

ЧЕТВРТИ КОНГРЕС МЕТРОЛОГА

– ЗБОРНИК РАДОВА –

Уредници:

др Бранислав Танасић

др Мирослав Бенишек

Машински факултет Универзитета у Београду
Друштво метролога Србије и Црне Горе

Електроника

СРЕДЊИ И ТРЕНУТНИ МАСЕНИ ПРОТОК ГОРИВА – АУТОМАТИЗАЦИЈА КВАЗИ-КОНТИНУАЛНОГ МЕРЕЊА У РЕАЛНОМ ВРЕМЕНУ Bojan Međo, Slobodan Popović	
MEAN AND INSTANTANEOUS FUEL MASS FLOW-AUTOMATION OF THE QUASI-CONTINUAL REAL-TIME MEASUREMENT Bojan Medo, Slobodan Popović	493
МЕРЕЊЕ НЕПОХОДНИХ ПАРАМЕТАРА ЛЕТА АВИОНА ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КРУЖНОГ РАСТУРАЊА НЕВОЂЕНИХ РАКЕТА Драгољуб Спасић, Зоран Филиповић	
MEASUREMENT RELEVANT PARAMETERS OF AIRCRAFT IN ORDER TO DETERMINE CYCLE DISPERSION OF AIRCRAFT ROCKETS DURING FLIGHT TEST PROCEDURE Dragoljub Spasić, Zoran Filipović	502
МЕРЕЊЕ РЕЛЕВАНТНИХ ПАРАМЕТАРА ПОГРЕБНИХ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ ПЕРФОРМАНСИ ПАДОБРАНА У ПРОЦЕСУ ИСПИТИВАЊА У ЛЕТУ Тиманић Сања, Филиповић Зоран	
MEASUREMENT RELEVANT PARAMETERS NECESSARY FOR DETERMINING PARACHUTE PERFORMANCES DURING FLIGHT TEST PROCEDURE Timanić Saša, Filipović Zoran	510
МОГУЋНОСТИ МЕРЕЊА УГАОНИХ БРЗИНА ТРООСНИМ ПРЕТВАРАЧЕМ У ТОКУ ИСПИТИВАЊА ДИНАМИЧКЕ СТАБИЛНОСТИ АВИОНА У ЛЕТУ Гордана Митровић, Никола Хинић, Весна Алексић	
POSSIBILITIES OF ANGULAR VELOCITY MEASUREMENT WITH THREE-AXIS TRANSDUCER DURING AIRPLANE DYNAMIC STABILITY FLIGHT TESTING Gordana Mitrović, Nikola Hinc, Vesna Aleksić	517
ДЕТЕКЦИЈА ДЕГРАДАЦИЈЕ МАТЕРИЈАЛА КОМПОЗИТНИХ ШТАПОВА УСЛЕД НИСКОФРЕКВЕНТНОГ ЗАМОРА Љилјана Брајковић, Зоран Мишковић, Петар Ускоковић, Милivoје Симић, Радослав Алексић, Славица Путић, Зоран Станковић	
LOW-FREQUENCY FATIGUE DAMAGE DETECTION IN THE COMPOSITE RODS MATERIAL Ljiljana Brajović, Zoran Mišković, Petar Uskoković, Milivoje Simić, Radoslav Aleksić, Siniša Putić, Zoran Stanković	522
ПРЕДЛОГ ЗА РЕАЛИЗАЦИЈУ СЕКУНДАРНОГ ЕТАЛОНА ЈЕДИНИЦЕ ЗАПРЕМНЕ ГАСА Бранислав Танасић, Никола Соверић	
RECOMMENDATION FOR THE REALIZATION OF THE STANDARD FOR THE UNIT OF VOLUME OF GAS Branislav Tanasić, Nikola Sovrić	530
ОЦЕНА ДИМЕНЗИЈА РАСЕЈАВАЧА ЛАСЕРСКИМ ТЕХНИКАМА М. Срећковић, Ј. Илић, Ж. Томић, С. Ристић, С. Аранђеловић, А. Ковачевић, С. Остојић, В. Млинар, В. Арсоски	
ESTIMATION OF A SCATTERER SIZE BY LASER TECHNIQUES M. Srećković, J. Ilić, Z. Tomić, S. Ristić, S. Arandjelović, A. Kovačević, S. Ostojić, V. Mlinar, V. Arsoški	539
Саобраћај	
КОНЦЕПЦИЈА СИСТЕМА ЗА КОНТРОЛУ ИСПРАВНОСТИ КОЧНИЦА НА МОТОРНИМ ВОЗИЛИМА Бранислав Петровић	
A VEHICLE BRAKE TESTING SYSTEM CONCEPTION Branislav Petrović	549
ПРАКТИЧНА РЕАЛИЗАЦИЈА ЈЕДНОГ СИСТЕМА ЗА ПРАЊЕЊЕ ВОЗИЛА Вукан Огризовић	
PRACTICAL REALIZATION OF A FLEET MANAGEMENT SYSTEM Vukan Ogrizović	557
РАЗВОЈ МЕТОДЕ ЗА МЕРЕЊЕ УЗАЈАМНОГ ДЕЈСТВА ВУЧНОГ И ПРИКЉУЧНОГ ВОЗИЛА Рајко Радоњић	
DEVELOPMENT A METHOD FOR MEASURING THE INTERACTION BETWEEN MOTOR VEHICLE – TRAILER Rajko Radonjić	561

ЗАКЉУЧАК

Процена је да су сазрели услови у нас за реализацију секундарних еталона јединице запремине гаса. Поред еталон посуде – секундарног еталона јединице запремине гаса, називне запремине 50 л, који је реализован, предлог је да се развије и реализује и еталонска инсталација са критичним млазницама, као секундарни еталон. Избор опсега мерења ове инсталације је сачињен тако да обухвати све радне еталоне у нас и да се користи за пренос вредности јединице запремине гаса, како на радне еталоне – уређаје са еталон гасомером, који се до сада нису могли еталонирати у земљи, тако и на радне еталоне – уређаје са звоном, без обзира што постоји и опрема и метода за њихово еталонирање у нас волуметријски са еталон посудом, или гравиметријски са вагом – компаратером. Избор осталих својстава, пре свега укупне пропењене мерне несигурности саме инсталације и несигурности методе за преношење вредности је такав да морају бити задовољени захтеви прописани нашим метролошким прописима.

Реализација овакве еталонске инсталације, као путног еталона, омогућила би Србији и Црној Гори да се укључе у регионалне интеркомпарације еталона јединице запремине гаса, у којима до сада нисмо учествовали и да упоредимо "вредност нашег кубног метра природног гаса" у односу на вредност кубног метра у другим земљама, а пре свега онима од којих купујемо или преузимамо гас.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Б. Танасић, Н. Соврић: "Уређеност мерења запремине природног гаса у Југославији", Научно-стручни скуп о гасу и гасној техници, ГАС '96, Будва, мај 1996. Зборник радова, с. 181;
- [2] Б. Танасић, Н. Соврић, П. Бошњковић, В. Радовић: "Пројекат остварења секундарног еталона јединице запремине гаса $V = 50 \text{ dm}^3$ ", Научно-стручни скуп о гасу и гасној техници, ГАС '98, Будва октобар 1998. Зборник радова, с. 429;
- [3] П. Соврић, Б. Танасић: "Предлог за реализацију југословенског (примарног) еталона јединице запремине природног гаса" Симпозијум о мерењима и мерној опреми, Београд, 6.–8. октобар, 1998. Савезни завод за мере и драгоцене метале, Српска академија наука и уметности и Црногорска академија наука и уметности, Зборник радова, књига друга, стр. 647–656
- [4] Б. Танасић, Н. Соврић, М. Баста, Ј. Ђурђевић: "Предлог измене југословенске шеме класификације еталона јединице запремине природног гаса", Научно-стручни скуп о гасу и гасној техници, ГАС '97, Будва мај 1997. Зборник радова, с. 208;

ОЦЕНА ДИМЕНЗИЈА РАСЕЈАВАЧА ЛАСЕРСКИМ ТЕХНИКАМА

М. Срећковић, Ј. Илић, Ж. Томић, С. Ристић, С. Аранђеловић, А. Ковачевић,
С. Остојић, В. Млинар, В. Арсоски

Кључне речи: Ласер, статичко и динамичко расејање, димензионисање честица, холографија

КРАТАК РЕЗИМЕ

Четврто стање материјала (по неким поделама је то плазма, а по неким су прахови) представља предмет изучавања у великом броју истраживачких области, техника и праксе. Технике расејања својим фундаменталним приступом микрочестицама метролошки обједињују прахове, капљице, емулзије, растворе и сл. У раду се паралелно разматрају неке оптичке (холографске, дифракционе) методе са другим методама којима се физички и хемијски карактеришу и идентификују честице (или ансамбли). Димензија објекта се гледа у односу на таласну дужину примењеног кохерентног (или некохерентног) зрачења, таласне векторе пертурбованог и непертурбованог снопа и угла посматрања.

ESTIMATION OF A SCATTERER SIZE BY LASER TECHNIQUES

М. Srećković, J. Ilić, Ž. Tomić, S. Ristić, S. Arandelović, A. Kovačević,
S. Ostojić, V. Mlinar, V. Arsoški

Abstract

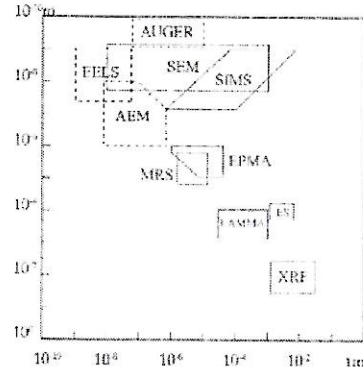
The fourth state of matter (after some classification, it is plasma, after some other, it is powder) is the object of investigation in great number of research areas, techniques and practice. Scattering techniques metrologically unify powder, droplets, emulsions, solutions etc. by fundamental approach to micro-particles. In this paper, some optical methods (holographic, diffractive) are comparatively described with other methods which physically and chemically characterize and identify particles (or particle ansambles). Object size is estimated considering wavelength of applied coherent (or incoherent) radiation, wave vectors of perturbed and non-perturbed beam and observation angle.

УВОД

Расејање електромагнетног зрачења, посебно у оптичком дијапазону, је само по себи присутно у свим временским и просторним доменама нашег Сунчевог система. Расејање из природних извора, као и из генератора кохерентног и некохерентног зрачења, пружа најшире могућности сондирања атмосфере, а такође и материјала различитих агрегатних стања. У раду се разматрају савремене технике базиране на

расејању светлости, у првом плану димензионаисање честица и микрообјеката. Посебан акценат је стављен на технике засноване на расејању ласерских снопова и њихово место у домену осталих мерних техника (оптичке и друге природе).

Димензија расејача се оцењује помоћу мноштва различитих техника (сл.1). Анализира се могућност употребе импулсне и континуалне ласерске спектроскопије, као и утицај димензија расејача на тачност поједине технике мерења, посебно се анализирају неке од техника на лидарским, DIAL, colidar, и lidar принципима и њихове могућности у мерењу висине величина од интереса за еколошка посматрања.



Слика 1. Опсези димензија честица које се физички и хемијски идентификују AUGER – Auger-ова микроанализа електронима, EELS – спектроскопија на бази губитака енергије електрона, SEM – скенирајућа електронска микроскопија, AEM – аналитичка електронска микроскопија, SIMS – масена спектроскопија на бази секундарних јона (микроанализа јонима), MRS – микро-Raman спектроскопија, EPMA – микроанализа на бази електронске сонде, LAMMA – ласерска масена анализа са микроузorcима, XRF – X-флуоресцентна спектроскопија

Осим метода приказаних на сл.1, данас се у свету користе различите методе у чијој основи се налази ласер као извор светлости. У ову групу се могу сврстати холографске методе и ласер Доплер анемометарске методе.

Холографске методе. Холографија, поред својих примена у науци и индустрији (нумеричка и микроталасна холографија, холографска интерферометрија...) има своје место у димензионаисању и анализи честица. Испитивање величине честица се појавило као прва примена холографије у тест пољу. Метод је био примењен на разне проблеме одређивања величине честица, укључујући и мерење у природној магли, мерење аеросола у тест-коморама, као и у лабораторији. Друге области од интереса су: фотографија у мехурастим коморама, студије о малим ракетним моторима, истраживање физике облака и електронска микроскопија.

Расејање светлости прихваћено као статичко. У поређењу са неким другим техникама које користе расејање светлости, технике статичког расејања користе релативно једноставније и јефтиније апаратуре (ишје неопходна велика стабилност ласера као извора светлости). У овој категорији се оп – line одређује макроскопска маса макромолекула и анализира прах најразличитијег порекла. Историјски Zimm-ови дијаграми одређују много података о макромолекулним неорганског и органског – биолошког порекла и играју велику улогу у индустријској контроли производа. Ангуларна расподела и праћење поларизационих компоненти даје могућност контроле технике мерења за појединачни расејач (молекула) или ансамбла, укључујући и корелације. Паралелна позивања Керовог ефекта и молекуларне рефракције дају комплетан тензорски опис молекула различитих димензија.

Расејање светлости прихваћено као динамичка дисциплина. Динамичко расејање светлости је схваћено као много сложенија материја са гледишта експеримента, мада савремена апаратура са аутоматском контролом и одговарајућим програмским пакетима (комерцијалним или самостално развијеним) омогућава да се добију разне класе података. Мерење ширине ласерских линија које се не могу мерити директно је

омогућено проширењу линије ефектима расејања и рефлексije. Једно тумачење резултата сигнала расејања се добија применом Einsteinовог закона у коме се димензија расејача повезују са коефицијентом вискозности материјала и температуром узорка. Овај основни закон је погодан за области у којима се оцењују димензије центара расејања у течним срединама, а основне зависности су везане за опсег таласних дужина, угла расејања и самих димензија-центра.

Анемометарски прилаз. У првом плану анемометарских уређаја се разматрају динамичке особине материјала. Како се ефекти расејања везују за одређене области флукуација, ту је од интереса и разматрање турбуленција средине. Развој одговарајућих теоретских израза омогућава да се у основи анемометарске апаратуре користе за оцену димензија расејача.

Технике динамичког и статичког расејања

Расејање и анализа података добијених техникама динамичког и статичког расејања играју велику улогу за комерцијалне прахове, спрејеве од интереса у електротехници, микроселектроници. За добијање нових материјала важно је знати састав компонента пре синтезовања. Посебну улогу расејање игра у биологији у димензионаисању и праћењу динамике биосистема. Савремена решења сензора, где се у омотач или језгро убацују у технолошком процесу магнетни и други прахови, ојачавање бакарних материјала керамичким прахом, прављење биокompatibilних материјала су само неке од области где димензионаисање полазних прахова припада савременој проблематици. (хидроксипатит и друге керамике, електрооптички материјали, баријумтитанат, бизмутитанат, фибери са магнетним омотачем)

Истраживања у области расејања имају мултидисциплинарни карактер и захтевају квалитетну апаратуру, материјале оптичке чистоће, одговарајућу аналитику, комерцијалне и посебно развијене пакете за обраду података.

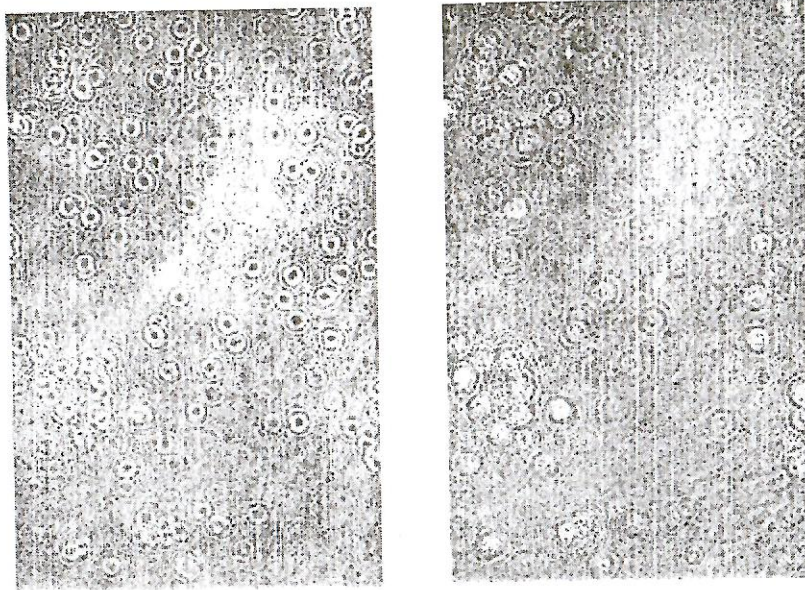
ХОЛОГРАФИЈА И ОДРЕЂИВАЊЕ ДИМЕНЗИЈА РАСЕЈАЧА

Fraunhoferова холографија је првобитно била развијена за запис динамике ансамбала малих објеката да би се одредила расподела њихових димензија без утицаја на узорак. Метод је био примењен на разне проблеме одређивања величине честице – центра расејања (малог пертурбационог центра) укључујући и мерење природне магле и аеросоле у тест коморама и лабораторијама. На сличан начин могу се контролисати и раствори макромолекула (сл. 2). Друге области од интереса су фотографије у мехурастим коморама, студије о малим ракетним моторима, истраживање физике облака и електронска микроскопија.

Први експерименти на динамичким узорцима нису давали једнозначне резултате (Узорци маглених капљица дна сваких 15–30m уз утицај ветра од неколико km/h. Област интересовања се, од честица већих од 100µm спустило на испод 10µm (капљице кише, пахуље снега, честице града). Техника је проширена на високо динамичне аеросоле у условима како лабораторије, тако тест коморе. Фотографија у мехурастим коморама је такође озбиљно разматрана.

Коришћени су холограми на бази Fraunhoferових дифракционих фигура и кохерентне позадине (1963 година импулсни рубински ласер). Први експерименти су тражили да се честица аеросола не помери за више од десетог дела свог пречника за време бележења холограма. Савремене холо – камере се помериле те границе.

Fresnelови холографски системи са референтним снопом ван осе (off – axis reference beams) су се користили за честице веће од 50µm у ракетним издувним гасовима. Данас техника покрива и честице преко хиљаду микрона што одговара пахуљницама и градоносним честицама.



Слика 2. Холографски запис и реконструкција ансамбла latex сфера [5] пречника 0,365 μm , раствореног у течности.

Испитивање величине честица се појавило као прва примена холографије у тест пољу и метода која даје важне информације о расподели величине честица у разним динамичким режимима.

На сл. 3а и 3б су приказани холографски интерферограми струјних поља око кугле, снимљени у аеротунелу ВТИ у Београду [8]. Брзина непо ремећене струје је $M_\infty=0,89$. На фотографијама се виде изогустинске линије које описују струјно поље око модела. На сл. 3б су регистровани и дифракциони ефекти који су резултат присуства облака праха од силикагела у радни део аеротунела. Присуство праха у радном флуиду је констатовано на бази холографских снимака.



Слика 3а



Слика 3б

Димензије честица праха су одређене на бази дифракционих линија. Снимање је извршено рубинским ласером ($\lambda=643\text{nm}$, $E=3\text{J}$, $\tau=30\text{ns}$), односно холографским интерферометром са референтним снопом ван осе. Коришћена је техника двојне експозиције. На сл. 3а и 3б су приказани холографски интерферограми струјних поља око кугле, снимљени у аеротунелу ВТИ у Београду [8]. Брзина непо ремећене струје је $M_\infty=0,89$. На фотографијама се виде изогустинске линије које описују струјно поље око модела. На сл. 3б су регистровани и дифракциони ефекти који су резултат присуства облака праха од силикагела у радни део аеротунела. Присуство праха у радном флуиду је констатовано на бази холографских снимака. Димензије честица праха су одређене на бази дифракционих линија. Снимање је извршено рубинским ласером (643nm , $E=3\text{J}$, $\tau=30\text{ns}$), односно холографским интерферометром са референтним снопом ван осе. Коришћена је техника двојне експозиције.

МОГУЋНОСТИ ФАЗНЕ DOPPLER АНЕМОМЕТРИЈЕ

Фазна Doppler анемометрија је техника којом се, (користећи конфигурацију и могућности ласер Doppler анемометарског система), могу мерити димензије провидних сферних честица од субмикронских до милиметарских полупречника (транспарентних за таласну дужину ласера [7]). Мерна честица пролази кроз пресек ласерских снопова и расејава у свим правцима светлост (сл. 4), тако да је интензитет расејане светлости фреквентно модулисан. Сигнал на фотодетектору, који прихвата ту расејану светлост је, као и интензитет расејане светлости, периодично променљив са фреквенцијом Doppler-овог помака (на основу које се може одредити брзина честице). Фаза тог сигнала зависи од величине честице. Разлика фазе $\Delta\psi$ између два детектора постављена ван осе система («off-axis») у области расејања унапред, је линеарна функција полупречника честице. За случај симетрично постављених фото-детектора, полупречник честице r је одређен изразом

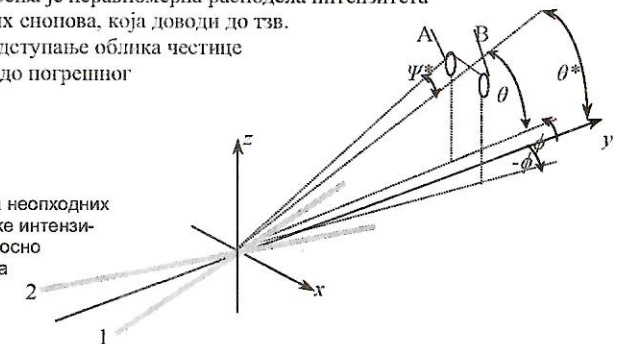
$$r = K \cdot \Delta\psi_{AB}$$

где је K калибрациона константа и износи

$$K(\theta, \phi) = \frac{\lambda}{8\pi \left(\sqrt{1+m^2 - m\sqrt{2(1+\cos\theta \cdot \cos(\phi - \frac{\alpha}{2}))}} - \sqrt{1+m^2 - m\sqrt{2(1+\cos\theta \cdot \cos(\phi + \frac{\alpha}{2}))}} \right)}$$

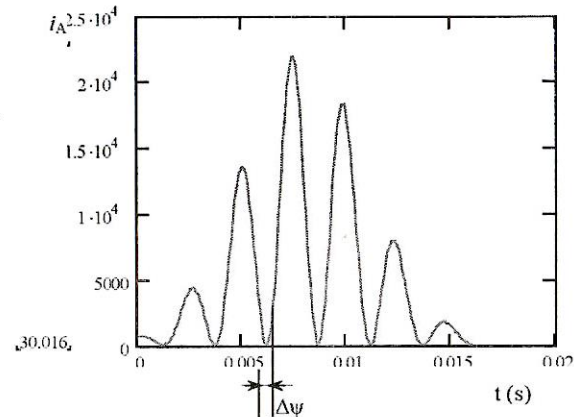
m је индекс преламања материјала честице у облику кугле у односу на околни флуид, θ је угао расејања а ϕ азимутни угао фото-детектора.

Основни извор грешке мерења је неравномерна расподела интензитета светлости унутар ласерских снопова, која доводи до тзв. ефекта путања. Значајно одступање облика честице од сферног такође доводи до погрешног мерења њене величине [7].

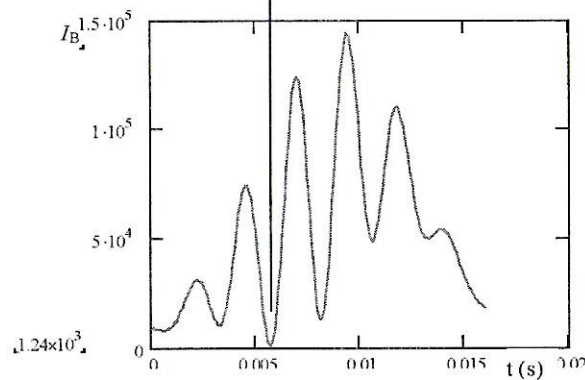


Слика 4. Дефиниције углова неопходних за изражавање фазне разлике интензитета расејане светлости односно сигнала на фото-детекторима А и Б.

Извршена је нумерика представљања фазних разлика за случајеве која је представљена на сликама 5а и 5б.



Слика 5а.



Слика 5б.

Слике 5а, 5б. Дијаграми сигнала са два фотодетектора и њихова фазна разлика.

Метод ласерске дифрактометрије (ЛД) у принципу се разликује од свих метода оптичке микроскопије (традиционална оптичка микроскопија) или новије конфокална ласерска скенирајућа микроскопија, ласерска скенирајућа микроскопија, интерференциона микроскопија са применом сонда (уз квалитет кохерентности), фазно контрастна микроскопија, сканирајућа микроскопија блиског поља. Метод је везан са решењима задатака визуализација тополошких елемената геометријских димензија које је потребно одредити.

Суштина методе је формирање дифракционог аугуларног спектра објекта контроле са осветљавањем ласерским снопом и одговарајућим прорачунима. Дифракциони аугуларни спектри добијени путем ласера представљају у суштини Fourier спектар просторних фреквенција објекта контроле. Одређивање геометријских димензија може да се врши по било ком хармонику што разликује дати метод од обичне микроскопије, где се ширина одређује сумом у свим просторним фреквенцијом укључујући и највише. Ова особеност ЛД је битна и олакшава метролошке задатке. У принципу су могућа мерења линијских

димензија на основу спектра просторних фреквенција добијених од објекта у обичном микроскопу како је предлагано. Зато се користи рачунар који врши разлагање слике објекта издвајајући посебне хармонике. По њима се одређују димензије. Сви недостатци са мерењима на таквом микроскопу, посебно због несавршенства оптике, формирана слика нетачности подешавања, фокусирања постоје и у датом случају. Друга ситуација се јавља кад се формира Фуријеов спектар непосредно код контролног објекта.

Метод ЛД са две модификације

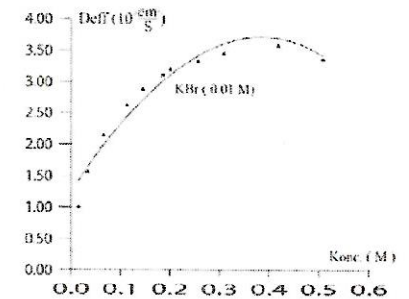
Објект се осветљава спотом чија је димензија реда величине објекта у равни, ако је дијаметар неколико микрометара, снап мора да се јако фокусира. Зато су дифрактовани снопови дивергентни што подсећа да се мерење као објект контроле примењује као дифракциона решетка. Појављује се и потреба за решавањем инверзних задатака дифракције. Најпростија су решења у коришћењу *a priori* информације о објекту контроле.

НЕКИ РЕЗУЛТАТИ ИЗ РАСЕЈАЊА СВЕТОСТИ

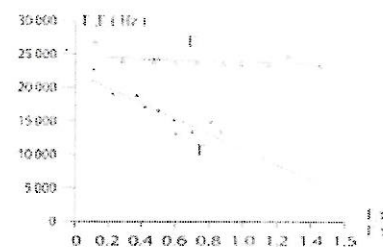
На сликама 6 – 8 приказани су резултати обраде података о расејању добијени методом **Hertz-ове** спектроскопије (спектроскопије оптичког мешања, избијања фотона). Улоге молекурне масе из статичког расејања преузео је коефицијент дифузије (D), чије се вредности добијају из ширине линија. За случај полидисперзионих средина примењују се технике развоја у ред (Γ₁, Γ₂, Γ₃ ...), које представљају мере поједине фракције (класе) димензије расејача.

Из добијених коефицијената дифузије на основу Einstein-ове релације:

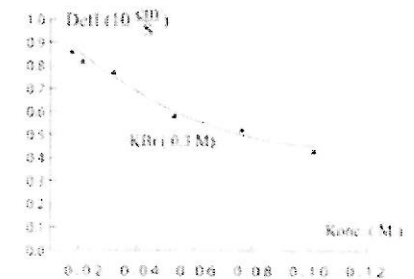
$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}$$



Слика 6. Применом корелационих техника мерења, теоријом кумуланата и развоја у ред по добијеним ширинама линија корелационих функција добијају се подаци о полидисперзности



Слика 7. Ефективни коефицијент дисперзије тражи сложенија тумачења јер се ради о новијим теоријама у којима се долази и до података о интерним потенцијалима



Слика 8. Ефективни коефицијент дифузије са другим карактеристичним понашањем

уз познавање η и T , могуће је одредити вредност карактеристичне величине макромолекула, мицеле, или ансамбла који формира група молекула. Када долазе до изражаја сложенија динамика макромолекула и малих молекула соли који треба да поспеше настанак мицела, све величине постају ефективне. Детаљном анализом података добија се из ефективних димензија број молекула у творевини, а даље и тотално наелектрисање.

ЗАКЉУЧАК

У раду су анализирани неке неке од техника које могу да дају димензије о центрима расејања у најширем смислу. Поред података из литературе из мерних техника, дати су и неки од наших резултата који се тичу експеримента или теоријског предвиђања. Неки од резултата се могу поредити, али најчешће, поједине технике дају карактеристичне податке истих димензија (дијаметар, највећа геометријска димензија...) али су подаци у категорији «влажних», «сувих», хидродинамичких, ефективних и других категорија. Уз узимање у обзир фундаменталне категорије, фундаменталних закона на којима се заснива мерење, могуће је поред првобитно тражених димензионих података, урадити и мноштво других анализа о понашању датог објекта у датом ухваћеном тренутку мерења или као изразито средња категорија.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] B. J. Thompson, J. H. Ward and W. R. Zinky, Application of Hologram Techiques for Particle size Analysis, Appl. Opt. vol. 6 pp. 519-526, 1967
- [2] Physical and Chemical Characterization of Individual Airborne Particles, ed. by K. R. Spurny, Ellis Horwood Ltd., Chichester, 1986.
- [3] H. C. Van de Hulst, Light Scattering by Small Particles, Мир, Москва, 1961.
- [4] Ж. Томић, Магистарски рад, ЕТФ, Београд, 1995.
- [5] В. Млинар, Дипломски рад, ЕТФ, Београд, 2002.
- [6] The Engineering Uses of Holography, ed. by E. R. Robertson and J. M. Harvey, Cambridge University press, London, 1970.
- [7] С. Остојић, Докторска теза, ЕТФ, Београд, 2000.
- [8] Ј. Илић, Докторска теза, ЕТФ, Београд, 2002.
- [9] С. Ристић, М. Срећковић, Pararellisms and Errors in Researching Some Characteristics of Materials by Means of Holographic and Scattering Processes; Matica Srpska, Proceedings for Natural Sciences. No 85 pp. 287-291, 1993