

Научном већу Института за физику у Београду

Извештај комисије за избор др Вељка Јанковића у звање научни сарадник

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 16. априла 2019. године именовани смо у комисију за избор др Вељка Јанковића у звање научни сарадник.

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

Биографски подаци о кандидату

Др Вељко Јанковић рођен је у Београду, Република Србија, 23. септембра 1990. године. У Београду је завршио основну школу и Математичку гимназију.

Основне академске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Теоријска и експериментална физика, започиње 2009. године и завршава их 2013. године са просечном оценом 9,97. Мастер академске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Теоријска и експериментална физика, завршио је јуна 2014. године са просечном оценом 10,00, одбранивши мастер рад на тему *Неравнотежна оптичка проводност у систему са локализованим електронским стањима*. Мастер рад је израђен у Лабораторији за примену рачунара у науци Института за физику у Београду, а израдом рада руководио је др Ненад Вукмировић. Октобра 2014. године рад је награђен наградом *Проф. др Љубомир Тирковић* као најбољи мастер рад одбрањен током академске 2013/14. године на Физичком факултету. Новембра 2014. године уписује докторске академске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, ужа научна област физика кондензоване материје и статистичка физика. Дана 7. децембра 2018. године одбранио је докторску тезу под насловом *Exciton dynamics at photoexcited organic heterojunctions (Динамика екситона на органским хетероспојевима побуђеним светлошћу)*, чији је ментор др Ненад Вукмировић, научни саветник Института за физику у Београду. Од 2019. године др Вељко Јанковић се налази на постдокторском усавршавању на Карловом универзитету у Прагу.

Од новембра 2014. године запослен је на Институту за физику у Београду и ангажован је на пројекту основних истраживања ОН171017 *Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система* Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Од октобра 2013. до августа 2015. године био је ангажован на FP7 пројекту Европске комисије *Електронски транспорт у органским материјалима*. Био је учесник COST акције MP1406 (MultiscaleSolar) као део истраживачког тима Србије. До сада је објавио пет

научних радова M21 категорије. Своје резултате је представио на међународним конференцијама у Београду, Саламанки (Шпанија), Ахену (Немачка), Луки и Трсту (Италија), Стразбуру (Француска), а похађао је и летњу школу *CECAM Summer School on Atomistic Simulation Techniques for Material Science, Nanotechnology and Biophysics* која је 2014. године одржана у Трсту (Италија).

Од академске 2013/14. до академске 2018/19. године, Вељко Јанковић учествује у извођењу наставе на Физичком факултету Универзитета у Београду као сарадник у настави, током академске 2013/14. године на предмету Теоријска механика (предметни наставник проф. др Сунчица Елезовић-Хаџић), а од академске 2014/15. године на предмету Квантна статистичка физика (предметни наставници доц. др Михајло Ваневић, проф. др Милан Кнежевић и др Милица Миловановић). Од школске 2015/16. до школске 2017/18. године, као и током школске 2012/13. године, учествује у раду Државне комисије за такмичења ученика средњих школа из физике као аутор задатака. Био је један од вођа тима Србије на такмичењу *The 5th Romanian Master of Physics* које је одржано фебруара 2016. године у Букурешту (Румунија), као и на 48. Међународној олимпијади из физике одржаној у јулу 2017. године у Јоџакarti (Индонезија) и на 49. Међународној олимпијади из физике одржаној у јулу 2018. године у Лисабону (Португал).

Преглед научне активности кандидата

Вељко Јанковић се у свом научном раду у области физике кондензоване материје бави проблемима неравнотежне динамике носилаца наелектрисања у полупроводничким материјалима.

Током мастер студија, истраживање Вељка Јанковића било је фокусирано на високо-фреквентну електричну проводност материјала са локализованим електронским стањима у неравнотежним условима. Равнотежна електрична проводност се може описати добро познатом Кубоовом теоријом линеарног одзива. Међутим, у литератури не постоји једноставан приступ који може да опише неравнотежну проводност. Вељко Јанковић је извео формулу која има веома једноставан математички облик и описује неравнотежну проводност у материјалима са локализованим електронским стањима. Типични примери таквих материјала су аморфни неоргански полупроводници (нпр. аморфни силицијум) и неуређени органски полупроводници (на бази конјугованих полимера или малих молекула). Резултати су приказани у раду

- V. Janković and N. Vukmirović, “Nonequilibrium optical conductivity in materials with localized electronic states”, *Phys. Rev. B* **90**, 224201 (2014).

Током докторских студија, у центру истраживачког рада Вељка Јанковића је теоријски опис динамике екситона генерисаних светлосном побудом органских полупроводника и њихових хетероспојева, што је релевантно за разумевање фундаменталних физичких процеса у органским соларним ћелијама.

У првој фази истраживања, Вељко Јанковић је развио модел за разумевање процеса формирања екситона и иницијалних етапа екситонске динамике (на

пикосекундним временским скалама) у полупроводничким материјалима побуђеним светлошћу. Конструисао је моделни Хамилтонијан који укључује релевантне физичке ефекте (делокализација носилаца, Кулонова интеракција, носилац–фонон интеракција, интеракција са спољашњим електромагнетним пољем) и који за различите вредности моделних параметара може да буде релевантан како за неорганске, тако и за органске полупроводнике. Динамика модела је проучавана у оквиру формализма матрице густине, при чему је посебна пажња посвећена одсецању фононске гране једначина тако да се не наруши закон одржања енергије и закон одржања броја честица. Временске скале релевантне за процесе формирања и (иницијалних етапа) релаксације екситона су одређене из нумеричког прорачуна у оквиру једнодимензионалног модела. Добијено је да се за параметре органских полупроводника формирање везаних екситона дешава на временској скали од неколико стотина фемтосекунди, након чега долази до њихове даље релаксације и уравнотежавања које траје барем неколико пикосекунди. Добијене временске скале су робустне на разумне варијације параметара модела (температура, јачина електрон-фонон спреге, јачина Кулонове интеракције). Резултати ове фазе истраживања су објављени у

- V. Janković and N. Vukmirović, “Dynamics of exciton formation and relaxation in photoexcited semiconductors”, *Phys. Rev. B* **92**, 235208 (2015).

Током друге фазе истраживања, Вељко Јанковић је развијени модел модификовао тако да се може испитивати динамика раздвајања екситона на пар електрон–шупљина на границама између два органска полупроводничка материјала. Циљ истраживања је био разумевање узрока експериментално опаженог ултрабрзог раздвајања електрона и шупљине на хетероспоју, упркос томе што је везивна енергија електрон–шупљина парова значајно већа од термалне енергије на собној температури. Резултати су показали да парови просторно раздвојених електрона и шупљине који постоје на временским скалама реда 100 fs након оптичке побуде система претежно настају њиховом директним оптичким генерисањем, а у много мањем уделу генерисањем екситона у једном материјалу које је праћено његовим раздвајањем на граници између два материјала. Показано је и да је тај закључак неосетљив на вредности параметара материјала и њихове границе. Такође, идентификоване су фотофизичке путање дуж којих се на временским скалама испод 1 ps обавља раздвајање електрон–шупљина парова. Екситонска стања у којима су носиоци наелектрисања делокализовани на хетероспоју су кључна за ултрабрзо раздвајање електрон–шупљина парова из два разлога: један је могућност директног оптичког генерисања носилаца у тим стањима, а други је могућност ултрабрзог преласка иницијалних екситона у појединачном материјалу у та стања. Ипак, прорачуни показују да је број раздвојених електрон–шупљина парова 1 ps након побуде значајно мањи од укупног броја генерисаних парова, односно да се највећи део парова раздваја на временским скалама које су знатно дуже од 1 ps. Прорачуни такође указују на то да се раздвајање на тако дугим временским скалама доминантно дешава из стања јако везаних екситона, а не из екситонских стања у којима су носиоци делокализовани. Добијени резултати су публиковани у радовима

- V. Janković and N. Vukmirović, “Origin of space-separated charges in photoexcited organic heterojunctions on ultrafast time scales”, *Phys. Rev. B* **95**, 075308 (2017).

- V. Janković and N. Vukmirović, “Identification of Ultrafast Photophysical Pathways in Photoexcited Organic Heterojunctions”, *J. Phys. Chem. C* **121**, 19602 (2017).

Да би детаљније разумео процес раздвајања јако везаних екситона на временским скалама значајно дужим од 1 ps, Вељко Јанковић је развијени модел проширио тако да буду укључени и ефекти рекомбинације носилаца, као и ефекти унутрашњег електричног поља на хетероспоју. Налазећи стационарно решење Паулијевих мастер једначина за популације екситонских стања, детаљно је испитана зависност приноса раздвајања од магнитуде унутрашњег електричног поља, јачине статичке неуређености, степена делокализације носилаца, јачине електрон–шупљина интеракције и других параметара модела. Главни закључак истраживања је да комбинација делокализације носилаца и умерене статичке неуређености омогућава ефикасно раздвајање јако везаних електрон–шупљина парова на слободне носиоце. При томе, добијено је и да принос раздвајања релативно слабо зависи како од јачине унутрашњег електричног поља на хетероспоју, тако и од температуре, што је у складу са експерименталним резултатима на најефикаснијим органским соларним ћелијама. Резултати су представљени у раду

- V. Janković and N. Vukmirović, “Combination of Charge Delocalization and Disorder Enables Efficient Charge Separation at Photoexcited Organic Bilayers”, *J. Phys. Chem. C* **122**, 10343 (2018).

Елементи за квалитативну анализу рада кандидата

1. Избор најзначајнијих радова кандидата

Као два најзначајнија рада кандидата Комисија издваја радове:

- V. Janković and N. Vukmirović, “Origin of space-separated charges in photoexcited organic heterojunctions on ultrafast time scales”, *Phys. Rev. B* **95**, 075308 (2017).
- V. Janković and N. Vukmirović, “Combination of Charge Delocalization and Disorder Enables Efficient Charge Separation at Photoexcited Organic Bilayers”, *J. Phys. Chem. C* **122**, 10343 (2018).

У овим радовима се разматра процес раздвајања екситона на граници између два органска полупроводника. Ово је централни процес у соларним ћелијама на бази органских материјала, где светлосна побуда ствара јако везани пар електрон–шупљина (екситон). Да би соларна ћелија била ефикасна, неопходно је да се екситон раздвоји на електрон и шупљину на граници између два материјала. Експерименти су показали да се у најефикаснијим соларним ћелијама овај процес дешава са ефикасношћу од скоро 100%, што је изненађујуће узимајући у обзир јаку везу између електрона и шупљине. Механизам тако ефикасног раздвајања екситона је остао нејасан, а ови радови расветљавају овај механизам.

У првом раду су представљени резултати који описују динамику екситона на хетероспоју два полупроводника на ултрабрзој временској скали. Резултати су указали да на тако краткој временској скали не може доћи до раздвајања екситона на хетероспоју. Показано је да просторни раздвојени носиоци који постоје на тој временској скали настају претежно директном оптичком побудом. С обзиром да су поједини експериментални резултати из литературе [нпр. *Nat. Mater.* **12**, 29 (2013)] сугерисали да се раздвајање носилаца врши на ултрабрзој скали, кандидат је урадио симулације експерименталних сигнала који се добијају у пумпа-проба експериментима. Показао је да временско опадање сигнала које је у експериментима приписано раздвајању екситона на хетероспоју потиче заправо од опадања екситонских кохеренција.

С обзиром да је након тога и даље остало отворено питање механизма ефикасног раздвајања екситона, у другом раду је развијен модел за опис динамике екситона на дужој (~10-100ps) временској скали. Резултати су показали да је могуће ефикасно раздвајање носилаца и у случају кад је почетно стање екситон у материјалу донора и у случају кад је почетно стање јако везани екситон на граници између два материјала. Механизам којим се врши то раздвајање је путем интермедијарних стања у којима је екситон слабије везан. Идентификовано је да је раздвајање ефикасно кад су значајни ефекти делокализације носилаца и кад је неуређеност умерена.

Ови резултати су заокружили наше разумевање процеса раздвајања носилаца у органским соларним ћелијама. Док су резултати приказани у првом раду оповргли предлоге више водећих истраживачких група да је раздвајање ефикасно јер се врши на ултрабрзој временској скали, резултати приказани другом раду су дали одговор на то како се то раздвајање врши и шта је потребно да би било ефикасно.

2. Квалитет научних резултата

2.1 Параметри квалитета часописа

Кандидат др Вељко Јанковић је објавио укупно пет радова у међународним часописима и то:

- 3 рада у М21 часопису *Physical Review B* (IF2017=3,813, SNIP2017=1,040; IF2015=3,718, SNIP2015=1,130; IF2014=3,736, SNIP2014=1,316),
- 2 рада у М21 часопису *The Journal of Physical Chemistry C* (IF2017=4,484, SNIP2017=1,147).

Библиометријски показатељи су сумирани у наредној табели.

	IF	M	SNIP
Укупно	20,235	40	5,780
Усредњено по чланку	4,047	8	1,156
Усредњено по аутору	10,117	20	2,890

2.2 Подаци о цитираности

Према бази Web of Science, радови др Вељка Јанковића цитирани су укупно 21 пут, од чега 13 пута изузимајући аутоцитате. Хиршов индекс је 3.

Прилог: Цитираност радова према бази Web of Science.

2.3 Награде

Кандидат је награђен наградом *Проф. др Љубомир Турковић* за најбољи мастер рад одбрањен током академске 2013/14. године на Физичком факултету.

Прилог: Доказ о наведеној награди.

2.4 Међународна сарадња

Међународне активности др Вељка Јанковића обухватају:

- учешће у COST акцији MP1406: Multiscale in modeling and validation for solar photovoltaics (MultiscaleSolar),
- учешће на FP7 пројекту Европске комисије *Електронски транспорт у органским материјалима* (ELECTROMAT) од октобра 2013. до августа 2015. године.

У оквиру учешћа у COST акцији MultiscaleSolar, резултати кандидата су били представљени на састанцима радних група који су одржани октобра 2016. у Загребу (Хрватска) и септембра 2018. у Марсеју (Француска).

Од 2019. године др Вељко Јанковић се налази на постдокторском усавршавању на Карловом универзитету у Прагу где ради на теорији и симулацијама трансфера енергије и наелектрисања у природним фотосинтетичким системима.

3. Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења

Окосница свих радова кандидата је развој теоријских модела, њихова нумеричка имплементација и интерпретација резултата нумеричких прорачуна. Имајући у виду да сваки објављени рад кандидата има тачно два коаутора, а да се нормирање за овај тип истраживања примењује само на радове са више од 5 коаутора, сваки рад кандидата се рачуна са пуном тежином.

4. Учешће у пројектима, потпројектима и пројектним задацима

Кандидат је учествовао или учествује на следећим пројектима:

- пројекат Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ОН171017 *Моделирање и нумеричке симулације сложених вишечестичних система* (од новембра 2014. године),
- FP7 пројекат Европске комисије *Електронски транспорт у органским материјалима* (ELECTROMAT) (од октобра 2013. до августа 2015. године).

5. Активност у научним и научно-стручним друштвима

5.1 Рецензије научних радова

Кандидат је био рецензент једног рада у часопису *Physical Review Letters*.

Прилог: Писмо едитора са захтевом за рецензију.

5.2 Педагошки рад

Кандидат је био члан Комисије за такмичења из физике ученика средњих школа у два наврата, током школске 2012/13, као и од школске 2015/16. закључно са школском 2017/18. годином. У оба наврата, кандидат је био један од аутора теоријских задатака за ученике IV разреда средњих школа. Такође је учествовао као предавач у теоријском делу припремне наставе за Српску физичку олимпијаду и Међународну олимпијаду из физике. Био је један од вођа државног тима који представљао Републику Србију на следећим међународним такмичењима:

- *The 5th Romanian Masters of Physics* (Букурешт, Румунија, фебруар 2016. године),
- 48. Међународна олимпијада из физике (Јогјакарта, Индонезија, јул 2017. године),
- 49. Међународна олимпијада из физике (Лисабон, Португал, јул 2018. године).

Почевши од академске 2013/14. године, кандидат је учествовао у извођењу наставе на основним академским студијама на Физичком факултету Универзитета у Београду као сарадник у настави на следећим предметима:

- академска 2013/14: Теоријска механика (предметни наставник проф. др Сунчица Елезовић-Хацић),
- академска 2014/15 – академска 2018/19: Квантна статистичка физика (предметни наставници доц. др Михајло Ваневић, проф. др Милан Кнежевић и др Милица Миловановић).

Прилог: ауторски уговори за састављање задатака за такмичења, потврде о вођењу екипе Србије на међународним такмичењима, уговори о хонорарном ангажовању са Физичким факултетом.

6. Утицај научних резултата

Утицај и значај резултата кандидата су описани у тачки 1, као и кроз податке о цитираности у тачки 2.2.

7. Конкретан допринос кандидата у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству

Кандидат је све своје истраживачке активности реализовао у Институту за физику у Београду. Кандидат је дао кључни допринос у свим објављеним радовима и у свим радовима је први аутор. Његов допринос се огледа у развоју теоријског приступа, изради потребних нумеричких симулација, добијању, интерпретацији и презентацији нумеричких резултата, писању радова и комуникацији са уредницима и рецензентима часописа.

Елементи за квантитативну оцену научног доприноса кандидата

Остварени М-бодови по категоријама

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова
М21	8	5	40
М34	0,5	9	4,5
М70	6	1	6

Поређење оствареног броја М-бодова са минималним условима потребним за избор у звање научног сарадника

Минималан број М бодова потребан за избор у звање научни сарадник		Остварено*
Укупно	16	50,5
М10+М20+М31+М32+М33+М41+М42	10	40
М11+М12+М21+М22+М23	6	40

*Остварени бодови нису нормирани јер је број коаутора на свим радовима два, а за овај тип истраживања нормирање се примењује само на радове са више од 5 коаутора.

Закључак и предлог

Др Вељко Јанковић у потпуности испуњава све услове за избор у звање научни сарадник предвиђене Правилником о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Током рада на докторској дисертацији показао је изузетну способност за научноистраживачки рад и остварио оригиналне и међународно запажене научне резултате које је објавио у 5 радова М21 категорије и саопштио на већем броју конференција.

Имајући у виду квалитет његовог научно-истраживачког рада и достигнути степен истраживачке компетентности, изузетно нам је задовољство да предложимо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за избор др Вељка Јанковића у звање научни сарадник.

У Београду, 22. априла 2019. год.

Чланови комисије:

др Ненад Вукмировић
Научни саветник
Институт за физику у Београду

др Антун Балаж
Научни саветник
Институт за физику у Београду

др Ђорђе Спасојевић
Редовни професор
Универзитет у Београду - Физички факултет