

NASTAVNO-NAU NOM VE U FAKULTETA ZA FIZI KU HEMIJU

Predmet: Izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata
Aleksandra Maksi a, diplomiranog fizikohemi ara

Odlukom Nastavno-nau nog ve a Fakulteta za fizi ku hemiju, donetom na sednici održanoj 7. decembra 2017. godine, imenovani smo za lanove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata **diplomiranog fizikohemi ara Aleksandra Maksi a**, pod naslovom: **Elektrokataliza oksidacije malih organskih molekula na elektrodama platine i paladijuma modifikovanim nanoostrvima paladijuma, rodijuma i rutenijuma – zna aj za primenu u gorivnim elijama.**

Izrada doktorske disertacije pod navedenim naslovom odobrena je odlukom Nastavno-nau nog ve a sa sednice održane 16. juna 2016. godine. Na osnovu te odluke, Ve e nau nih oblasti prirodnih nauka Univerziteta u Beogradu je na svojoj XXVIII sednici od 30. juna 2016. godine dalo saglasnost da se prihvati predložena tema doktorske disertacije.

Na osnovu pregleda i analize te disertacije podnosimo Ve u slede i

I Z V E Š T A J

A. Prikaz sadržaja disertacije

Doktorska disertacija diplomiranog fizikohemi ara Aleksandra Maksi a je napisana na 129 strana, a u skladu sa *Uputstvom za oblikovanje doktorske disertacije Univerziteta u Beogradu*. Sastoji se od slede ih celina: *Uvod* (24 strane), *Eksperimentalne tehnike* (11 strana), *Rezultati i diskusija* (78 strana), *Zaklju ak* (3 strane), *Literatura* - 156 navoda (8 strana), *Biografija autora* (1 strana) i *Prilozi* (4 strane). Disertacija sadrži 51 sliku, 13 tabela i *Izvod* na srpskom i engleskom jeziku (po 2 strane).

U delu *Izvod*, na srpskom i engleskom jeziku, u kratkim crtama je predstavljena problematika kojom se disertacija bavi kao i najvažniji zaklju ci.

Uvod disertacije je podeljen na pet tematskih celina: *Predmet i cilj istraživanja*, *Gorivne elije*, *Elektrokataliza*, *Specifi na adsorpcija organskih molekula* i *Oksidacija malih organskih molekula*.

U poglavlju *Uvod* najpre je ukratko predstavljen zna aj obnovljivih izvora energije i alternativnih na ina dobijanja energije iz obnovljivih izvora. Zatim, ukazano je na zna aj gorivnih elija, naro ito alkalnih, koje kao gorivo koriste alkohole, na prvom mestu metanol i etanol. Dat je i kratak opis reakcija elektrooksidacije metanola i etanola, pri emu je istaknuta važnost elektrohemije u izu avanju mehanizama ovih dveju reakcije, a u cilju poboljšanja efikasnosti konverzije energije u gorivnim elijama.

Deo *Predmet i cilj istraživanja* sadrži, u kratkim crtama, osnovnu ideju ove teze, koja podrazumeva proučavanje elektrokatalize reakcije oksidacije malih organskih molekula na bimetalnim elektrodama dobijenim spontanom depoziacijom.

U delu *Gorivne elije* dat je kratak istorijat, pregled tipova i mogući upotrebe gorivnih elija. Tako je opisan princip rada alkalnih gorivnih elija koje kao gorivo koriste alkohole, uz poseban osvrt na metanolske i etanolske gorivne elije.

Treći deo uvoda, *Elektrokataliza*, obuhvata pregled važnijih pojmova u elektrohemiji i elektrokatalizi, naime katalize reakcija oksidacije malih organskih molekula i opis spontane depoziacije kao metode za dobijanje bimetalnih elektrodnih površina.

U delu *Specifična adsorpcija organskih molekula* je ukratko opisan pojam adsorpcije i ukazano je na značaj adsorpcije, kao jednog od koraka u reakciji elektrooksidacije.

U petom delu uvoda *Oksidacija malih organskih molekula* detaljno su predstavljeni i opisani mehanizmi reakcija oksidacije metanola i etanola.

Poglavlje *Eksperimentalne tehnike* obuhvata opis tehnika i instrumenata vezanih za pripremu, površinsku i elektrohemijsku karakterizaciju bimetalnih elektroda, kao i ispitivanje katalitičkih svojstava za reakcije oksidacije malih organskih molekula. Za ispitivanje elektrohemijskih i katalitičkih svojstava bimetalnih nanostruktura su upotrebljene klasične elektrohemijske tehnike, ciklična voltometrija i hronoamperometrija. Strukturne osobine bimetalnih površina su okarakterisane tehnikom mikroskopije atomskih sila, elipsometrijskom spektroskopijom i rendgenskom fotoelektronskom spektroskopijom. Dat je i pregled korišćenih hemikalija.

Poglavlje *Rezultati i diskusija* se sastoji iz tri celine, u kojima su detaljno prikazani i analizirani dobijeni rezultati za svaki pojedinačni bimetalni sistem.

U prvom delu su dati rezultati strukturne i elektrohemijske karakterizacije Pd/Pt(poly) elektroda pripremljenih spontanom depoziacijom, kao i ispitivanja katalitičkih svojstava ovih bimetalnih elektroda za reakciju elektrooksidacije metanola i etanola u alkalnoj sredini. Različita vremena spontanog deponovanja omogućila su dobijanje Pd/Pt(poly) elektroda sa različitim pokrivenostima Pd-om, koje su potom *ex-situ* okarakterisane mikroskopijom atomskih sila, elipsometrijskom i rendgenskom fotoelektronskom spektroskopijom, čime je omogućen uvid u strukturne osobine Pd/Pt(poly) elektroda, od kojih su najbitnije dimenzije i distribucija Pd-ostreva i pokrivenost supstrata depozitom. Elektrohemijska karakterizacija i ispitivanje katalitičkih svojstava Pd/Pt(poly) elektroda za reakciju oksidacije metanola, etanola i mogućih intermedijera - formaldehida i acetaldehida - u rastvoru kalijum-hidroksida, je vršeno klasičnim elektrohemijskim tehnikama ciklične voltetrije. Aktivnost i stabilnost elektroda u vremenu ispitana je i hronoamperometrijom.

Drugi deo sadrži rezultate analognih ispitivanja sprovedenih na Rh/Pd(poly) elektrodama dobijenim spontanom depoziacijom pri različitim vremenima. U ovom slučaju površinska struktura bimetalnog sistema je analizirana mikroskopijom atomskih sila i rendgenskom fotoelektronskom spektroskopijom, dok su za elektrohemijsku karakterizaciju korišćene iste tehnike kao i u prethodnom slučaju.

Treći deo poglavlja *Rezultati i diskusija* je posvećen ispitivanju katalize reakcije oksidacije metanola i etanola na sistemu Ru/Pd(poly), koje je obuhvatalo paralelan eksperimentalni rad kao i u prethodnom slučaju kada je Pd(poly) korišćen kao supstrat.

U poglavlju *Zaključak* su jasno i pregledno sumirani dobijeni rezultati.

Navedena literatura (156 jedinica) obuhvata relevantne radove iz oblasti istraživanja i pokriva sve delove disertacije.

Disertacija sadrži još i kratku biografiju kandidata, izjavu o autorstvu, izjavu o istovetnosti štampane i elektronske verzije rada i izjavu o korišćenju.

B. Opis rezultata teze

U ovoj disertaciji ispitivana je elektrokataliza reakcije oksidacije malih organskih molekula. Elektrokataliza reakcija oksidacije metanola i etanola je bitna je za tehnologiju gorivnih ćelija, pa je pronalaženje aktivnijih elektrodnih materijala za ove dve reakcije od ključnog značaja. U ovoj oblasti su posebno interesantni bimetalni elektrodni materijali, koji poseduju drugačija, a vrlo često i bolja katalitička svojstva u odnosu na oba ista metala. To poboljšanje se može tumačiti elektronskim i bifunkcionalnim efektom koji se javljaju usled prisustva dva različita metala na površini. Bimetalne elektrode se mogu pripremiti na različite načine, među kojima se po svojoj jednostavnosti i brzini izdvaja spontana depozicija, koja je korišćena tokom izrade ove disertacije. Kao supstrati odabrani su polikristalne elektrode platine i paladijuma, dok su kao depoziti korišćeni Pd, Rh i Ru. Kombinacijom navedenih supstrata i depozita pripremljeno su tri različita bimetalna sistema: Pd/Pt(Poly), Rh/Pd(poly) i Ru/Pd(poly).

Sve pripremljene bimetalne elektrode, kao i nemodifikovane elektrode, su odmah nakon završetka spontane depozicije *ex-situ* okarakterisane opisanim tehnikama, čime je omogućen uvid u strukturna i površinska svojstva ovih nanostruktura. Elektrohemijska karakterizacija dobijenih površina je vršena cikličnom voltametrijom u rastvoru kalijumhidroksida, dok je aktivnost elektroda za reakcije oksidacije ispitivana cikličnom voltametrijom i hronoamperometrijom u istom elektrolitu. Rezultati elektrohemijske i površinske karakterizacije su diskutovani u vezi sa katalitičkim efektom za reakciju elektrooksidacije metanola i etanola. Takođe je vršeno i ispitivanje reakcija oksidacije intermedijera formaldehida i acetaldehida u cilju tumačenja i objašnjenja eventualnog mehanizma reakcije oksidacije metanola i etanola.

Na prvom bimetalnom Pd/Pt(poly) sistemu pokazano je da se elektrokatalitička aktivnost platine za reakcije oksidacije metanola i etanola u alkalnoj sredini može znatno povećati u prisustvu spontano deponovanih nanostruktura paladijuma. Površina Pt(poly) elektrode sa 35-procentnom pokrivenošću u paladijumom je pokazala najveću elektrokatalitičku aktivnost za reakciju oksidacije metanola, dok je u slučaju oksidacije etanola to bila elektroda sa pokrivenošću od 50%. Bimetalne elektrode su u oba slučaja pokazale znatno veću aktivnost u odnosu na oba ista metala, što ukazuje na jak sinergijski efekat platine i paladijuma. Povećanje aktivnosti bimetalnih Pd/Pt(poly) elektroda se u oba slučaja može objasniti istovremeno bifunkcionalnim i elektronskim efektom.

Drugi ispitivani bimetalni Rh/Pd(poly) sistem pokazao je povećanu aktivnost, kako za reakciju elektrooksidacije metanola tako i u slučaju reakcije oksidacije etanola. Pri elektrooksidaciji metanola najbolju aktivnost je pokazala 30% Rh/Pd(poly) dok je u slučaju oksidacije etanola najveća aktivnost dobijena na Pd(poly) elektrodi sa 50-

procentnom pokrivenošu deponovanim rodijumom. Postignuti kataliti ki efekat u reakcijama oksidacije metanola i etanola se pripisuje elektronskom efektu ostvarenom izme u paladijumskog supstrata i deponovanog rodijuma.

Kod tre eg ispitivanog Ru/Pd(poly) sitema ostvaren je elektrokataliti ki efekat, pri emu je modifikovana 30% Ru/Pd(poly) elektroda pokazala najve u aktivnost za reakcije elektrooksidacije i metanola i etanola. Pove ana aktivnost bimetalne 30% Ru/Pd(poly) elektrode je u ovom slu aju objašnjena bifunkcionalnim mehanizmom i postignutim elektronskim efektom.

C. Uporedna analiza rezultata disertacije sa rezultatima iz literature

U literaturi se može na i više razli itih na ina na koji se može poboljšati elektrokataliti ka aktivnost elektrode za reakciju oksidacije metanola ili etanola. Jedan od uspešnijih je modifikacija površine elektrode nekim drugim metalom. T. Iwasita je pokazao da se kataliti ke karakteristike platine, a u vezi reakcije oksidacije metanola, mogu znatno poboljšati dodavanjem rutenijuma. U tom slu aju efikasnost reakcije je znatno poboljšana zahvaljuju i bifunkcionalnom mehanizmu postignutim kombinacijom ova dva elementa [T. Iwasita, *Electrochim. Acta* 47 (2002) 3663]. M. Koper i T. Iwasita su u nezavisnim istraživanjima pokazali da se poboljšanje dobijanjem bimetalne površine ostvaruje bifunkcionalnim mehanizmom ili elektronskim efektom, a u nekim slu ajevima i kombinacijom oba efekta [M. Koper, *Surf. Sci.* 548 (2004) 1, T. Iwasita, Wolf Vielstich, Hubert A. Gasteiger, Arnold Lamm, *Handbook of Fuel Cells - Fundamentals, Technology and Applications, Electrocatalysis*, Vol. 2, John Wiley & Sons Ltd. (2003)].

Za modifikaciju površine elektrode drugim metalom koriste se razli ite metode. Tako npr. PtRu, ina e najefikasniji katalizator za oksidaciju metanola u kiseloj i alkalnoj sredini, može biti pripremljen elektrodepozicijom rutenijuma, neparavanjem u ultravisokom vakuumu ili spontanom deponovanjem na razli itim platinskim podlogama, kao i nanošenjem PtRu katalizatora na neku od ugljeni nih elektroda [M. Krausa, W. Vielstich, *J. Electroanal. Chem.* 379 (1994) 307, T. Iwasita, H. Hoster, A. John-Anacker, W.F. Lin, W. Vielstich, *Langmuir* 16 (2000) 522, J.S. Spendelow, P.K. Babu, A. Wieckowski, *Solid State Mater. Sci.* 9 (2005) 37, A.V. Tripkovic, S. Strbac, K. Dj Popovic, *Electrochem. Commun.* 5 (2003) 484, Z. Liu, X.Y. Ling, X. Su, J.Y. Lee, *J. Phys. Chem. B* 108 (2004) 8234].

Iako paladijum pokazuje znatno nižu aktivnost za reakciju elektrooksidacije metanola u alkalnoj sredini u odnosu na platinu, kombinacija ova dva metala pripremljena na nekoliko razli itih na ina pokazala je bolju aktivnost od iste platine [A. Santasalo-Aarnio, Y. Kwon, E. Ahlberg, K. Kontturi, T. Kallio, M. Koper, *Electrochem. Commun.* 13 (2011) 466, V. Stamenkovic, B.B. Blizanac, B.N. Grgur, N.M. Markovic, *Chem. Ind.* 56 (2002) 273, G. Gökagac, J.M. Leger, F. Hahn, *Z. Naturforsch.* 58b (2003) 423].

U ovoj disertaciji je tako e dobijeno znatno pove anje aktivnosti elektrooksidacije metanola i etanola spontanom deponovanjem paladijuma na površini polikristalne platinske elektrode. Naro ito je bitan elektrokataliti ki efekat postignut na ovaj na in u reakciji oksidacije metanola, gde je aktivnost platine za ovu reakciju uve ana nekoliko puta. To pove anje aktivnosti u oksidaciji oba alkohola rezultat je jakog sinergetskog efekta ova dva

metala, ostvarenog elektronskog efekta i bifunkcionalnog mehanizma.

I u slu aju paladijuma, kao anodnog materijala, u kombinaciji sa drugim metalima pokazano je izvesno poboljšanje njegove aktivnosti za nekoliko razli itih reakcija [C. Zhu, S. Guo and S. Dong, Chemistry 19 (2013) 1104, J. Datta , A. Dutta, M. Biswas, Electrochem. Commun. 20 (2012) 56, A. N. Geraldesa, D. Furtunato da Silvab, E. S. Pinob, J. C. Martins da Silvab, R. F. Brambilla de Souzaab,P. Hammerc, E. V. Spinacéb, A. O. Netob, M. Linardib, M. Coelho dos Santosa, Electrochim. Acta 111 (2013) 455, Q. Hea,W. Chenb, S. Mukerjeea, S. Chenb, F. sek Laufekc, J. Power Sources 187 (2009) 298, A. M. Sheikh, P. S. Correa, E. Leal da Silva, I. D. Savaris, S. C. Amico and C. F. Malfatti, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'13), Bilbao (2013), A. M. Sheikh, E. L. Silva, L. Moares, L. M. Antonini, Mohammed Y. Abellah, C. F. Malfatti, American Journal of Mining and Metallurgy, Vol. 2, No. 4 (2014) 64, Z. Zhang, L. Xin, K. Sun, W. Li, Int. J. Hydrogen Energy 36 (2011) 12686, L. Ma, H. He , A. Hsu, R. Chen, J. Power Sources 241 (2013) 696, S.Y. Shen, T.S. Zhao, J.B. Xu, Electrochim. Acta 55 (2010) 9179]. Tako, reakcija elektrooksidacije etanola i glukoze postaje efikasnija na bimetalnoj površini PdRh katalizatora nanetog na ugljeni nu osnovu [Y. Suo, I. M. Hsing, J. Power Sources 196 (2011) 7945, A. Brouzgou, L.L. Yan, S.Q. Song, P. Tsiakaras, Appl. Catal. B 147 (2014) 481].

Rezultat prikazan u disertaciji pokazuje da je aktivnost polikristalne paladijumske elektrode znatno pove ana spontanom deponovanjem rodijuma na površini elektrode. Elektrokataliti ki efekat je ostvaren u slu aju obe reakcije oksidacije i objašnjen je elektronskim efektom.

Tako e je pokazano da i prisustvo spontano deponovanog rutenijuma na površini polikristalne paladijumske elektrode pove ava aktivnost površine elektrode za reakciju oksidacije kako metanola tako i etanola. Elektrokataliza reakcije oksidacije ova dva alkohola na paladijumu u kombinaciji sa rutenijumom u ovom slu aju je postignuta bifunkcionalnim mehanizmom i ostvarenim elektronskim efektom. Ovde treba ista i da je ostvareni elektronski efekat potvr en i rendgenskom fotoelektronskom spektroskopijom.

Najboji elektrokataliti ki efekat je dobijen u slu aju Pd/Pt(Poly) bimetalne elektrode i taj rezultat je upore en sa sli nim rezultatima dobijenih od strane drugih autora. Poboljšanje u aktivnosti na ovaj na in modifikovanih elektroda upore eno je sa rezultatima dobijenim na sli nim, druga ije dobijenim, PdPt sistemima. Koli ina paladijuma u paladijumskim katalizatorima sa ugljenikom kao nosa em (Pd/C) je neuporedivo ve a od koli ine spontano deponovanog paladijuma na platinskoj elektrodi, jer je supstrat u prvom slu aju ugljenik neaktivan za reakciju oksidacije metanola dok se u slu aju platine radi o aktivnom supstratu. Štaviše, Pd/C sistem sa malim sadržajem paladijuma, sli nim sadržaju izra unatom za Pd/Pt(poly) elektrode, je tako e neaktivan za reakciju oksidacije metanola. Zato je bilo nemogu e izvršiti pore enje u aktivnostima na osnovu pore enja ja ine struja normalizovanih po masi paladijuma. Stoga je izvršeno pore enje u aktivnostima modifikovanih Pd/Pt(poly) elektroda sa aktivnostima bimetalnih PdPt/C katalizatora uzimaju i u obzir relativne sadržaje oba metala u nano esticama katalizatora izražene u procentima.

U slu aju PdPt/C elektrode dobijene elektrohemijском kodepozicijom paladijima i platine u atomskom odnosu 1:2 [S.S. Mahapatra, A. Dutta, J. Datta, Int. J. Hydrog. Energy 36 (2011) 14873], relativno pove anje struje oksidacije metanola u odnosu na Pt/C je manje od pove anja dobijenog na 35% Pd/Pt(poly) u odnosu na Pt(poly). Pored toga, brže postizanje

maksimuma gustine struje na 35% Pd/Pt(poly) u odnosu na PdPt/C ukazuje na bržu kinetiku reakcije oksidacije metanola.

Za razliku od rezultata prikazanog u ovoj disertaciji, najbolji rezultat je dao bimetalni PtPd nano estički katalizator sa grafenom kao nosačem, kod koga je odnos sadržaja Pt:PtPd 1:3, odnosno potpuno suprotan od odnosa ova dva metala na površini, u ovoj disertaciji ispitivane najaktivnije bimetalne elektrode [Y. Zhang, G. Chang, H. Shu, M. Oyama, X. Liu, Y. He, *J. Power Sources* 262 (2014) 279]. Međutim PtPd katalizator nanet na redukovani oksid grafena, s odnosom platina/paladijum 3:1, je pokazao znatno veću aktivnost pri oksidaciji metanola u alkalnoj sredini od komercijalnih 10-postotnog Pd/C i 10-postotnog Pt/C katalizatora [S. S. Li, J. J. Lv, Y. Y. Hu, J. N. Zheng, J. R. Chen, A. J. Wang, J. J. Feng, *J. Power Sources* 247 (2014) 213]. Pored ovih, ispitivani su i bimetalni sistemi dobijeni elektrohemijom kod depozicijom platine i paladijuma. Izvršeno je poređenje i sa jednim, na taj način dobijenim sistemom u kome je masa deponovanog paladijuma na polikristalnoj platini reda veličine 0,4 do 0,8 μg, što je nešto više od izražene mase spontano deponovanog paladijuma u ovoj disertaciji. I na ovaj način modifikovanoj elektrodi dobijena je gustina struje 3,5 puta veća u od gustine struje oksidacije metanola na osnovnoj platinskoj elektrodi [J. Zhang, M. Huang, H. Ma, F. Tian, W. Pan, S. Chen, *Electrochim. Commun.* 9 (2007) 1298]. U disertaciji dobijeno povećanje aktivnosti je uporedivo i sa povećanjem dobijenim potenciostatskim deponovanjem nano estički paladijuma na površinu platine, inače posledicom povećanja elektrohemijom aktivne površine primenjenog supstrata [R. Gupta, S.K. Guin, S.K. Aggarwal, *Electrochim. Acta* 116 (2014) 314].

Rezultat u disertaciji je pokazao da je bimetalna elektroda sa odnosom platine i paladijuma na površini 2:1 najaktivnija za reakciju elektrohemijske oksidacije metanola. Ovaj podatak može dati značajan doprinos u dizajniranju sistema sa malim sadržajem platine i paladijuma, u kome bi PtPd nano estičke bile nanete na nemetalni supstrat spontanom depozicijom.

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

M21 Radovi u vrhunskom međunarodnom časopisu

1. A. Maksi, Z. Rakocević, M. Smiljanić, M. Nenadović, S. Štrbac, Methanol oxidation on Pd/Pt(poly) in alkaline solution, *Journal of Power Sources*, 273 (2015) 724-734
2. A. Maksi, M. Smiljanić, Š. Miljanić, Z. Rakocević, S. Štrbac, Ethanol Oxidation on Rh/Pd(poly) in Alkaline Solution, *Electrochimica Acta*, 209 (2016) 323-331

E. Zaključak komisije

Na osnovu izloženog materijala se može zaključiti da doktorska disertacija kandidata Aleksandra Maksića predstavlja značajan i originalan naučni doprinos u oblasti elektrokatalize reakcije oksidacije malih organskih molekula na bimetalnim elektrodama. U disertaciji su ispitane reakcije oksidacije metanola i etanola na tri različita bimetalna sistema. Disertacija daje značajan doprinos razumevanju katalitičkog efekta bimetalnih nanostruktura, kao i povezivanju površinskih, odnosno strukturnih svojstava bimetalnih elektrodnih površina sa katalitičkim efektom za reakciju oksidacije ova dva alkohola. Rezultati istraživanja su publikovani u vrhunskim međunarodnim časopisima (M21). Pored naučnog značaja oni će svakako imati važan praktični doprinos u oblasti elektrokatalize.

Na osnovu svega izloženog, Komisija pozitivno ocenjuje doktorsku disertaciju diplomiranog fizikohemikara Aleksandra Maksića pod naslovom „**Elektrokataliza oksidacije malih organskih molekula na elektrodama platine i paladijuma modifikovanim nanoostrvima paladijuma, rodijuma i rutenijuma – značaj za primenu u gorivnim ćelijama**” i predlaže Nastavno-naučnom vešću u Fakulteta za fiziku hemiju da je prihvati i odobri njegovu javnu odbranu, čime bi bili ispunjeni svi uslovi da kandidat stekne zvanje *doktor fizičko-hemijskih nauka*.

LANOVI KOMISIJE:

dr Štefan Miljanić
redovni profesor (u penziji) Univerzitet u Beogradu - Fakulteta za fiziku hemiju

dr Svetlana Štrbac
naučni savetnik Univerzitet u Beogradu - Instituta za hemiju, tehnologiju i metalurgiju
(Centar za elektrohemiju)

dr Biljana Šljukić Paunković
docent Univerzitet u Beogradu - Fakulteta za fiziku hemiju

dr Ivana Stojković Simatović
docent Univerzitet u Beogradu - Fakulteta za fiziku hemiju

U Beogradu,
