

# УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ - ФАКУЛТЕТ ЗА ФИЗИЧКУ ХЕМИЈУ НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

На XI редовној седници Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, одржаној 07. 09. 2023. године именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидаткиње Данијеле Даниловић, мастер физикохемичара, под насловом:

**„Синтеза хибридних наносистема Ag-Bi-I и Ag-Ag<sub>2</sub>S и испитивање њихове електронске структуре фотоелектронском спектроскопијом аеросола“**

Одлуком Наставно-научног већа Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду, са X редовне седнице од 19. 07. 2021. године одобрена је израда докторске дисертације под наведеним насловом. На основу те одлуке, Веће научних области природних наука Универзитета у Београду је на својој седници одржаној 23. 09. 2021. године дало сагласност да се прихвати предложена тема докторске дисертације. Након прегледа и анализе докторске дисертације кандидаткиње, Наставно-научном већу подносимо следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### А. Приказ садржаја дисертације

Докторска дисертација кандидаткиње Данијеле Даниловић написана је на српском језику на 107 страна А4 формата куцаног текста (фонт Times New Roman величине 12 pt и прореда 1). Дисертација је припремљена према упутству за обликовање докторске дисертације Универзитета у Београду. Дисертација се састоји из 7 поглавља: **Увод** (2 стране), **Фотоемисиона спектроскопија хибридних наносистема** (36 страна), **Циљеви рада** (1 страна), **Синтеза хибридних наносистема Ag-Bi-I и Ag-Ag<sub>2</sub>S и експерименталне методе анализе** (11 страна), **Резултати и дискусија** (28 страна), **Закључци** (3 стране) и **Референце** (26 страна). У дисертацији је приказано 42 слике (12 у поглављу Фотоемисиона спектроскопија хибридних наносистема, 3 у поглављу Синтеза хибридних наносистема Ag-Bi-I и Ag-Ag<sub>2</sub>S и експерименталне методе анализе и 27 у поглављу Резултати и дискусија) од којих 30 слика приказују истраживање кандидаткиње.

У поглављу **Увод** описан је научни значај и примена хибридних наносистема Ag-Bi-I и Ag-Ag<sub>2</sub>S, као и фотоемисиона спектроскопија аеросола синхротронским зрачењем, као метода за испитивање електронске структуре хибридних наносистема.

Поглавље **Фотоемисиона спектроскопија хибридних наносистема** је подељено у четири целине. У првој целини Хибридни наносистеми, представљена су својства и типови синтезе наноматеријала, оптичке карактеристике наночестица племенитих метала и полупроводника, као и хибридних наноматеријала. У другој целини, Ag-Ag<sub>2</sub>S наносистеми, описане су карактеристике Ag и Ag<sub>2</sub>S наночестица, као конституената хибридног система, оптичка својства и примене Ag-Ag<sub>2</sub>S наночестица, као и специфичност Јанус морфологије хибридних система и њихова примена у фабрикацији микро/намотора. Трећа целина, Ag-Bi-I наносистеми, садржи детаљан опис

перовскитних материјала и Ag-Bi-I рудорфита као нове класе хибридних материјала, као потенцијалне замене за перовските у соларним ћелијама. У четвртој целини, Фотоелектронска спектроскопија аеросола синхротронским зрачењем, представљене су карактеристике синхротронског зрачења и описан принцип добијања спектра у две методе фотоемисионе спектроскопије синхротронским зрачењем, релевантне за истраживања у оквиру докторске дисертације.

У поглављу **Циљеви рада** наведени су конкретни циљеви истраживања у оквиру докторске дисертације и то: синтеза и карактеризација хибридних наносистема Ag-Ag<sub>2</sub>S и Ag-Bi-I и анализа њихове електронске структуре два метода фотоемисионе спектроскопије аеросола синхротронским зрачењем, као и синтеза Ag-Ag<sub>2</sub>S/TiO<sub>2</sub> хибридног наносистема ради испитивања њиховог кретања под утицајем светлости у видљивој и инфрацрвеној светлости.

Поглавље **Синтеза хибридних наносистема Ag-Bi-I и Ag-Ag<sub>2</sub>S и експерименталне методе анализе** садржи описане методе синтезе Ag<sub>3</sub>BiI<sub>6</sub> наночестица аеросола, Ag-Bi-I колоидних нанолистича, Ag-Ag<sub>2</sub>S Јанус наночестица и Ag-Ag<sub>2</sub>S/TiO<sub>2</sub> хетеронаносистема. У овом поглављу су описане и експерименталне методе за морфолошку и структурну карактеризацију и то, дифракција X-зрачења (XRD), трансмисиона електронска микроскопија (ТЕМ), скенирајућа електронска микроскопија (SEM) и микроскопија атомских сила (AFM), затим методе за испитивање оптичких особина UV-Vis апсорпциона и фотолуминисцентна спектроскопија, методе за испитивање електронске структуре, конвенционална фотоелектронска спектроскопија X-зрачењем, фотоелектронска спектроскопија аеросола синхротронским зрачењем у области меких X-зрака, фотоелектронска спектроскопија аеросола у VUV области са мапирањем расподеле брзина и CARS (Coherent Antistokes Raman Spectroscopy) микроскопију као методу за испитивање кретања Ag-Ag<sub>2</sub>S/TiO<sub>2</sub> наночестица. Такође, наведени су називи коришћених инструмената и услови експеримента за сваку описану методу.

Поглавље **Резултати и дискусија** се састоји од три целине. Прва целина представља резултате испитивања структуре и морфологије аеросола Ag<sub>3</sub>BiI<sub>6</sub> честица и резултате испитивања њихове електронске структуре. Друга целина садржи резултате структурне и морфолошке карактеризације и анализе електронске структуре Ag-Bi-I нанолистича. У трећој целини приказани су резултати карактеризације и анализе валентне електронске структуре Ag-Ag<sub>2</sub>S Јанус наночестица и синтезе и карактеризације Ag-Ag<sub>2</sub>S/TiO<sub>2</sub> наночестица и испитивање њиховог кретања под дејством видљиве и инфрацрвене светлости.

У поглављу **Закључци** су приказани најважнији резултати истраживања и закључци изведени из датих резултата.

Поглавље **Референце** садржи коришћену литературу приказану према редоследу навођења у дисертацији.

## Б. Кратак преглед остварених резултата

У оквиру истраживања ове докторске дисертације успешно су синтетисана два типа хибридних наноматеријала, Ag-Bi-I и Ag-Ag<sub>2</sub>S и испитана њихова електронска структура фотоелектронском спектроскопијом аеросола. Ag-Bi-I наночестице су припремљене без присуства лигананда, у две форме, као наночестице аеросола и као дводимензионални нанолистићи.

Ag-Bi-I наночестице у форми аеросола добијене су распршивањем раствора прекурсора AgI и BiI<sub>3</sub> (моларног односа 2:1) у органском растварачу диметилсулфоксиду (DMSO) помоћу атомизера. Скенирајућом електронском микроскопијом (SEM) је утврђено да су формиране наночестице сферног облика и средње величине 110 nm. Рендгенском структурном анализом (XRD) је, поређењем са референтним дифрактограмом, установљено да честице имају ромбоедарску Ag<sub>3</sub>BiI<sub>6</sub> структуру рудорфита. Фотоелектронском спектроскопијом аеросола синхротронским меким X-зрачењем (XAPS) анализирана је валентна област и унутрашњи нивои блиски валентним. Измерена енергија јонизације Ag<sub>3</sub>BiI<sub>6</sub> наночестица износи (6,1 ± 0,2) eV. Вредности везивних енергија унутрашњих нивоа блиске су вредностима везивних енергија одговарајућих нивоа у AgI и BiI<sub>3</sub> системима, што се и могло очекивати узимајући у обзир да је иста октаедарска координација катјона метала са ањјонима јода у AgI, BiI<sub>3</sub> и Ag<sub>3</sub>BiI<sub>6</sub>.

Ag-Bi-I нанолистићи су синтетисани растварањем мешавине прекурсора AgI и BiI<sub>3</sub> (чији је моларни однос такође 2:1 као у случају наночестица аеросола) у DMSO уз додатка 10 mM раствора натријум цитрата у DMSO као стабилизатора. Након сушења узорка, добијени прах је диспергован у ацетонитрилу, при чему је дошло до ексфолијације кристала у нанолистиће. XRD анализом праха и колоида, уочена је разлика у интензитетима дифракционих максимума што указује на ексфолијацију честица. Поређењем са референтним дифрактограмом, утврђено је да нанолистићи имају Ag<sub>3</sub>BiI<sub>6</sub> структуру, као и наночестице аеросола. Микроскопијом атомских сила (AFM) установљено је да су нанолистићи средње величине 160 nm. Дебљина добијених честица је у опсегу од 1 nm до 10 nm, са највећим бројем честица дебљине око 3,9 nm. Ово имплицира да се, узимајући у обзир да је дебљина једног слоја око 0,7 nm, нанолистићи у просеку састоје од 6 слојева. Енергија јонизације Ag-Bi-I нанолистића, измерена XAPS методом, има вредност (6,1 ± 0,2) eV. Утицај дебљине честица на оптичке особине нанолистића је анализиран је помоћу k-p Хамилтонијана за случај квантне јаме и показано је да се ширина забрањене зоне, максимум валентне зоне и минимум проводне зоне не мењају значајно са бројем слојева честица, већ да су оптичка својства Ag-Bi-I нанолистића блиска оптичким својствима Ag-Bi-I макроскопских кристала.

Ag-Ag<sub>2</sub>S наночестице припремљене су синтезом из раствора сулфидизацијом претходно формираних Ag наночестица (добијених редукцијом соли сребра у присуству средства за стабилизацију) тиоацетамидом (ТАА). Трансмисионом електронском микроскопијом (ТЕМ) установљено је да честице имају Јанус морфологију, а мерењем димензија великог броја честица, утврђено је да је средња величина Ag-Ag<sub>2</sub>S наночестица

16 nm. Фотоелектронском спектроскопијом аеросола синхротронским зрачењем са мапирањем расподеле фотоелектрона у далекој ултраљубичастој области (VUV VMI-PES) анализирана је валентна структура Ag-Ag<sub>2</sub>S Јанус наночестица. Реконструкцијом мапа расподела брзина фотоелектрона помоћу Абелове трансформације применом модификованог pBasex метода су добијени фотоелектронски спектри и вредности параметра асиметрије  $\alpha$  у зависности од енергије фотона. Измерена енергија јонизације износи 4,5 eV и приказано је да највећи допринос валентном региону потиче од 4d и 5s нивоа сребра. Параметар асиметрије у области нижих кинетичких енергија фотоелектрона има приближно константну вредност, која износи око 0,6 при енергијама фотона од 9,5 eV и 11 eV. Са друге стране, у области виших кинетичких енергија фотоелектрона, вредност параметра асиметрије нагло расте услед нееластичног расејања фотоелектрона.

Ag-Ag<sub>2</sub>S Јанус наночестице су искоришћене за формирање хибридног наносистема са TiO<sub>2</sub>. Формиране наносфере имају средњи дијаметар 200 nm. Испитано је кретање добијених Ag-Ag<sub>2</sub>S/TiO<sub>2</sub> хибридних наночестица под утицајем зрачења у видљивој и инфрацрвеној области електромагнетног спектра. Показано је да деловањем зрачења у видљивој области (таласних дужина 405 nm, 500 nm и 600 nm) не долази до значајног померања честица већ да се њихово кретање може описати као Брауново. У области блиског инфрацрвеног зрачења (таласних дужина 700 nm, 800 nm и 900 nm) долази до кретања наночестица брзинама које превазилазе вредности брзина Брауновог кретања на собној температури. Под утицајем зрачења таласне дужине 700 nm брзине честица достижу вредност до 16  $\mu\text{m/s}$ , док њихов померај до 11  $\mu\text{m}$ .

## **В. Упоредна анализа резултата кандидата са резултатима из литературе**

Сребро бизмут јодид (Ag-Bi-I) рудорфити су полупроводници који се у научним истраживањима претежно испитују као апсорпциони слој у соларним ћелијама. Изучавање овог типа материјала проистекло је из потребе да се нађу заменски апсорпциони слојеви за олово-халидне перовските. Наиме, употребом олово-халидних перовскита постижу се изузетне вредности конверзије светлосне енергије у електричну, али токсичност олова и хемијска нестабилност перовскита при амбијенталним условима ограничавају ширу примену ових материјала. Ag-Bi-I су до сада углавном синтетисани као макроскопски материјали, у форми танких филмова из раствора прекурсора AgI и BiI<sub>3</sub> у органском растварачу или у форми праха жарењем прекурсора на високим температурама [1-3]. У једном истраживању добијене су Ag-Bi-I квантне тачке, али уз употребу молекула лигананда [4]. У том смислу, један од циљева истраживања ове докторске дисертације је синтеза Ag-Bi-I рудорфита у форми наноматеријала, како би се потенцијално могла контролисати величина честица и како би њихова инкорпорација у соларне ћелије била једноставнија. Ag-Bi-I могу кристализовати у две фазе, у зависности од моларног односа прекурсора [2, 3]. Истраживања су показала да се боље вредности ефикасности конверзије светлосне енергије постижу са Ag-Bi-I материјалима са већим уделом сребра, а највиша до сада постигнута вредност од 4,3 % добијена је употребом рудорфита Ag<sub>3</sub>BiI<sub>6</sub> хемијског састава [3]. Из тог разлога је синтеза Ag-Bi-I наночестица у оквиру ове дисертације усмерена ка добијању Ag<sub>3</sub>BiI<sub>6</sub> фазе. Како би се утврдило да је апсорбујући материјал

компатибилан са материјалима за транспорт електрона и шупљина у соларним ћелијама потребно је познавати његову валентну електронску структуру, односно ширину забрањене зоне и енергије максимума валентне зоне и минимума проводне зоне. За макроскопске Ag-Bi-I рудорфите вредности ширине забрањене зоне ( $E_g$ ) се налазе у опсегу 1,50-1,9 eV, максимум валентне зоне (VBM) у опсегу 5,3-6,4 eV, док је минимум проводне зоне (CBM) у опсегу 3,6-4,3 eV [2, 3]. Вредности  $E_g$ , VBM и CBM добијене за испитиване Ag-Bi-I наночестице у оквиру ове дисертације су блиске вредностима добијеним за макроскопске материјале, што значи да се Ag-Bi-I наноматеријали могу користити као апсорбујући материјал у соларним ћелијама.

Једна од карактеристика перовскита јесте да у форми слојевитих 2D материјала и квантних тачки испољавају квантни ефекат ограничења, односно да им се оптичка својства мењају смањењем димензија [4]. У случају Ag-Bi-I рудорфита постоји пар истраживања 2D слојевитих структура који су формирану уз помоћ различитих органских молекула. У тим структурама оптичке карактеристике материјала зависе од размака између слојева, који дефинишу органски молекули [5]. Ширина забрањене зоне ових структура је виша у односу на ширину забрањене зоне макроскопских Ag-Bi-I материјала. У случају Ag-Bi-I колоидних нанолистича, синтетисаних у оквиру докторске дисертације, који су формирану без присуства лиганата, показано је да се оптичка својства не мењају са променом броја слојева.

Ag-Ag<sub>2</sub>S племенити метал-полупроводник хибридни наносистем се највише изучава за фотокаталитичку деградацију органских боја, као што су метиленско плаво и метил оранж и фотокаталитичку продукцију водоника под дејством видљиве светлости [6, 7]. Са друге стране, показано је да су антимикробна својства сребра унапређена у хибридном систему са сребро сулфидом. Ag-Ag<sub>2</sub>S наносистеми су до сада углавном синтетисани у језгро-омотач и хетеродимерним формама, као што су Јанус морфологије [6, 8]. Установљено је да су фотокаталитичке перформансе унапређене код Јанус честица односу на језгро-омотач честице.

Ag-Ag<sub>2</sub>S наночестице могу формирати хетеронаносистеме са TiO<sub>2</sub> чиме се опсег апсорпције проширује од ултраљубичасте до инфрацрвене области електромагнетног зрачења [9]. TiO<sub>2</sub> је један од најиспитиванијих материјала у конструкцији Јанус микро/наномотора [10]. Градећи Јанус форме са Au или Pt формирају се микро/наномотори чије се кретање индукује или каталитичком реакцијом у води уз присуство горива као што је водоник пероксид или фотокаталитичком реакцијом под дејством ултраљубичасте светлости. Како би микро/наномотори имали ширу примену у биолошким и истраживањима у области животне средине, неопходно је њихово кретање индукувати зрачењем у видљивој и инфрацрвеној области електромагнетног зрачења. У овој дисертацији испитано је кретање Ag-Ag<sub>2</sub>S/TiO<sub>2</sub> под дејством видљиве и инфрацрвене светлости.

## Референце:

- [1] Kim, Y., Yang, Z., Jain, A., Voznyy, O., Kim, G. H., Liu, M., ... & Sargent, E. H. (2016). Pure Cubic-Phase Hybrid Iodobismuthates  $\text{AgBi}_2\text{I}_7$  for Thin-Film Photovoltaics. *Angewandte Chemie International Edition*, 55(33), 9586-9590. <https://doi.org/10.1002/anie.201603608>
- [2] Khazaee, M., Sardashti, K., Chung, C. C., Sun, J. P., Zhou, H., Bergmann, E., ... & Mitzi, D. B. (2019). Dual-source evaporation of silver bismuth iodide films for planar junction solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(5), 2095-2105. <https://doi.org/10.1039/C8TA08679F>
- [3] Turkevych, I., Kazaoui, S., Ito, E., Urano, T., Yamada, K., Tomiyasu, H., ... & Aramaki, S. (2017). Photovoltaic rudorffites: lead-free silver bismuth halides alternative to hybrid lead halide perovskites. *ChemSusChem*, 10(19), 3754-3759. <https://doi.org/10.1002/cssc.201700980>
- [4] Premkumar, S., Liu, D., Zhang, Y., Nataraj, D., Ramya, S., Jin, Z., ... & Gui, J. (2020). Stable lead-free silver bismuth iodide perovskite quantum dots for UV photodetection. *ACS Applied Nano Materials*, 3(9), 9141-9150. <https://doi.org/10.1021/acsanm.0c01787>
- [5] Li, X., Traore, B., Kepenekian, M., Li, L., Stoumpos, C. C., Guo, P., ... & Kanatzidis, M. G. (2021). Bismuth/silver-based two-dimensional iodide double and one-dimensional Bi perovskites: interplay between structural and electronic dimensions. *Chemistry of Materials*, 33(15), 6206-6216. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.1c01952>
- [6] Zhang, H., Chen, M., Wang, D., Xu, L., & Liu, X. (2016). Laser induced fabrication of mono-dispersed  $\text{Ag}_2\text{S}@\text{Ag}$  nano-particles and their superior adsorption performance for dye removal. *Optical Materials Express*, 6(8), 2573-2583. <https://doi.org/10.1364/OME.6.002573>
- [7] Sadovnikov, S. I., Kozlova, E. A., Gerasimov, E. Y., & Rempel, A. A. (2017). Photocatalytic hydrogen evolution from aqueous solutions on nanostructured  $\text{Ag}_2\text{S}$  and  $\text{Ag}_2\text{S}/\text{Ag}$ . *Catalysis Communications*, 100, 178-182. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2017.07.004>
- [8] Liu, W., Zhang, J., Peng, Z., Yang, X., Li, L., Chen, Q., ... & Wang, K. (2018). Controlled formation of  $\text{Ag}_2\text{S}/\text{Ag}$  Janus nanoparticles using alkylamine as reductant surfactants. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 544, 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.02.021>
- [9] Jiang, F., Tian, Q., Tang, M., Chen, Z., Yang, J., & Hu, J. (2011). One-pot synthesis of large-scaled Janus  $\text{Ag}-\text{Ag}_2\text{S}$  nanoparticles and their photocatalytic properties. *Crystal Energy Communication*, 13(24), 7189-7193. <https://doi.org/10.1039/C1CE05632H>
- [10] Dong, R., Zhang, Q., Gao, W., Pei, A., & Ren, B. (2016). Highly efficient light-driven  $\text{TiO}_2$ -Au Janus micromotors. *ACS Nano*, 10(1), 839-844. <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b05940>

## Г. Научни радови и саопштења публиковани из резултата дисертације

Кандидаткиња је коаутор три научна рада објављена у међународним часописима и шест саопштења са међународних научних скупова штампаних у изводу који су публиковани из резултата дисертације

### Радови у врхунском међународном часопису (M21)

1. **Danijela Danilović**, Dušan K. Božanić, Radovan Dojčilović, Nenad Vukmirović, Pitambar Sapkota, Ivana Vukašinović, Vladimir Djoković, John Bozek, Christophe Nicolas, Sylwia Ptasinska i Aleksandar R. Milosavljević.

**Aerosol Synthesis and Gas-Phase Photoelectron Spectroscopy of Ag-Bi-I Nanosystems.**

*The Journal of Physical Chemistry C* **2020** 124 (43), 23930-23937

<https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c06819>

### Радови у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **Danijela Danilović**, Aleksandar R. Milosavljević, Pitambar Sapkota, Radovan Dojčilović, Dragana Tošić, Nenad Vukmirović, Milan Jocić, Vladimir Djoković, Sylwia Ptasinska i Dušan K. Božanić.

**Electronic Properties of Silver–Bismuth Iodide Rudorffite Nanoplatelets.**

*The Journal of Physical Chemistry C* **2022** 126 (32), 13739-13747

<https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.2c03208>

### Радови у међународном часопису (M23)

1. **Danilović, D.**, Božanić, D., Garcia, G. A., Nahon, L., Stamenović, U., Vodnik, V., & Djoković, V.

**Velocity Map Imaging VUV Angle-Resolved Photoelectron Spectroscopy of Isolated Silver Sulfide Nanoparticles.**

*Optical and Quantum Electronics.* **2022** 54 (604)

<https://doi.org/10.1007/s11082-022-03972-6>

### Саопштења са међународних научних скупова штампаних у изводу (M34)

1. **D. Danilović**, A. Milosavljević, P. Sapkota, R. Dojčilović, D. Tošić, N. Vukmirović, M. Jocić, V. Djoković, S. Ptasinska, D.K. Božanić, Silver-Bismuth Iodide nanoplatelets: Synthesis, characterization and electronic structure, The 1st Serbian Conference on Materials Application and Technology SCOM, October 2022, Belgrade, Serbia, The book of abstract, p. O-14, ISBN-978-86-904450-1-1.
2. D.K. Božanić, **D. Danilović**, A. Milosavljević, S. Sapkota, R. Dojčilović, D. Tošić, N. Vukmirović, S. Ptasinska, and V. Djoković, Silver-Bismuth Iodide Rudorffites as Light

Absorbers in Photovoltaic Devices, The 1st Serbian Conference on Materials Application and Technology SCOM, October 2022, Belgrade, Serbia, The book of abstract, p. I-2, ISBN-978-86-904450-1-1.

3. D. K. Božanić, **D. Danilović**, A. R. Milosavljević, P. Sapkota, R. Dojčilović, D. Tošić, N. Vukmirović, S. Ptasinska, V. Djoković, Electronic structure of silver-bismuth iodide rudorffite nanomaterials studied by synchrotron radiation soft X-ray photoemission spectroscopy, Serbian Ceramic Society Conference -Advanced Ceramics and Application X, September 2022, Belgrade, Serbia, The book of abstract, p.59, ISBN 978-86-915627-9-3.
4. **D. Danilović**, R. Dojčilović, D. K. Božanić, A. R. Milosavljević, D. Dudić, P. Sapkota, S. Ptasinska, and V. Djoković, Silver bismuth iodide rudorffites as potential lead-free hybrid photovoltaic materials, The 6th International Conference on the Physics of Optical Materials and Devices ICOM2022, August 2022, Belgrade, Serbia, The book of abstract, p.50, ISBN-978-86-904450-0-4.
5. **Danijela Danilović**, Dušan K. Božanić, Aleksandar R. Milosavljević, Radovan Dojčilović, Dragana Tošić, Vladimir Djoković, Pitambar Sapkota, Sylwia Ptasinska, Nenad Vukmirović, 2D silver-bismuth-iodide rudorffite nanomaterials for photovoltaic devices: a novel route for chemical synthesis of Ag<sub>3</sub>BiI<sub>6</sub> nanosheet, VIII International School and Conference on Photonics, August 2021, Belgrade, Serbia, The book of abstract, p. 76, ISBN 978-86-82441-53-3.
6. **D. Danilović**, D.K. Božanić, N. Vukmirović, P. Sapkota, R. Dojčilović, J. Pajović, J. Bozek, C. Nicolas, S. Ptasinska and A. Milosavljević, X-ray photoelectron spectroscopy of nanocrystals for solar cells absorbers isolated in vacuo, Molecular Dynamics in the Gas phase MD-GAS, February 2020, Caen, France, The book of abstract.

#### **Д. Провера оригиналности докторске дисертације**

Према процедуралној корекцији бр. 612-2380/1-23, од 28. јуна 2023. године, провера оригиналности ће се извршити након обнављања лиценце за софтвер iThenticate, а пре слања тезе и овог извештаја на коначно одобрење надлежној комисији Универзитета у Београду.

#### **Ђ. Закључак комисије**

На основу изложеног може се закључити да резултати кандидаткиње Данијеле Даниловић представљају оригиналан и значајан научни допринос у области физичке хемије, нарочито у области физичке хемије спектрохемије и физичке хемије материјала. Део резултата докторске дисертације кандидаткиње публикован је у научним часописима и то, један у врхунском међународном часопису (категирија М21), један у истакнутом међународном часопису (категирија М22) и један у међународном часопису (категирија М23). Додатно, из резултата докторске дисертације проистекло је и шест саопштења са међународног научног скупа штампаних у изводу (категирија М34). У складу са наведеним, комисија сматра да кандидаткиња испуњава све услове за прихватање завршене докторске дисертације прописане од стране Универзитета у Београду и услове дефинисане Правилником о изради и оцени докторске дисертације на Факултету за физичку хемију Универзитета у Београду.



На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује дисертацију мастер физикохемичара Данијеле Даниловић под називом: „Синтеза хибридних наносистема **Ag-Bi-I** и **Ag-Ag<sub>2</sub>S** и испитивање њихове електронске структуре фотоелектронском спектроскопијом аеросола“ и предлаже Наставно-научном већу Факултета за физичку хемију Универзитета у Београду да прихвати ову оцену Комисије, чиме би били испуњени услови за одобрење јавне одбране докторске дисертације и стицања звања кандидаткиње доктор физикохемијских наука.

У Београду, 26. 09. 2023. године.

Чланови комисије

---

др Владимир Ђоковић, научни саветник,  
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“  
Институт од националног значаја за Републику Србију

---

др Љиљана Дамјановић-Василић, редовни професор,  
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

---

др Бојана Недић Васиљевић, ванредни професор,  
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

---

др Ивана Стојковић Симатовић, ванредни професор,  
Универзитет у Београду – Факултет за физичку хемију

---

др Јелена Пајовић, научни сарадник,  
Универзитет у Београду – Физички факултет