju

ŠTO JE VELIČINA ČESTICE

Stokesov promjer, x_{St} - Promjer kugle koja u fluidu viskoznosti μ pada brzinom kojom pada čestica (v) uz uvjet da vrijedi Stokesov zakon

$$x_{St} = \sqrt{18 \frac{v \mu_{fluid}}{\rho_p - \rho_{fluid}}}$$

Promjer prosijavanja (*sieve diameter*) – promjer jednak duljina otvora očiće sita



METODA DINAMIČKOG RASPRŠENJA SVJETLOSTI

- ▶ **Metoda dinamičkog raspršenja svjetlosti** (engl. dynamic light scattering, DLS) se još naziva spektroskopija korelacije fotona (photon-correlation spectroscopy, PCS) ili fotonska korelacijska spektroskopija (quasi-elastic light scattering, QELS)
- ▶ Eksperimentalna metoda zasnovana na mjerenju vremenske autokorelacijske funkcije intenziteta svjetlosti raspršene na razrijeđenoj otopini makromolekula ili razrijeđenoj disperziji čestica
 - ▶ U pravilu se koristi za određivanje veličine čestica u disperziji
 - ▶ Mjeri hidrodinamičku mobilnost čestica u pojedinom mediju

BROWNOVO GIBANJE

- ▶ Brownovo gibanje je slučajno kretanje čestica uslijed sudaranja s molekulama otapala koje ih okružuju
- ▶ Kod većih čestica ili molekula Brownovo gibanje bit će sporije
- ▶ Kod manjih čestica ili molekula Brownovo gibanje bit će brže
- ▶ Osim same veličine čestica na brzinu gibanja utječe viskoznost fluida u kojem se nalaze

BROWNOVO GIBANJE



Izvor: www.cytoviva.com

BROWNOVO GIBANJE

- ▶ Osim same veličine čestica na brzinu gibanja utječu:

A) Svojstva fluida

Viskoznost fluida

Ionska jakost fluida

B) Svojstva čestice

Oblik čestice

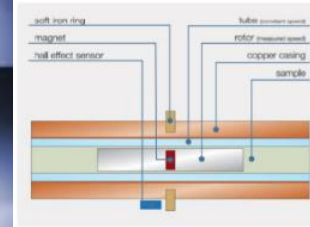
Svojstva površine čestice

C) Ostali faktori

Temperatura (treba biti stabilna da nema usmjerenog gibanja zbog toplinskih tokova)

VISKOZNOST FLUIDA

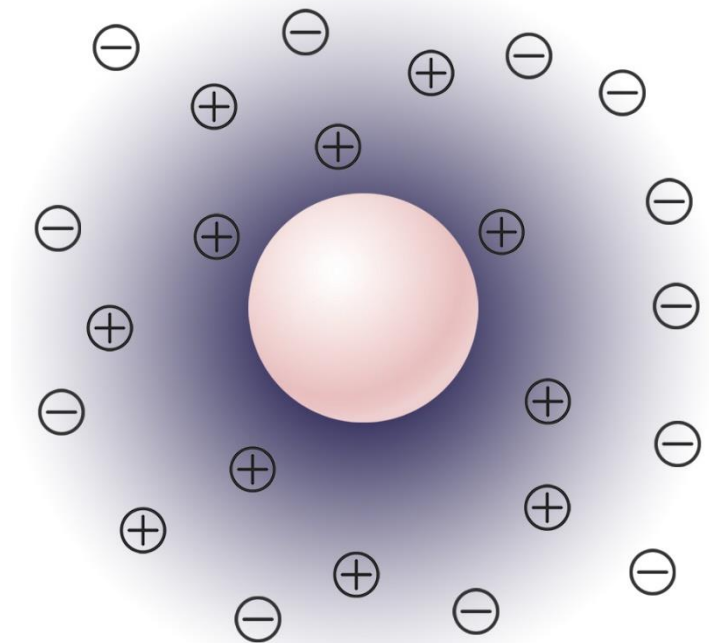
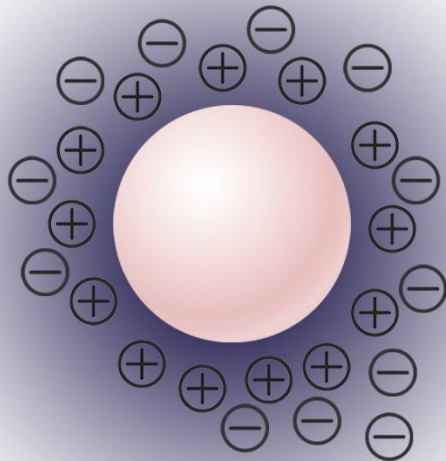
- ▶ Viskoznost je mjera unutarnjeg otpora gibanju kapljevine kojeg uzrokuju kohezivne sile među molekulama ili molekulskim nakupinama
- ▶ **Dinamička viskoznost (η)** – ili apsolutna viskoznost definira se kao omjer primijenjenog smičnog naprezanja i gradijenta brzine smicanja
- ▶ Kinematička viskoznost (ν) – mjera za otpor tečenju pod utjecajem gravitacije. Određuje se mjerenjem vremena protoka tekućine kroz kapilaru poznatih dimenzija, a predstavlja omjer **dinamičke viskoznosti i gustoće (η/d)**
 - ▶ Što je veća dinamička viskoznost čestice se sporije gibaju
 - ▶ Važno je poznavati dinamičku viskoznost ispitivanog fluida



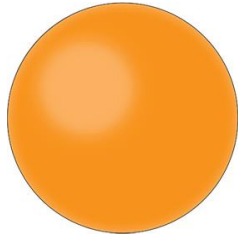
IONSKA JAKOST FLUIDA

- ▶ Ionska jakost (μ ili l) otopine mjera je jakosti električnog polja koje daju ioni u otopini
- ▶ Ionska jakost jednaka je polovini zbroja produkata koncentracije (c) i kvadrata naboja (z) svakog iona u otopini
- ▶ Ioni u mediju i ukupna koncentracija iona mogu utjecati na brzinu difuzije čestica promjenom debljine električnog dvostrukog sloja
- ▶ U fluidu niske vodljivosti imati ćemo deblji dvostruki sloj iona oko čestice što će za posljedicu smanjiti brzinu difuzije i rezultirati većim, prividnim hidrodinamičkim promjerom
- ▶ 60 nm monodisperzni lateks raspršen u demineraliziranoj vodi umjesto 10 mM NaCl može imati i do 15 % veće dimenzije

IONSKA JAKOST FLUIDA

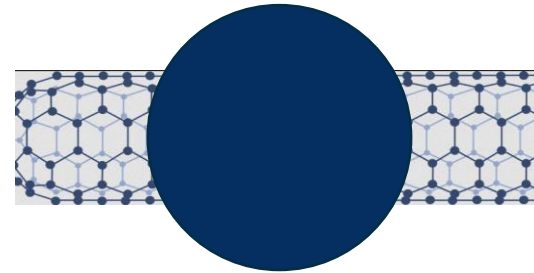
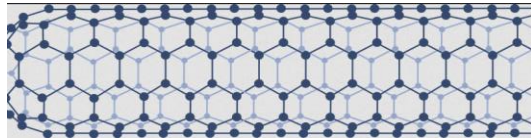


OBLIK ČESTICE



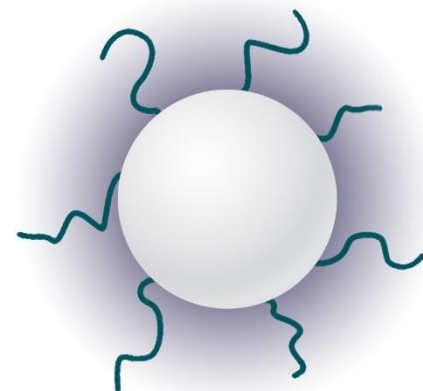
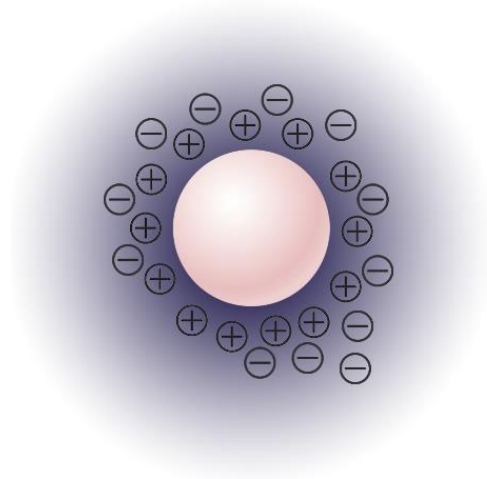
- ▶ DSL mjeri hidrodinamički volumen – volumen sfere koja se kreće istom brzinom kao i mjerena čestica
- ▶ Male promjene u dužini čestice oblika štapa izravno će utjecati na veličinu, dok promjene u promjeru štapa malo će utjecati na brzinu difuzije / te će promjene u promjeru biti teško detektirati

PRIMJER: UGLJIKOVA NANOCIJEV



POVRŠINA ČESTICE

- ▶ Ovisno što je na površni može utjecati na veličinu hidrodinamičkog volumena tj. na mjerenu veličinu čestice
 - ▶ Ioni prisutni na površni
 - ▶ Adsorbirani polimer ili neka druga površinski aktivna tvar



EINSTEIN-STOKESOVA JEDNADŽBA

- ▶ Veličina čestice izračunava se iz translacijskog koeficijenta difuzije pomoću Stokes-Einsteinove jednadžbe

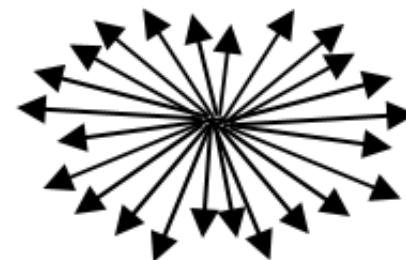
Einstein-Stokesova jednadžba:

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

$d(H)$ = hidrodinamički promjer
 D = koeficijent translacijske difuzije
 k = Boltzmannova konstanta
 T = apsolutna temperatura
 η = dinamička viskoznost

TEORIJE SVJETLOSNOG RASPRŠENJA - RAYLEIGHOVO RASPRŠENJE

- ▶ Ako su čestice male u usporedbi s valnom duljinom korištenog lasera (obično manje od $d = \lambda / 10$ ili oko 60 nm za He-Ne laser), tada će raspršenje iz čestice osvijetljene vertikalno polariziranim laserom biti izotropno, tj. jednako u svim smjerovima
- ▶ Rayleighova aproksimacija govori nam da $I \propto d^6$, a također da $I \propto 1 / \lambda^4$, gdje I = intenzitet raspršene svjetlosti, d = promjer čestica i λ = valna duljina lasera
- ▶ Iz izraza vidimo da je promjer na šetu potenciju proporcionalan s intenzitetom raspršene svjetlosti što znači da će čestica od 100 nm milijun puta više raspršiti svjetlost od čestice veličine 10 nm
- ▶ Važno – DSL će teško detektirati manje čestice ako imamo velik raspon veličina čestica u smjesi
- ▶ Inverzni odnos prema valnoj duljini lasera λ^4 znači da se dobiva veći intenzitet raspršenja kada se valna duljina korištenog lasera smanjuje

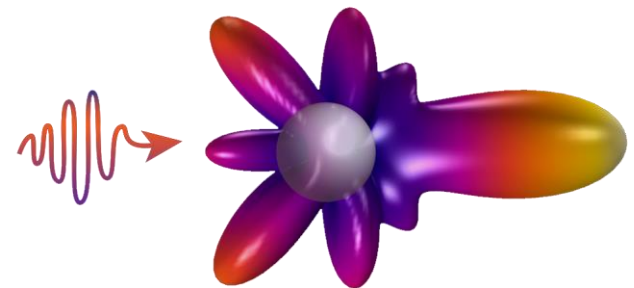
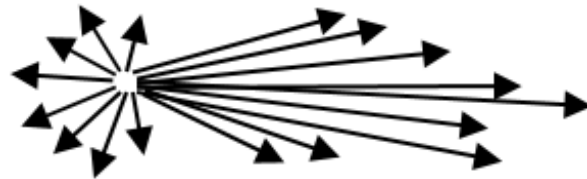
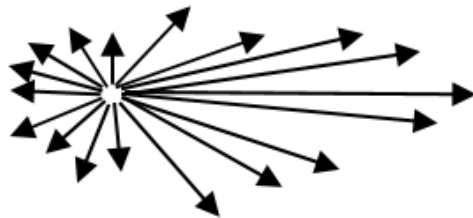


TEORIJE SVJETLOSNOG RASPRŠENJA - MIE TEORIJA

- ▶ Mie teorija temelji se na Maxwellovim jednađbama elektromagnetskog polja i predviđa intenzitet raspršenja koji induciraju sve čestice unutar mjernog područja, bile one prozirne ili neprozirne. Temelji se na sljedećim pretpostavkama:
 - ▶ Čestice koje se mjere su sfere
 - ▶ Suspenzija je razrijeđena, tako da se jedna čestica raspršuje i detektira prije nego što stupi u interakciju s drugim česticama
 - ▶ Poznata su optička svojstva čestica i medija koji ih okružuje
 - ▶ Čestice su homogene
 - ▶ Mie teorija koristi razliku indeksa loma između čestice i dispergirajućeg medija za predviđanje intenziteta raspršene svjetlosti
 - ▶ Kada veličina čestica postane približno jednaka valnoj duljini osvjetljavajuće svjetlosti, tada grafikon intenziteta u ovisnosti o kutu raspršenja tvori složenu funkciju maksimuma i minimuma

TEORIJE SVJETLOSNOG RASPRŠENJA - MIE TEORIJA

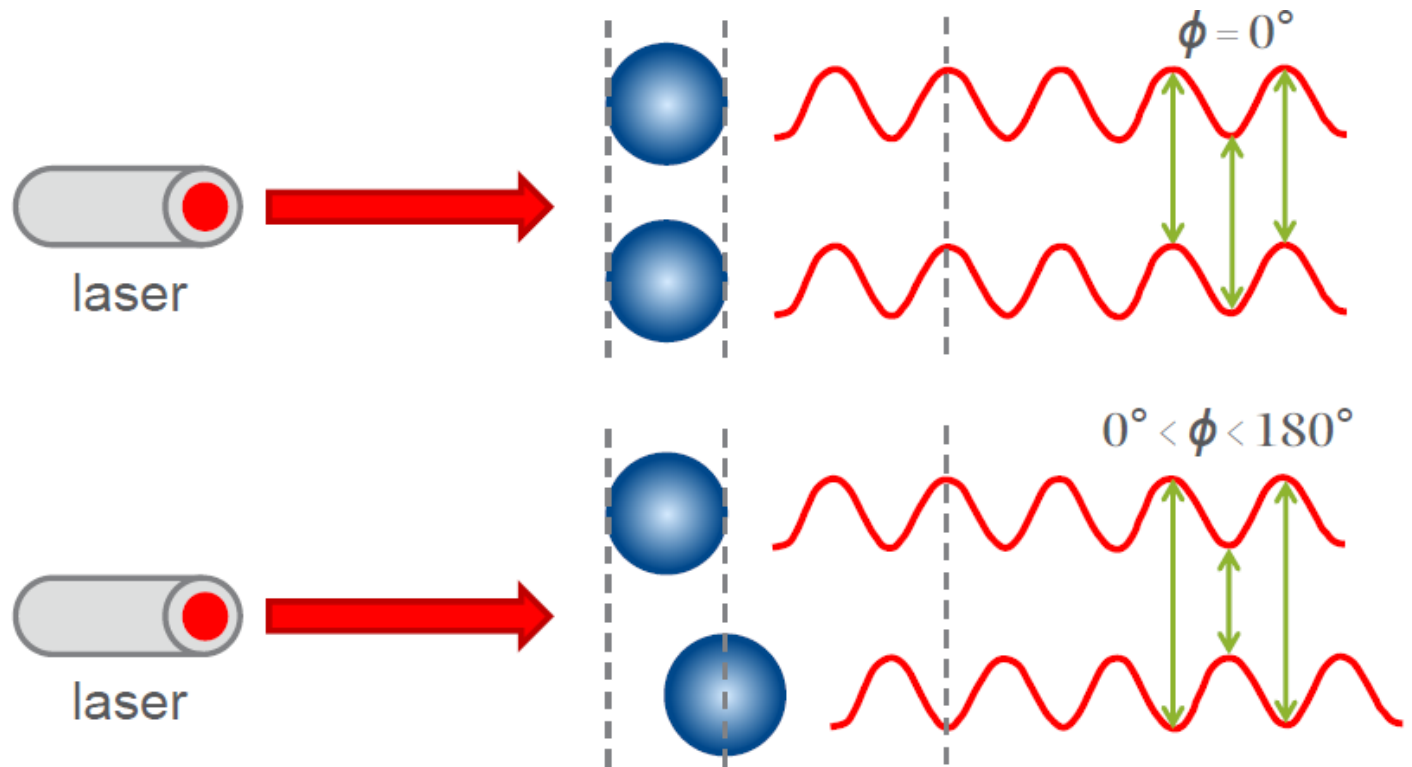
- ▶ Kada veličina čestice postane približno jednaka valnoj duljini osvjetljavajuće svjetlosti, tada grafikon intenziteta u ovisnosti o kutu raspršenja tvori složenu funkciju maksimuma i minimuma.

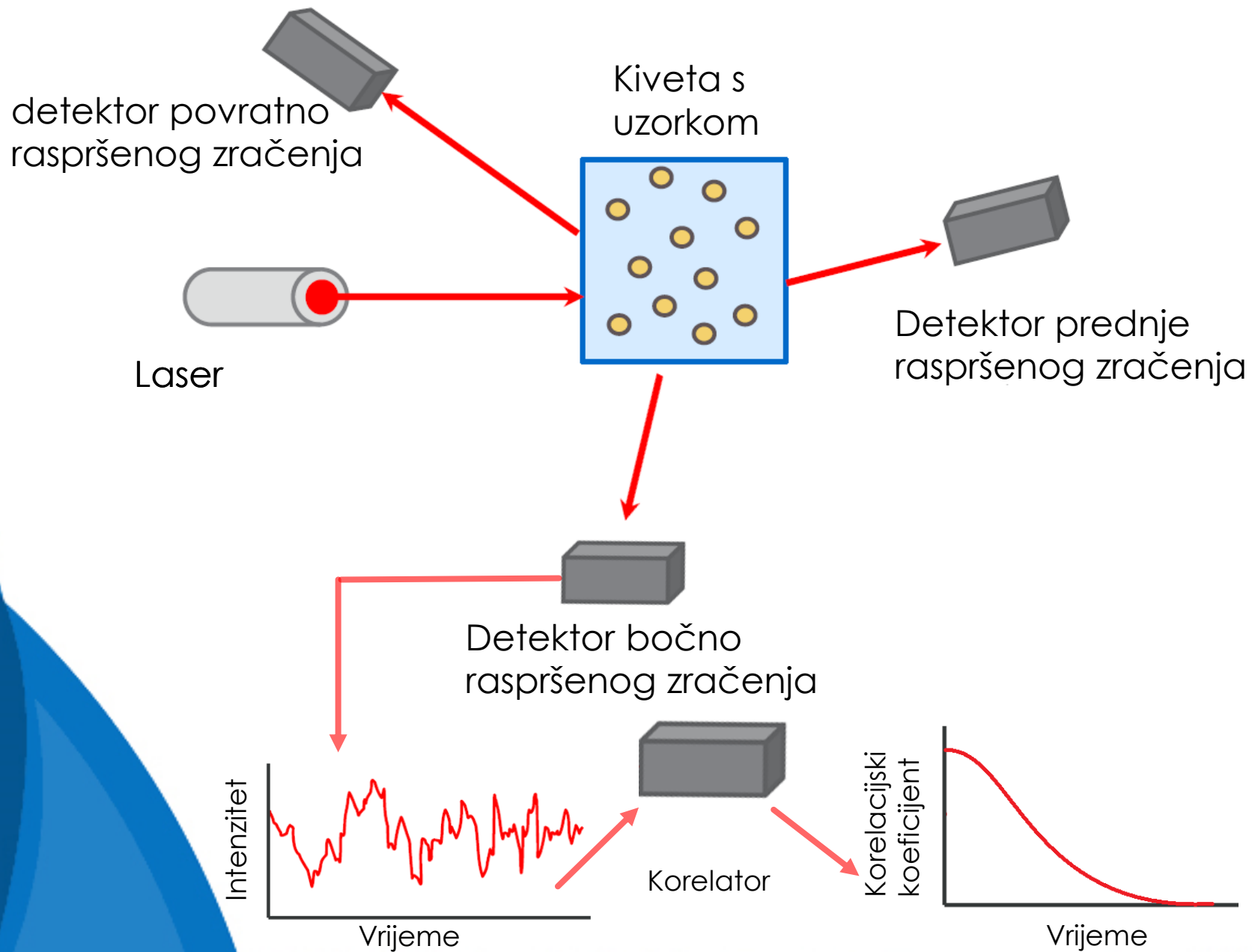


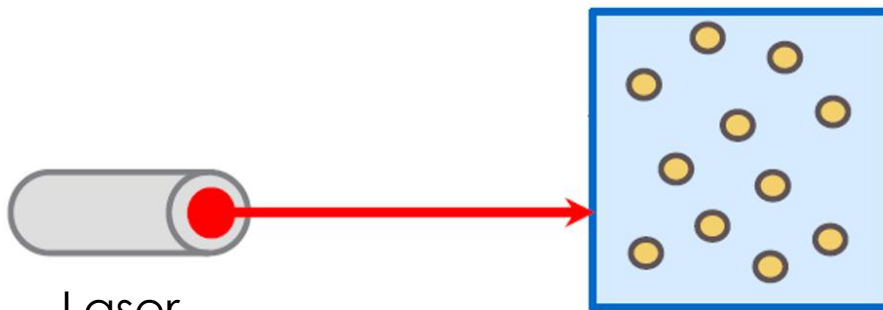
PRINCIP RADA DLS-A

- ▶ Mjeri se brzina kojom se čestice difundiraju zbog Brownova gibanja
- ▶ Ako kiveta sadrži nepokretne čestice osvijetljene laserom on se može raspršiti:
 - A) destruktivno – tamne točke
 - B) konstruktivno – svijetlije točke
- ▶ S obzirom da imamo prisutno Brownovo gibanje navedene svijetle i tamne točke nisu stacionarne te stalno fluktuiraju i mijenjaju svoj intenzitet
- ▶ Brzina kojom se javljaju te fluktuacije intenziteta ovisit će o brzini tj. veličini čestica:
 - A) male čestice – brže fluktuacije
 - B) velike čestice – sporije fluktuacije

KONSTRUKTIVNE I DESTRUKTIVNE INTERFERENCIJE





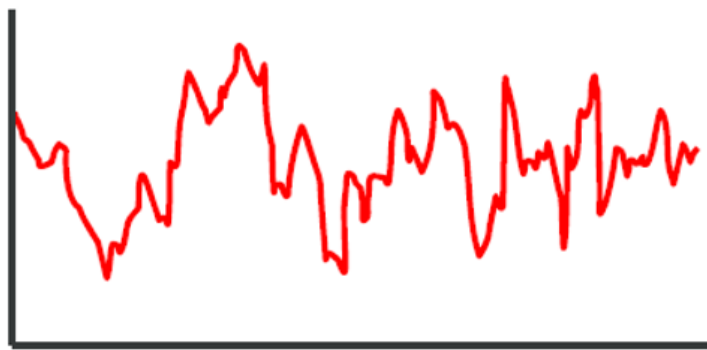


Laser

Male čestice

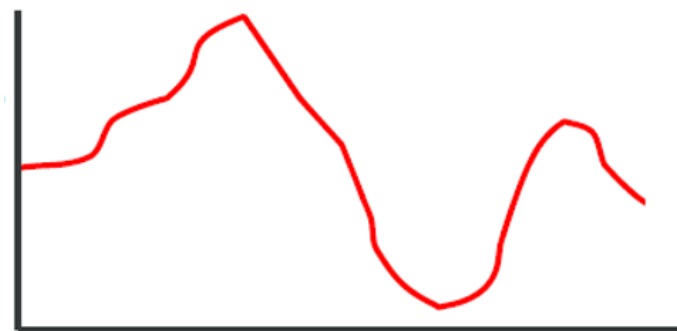
Velike čestice

Intenzitet



Vrijeme

Intenzitet



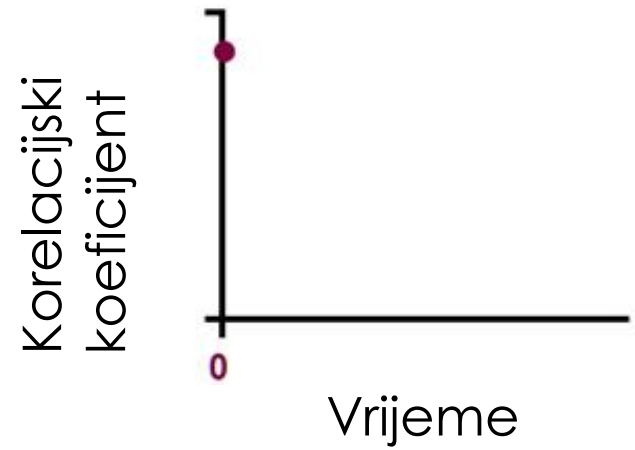
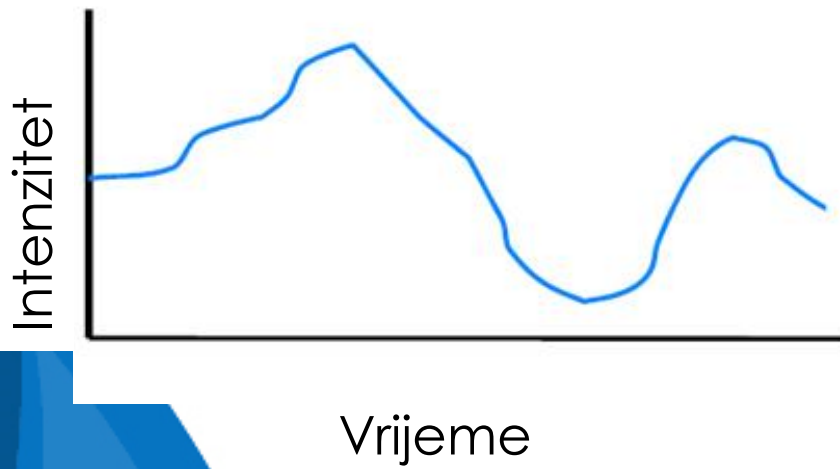
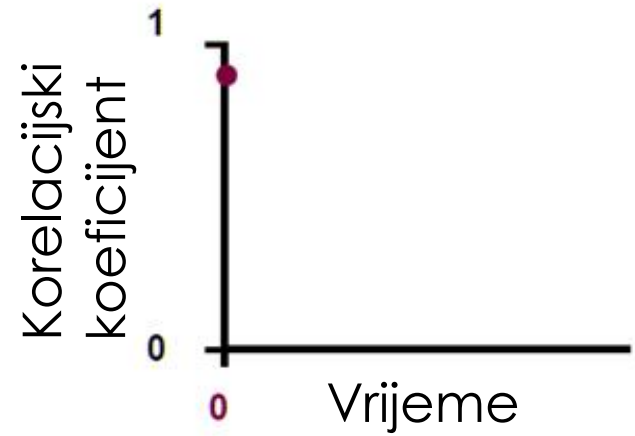
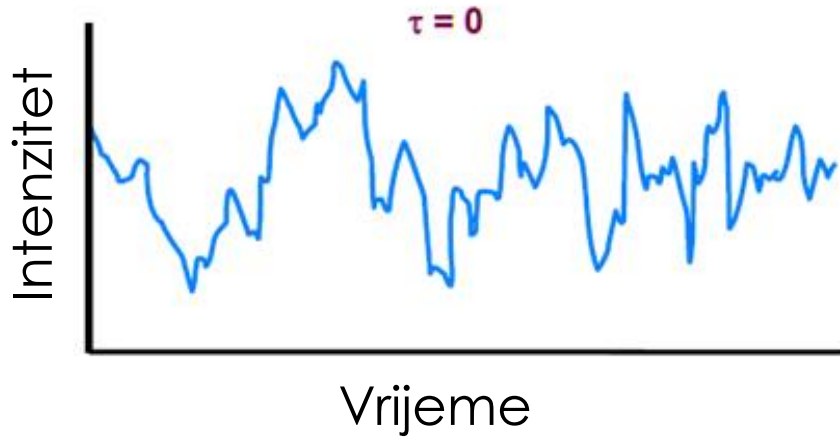
Vrijeme

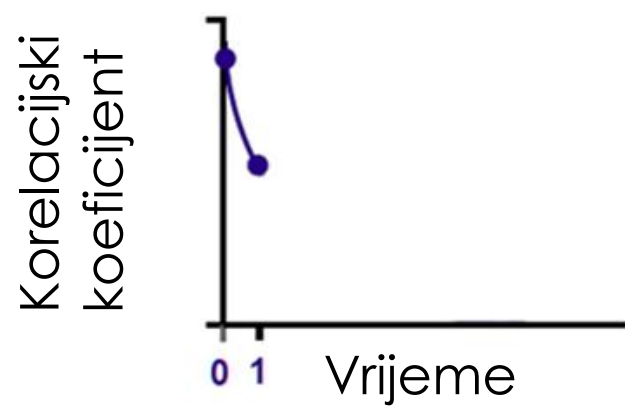
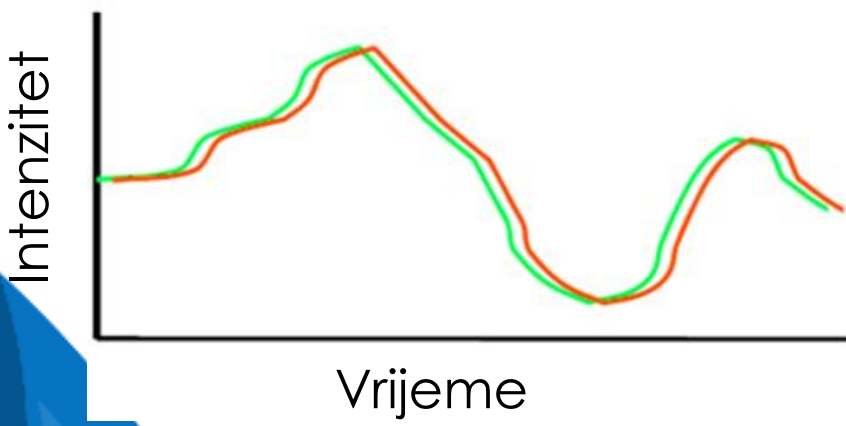
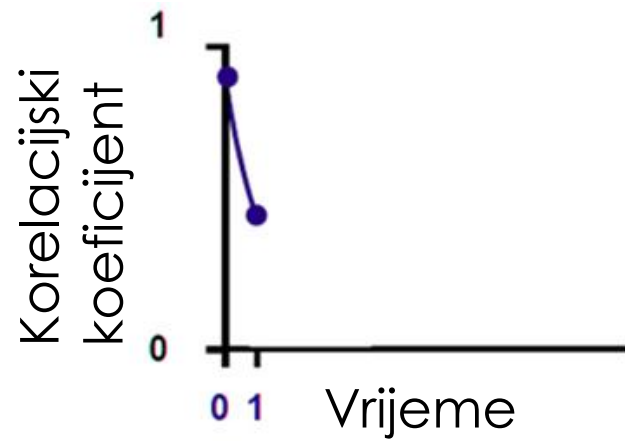
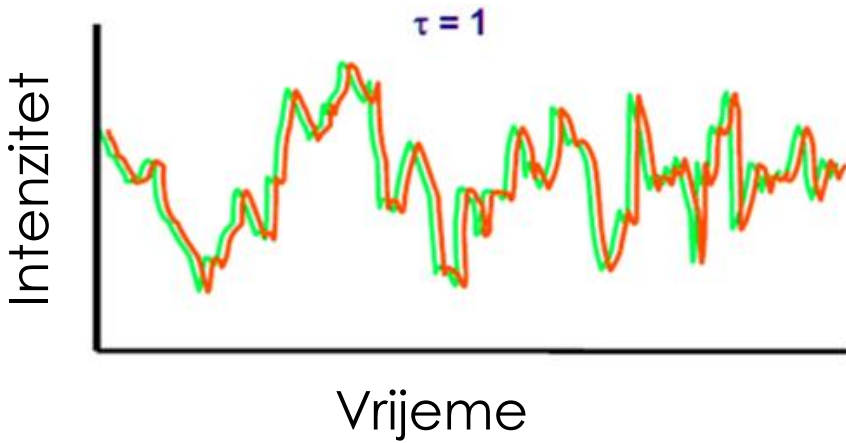
KORELACIJA KOD DLS-A

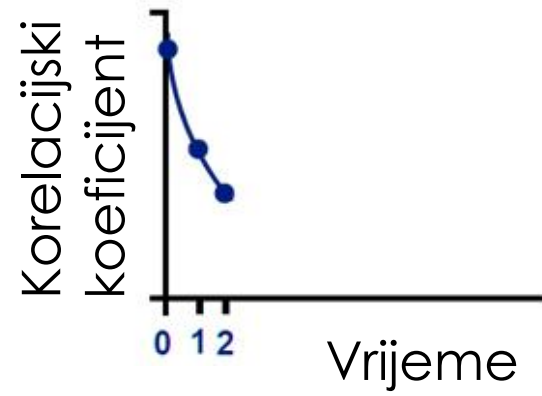
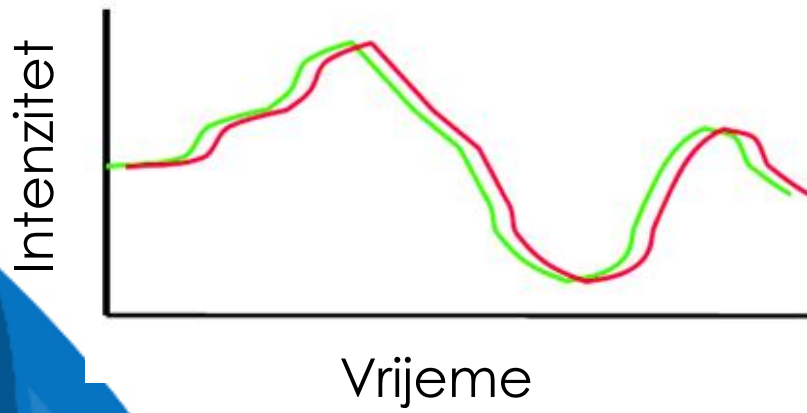
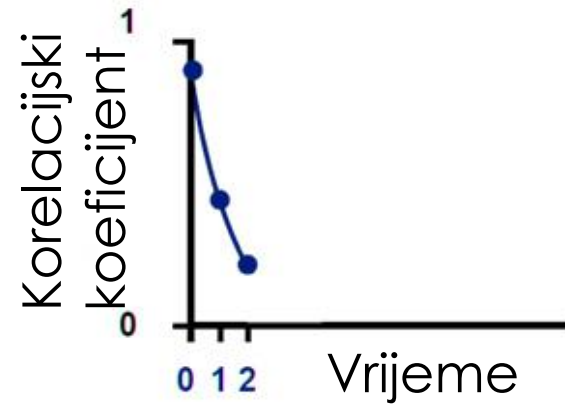
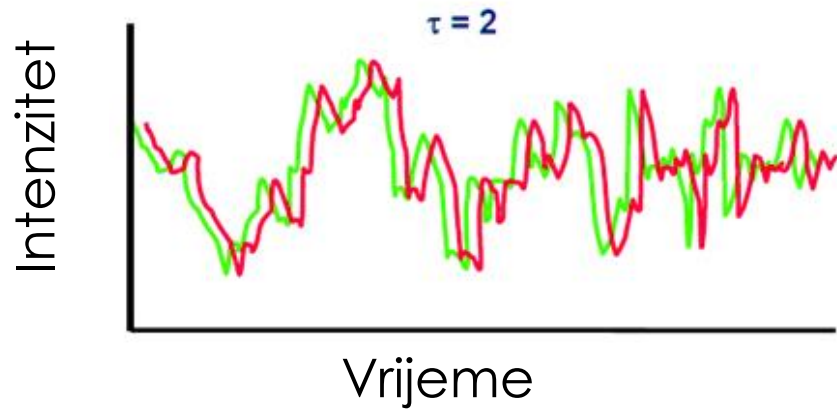
- ▶ Izvodi se vremenska ovisnost signala pomoću korelatora
- ▶ Dobiva se autokoracijska funkcija $G(\tau)$ intenziteta raspršenog svjetla

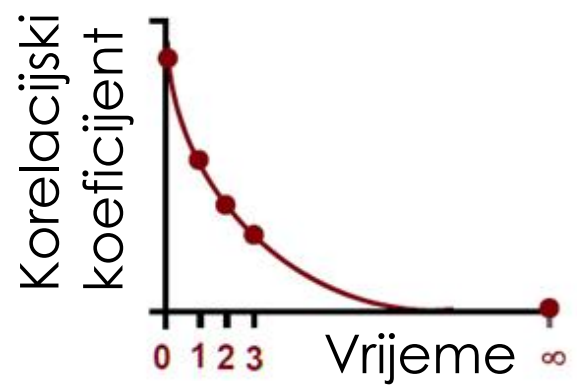
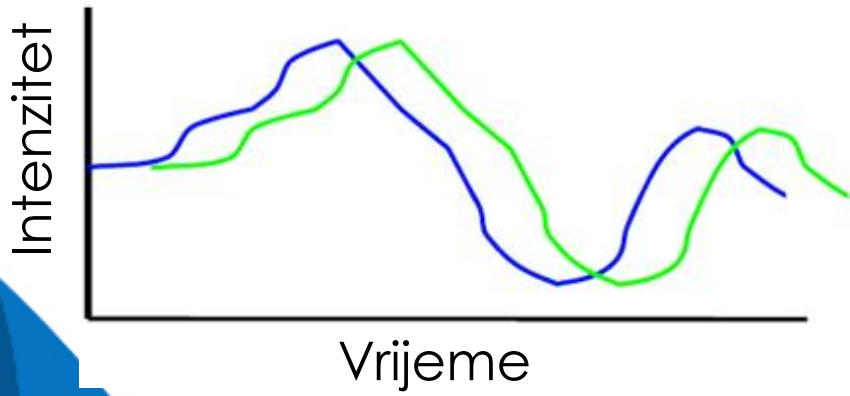
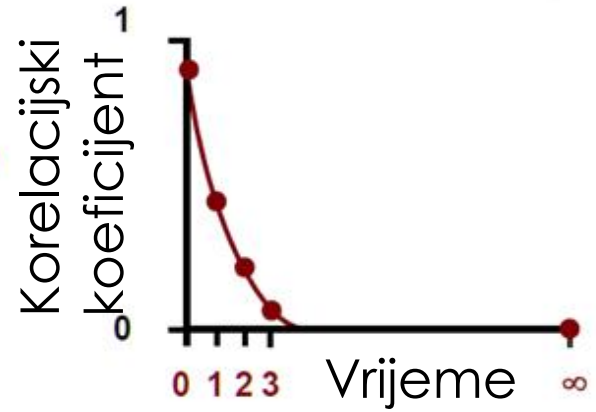
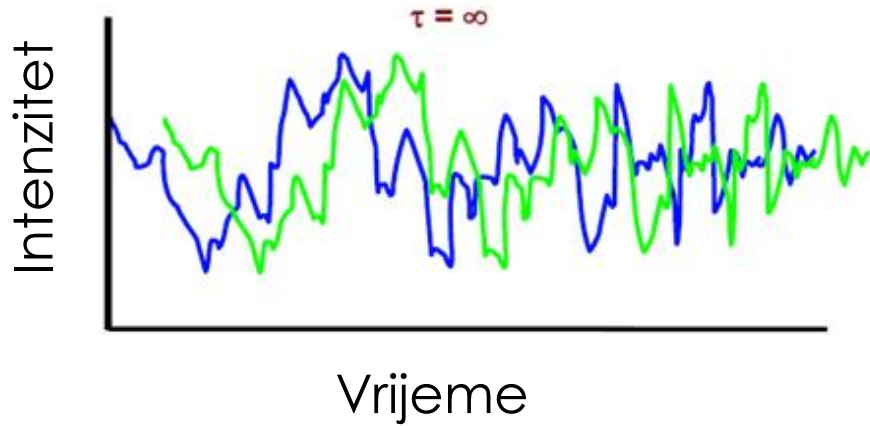
$$G(\tau) = \left\langle \frac{I(t_0) I(t_0 + \tau)}{I(t_\infty)^2} \right\rangle$$

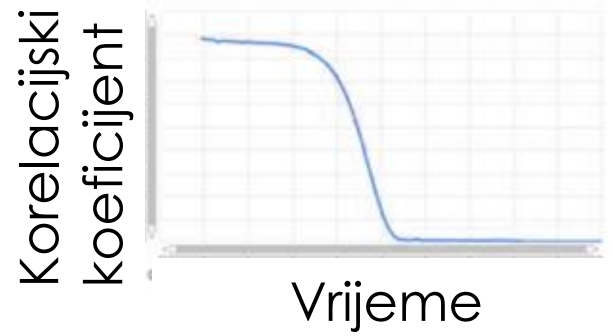
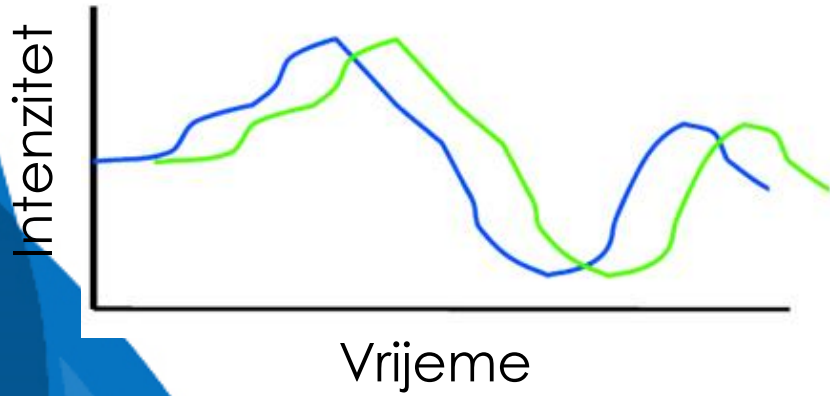
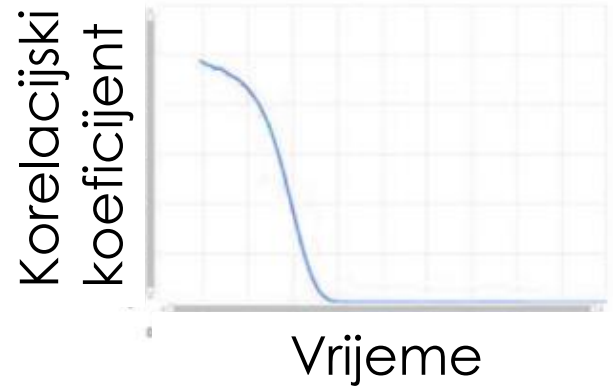
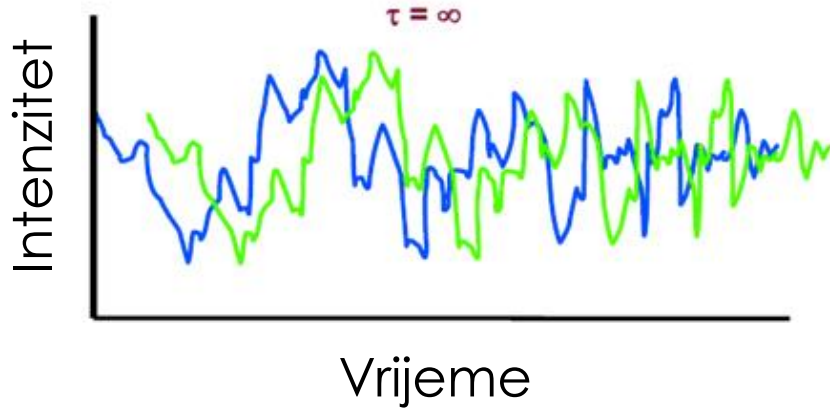
I – intenzitet, t – vrijeme, τ - vrijeme zadržavanja



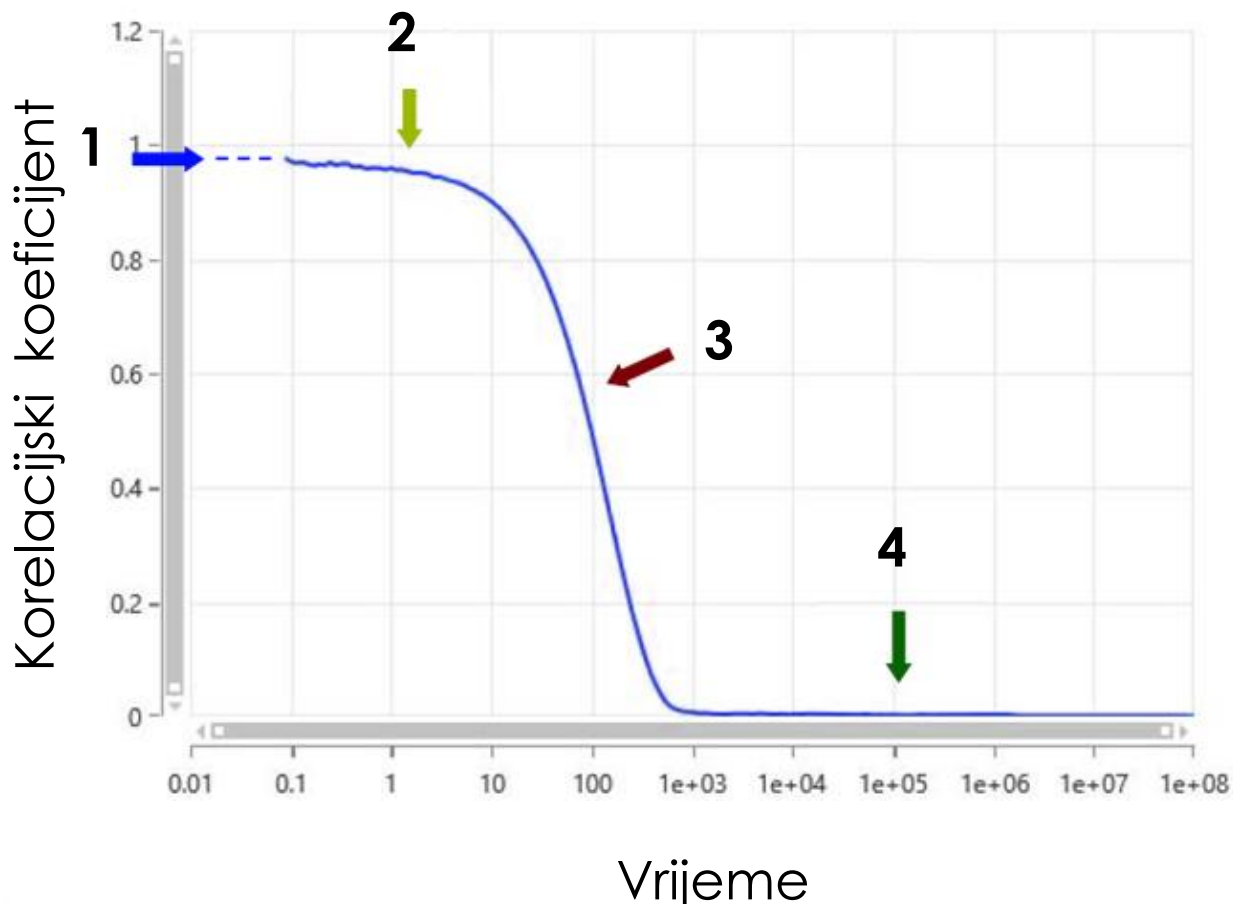








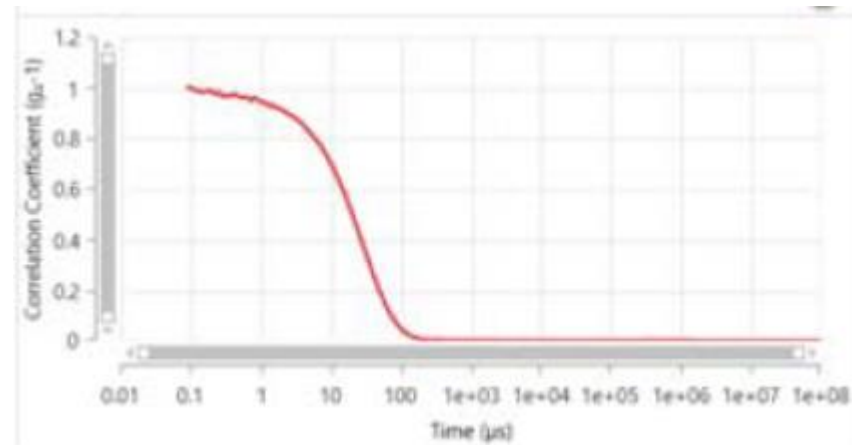
ZNAČAJKE KORELOGRAMA



- Vrijeme
- 1 – Odsječak – omjer signal : šum
 - 2 – Početak pada krivulje – srednja veličina čestica
 - 3 – Nagib krivulje – polidisperznost uzorka
 - 4 – Bazna linija

ANALIZA KORELOGRAMA

- ▶ Određuje se prosječna populacije veličina čestica z-prosjek
- ▶ Određuje se indeks polidisperznosti
- ▶ Definirano ISO 22412 standardom

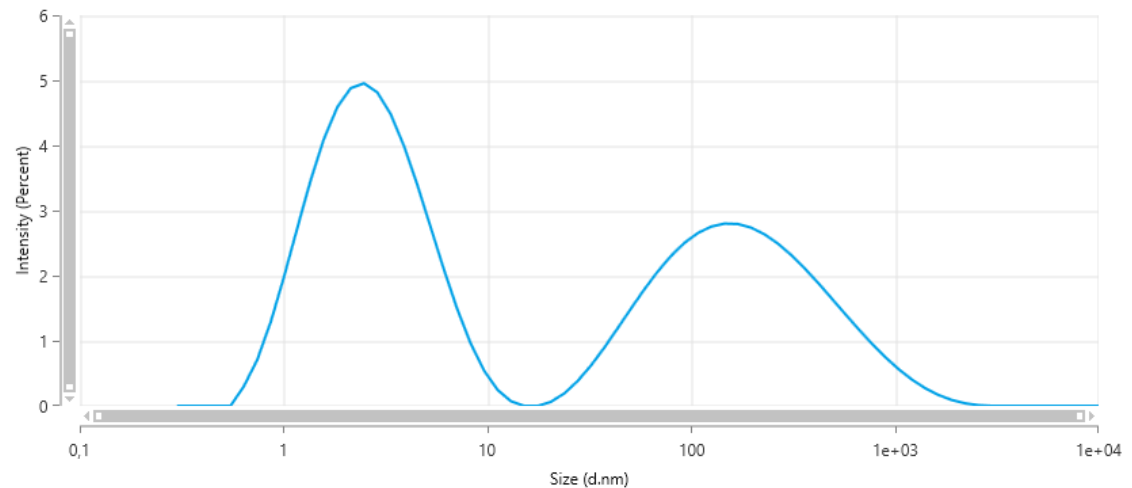


ANALIZA KORELOGRAMA

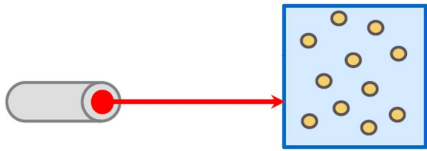
- ▶ Dovoljno je poznavati indeks refrakcije i viskoznost tekućine
- ▶ Z- prosjek-vrlo osjetljiv na prisutnost agregata ili velikih onečišćenja zbog svojstvenog ponderiranja intenziteta (veće čestice značajnije raspršuju i više doprinose ukupnom signalu)
- ▶ Indeks polidisperznosti -bezdimenzijska mjera širine raspodjele veličine izračunata iz kumulativne analize U rasponu je od 0 do 1 u programu Zetasizer
- ▶ Vrijednosti > 1 ukazuju na to da je raspodjela toliko polidisperzna, uzorak možda nije prikladan za mjerenje pomoću DLS-a

ANALIZA KORELOGRAMA

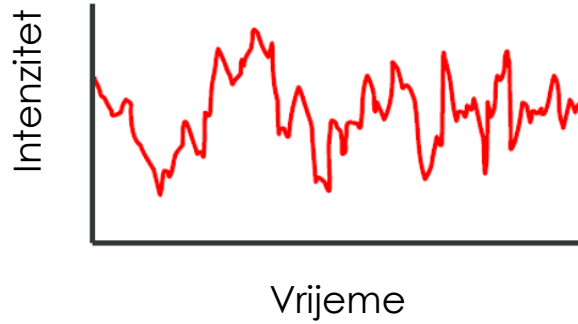
- ▶ U slučaju pojave više razdvojenih populacija informacije dobivene kumulativnom analizom gube na vrijednosti
- ▶ Pristupa se analizi pojedinih populacija



UKRATKO

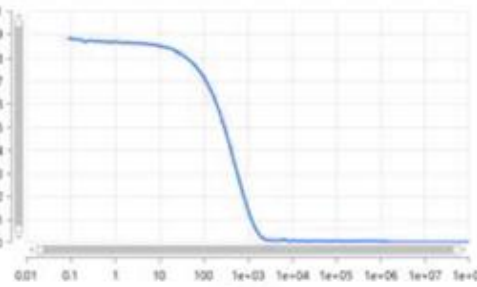


Provedba mjerenja



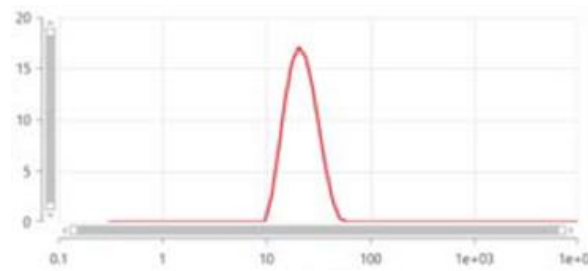
Rezultat mjerenja

Korelacijski koeficijent



Rezultat korelacije

Intenzitet



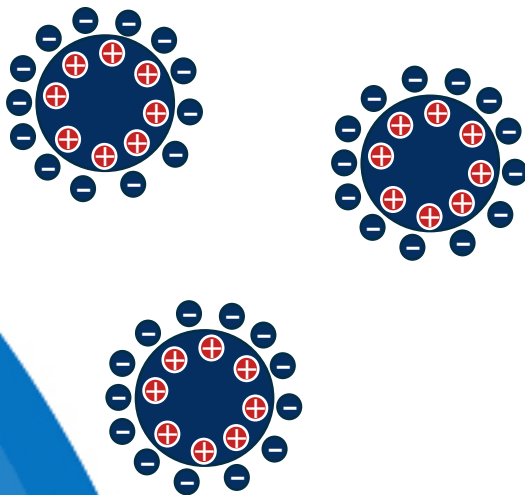
Primjena algoritma i
Izračun završnog rezultat

Veličina

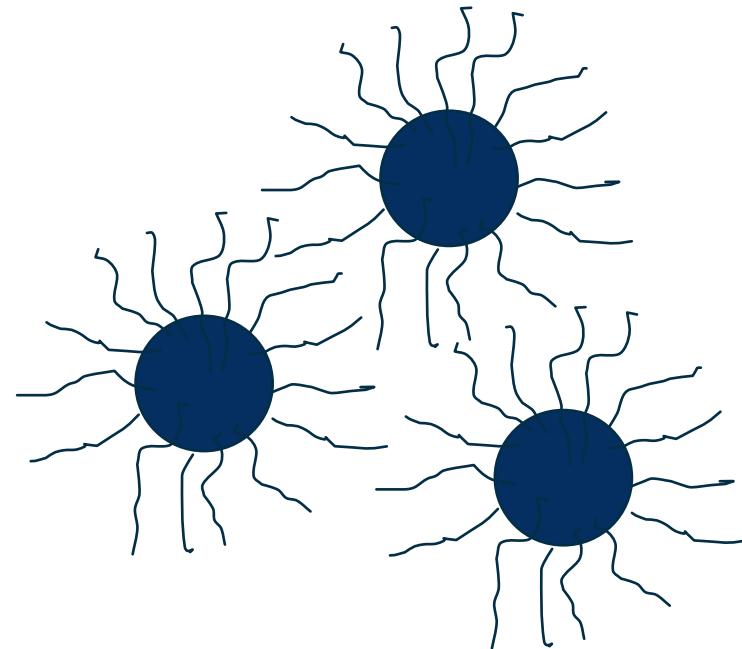
STABILNOST KOLOIDA

- Stabilnost koloidnih suspenzija (koloida) predstavlja sposobnost čestica da zadrže disperzno stanje
- Stabilnost je rezultat sila na međufazi čvrsto-kapljevito

Elektrostatska odbijanja



Sterička stabilizacija

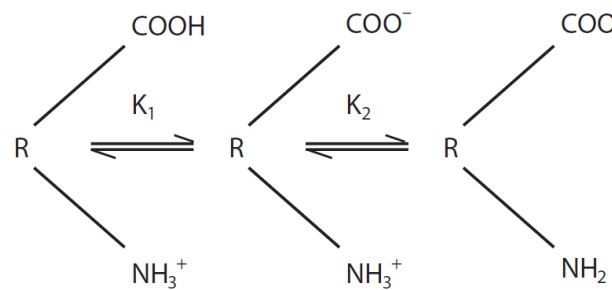


NABOJ POVRŠINE KOLOIDNIH ČESTICA

Uzrok naboja površine može biti:
Ionizacija funkcionalnih skupina

(npr. -OH, -COOH, -OPO₃H₂)

Nizak pH
Pozitivniji naboj



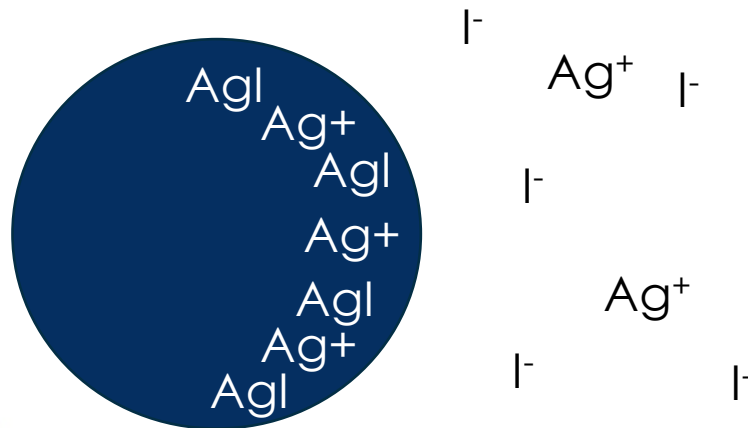
Visok pH
Negativniji naboj

Srednji pH
Ukupni naboj jednak nuli
Izoelektrična točka (pH_{zpc})

NABOJ POVRŠINE KOLOIDNIH ČESTICA

Uzrok naboja površine može biti:

Preferencijalno otapanje iona na površini

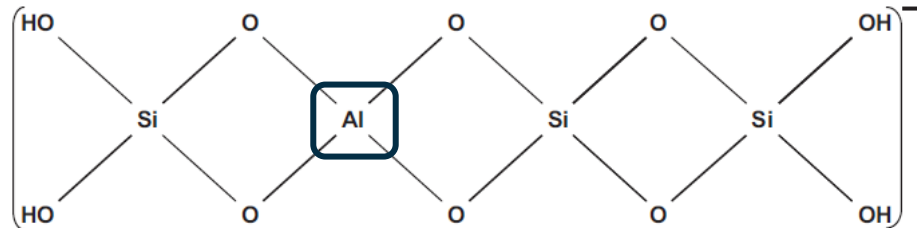


NABOJ POVRŠINE KOLOIDNIH ČESTICA

Uzrok naboja površine može biti:

Nepravilnost strukture na površini čestice

npr. u SiO_2 kristalnoj rešetci, jedan Si atom može biti zamijenjen s Al

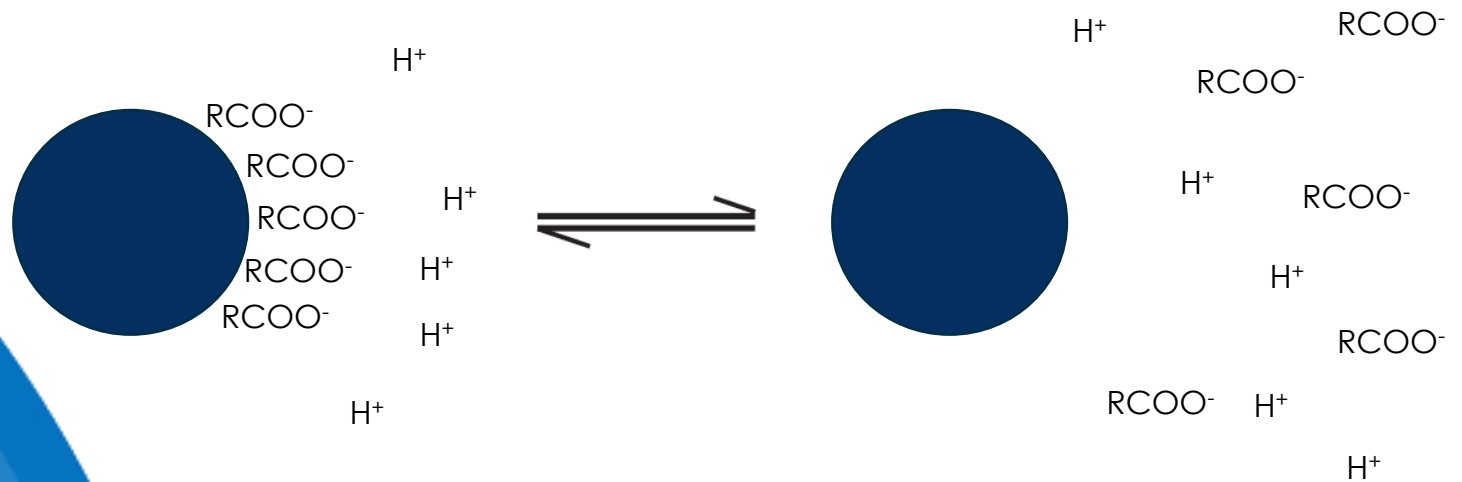


NABOJ POVRŠINE KOLOIDNIH ČESTICA

Uzrok naboja površine može biti:

Adsorpcija iona/ioniziranih molekula na površinu

Londonove/Van der Waalsove i H-veze

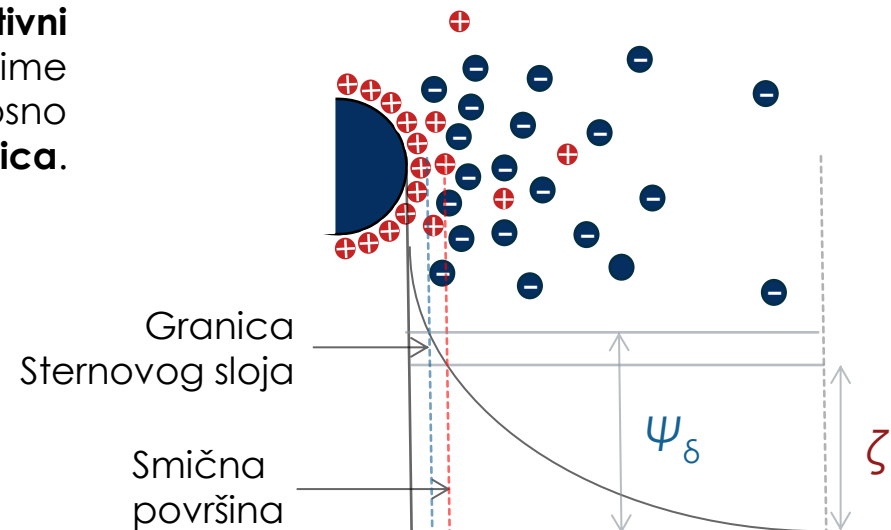


ZETA POTENCIJAL

Nabijena čestica okružena je električnim dvoslojem koji se sastoji od **Sternovog i difuznog sloja**. **Sternov sloj** čine djelomično hidratizirani ioni adsorbirani na površinu čestice, a nakon Sternovog sloja nalazi se **difuzni sloj**.

Razlika potencijala na granici Sternovog sloja i u unutrašnjosti otopine zove se **Sternov potencijal (Ψ_δ)**. Zbog nemogućnosti direktnog mjerenja Sternovog potencijala, njegova najbliža aproksimacija čini **zeta potencijal**, odnosno razlika potencijala u unutrašnjosti otopine i na **smičnoj površini** – granici između pomičnih i nepomičnih iona i molekula u odnosu na površinu čestice.

Zbog nepomičnosti iona i molekula prije granice smicanja (smične površine), **zeta potencijal** ujedno predstavlja **efektivni naboj čestice u određenom mediju**, a time i mjerilo elektrostatskih odbijanja, odnosno **stabilnost koloidnih čestica**.



ZETA POTENCIJAL

Vodeni koloidi smatraju se stabilnim ako je apsolutna vrijednost zeta potencijal koloidnih čestica veći od **$\pm 30 \text{ mV}$** .

Ukoliko apsolutna vrijednost zeta potencijala padne ispod navedenih 30 mV koloid postaje nestabilan i postoji mogućnost aglomeracije (**koagulacije**) koloidnih čestica.

Zeta potencijal (stabilnost koloida) ovisi o:

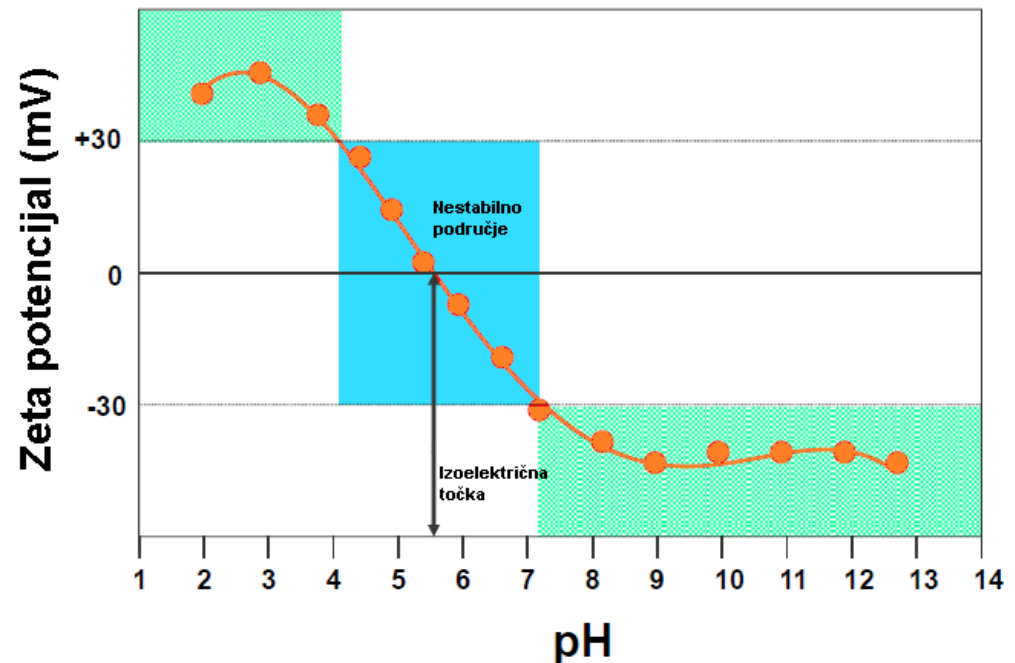
- pH
- ionskoj jakosti
- promjeni u koncentraciji aditiva (koagulanati ili površinski aktivne tvari)

ZETA POTENCIJAL

Promjenom **pH vrijednosti** dolazi do promjena u ionizaciji funkcionalnih skupina na površini čestica.

Povećanjem **ionske jakosti** dolazi do kompresije električnog dvosloja (smanjuje se udaljenost djelovanja elektrostatskih odbojnih sila) i smanjenja samog zeta potencijala.

Dodavanjem **koagulanata ili površinski aktivne tvari**, oni se vežu za površinu čestice i tako mogu smanjiti ili čak obrnuti njihov Sternog potencijal, a time i zeta potencijal.



ELEKTROKINETIČKE POJAVE

Nabijene čestice u električnom polju pokazuju elektrokinetičke pojave:

Elektroforeza – gibanje nabijenih čestica u odnosu na tekućinu u električnom polju

Elektro-osmoza – gibanje otapala u odnosu na stacionarnu nabijenu površinu u električnom polju

Zeta potencijal određuje se pomoću raspršenja svjetlosti prilikom elektroforeze – **elektroforetsko raspršenje svjetlosti**

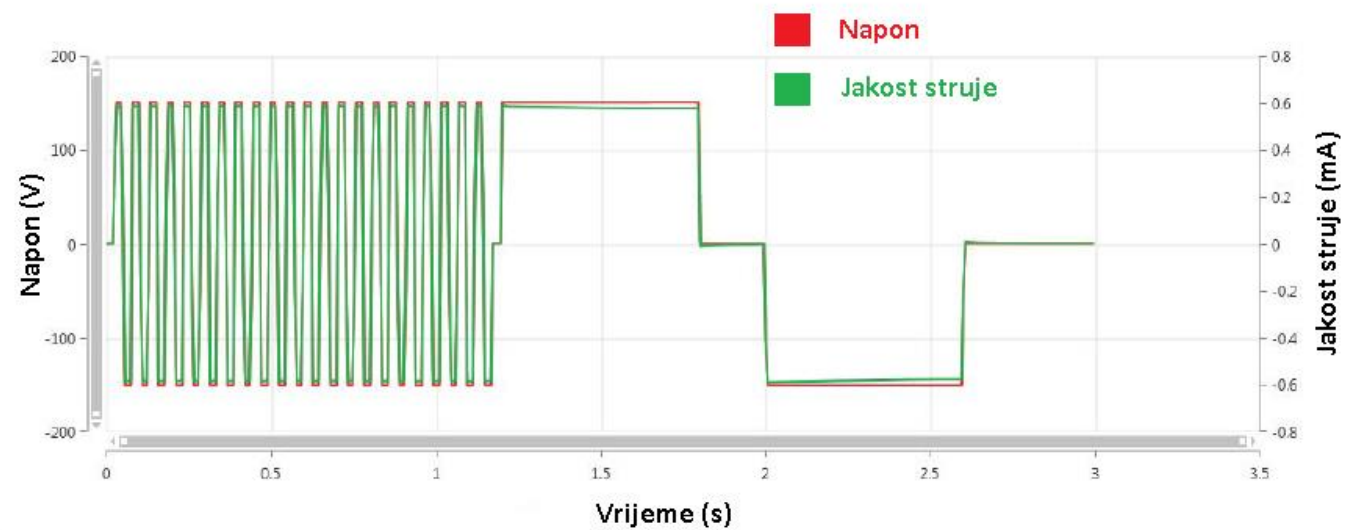
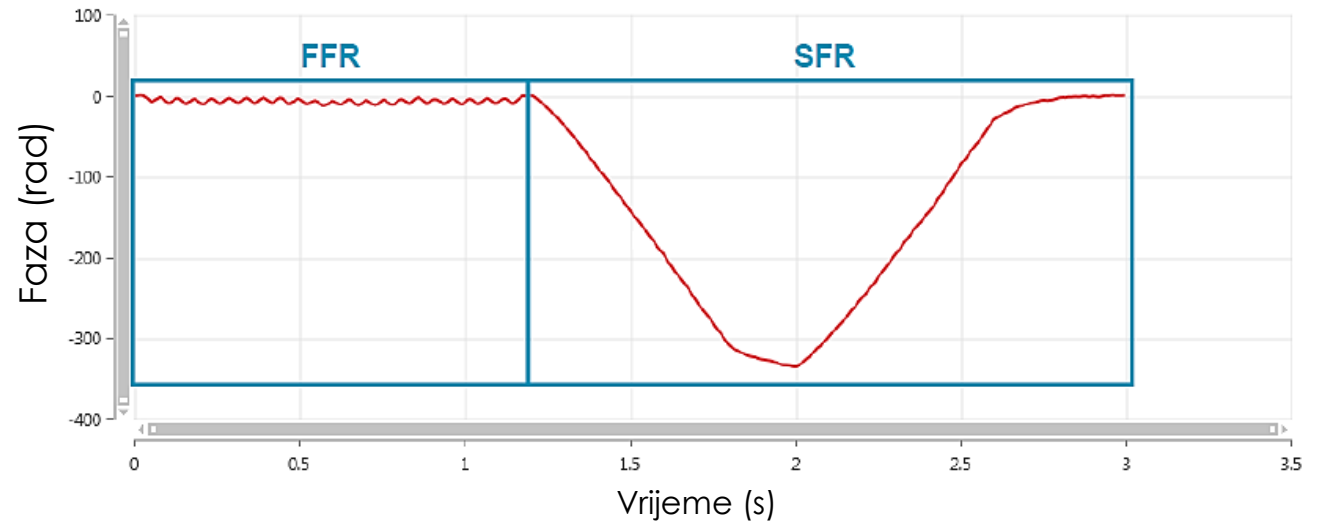
ELEKTROKINETIČKE POJAVE

Elektroosmoza unosi grešku prilikom mjerenja zeta potencijala pomoću elektroforeze, ali ove dvije pojave odvijaju se različitom brzinom. Elektroforeza se odvija brzo (μs), dok je elektro-osmoza znatno sporija (ms).

Kako bi se nadišao navedeni problem, mjerenje zeta potencijala provodi se pri različitim frekvencijama promjene smjera električnog polja.

- Brza promjena smjera električnog polja („Fast field reversal” – **FFR**) – služi za mjerenje prosječnog zeta potencijala čestica
- Spora promjena smjera električnog polja („slow field reversal” – **SFR**) – služi za mjerenje distribucije zeta potencijala (odvija se i elektroforeza i elektro-osmoza)

MJERENJE S FFR I SFR



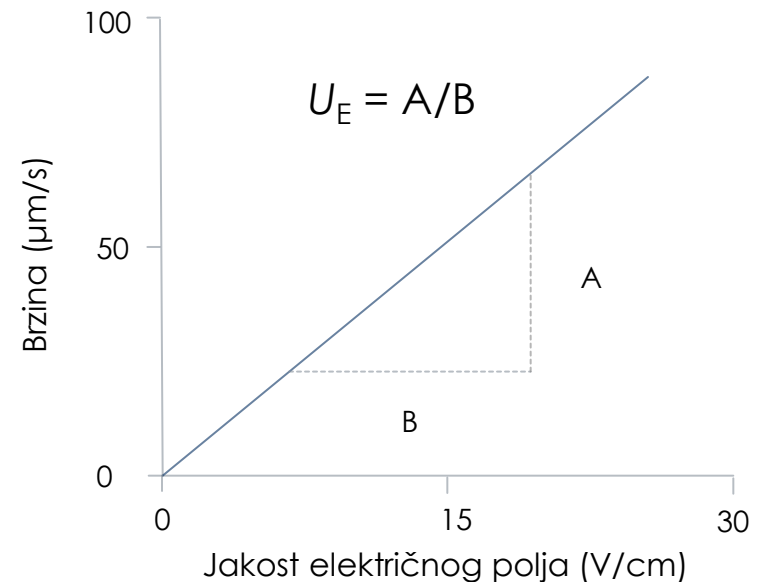
ELEKTROFORETSKO RASPRŠENJE SVJETLOSTI

Primjenom električnog polja na suspenziju nabijenih koloidnih čestica dolazi do njihovog gibanja – elektroforeze.

Na elektroforezu utječe:

- zeta potencijal
- jakost električnog polja
- dielektrična konstanta medija
- viskoznost medija

Ukoliko mijenjamo samo jakost el. polja, brzina kretanja nabijenih čestica linearno će rasti s porastom el. polja, a taj odnos predstavlja **elektroforetska mobilnost (U_E)**



ELEKTROFORETSKA MOBILNOST I ZETA POTENCIJAL

Odnos između elektroforetske mobilnosti (U_E) i zeta potencijala (ζ) dana je preko **Henryeve jednadžbe**:

$$U_E = \frac{2 \varepsilon \zeta F(\kappa a)}{3 \eta}$$

| | |
|---------------|-----------------------------|
| U_E | – elektroforetska mobilnost |
| ε | – dielektrična konstanta |
| ζ | – zeta potencijal |
| $F(\kappa a)$ | – Henryeva funkcija |
| η | – viskoznost |

Henryeva funkcija ($F(\kappa a)$) daje odnos između debljine dvosloja (κ) i radijusa čestice (a) -> κ/a

Vrijednost $F(\kappa a)$ se može aproksimirati:

Aproksimacija po Hückel

Za nepolarne medije - **$F(\kappa a) = 1.0$** -> deblji el. dvosloj

Aproksimacija po Smoluchowskom

Za polarne medije - **$F(\kappa a) = 1.5$** -> tanji el. dvosloj

ELEKTROFORETSKO RASPRŠENJE SVJETLOSTI

Čestice koje se gibaju prilikom raspršenja svjetlosti mijenjaju frekvenciju upadne zrake.

Promjena frekvencije (Δf) ovisi o brzini čestice (v), kutu raspršenja (θ) i valnoj duljini zračenja (λ):

$$\Delta f = 2v \times \sin(\theta/2) / \lambda$$

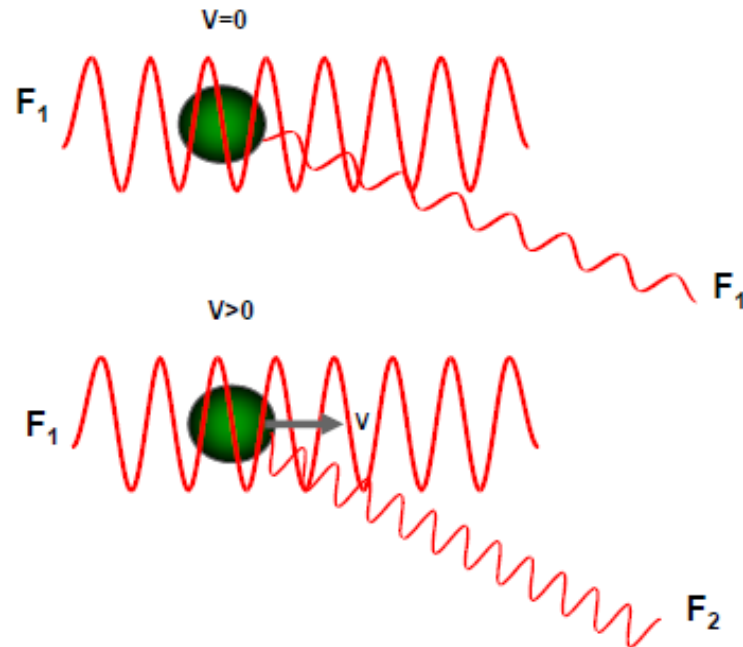
Promjena u frekvenciji proporcionalna je brzini gibanja čestice što je proporcionalno zeta potencijalu

U vodenim otopinama promjena frekvencije od 1 Hz približno je jednaka promjeni zeta potencijala za 1 mV

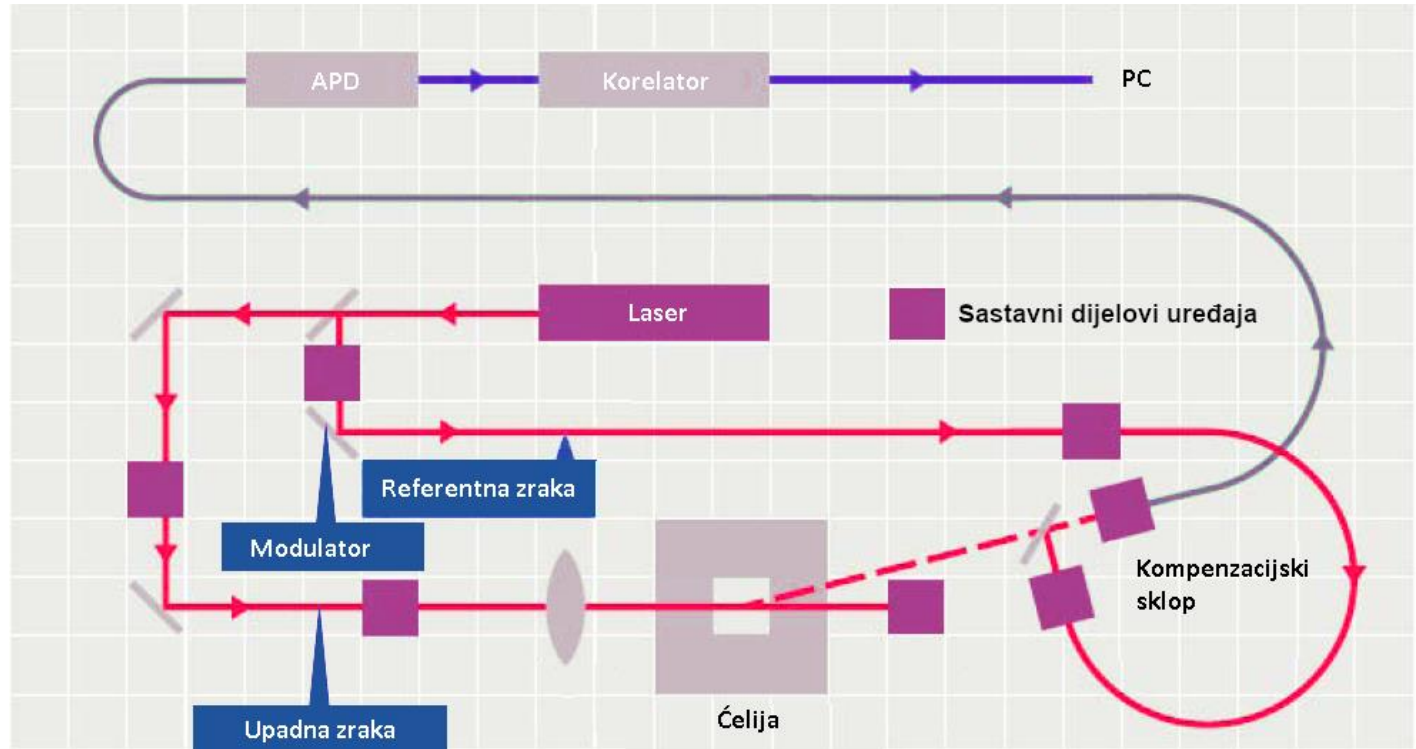
ELEKTROFORETSKO RASPRŠENJE SVJETLOSTI

Ako čestica miruje, raspršena svjetlost imat će istu frekvenciju kao i upadno zračenje

Ako se čestica giba, ovisno o brzini i smjeru gibanja, zračenje mijenja svoju frekvenciju



ELEKTROFORETSKO RASPRŠENJE SVJETLOSTI – SHEMATSKI PRIKAZ

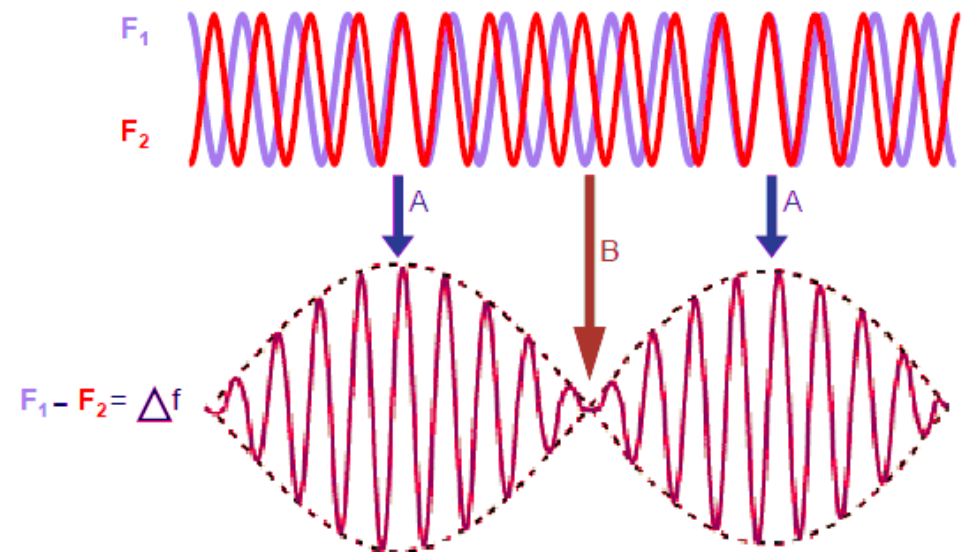


ELEKTROFORETSKO RASPRŠENJE SVJETLOSTI - INTERFERENCIJA

Elektroforetsko raspršenje svjetlosti određuje interferenciju između referentne zrake (iste frekvencije kao i upadna zraka) i raspršene zrake. Interferencijom dvaju zračenja različite frekvencije dobiva se zračenje čija je frekvencija jednaka razlici frekvencija dvaju zračenja.

A = pozitivna interferencija

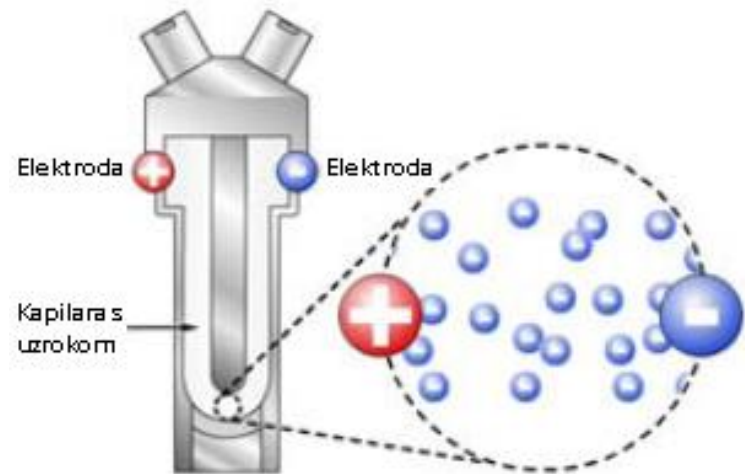
B = negativna interferencija

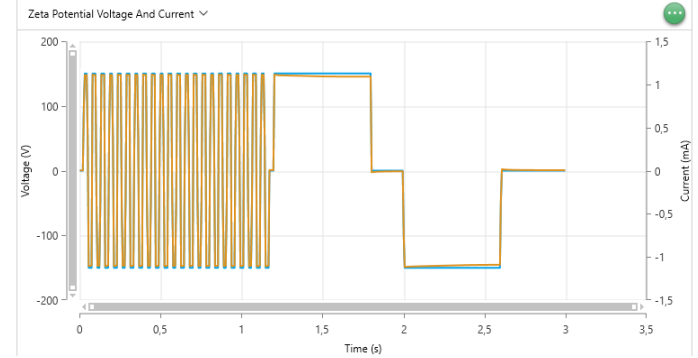
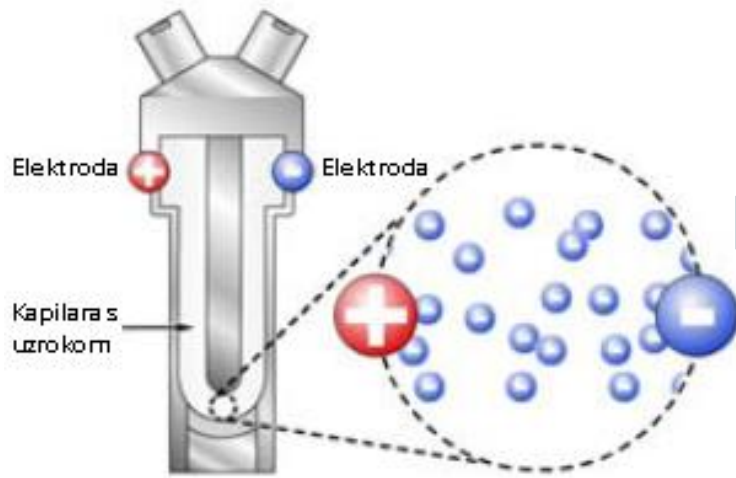


ELEKTROFORETSKO RASPRŠENJE SVJETLOSTI

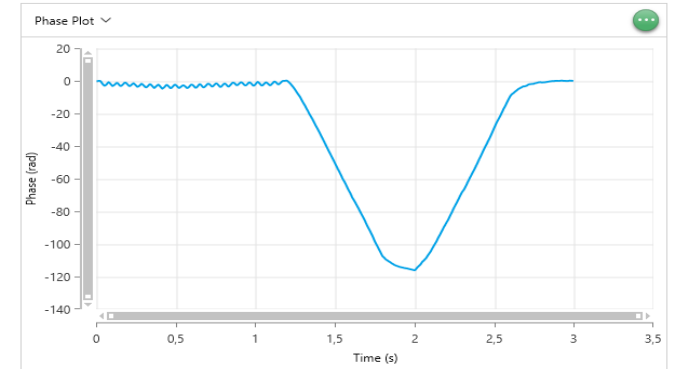
Promjena u frekvenciji proporcionalna je brzini gibanja čestice što je proporcionalno zeta potencijalu

U vodenim otopinama promjena frekvencije od 1 Hz približno je jednaka promjeni zeta potencijala za 1 mV



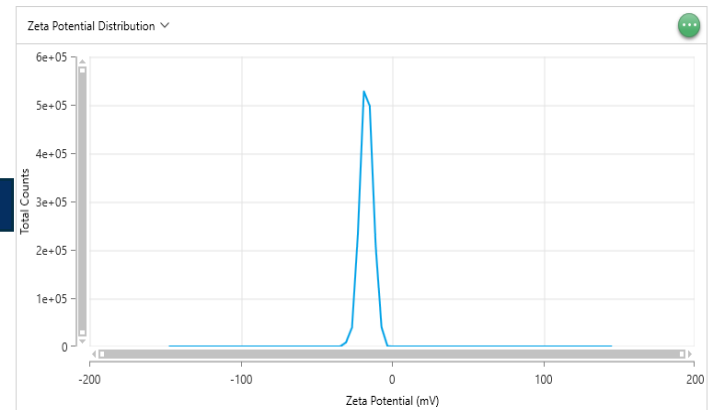


Reports Summary Size **Zeta** Particle Concentration Titration Custom



Statistics Table

| Name | Mean | Standard Deviation | RSD | Minimum | Maximum |
|--------------------------|--------|--------------------|-----|---------|---------|
| Zeta Potential (mV) | -16,83 | - | - | -16,83 | -16,83 |
| Conductivity (mS/cm) | 0,4934 | - | - | 0,4934 | 0,4934 |
| Wall Zeta Potential (mV) | -19,45 | - | - | -19,45 | -19,45 |
| Quality Factor | 3,397 | - | - | 3,397 | 3,397 |
| Zeta Peak One Mean | -16,81 | - | - | -16,81 | -16,81 |



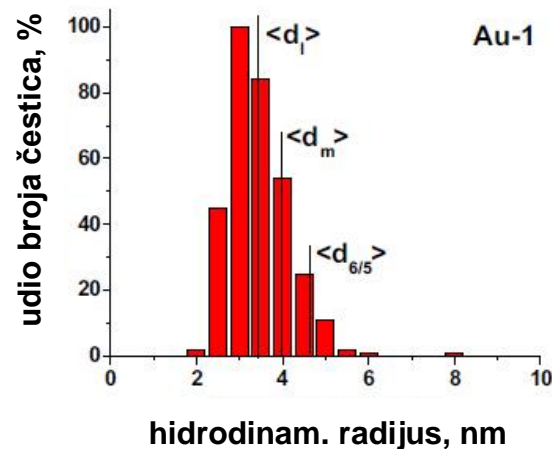
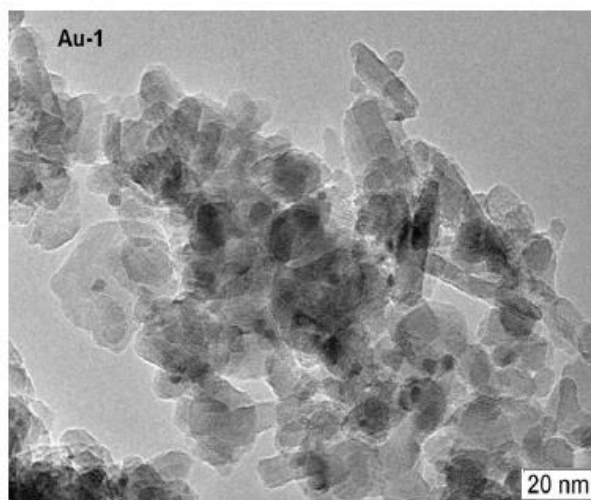
PRIMJENA DLS-A

- ▶ praktična primjena određivanja hidrodinamičkog radijusa čestica te indeksa polidisperznosti:
 - ▶ medicina
 - ▶ formulacijsko inženjerstvo
 - ▶ reakcijsko inženjerstvo
 - ▶ inženjerstvo polimernih materijala
 - ▶ prehrambena tehnologija

PRIMJENA DLS-A

► REAKCIJSKO INŽENJERSTVO

- karakterizacija hidrodinamičkog radijusa nano- i mikro-čestica katalizatora te nosača katalizatora



Usporedba veličine čestica iz TEM mikrografija te DLS-a
(Yu V. Larichev, Chem. Pap. 75 (2021) 2059-2066)

PRIMJENA DLS-A

- ▶ FORMULACIJSKO INŽENJERSTVO
 - karakterizacija koloidnih suspenzija



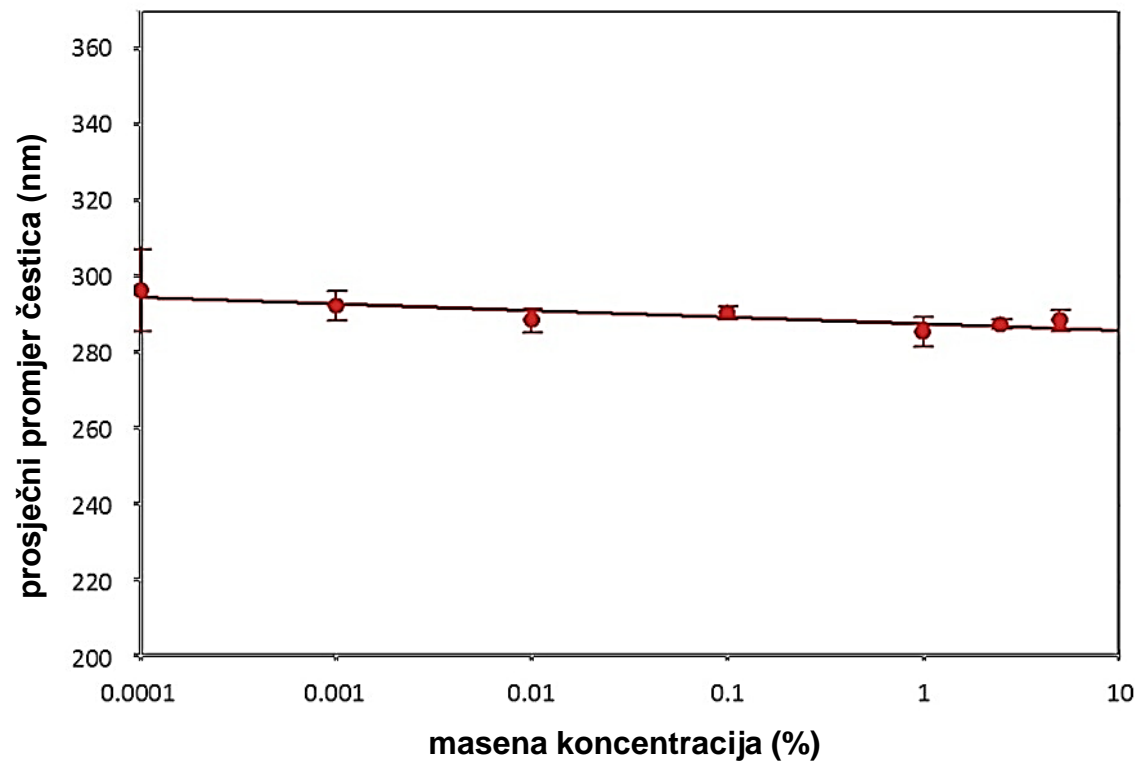
prirodni lateks
kaučukovca



disperzije nano-zlata

PRIMJENA DLS-A

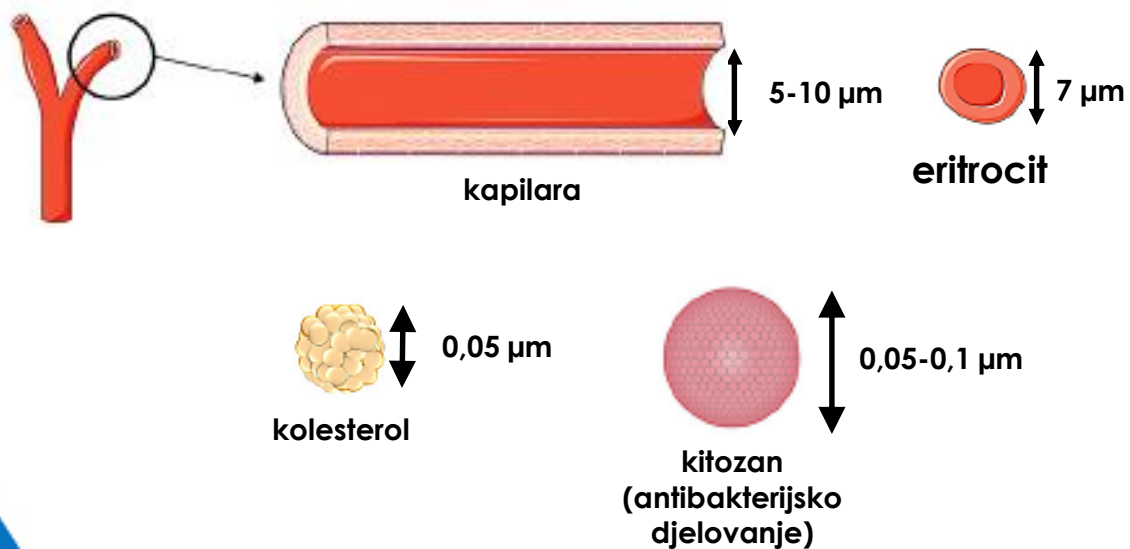
- ▶ mjerenje koncentracije disperzije koloidne farmaceutske formulacije nakon razrjeđenja u rasponu masenih koncentracija od 0,001% do 5%:



PRIMJENA DLS-A

► MEDICINA

- karakterizacija nano-formulacija za ciljanu dostavu farmaceutskih aktivnih tvari:



PREDNOSTI/OGRANIČENJA DLS-A

- ▶ prednosti:
 - ▶ jednostavna priprema uzorka
 - ▶ brza i nedestruktivna metoda
- ▶ nedostaci:
 - ▶ suspenzija mora biti dovoljno razrijeđena
 - ▶ razrjeđivanje može rezultirati fizikalnom promjenom u uzorku npr. rasplitanje polim. klupka, disocijacija kompleksnih čestica
 - ▶ apsolutno određivanje veličine nije moguće

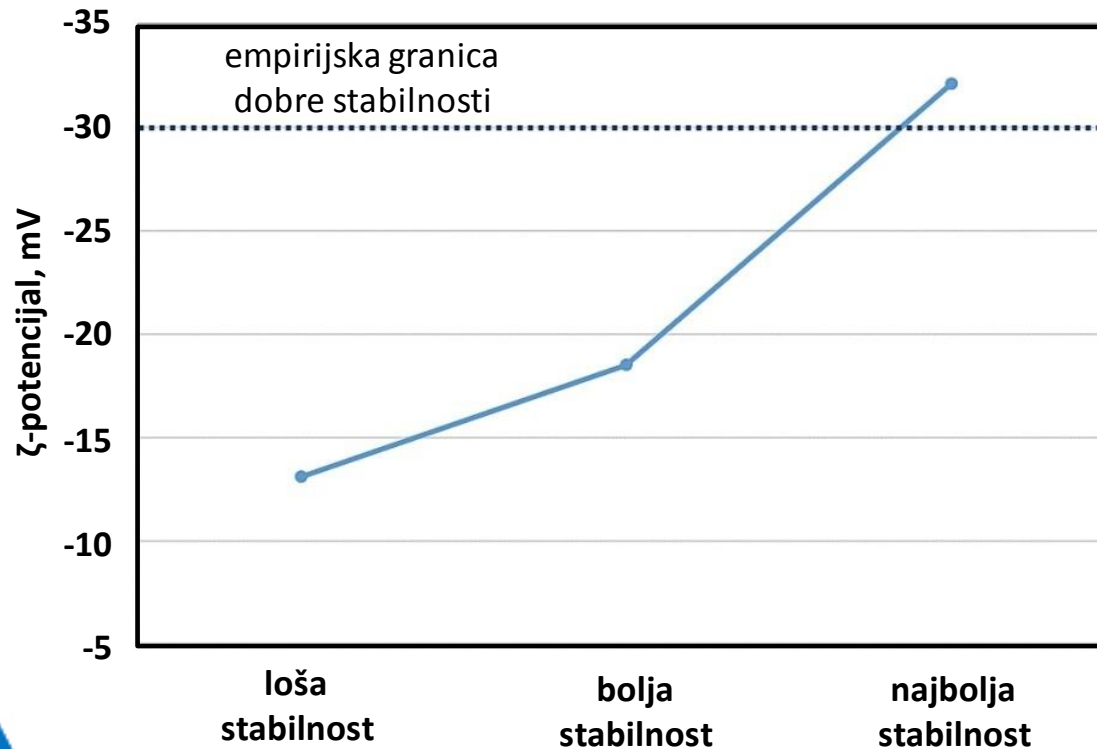
PRIMJENA ODREĐIVANJA ZETA-POTENCIJALA

- ▶ praktična primjena određivanja ζ -potencijala:
 - ▶ medicina
 - ▶ formulacijsko inženjerstvo
 - ▶ reakcijsko inženjerstvo
 - ▶ obrada voda

PRIMJENA ODREĐIVANJA ZETA-POTENCIJALA

▶ INŽENJERSTVO FORMULACIJA

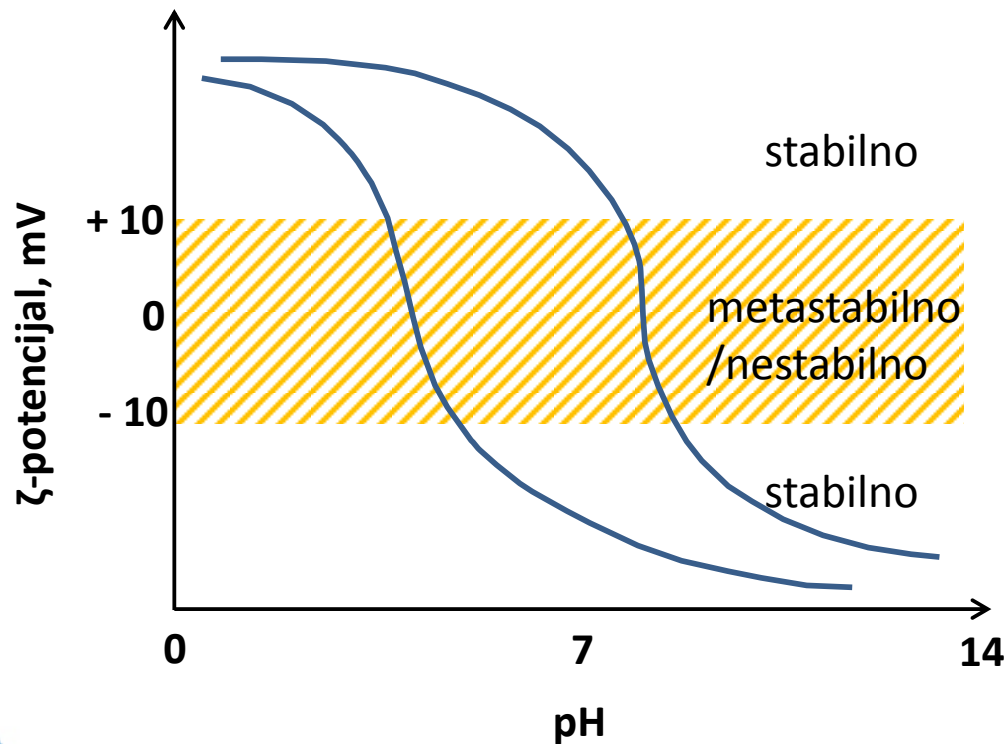
▶ stabilnost koloidnih disperzija:



PRIMJENA ODREĐIVANJA ZETA-POTENCIJALA

▶ KARAKTERIZACIJA

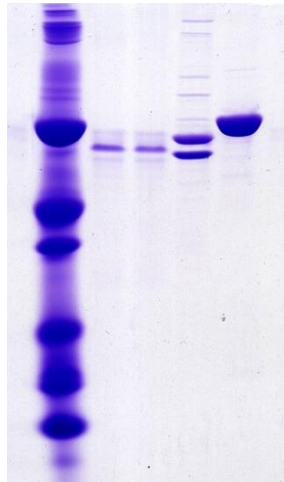
- ▶ određivanje izoelektrične točke metalnih oksida:



- ▶ izoelektrična točka važno svojstvo za fenomene adsorpcije

PRIMJENA ODREĐIVANJA ZETA-POTENCIJALA

- ▶ MEDICINA:
 - ▶ elektroforetska pokretljivost proteina



PREDNOSTI/OGRANIČENJA ODREĐIVANJA ZETA POTENCIJALA

- ▶ prednosti:
 - ▶ jednostavna priprema uzorka
 - ▶ brza i nedestruktivna metoda
- ▶ nedostaci:
 - ▶ ζ -potencijal nije izravna mjera površinskog naboja
 - ▶ razrjeđenje ima velik utjecaj na rezultat mjerenja
 - ▶ čestice mogu reagirati s elektrolitom
 - ▶ degradacija elektroda mjerne ćelije utječe na mjerenje