

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФИЗИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Пошто смо на I седници Наставно-научног Већа Физичког факултета Универзитета у Београду, одржаној 27.10.2021. године, одређени за чланове Комисије за припрему извештаја о докторском раду “МЕХАНИЗМИ РАСТА КРИСТАЛА НАТРИЈУМ ХЛОРАТА И КАЛИЈУМ ДИХИДРОГЕНФОСФАТА ИЗ ВОДЕНИХ РАСТВОРА“ из научне области ФИЗИКА КОНДЕНЗОВАНЕ МАТЕРИЈЕ и уже научне области ФИЗИКА РАСТА КРИСТАЛА, коју је кандидат БИЉАНА МАКСИМОВИЋ предала Физичком факултету у Београду, Наставно-научном Већу подносимо следећи:

### **РЕФЕРАТ**

#### **1. Основни подаци о кандидату**

##### **1.1 Биографски подаци**

Биљана Максимовић (рођ. Радиша) рођена је 20.04.1989. године у Травнику, БиХ. Основну школу и гимназију је завршила у Зворнику. Студије на Физичком факултету у Београду, смер Општа физика је уписала 2008. године. Основне студије је завршила 2012. године, са просечном оценом 9.60. Мастер студије је завршила 2013. године на смеру Теоријска и експериментална физика, са просечном оценом 9.67. Мастер рад под називом „Утицај растварања и рефациетирања на дисперзије брзина раста малих КДП кристала“ је одбранила под руководством ментора проф. др Мића Митровића. Исте године је уписала докторске студије физике на смеру Физика кондензоване материје и статистичка физика Физичког факултета у Београду. Од марта 2014. ангажована је на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије под називом „Фазни прелази и карактеризација неорганских и органских система“ (ев.бр. 171015) под руководством проф. др Сунчице Елезовић Хаџић. Запослена је као истраживач сарадник на Физичком факултету у Београду уз породилска одсуства током школске 2018/2019. и 2020/2021. године. Од 2014. године ангажована је у реализацији вежби на Физичком факултету и учествује у раду Комисије за такмичење из физике за ученике основних школа, као аутор задатака за 8. разред.

## 1.2 Научна активност

Област истраживања кандидата је Физика раста кристала. Током докторских студија научна активност кандидата било је фокусирано на кинетику раста кристала, односно проучавање феноменологије раста кристала, дисперзија и механизма брзина раста кристала различитих супстанци. Истраживања је вршила у Лабораторији за раст кристала на Физичком факултету у Београду у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије „Фазни прелази и карактеризација неорганских и органских система“ (ев.бр. 171015) чији је руководилац проф. др Сунчица Елезовић Хацић. До сада је објавила 5 научних радова у водећим међународним часописима (и.ф. > 1), од којих три припадају категорији M21, један категорији M22 и један категорији M23, према класификацији Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Учествовала је на неколико националних и међународних конференција.

## 2. Опис предатог рада

### 2.1 Основни подаци

Дисертација Биљане Максимовић под називом МЕХАНИЗМИ РАСТА КРИСТАЛА НАТРИЈУМ ХЛОРАТА И КАЛИЈУМ ДИХИДРОГЕНФОСФАТА ИЗ ВОДЕНИХ РАСТВОРА (наслов на енглеском језику CRYSTAL GROWTH MECHANISMS OF SODIUM CHLORATE AND POTASSIUM DIHYDROGEN PHOSPHATE FROM AQUEOUS SOLUTIONS) урађена је под менторством проф. др Мића Митровића, редовног професора Физичког факултета Универзитета у Београду. Дисертација је написана на српском језику, ћириличним писмом на 100 страна, не рачунајући насловну страну, извод, садржај, биографију аутора, списак литературе, листу симбола и изјаве. Теза је подељена у 5 поглавља и садржи 42 слике, 12 табела и 254 референце.

### 2.2 Предмет и циљ рада

Научно-истраживачки рад Биљане Максимовић представљен у овој дисертацији одвија се у области експерименталне физике раста кристала. Истраживања су

оријентисана на одређивање механизма раста кристала натријум хлората и калијум дихидрогенфосфата (КДП-а) из водених раствора помоћу дисперзија брзина раста кристала, са акцентом на испитивање утицаја предисторије раствора и рефацирања на дисперзије брзина раста малих кристала у пресићеним воденим растворима. Истраживања се могу поделити у две целине. У првом делу истраживања кандидат се бавио проучавањем кинетике раста кристала натријум хлората у опсегу пресићења од 0.66-1.56 %, као и у опсегу од 0.44-1.32 %, у случају смањења и повећања пресићења, по реду. Анализе су засноване на проучавању дисперзија и механизма брзина раста натријум хлората. Поменути системи су веома осетљиви на температурске промене и дају могућност истраживања многих фактора који доприносе сложености процеса раста кристала. Различите неправилности у решетки, примесе, напрезање кристалне решетке, мозаичност као и површински ефекти узроковани предисторијом раста су само појединачни примери многобројних утицаја чији је допринос у процесу раста кристала потребно истражити. Механизми раста кристала могу бити различити и описују се различитим функционалним зависностима. Циљ истраживања је био одређивање доминантних механизма раста у оквиру одређених експерименталних услова анализом ових зависности. Други део истраживања је посвећен проучавању понашања појединачних плjosни кристала, односно механизмима раста појединачних плjosни кристала натријум хлората у случају смањења и повећања пресићења у опсегу од 0.44-1.32 %, као и кристала КДП-а за опсег пресићења од 6.2-14.7 %. Посебан значај за разумевање механизма раста и дисперзија брзина раста даје утицај предисторије раста. Овладавање техникама као и познавање промена механизма раста дају бољу могућност управљања растом кристала, стога су истраживања била усмерена управо ка том циљу.

### 2.3 Публикације

Из садржаја ове дисертације су проистекла два рада [2] и [5], док су резултати који су изложени у последњем поглављу у припреми за публикавање. Радови су објављени у водећим међународним часописима са импакт фактором преко 1.0:

1. EFFECT OF DISSOLUTION AND REFACETING ON GROWTH RATE DISPERSION OF SODIUM CHLORATE AND POTASSIUM DIHYDROGEN PHOSPHATE CRYSTALS

Mičo M. Mitrović, Andrijana A. Žekić, Branislava M. Misailović, B.Z. Radiša, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2014, 53, pp 19643-19648. ISSN 0888-5885 (M21, IF: 2.587)

2. INVESTIGATION OF GROWTH MECHANISMS OF SODIUM CHLORATE CRYSTALS FROM AQUEOUS SOLUTIONS

Biljana Z. Radiša, Mičo M Mitrović, Branislava M. Misailović, Andrijana A. Žekić, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2016, 55 (39), pp 10436–10444. ISSN 0888-5885 (M21, IF: 2.843 )

3. MECHANISMS OF PLASMA ELECTROLYTIC OXIDATION OF ALUMINUM AT THE MULTI-HOUR TIMESCALES

B. Kasalica, M. Petković-Benazzouz, M. Sarvan, I. Belča, B. Maksimović, B. Misailović, Z. Popović  
*Surface & Coatings Technology*, 2020, 390, 125681 ISSN 0257-8972 (M21, IF: 4.158 )

4. CONCEPTUAL DIFFICULTIES IN INTERPRETING THE REAL IMAGE OF AN OBJECT

Mičo M. Mitrović, Branislava M. Misailović, Biljana Z. Maksimović, Andrijana A. Zekić  
*American Journal of Physics* 88, 141 (2020) ISSN 0002-9505 (M23, IF: 1.022 )

5. COEXISTENCE OF DIFFERENT GROWTH MECHANISMS OF SODIUM CHLORATE UNDER THE SAME EXPERIMENTAL CONDITIONS

Mičo M. Mitrović, Biljana Z. Maksimović, Branislava M. Vučetić, Milica M. Milojević, Andrijana A. Žekić, *ACS Omega* 2021, 6, 34, 21909–21914. ISSN 2470-1343 (M22, IF: 3.512 )

## 2.4 Преглед научних резултата изложених у тези

Ова теза је подељена у 5 поглавља. Прво поглавље садржи општи увод о прегледу литературе, предмету и циљевима истраживања. Друго поглавље ове докторске дисертације посвећено је теоријским основама и дефиницијама основних појмова из области истраживања. Значајан део овог поглавља је посвећен механизмима раста кристала, проучавању дисперзија брзина раста и карактеристикама проучаваних материјала. Треће поглавље посвећено је детаљном опису експерименталног уређаја, експерименталне процедуре и обраде резултата мерења. У четвртом поглављу приказани

су резултати и дискусија. Ово поглавље садржи три целине. У првој су изложени резултати испитивања механизма раста кристала натријум хлората анализом дисперзија брзина раста, док друга и трећа садржи резултате о коегзистенцији различитих механизма раста кристала натријум хлората и калијум дихидроген фосфата.

Резултати добијени испитивањем раста {100} пљосни кристала натријум хлората за опсег пресићења од 0.66 – 1.56 %, као и за опсег пресићења од 0.44 – 1.32 % у случају експеримената у којима је пресићење смањивано и повећавано, по реду, раста {100} пљосни кристала КДП-а у опсегу пресићења од 6.2 – 14.7 % у случају експеримената у којима је пресићење смањивано и повећавано, реализовани у овој дисертацији, указују на сложеност процеса раста кристала и велики број узрочнопоследичних фактора које је потребно анализирати и истражити ради могућег предвиђања механизма њиховог раста и објашњења постојања дисперзија брзина раста. У свим случајевима примећена је широка дисперзија брзина раста, што представља највероватније последицу и различитих механизма раста. Добијени резултати показују да историја раста утиче и на брзине раста, али и на механизме раста. Примећено је да је приликом раста великог броја кристала зависност брзине раста од пресићења расте по степеном закону  $R = K\sigma^n$  са степеном  $n > 2$ , што се не може објаснити постојећим теоријама, као ни преклапањем дифузионих поља суседних степеника.

Резултати анализе механизма раста кристала добијени на основу зависности највероватнијих брзина раста од пресићења показују да пљосни {100} кристала натријум хлората доминантно расту према VCF теорији у  $\sigma_1$  опсегу пресићења од 0.66-1.56 %. Вредност коефицијента  $n$  добијеног фитовањем помоћу степене једначине у случају ових експеримената је  $n \approx 1.5$ , што указује на то да се дифузиона поља степеника делимично преклапају. Максимуми расподела брзина раста кристала натријум хлората у случају раста пресићења ( $R_{\max I}$ ) имају веће вредности него у случају опадања ( $R_{\max D}$ ) пресићења, а разлике су највероватније последица различитих механизма раста. Преклапање дифузионих поља суседних степеника је различито у експериментима у којима пресићење опада и експериментима у којима оно расте, за исти  $\sigma_1$  опсег пресићења (0.44-1.32 %). При смањеном пресићењу, зависност ( $R, \sigma$ ) је била блиска параболичкој, односно дифузиона поља суседних степеника су била независна, док је при повећању пресићења

ова зависност била скоро линеарна, односно дифузиона поља суседних степеника су се преклапала.

Вредност експонента  $n$  у степеној функцији  $R = K\sigma^n$  зависи од начина на који се мења пресићење. Код експеримената са повећањем пресићења у опсегу 0.44-1.32 %, најбољи резултат фитовања највероватнијих брзина раста у зависности од пресићења даје степена једначина за вредност  $n \approx 1.3$ . У случају експеримената са смањењем пресићења у опсегу 0.44-1.32 % зависност највероватније брзине раста од пресићења се такође најбоље може описати степеном једначином. Вредност степена  $n$  добијеног фитовањем помоћу степене једначине је  $n \approx 1.9$ . Ови резултати указују на зависност преклапања дифузионих поља суседних степеника од историје раста.

Резултати истраживања описани у дисертацији показују да дисперзија брзина раста може бити последица различитих механизма раста који постоје на еквивалентим кристалним пљоснима, односно да је могућа коегзистенција различитих механизма раста кристала при истим експерименталним условима.

Анализа раста појединачних  $\{100\}$  пљосни натријум хлората у опсегу пресићења од 0.44–1.32 % указује да индивидуалне кристалне пљосни могу расти различитим механизмима под одређеним експерименталним условима. Зависност  $(R, \sigma)$  показује да велики број појединачних пљосни ових кристала расте спиралним механизмом раста, али и да већина посматраних  $\{100\}$  пљосни кристала натријум хлората расте у складу са степеним законом  $R \sim \sigma^n$  са вредношћу степена  $n \leq 2$ . Степена зависност  $R = K\sigma^n$  са вредношћу  $n > 2$  је показана за 48 %  $\{100\}$  пљосни кристала натријум хлората, у случају експеримената са смањењем пресићења. Постојеће теорије раста, као и преклапање дифузионих поља суседних степеника не објашњавају понашање кристалних пљосни чији степен је  $n > 2$ .

Анализа раста појединачних  $\{100\}$  пљосни кристала КДП-а у опсегу пресићења од 6.2–14.7 %, такође, указује на то да појединачне пљосни могу да расту различитим механизмима под истим условима раста и да већина кристала расте у складу са степеним законом  $R = K\sigma^n$ . Уочава се да је за сва пресићења  $R_{\max I} < R_{\max D}$ , што је вероватно последица зависности брзина раста кристала од историје раствора која има различит утицај на раст кристала КДП-а и натријум хлората. Дводимензионални раст у случају ових

кристала није уочен и највећи број кристала добро описује степена функција са вредношћу степена  $n > 2$ . Резултати анализе раста појединачних пљосни натријум хлората и КДП-а показују да више независних феномена, не само брзина и густина степеника, утичу на раст кристалних пљосни.

У петом поглављу су приказани најбитнији закључци истраживања. Након тога дати су: листа симбола, списак референци коришћених у раду, биографија аутора као и изјаве.

### 3. Провера оригиналности докторске дисертације

Услед тренутне немогућности обављања поступка провере оригиналности докторских дисертација због проблема набавке софтвера, оригиналност докторске дисертације Биљане Максимовић није проверена употребом програма iThenticate на начин прописан Правилником о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду (Гласник Универзитета у Београду, бр. 204/22.06.2018.). Докторска дисертација је послата на проверу оригиналности и извештај о провери ће бити накнадно дат, у складу са дописом из Ректората Универзитета у Београду (допис од 27.09.2021. године, евиденциони број: 612-3844/1-21).

## ЗАКЉУЧАК

На основу изложеног Комисија закључује да је кандидат БИЉАНА МАКСИМОВИЋ у докторској дисертацији под називом „МЕХАНИЗМИ РАСТА КРИСТАЛА НАТРИЈУМ ХЛОРАТА И КАЛИЈУМ ДИХИДРОГЕНФОСФАТА ИЗ ВОДЕНИХ РАСТВОРА” представила оригиналне научне резултате са значајним научним доприносом у области ФИЗИКЕ РАСТА КРИСТАЛА. Делови тезе кандидата су публиковани у истакнутим међународним часописима. Стога сматрамо да овај рад може да буде прихваћен као докторска дисертација и

## ПРЕДЛАЖЕМО

Наставно-научном већу Физичког факултета Универзитета у Београду да одобри њену јавну одбрану.

Београд, 22. 11. 2021.

---

Др Мићо Митровић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Физички факултет

---

Др Андријана Жекић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Физички факултет

---

Др Маја Стојановић, редовни професор  
Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет