

## **НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА ФИЗИКУ У БЕОГРАДУ**

### **Извештај комисије за реизбор др Владимира Дамљановића у звање виши научни сарадник**

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 23. 08. 2022. именовани смо у комисију за реизбор др Владимира Дамљановића у звање виши 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.

### **1. БИОГРАФСКИ И СТРУЧНИ ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ**

Владимир Дамљановић је рођен 1971. године у Београду у тадашњој СФР Југославији. Основну школу и Математичку гимназију завршио је такође у Београду. Дипломирао је на Физичком факултету у Београду 1997. године на смеру Теоријска физика, одсека Теоријска и експериментална физика, са просеком 9.03 и 1998. године на Електротехничком факултету у Београду на смеру Телекомуникације, одсека за Електронику, Телекомуникације и Аутоматику. Од новембра 1997. до новембра 2001. запослен је у Институту за физику у Београду, у Центру за физику чврстог стања и нове материјале, где започиње последипломске студије у сарадњи са др Радомом Гајићем. Након тога прелази у Макс Планк институт за истраживање чврстог тела (Max Planck Institut für Festkörperforschung) у Штутгарту, Немачка, где 2003. успешно завршава магистарске студије, а 2008. брани докторат (званична титула: Dr. rer. nat.). Магистратура и докторат су рађени под руководством професора Бернарда Кајмера (Bernhard Keimer) у његовој групи. Након повратка у Србију бива од новембра 2009. запослен у Институту за физику у Београду у групи др Бранислава Јеленковића, дописног члана САНУ, а по започињању новог пројектног циклуса (1. 01. 2011.), запошљава се на пројектима „Генерисање и карактеризација нанофотонских функционалних наноструктура у биомедицини и информатици“ под руководством др Бранислава Јеленковића и „Физика уређених наноструктура и нових материјала у фотоници“ под руководством др Радомом Гајића. Преласком на институционално финансирање (01. 01. 2020.), кандидат припада Лабораторији за квантну биофотонику (садашњи назив) којом руководи др Душан Арсенивић. У звање научни сарадник бира се први пут 19. 05. 2010. а реизабира 20. 05. 2015. и 27. 10. 2016. Дана 28. 02. 2018. бира се први пут у звање виши научни сарадник. У том статусу је и у тренутку писања овог извештаја. У својој каријери Владимир Дамљановић је објавио укупно 55 библиографских јединица, од чега 18 радова у часописима са ISI листе који су на дан 06. 06. 2022. цитирани укупно 185 пута.

### **2. ПРЕГЛЕД НАУЧНЕ АКТИВНОСТИ**

Сви радови Владимира Дамљановића могу се поделити у две групе: експериментални радови из штутгартског периода и теоријски радови из београдског периода. У експерименталним радовима допринос кандидата се углавном састојао од мерења и тумачења Раманових спектра испитиваних узорака. Тако је кандидат поред својих основних интересовања везаних за теорију стекао и искуство рада у лабораторији. Након повратка на Институт за физику у Београду, интерес В. Дамљановића постају различити

аспекти примене симетрије у молекуларној и физици чврстог стања. У оквиру ове тематике издвајају се две подгрупе радова: радови везани за вибрације молекула и дводимензионалних (2Д) материјала и радови који објашњавају електронске дисперзионе релације 2Д материјала помоћу њихове симетрије. Детаљнији приказ укупне научне активности кандидата, у обрнутом хронолошком редоследу, је дат у наставку. Активности из тачака 2.1, 2.2 и 2.3 су након претходног избора у звање виши научни сарадник.

## 2.1 Теоријско предвиђање нових квазичестица у 2Д материјалима помоћу њихове симетрије

Познато је колико је неко откриће нове елементарне честице (рецимо Хигсовог бозона) редак и интересантан догађај у физици елементарних честица. Слично је и са експерименталним открићем (рецимо у графену) нових квазичестица у физици чврстог стања. Испитујући облике електронских енергијских зона у близини тачака четвороструке дегенерације код немагнетних материјала са занемарљивом спин-орбитном интеракцијом помоћу симетрије, В. Дамљановић је теоријски открио нови (и једини преостали у таквим материјалима) тип потпуно линеарне дисперзије који је, због свог облика, касније назван жабице (fortune teller). Показао је да три правоугаоне групе симетрије неизбежно доводе до те дисперзије у угловима Брилуенове зоне, као и да су електрони са таквом дисперзијом безмасени, али са густином стања различитом од нуле, што је јединствен случај међу безмасеним дисперзијама. Пошто су код немагнетних 2Д материјала са занемарљивом спин-орбитном интеракцијом, једине могуће дисперзије Диракова, полу-Диракова, квадратна и жабице, поставља се питање да ли се нови тип дисперзије добија укључивањем спин-орбитне интеракције? Користећи теорију репрезентација двоструких група, В. Дамљановић је нашао још један тип потпуно линеарне дисперзије, касније назван мак (porru flower) због свог облика. Показао је да је та дисперзија безмасена са густином стања као код Диракове дисперзије (графен). Такође је дао листу 3Д материјала синтетисаних у лабораторијама, који су слојевити и могу се екслолирати у слојеве оних симетрија које дају дисперзије мак и жабице. Резултати В. Дамљановића заједно са нумеричким потврдама теорије и додатне групно-теоријске анализе (помоћу програма PolSym) осталих сарадника, су објављени у следећим радовима:

**Vladimir Damljanić, Igor Popov, Radoš Gajić:** “Fortune teller fermions in two-dimensional materials”, *Nanoscale* **9**, 19337-19345 (2017).

**V. Damljanić, N. Lazić, A. Šolajić, J. Pešić, B. Nikolić, M. Damjanović:** “Peculiar symmetry-protected electronic dispersions in two-dimensional materials”, *Journal of Physics: Condensed Matter* **32**, 485501 (2020).

Потпуна класификација свих могућих линеарних дисперзија са и без спин-орбитне интеракције као и са и без присуства временске инверзије показује да, поред Диракове, мака и жабице не постоје друге линеарне дисперзије. Листа двоструких- и обичних- као и сивих- и магнетних група прве врсте са тачкама Брилуенових зона где се јављају линеарне дисперзије је објављена у следећем раду:

**N. Lazić, V. Damljanić, M. Damjanović:** “Fully linear band crossings at high symmetry points in layers: classification and role of spin-orbit coupling and time reversal”, *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* **55**, 325202 (2022).

## 2.2 Предикција појаве линија случајне дегенерације у 2Д материјалима

Према групно-теоријским резултатима објављеним раније (тачка 2.4), одређене групе симетрије слојева дају дисперзију која је квадратна у једном правцу Брилуенове зоне а линеарна у ортогоналном правцу. Претражена је листа материјала који су некада синтетисани у лабораторијама и нађено пет материјала са једном од поменутих група симетрије ( $p11b$ ). Израчуната је зонска структура у оквиру модела јаке везе од  $s$ -орбитала на позицијама Р (фосфор) атома у материјалу  $\text{SnPSe}_3$ , на два начина: приближно - помоћу првог реда теорије пертурбације дегенерисаног нивоа и егзактно – решавањем једначине четвртог степена. Линија случајне дегенерације добијена егзактним методом не постоји у приближној теорији. Ово је пример у коме први ред теорије пертурбације, који се имплицитно користи у литератури, није довољан, т.ј. довољан је само за одређивање линеарних (по таласном вектору) чланова у дисперзији. Резултати су објављени у следећем раду:

**V. Damljanić:** “An example of diperiodic crystal structure with semi-Dirac electronic dispersion”, *Optical and Quantum Electronics* **50**(7), 272 (2018).

## 2.3 Нумеричко моделирање коефицијента рефлексије 1Д фотонских кристала

Фотонски кристали су врсте материјала код којих је релативна диелектрична пермеабилност периодична у простору. У зависности од типа периодичности (у једном, два или три правца) разликујемо 1Д, 2Д и 3Д фотонске кристале. Просторна периодичност и једначине за електрично и магнетно поље, које су у форми својственог проблема линеарног оператора, чине их аналогним „правим“ кристалима. Постојање фотонског зонског процепа је једна таква аналогија интересантна за примене. У сарадњи са групом истраживача која је направила 1Д фотонски кристал од полисахарида допираног хромом, В. Дамљановић је израчунао зависност рефлексивности таквог кристала од таласне дужине упадног електромагнетног таласа. За рачун је коришћен метод карактеристичне матрице који се добија из Максвелових једначина. Индекс преламања фотонског кристала је моделован помоћу параметара који су статистичке природе. Услед немогућности да се проблем реши аналитички, примењен је нумерички метод решавања уз задавање статистичких параметара помоћу генератора псеудослучајних бројева. Нумерички добијене криве рефлексије су у сагласности са кривама измереним у лабораторији. Резултати В. Дамљановића заједно са експерименталним резултатима сарадника на овој теми су објављени у следећем раду:

Svetlana Savić-Šević, Dejan Pantelić, **Vladimir Damljanić**, Branislav Jelenković: “Bifurcation in reflection spectra of holographic diffraction grating recorded on dichromated pullulan”, *Optical and Quantum Electronics* **50**(4), 195 (2018).

## 2.4 Објашњење Диракових и полу-Диракових електронских дисперзија немагнетних 2Д материјала са занемарљивим спин-орбитним спрезањем помоћу њихове симетрије

--Своју популарност графен дугује, између осталог, постојању Диракових конуса у електронској зонској структури у околини К тачке Брилуенове зоне. У потрази за новим материјалима са особинама сличним (или бољим) од графенових, доста труда се улаже у нумерички прорачун стабилних кристалних структура које би такође имале парове Диракових конуса у зонској структури. До појаве радова В. Дамљановића није постојало објашњење нити било какав рецепт/путоказ када би се могло очекивати да неки кристал поседује такву електронску зонску структуру. Користећи теорију репрезентација просторних група, кандидат је нашао скуп довољних услова који доводе до Диракове дисперзије и на основу тих услова испитао Брилуенове зоне свих осамдесет могућих група

симетрије немагнетних 2Д материјала са занемарљивом спин-орбитном интеракцијом. Нађено је да једанаест хексагоналних група омогућавају појаву Диракових конуса када се орбиталне функције трансформишу по одређеним "Дирак-активним" репрезентацијама тачкасте групе таласног вектора. На сличан начин нађени су и довољни услови за појаву дисперзије која је Диракова у једном правцу унутар Брилуенове зоне а квадратна у ортогоналном (тзв полу-Диракова дисперзија). Показано је да четири несиморфне дипериодичне групе дозвољавају такву дисперзију. Резултати су објављени у следећим радовима:

**V. Damljanović, R. Gajić:** "Existence of Dirac cones in the Brillouin zone of diperiodic atomic crystals according to group theory", *Journal of Physics: Condensed Matter* **28**, 085502 (2016).

**V. Damljanović, R. Gajić:** "Addendum to 'Existence of Dirac cones in the Brillouin zone of diperiodic atomic crystals according to group theory'", *Journal of Physics: Condensed Matter* **28**, 439401 (2016).

**V. Damljanović, R. Gajić:** "Existence of semi-Dirac cones and symmetry of two-dimensional materials", *Journal of Physics: Condensed Matter* **29**, 185503 (2017).

## **2.5 Примена симетрије на проучавање фонона чистог и допираног графена**

--Проучавање вибрација једнослојног графена у тачкама високе симетрије Брилуенове зоне: нађени су обрасци помераја језгара хексагоналне решетке у тачкама Г, К и М њене Брилуенове зоне. Захваљујући срећној околности да се у овим тачкама различити модови трансформишу по различитим иредуцибилним репрезентацијама групе таласног вектора, овај проблем могуће је решити примењујући само симетријски рачун, без решавања својственог проблема динамичке матрице. Помоћу Вигнеровог метода нађени су групни пројектори за иредуцибилне репрезентације које се јављају у разлагању динамичке репрезентације, а онда помоћу њих и вектори који се трансформишу по поменутиим иредуцибилним репрезентацијама. Дат је комплетан систем вектора који представљају помераје језгара. Рачун захтева познавање формуле за динамичку репрезентацију у било којој тачки Брилуенове зоне кристала. Готово искључиво се у литератури, до пар година након објављивања радова проистеклих из ових истраживања, користила симетријска класификација фонона кристала у центру Брилуенове зоне (Г тачка). Међутим, у свим осталим тачкама Брилуенове зоне метод је био занемарен у литератури. Зато су следећи радови кандидата попунили ту празнину:

**V. Damljanović, R. Kostić, R. Gajić:** "M-point phonon eigenvectors of graphene obtained by group projectors", *Romanian Reports in Physics* **65**, 193-203 (2013).

**V. Damljanović, R. Gajić:** "Phonon eigenvectors of graphene at high-symmetry points of the Brillouin zone", *Physica Scripta* **T149**, 014067 (2012).

--Карактери дипериодичне групе LG 80 – групе симетрије једнослојног графена (хексагоналне решетке): пошло се од метода налажења иредуцибилних репрезентација било које симорфне просторне групе и карактери су нађени сумирањем дијагоналних елемената одговарајућих матрица. Карактери су дати за било који елемент групе LG 80 у форми погодној за аналитичка израчунавања. На основу овога израчунат је Фробенијус – Шуров показатељ и показано је да су све иредуцибилне репрезентације групе LG 80 прве врсте т.ј. еквивалентне реалним. Ово може бити од интереса у ситуацијама када је потребно знати да ли је одговарајућа иредуцибилна репрезентација групе LG 80 еквивалентна реалној или ју је

потребно искомбиновати са својом комплексно конјугаованом да би се добила репрезентација двоструко веће димензије - физички иредуцибилна репрезентација. Резултати су објављени у следећем раду:

**V. Damljanović**, R. Kostić, R. Gajić: "Characters of graphene's symmetry group  $Dg80$ ", *Physica Scripta* **T162**, 014022 (2014).

--Проучавање вибрација кристалне решетке графена допираног литијумом, калцијумом или баријумом: овај материјал је интересант због теоријски предвиђене појаве суперпроводности на ниским температурама, настале услед електрон-фонон интеракције. Положај атома допаната у кристалној решетки је такав да снижава групу симетрије и повећава период решетке, доводећи до пресликавања гама и К тачке Брилуенове зоне графена у гама тачку допираног материјала. Са друге стране, интеракција допаната са основном графеновом решетком је слаба. Ово омогућава да се прорачуни вибрационих фреквенци допираног материјала у гама тачки упореде са експерименталним вредностима за графен/графит у тачкама гама и К. Овакво поређење је потребно пошто допирани материјал није још био синтетисан. Користећи свој рад о карактерима графенове групе симетрије (рад описан у претходној тачки овог текста) као и теорију пертурбације дегенерисаног вибрационог нивоа, В. Дамљановић је предвидео симетрије и приближне енергије фононских модова допираног материјала у гама тачки, који одговарају измереним модовима графена у гама и К тачкама. Теорија се поклапа са нумеричким рачуном помоћу теорије функционала густине, који је урадила Јелена Пешић у оквиру израде своје докторске дисертације. Заједнички резултати Јелене Пешић и В. Дамљановића су објављени у следећем раду:

J. Pešić, **V. Damljanović**, R. Gajić, K. Hingerl, M. Belić: "Density functional theory study of phonons in graphene doped with Li, Ca and Ba", *Europhysics Letters* **112**, 67006 (2015).

## 2.6 Аналитичке формуле за вибрационе фреквенце једноставнијих молекула

--Формула за динамичку репрезентацију групе таласног вектора кристала изводи се из формуле за динамичку репрезентацију тачкасте групе симетрије било ког молекула. Ову последњу је постулирао Еуген Вигнер још 1930. године. Она представља основ за симетријску класификацију нормалних модова осциловања ових система. Са друге стране, добро је познато да су електронска енергија молекула и потенцијална енергија језгара у молекулу функције координата језгара. Кандидат је показао да су ове функције инваријантне на одређену групу координатних трансформација језгара. Ова инваријантност последица је хомогености и изотропности простора и инваријантности одговарајућег хамилтонијана на пермутације идентичних честица. Показано је да је формула за динамичку репрезентацију у случају молекула последица поменуте инваријантности потенцијалне енергије језгара. Као додатан резултат јавља се исказ да сваки молекул има бар један тотално симетрични, Раман-активни мод осциловања. Проблем налажења стабилне конфигурације молекула (т.ј. тражење минимума потенцијалне енергије језгара у молекулу) овим постаје још један пример теорије са спонтаним нарушењем симетрије. Инваријантност потенцијалне енергије језгара омогућава примену Абуд – Сарторијеве теорије, додуше не потпуно пошто та функција не задовољава све захтеве ове теорије. Као пример, разматране су стабилне конфигурације и вибрационе фреквенце молекула типова  $X_n$  ( $n=3, 4, 6$ ) и  $XY_2$  уз апроксимирање електронске енергије њеним симетријски адаптираним Тејлоровим редом до другог степена, у околини конфигурације уједињеног атома. Иако веома груба, ова апроксимација је дала вредности односа вибрационих фреквенци у складу са експериментом и може бити од користи код тумачења вибрационих спектра хомонуклеарних молекула

облика правилног троугла, тетраедра или октаедра и линеарних молекула типа  $XY_2$ . Резултати су објављени у следећа два рада:

**V. Damljanović:** "Structure and dynamics of  $X_n$ -type clusters ( $n=3, 4, 6$ ) from spontaneous symmetry breaking theory", *Physica Scripta* **T157**, 014033 (2013).

**V. Damljanović:** "Simple analytical relation between vibrational frequencies of linear  $XY_2$  – type molecules", *Optical and Quantum Electronics* **48**, 293 (2016).

## 2.7 Мерење Раманових спектра рутената и ферата

--Коришћење Раманове спектроскопије за карактеризацију танких филмова високо температурног суперпроводника  $RuSr_2GdCu_2O_8$ : пошто су монокристали овог материјала који се могу добити стандардним методама раста кристала сувише мали за потребе експерименталног проучавања, прво могуће побољшање је раст танких филмова оријентисаних дуж  $c$ -осе. Мерење Рамановог спектра синтетисаног филма и његово упоређивање са спектром поликристалног узорка омогућава да се провери да ли је заиста добијен жељени материјал. Показано је да су методом Pulse Laser Deposition заиста добијени танки филмови овог материјала. Резултати су публиковани у раду:

A.T. Matveev, G. Cristiani, E. Sader, **V. Damljanović**, H. –U. Habermeier: "Growth of  $RuSr_2GdCu_2O_8$  films by post-annealing of pulsed laser deposited precursors", *Physica C* **417**, 50-57 (2004).

--Раманови спектри суперпроводног материјала  $RuSr_2GdCu_2O_8$  допираног лантаном: посматрано је 5 нивоа допирања: 0%, 1%, 3%, 5% и 10%. Са допирањем лантаном повећава се температура магнетног прелаза а снижава суперпроводног. Тако су прва два узорка суперпроводна а остали нису. Мерени су спектри у распону од 10К до собне температуре. Уочен је мод који се цепа на два приликом проласка кроз температуру магнетног уређења. Такође је показано да у литератури необјашњени пик који се јавља на ниским температурама постоји само у суперпроводним узорцима. Резултати су публиковани у раду:

**V. Damljanović**, C. Ulrich, C. Bernhard, B. Keimer, P. Mandal, A. Krimmel, A. Loidl: "Raman scattering study of  $Ru(Sr,La)_2GdCu_2O_8$ ", *Physical Review B* **73** (17), 172502 (2006).

--Мерење Рамановог спектра нестехиометријског материјала  $SrFeO_{3-\delta}$  за различите вредности  $\delta$ : овај материјал је интересантан јер је изоелектронски са материјалима који показују колосалну магнетоотпорност – ефекат погодан за примене у електроници. Између осталог, уочен је кристалографски фазни прелаз при саставу  $\delta=0.125$ . Раманова спектроскопија је коришћена и за карактеризацију монокристала. Резултати су објављени у следећа два рада:

A. Maljuk, A. Lebon, **V. Damljanović**, C. Ulrich, C.T. Lin, P. Adler, B. Keimer: "Growth and oxygen treatment of  $SrFeO_{3-y}$  single crystals", *Journal of Crystal Growth* **291** (2), 412-415 (2006).

P. Adler, A. Lebon, **V. Damljanović**, C. Ulrich, C. Bernhard, A.V. Boris, A. Maljuk, C.T. Lin, B. Keimer: "Magnetoresistance effects in  $SrFeO_{3-\delta}$ : Dependence on phase composition and relation to magnetic and charge order", *Physical Review B* **73** (9), 094451 (2006).

### 3. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАЛИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

#### 3.1 Квалитет научних резултата

##### 3.1.1 Научни ниво и значај резултата, утицај научних радова

В. Дамљановић је до сада објавио укупно 18 радова у међународним часописима са ISI листе. Од тога 1 у M21a категорији (међународни часописи изузетних вредности), 7 у M21 категорији (врхунски међународни часописи), 8 у M22 категорији (истакнути међународни часописи) и 2 у M23 категорији (међународни часописи). Након утврђивања предлога за избор у звање виши научни сарадник, кандидат је објавио укупно 5 радова у међународним часописима са ISI листе. Од тога 1 у категорији M21a, 1 у категорији M21, 1 у категорији M22 и 2 у категорији M23. Поред овога, кандидат има саопштења на укупно 35 научних скупова (12 од утврђивања предлога за избор у звање виши научни сарадник).

Као пет најзначајнијих теоријских радова кандидата могу се узети следећи радови:

1. **Vladimir Damljanović**, Igor Popov, Radoš Gajić: “Fortune teller fermions in two-dimensional materials”, *Nanoscale* **9**, 19337-19345 (2017). {DOI: 10.1039/C7NR07763G (M21a)}

2. **V. Damljanović**, R. Gajić: “Existence of Dirac cones in the Brillouin zone of diperiodic atomic crystals according to group theory”, *Journal of Physics: Condensed Matter* **28**, 085502 (2016). {DOI: 10.1088/0953-8984/28/8/085502 (M21)}

3. **V. Damljanović**, R. Gajić: “Addendum to ‘Existence of Dirac cones in the Brillouin zone of diperiodic atomic crystals according to group theory’”, *Journal of Physics: Condensed Matter* **28**, 439401 (2016). {DOI: 10.1088/0953-8984/28/43/439401 (M21)}

4. **V. Damljanović**, N. Lazić, A. Šolajić, J. Pešić, B. Nikolić, M. Damjanović: “Peculiar symmetry-protected electronic dispersions in two-dimensional materials”, *Journal of Physics: Condensed Matter* **32**, 485501 (2020). {DOI: 10.1088/1361-648X/abaad1 (M22)}

5. **V. Damljanović**, R. Gajić: “Existence of semi-Dirac cones and symmetry of two-dimensional materials”, *Journal of Physics: Condensed Matter* **29**, 185503 (2017). {DOI: 10.1088/1361-648X/aa6489 (M22)}

Своје физичке особине графен највише дугује специфичном облику дисперзије (Диракови конуси) електронске енергије у близини одређене тачке високе симетрије Брилуенове зоне. Због тога је велики труд научне заједнице уложен у тражење нових дводимензионалних материјала који би такође имали овакав облик дисперзије. У том тражењу истраживачи су имали мало (или нимало) путоказа који би им олакшали посао. Полазећи од идеје др Радоса Гајића да појава Диракових конуса можда има везе са симетријом материјала, В. Дамљановић је формулисао скуп групно-теоријских услова који омогућују појаву ових конуса. На основу формулисаних услова, кандидат је испитао све тачке Брилуенове зоне свих 80 могућих група симетрије материјала који су периодични у два правца, а коначни у трећем, ортогоналном правцу. Теорија се односи на немагнетне системе са занемарљивом спин-орбитном интеракцијом. Нађено је осам група код којих је дегенерација у тачкама додира конуса условљена кристалном симетријом (рад 2), односно три групе код којих је поменута дегенерација условљена симетријом при дејству временске инверзије (рад 3).

Знање стечено израдом радова 2 и 3, В. Дамљановић је применио на друге облике дисперзије. У раду 5 испитивани су симетријски услови за појаву тзв. семи-Диракове дисперзије. У овом случају дисперзија је Диракова у једном правцу а квадратна у ортогоналном, што доводи до анизотропних особина материјала. Семи-Диракова дисперзија је у време објављивања рада 5 била у жижи интересовања истраживача, тако да овај рад има око 50 референци од којих је половина била млађа од три године. У раду 5 кандидат је нашао да четири групе симетрије (од 80 могућих) неизбежно воде до постојања семи-Диракове дисперзије у одређеним тачкама Брилуенове зоне. Овај рад је од стране уредништва часописа изабран за *Highlights* за 2017. годину.

-прилог: писмо уредника часописа аутору.

У раду 1 кандидат је открио да симетрија гарантује четвороструку дегенерацију електронске енергије у угловима Брилуенове зоне одређених група симетрије слојева и испитао облик електронске дисперзије у близини тих тачака. Користећи на до тада непознат начин Вигнеров метод групних пројектора, нашао је линеарну поправку на Хамилтонијане и одатле његове својствене енергије и векторе. Добио је нову квазичестицу коју су коаутори на раду, због облика своје дисперзије, назвали жабица (*fortune teller*). Кандидат је доказао да та квазичестица има нулту ефективну масу али и ненулту густину стања (за разлику од Диракове и семи-Диракове где је та густина блиска нули), што је јединствен случај у 2Д материјалима. Предвиђања В. Дамљановића су крајем 2019. године потврђена експериментално од стране научника у Пољској. Након тога, о *fortune teller* фермионима изашао је и чланак у онлајн часопису *Chemistry World* посвећеном интересантим научним открићима. Чланак је објављен 05. фебруара 2020. године на следећој интернет адреси: <https://www.chemistryworld.com/news/a-new-class-of-massless-fermion/4011134.article>

-прилог: чланак о *fortune teller* дисперзији у часопису *Chemistry World*.

Радови 1, 2, 3 и 5 показују да су једине могуће квазичестице у немагнетним 2Д материјалима са занемарљивим спин-орбитним спрезањем: Диракова, семи-Диракова, квадратна и *fortune teller*. Поставља се питање да ли се још нека квазичестица добија укључивањем, на пример, спин-орбитне интеракције. У раду 4 кандидат је испитао дозвољене репрезентације свих 80 могућих двоструких група симетрије таквих система. Нашао је да постоји још једна квазичестица коју су коаутори на раду назвали мак (*poppy flower*). Кандидат је показао да је и та квазичестица безмасена али и да има густину стања као код Диракове. Такође је нашао десетак лабораторијски синтетисаних материјала од којих се, због своје слојевите структуре, могу добити слојеви са симетријама које дају дисперзију мак.

### 3.1.2 Позитивна цитираност научних радова кандидата

Према бази *Web of Science*, на дан 06. 06. 2022., сви радови кандидата су цитирани укупно 185 пута, док је број цитата без аутоцитата 167. Хиршов фактор кандидата је 5.

### 3.1.3 Параметри квалитета радова и часописа

Расподела кандидатских радова по часописима са њиховим фактором утицаја (*Impact Factor* - *IF*) дата је испод (звездицом су означени радови објављени након утврђивања предлога за избор у звање виши научни сарадник; за бројну вредност импакт фактора узимана је најповољнија вредност од вредности двогодишњег и петогодишњег импакт фактора за годину објављивања рада и претходне две године):



- 1 рад у Nanoscale (IF=7.915\*)
- 2 рада у Physical Review B (IF=3.185, IF=3.185)
- 4 рада у Journal of Physics: Condensed Matter (IF=2.346, IF=2.346, IF=2.346, IF=2.887\*)
- 1 рад у Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical (IF=2.331\*)
- 1 рад у Europhysics Letters (IF=2.269)
- 1 рад у Journal of Crystal Growth (IF=1.707)
- 3 рада у Optical and Quantum Electronics (IF=1.290, IF=1.547\*, IF=1.547\*)
- 3 рада у Physica Scripta (IF=1.296, IF=1.296, IF=1.204)
- 1 рад у Physica C (IF=1.192)
- 1 рад у Romanian Reports in Physics (IF=1.137)

Укупан фактор утицаја кандидативних радова је 41.680, а од утврђивања предлога за избор у звање виши научни сарадник тај фактор је 16.227. Сви радови су објављени у часописима са фактором утицаја већим од један. Додатни библиометријски показатељи (у целој каријери и од утврђивања предлога за избор у претходно звање) су дати у следеће две табеле:

#### У ЦЕЛОЈ ДОСАДАШЊОЈ КАРИЈЕРИ

	ИФ	М	СНИП
Укупно	41.680	112	17.45
Усредњено по чланку	2.316	6.222	0.969
Усредњено по аутору	15.420	42.691	6.494

#### ОД УТВРЂИВАЊА ПРЕДЛОГА

	ИФ	М	СНИП
Укупно	16.227	29	4.85
Усредњено по чланку	3.245	5.800	0.97
Усредњено по аутору	5.830	10.583	1.83

### 3.1.4 Специфичан допринос кандидата

Следећи чланци се могу сматрати као доминантно урађени од стране кандидата, те представљају његов специфични допринос (радови означени са **\*\*** су од утврђивања предлога о претходном избору у звање; видети и тачку 3.1.1):

**\*\* Vladimir Damljanović, Igor Popov, Radoš Gajić:** "Fortune teller fermions in two-dimensional materials", *Nanoscale* **9**, 19337-19345 (2017). {DOI: 10.1039/C7NR07763G (M21a) Impact factor 7.915 (22/271)}

**V. Damljanović, R. Gajić:** "Addendum to 'Existence of Dirac cones in the Brillouin zone of diperiodic atomic crystals according to group theory'", *Journal of Physics: Condensed Matter* **28**, 439401 (2016). {DOI: 10.1088/0953-8984/28/43/439401 (M21) Impact factor 2.507 (19/67)}

**V. Damljanović, R. Gajić:** "Existence of Dirac cones in the Brillouin zone of diperiodic atomic crystals according to group theory", *Journal of Physics: Condensed Matter* **28**, 085502 (2016). {DOI: 10.1088/0953-8984/28/8/085502 (M21) Impact factor 2.507 (19/67)}

**V. Damljanović, C. Ulrich, C. Bernhard, B. Keimer, P. Mandal, A. Krimmel, A. Loidl:** "Raman scattering study of Ru(Sr,La)<sub>2</sub>GdCu<sub>2</sub>O<sub>8</sub>", *Physical Review B* **73** (17), 172502 (2006). {DOI: 10.1103/Phys.RevB.73.172502 (M21) Impact factor 3.185 (7/60)}

**\*\* V. Damljanović**, N. Lazić, A. Šolajić, J. Pešić, B. Nikolić, M. Damjanović: "Peculiar symmetry-protected electronic dispersions in two-dimensional materials", *Journal of Physics: Condensed Matter* **32**, 485501 (2020). {DOI: 10.1088/1361-648X/abaad1 (M22) Impact factor 2.887 (33/69)}

**V. Damljanović**, R. Gajić: "Existence of semi-Dirac cones and symmetry of two-dimensional materials", *Journal of Physics: Condensed Matter* **29**, 185503 (2017). {DOI: 10.1088/1361-648X/aa6489 (M22) Impact factor 2.678 (23/67)}

**V. Damljanović**: "Simple analytical relation between vibrational frequencies of linear  $XY_2$  – type molecules", *Optical and Quantum Electronics* **48**(5), 293 (2016). {DOI: 10.1007/s11082-016-0558-2 (M22), Impact factor 1.290 (54/90)}

**V. Damljanović**, R. Kostić, R. Gajić: "Characters of graphene's symmetry group  $Dg80$ ", *Physica Scripta* **T162**, 014022 (2014). {DOI: 10.1088/0031-8949/2014/T162/014022 (M22), Impact factor 1.296 (40/78)}

**V. Damljanović**: "Structure and dynamics of  $X_n$ -type clusters ( $n=3, 4, 6$ ) from spontaneous symmetry breaking theory", *Physica Scripta* **T157**, 014033 (2013). {DOI: 10.1088/0031-8949/2013/T157/014033 (M22), Impact factor 1.296 (40/78)}

**V. Damljanović**, R. Kostić, R. Gajić: "M-point phonon eigenvectors of graphene obtained by group projectors", *Romanian Reports in Physics* **65**, 193-203 (2013). {(M22), Impact factor 1.137 (44/78)}

**V. Damljanović**, R. Gajić: "Phonon eigenvectors of graphene at high-symmetry points of the Brillouin zone", *Physica Scripta* **T149**, 014067 (2012). {DOI: 10.1088/0031-8949/2012/T149/014067 (M22), Impact factor 1.204 (35/84)}

**\*\* V. Damljanović**: "An example of diperiodic crystal structure with semi-Dirac electronic dispersion", *Optical and Quantum Electronics* **50**(7), 272 (2018). {DOI: 10.1007/s11082-018-1543-8 (M23), Impact factor 1.547 (61/95)}

### **3.1.5 Степен самосталности и степен учешћа у реализацији радова у научним центрима у земљи и иностранству**

Кандидат објављује радове у областима истраживања у којима је редослед аутора на раду битан. У том смислу, у 18 радова са SCI-листе из укупне досадашње каријере, кандидат је први аутор на 12 радова, док су позиције на осталих шест радова у односу на укупан број аутора: 2/5, 3/4, 3/7, 3/9, 4/5 и 2/3. У периоду након утврђивања предлога о избору у звање виши научни сарадник, кандидат је први аутор на 3 рада док су позиције на преостала два рада 3/4 и 2/3.

Укупан досадашњи опус кандидата се може поделити у две групе: радови са афилијацијом Института за Физику у Београду, у којима је допринос кандидата теоријски, и експериментални радови са афилијацијом Max Planck Institute for Solid State Research, Stuttgart, Germany. Што се тиче радова из београдског периода, кандидат не само да је био у суштини једини носилац теоријских истраживања у девет од четрнаест радова, него никада није ни имао ментора теоретичара (не рачунајући давно одбрањени дипломски рад кандидата). У поменутих девет од четрнаест теоријских радова, кандидат је у већини случајева самостално осмислио тему истраживања, док је метод решавања, сам рачун као и

писање радова обавио сам. Код преосталих пет радова, кандидат је у два осмислио тему, а у четири је урадио скоро сав теоријски рачун, док су радови написани у сарадњи са коауторима, који су укључили и своје аналитичке, нумеричке и експерименталне резултате. Резултати свих теоријских истраживања кандидата добијени су радом у Институту за физику у Београду.

Што се тиче експерименталних радова из штутгартског периода, степен самосталности је био мањи пошто су радови настали у току израде магистарске и докторске тезе В. Дамљановића, а и експериментални рад обично подразумева сарадњу више истраживача. Кандидат је дао конкретан допринос сваком од четири експериментална рада: мерење и тумачење Раманових спектра испитиваних узорака без којих добар део истраживања не би ни био могућ. На сва ова четири рада, кандидат је био једини магистрант/докторант, док су истраживања у потпуности обављена у иностранству: на институту Макс Планк (Max Planck Institut für Festkörperforschung) у Штутгарту, Немачка. Током свог целокупног боравка на том институту, кандидат је финансиран престижном стипендијом Друштва Макс Планк (Max Planck Gesellschaft).

### 3.1.6 Награде

Рад **V. Damjanović**, R. Gajić: “Existence of semi-Dirac cones and symmetry of two-dimensional materials”, *Journal of Physics: Condensed Matter* **29**, 185503 (2017). {DOI: 10.1088/1361-648X/aa6489 (M22)} изабран за highlights часописа *Journal of Physics Condensed Matter* за 2017. годину.

-прилог: писмо уредника аутору

### 3.2 Ангажованост у формирању научних кадрова

Кандидат је био коментор за докторску тезу др Јелене Пешић, одбраћену крајем 2017. године, са којом има заједнички рад категорије M21. Ментор ове тезе је др Радош Гајић, научни саветник Института за физику, сада у пензији.

-прилози: потврда о коменторству и захвалница у тези

Кандидат је био члан Комисије за преглед и оцену, као и члан Комисије за одбрану докторске дисертације др Наташе Лазић „Quasi-classical ground states and magnons in monoprotic spin systems”, одбраћене на Физичком факултету под руководством др Милана Дамљановића, редовног професора Физичког факултета и члана САНУ. Такође је био члан Комисије за избор др Наташе Лазић у звање научни сарадник.

Кандидат је био члан Комисије за оцену испуњености услова и оправданост предложене теме, члан Комисије за преглед и оцену, као и члан Комисије за одбрану докторске дисертације др Марка Миливојевића „Spin-orbit interaction in low-dimensional systems: symmetry based approach“, одбраћене на Физичком факултету под руководством др Татјане Вуковић, редовног професора Физичког факултета.

Кандидат је био члан Комисије за избор др Саше Дмитровића у звање доцента на Физичком факултету Универзитета у Београду. Такође је био члан Комисије за избор др Саше Дмитровића у звање научни сарадник.

Кандидат је био члан Комисије за избор др Зорана Поповића у звање научни сарадник.

### **3.3 Нормирање броја коауторских радова, патената и техничких решења**

Радови објављени након утврђивања предлога о избору у звање виши научни сарадник су теоријски са једним односно три аутора, теоријско-нумерички са три односно шест аутора и теоријско-експериментални са четири аутора. Само код једног рада је потребно нормирање које је број бодова смањило за 0.833, што не утиче на испуњење критеријума из Правилника о стицању истраживачких и научних звања (Службени Гласник РС 159/2020).

### **3.4 Руковођење пројектима, потпројектима и пројектним задацима**

Кандидат је руководио потпројектом „Предикција електронских дисперзија дводимензионалних материјала помоћу симетрије“, као делом пројекта „Физика уређених наноструктура и нових материјала у фотоници“, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије под бројем ОИ 171005.

-прилог: потврда руководиоца пројекта ОИ 171005 о руковођењу потпројектом

### **3.5 Активност у научним и научно-стручним друштвима**

Кандидат је рецензент за часописе Journal of Physics: Condensed Matter и Physica Scripta.

-прилог: писма уредништва рецензенту.

Кандидат је био члан Комисије за преглед задатака за Републичко такмичење ученика средњих школа одржаног у Математичкој гимназији у Београду 2013. године.

### **3.6 Утицај научних резултата**

Према бази Web of Science, на дан 06. 06. 2022. сви радови кандидата су цитирани укупно 185 пута, док је број цитата без ауоцитата 167. Хиршов фактор кандидата је 5.

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

На 9 теоријских радова, кандидат је самостално дошао до резултата истраживања, при чему је допринос осталих коаутора на тим радовима углавном у избору теме (графен и остали дводимензионални материјали). У овим радовима кандидат је на потпуно нов и до тада непознат начин применио теорију репрезентација просторних група на објашњење и предикцију одређених особина (зонске електронске структуре, вибрација кристалне решетке) било ког дводимензионалног материјала. Поред тога, кандидат је изнео сав поступак око објављивања радова, укључујући писање радова и кореспонденцију са едиторима часописа. На свим овим радовима кандидат је први (негде и једини) аутор. На 2 теоријско-нумеричка рада кандидат је самостално осмислио тему истраживања и самостално дошао до теоријских резултата. И на ова 2 рада је кандидат је први и аутор задужен за кореспонденцију са часописима, док су радови написани у сарадњи са осталим коауторима који су укључили и своје резултате. На једном нумеричком раду кандидатови резултати базирани на симетрији допуњују нумеричке резултате коаутора који су били главнина рада. На једном раду теорија коју је применио кандидат је објаснила експерименталне резултате коаутора који су били главнина рада. На ова два рада кандидат је други, односно четврти коаутор а у писању оба рада допринео је са пар реченица и

формула. У једном раду кандидат је написао део поређења теоријских резултата сарадника са примерима из литературе. На основу овога нашао је мање или озбиљније грешке у радовима других аутора објављеним у престижним часописима попут Science, Physical Review Letters и Physical Review B. Поменутих 14 радова урађени су у Институту за физику у Београду.

Допринос кандидата на 4 експериментална рада је у мерењу и тумачењу Раманових спектра испитиваних материјала. Без кандидатових резултата, само објављивање осталих резултата истраживања не би било могуће. На сва четири рада кандидат је био једини магистрант/докторант. Истраживања везана за ову тематику су у потпуности обављена у иностранству, где је В. Дамљановић урадио магистарску и докторску тезу.

### **3.8 Уводна предавања на конференцијама, друга предавања и активности**

Кандидат је одржао предавање по позиву на међународном научном скупу “Energy Landscapes 2019.” у Београду - Република Србија. Програм скупа се налази на следећој интернет адреси: <https://www.ch.cam.ac.uk/group/wales/energy-landscapes-2019-belgrade>

- прилог: позивно писмо организатора конференције

Кандидат је одржао предавање по позиву на међународном научном скупу “17<sup>th</sup> International Conference on Nanosciences and Nanotechnologies – NN20”, у Солуну - Грчка. Листа предавача по позиву се налази на следећој интернет адреси: <https://www.nanotechnology.com/2020/index.php/nn>

- прилог: позивно писмо организатора конференције

Кандидат је одржао предавање по позиву на међународном научном скупу “13<sup>th</sup> Photonics Workshop”, на Копаонику - Република Србија. Програм скупа се налази на следећој интернет адреси: <http://www.photonicsworkshop.ipb.ac.rs/13/index.php/time-table>

- прилог: позивно писмо организатора конференције

Кандидат је одржао предавање по позиву на научном скупу националног значаја “20<sup>th</sup> Symposium on Condensed Matter Physics – SFKM 2019”, у Београду – Република Србија. Листа предавача по позиву се налази на следећој интернет адреси: <http://sfkm2019.ipb.ac.rs/invited-speakers/>

- прилог: позивно писмо организатора конференције

Кандидат је одржао серију предавања у јуну 2021. године о примени симетрије у молекуларној и физици чврстог стања, преко програма *Erasmus+*, на Johannes Kepler Universität, Linz – Аустрија.

- прилог: позивно писмо домаћина

#### 4. ЕЛЕМЕНТИ ЗА КВАНТИТАТИВНУ ОЦЕНУ НАУЧНОГ ДОПРИНОСА КАНДИДАТА

Остварени резултати у периоду након одлуке Научног већа о предлогу за стицање претходног научног звања

Категорија	М бодова по раду	Број радова	Укупно М бодова	Нормирано М бодова
M21a	10	1	10	10
M21	8	1	8	8
M22	5	1	5	4.167
M23	3	2	6	6
M32	1.5	2	3	3
M34	0.5	7	3.5	3.5
M62	1	1	1	1
M64	0.2	1	0.2	0.2

Поређење са минималним квантитативним условима за реизбор у звање виши научни сарадник

	Минималан број М бодова	Остварено М бодова без нормирања	Остварено М бодова нормирано
Укупно	$50/2 = 25$	<b>36.7</b>	<b>35.867</b>
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M90	$40/2 = 20$	<b>32</b>	<b>31.167</b>
M11+M12+M21+M22+M23	$30/2 = 15$	<b>29</b>	<b>28.167</b>

Према Web of Science бази укупан број цитата радова кандидата на дан 06. 06. 2022. је 185, број цитата без аутоцитата је 167, док је Хиршов фактор 5.

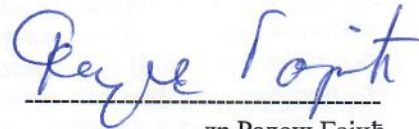
## 5. ЗАКЉУЧАК

На основу података из извештаја види се да др Владимир Дамљановић испуњава све квантитативне и квалитативне услове за реизбор у звање виши научни сарадник прописане Правилником о стицању истраживачких и научних звања Министарства просвете науке и технолошког развоја Републике Србије („Службени гласник Републике Србије“, бр. 159/2020).

Због тога предлажемо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за реизбор др Владимира Дамљановића у звање виши научни сарадник.

У Београду, 05. 09. 2022.

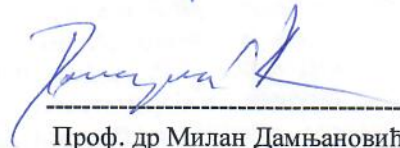
Чланови комисије:



др Радош Гајић  
научни саветник у пензији  
Институт за Физику у Београду



др Ненад Вукмировић  
научни саветник  
Институт за Физику у Београду



Проф. др Милан Дамњановић  
професор емеритус Универзитета у Београду  
редовни члан Српске академије наука и  
уметности