

UNIVERZITET U BEOGRADU
Fakultet za fizičku hemiju
Beograd

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
FAKULTETA ZA FIZIČKU HEMIJU

Predmet: Izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata
Zorana Nedića, magistara fizičko-hemijskih nauka

Na sednici Nastavno-naučnog veća Fakulteta za fizičku hemiju, održanoj 12.05.2016. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije magistra fizičko-hemijskih nauka Zorana Nedića, samostalnog saradnika Fakulteta za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu, sa istraživačkim zvanjem - istraživač saradnik, pod naslovom: "**Dobijanje i karakterizacija fosforvolframovih bronzi dopiranih jonima litijuma, magnezijuma i europijuma**". Pošto smo pregledali doktorsku disertaciju podnosimo Nastavno-naučnom veću sledeći

IZVEŠTAJ

1. Prikaz sadržaja disertacije

Doktorska disertacija Zorana Nedića napisana je na 140 strana kucanog teksta i sadrži poglavlja: *Uvod sa opštim delom* (41 stranica), *Eksperimentalni deo* (3 strana), *Rezultati i diskusija* (49 strana), *Zaključak* (3 strane), *Literatura* 221 referenci (8 strana), *Dodaci, Prilozi, Biografija i Izjave* (dodatke propisane pravilima Univerziteta o podnošenju doktorskih teza na odobravanje).

Rad sadrži ukupno 32 slika i 12 tabele.

U delu *Rezime*, na srpskom i engleskom jeziku, predstavljena je problematika kojom se disertacija bavi i najvažniji zaključci.

U poglavlju *Uvod sa opštim delom* opisana je problematika koja je bila predmet istraživanja kao i cilj doktorske disertacije. Takođe je dat istorijski pregled ispitivanja heteropoli kiselina, njihova klasifikacija, struktura, opšte osobine heteropoli kiselina Keggin-ovog tipa. Zatim su navedene opšte metode dobijanja heteropoli kiselina. Opisana je i njihova primena u katalizi. U drugom delu dat je opis volframovih bronzi, sa različitim metodama sinteze. Prikazana je njihova podela na nekoliko grupa. Dat je i kratak opis primene volframovih bronzi. Dat je prikaz modela dizajniranja nanočestica koje se dobijaju ultrazvučnom sprej pirolizom. Prikazan je i matematički model koji se koristio za određivanje veličine kapi aerosola.

U poglavlju *Eksperimentalni deo*, dat je opis sinteze metoda ispitivanja.

U poglavlju *Rezultati i diskusija* dati su rezultati ispitivanja stabilnosti WPA, Li₃WPA, MgHWPA i EuWPA od sobne temperature do 1000 °C. Praćeno stanje vode u 12-volframovoj kiselini i njenim solima sa litijumom, magnezijumom i europijumom. Dati su rezultati svih faznih transformacija navedenih jedinjenja, kao i dobijanje fosforvolframovih bronzi termičkim tretmanom. Takođe su dati rezultati dobijenih bronzi tehnikom sprej pirolize.

U poglavlju *Zaključak* su sumirani rezultati teze.

Poglavlje *Literatura* sadrži 221 referencu.

U poglavlju *Dodatak* date su tablice sa XRPD podacima. objavljeni naučni radovi i saopštenja iz doktorske disertacije.

U poglavlju *Prilozi* dati su biografija sa najvažnijim podacima o autoru kao i spisak radova koji su publikovani u toku izrade doktorske disertacije.

U poglavlju *Izjave* su date potpisane izjave o autorstvu, korišćenju i istovetnosti štampane i elektronske verzije rada.

2. Opis rezultata teze

12-volframfosforna (WPA) je heteropoli kiseline (HPK) koje pripadaju velikoj klasi jedinjenja koja se nazivaju polioksometalati. U osnovi struktura ovih kiselina je Keggin-ov anjon čija se termička stabilnost razlikuje od drugih heteropoli kiselina i njihovih soli, a može se pratiti termijskom analizom, infracrvenom spektroskopijom, ramanskom spektroskopijom i XRPD analizom.

U temperaturskom intervalu od sobne temperature do 1150 °C, 12-volframfosforna kiselina gubi vodu u nekoliko stupnjeva sve do temperature od 602 °C, kada dolazi do rušenja Keggin-ovog anjona i formiranja fosforvolframove bronz. Daljim termičkim tretmanom bronza prolazi kroz još tri polimorfne transformacije. Dobijena bronza je stabilna i ne podleže nikakvim promenama. Praćene su sve fazne promene kalcinacija/dehidratacija, sa stanovišta strukture i stabilnosti.

Fosforvolframova bronza je novi materijal koji je dobijen iz heteropoli kiseline termičkim tretmanom u procesu rekristalizacije čvrsto-čvrsto. Prvi put su u literaturi opisani polimorfizmi kod fosforvolframove bronz, a neki od njih su novi (ortorombični) i nemaju analogne polimorfizme u WO₃ jedinjenjima.

Rezultati istraživanja u okviru ove teze pokazali su da se mogu dobiti nanočestice fosforvolframovih bronz dopiranih litijumom, magnezijumom i europijumom, modelovanjem kapi aerosola.

Na osnovu rezultata termijskih analiza izabrane su temperature na kojima je vršena sprej piroliza uzoraka. Prva faza procesa sinteze obuhvata prioremu 20% vodenog rastvora 12-volframfosforne kiseline koja je poslužila kao prekursor za dobijanje odgovarajuće fosforvolframove bronz. U drugoj fazi procesa sinteze, dati rastvor je podvrgnut ultrazvučnom raspršivanju ultrazvučnim atomizerom Gapsol 9001, RBI, koji se sastoji od tri transducera koji rade na frekvenci od 2,5 MHz i njegovom očvršćavanju unutar reakcione komore, koju čini peć sa kvarcnom cevi koja se u našem eksperimentu nalazi na temperaturi od 650 °C.

Aerosol nastao tokom ultrazvučne pobude rastvora nošen je strujom vazduha (gas nosač) brzinom protoka od 0,66 dm³/s kroz reakcionu komoru u kojoj je dolazilo do očvršćavanja praha sve do posude za taloženje čestica. Na ovaj način dobijen je prah fosforvolframove bronz.

Iz eksperimentalnih vrednosti datih za prečnik čestica fosforvolframove bronz i intenziteta pojavljivanja datih (diskretnih) vrednosti očigledno je da u osnovi raspodela vrednosti dominantno se kreće u uskom intervalu između 890 i 1220 nm (62%), dok su ostale vrednosti pomerene u većoj meri ka manjim veličinama prečnika čestica (22,7%) i tek oko 12% čestica ima prečnike iznad 1220 nm.

Teorijske vrednosti veličine subčestica, saglasno spektru raspodele prečnika kapljica aerosola, i njima odgovarajućih vrednosti za prečnike subkapi aerosola, pripadaju nizu vrednosti: 31 nm, 51 nm, 65 nm i 79 nm zavisno od veličine kapljice aerosola.

U procesu sinteze/nanošenja tankih filmova na površinu substrata (substrat je kvarena pločica) samoasembliranjem monoklinskih fosforvolframovih bronzi, dobijeni su filmovi dobro definisane morfologije, koju čine čestice praha sa njihovim subelementima/subčesticama, koje se raspoređuju na veoma homogen način duž cele površine substrata.

Pokazano je, i u slučaju fosforvolframovih bronzi da je moguće dobiti strukture, čiji dizajn na nivou čestice i subčestice pokazuje dobru saglasnost, između teorijskih proračunatih vrednosti po datom modelu i dobijenih eksperimentalnih vrednosti.

Cilj IC spektroskopskih ispitivanja je praćenje promene traka karakterističnih za Keggin-ov anjon u procesu kalcinacije. Iz IC spektara evidentno je da trake karakteristične za Keggin-ov anjon, u spektru $\text{Li}_3\text{-WPA}$ soli, ostaju očuvane, posebno trake ν_1 i ν_3 koje su karakteristične za PO_4 grupu. Pomeranje ka nižim frekvencama je primećeno kod traka karakterističnih za WO_6 oktaedar, na oko 900 i 800 cm^{-1} , koja može biti pripisana uticaju katjona koji je inkorporiran u kanalima i stabilizuje strukturu Keggin-ovih anjona sa katjonima. Glavni uticaj je očigledno kod traka na oko 994 cm^{-1} $\nu(\text{W}=\text{O}_d)$ i 982 cm^{-1} $\nu(\text{W}-\text{O}_d)$, što se može objasniti činjenicom da se katjoni nalaze u blizini O_d terminalnih kiseonikovih atoma.

Takođe su evidentne i promene u položaju karakterističnih traka vode. Voda se u heteropoli kiselinama nalazi kao „tečna voda” sa karakterističnim istežućim trakama ν_1 i ν_3 na oko 3400 cm^{-1} i savijajuća ν_2 na 1640 cm^{-1} , dok se samo mali broj hidratiranih protona H_3O^+ identifikuje sa trakama na 3100 i 1706 cm^{-1} .

Na osnovu iznetih podataka o infracrvenim i ramanskim spektarima 12-volframfosforne kiseline i njenih kristalohidrata, izvršena je analiza spektara Mg i Eu soli ove heteropoli kiseline. Definitivne promene u IC spektrima su očigledne posle rušenja Keggin-ovog anjona. Za date spektre urađena je asignacija traka u odnosu na PO_4 tetraedar i WO_6 oktaedre.

Sinteza i nanostrukturni dizajn Me-PWB i Me-PWB/ SiO_2 (Me=Li, Mg i Eu) nanokompozitnih čestica dobijen je opisanom metodom ultrazvučne sprej pirolize. Eksperimentalno dobijene vrednosti za srednju vrednost dijametra čestica bronzi su: Mg-PWB – $1,08\text{ }\mu\text{m}$, Li-PWB – $0,96\text{ }\mu\text{m}$, Eu-PWB – $1,32\text{ }\mu\text{m}$. Za nanokompozite srednja vrednost dijametra čestica iznosi: Mg-PWB/ SiO_2 – $1,11\text{ }\mu\text{m}$, Li-PWB/ SiO_2 – $1,12\text{ }\mu\text{m}$ i Eu-PWB/ SiO_2 – $1,00\text{ }\mu\text{m}$. Teorijski izračunate vrednosti za bronzes i nanokompozite iznose: Mg-PWB – $1,37\text{ }\mu\text{m}$, Li-PWB – $0,99\text{ }\mu\text{m}$, Eu-PWB – $1,15\text{ }\mu\text{m}$ i Mg-PWB/ SiO_2 – $1,27\text{ }\mu\text{m}$, Li-PWB/ SiO_2 – $0,87\text{ }\mu\text{m}$ i Eu-PWB/ SiO_2 – $1,24\text{ }\mu\text{m}$.

Metal dopirane fosforvolframove bronzes dobijene ultrazvučnom sprej pirolizom su precizno dizajnirane strukture (i substrukture) i imaju veliku specifičnu površinu, što je u skladu sa korišćenim modelom. Materijali sa ovako dizajniranom strukturom mogu da se primene u katalizi, u oblasti biologije i medicine, gde se traže tačno dizajnirani materijali kod ispitivanja visoko selektivnih sistema.

Provodljivosti je merena na uzorcima Li-PWB i nanokompozita dobijenih termalnim tretmanom u širokoj spektralnoj oblasti od 100 Hz do 40 MHz , na dvema temperaturama od 25 i $200\text{ }^\circ\text{C}$. Sa povećanjem frekvencije provodljivost se za oko dva reda veličine kod bronzes na temperaturi od $25\text{ }^\circ\text{C}$ i skoro pet redova veličine kod nanokompozita. Očigledno je da je različita provodljivost rezultat različite strukturne uređenosti sistema i različitog mehanizma provođenja. To znači da postoji nekoliko procesa koji se odigravaju u bronzi. Na sobnoj temperaturi, od 10^2 do najviše $5 \cdot 10^3\text{ Hz}$, specifična provodljivost iznosi $\sim 7 \cdot 10^{-4}\text{ S/m}$, a daljim porastom frekvencije raste da bi na frekvenciji od 10^7 Hz dostigla vrednost od $\sim 3 \cdot 10^{-1}\text{ S/m}$. Na temperaturi od $200\text{ }^\circ\text{C}$ zavisnost specifične provodljivosti od frekvencije je manje izražena. Od 10^2 - 10^6 Hz , specifična provodljivost je $0,2\text{ S/m}$, dok na frekvenciji od 10^7 Hz iznosi $0,3\text{ S/m}$. Specifična provodljivost nanokompozita približno linearno raste s frekvencijom od 10^3 do 10^7 Hz u *log-log* dijagramu. Vrednosti provodljivosti na $25\text{ }^\circ\text{C}$ i na

200°C skoro da se preklapaju, tako da se može reći da ne postoji temperaturna zavisnost specifične provodljivosti. Vrednosti provodljivosti su daleko manje nego kod Li-bronze.

3. Uporedna analiza rezultata teze sa rezultatima iz literature

Uprkos intenzivnim ispitivanjima stabilnosti heteropoli kiselina *Keggin*-ovog tipa, rezultati i zaključci u literaturi su često zbunjujući i nesaglasni, iako su rezultati dobijeni pod sličnim eksperimentalnim uslovima.

U kojim temperaturnim intervalima i pri kojim relativnim vlažnostima su stabilni pojedini oblici 12-fosforvolframove kiseline ispitano je u ovom radu i poredeno sa dobijenim rezultatima [O.Nakamura, T.Kodame, J.Ogino, Y.Miake, Chem. Lett. (1979) 17]. Ovakve različite modifikacije kristalohidrata heteropoli kiselina morale bi se zapaziti pri termičkim promenama, koje se mogu pratiti metodama termijske analize (TGA i DTA). Međutim u literaturi, postoji dosta neslaganja o broju molekula vode prisutnih u pojedinim fazama kod ovih jedinjenja (29-31, 24-18, 14-13 i 6-5) kao što navode R.C.T.Slade [R. C. T. Slade, J. Barker, H. A. Pressmann, J. H. Strange, Solid State Ionics, 28-30 (1988) 594], R. Strandberg [R.Strandberg, Acta Chem. Scand., A29 (1975) 359], R.Allman [R. Strandberg, Acta Chem. Scand., A29 (1975) 359] i P.Rajapogal [P. Rajapogal, G. Aruldas, V. Ramakrishnan, Indian Journal of Pure & Applied Physics, 25 (1987) 501].

U procesu calcinacije/hidratacije, polazna heteropolikiselina $H_3PW_{12}O_{40} \cdot 29H_2O$ pretrpi dve transformacije pre nego što se formira stabilna $H_3PW_{12}O_{40} \cdot 6H_2O$ faza. XRPD uzorci za različite faze kristalohidrata sa 29, 21, 14 i 6 molekula vode 12-volframfosforne kiseline, i za njih izmerene i izračunate vrednosti indeksovanih međupljosnih rastojanja za $H_3PW_{12}O_{40} \cdot 29H_2O$ (29-WPA) i $H_3PW_{12}O_{40} \cdot 21H_2O$ (21-WPA) i za $H_3PW_{12}O_{40} \cdot 14H_2O$ (14-WPA) i $H_3PW_{12}O_{40} \cdot 6H_2O$ (6-WPA), odgovaraju parametrima jediničnih ćelija koje je dobio M.Fournie [M. Fournier, Ch. Feumi-Jantou, Ch. Rabia, G. Herve, S. Launay, J. Mater. Chem., 2 (1992) 971].

XRPD merenja su potvrdila, da uzorak 0-WPA odgrejan na 350 °C i uzorak D-WPA odgrejan na 500 °C u ambijentalnim uslovima potpuno se vraćaju u 6-WPA fazu, što ukazuje na reverzibilan proces ova dva uzorka. Ovo je u skladu sa termijskim merenjima [R. Allmann, H. D'Amour, Z. Kristall., 141 (1975) 161].

U procesu calcinacije, očigledne su promene u karakterističnim spektralnim oblastima za različite protonske vrste. Ako se uporede IC i ramanski spektri 12-volframfosforne kiseline odgrejane na različitim temperaturama, uočavamo da dioksonijum i oksonijum jon postoje u dinamičkoj ravnoteži što je potvrđeno u radovima [N. R. Noe-Spirlet, G. N. Brown, W. R. Busing, H. A. Levy, Acta Cryst. A 31 (1975) 580 i H. D'Amour, R. Allmann, Z. Kristall., 143 (1976) 1].

Samo dizajniranje strukture na svim nivoima od osnovnog, saglasno našim eksperimentalnim i teorijskim modelnim istraživanjima daje rezultate koji pokazuju izuzetnu međusobnu saglasnost teorijskih očekivanja i eksperimentalnih rezultata [V. Jokanović, Dj. Janačković, A. M. Spasić, D. Uskoković, Nanostruct. Mater., 12 (1-4) (1999) 349, G. V. Jayanthi, S. C. Zhang, G. L. Messing, J. Aerosol Sci. Technol., 19 (1993) 478, S. Moon, H. J. Chung, S. I. Woo, C. S. Hwang, M. Y. Lee, S. B. Park, J. Aerosol Sci., 28 suppl. I (1999) 5525].

4. Naučni radovi i saopštenja u kojima su publikovani rezultati iz doktorske disertacije

Rad u časopisu međunarodnog značaja

1. U.B.Mioč, R.Ž.Dimitrijević, M.Davidović, Z.P.Nedić, M.M.Mitrović, Ph.Colomban
Thermally induced phase transformations of 12-tungstophosphoric acids 29-hydrate: synthesis and characterisation of PW_8O_{26} -type bronzes
J.Mater.Sci., 29(1994)3705
2. R.Ž.Dimitrijević, Ph.Colomban, U.B.Mioč, Z.Nedić, M.R.Todorović, N.Tjapkin, M.Davidović
Synthesis, conductivity and structural characterization of phosphorous bronzes originating from Heteropoly acids. Relation with similar proton containing phases
Solid State Ionics, 77(1995)250
3. U.B.Mioč, R.Ž.Dimitrijević, M.M.Mitrović, Z.P.Nedić
Method for synthesis of metal-doped phosphorous tungsten bronzes starting from heteropoly acids precursor
J.Serb.Chem.Soc., 60(1995)959
4. M.Davidović, T.Čajkovski, D.Čajkovski, V.Likar-Smiljanić, R.Biljić, U.Mioč, Z.Nedić
Dielectric investigation of magnesium salt of 12-tungstophosphoric acid hydrate
Solid State Ionics, 125(1999)411
5. T.Čajkovski, M.P.Davidović, D.Čajkovski, V.D.Likar-Smiljanić, R.M.Biljić, U.B.Mioč, Z.P.Nedić
Temperature dependence of dielectric relaxation in 12-tungstophosphoric acid hexahydrate at microwave frequencies
Trends in Advanced Materials and Processes, 352(2000)251
6. U.B.Mioč, M.R.Todorović, S.M.Uskoković-Marković, Z.P.Nedić, N.S.Bošnjaković
The spectroscopic investigation of 12-tungstophosphoric acid alkali salts
J.Serb.Chem.Soc., 65(2000)399
7. Z.P.Nedić, U.B.Mioč, M.Todorović, D.Arandelović, M.Odović
Thermal and conductivity analysis of alkaline earth salts of 12-tungstophosphoric acid,
Materials Science Forum, 453-454(2004)151
8. V.Jokanović, U.B.Mioč, Z.P.Nedić
Nanostructured phosphorous tungsten bronzes from ultrasonic spray pyrolysis
Solid State Ionics, 176(2005)2955
9. M.Davidović, T.Čajkovski, Ph.Colomban, U.B.Mioč, V.D.Likar-Smiljanić, D.Čalkovski, R.M.Biljić, Z.P.Nedić
The influence of monovalent and bivalent cations on the electrical properties of 12-tungstophosphoric acid salts
Solid State Ionics, 176(2005)2881
10. A.S.Kremenović, D.D.Poleti, N.E.Ghermani, Lj.C.Karanović, U.B.Mioč, Z.P.Nedić, A.Spasojević-de Bire
Synthesis and crystal structure of hexaaquamagnesium hydrogen phosphododecatungstate $[Mg(H_2O)_6][HPW_{12}O_{40}] \cdot 4H_2O$
Crist.Res.Technol., 42(2007)98
11. V.R.Jokanović, B.Čolović, Z.P.Nedić
Desing of Li phosphorous doped bronzes obtained by using spray pyrolysis
Journal of Physics:Conference series, 100(2008)012010
12. V.R.Jokanović, Z.P.Nedić, B.Čolović
Modelling and experimental investigation of thin films of Mg phosphorus-doped tungsten bronzes obtained by ultrasonic spray pyrolysis

- Journal of Microscopy-Oxford, 232(2008)623
13. V.R.Jokanović, Z.P.Nedić
Nano-designing of Mg doped phosphate tungsten bronzes and SiO₂ composite obtained by ultrasonic spray pyrolysis method
Ultrason.Sonochem., 17(2010)228
 14. U.B.Mioč, S.Stojadinović, Z.Nedić
Characterization of bronze surface layer formed by microarc oxidation process in 12-tungstophosphoric acid
Materials, 3(2010)110
 15. S.Đ.Stojadinović, R.Vasilić, I.D.Belča, M.Petković, B.V.Kasalica, Z.P.Nedić, Lj.D.Zeković
Characterization of the plasma electrolytic oxidation of aluminium in sodium tungstate
Corros.Sci., 52(2010)3258
 16. S.Đ.Stojadinović, R.Vasilić, M.Petković, Z.P.Nedić, B.V.Kasalica, I.D.Belča, Lj.D.Zeković
Luminescence properties of oxide films formed by anodization of aluminium in 12-tungstophosphoric acid
Electrochim.Acta., 55(2010)3857
 17. M.Petković, S.Đ.Stojadinović, R.Vasilić, I.D.Belča, Z.P.Nedić, B.V.Kasalica, U.B.Mioč
Preparation of silicate tungsten bronzes on aluminium by plasma electrolytic oxidation process in 12-tungstophosphoric acid
Appl.Surf.Sci., 257(2011)9555

Poglavlje u knjizi, pregledni članak, u tematskom zborniku radova

1. U.B.Mioč, R.Ž.Dimitrijević, M.Davidović, M.Todorović, Z.Nedić
Proton, protonske vrste i njihov uticaj na strukturu i mehanizam provodljivosti superjonskih protonskih provodnika iz grupe heteropoli jedinjenja, U monografiji "Profesoru Draganu Veselinoviću", izdavač
Društvo fizikohemičara Srbije i Fakultet za fizičku hemiju, Beograd 2001.god., str.113
2. V.Jokanović, Z.Nedić, J.Dostanić
Designing of nanostructure of metal doped phosphate tungsten bronzes obtained by ultrasonic spray Pyrolysis (Chapter 7), Fast Proton-Ion Transport Compounds, Transworld Research Network, Kerala, India, 2010. god., str.145
3. J.C.Badot, Z. Nedic, U.B. Mioc, M. Slankamenac, M. Davidovic,
Physicochemical characterization of lithium doped phosphate tungsten bronzes as solid electrolytes (Chapter 8), Fast Proton-Ion Transport Compounds, Transworld Research Network, Kerala, India, 2010. god., str. 159
4. S.V.Mentus, N. Gavrilov, Z.Nedić, B.Nedić, U.B.Mioč,
Application of Li doped bronzes as anode materials in Li-ion batteries (Chapter 9), Fast Proton-Ion Transport Compounds, Transworld Research Network, Kerala, India, 2010. god., 179

5. Zaključak komisije

Na osnovu izloženog može se zaključiti da rezultati kandidata predstavljaju originalan i značajan naučni doprinos ispitivanju svojstava heteropolikiselina i fosforvolframovih bronzi, kaom i njihovo dizajniranje i dobijanje nanočestica tehnikom sprej pirolize. Rezultati ovog rada omogućavaju bolje razumevanje procesa koji se dešavaju u procesu kalcinacije/dehidratacije heteropoli jedinjenja, a time i njihovu efikasniju primenu, posebno u biohemiji i biomedicini kao i nauci o materijalima.

Delovi teze kandidata već su publikovani u obliku radova koji su objavljeni u vrhunskim naučnim časopisima međunarodnog značaja, u istaknutim međunarodnim časopisima, u međunarodnom i u časopisu od nacionalnog značaja, poglavlje u knjizi i pregledni članak u tematskom zborniku radova.

Na osnovu izloženog, Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Fakulteta za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu da rad Zorana Nedića pod naslovom "**Dobijanje i karakterizacija fosforvolframovih bronzi dopiranih jonima litijuma, magnezijuma i europijuma**", prihvati kao disertaciju za sticanje naučnog stepena doktora fizičko-hemijskih nauka i odobri njenu javnu odbranu.

U Beogradu, 14.06.2016.

Komisija:

Redovni profesor, dr Nikola Cvjetičanin
Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju

Redovni član SANU i redovni profesor u penziji,
Dr Slavko Mentus
Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju

Docent, dr Ivana Stojković-Simatović
Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju

Vanredni profesor, dr Stevan Stojadinović
Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet