

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ - ХЕМИЈСКОГ ФАКУЛТЕТА

ПРЕДМЕТ: Извештај комисије за оцену докторске дисертације кандидаткиње Марије Д. Ковачевић, мастер професора хемије.

На редовној седници Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Хемијског факултета, одржаној 10.4.2025. године, одређени смо у Комисију за оцену докторске дисертације кандидаткиње Марије Д. Ковачевић, мастер професора хемије, под називом:

„Теоријско моделовање и припрема катализатора титан(IV)–оксида модификованих депозицијом *d*-метала за примену у фотодеградацији ципрофлоксацина“

Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на својој седници одржаној дана 30.11.2023. године, на захтев Хемијског факултета, дало сагласност на предлог теме докторске дисертације (одлука бр. 61206-4214/2-23).

Комисија је докторску дисертацију прегледала и подноси Наставно-научном већу Хемијског факултета следећи

ИЗВЕШТАЈ

А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација Марије Д. Ковачевић написана је на 111 страна А4 формата (фонт *Times New Roman*; величина 12 pt, проред 1, маргине 2 cm) и садржи 52 слике, 12 табела и 1 шему. Рад обухвата следећа поглавља: *Увод* (3 стране), *Теоријски део* (30 страна), *Експериментални део* (9 страна), *Резултати и дискусија* (42 стране), *Закључци* (2 стране), *Литература* (22 стране) и *Прилози* (3 стране). Поред наведеног дисертација садржи *Насловну страну* на српском и енглеском језику, *Страну са именима чланова Комисије*, *Захвалницу*, *Сажетак* на српском и енглеском језику, *Садржај*, *Биографију* кандидата, *Листу радова* проистеклих из дисертације, *Изјаву о ауторству*, *Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада* и *Изјаву о коришћењу*. Дисертација је по својој структури и садржају у потпуности у складу са стандардима прописаним од стране Универзитета у Београду.

Увод садржи предмет и основне циљеве истраживања ове докторске дисертације, уз истицање значаја и потребе за развојем ефикасних и одрживих метода за пречишћавање водене средине загађене фармацеутским супстанцама.

Теоријски део је подељен на 6 целина. Целина „*Антибиотици и ципрофлоксацин, утицај на животну средину*“ даје објашњење еколошких ризика, начина доспећа антибиотика у водену средину и говори о проблематици пречишћавања водене средине

од антибиотика. Друга целина, „Методe за уклањање антибиотика“ садржи преглед најважнијих метода за уклањање антибиотика из воде — адсорпцију, мембранску филтрацију и напредне оксидационе процесе — са описом њихових механизма, предности и недостатака. У целини „Титан(IV)-оксид у фотокатализи“ објашњено је зашто је TiO_2 један од најважнијих фотокатализатора — описана су његова физичко-хемијска својства, механизам фотокатализе уз UV зрачење, начини побољшања његове ефикасности и потенцијал за примену у пречишћавању загађене воде. Целина „Синтеза катализатора“ описује основне технике синтезе титан(IV)-оксида, са фокусом на методе које омогућавају контролу структуре, морфологије и својстава катализатора ради постизања боље фотокаталитичке активности. „Карактеризација фотокатализатора и детекција производа деградације антибиотика“ је целина која описује аналитичке технике које су коришћене за испитивање структуре, састава и својстава синтетисаних фотокатализатора (XRPD, SEM-EDS, ICP-OES, UV-Vis спектрофотометрија) као и методе за праћење и идентификацију производа разлагања антибиотика након фотокаталитичког третмана (TOC анализа и LC-MS/MS анализа). У последњем делу „Теорија функционала густине“ објашњени су основни принципи методе теорије функционала густине (енгл. *Density Functional Theory*, DFT), историјски развој, теоријска основа за прорачуне електронске структуре материјала, као и примена DFT-а у проучавању фотокаталитичких система ради разумевања структуре, својстава и реактивности катализатора.

У **Експерименталном делу** описани су поступци и методе DFT прорачуна, синтезе фотокатализатора и фотокаталитичке деградације ципрофлоксацина. Описани су и услови снимања већ поменутих метода, карактеризације које дају корисне информације о морфологији и структури синтетисаних материјала, као и метода детекције и праћења производа разградње.

У поглављу **Резултати и дискусија**, приказани су резултати остварени током израде ове докторске дисертације и ово поглавље подељено је на три целине. У првом делу испитана је адхезија 24 прелазна метала на (001) и (110) површинама рутилног TiO_2 . Прорачунате су енергије адсорпције на различитим местима везивања (*hollow*, *bridge*, *top*) како би се одабрали најпогоднији метали за даљу модификацију TiO_2 . Посебно је анализирано везивање Cu на обе површине и утврђено да се при нижим концентрацијама формирају стабилне Cu-O везе. На основу добијених резултата дефинисани су и проверени теоријски дескриптори активности, попут енергије везивања хидроксил-радикала, који су коришћени за предикцију фотокаталитичке активности модификованих катализатора. У оквиру другог дела, примењене су технике XRPD, SEM и ICP-OES. Дифракцијом рендгенских зрака на праху (енгл. *X-Ray Powder Diffraction*, XRPD) утврђено је да синтетисани материјали задржавају кристалну структуру рутила са могућим мањим уделом анатаса. Скенирајућом електронском микроскопијом (енгл. *Scanning Electron. Microscopy*, SEM) анализом испитана је морфологија честица. Мапирањем са скенирајућом електронском микроскопијом са енерго-дисперзивном спектрометријом (енгл. *Scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectroscopy*, SEM-EDS) потврђено је равномерно распоређивање метала на површини. Оптичком емисионом спектрометријом индуктивно спрегнуте плазме (енгл. *Inductively*

Coupled Plasma Optical Emission spectroscopy, ICP-OES) одређен је садржај метала у узорцима, што је било важно за процену ефективности модификације. У последњем делу, фотокаталитичка деградација ципрофлоксацина праћена је UV-Vis спектрофотометријом на 315 nm, на основу калибрационог графика. Ефикасност разградње израчуната је праћењем пада концентрације у времену. Највећа активност у деградацији постигнута је код катализатора модификованих Pt и Pd металима. Поред праћења концентрације, одређен је и степен минерализације мерењем укупног органског угљеника (енгл. *Total Organic Carbon*, TOC), а течном хроматографијом – тандем масеном спектрометријом (енгл. *Liquid-Chromatography Tandem Mass spectrometry*, LC-MS/MS) идентификовани су производи разградње, предложен механизам деградације и *in silico* испитана токсичност и мутагеност детектованих производа.

У поглављу **Закључци** сумирани су и прокоментарисани резултати добијени у оквиру докторске дисертације.

Наведена **Литература** (283 цитата) обухвата радове, књиге и дисертације из области истраживања ове докторске дисертације.

Б. Кратак опис истраживања

Ова дисертација се бави теоријским моделовањем и припремом катализатора титан(IV)-оксида модификованог депозицијом серије *d*-метала, чиме се добијају слични материјали различитих електронских својстава са циљем примене у фотокаталитичкој деградацији ципрофлоксацина, антибиотика који представља значајан еколошки проблем. Одабиру *d*-метала за депозицију претходило је упоредно DFT тестирање (*screening*) адхезивности метала на титан(IV)-оксиду. За депозицију је одабрано 5 метала (Cu, Zr, Fe, Pd, Pt), а припремљени катализатори су карактерисани савременим техникама структурне анализе XRPD, SEM-EDS и ICP-OES. Процес деградације је праћен путем спектрофотометрије, LC-MS/MS анализе и анализе TOC. Токсичност добијених производа процењена је путем *CompTox* базе података.

Резултати су показали да модификација титан(IV)-оксида различитим *d*-металима утиче на његову фотокаталитичку активност и ефикасност разградње ципрофлоксацина. За све материјале потврђено је очување кристалне структуре рутила, уз могуће мање присуство анатаса. XRPD показала је да депозиција метала није довела до значајне промене фазног састава. SEM-EDS омогућила је визуелизацију морфологије катализатора и потврдила равномерно распоређивање металних честица на површини TiO₂. ICP-OES потврдила је успешну депозицију метала у жељеним концентрацијама, чиме је обезбеђена конзистентност узорака за даља тестирања. Ефикасност депозиције метала зависи од врсте примењеног метала и одређена је односом енергије адхезије метала на површини титан(IV)-оксида и енергије кохезије као сопственог својства метала, што је потврђено DFT прорачунима.

Фотокаталитичка активност синтетисаних материјала испитивана је праћењем разградње ципрофлоксацина у воденом раствору под UV зрачењем. Процес фотокаталитичке разградње је праћен UV-Vis спектрофотометријом при таласној дужини од 315 nm, мерењем укупног органског угљеника (TOC анализа) ради процене

степен минерализације, као и LC-MS/MS анализом ради идентификације производа деградације. Резултати фотокаталитичких испитивања показали су да металом модификовани катализатори већином имају побољшану активност у односу на немодификовани TiO_2 , али су најбоље перформансе показали катализатори модификовани платином $(\text{Pt})\text{TiO}_2$ и палاديјумом $(\text{Pd})\text{TiO}_2$. LC-MS/MS анализом идентификовани су производи разградње ципрофлоксацина, а њихова токсиколошка процена показала је да су нису токсичнији од полазног једињења. Анализом механизма фотокаталитичке деградације закључено је да је доминантни оксидативни агенс био хидроксил-радикал, чија је продукција повећана присуством депонованих метала. Сумирајући добијене резултате, показано је да депозиција одабраних *d*-метала значајно унапређује фотокаталитичка својства TiO_2 катализатора. Развијени катализатори, посебно $(\text{Pt})\text{TiO}_2$ и $(\text{Pd})\text{TiO}_2$, показали су значајан потенцијал за примену у пречишћавању вода загађених ципрофлоксацином.

Са аспекта механизма, доказана је значајна улога хидроксил-радикала као оксидујуће врсте у процесу фотодеградације и потврђен је степен деградације до стабилних - финалних производа за дате услове експеримента. Такође, проучена је стабилност катализатора и могућност његове поновне употребе. Упоредно са експерименталном, теоријска карактеризација испитиваних материјала методом теорије функционала густине (DFT) имала је кључну улогу у развоју предиктивног модела реактивности испитиваних материјала, у чијој је основи веза реактивности испитиваних материјала према хидроксил-радикалу као оксидујућој врсти и ефикасности адсорпције, односно десорпције загађујуће супстанце на површини. На овај начин, енергија везе хидроксил-радикала на металном месту катализатора је дефинисана као теоријски дескриптор каталитичке активности специфичан за испитиване системе. Добијена корелација објашњена је афинитетом *d*-метала да катализују дисоцијацију воде, при чему је неопходна оптимална реактивност материјала према хидроксил-радикалу да би оксидација била максимално ефикасна.

В. Упоредна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе

Фотокаталитичка деградација припада групи метода напредних оксидационих процеса (енгл. *Advanced Oxidation Processes*, AOP) и интензивно се истражује као универзална, ефикасна и еколошки прихватљива метода за елиминацију различитих органских загађујућих супстанци, укључујући органска једињења (лекове, боје и пестициде) и микроорганизме (бактерије) из водених средина [1]. Ради побољшања перформанси фотокатализатора заснованих на полупроводним материјалима, чија је ефикасност ограничена великом ширином забрањене зоне, кратким временима рекомбинације, малом површином, али и великом хемијском инертношћу самих циљаних загађујућих супстанци, до сада је развијено неколико стратегија заснованих на модификацији полупроводника металима и металним оксидима: допирање, наношење метала на површину полупроводника (енг. *loading*), развој система језгро/љуска и комбиновање два полупроводника - увођење фазне границе (енгл. *heterojunctions*) [2]. Површински катализатори са ниским садржајем метала и танким металним слојевима су предмет растућег интересовања истраживача, због могућности добијања значајно

другачијих својстава у односу на основне материјале, а израђују се уз минималну потрошњу скувих ресурса [3]. Приликом примене металних депозита на титан(IV)-оксиду као фотокатализатора, укључујући и једноатомске (енгл. *single atom*) системе, постигнута су значајна побољшања у односу на немодификоване катализаторе, у распону од неколико десетина процената до неколико десетина пута, у зависности од природе катализованог процеса [4, 5].

Иако постоји велики број студија о модификацији TiO_2 (и других фотокатализатора) металима као што су Cu, Ag, Fe, Zn, Pt итд, са циљем разлагања органских загађујућих супстанци (нпр. антибиотика, боја, пестицида), већина тих студија је специфична за појединачне системе, услове реакције, тип светлости и концентрације, што отежава поређење и генерализацију. Недостају систематске мета-студије или општији модели који би омогућили предвиђање перформанси различитих материјала у различитим условима, што је изазов за практичну примену. Иако је потенцијал примене метода теоријске хемије на овом пољу велики, јер представљају ефикасан алат за одређивање структурних, електронских и енергетских својстава фотокаталитичких материјала и самог процеса деградације, досадашње студије ограничене су пре свега на везу енергије забрањене зоне и перформанси фотокатализатора [6]. Такође, појединачни теоријски модели који описују оптичка својства ограничени су неопходним компромисом између нивоа апроксимације и тачности модела, при чему се одабир метода сужава на оне које мање прецизно описују побуђена стања и својства забрањене зоне. Теорија функционала густине, иако спада у ову категорију, веома је корисна у одређивању својстава основних стања, као што су дужине и енергије веза и распоред електрона у молекулима [7]. Применљивост теорије функционала густине је одлична када се испитује могућност адхезије метала на титан(IV)-оксидној подлози, као и фактори који одређују стабилност депонованог метала [8]. Један од приступа моделовању катализатора је дефинисање компјутерских дескриптора – једноставних величина које се лако одређују и служе као показатељи погодности материјала за фотокаталитичко уклањање органских загађујућих супстанци. Енергије везивања интермедијера на површини су погодне за DFT анализу, јер се односе на основно стање и лако се одређују у периодичним системима, тако да представљају добре потенцијалне дескрипторе. Сабатијеов принцип, који каже да оптимална каталитичка активност захтева умерену јачину адсорпције реактанта – широко је прихваћен у хетерогеној и електрокатализи, али је ређе примењиван у фотокатализи. Разлог за то лежи у комплексности фотокаталитичких механизма, који укључују не само адсорпцију и реакцију на површини, већ и фотоактивацију, рекомбинацију електрон-шупљина, транспорт носилаца наелектрисања и сложене интермедијере. У литератури постоји ограничен број радова који директно повезују енергију адсорпције интермедијера са фотокаталитичком активношћу [9, 10]. У том смислу, ова дисертација представља оригинални допринос предвиђању ефикасности фотокаталитичких материјала на основу модификација у структури, у чијој је основи једноставан теоријски прорачун енергетике адсорпције интермедијера реакције. Такође, представљен је јединствен приступ испитиваним аспектима фотокаталитичке деградације органских једињења и дате смернице за даљи развој ефикаснијих и еколошки прихватљивих метода за пречишћавање вода загађених фармацеутским супстанцама.

1. Kutuzova, A., Dontsova, T., Kwapinski, W.: Application of TiO₂-Based Photocatalysts to Antibiotics Degradation: Cases of Sulfamethoxazole, Trimethoprim and Ciprofloxacin. *Catalysts*. 11, 728 (2021). <https://doi.org/10.3390/catal11060728>
2. Guan, S., Hao, L., Lu, Y.: A Review on the Modification Strategies of TiO₂ Photocatalyst Coatings. *Journal of Applied Catalysis & Chemical Engineering*. 2, 30–50 (2021). <https://doi.org/10.17756/acce.2021-006>
3. Yoshida, H., Machida, M.: Catalytic Properties of Nanometric Metal Overlayers with Two-Dimensional Structures. *ChemCatChem*. 15, e202300771 (2023). <https://doi.org/10.1002/cctc.202300771>
4. Lee, B.-H., Gong, E., Kim, M., Park, S., Kim, H.R., Lee, J., Jung, E., Lee, C.W., Bok, J., Jung, Y., Kim, Y.S., Lee, K.-S., Cho, S.-P., Jung, J.-W., Cho, C.-H., Lebègue, S., Nam, K.T., Kim, H., In, S.-I., Hyeon, T.: Electronic interaction between transition metal single-atoms and anatase TiO₂ boosts CO₂ photoreduction with H₂O. *Energy and Environmental Science* 15, 601–609 (2022). <https://doi.org/10.1039/D1EE01574E>
5. Chen, Y., Wang, Y., Li, W., Yang, Q., Hou, Q., Wei, L., Liu, L., Huang, F., Ju, M.: Enhancement of photocatalytic performance with the use of noble-metal-decorated TiO₂ nanocrystals as highly active catalysts for aerobic oxidation under visible-light irradiation. *Applied Catalysis B: Environment and Energy* 210, 352–367 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.03.077>
6. Ginting, L.Y., Agusta, M.K., Nugraha, N., Lubis, A.H., Dipojono, H.K.: Cr, Fe - Doped Anatase TiO₂ Photocatalyst: DFT+U Investigation on Band Gap. *Advanced Materials Research* 893, 31–34 (2014). <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.893.31>
7. Gusarov, S.: Advances in Computational Methods for Modeling Photocatalytic Reactions: A Review of Recent Developments. *Materials*. 17, 2119 (2024). <https://doi.org/10.3390/ma17092119>
8. Wang, T., Qiu, S., Dai, Z., Hocking, R., Sun, C.: Exploration of TiO₂ as substrates for single metal catalysts: A DFT study. *Applied Surface Science* 533, 147362 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147362>
9. Fan, Y., Kong, D., Wang, F., Sun, Z., Yao, J., Chu, M., Zhou, Y., Tung, C., Wang, Y.: Sabatier Principle-Driven Single-Atom Coordination Engineering for Enhanced Fenton-Like Catalysis. *Small*. 21, 2409240 (2025). <https://doi.org/10.1002/sml.202409240>
10. Lin, C., Rohilla, J., Kuo, H., Chen, C., Mark Chang, T., Sone, M., Ingole, P.P., Lo, Y., Hsu, Y.: Density-Functional Theory Studies on Photocatalysis and Photoelectrocatalysis: Challenges and Opportunities. *Solar RRL*. 8, 2300948 (2024). <https://doi.org/10.1002/solr.202300948>

Г. Објављени радови и саопштења који чине део докторске дисертације

Као резултат ове дисертације проистекла су два рада у врхунским међународним часописима, два саопштења на међународним скуповима штампани у целини, два саопштења на међународним скуповима штампани у изводу и три саопштења на скуповима националног значаја штампани у изводу:

Рад у врхунском међународном часопису (M21):

1. **Kovačević, M., Živković, S., Ognjanović, M., Momčilović, M., Relić, D., Vasić Anićijević, D.:** In Silico Guided Design of Metal/Semiconductor Photocatalysts: A Case of Cu-Modified TiO₂ for Ciprofloxacin Degradation. *Materials*. 16, 5708 (2023). <https://doi.org/10.3390/ma16165708>
2. **Kovačević, M., Simić, M., Živković, S., Milović, M., Tolić Stojadinović, L., Relić, D., Vasić Anićijević, D.:** Uncovering Metal-Decorated TiO₂ Photocatalysts for Ciprofloxacin Degradation—A Combined Experimental and DFT Study. *International Journal of Molecular Sciences* 25, 11844 (2024). <https://doi.org/10.3390/ijms252111844>

Саопштења на међународним скуповима штампани у целини (M33):

1. **Kovačević M., Živković S., Milović M., Vasić Anićijević D.,** Cu -decorated TiO₂ nanoparticles as the photocatalytic material for ciprofloxacin degradation, 11th International Scientific Conference on Defensive Technologies - OTEX 2024, p. 553–556, Tara, Serbia, October 9-11, 2024, <http://dx.doi.org/10.5937/oteh24100k>
2. **Kovačević M., Simić M., Stojanović K., Aćimović D., Živković S., Brdarić T., Vasić Anićijević D.,** Photocatalytic degradation of ciprofloxacin with iron-modified titan(IV) oxide, 17th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, p.73-76, Belgrade, Serbia, September 23-27, 2024

Саопштења на међународним скуповима штампани у изводу (M34):

1. **Kovačević M., Simić M., Ječmenica Dučić M., Aćimović D., Savić B., Brdarić T., Vasić Anićijević D.,** A DFT study of adsorption of OER intermediates on rutile TiO₂ (100) surface, DISC2022 – 2nd DIFENEW International Student Conference, p. 46, Novi Sad, Serbia, December 6, 2022
2. **Kovačević M., Vasić Anićijević D.,** A DFT model predicts reactivity of metal decorated TiO₂ for photodegradation of organic pollutants, DISC2024 – 4th International Student Conference, p.56, Novi Sad, December 5-6, 2024

Саопштења на скуповима националног значаја штампани у изводу (M64):

1. **Kovačević M., Jovanović D., Živković S., Vasić Anićijević D.,** DFT screening of the adhesion affinity of transition metals on TiO₂ (001) surface, 9th Conference of Young Chemists of Serbia, p.99, Novi Sad, Serbia, November 4, 2023

2. **Kovačević M., Živković S., Vasić Anićijević D.,** Photodegradation of ciprofloxacin with Fe-modified TiO₂, 60th Meeting of the Serbian Chemical Society, p.74, Niš, Serbia, June 8-9, 2024
3. **Kovačević M., Radenković M., Lazić A., Živković S., Vasić Anićijević D.,** Photodegradation of ciprofloxacin with zirconium-modified titan(IV)-oxide, 10th Conference of Young Chemists of Serbia, p.102, Belgrade, Serbia, October 26, 2024

Д. Провера оригиналности докторске дисертације

Оригиналност докторске дисертације Марије Д. Ковачевић је проверена 23. априла 2025. године 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). Помоћу програма "iThenticate", утврђено је да количина подударарања текста износи 7%. Подударности од 1% су последица општих места, дефиниција, формула и описа коришћених експерименталних метода. Преостале подударности <1% су последица цитата, личних имена и звања, библиографских података у коришћеној литератури, назива и скраћеница једињења и инструменталних техника, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из докторске дисертације, што је у складу са чланом 9. овог Правилника. Комисија сматра да је докторска дисертација Марије Д. Ковачевић оригинална, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

Ђ. Закључак

На основу свега изложеног може се закључити да је у поднетој дисертацији под насловом *„Теоријско моделовање и припрема катализатора титан(IV)–оксида модификованих депозицијом d-метала за примену у фотодеградацији ципрофлоксацина“* кандидаткиња, мастер професор хемије Марија Д. Ковачевић, успешно одговорила на све постављене задатке који се тичу припреме модификованих материјала и предиктивног DFT модела за деградацију ципрофлоксацина.

Комисија сматра да резултати објављени у оквиру ове докторске дисертације представљају значајан и оригиналан научни допринос у области хемије животне средине имајући у виду системски приступ који обухвата већи број депонованих метала, упоредну примену експерименталних и теоријских техника, као и изложене иновације у теоријском опису титан(IV)-оксидних система и њихове применљивости за фотокаталитичку деградацију ципрофлоксацина.

Резултати истраживања проистекли из ове докторске дисертације објављени су у оквиру два научна рада у врхунским међународним часописима (M21), два саопштења на међународним скуповима штампани у целини (M33), два саопштења на међународним скуповима штампани у изводу (M34) и три саопштења на скуповима националног значаја штампани у изводу (M64).

На основу свега изложеног Комисија сматра да се ова дисертација уклапа у савремене трендове хемије животне средине, те на основу свега изложеног предлаже

Наставно–научном већу Универзитета у Београду – Хемијског факултета да прихвати поднету докторску дисертацију **Марије Д. Ковачевић** под насловом *„Теоријско моделовање и припрема катализатора титан(IV)–оксида модификованих депозицијом d-метала за примену у фотодеградацији ципрофлоксацина“* и одобри њену одбрану.

У Београду, 08.05.2025.

Комисија:

др Александар Поповић, редовни професор
Хемијски факултет – Универзитет у Београду

др Душан Вељковић, ванредни професор
Хемијски факултет – Универзитет у Београду

др Сања Живковић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“