

Научном већу Института за физику у Београду

Извештај комисије за избор др Бојане Вишић у звање виши научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 15.12.2020. године именовани смо у комисију за избор др Бојане Вишић у звање виши научни сарадник по убрзаном поступку.

Прегледом материјала који нам је достављен, као и на основу личног познавања кандидаткиње и увида у њен рад и публикације, Научном већу Института за физику у Београду подносимо овај извештај.

1 Биографски подаци кандидата

Бојана Вишић је рођена 23. 02. 1983. године у Ваљеву. Ваљевску гимназију је завршила 2002. године, након које је уписала основне студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Теоријска и експериментална физика. Током студија је била стипендиста Министарства просвете. Дипломирала је 2007. године, у Лабораторији за квантну и математичку физику под руководством проф. Милана Дамњановића, дипломским радом под називом “Интеракција електрона са тотално симетричним оптичким модама код метал-дисулфидних зиг-заг нанотуба”. Студије је завршила са просеком 9.42. У истој лабораторији је наставила мастер студије, које је завршила 2008. године. У том периоду (2007-2008) је била запослена као истраживач приправник на пројекту одличности NanoLabFor, EU FP6 026303.

Докторске студије је уписала 2009. године на катедри за Физику чврстог стања Факултета за математику и физику у Љубљани, Словенија, под менторством проф. Маје Ремшкар. Докторску дисертацију под називом “Physical properties of nanoflakes produced by exfoliation of MoS₂ nanotubes and their respective polymer nanocomposites” је одбранила 24. 10. 2013. За време докторских студија је била запослена на Институту Јожеф Стефан у Љубљани, на одсеку за Физику чврстог стања у Лабораторији за синтезу неорганских нанотуба.

Од септембра 2013. до јануара 2017. године се налазила на постдокторским студијама на Weizmann Institute of Science, Реховот, Израел, где јој је ментор био проф. Reshef Tenne, на одсеку Material science and Interfaces. У овом периоду је била Marie Curie Research Fellow у оквиру пројекта (EU ITN 317451) под именом MoWSeS у прве три године, преостало време је финансирано од стране одсека.

Од фебруара 2017. до децембра 2018. је била на постдокторским студијама на Институту Јожеф Стефан у Љубљани, на одсеку за Физику чврстог стања у Лабораторији за синтезу неорганских нанотуба, финансираним од стране пројекта Physics of Soft Matter, Surfaces and Nanostructures, Slovenian Research Agency, P1-0099. У периоду 2018-2019 је била вођа индустријског пројекта са компанијом “Hyla”, о ресуспензији и одстрањивању наночестица из ваздуха по стандарду SIST EN 60312-1.

Од децембра 2018. је запослена на Институту за физику у Београду, у Центру за физику чврстог стања и нове материјале. До 2019. године је била у ангажована је на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја III45018 “Наноструктурни мултифункционални материјали и нанокompозити” (руководилац др Зоран Поповић).

Б. В. је своје знање значајно проширила на великом броју научних школа и конференција, попут „Coating deposition training course”, Olten, Switzerland, 2009; “Two-dimensional inorganic materials (2DIM): property simulations, from band structure to devices” у Lausanne, Switzerland 2014; “Microscopy Workshop”, CRANN (Centre for Research on Adaptive Nanostructures and Nanostructures and Nanodevices), Dublin, Ireland, 2014.; “CVD growth workshop”, Aachen Germany, 2016. Такође је учествовала у организацији конференције “Nanoparticles at the interface between biology and the materials world” која је била одржана у Реховоту, Израел, 2015. У 2015. години је имала двомесечни студијски боравак на Одсеку за комплексне материјале института Јожеф Стефан, Словенија и једномесечну посету Фемтосекундној лабораторији у Politecnico di Milano, Италија. Током 2018. и 2019. је имала више посета институту Јожеф Стефан, Словенија, ради наставка сарадње.

Током досадашњег рада, кандидаткиња је коаутор 22 публикација објављених у међународним часописима (од тога 3 рада категорије M21a и 13 радова категорије M21). Има развијену међународну научну сарадњу од којих се највише истичу групе у Израелу (Weizmann Institute of Science), Словенији (Institut Jozef Stefan) и Италији (Politecnico di Milano).

2 Преглед научне активности

Научно-истраживачки рад Б. В. је превасходно у области наноматеријала и њихове карактеризације. За време докторских студија у Љубљани, кандидаткиња се бавила проучавањем раслојавања молибден-дисулфидних нанотуба, њиховом карактеризацијом и оптичким особинама, као и полимерним композитима самих нанотуба. Докторирала је на теми “Physical properties of nanoflakes produced by exfoliation of MoS₂ nanotubes and their respective polymer nanocomposites”, урађеној под руководством проф. Маје Ремшкар у Лабораторији за синтезу ненормалних нанотуба.

На постдокторским студијама на Weizmann Institute of Science у Израелу, кандидаткиња се бавила проучавањем оптичких особина волфрам-дисулфидних нанотуба, као и утицајем декорације чистих нанотуба наночестицама племенитих метала (попут злата и паладијума). Такође, проучавала је утицај допирања ренијумом на оптичке особине молибден-дисулфидних фулерена. Главна активност је била на објашњавању неравнотежне динамике квазичестица (хибридних стања) које настају интеракцијом између ексцитона и шупљине (cavity mode) у WS₂ нанотубама. Показано је да се ове нанотубе не понашају као типични полупроводници, због дефеката и дислокација који се појављују током високотемпературне синтезе, и појаве великог броја слободних носилаца наелектрисања. За објашњавање оптичких особина и динамике носилаца електрона, користила је фемтосекундну „pump-probe“ спектроскопију. Променом морфологије, из нанотубе у фулерен, и материјала из WS₂ у MoS₂ (са и без допирања), као и медијума (од воде до аерогелова), мења се и

природа и време живота носилаца наелектрисања.

На постдокторским студијама на Институту Јожеф Стефан, поред нанотуба, бавила се и синтезом и карактеризацијом посебних фаза волфрамових субоксида. Друга сфера интересовања је детекција наночестица у ваздуху, која комбинује физику и очување животне средине.

Научно-истраживачки рад се може поделити у шест целина. Напомена: радови објављени након претходног избора у звање су означени звездицом (*).

2.1 Оптичке особине нанотуба на бази дихалкогенида прелазних материјала

Главни део научне активности кандидаткиње је током докторских и постдокторских студија био фокусиран на оптичке особине MoS_2 и WS_2 .

Показано је да полупроводне WS_2 нанотубе поседују оптичку шупљину (optical cavity) као последицу цилиндричног облика и броја слојева, као и диполе кроз екцитонске резонанце. Јака интеракција (strong coupling) ова два типа резонанци модификује њихову "light-matter" интеракцију (LMI) и доводи до формације "електрон-поларитон" квазичестице. Проучаване су и равнотежна и неравнотежна динамика ових интеракција како експериментално (UV-Vis и "pump-probe" техникама) и тако и теоријски (FDTD и PCO моделима), са циљем да се квантификује утицај ових интеракција на оптичке спектре нанотуба. Показано је да су параметри који највише утичу на динамику положај (енергија) и ширина A ексцитона, као и јачина интеракције A ексцитона и оптичке шупљине.

Такође је проучаван и процес течног раслојавања (ексфолијације) MoS_2 нанотуба у љуске са малим бројем слојева (углавном 1, не више од 5). Наиме, највећи проблем при раслојавању регуларног кристала у води је да се временом (које варира од пар дана до недеља), слојеви поново залепе, због van der Waals интеракције између њих. Показано је да се због дефеката на површини ове нанотубе лако ексфолирају и да, због закривљене морфологије, овако раслојене љуске остају стабилне у води и до више месеци. Карактеризација је проучавана путем XRD, SEM и AFM микроскопије, и показано да је већина љуски заиста састављена од једног молекуларног MoS_2 сендвича. Један од главних показатеља преласка из вишеслојног кристала у једнослојни је у оптичким особинама: A и B ексцитонски прелази се губе, и поново враћају након што се слојеви опет споје. У случају раслојених нанотуба, чак и после два месеца, ексцитонски прелази нису видљиви у апсорцијском спектру.

Са друге стране, када је проучаван процес старења раслојених нанотуба диспергираних у етанолу, примећено је да овакав раствор временом из светло браон боје прелази у плаву. SEM и AFM су показали да се на ивицама ових љуски појављују сфере пречника од 1.6 нм до 10 нм. Коришћењем филтера и уклањањем већих љуски, добијене су и самостојеће сфере, иако се углавном агломеришу у кластере у облику престена. UV-VIS и XPS мерења су показала да се оваква диспезија значајно разликује од спектра MoS_2 , те да се материјал трансформисао. XPS је показао да се Mo трансформише из $4+$ у $5+$ и $6+$ (оксидација), а S из $2-$ у $4+$ и $6+$. Ова оксидациона стања се не могу доделити MoS_2 , и показано је да припада

макромолекулу у литератури познатом као “molibdenum blue”.

Уз карактеризацију материјала, Б. В. је радила и на развоју синтетичког процеса ових наноматеријала који не користи токсичне материјале. У сарадњи са групом из Крита, развијен је метод синтезе ласерском аблацијом, на собној температури. Овом методом синтетисани су MoS_2 фулерени и WS_2 нанотубе.

Публикације из ове области рада су:

- *B. Višić, L. Yadgarov, EAA Pogna, S. Dal Conte, V. Vega-Mayoral, D. Vella, R. Tenne, G. Cerullo, and C. Gadermaier. Ultrafast nonequilibrium dynamics of strongly coupled resonances in the intrinsic cavity of WS_2 nanotubes. *Physical Review Research*, 1(3), 033046 (2019).
- *L. Yadgarov, B. Višić, T. Abir, R. Tenne, AY Polyakov, R. Levi, T. Dolgova, V. Zubyuk, A. Fedyanin, E. Goodilin, D. Oron. Strong light-matter interaction in tungsten disulfide nanotubes. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 20(32), 20812-20820 (2018).
- *B. Višić, L.S. Panchakarla, R. Tenne. Inorganic Nanotubes and Fullerene-like Nanoparticles at the Crossroads between Solid-State Chemistry and Nanotechnology. *Journal of the American Chemical Society*, 139, 12865-12878 (2017).
- *K. Savva, B. Višić, R. Popovitz-Biro, E. Stratakis, R. Tenne. Short Pulse Laser Synthesis of Transition-Metal Dichalcogenide Nanostructures under Ambient Conditions. *ACS Omega*, 2, 2649-2656 (2017).
- B. Višić. Properties of two-dimensional graphene-like materials. *Nanomaterials and Energy*, 4, 18-29 (2015).
- B. Višić, M.K. Gunde, J. Kovac, I. Iskra, J. Jelenc, M. Remskar. MoS_2 nanotube exfoliation as new synthesis pathway to molybdenum blue. *Materials Research Bulletin*, 48, 802-806 (2013).

2.2 Декорација и допирање нанотуба металима

Површинска декорација нанотуба и фулерена металним наночестицама (Au, Ag и Pd) је интересантна како по питању саме синтезе, тако и за модификацију оптичких особина.

Показано је да се WS_2 могу успешно декорисати наночестицама паладијума величине око 5 nm, уз површинску покривеност од 40%. Додавање Pd не мења хемијску структуру нанотубе, већ доводи до епитаксијалне везе, што је утврђено XPS спектроскопијом и ТЕМ микроскопијом високе резолуције. Такође је утврђено да се овакве композитне наночестице понашају као одлични катализатори у cross-coupling Heck и Suzuki реакцијама.

Компатибилност параметара кристалне решетке између ових нанокристалних материјала и јаки хемијски афинитет доводе до ефикасног повезивања металних наночестица и спољашњег слоја сумпора у MS_2 структурама. Показано је да оваква функционализација доводи до сужавања енергијског процепа (band gap), повећава

радну функцију и побољшава surface-enhanced Раман расејање.

Такође, допирање ових наноматеријала може да доведе до модификације њихових физичких особина. Допирање WS_2 и MoS_2 необијумом (Nb) се може контролисати на изузетно прецизном нивоу (мањем од 0.1 ат. %), што омогућује контролу радне функције и енергијског процеса. Показано је да Nb^{5+} јони мењају Mo^{4+} јоне у тетрагоналној решетки Nb-Mo-O прекурсора. Позитивно наелектрисање које доноси Nb делимично компензује негативно површинско наелектрисање које потиче од унутрашњих дефеката (недостатак сумпора), што је показано мерењем зета-потенцијала.

Наведени резултати су приказани у следећим радовима:

- *R, Rosentsveig, L. Yadgarov, Y. Feldman, S. Shilstein, R. Popovitz-Biro, B. Višić, A. Sedova, S. R. Cohen, Y. Li, A. Frenkel. Doping of Fullerene-Like MoS_2 Nanoparticles with Minute Amounts of Niobium. *Particle and Particle Systems Characterization*, 35(3), 1700165 (2018).
- *P. Ranjan, S. Shankar, R. Popovitz-Biro, S.R. Cohen, I. Kaplan-Ashiri, T. Dadosh, L.J.W. Shimon, B. Višić, R. Tenne, M. Lahav, M.E. van der Boom. Decoration of Inorganic Nanostructures by Metallic Nanoparticles to Induce Fluorescence, Enhance Solubility, and Tune Band Gap. *The Journal of Physical Chemistry C*, 122, 6748-6759 (2018).
- A.Y. Polyakov, A. Nesterov, A. Goldt, V. Zubyuk, T. Dolgova, L. Yadgarov, B. Višić, A. Fedyanin, R. Tenne, E. Goodilin. Optical properties of multilayer films of nanocomposites based on WS_2 nanotubes decorated with gold nanoparticles. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, pp. 012046 (2015).
- B. Višić, H. Cohen, R. Popovitz-Biro, R. Tenne, V. I. Sokolov, N. V. Abramova, A. G. Buyanovskaya, S. L. Dzvonkovskii, O. L. Lependina. Direct Synthesis of Palladium Catalyst on Supporting WS_2 Nanotubes and its Reactivity in Cross-Coupling Reactions. *Chemistry-An Asian Journal*, 10, 2234-2239 (2015).

2.3 Композити на бази нанотуба

Неорганске нанотубе се могу додавати у полимере, аерогел или легуре, што доводи до побољшања механичких особина код оваквих композита.

Када се MoS_2 нанотубе додају полимеру PVDF, индукују нови политип у полимеру. PVDF је познат по томе што има више фаза од којих је γ пиезоелектрична, док стандардна α нема те особине. Прелаз из α и γ се дешава под високим притисцима или ниским температурама. Показано да се нанотубе одлично диспергирају унутар полимерне матрице, коју додатно стабилизују и мењају у новооткривен 2b-политип γ фазе на собној температури. Након што се ова фаза подвргне температури од $110^\circ C$, враћа се у α фазу. Промена морфологије је праћена Раман спектроскопијом и појавом нових врхова у спектру, као и СЕМ и АФМ микроскопијом, где је документована промена морфологије из дендритне α фазе у сферулитну морфологију γ фазе.

Такође је показано да се додавањем нанотуба у PVDF полимер коефицијент трења значајно смањује. Раман спектроскопијом је утврђено да тестови трења иницирају

фазну трансформацију полимера из α и γ и β . У сарадњи са групом из ENEA института у Италији, проучавани су композити са РЗНТ полимером припремљених “spin coating” методом. Фотолуминесценција самог полимера се смањује с додавањем нанотуба.

Контролисано додавање мање од 0.1 wt. % WS₂ нанотуба у високопорозне аерогелове на бази силицијума задржава мезопорозну структуру аерогела и значајно побољшава механичке особине. Како се концентрација нанотуба повећава, мењају се и оптичке особине. За разлику од нанотуба диспергираних у води и етанолу, где су електрон-поларитон квазичестице доминантне у оптичком спектру, ефекти расејања самог аерогела проширују и заравњују ове врхове.

WS₂ нанотубе и фулерени су додати и у AA6061 алуминијумску легуру, што је довело до значајног побољшања (до 68%) чврстине, затезне чврстоће и границе елатичности. Мора се напоменути да са повећањем удела нанотуба (преко 0.5 wt.%) долази до погоршања ових параметара због агрегације.

Наведени резултати су приказани у следећим радовима:

- *A. Sedova, B. Višić, V. Vega-Mayoral, D. Vella, C. Gadermaier, H. Dodiuk, S. Kenig, R. Tenne, R. Gvishi, G. Bar. Silica aerogels as hosting matrices for WS₂ nanotubes and their optical characterization. *Journal of Materials Science*, 55, 7612-7623 (2020).
- *S. J. Huang, W. Y. Peng, B. Višić, A. Zak. Al alloy metal matrix composites reinforced by WS₂ inorganic nanomaterials. *Materials Science and Engineering:A*, 709, 290-300 (2018).
- A. Varlec, S.A. Mansour, T.D. Luccio, C. Borriello, A. Bruno, J. Jelenc, B. Višić, M. Remskar. Microscopic and spectroscopic investigation of MoS₂ nanotubes/PЗНТ nanocomposites. *Physica status solidi (a)*, 210, 2335-2340 (2013).
- M. Remskar, J. Jelenc, B. Višić, A. Varlec, M. Cesarek, A. Krzan. Friction properties of polyvinylidene fluoride with added MoS₂ nanotubes. *Physica status solidi (a)*, 210, 2314-2319 (2013).
- B. Višić, M.K. Gunde, J. Kovac, I. Iskra, J. Jelenc, M. Remskar. MoS₂ nanotube exfoliation as new synthesis pathway to molybdenum blue. *Materials Research Bulletin*, 48, 802-806 (2013).
- M. Remskar, I. Iskra, J. Jelenc, S. D. Skapin, B. Višić, A. Varlec, A. Krzan. A novel structure of polyvinylidene fluoride (PVDF) stabilized by MoS₂ nanotubes. *Soft Matter*, 9, 8647-8653 (2013).

2.4 Феромагнетни van der Waals материјали

Температурно-зависна мерења Рамановог расејања на феромагнетима Fe_{3-x}GeTe₂ и CrSi_{0.8}Ge_{0.1}Te₃ су довела до нових увида у физику ових необичних материјала. Fe_{3-x}GeTe₂ је метал са високом температуром прелаза, са јасном спин-фонон интеракцијом око 150 К. Код CrSi_{0.8}Ge_{0.1}Te₃ се појавило благо смањење критичне температуре због ваканција на атомским Si/Ge позицијама. EDS мерења су показала

да је њихова концентрација 10%. Оба материјала су показала да је ефекат који ваканције имају на магнетне особине и на саму кристалну решетку у овој групи материјала незанемарљив.

Наведени резултати су приказани у следећим радовима:

- *A. Milosavljević, A. Šolajić, B. Višić, M. Opačić, J. Pešić, L. Yu, C. Petrovic, ZV Popović, N. Lazarević. Vacancies and spin-phonon coupling in CrSi_{0.8}Ge_{0.1}Te₃. *Journal of Raman Spectroscopy*, 51, 2153-2160 (2020).
- *A. Milosavljević, A. Šolajić, S. Djurdjic-Mijin, J. Pešić, B. Višić, Y. Liu, C. Petrovic, N. Lazarević, ZV Popović. Lattice dynamics and phase transitions in Fe_{3-x}GeTe₂. *Physical Review B*, 99(21), 214304 (2019).

2.5 Субоксиди на бази волфрама

Субоксиди на бази волфрама, WO_{3-x}, су врло разноврсна породица материјала. Различите стехиометрије се могу јавити у разноврсним морфологијама, попут наночестица сферног облика, наножица и дискова. У овом раду је показано да квази-двомензионалне структуре, које расту из W₁₉O₅₅ наножица, имају облик танких плочица. Дефицит кисеоника резултује појавом кристалографских “клизних” равни. Стехиометријске фазе W₁₈O₅₃, W₁₇O₅₀, W₁₅O₄₄, W₁₄O₄₁, W₁₀O₂₉ и W₉O₂₆ се заједно могу наћи у једној јединој плочици просечних димензија до 4 микрона латерално и дебљине око 100 nm. Структура оваих мултистехиометријских плочица је директно одређена из HRTEM слика и моделирана коришњем електрон- и X-гау-дифракције.

Из ове области је објављен један рад, док су у припреми још два.

- *L. Pirker, B. Višić, S. D. Skapin, G. Dražić, J. Kovač, M. Remškar. Multi-stoichiometric quasi-two-dimensional W_nO_{3n-1} tungsten oxides. *Nanoscale* 12(28), 15102-15114 (2020).

2.6 Наночестице у ваздуху

Истраживања у оквиру ове теме су базирана на мерењу концентрације наночестица пречника од 10 до 700 nm у ваздуху методама DLPI-Dekati (low-pressure cascade impactor) и SMPS (scanning mobility particle sizer), и њиховој динамици, као и њиховој хемијској анализи.

Бројне активности којима смо свакодневно изложени су значајни загађивачи ваздуха. Показано је да паљење индијских штапића у затвореној просторији повећава укупну концентрацију наночестица 30 пута, и након 100 минута после потпуног сагоревања, ове вредности се нису вратиле на почетни ниво. Хемијска анализа је показала да су најзаступљенија једињења CaCO₃, CaO, and SiO₂, уз H, Si, Al, и Fe, као и да су најзаступљеније наночестице пречника 60-100 nm. Како ултрафине честице пречника мањег од 100 nm представљају велики ризик за здравље, јер могу да допру до плућних алвеола, јасно је на ови штапићи представљају ризик.

Испитиван је и утицај употребе пиротехнике на фудбалским утакмицама. Мерења на мечу Олимпија-Марибор су показала јасну корелацију између повећања

концентрације наночестица и паљења пиротехнике. Хемијска анализа је показала да је већина материјала у прикупљеном узорку састављена од аморфног угљеника, али су присутни и бројни тешки метали повезани са оксидативним агентима и вештачким бојама. Концентрација наночестица је повећана 12 пута одмах након почетка горења, при чему су најприсутније биле честице пречника 155 nm. Концентрација се вратила на почетну након 15 минута по завршетку утакмице. Кумулативна доза коју су играчи удахнули током утакмице је око 7×10^8 particles per kg, што је око 300 % више од дозе коју би добили у средини малог загађења.

Такође је учествовала у анализи пустињске прашине из узорака прикупљених у Кипру у свху оптимизације нове методе за мерење PM10 честица помоћу виртуелног импактора.

Наведени резултати су приказани у следећим радовима:

- *L. Drinovec, J. Sciare, I. Stavroulas, S. Bezantakos, M. Pikridas, F. Unga, C. Savvides, B. Višić, M. Remškar, G. Močnik. A new optical-based technique for real-time measurements of mineral dust concentration in PM 10 using a virtual impactor. *Atmospheric Measurement Techniques*, 13(7), 3799-3813 (2020).
- *L. Pirker, A. Gradišek, B. Višić, M. Remškar. Nanoparticle exposure due to pyrotechnics during a football match. *Atmospheric Environment*, 233, 117567 (2020).
- *B. Višić, E. Kranjc, L. Pirker, U. Bacnik, G. Tavcar, S. Skapin, and M. Remskar. Incense powder and particle emission characteristics during and after burning incense in an unventilated room setting. *Air Quality, Atmosphere and Health*, 11(6), 649-63 (2018).

3 Елементи за квалитативну оцену научног доприноса кандидата

3.1 Квалитет научних резултата

3.1.1 Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

Б. В. је аутор или коаутор 20 радова у међународним часописима са ISI листе. Има 3 рада објављена у часописима категорије M21a, 13 радова објављених у часописима категорије M21 и 3 рада у часописима категорије M22. У периоду након одлуке научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања, кандидаткиња је објавила 13 радова у међународним часописима са ISI листе, од тога 2 рада у часописима категорије M21a, 10 радова у часописима категорије M21 и један рад у часопису категорије M22. Један од најважнијих радова је објављен у *Physical Review Research*, који припада American Physical Society и који се објављује тек од 2018 тако да је још увек без импакт фактора и па се се не рачуна у број чланака.

Као пет најзначајнијих радова могу се узети (број цитата на основу базе Scopus):

1. B. Višić, R. Dominko, M.K. Gunde, N. Hauptman, S.D. Skapin, M. Remskar. Optical properties of exfoliated MoS₂ coaxial nanotubes - analogues of graphene. *Nanoscale Research Letters*, 6, 1-6 (2011).

2. B. Višić, L.S. Panchakarla, R. Tenne. Inorganic Nanotubes and Fullerene-like Nanoparticles at the Crossroads between Solid-State Chemistry and Nanotechnology. *Journal of the American Chemical Society*, 139, 12865-12878 (2017).
3. L. Yadgarov, B. Višić, T. Abir, R. Tenne, AY Polyakov, R. Levi, T. Dolgova, V. Zubyuk, A. Fedyanin, E. Goodilin, D. Oron. Strong light-matter interaction in tungsten disulfide nanotubes. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 20(32), 20812-20820 (2018).
4. B. Višić, L. Yadgarov, EAA Pogna, S. Dal Conte, V. Vega-Mayoral, D. Vella, R. Tenne, G. Cerullo, and C. Gadermaier. Ultrafast nonequilibrium dynamics of strongly coupled resonances in the intrinsic cavity of WS₂ nanotubes. *Physical Review Research*, 1(3), 033046 (2019).
5. L. Pirker, B. Višić, S. D. Skapin, G. Dražić, J. Kovač, M. Remškar. Multi-stoichiometric quasi-two-dimensional W_nO_{3n-1} tungsten oxides. *Nanoscale* 12(28), 15102-15114 (2020).

У свих пет радова је кандидаткиња дала кључни допринос. Сви радови сем првог су објављени након претходног избора у звање.

Први рад је био део докторске дисертације кандидаткиње. Рад се базирао на раслојавању (ексфолијацији) коаксијалних MoS₂ нанотуба и њиховим оптичким особинама. Метода коришћена при раслојавању је хемијска, где су нанотубе изложене 2.5 M butyllithium in hexane минимално 3 дана. Ексфолијација се дешава када се узорку, по вађењу из dry box, дода вода, чиме настаје water-bilayer фаза. Потпуна ексфолијација се добија испирањем узорка дестилованом водом и центрифугирањем. Реакција која настаје између воде и интеркалираног литијума резултује у ослобађању водоничног гаса и формирањем LiOH, при чему се процес сматра завршеним када се pH спусти са 12 на 7 и тиме се water-bilayer фаза раздваја на индивидуалне слојеве. За разлику од хемијске ексфолијације кристала, који се временом у раствору поново споје након одређеног времена, ексфолиране нанотубе остају једнослојне и након неколико месеци. UV-Vis апсорпција (екстинкција) показује да су и код ексфолираних нанотуба А и В ексцитони доминантни оптички прелази, али долази до њиховог померања ка црвеном делу спектра.

Други рад је настао током првих постдокторских студија у Израелу. Фокус је поново на нанотубама и фулеренима на бази MoS₂ и WS₂. У питању је прегледни рад посвећен физичким особинама и примени ових материјала у последњој деценији. Иако је од њиховог открића прошло више од 30 година, већина интересантних апликација се проучава тек последњих неколико година. Почетак њиховог испитивања се највише сводио на оптимизацију синтезе, како због квалитета добијеног материјала тако и због количине добијене у једној синтези. Због њиховог лаког диспергирања и нетоксичности, једна од најпроучаванијих употреба до сад је као адитив у разним полимерима, текстилима, медицинским инструментима. Како су и њихове оптичке особине постале све детаљније објашњене, тако се очекује њихова све чешћа употреба у транзисторима и осталим електронским компонентама.

Трећи и четврти рад су блиско повезани и такође настали током боравка у Израелу. Показано је да су WS₂ нанотубе веома интересантна врста квази-1Д материјала код

којих коегзистирају и ексцитони и оптички резонатор (cavity mode) у видљивом и блиском инфрацрвеном делу спектра. Симулирањем екстинкције (тј. UV-Vis спектра који је комбинација апсорпције и расејања) FDTD (finite-difference time-domain) моделом који зависи од пречника нанотубе, показано је да овакав спектар поседује типично anti-crossing понашање и формацију ексцитон-поларитона. Овај модел је такође показао да променом пречника нанотубе, можемо да мењамо јачину интеракције (coupling strength, g) између оптичке моде и ексцитона. Коришћењем PCO (phenomenological coupled oscillator) модела, показано је да овај материјал има високо цепање повезаних мода (Rabi splitting) од 280 meV. Овако јака light-matter интеракција (LMI) у WS_2 нанотубама наговештава да се могу користити као поларитонски уређаји на собној температури.

Након што је у трећем раду проучаван овај тип квазичестице и утицај на оптичке особине у равнотежној оптичкој спектроскопији, четврти рад се фокусирао на неравнотежну LMI динамику коришћењем фемтосекундне pump-probe спектроскопије. Кандидатикиња је експериментални део измерила током једномесечног боравка у Милану. Већ поменути PCO модел се у сврху моделовања неравнотежних процеса морао модификовати. Показано је да су од свих параметара који се користе у том моделу, временски зависни само положај (енергија) и ширина A ексцитона, као и јачина његове интеракције са оптичким резонатором. Један од резултата је и тај да је параметар g одличан кандидат за поређење различитих материјал-резонатор комбинација. За сада су ове нанотубе једини материјал код ког овакав ефекат настаје у једном материјалу а не у комбинацији. Мора се напоменути да је овај рад објављен у Physical Review Research, који припада American Physical Society и који се објављује тек од 2018 тако да је још увек без импакт фактора.

Пети рад је први из ове области настао током других постдипломских студија у Словенији. Субоксиди на бази волфрама, WO_{3-x} , су врло разноврсна породица материјала. Различите стехиометрије се могу јавити у различитим морфологијама, попут наночестица сферног облика, наножица и дискова. У овом раду је показано да квази-двомензионалне структуре, које расту из $W_{19}O_{55}$ наножица, имају облик танких плочица. Дефицит кисеоника се компензује појавом кристалографских “клизних” равни. Стехиометријске фазе $W_{18}O_{53}$, $W_{17}O_{50}$, $W_{15}O_{44}$, $W_{14}O_{41}$, $W_{10}O_{29}$ и W_9O_{26} се заједно могу наћи у једној јединој плочици просечних димензија до 4 микрона латерално и дебљине око 100 nm. Структура ових мултистехиометријских плочица је директно одређена из HRTEM слика и моделирана коришћењем електрон- и X-ray- дифракције.

3.1.2 Позитивна цитираност научних радова кандидата

Подаци о цитирању радова Б. В. на дан 08.12.2020. су сумирани у табели, а детаљи из обе базе дати у прилогу након списка радова.

База података	Број цитата	Број цитата без аутоцитата	h-index
Scopus	196	158	7
Web of Science	190	176	7

3.1.3 Параметри квалитета часописа

У категоријама М21, М22 и М23, Б. В. је објавила радове у следећим часописима, где су подвучени они часописи у којима је кандидаткиња објављивала у периоду након одлуке научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања.

- 1 рад у Journal of the American Chemical Society (IF=14.357)
- 1 рад у Nanoscale (IF=6.97)
- 1 рад у Chemistry–An Asian Journal (IF=4.587)
- 1 рад у The Journal of Physical Chemistry C (IF=4.484)
- 1 рад у Particle and Particle Systems Characterization (IF=4.474)
- 1 рад у Physical Chemistry Chemical Physics (IF=4.123)
- 1 рад у Atmospheric environment (IF=4.039)
- 1 рад у Soft Matter (IF = 4.029)
- 1 рад у Physical Review B (IF=3.813)
- 1 рад у Atmospheric Measurement Techniques (IF=3.668)
- 1 рад у Journal of Materials Science (IF=3.553)
- 1 рад у Materials Science and Engineering A (IF=3.478)
- 1 рад у Journal of Raman Spectroscopy (IF=2.809)
- 1 рад у Nanoscale Research Letters (IF=2.779)
- 1 рад у ACS Omega (IF=2.584)
- 1 рад у Air quality, Atmosphere and Health (IF=3.184)
- 1 рад у Materials Research Bulletin (IF=2.288)
- 2 рада у Physica Status Solidi (a) (IF=1.616)
- 1 рад у Physical Review Research (ISSN 2643-1564, без IF)
- 1 рад у Journal of Physics: Conference Series (ISSN 1742-6596, без IF)
- 1 рад у Nanomaterials and Energy (ISSN 2045-983, без IF)

Укупна сума импакт фактора свих радова кандидаткиње је 78.45, а након претходног избора у звање је 61.53. (Напомена: Наведени импакт фактори представљају максимални импакт фактор када се посматрају вредности за годину објављивања рада и претходне две године.)

Чланак објављен у часопису Journal of the American Chemical Society (IF=14.357), чији је и први corresponding аутор, је био изабран за *Editor spotlight* (потврда у прилогу), док је рад у Particle and Particle Systems Characterization (IF=4.474) изабран за *Inside front cover page* (<https://doi.org/10.1002/ppsc.201870009>, прилог).

Додатни библиометријски показатељи квалитета часописа у којима је Б. В. објављивала радове је дат у следећој табели. Она садржи импакт факторе (ИФ) радова, М поене радова по српској категоризацији научноистраживачких резултата, као и импакт фактор нормализован по импакту цитирајућег чланка (СНИП). У табели су дате укупне вредности, као и вредности свих фактора усредњених по броју чланака и по броју аутора по чланку, за радове објављене у М20 категоријама.

	ИФ	М	СНИП
Укупно	61.53	105	16.427
Усредњено по чланку	4.73	8.08	1.264
Усредњено по аутору	11.38	16.59	2.95

3.1.4 Степен самосталности и степен учешћа у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Кандидаткиња је први аутор на 9 радова (у два рада дели прво коауторство), други аутор на два рада, трећи аутор на три и corresponding на 7. У периоду након избора у претходно звање, Б. В. је водећи аутор 5 радова (у два рада дели коауторство), други аутор 2 рада, трећи аутор два рада а corresponding на 3 рада. Дала је значајан допринос сваком раду у ком је учествовала, од осмишљавања теме и њене формулације, извођењу експеримената, анализи добијених резултата и конципирању и писању радова.

Током првих постдипломских студија у Израелу, самостално је започела сарадњу са групом у Милану, осмислила релевантна мерења и модификовала постојеће моделе за анализу ЛМИ, и тиме започела фемтосекундна оптичка мерења у својој тадашњој групи. У оквиру ове сарадње су објављена два рада, код којих је Б. В. и водећи и corresponding аутор.

Током других постдипломских студија у Љубљани, Б. В. је започела бављење новом тематиком (синтеза и карактеризација хетероструктурних нанотуба, рад у припреми), и предводила отварање нове активности групе у оквиру детекције наночестица у ваздуху. Из те тематике се изродио индустријски пројекат чији је била вођа у току 2018-2019.

Током свог десетогодишњег боравка у иностранству, тј. за време докторских студија и два постдокторска ангажмана, остварила је бројне међународне сарадње. Најзначајнији су наставци сарадње са њеним претходним групама (Словенија, Израел), јер омогућавају коришћење како њихове опреме (поготово електронске микроскопије), тако и синтетисаних наноматеријала за тренутне и будуће активности Центра. Од осталих сарадњи, наводе се најбитније:

- Complex matter physics, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, где са групом Christoph Gadermeier-а сарађује на „pump-probe“ мерењима наноматеријала у различитим медијумима.
- На одсеку за физику у оквиру Politecnico di Milano, сарађује са Giulio Cerullo, где је провела месец дана користећи њихову фемтосекундну апаратуру за проучавање оптичких особина и времена живота носилаца наелектрисања код метал дисулфидних наноструктура.
- Ultrafast Laser Micro and Nano- Laboratory of the Foundation for Research and Technology, Крит, Грчка, сарађује са групом Emmanuel Stratakis-а, на синтези MS_2 аноструктура путем ласерске аблације, и карактерише добијене материјале ТЕМ микроскопијом.
- Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds RAS, Moskva, Rusija где је са групом V. I. Sokolov-а сарађивала на карактеризацији WS_2 нанотуба декорисаних Pd наночестицама путем ТЕМ микроскопије и XPS пектроскопије, и објашњењу њиховог ефикасног понашања у каталитичким cross coupling реакцијама.

Студијске посете иностраним научним институцијама:

- Двомесечна студијска посета Лабораторији за оптику одсека комплексних материјала (Institut Jozef Stefan, Ljubljana, Slovenija) у оквиру Marie Curie “MoWSeS” пројекта, 2015. У оквиру ове сарадње је одржала семинар на одсеку за комплексне материјале под називом: “Coexistence of excitons and plasmons in MS₂ (M=Mo, W) nanotubes and fullerene-like nanoparticles”.
- Једномесечна студијска посета Politecnico di Milano, Милано, Италија, фебруар 2016.
- Једномесечна посета Универзитету Сантиаго, Чиле у оквиру пројекта DAFNE-OX (Designing Advanced Functionalities through Controlled NanoElement Integration in Oxide Thin Films) у јуну 2019.

3.2 Ангажованост у формирању научних кадрова

Кандидаткиња је на постипломским студијама обучавала мастер студенте и докторанте методама динамичке механичке анализе, детекцији наночестица и бројним микроскопским методама.

3.3 Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Радови објављени од избора у звање научни сарадник су експериментални радови и сви су резултат сарадње са другим групама или институцијама па се признају са пуним бројем М бодова до седам коаутора.

6 радова имају мање од осам аутора и носе тежину 1, док су остали радови (који су захтевали више експерименталних техника и који су резултат сарадње са другим групама и институтима) нормирани као експериментални радови у природно-математичким наукама са више од седам аутора.

3.4 Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Кандидаткиња је руководила индустријским пројектом између Института Јожеф Стефан, Љубљана, Словенија и компаније “Hyla” од 2018-2019.

Прилог: уговор и анекс уговора о пројекту.

Кандидаткиња је на Weizmann Institute of Science, Israel била Marie Curie fellow на пројекту MoWSeS, 2013-2016.

Прилог: уговор.

3.5 Активности у научним и научно-стручним друштвима

Кандидаткиња је рецензент за следеће часописе: Advanced Materials, Nanoscale, ACS Applied Materials and Interfaces, Materials Letters, Chemical Physics Letters, Materials Science and Engineering A, Air quality, Atmosphere and Health, Chemical Engineering Journal, Nanomaterials and Energy.

Прилог: Потврде о урађеној рецензији.

Кандидаткиња је учествовала у организацијском одбору конференције "Nanoparticles at the interface between biology and the materials world", Weizmann institute of Science, Rehovot, Izrael у 2015.

Прилог: Брошура конференције.

3.6 Утицајност научних резултата

Утицајност научних резултата кандидата је наведена у одељцима **3** и **4.1** овог документа. Пун списак радова и подаци о цитираности са интернет странице базе Scopus су дати у прилогу.

3.7 Конкретан допринос кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Кандидаткиња је значајно допринела сваком објављеном раду.

Сви од 14 радова (13 ако изузмемо рад у PRR) објављених у периоду након одлуке Научног већа Института за физику о предлогу за стицање претходног научног звања, су урађени у сарадњи са колегама из иностранства (Израел, САД, Словенија, Италија, Грчка). Б. В. је имала кључни допринос у публикацијама на којима је први аутор (5 рада) и други аутор (2 рада), од којих је corresponding на 3, у осмишљавању проблематике и избору приступа и методологије, експерименталном делу рада, моделовању и анализи резултата. Радове на којима је први или други аутор је написала у целини, али је активно учествовала у писању осталих радова. У случају осталих радова кандидаткиња је углавном учествовала преко електронске микроскопије (СЕМ, ТЕМ) и EDS елементалне анализе, оптичких мерења, као и анализи резултата.

Учествовала је у писању сваке публикације и често била задужена за конципирање и организацију манускрипта.

3.8 Уводна предавања на конференцијама и друга предавања

У периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног звања, кандидаткиња је одржала 2 предавања по позиву на међународним конференцијама и једну демонстрацију.

1. B. Višić, L. Yadgarov, V. Vega-Mayoral, D. Vella, C. Gadermaier, R. Tenne. Optical properties of WS₂ nanotubes. *EMN meeting on SMM* (Energy, Materials and Nanotechnology Meeting on Smart and Multifunctional Materials), Berlin, Germany, 2016
2. Indoor air quality monitored by nanoparticle detection. *ISO-FOOD Spring School and Workshop on nanoparticles and food*, Ljubljana, Slovenia , 2018.
3. Let's light one - detection of nanoparticles in air. *ISO-FOOD Spring School and Workshop on nanoparticles and food*, Ljubljana, Slovenia , 2018. (Invited Talk -

Demonstration).

Прилог: Позивна писма организатора.

Кандидаткиња је у овом периоду одржала и три предавања на међународним конференцијама.

1. Optical properties of WS₂ nanotubes. *SFKM 2019* (The 20th Symposium on Condensed Matter Physics), Belgrade, Serbia, 2019.
2. Synthesis and characterization of two-dimensional WO_{3-x} nanotiles. *Flatlands Beyond Graphene*, Leipzig, Germany, 2018.
3. Optical properties of WS₂ nanotubes. *Flatlands Beyond Graphene*, Bled, Slovenia, 2016.

Прилог: Програми и књиге абстракта.

Такође је одржала предавање Optical properties of WS₂ nanotubes на скупу Serbian-Chilean workshop to characterize properties and dynamics of materials through Light током боравка у Чилеу, 2019.

Прилог: Програм

4 Елементи за квантитативну оцену научног доприноса кандидата

Остварени бодови по категоријама у периоду након одлуке научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања дати су у табели.

Категорија	М бодова по раду	Број радова	М бодови (нормирано)
M21a	10	2	20 (20)
M21	8	10	80 (57.94)
M22	5	1	5 (5)
M32	1.5	2	3
M33	1	1	1
M34	0.5	17	8.5

Поређење са минималним квантитативним условима за избор у звање виши научни сарадник:

Минимални број М бодова	Услов*	Остварено (нормирано)
Укупно	75	117.5 (95.44)
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42 ≥	60	109 (86.94)
M11+M12+M21+M22+M23 ≥	45	105 (82.94)

* Услов за убрзано покретање поступка за избор у звање виши научни сарадник је 150 % од минималног броја М бодова.

Према бази података Scopus (Web of Science) на дан 08.12.2020. године, радови кандидаткиње су цитирани укупно 158 пута, односно 176 пута не рачунајући самоцитате. Према обе базе, Хиршов индекс кандидата је 7.

ЗАКЉУЧАК

Анализом научне активности и показатеља рада, као што су број радова, цитираност, квалитет часописа, међународна научна сарадња, рецензије у међународним часописима, вођење пројекта, билатералне сарадње, менторство, закључили смо да кандидаткиња задовољава све квантитативне и квалитативне услове за избор у звање виши научни сарадник који су прописани Правилником о поступку, начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

На основу наведеног, Научном већу Института за физику у Београду предлагемо да усвоји овај извештај и подржи предлог за избор др Бојане Вишић у звање виши научни сарадник.

У Београду, 30.12.2020.

Чланови комисије:



академик Зоран В. Поповић
научни саветник
Институт за физику у Београду



др Ненад Лазаревић
виши научни сарадник,
Институт за физику у Београду



др Божидар Николић
ванредни професор,
Физички факултет, Универзитет у Београду