

## Научном већу Института за физику у Београду

На седници Научног већа Института за физику у Београду одржаној 07.02.2023. године именовани смо за чланове Комисије за избор др Емила Божина у звање научни саветник у следећем саставу:

- др Ненад Лазаревић, научни саветник
- др Дарко Танасковић, научни саветник
- академик Зоран В. Поповић

На основу документације која нам је достављена као и на основу личног познавања кандидата, подносимо следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. Биографски и стручни подаци о кандидату

Емил С. Божин, научник у Националној Лабораторији Брукхејвен рођен је 26. августа 1970. у Београду, где је завршио осмогодишњу школу (1985.) и Математичку гимназију (1989.). На Физичком Факултету Универзитета у Београду је дипломирао 1995. на одсеку теоријска физика. Те исте године одлази на постдипломске студије на Државном Универзитету Мичиген у Ист Ленсингу, Сједињене Америчке Државе. Магистрирао је 1999. године (физика) и 2001. године (електротехника, смер „Материјали и уређаји“). Докторат из физике чврстог стања је одбранио у мају 2003. године. Већи део истраживачког рада током постдипломских студија Емил је урадио у Центру за Расејање Импулсних Неутрона (Intense Pulsed Neutron Source, IPNS) у Аргон Националној Лабораторији у Илиноису, као и Лос Аламос Центра за Неутронско Расејање (LANSCE) Националне Лабораторије Лос Аламос у Новом Мексику (1997.-2002.) Докторску тезу брани из области експерименталне физике материјала јако корелираних електрона са специјализацијом на локалној структури и њеној корелацији са електронским особинама бакарних суперпроводника, у којима је проучавао флукуација тракастих наелектрисања коришћењем дистрибуционе функције атомских парова (ПДФ). За изузетне резултате остварене на постдипломским студијама 2003. године добио је Шервуд К. Хајнес награду (Sherwood K. Haynes Graduate Physics Award) Одсека за Физику Државног Универзитета Мичиген, која се додељује истакнутим постдипломским студентима у физици и астрофизици, као и Трејси А. Хамер награду за професионални развој (Tracy A. Hammer Graduate Student Award for Professional Development) колеџа за природне науке Државног Универзитета Мичиген, која се додељује за остварен изузетан професионални развој током постдипломских студија. Емил је и добитник престижне Розен награде (The Louis Rosen Prize) за 2004. годину коју додељује Центар за Неутронско Расејање Лос Аламос Националне Лабораторије за истакнута истраживања коришћењем неутронског расејања током постдипломских студија. Након одбране доктората враћа се у Србију где служи војни рок (септембар 2003. – јун 2004.) где једним делом држи предавања физике питомцима Војне Академије у Београду. Након завршетка војног рока кратак период ради у Лабораторији 020 Института за нуклеарне науке „Винча“.

Научна усавршавања наставља, као истраживач-постдокторант, на Одсеку за Физику Државног Универзитета Мичиген од септембра 2004. до јуна 2008. године, када прелази

на одсек за примењену физику и математику универзитета Колумбија где ради 2 године као истраживач. За изузетан успех у примењеној кристалографији Српско Кристалографско Друштво 2009. године му додељује награду „Др. Дубравко Родић“. Од октобра 2010. године придружује одсеку за физику кондензоване материје и науке о материјалима Брукхејвен Националне Лабораторије (БНЛ) као Научни Сарадник (еквивалент, Assistant Scientist) где колаборативно гради програм за истраживање структуре материјала на нанометарској дужинској скали користећи националне синхротронске изворе светлости (National Synchrotron Light Source, NSLS и NSLS 2) и где наставља научну каријеру до данас. Виши Научни Сарадник (еквивалент Associate Scientist) постаје 2012., а Научни Саветник (еквивалент Scientist) постаје 2015. године. За открића стања локалног нарушења симетрије у егзотичним електронским материјалима, и елаборације њиховог карактера и значаја за електронске особине, специфично у иридидима, купратима и манганитима, 2014. добија награду за науку (Science Prize) коју додељује Америчка Асоцијација за Неутронско Расејање (NSSA). Као истакнути гостујући научник и стипендиста Стивенсон фондације (Stephenson Distinguished Visitor Programme) Емил проводи 4 недеље у септембру 2019. године у Немачком Електронском Синхротрону (DESY) у Хамбургу, где колаборативно развија анализу тродимензионалне ПДФ методе на монокристалима. У оквиру министарства енергије САД, Емил је један од водећих истраживача (Co-PI) за основни програм расејања X-зрака (X-ray Scattering Field Work Proposal) од доласка на БНЛ 2010. до данас. Укупна активност одвија се у оквиру основне физике чврстог стања и физике материјала највећим делом на квантним материјалима укључујући јако корелисане електронске системе, генерално фокусирана на однос локалне атомске структуре и електронских особина, а специфично на прекурсорска и скривена метастабилна стања. Такође се може навести битан допринос образовању новог научно наставног кадра. Иако није имао формалну везу са универзитетима, Емил је у каријери је образовао низ студента (летње школе и радионице у периоду од 2013. године до данас), као и 4 постдокторанта, који су данас на истакнутим местима у САД и Кини.

Цитираност 28. јануара 2023. Web of Science 4,155 (4,066 хетеро) цитата. h-индекс: 34.

## 2. Преглед научне активности

Емил Божин је као аутор или коаутор објавио 125 научних радова у научним часописима са рецензијом, са преко 4,000 цитата по бази података Web of Science или преко [6,000 цитата](#) по Google Scholar бази података која укључује и радове цитиране у arXiv.org облику, од постављања на препринт сервер до објављивања у часопису.

Емил Божин је један од водећих истраживача (primary investigator–а) на програму X-ray Scattering у оквиру одсека за физику чврстог стања и науке о материјалима у БНЛ, где руководи истраживањима атомске структуре квантних материјала на хијерархији дужинских скала употребом напредних Фурије техника коришћењем расејања X-зрака и неутрона. Експериментални рад обавља на синхротронским постројењима [Advanced Photon Source (APS) у Националној Лабораторији Аргон (Argonne National Laboratory у Илиноису), National Synchrotron Light Source 2 (NSLS2) у БНЛ-у у Њу Јорку, Positron-Electron Tandem Ring Accelerator III (PETRA III) у Немачком Електронском Синхротрону (Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY) у Хамбургу, и Linac Coherent Light Source (LCLS) у Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) Националној Акцелераторској Лабораторији у Калифорнији] и пулсним неутронским постројењима [Intense Pulsed Neutron Source (IPNS) у Националној Лабораторији Аргон (до 2008), и Spallation Neutron Source (SNS) у Националној Лабораторији Оак Риџ у Тенесију]. Поред експеримената

посвећених сопственом научном програму, у последњих неколико година сарађује са тимовима на експерименталним линијама на остваривању концептуалних напредних ПДФ мерења у магнетном пољу (NSLS2), под високим притисцима (SNS), и на ултрабрзој (ultrafast) временској скали у pump-probe модалитету (LCLS).

Др. Божин је рецензент великог броја најугледнијих светских часописа из физике материјала и сродних области као на пример: Nature Materials, Nature Communications, Nature Scientific Reports, Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. B, Chem. Mat., Journal of the American Chemical Society, Journal of the Physical Society of Japan, Journal of Physical Chemistry, Journal of Applied Crystallography и других. Осим тога, служи и као рецензент за истраживачке предлоге US Department of Energy (DOE), European Research Council (ERC), Hrvatske Znanstvene Zajednice (HZZ) као и за експерименталне предлоге великих истраживачких института: Bragg Institute of the Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO), и Neutron Sciences Directorate (SNS & HFIR, Oak Ridge), PETRA III (DESY) где је у једном периоду служио и као председавајући у групи за неуређене системе. Служио је као члан LANSCE саветодавног комитета корисника 2013.-2015. у Лос Аламос Националној Лабораторији, саветодавног одбора за пројекат SCOPES швајцарске националне научне фондације (Swiss National Science Foundation) 2014.-2016., и тренутно служи као члан саветодавног тима за прављење инструмента DISCOVER у Оак Риџ Националној Лабораторији. Ко-организатор је Фокус Сесије „Engineering Phase Transitions in Strongly Correlated Oxides“ у име Division of Materials Physics на годишњој мартовској конференцији америчког друштва физичара (APS March meeting) 2015. године у Сан Антонију, три америчке Националне Школе за Тотално Расејање одржане у Оак Риџ лабораторији (2019-2022), Микросимпозијума „Total scattering“ на 25. конгресу међународне кристалографске уније (25<sup>th</sup> IUCr2020 congress) одржаном у Прагу 2020. године, радионици „Structural Responses to Electronic Order in Quantum Materials from Total Scattering Approaches“ у оквиру годишњег скупа корисника NSLS2 синхротрона и Центра за Функционалне Наноматеријале (CFN) одржаног 2021. године у БНЛ, као и Микросимпозијума „Total scattering studies and disorder“ на 17. европској конференцији дифракције на праху (EPDIC17) одржаној 2022. године у Шибенику.

Др. Божин блиско сарађује са истраживачима на експерименталним уређајима интернационалних синхротронских и неутронских постројења у циљу развоја напредних ПДФ мерења у магнетном пољу (NSLS2), под високим притисцима (SNS), и на ултрабрзој (ultrafast) временској скали у pump-probe модалитету (LCLS). Доприноси развоју и популаризацији ПДФ технике и инфраструктуре за моделовање структуре на нанометарској скали на праховима и монокристалима, и учествује у организацији школа за обуку наредних генерација истраживача.

Научни програм Емила Бојина односи се на карактеризацију хијерархијске структуре материјала у физици чврстог стања, са фокусом на локалне хетерогености на нанометарској дужинској скали. Жижа интересовања су феномени везани за локално-структурни одзив везаним за електронске нестабилности, проузроковане парцијално попуњеним енергетским зонама и високом глобалном симетријом система, у материјалима релевантним за енергетику и информационе технологије. Особине од интереса обухватају метал-изолатор прелазе, таласне дистрибуције орбитала, наелектрисања и/или спина, неконвенционалну суперпроводност, колосалну магнетоотпорност, термоелектричност, и друге. Са техничке стране Емилов програм структурне карактеризације користи напредне Фурије методе које повезују реципрочни и директни простор, како на поликристалним (1Д ПДФ) тако и монокристалним (3Д ПДФ) системима. Рад се заснива на експериментима који се одвијају на великим постројењима као што су синхротронски извори (САД, Немачка) и пулсни неутронски

извори (САД). Експериментално време се обезбеђује путем експерименталних предлога у изузетно компетитивном мултидисциплинарном процесу у коме учествују реномиране истраживачке групе из целог света.

Његова научно-истраживачка активност може се поделити у 7 целина:

- **Локално нарушење симетрије у манганитима**

Детаљно разумевање механизма метал-изолатор прелаза и колосалне магнетотпорности у манганитима уско је повезано са понашањем електронске структуре и одзивом кристалне решетке на нанометарској скали, отелотворено у појави тзв. Јан-Телер (ЈТ) поларона. Емилове претходне студије су детаљно карактерисале ( $x$ ,  $T$ ) фазни дијаграм  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  фамилије и показале да структурна карактеристика Јан-Телер поларона испољава комплексну еволуцију као функцију композиције и температуре, која не одговара предпостављеном поједностављеном моделу тзв. „малих поларона“ често коришћеном за опис изолаторске фазе. Локална структурна дисторзија у изолаторској фази није константна (што је предпоставка модела малих поларона) већ се смањује са повећањем концентрације калцијума, али не прати Вегардов закон по коме би та зависност била линеарна између  $x=0$  (пуна дисторзија) и  $x=1$  (нулта дисторзија). Детаљна ПДФ истраживања су додатно оповргла још једну учесталу претпоставку о универзалном перколативном карактеру метал-изолатор прелаза у манганитима као и фазне сепарације, на нанометарској скали. Мултифазним третманом је показано да фракција високотемпературне изолаторске фазе оштро опада испод температуре прелаза. С друге стране, присуство Јан-Телер дисторзија у узорцима са концентрацијом калцијума која испољава метал-изолатор прелаз ( $x=0.22$ ) је установљено на температури реда величине 1050 К, далеко изнад структурног фазног прелаза на 720 К у ромбоедарску симетрију где су дисторзије манган-оксидних октаедара стриктно кристалографски забрањене. У изолаторској фази магнитуда локалних ЈТ дисторзија и њихова просторна корелисаност је константна с температуром. Ови резултати имплицирају да је понашање на нанометарској скали везано за енергетску скалу асоцирану са укидањем дегенерације  $d$  орбитала мангана, која је далеко већа од енергије уређења на било којој просторној скали и температури од значаја за електронске особине.

- **Студије хијерархије дужиских скала у бакарним суперпроводницима**

У последњих десетак година Емил наставља детаљна истраживања структурних одзива у високотемпературним суперпроводницима на бази бабра, која је била област интересовања током његових постдипломских студија. Дуго позната енигма о диспаритету локалних и дугодометних корелација ротација бакар-оксидних октаедара у слабо допираном режиму  $\text{La}_{2-x}\text{Ba}_x\text{CuO}_4$ , фамилији првог рапортираног високотемпературног суперпроводника, је проучена у комбинованој студији неутронске дифракције на праху и нееластичног неутронског расејања. Експерименти су урађени на спалационом неутронском извору у Оак Риџ лабораторији. Овај систем је од интереса због јаког смањења „балк“ суперпроводног прелаза (такозвана 1/8 аномалија) за коју се предпоставља да је изазвана дугодометном тракастом модулацијом густине наелектрисања и спина које је у очигледној конкуренцији са суперпроводношћу. Ово нискотемпературно уређење дуж једног правца се повезује са анизотропијом  $\text{Cu-O}$  хемијске везе која је опсервирана у нискотемпературној тетрагоналној кристалној (ЛТТ) фази. При загревању кристална решетка испољава два структурна фазна прелаза, који укључују промену карактера октаедарских ротација, прво у нискотемпературну орторомбичну (ЛТО), а потом високотемпературну тетрагоналну (НТТ) кристалографску фазу. И поред добро познате промене у статичном дугодометном уређењу, Емилова неутронска студија у колаборацији са групом за неутронско расејање на БНЛ је показала

да тренутна локална структура ЛТТ-типа остаје кроз оба структурна прелаза. Комплементарна мерења методом нееластичног расејања за композицију  $x=1/8$  су показала динамичку природу локалних ротација ЛТТ-типа у оквиру кристалграфских фаза са номиналном ЛТО и НТТ симетријом. У оквиру нискотемпературне фазе бифуркација дужина Cu-O хемијских веза у бакар-оксидним равнима достиже свој максимум од 0.3% за  $x=1/8$ , што сугерише да електрон-фонон интеракција може допринети оптимизацији структуре која стабилише тракasto дугодометно уређење. С друге стране, структурне флукуације могу бити повезане са контроверзним псеудогап понашањем у купратима. Ова детаљна студија указује на важност систематског приступа и употребе комплементарних техника при проучавању система високог степена комплексности и деликатних одговора кристалне решетке. Такође је проучавао и улогу атомских померања дуж кристалографске осе нормалне на бакар-оксидне равни у ефекту „екранирања“ наелектрисања у узорцима  $YBa_2Cu_3O_{6+x}$  и других високотемпературних суперпроводника. У овим материјалима значај слојева који служе као резервоари наелектрисања и који обезбеђују шупљине бакар-оксидним равнима је одавно установљен. Међутим, недовољно пажње је указано „екранирању“ трансфера наелектрисања од стране јонских међуслојева који се налазе између бакар-оксидних равни. У  $YBa_2Cu_3O_{6+x}$  фамилији Cu-O ланци донирају шупљине суперпроводним равнима. Користећи неутронско расејање на праху Емил је детаљно окарактерисао температурну зависност атомских померања јона дуж правца ортогоналног на  $CuO_2$  равни, на основу чега је установљен трансфер наелектрисања од 5-10% укупне густине шупљина из равни у Cu-O ланце при грејању од суперпроводног прелаза до собне температуре. С обзиром на значајно купловање ових померања са средњом густином наелектрисања, установљено је да су локална атомска померања круцикална за екранирање модулације наелектрисања. На основу ове анализе је предложен модел диелектричног екранирања који даје линеарну везу између релативних јонских померања дуж осе ортогоналне на бакар-оксидне равни и густине шупљина у самим равнима. Овај једноставан модел је конзистентан са опсервацијама скенирајуће тунел микроскопије (STM) у слабо допираном  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ .

- **Студије структуре суперпроводника на бази гвожђа**

У блиској сарадњи са Чедомиром Петровићем у БНЛ, чија група је открила, синтетисала и карактеризовала низ суперпроводника и суперпроводних фамилија, као и блиских система на бази гвожђа, Емил се укључује у систематска истраживања кристалне структуре и нехомогености на нанометарској скали у овој класи материјала. Поједини материјали у овој области проучавани су у сарадњи са групом истраживача Института за Физику у Београду. У  $Fe_{1+y}(Te_{1-x}S_x)_z$  окарактерисана је путем Ритвелд анализе дифрактограма X-зрака стоихиометрија која игра важну улогу у успостављању прецизних фазних дијаграма система и игра важну улогу у транспортним и магнетним особинама попут полупроводног  $K_xFe_{2-y}S_2$ , који је изоструктуран са  $K_xFe_{2-y}Se_2$  суперпроводницима, и који испољава понашање „спинског стакла“. Студије су показале да стоихиометрија, дефекти и локално окружење  $FeCh_4$  ( $Ch=S,Se$ ) тетраедара изазивају важне ефекте на физичке особине у тим изоструктурним и изоелектронским материјалима. За висококвалитетне узорке  $\beta$ -FeSe кристала који су први успешно синтетисани у групи Чедомира Петровића, синхротронска мерења су показала одсуство опсервабилних нечистоћа у границама примењене карактеризације. За разлику од суперпроводника изведених од  $Fe_{1+y}Te$ , структурна анализа је показала да интерстицијална Fe(2) позиција у кристалу није попуњена, што имплицира да целокупан допринос густини стања на Ферми нивоу потиче од раванских Fe(1). У суперпроводним халогенидима гвожђа чију су синтезу и суперпроводност први открили у лабораторији Др. Петровића, детаљно је окарактерисан фазни дијаграм  $K_xFe_{2-y}Se_{2-z}S_z$ , који показује прелаз из суперпроводног у изолаторско стање посредством хемијске супституције,

детаљна структурна анализа синхротронских података је показала да је нестанак суперпроводности повезан са дисторзијама  $\text{Fe}_2\text{-Se/S}$  тетраедара. Такође је показано да магнетне и проводне особине могу бити повезане са стоихиометријом слабо попуњеног  $\text{Fe}_1$  места, као и локалног окружења скоро потпуно попуњеног  $\text{Fe}_2$  места. Систематско снижавање суперпроводне критичне температуре је коинцидентно са повећањем попуњености  $\text{Fe}_1$  као и укупним повећањем стоихиометрије гвожђа од  $\text{Se}$ -чисте ка  $\text{S}$ -чистој концентрацији. Додатне ПДФ студије на неутронским подацима разоткриле су висок степен структурне комплексности у овом систему на нанометарској скали, укључујући значајну неуређеност у распореду  $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$  слојева која није турбостратична. Установљено је да истрибуција ваканција значајно модификује дистрибуцију  $\text{Fe-Cl}$  растојања, као и да систем показује доста широк прелаз центриран око  $z \approx 1$  композиције из стања корелисаног неуређења на  $\text{Se}$ -крају у стање са значајним уређењем ваканција ближе  $\text{S}$ -крају фазног дијаграма. Овакво понашање подржава идеју о блиској вези између корелисаног уређења ваканција гвожђа у локалној структури и електронских особина попут суперпроводног уређења „проистеклог“ из локалне неуређености. Слична детаљна структурна карактеризација је рађена и на фазном дијаграму  $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$  у контексту орбиталних степена слободе за које се сматра да играју значајну улогу у појачавању електрон-фонон интеракције и да могу бити умешани у механизам суперпроводног спаривања. У последње време Емил је радио и на проблему разумевања детаља интеркалације  $\text{FeSe}$  органским молекуларним донорима (литијум пиридин  $\text{Li}_x(\text{C}_5\text{H}_5\text{N})_y$ ) путем које се  $\text{FeSe}$  слојеви раздвајају у значајно раширеној кристалној решетки дуж правца ређања слојева. У овом процесу суперпроводна температура се може повећати и до 5 пута, али релевантни параметри нису до сада успостављени. У синхротронским мерењима процеса интеркалације „in situ“ проучавана је еволуција различитих дужинских скала као функција времена реакције интеркалације. Квантитативна ПДФ анализа као функција времена је установила дисторзије  $\text{FeSe}_4$  тетраедарских локалних окружења где су тетраедри опсервабилно увећани у односу на оне у полазном  $\beta\text{-FeSe}$ . Анализом нису пронађена метастабилна стања система, али је идентификован низ паразитских фаза (нпр.  $\alpha\text{-Fe}$  и  $\text{Li}_2\text{Se}$ ) које је потребно елиминисати адекватном оптимизацијом синтезе ради постизања фазно чистих узорака. Структурни параметри интеркалиране фазе показују смањење хемијског притиска и веће анионске висине, која се сматра важним параметром у оптимизацији суперпроводности, као и повећању концентрације ваканција гвожђа. Еволуција локалне структуре сугерише оптималан прозор реакције где кинетички стабилзоване фазе показују дисторзије тетраедарске мреже које су неопходне за повећање суперпроводне температуре у системима на бази гвожђа са експандованим решеткама.

- **Материјали са таласном густином електронских степена слободе**

У контексту проучавања теорија о квантној критичности индукованој супресијом таласне густине наелектрисања, Емил је проучавао серију материјала попут  $\text{Cu}(\text{Ir}_{1-x}\text{Cr}_x)_2\text{S}_4$  и  $\text{Ir}_{1-x}(\text{Rh/Pt}_x)\text{Te}_2$ , система у којима је уређење повезано са димеризацијом подрешетке иридијума испод температуре метал-изолатор и метал-метал прелаза, респективно, или  $\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Pn}$  ( $\text{Pn}=\text{P}, \text{As}, \text{Sb}$ ), у којима је уређење везано за комплекснију олигомеризацију рутенијума. Поједини материјали у овој области проучавани су у сарадњи са групом истраживача Института за Физику у Београду. У неким од тих система или њихови деривата суперпроводност се у појављује након супресовања уређене фазе у маниру који сугерише улогу квантних флуктација у суперпроводности. У  $\text{CuIr}_2\text{S}_4$  спинелу проучавано је појављивање металне фазе индуковане температуром, парцијалном субституцијом хрома уместо иридијума, и флуенцом  $\text{X}$ -зрака. Студија показује да је метално стање остварено грејањем или субституцијом квалитативно другачије од оног оствареног радијацијом  $\text{X}$ -зрацима. У првој ситуацији димери иридијума нестају у металној фази на свим дужинским скалама, док у се другој ситуацији

металичност остварује путем уништења дугодометног уређења при чему је локално димеризација и даље присутна. На ниским температурама у систему са супституцијом хрома откривен је локални фазни прелаз за  $x > 0.1$  при ком глобална кристална структура остаје кубна на свим температурама, док се локална структура мења у стање локално-нарушене симетрије индуковане иридијумском димеризацијом. У фазним дијаграмима  $\text{Ir}_{1-x}(\text{Rh}/\text{Pt}_x)\text{Te}_2$  показано је одсуство димерских флукуација у суперпроводном режиму и показана фазна сепарација на нанометарској скали суперпроводне и фазе таласне густине наелектрисања (отелотворене у димеризацији) у близини предпостављене квантне критичне тачке, што имплицира да квантне флукуације не играју битну улогу у фазном дијаграму ових система. С друге стране у  $\text{RuP}$ , који је основни материјал суперпроводне фамилије  $\text{Ru}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Pn}$  са највећом критичном температуром, пронађене су краткодметно уређене флукуације у високотемпературној металној фази које могу бити структурни репрезент квантних флукуација у суперпроводном режиму. У детаљној неутронској студији новог  $\text{BaTi}_2\text{Sb}_2\text{O}$  суперпроводника и његовог несуперпроводног пандана  $\text{BaTi}_2\text{As}_2\text{O}$  структурном анализом у комбинацији са електронском дифракцијом и теоријским калкулацијама откривено је необично основно стање уређеног наелектрисања које има нематички карактер, где је симетрија нарушена унутар јединичне ћелије и поседује симетрију  $d$ -таласа. С обзиром да су пронађене карактеристике овог система између купрата и суперпроводника на бази гвожђа, он представља важну платформу за разумевање нематичког уређења и улоге које исто игра у суперпроводности.

- **Термоелектрици високих перформанси**

Емил се у периоду од интереса бави и карактеризацијом структуре на нанометарској скали термоелектричних материјала у студијама оријентисаним на оптимизацију тих особина. Међу те системе спадају чврсти раствори  $(\text{PbTe})_{1-x}(\text{PbS})_x$ ,  $\text{PbTe}$ ,  $\text{PbSe}$ ,  $\text{SnTe}$ ,  $\text{SnSe}$ ,  $\text{AgGaTe}_2$ ,  $\text{CuGaTe}_2$  и сл. У студијама чврстих раствора, на пример, фокус је био на фазној сепарацији и њеној еволуцији под различитим параметрима синтезе. Нанофазна сепарација у овим материјалима доприноси смањењу термалне проводности решетке, која је важан елемент оптимизације термоелектричних особина. У појединим случајевима откривени су потпуно нови до сад непознати скривени структурни ефекти, за које је показано да су интринични тим материјалима, који потичу од нестабилности у локалној „хемији“, а који су везани за неколико различитих локалних механизма. Таква стања су отворила нови правац у дизајнирању термоелектрика високих перформанси. Иако су неки од тих система већ деценијама у комерцијалној употреби, до ових Емилових открића се није знало одакле те повољне особине (нпр. интринично ниска термална проводност) заправо потичу. Пронађена динамичка стања имају нанокарактер, немају дугодометно уређење, а настају при грејању из основног стања које има високу кристалографску симетрију. Дисторзије ових стања расту линеарно са повећањем температуре, а не могу се опсервирати кристалографски јер се глобална симетрија приликом њиховог континуалног појављивања не мења. Овај феномен је одговоран за анхармоничне ефекте опсервиране на пример у експериментима нееластичног неутронског расејања као и за расејавање фонона који преносе топлоту кроз материјал што је један од ефеката који се негативно одражавају на термоелектричне особине и ефикасност ових материјала у практичним применама.

- **Карактеризација функционалних наночестица**

Емил је успешно примењивао ПДФ методу и у студијама функционалних наночестица, чије електронске особине од интереса на критичан начин зависе од димензија, облика и стоихиометрије, где карактерише везу између нанометаске

структуре и особина централних за њихову технолошку примену. У сарадњи са лабораторијом 020 у Винчи проучавао је литијум феритне наночестице ( $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$ ) са употребом у микроталасним и сензорским применама, меморијским системима на бази ферита, и у катодама литијум јонских батерија, где је проучавао ефекте термалног жарења на структурне и магнетне особине, као и агрегате  $\text{Ti}_{1-x}\text{Fe}_y\text{O}_{2-d}$  наносипки са применама у катализи и фотоволтаичним апликацијама, где је изучавао хетерогености и структурно неуређење ради детаљног разумевања и оптимизације њихових особина. Посебно значајне су студије магнетних наночестица за дијагностику и терапеутске примене у медицини. Користио је ПДФ методу у комплементарним студијама за процену биокомпатибилности  $^{90}\text{Y}$ -маркираних суперпарамагнетних  $(\text{Fe},\text{Er})_3\text{O}_4$  наночестица. Најзначајне резултате у овој области постигао је у студијама  $\text{Fe}_x\text{O}-\text{Fe}_{3-d}\text{O}_4$  нанокристала где је установио некибичну локалну структуру остварену путем ваканција која има значајан утицај на манипулацију магнетне анизотропије која је важна за ефикасну примену у циљаном третману тумора магнетном хипертермијом. У студији је установљено да су катјонске ваканције у оквиру хемијски униформног нанокристала важан параметар за модификацију магнетних особина, јер производе локална поља изменске анизотропије које појачавају магнетизацију наночестица. Овиме су установљен нови концепт контроле особина коришћењем дефеката на атомској скали. Сличан концепт је потом установљен и у бимагнетским наночестицама са „језгро-љуска“ структуром  $\text{Co}_y\text{Fe}_{1-y}\text{O}@\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ , где су испитивани ефекти инкорпорације кобалта у сферичне хетероструктурне нанокристале. Увођење кобалта резултира у редукцији броја ваканција гвожђа, чиме се ефективно може остварити оптимизација грејне снаге механизмом уређених кластера дефеката која је директно корелисана са стабилизацијом језгра.

- **Прекурсорска стања на наноскали**

Користећи тотално расејање X-зрака, Емил је пронашао скривена прекурсорска стања на високим температурама у низ система са активним орбиталним сектором, који испољавају Пајрлс прелаз у из стања високе глобалне симетрије у стање нарушене глобалне симетрије одликовано дугодометним орбиталним уређењем. У системе спадају:  $\text{CuIr}_2\text{S}_4$  систем са метал-изолатор прелазом на 230 К (орбитални прекурсор димеризацији иридијума, опсервиран у поликристалним праховима једнодимензионом ПДФ методом и монокристалима тродимензионалном ПДФ методом),  $\text{LiRh}_2\text{O}_4$  који има двостепени метал-изолатор прелаз испод собне температуре (орбитални прекурсор димеризацији родијума), и  $\text{MgTi}_2\text{O}_4$  који има метал-изолатор прелаз на 250 К (дво-орбитални прекурсор димеризацији титанијума). У студији  $\text{NaTiSi}_2\text{O}_4$  Мот изолатора, који има Пајрлс прелаз на 210 К, коришћењем комбинованог неутронског и X-зрачења, откривена су дуална прекурсорска стања димеризацији титанијума на квази једнодимензионалним титанијумским ланцима. У скорашњој студији слична прекурсорска орбитална стања корелисана на скали од ~1.5 нанометара пронађена су и у бинарном  $\text{RuP}$  родитељу нових суперпроводника. У овом случају одзив представља структурну назнаку флукуације електронске псеудогеџ фазе, за које се предпоставља да играју улогу у суперпроводности овог система. Сличне прекурсорске флукуације су пронађене и у магнетном сектору у геометријски фрустрираним магнетима  $\text{AMnO}_2$  ( $A = \text{Na}, \text{Cu}$ ), употребом атомске и магнетне ПДФ анализе на неутронским подацима. Док је у  $\text{CuMnO}_2$  уклањање фрустрације праћено структурним прелазом у стање нарушене симетрије карактерисаним дугодометним уређењем, у  $\text{NaMnO}_2$  дисторзије постоје само на нанометарској скали, где је ослобађање система од фрустрације и дугодометно магнетно уређење на ниским температурама омогућено кроз кооперативну интеракцију стања локално нарушене симетрије и краткодметних магнетних корелацијама које уклањају магнетну дегенерацију на нанометарској скали. Степен фрустрације, контролисан нивоом резидуалног неуређења, доприноси различитим путевима којим се остварује



једно исто стабилно магнетно основно стање у два блиска материјала. Студија даје пример како наноструктурне дисторзије које стварају пертурбације на локалној скали могу да укину дегенерацију основног стања и изазову макроскопско магнетно уређење.

### 3. Елементи за квалитативну оцену научног доприноса кандидата

#### 3.1 Квалитет научних резултата

У периоду од последњих 15 година, др Емил Божин публиковао је укупно **79 научна рада** укупног **ИФ = 469.375**.

Редовни је гост на семинарима Центра за физику чврстог стања и нове материјале, Института за физику у Београду, на којима је представља своје одабране резултате.

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

У последњих 15 година истичу се следећи радови:

##### 1. **Entropically stabilized local dipole formation in lead chalcogenides**

E. S. Bozin, C. D. Malliakas, P. Souvatzis, T. Proffen, N. A. Spaldin,  
M. G. Kanatzidis, S. J. L. Billinge

[Science](#) **330**, 1660 (2010).

DOI: 10.1126/science.1192759

Број цитата (Web of Science) = 270

Тип рада M21a

У бинарним олово телуриду и олово селениду са кубном симетријом структуре, термоелектричним материјалима који су у комерцијалној употреби, Емил је открио локалне структурне диполе, стања локално нарушене симетрије, који се појављују из недеформисаног основног стања високе симетрије при грејању. Ова појава је супротна класичним структурним фазним прелазима где се симетрија нарушава путем уређених дисторзија при хлађењу. Нетривијално, новооткривено електронско стање не поседује дугодометну уређеност ни на једној температури, и развија се континуално из основног стања те не представља фазни прелаз, већ је потпуно нов динамички феномен, за који је одговорна активност усамљених електронских парова у олову. Ово локално стање изазива расејање фонона који преносе топлоту, чиме се спутава термални транспорт у материјалу и повећава термоелектрична ефикасност. Ово је прва опсервација ефекта који је по својој природи интринсичан, и омогућава нови принцип за дизајнирање термоелектрика високих перформанси. *Допринос: Емил је открио ефекат, дизајнирао студију и експерименте, и урадио комплетне анализе којим се показала температурна зависност и карактер нарушене симетрије. Интерпретација ефекта је направљена у колаборацији са групама са Нортвестерн Универзитета (синтеза) и ЕТН у Цириху (теорија).*

##### 2. **Evidence for short-range-ordered charge stripes far above the charge-ordering transition in $\text{La}_{1.67}\text{Sr}_{0.33}\text{NiO}_4$**

A. M. M. Abeykoon, E. S. Bozin, W.-G. Yin, G. Gu, J. P. Hill,  
J. M. Tranquada, S. J. L. Billinge.

[Physical Review Letters](#) **111**, 96404 (2013).

DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.096404

Број цитата (Web of Science) = 23

Тип рада M21a

Улога тракастих наелектрисања (и дугодометног уређења наелектрисања генерално) у високотемпературним суперпроводницима на бази бакра, као и природа и порекло такозване „псеудогеџ“ фазе је вишедеценијски проблем у купратима. У овом раду Емил

је изучавао локалну структуру члана породице 214-никелата, блиских „рођака“ купрата, у коме је температура фазног прелаза у тракасто уређење наелектрисања максимална. Користећи неутронску дифракцију на праху и неутронски ПДФ први пут је установљено да краткодметне динамичке флукуације тракастих наелектрисања постоје далеко изнад температуре фазног прелаза, чак до  $T \sim 2T_{CO}$ . Температурна зависност структурног одзива корелише са псеудогепом опсервираним у студијама оптичке проводљивости. Резултати промовишу идеју да су у суперпроводницима на бази купрата краткодметне корелације флукуирајућих наелектрисања повезане са електронским особинама, попут псеудогепа и нематичких и смектичких електронских фаза. *Допринос: Емил је дизајнирао експерименталну поставку за континуална мерења од ниских до високих температура и извео експерименте тоталног неутронског расејања, редуковао податаке, и руководио комплетном анализом коју је спроводио постдокторант Milinda Abeukoon. У колаборацији са колегама са БНЛ из теоријске и групе за неутронско расејање урађена је интерпретација резултата анализе.*

### 3. **Unconventional continuous structural disorder at the order-disorder phase transition in the hexagonal manganites**

S. H. Skjærvø, Q. N. Meier, M. Feygenson, N. A. Spaldin, S. J. L. Billinge, E. S. Bozin, S. M. Selbach.

[Physical Review X 9, 031001 \(2019\).](#)

DOI: 10.1103/PhysRevX.9.031001

Број цитата (Web of Science) = 26

Тип рада M21a

Рад се бави питањима локалне структуре и структурне кохерентности у хексагоналном  $YMnO_3$ , мултифероику који испољава „неправилну“ фероелектричност, при проласку кроз фероелектрични фазни прелаз који се дешава на  $T_c=1223$  К и за који је везано низ аномалија и контроверзи. Студија показује да се дугодметно структурно уређење у нискотемпературној фероелектричној фази може описати векторским параметром поретка окарактерисаним амплитудом и фазом. Прелаз у параелектрично стање има неконвенционални „уређено-неуређено“ карактер, где фаза параметра уређења почиње да флукуира већ на око 800 К, док се амплитуда релативно мало мења. Стање локално нарушене симетрије се одржава до температура далеко изнад Кири температуре и дубоко у номинално неполарној фази и описано је континуумом локалних структура. У интерпретацији је Ландау слободна енергија хексагоналних манганита описана путем двокомпонентног (векторског) параметра уређења која потсећа на сомбреро. Скривено неуређење пронађено у овој студији путем методе тоталног неутронског расејања се очекује и у другим системима који испољавају структурну фрустрираност и/или карактеристичне енергетске баријере различитих вредности. *Допринос: Емил је руководио пројектом, дизајнирао и извео неутронска мерења, и водио комплетну структурну анализу коју су спроводили постдипломски студенти Sandra Skjærvø са Норвешког Техничког Универзитета (NTNU) у Тродхајму и Quintin N. Meier са Швајцарског Федералног Техничког Института (ETH) у Цириху.*

### 4. **Local orbital degeneracy lifting as a precursor to an orbital-selective Peierls transition**

E. S. Bozin, W. G. Yin, R. J. Koch, M. Abeukoon, Y. S. Hor, H. Zheng, H. C. Lei, C. Petrovic, J. F. Mitchell, S. J. L. Billinge.

[Nature Communications 10, 3638 \(2019\).](#)

DOI: 10.1038/s41467-019-11372-w

Број цитата (Web of Science) = 31

Тип рада M21a

У овом раду Емил је открио локално (субнанометарска скала) орбитално стање у  $CuIr_2S_4$  спинелу у високотемпературној металној фази које је прекурсор димеризације иридијума која се испољава на нижим температурама. Систем поседује метал-изолатор прелаз на  $\sim 230$  К за који се сматрало да је орбитални Пајрлс прелаз и где се симетрија нарушава

при самом прелазу у нискотемпературно димеризовано стање иридијумске подрешетке које омогућује појаву егзотичних орбиталних молекула (октамера) у основном стању. Прекурсорско стање је електронског порекла, има локални карактер и елементе орбиталне течности, и није директно повезано са димеризацијом на ниским температурама у смислу да је електронски другачије од димера. Студија предвиђа да се оваква стања универзално очекују у различитим материјалима прелазних метала где парцијално попуњене електронске зоне изведене из *d*-орбитала у комбинацији са високом кристалографском структурном симетријом промовишу електронске нестабилности. Касније студије мотивисане овим радом указују на универзални карактер, и показују да се локални прекурсори орбиталног типа јављају не само у разним спинелима са метал-изолатор прелазом, већ и у Мот изолаторима ([NaTiSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>](#)), гвозденим суперпроводницима ([FeSe](#)), и новим суперпроводним рутенијум пниктидима ([RuP](#)). *Допринос: Емил је открио и детаљно карактерисао ефекат, дизајнирао и урадио синхротронска мерења, и доказао електронски карактер прекурсора, интерпретирао опсервације и предвидео појављивање сличних стања у низу других система.*

### 5. Hidden local symmetry breaking in silver diamondoid compounds is root cause of ultralow thermal conductivity

H. Xie, E. S. Bozin, Z. Li, M. Abeykoon, S. Banerjee, J. P. Male,  
G. J. Snyder, C. Wolverton, S. J. L. Billinge, M. G. Kanatzidis.

[Advanced Materials 34, 2202255 \(2022\).](#)

DOI: 10.1002/adma.202202255

Број цитата (Web of Science) = 1

Тип рада M21a

У овом новом раду проучавани су узроци ултра-ниске термалне проводности у AgGaTe<sub>2</sub> путем комбиноване ПДФ анализе и теоријских рачуна. Сва интринсична електронска стања са локално нарушеном симетријом која проистичу из високо-симетријског основног стања при загревању која доприносе редукацији термалног транспорта су до сад опсервирана ексклузивно у материјалима који имају кубну структуру NaCl-типа и који поседују усамљене парове електрона. Емил је открио потпуно нов механизам овакве врсте интринсичног локалног нарушења симетрије у систему који поседује тетрагоналну структуру а не поседује слободне парове електрона. Механизам је везан за слабу *sd*<sup>3</sup> орбиталну хибридизацију тетраедарски координисаних атома сребра. Локална стања су корелисана на субнанометарској скали, и проузрокују глобалну тетрагоналну дисторзију и негативну термалну експанзију (скупљање при грејању) дуж тетрагоналне кристалне осе, која представља макроскопску меру локално нарушене симетрије. Атоми сребра излазе са својих централних позиција на локално кохерентан начин, што резултира у јаком расјању акустичко-оптичких фонона и неочекивано ниској термалној проводности. *Допринос: Емил је дизајнирао и извршио синхротронска мерења, карактерисао детаљно глобалну и локалну структуру, установио постојање локалног нарушења симетрије и установио модел који је најбоље објашњава. Интерпретација везе са особинама урађена је колаборативно са сарадницима са Нортвестерн Универзитета који су синтетисали узорке и урадили карактеризацију физичких особина.*

### 3.1.2. Позитивна цитираност научних радова кандидата

Радови др Божина су до сада цитирани 4155 од којих 4066 пута без аутоцитата уз *h* индекс 34 (Web of Science).

### 3.1.3. Параметри квалитета радова и часописа

У досадашњој каријери др Божин је публикувао 125 научни чланака. У периоду од последњих 15 година публикувао је 79 научних чланака од чега 73 (M21 и M21a) и 6 M22 са укупним ИФ=462.365. У прилогу је листа научних радова са одговарајућом категоријом и ИФ.

	ИФ	М	СНИП
Укупно	462.365	654	130.757
Усредњено по чланку	5.853	8.278	1.655
Усредњено по аутору	8.966	78.164	17.802

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

Сви радови Емила Бојина остварени су у иностранству, уз поједине радове остварене колаборативно са научницима из наше земље (Лабораторија за Чврсто Стање Института за физику Београд (Земун) и Лабораторија за Физику Чврстог Стања 020 у Институту Винча).

У коауторским радовима Емил Божин показује комплетан развој научника објављујући:

- Утицајне радове где је први или значајни аутор на нивоу студента постдипломца (13 радова) где је акценат на употреби примењене кристалографије у проучавању комплексних оксида, и где су примењена иновативна неутронска и мерења X-зрацима тоталног расејања у пројектима где је сениор аутор његов ментор [Simon Billinge](#).

Примери:

а) **Charge-stripe ordering from local octahedral tilts: Underdoped and superconducting  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  ( $0 \leq x \leq 0.30$ )** E. S. Bozin, S. J. L. Billinge, G. H. Kwei, H. Takagi. [Phys. Rev. B 59, 4445 \(1999\)](#). Цитиран 119 пута по Web of Science 31. јануара 2023.

б) **Neutron diffraction evidence of microscopic charge inhomogeneities in the  $\text{CuO}_2$  plane of superconducting  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  ( $0 \leq x \leq 0.30$ )** E. S. Bozin, G. H. Kwei, H. Takagi, S. J. L. Billinge. [Phys. Rev. Lett. 84, 5856 \(2000\)](#). Цитиран 152 пута по Web of Science 31. јануара 2023.

в) **Structure of  $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  xerogel solved by the atomic pair distribution function technique**

V. Petkov, P. N. Trikalitis, E. S. Bozin, S. J. L. Billinge, T. Vogt, M. G. Kanatzidis. [J. Am. Chem. Soc. 124, 10157 \(2002\)](#). Цитиран 371 пут по Web of Science 31. јануара 2023.

- Утицајне радове где ради у тиму аутора као постдокторски истраживач, обезбеђујући често менторство постдипломским студентима, са акцентом доприноса на

развоју ПДФ метода за карактеризацију наночестица и нанокристала, као и на развијању стратегија моделовања структуре у групи под руководством [Simon Billinge](#). На пример:

а) **Fine-scale nanostructure in gamma-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** G. Paglia, E. S. Bozin, S. J. L. Billinge. [Chem. Mater.](#) **18**, 3242 (2006). Цитиран 92 пута по Web of Science 31. јануара 2023.

б) **Quantitative size-dependent structure and strain determination of CdSe nanoparticles using atomic pair distribution function analysis** A. S. Masadeh, E. S. Bozin, C. L. Farrow, G. Paglia, P. Juhas, S. J. L. Billinge, A. Karkamkar, M. G. Kanatzidis. [Phys. Rev. B](#) **76**, 115413 (2007). Цитиран 165 пута по Web of Science 31. јануара 2023.

в) **PDFfit2 and PDFgui: computer programs for studying nanostructure in crystals** C. L. Farrow, P. Juhas, J. W. Liu, D. Bryndin, E. S. Bozin, J. Bloch, Th. Proffen, S. J. L. Billinge. [J. Phys.: Condens. Matter](#) **19** 335219 (2007). Цитиран 1325 пута по Web of Science 31. јануара 2023.

г) **Improved measures of quality for the atomic pair distribution function** P. F. Peterson, E. S. Bozin, T. Proffen, S. J. L. Billinge. [J. Appl. Cryst.](#) **36**, 53 (2003). Цитиран 83 пута по Web of Science 31. јануара 2023.

д) **Reciprocal-space instrumental effects on the real-space neutron atomic pair distribution function** X. Qiu, E. S. Bozin, P. Juhas, T. Proffen, S. J. L. Billinge. [J. Appl. Cryst.](#) **37**, 110 (2004). Цитиран 90 пута по Web of Science 31. јануара 2023.

- Утицајне радове као независан научник и члан групе за расејање X-зрака у Националној Лабораторији Брукхејвен. Ти радови укључују колаборативне радове од којих су многи идејно вођени од стране Емила и његовог тима и радове који су вођени са другим групама у сарадњи где Емил и његови постдокторанти значајно доприносе структурном карактеризацијом материјала. Видети списак пет најзначајнијих радова као и рецимо:

а) **Effects of thermal annealing on structural and magnetic properties of lithium ferrite nanoparticles**

N. G. Jović, A. S. Masadeh, A. S. Kremenović, B. V. Antić, J. L. Blanuša, N. D. Cvjetičanin, G. F. Goya, M. V. Antisari, E. S. Bozin. [J. Phys. Chem. C](#) **113**, 20559 (2009). Цитиран 74 пута по Web of Science 31. јануара 2023.

б) **Detailed mapping of the local Ir<sup>4+</sup> dimers through the metal-insulator transitions of CuIr<sub>2</sub>S<sub>4</sub> thiospinel by X-ray atomic pair distribution function measurements** E. S. Bozin, A. S. Masadeh, Y. S. Hor, J. F. Mitchell, S. J. L. Billinge. [Phys. Rev. Lett.](#) **106**, 045501 (2011). Цитиран 22 пута по Web of Science 31. јануара 2023..

в) **Lattice dynamics reveals a local symmetry breaking in the emergent dipole phase of PbTe**

K. M. Ø. Jensen, E. S. Bozin, C. D. Malliakas, M. B. Stone, M. D. Lumsden, M. G. Kanatzidis, S. M. Shapiro, S. J. L. Billinge. [Phys. Rev. B](#) **86**, 085313 (2012). Цитиран 52 пута по Web of Science 31. јануара 2023.

г) **Vacancy-driven noncubic local structure and magnetic anisotropy tailoring in Fe<sub>x</sub>O-Fe<sub>3-δ</sub>O<sub>4</sub> nanocrystals** A. Lappas, G. Antonaropoulos, K. Brintakis, M. Vasilakaki, K. N. Trohidou, V. Iannotti, G. Ausanio, A. Kostopoulou, M. Abeykoon, I. K. Robinson, E. S. Bozin. [Phys. Rev. X 9, 041044 \(2019\)](#). Цитиран 21 пут по Web of Science 31. јануара 2023.

д) **Dual orbital degeneracy lifting in a strongly correlated electron system** R. J. Koch, R. Sinclair, M. T. McDonnell, R. Yu, M. Abeykoon, M. G. Tucker, A. M. Tselik, S. J. L. Billinge, H. D. Zhou, W.-G. Yin, E. S. Bozin. [Phys. Rev. Lett. 126, 186402 \(2021\)](#). Цитиран 8 пута по Web of Science 31. Цитиран 52 пута по Web of Science 31. јануара 2023.

Открића стања нарушене симетрије у [кубним](#) и [тетрагоналним](#) структурама омогућило је нови правац у дизајнирању термоелектрика високих перформанси. Такође је отворило ново поље истраживања у вези интринсичних локалних стања и њиховог утицаја на фононске спектре и супресију топлотног транспорта у материјалима генерално.

Откриће прекурсорских локалних стања орбиталног карактера у [металним системима](#) са [температуром-вођеним прелазима у изолаторско стање](#), у [Мот изолатор системима](#), као и суперпроводницима на бази [гвожђа](#) и [рутенијума](#), отворило је нови правац у разумевању фазних прелаза и указало на флукуације новог типа које су саставни део фазних дијаграма у квантним материјалима који испољавају комплексне и технолошки значајне електронске особине које могу имати битан утицај на њихово детаљније разумевање.

Допринос је додатно описан и у списку пет најзначајнијих радова у 3.1.1.

### 3.1.5. Награде

Sherwood K. Haynes Graduate Physics Award (2003)

Tracy A. Hammer Graduate Student Award for Professional Development (2003)

The Louis Rosen Prize (2004)

Награда Српског Кристалографског Друштва „Др. Дубравко Родић“ (2009)

Science Prize of the Neutron Scattering Society of America (2014)

Stephenson Distinguished Visitor Programme (2019)

### 3.1.6. Елементи применљивости научних резултата

Научни резултати кандидата су из базичне науке која је основа материјала који се користе у енергетици и информационом технологијама. Резултати на термоелектричним материјалима дефинишу нове принципе дизајна термоелектрика.

## 3.2. Ангажованост у формирању научних кадрова

У склопу управљања програмским активностима др. Божин је менторисао више постдокторских истраживача и гостујућих научника (за доказе менторства истраживача видети објављене радове у листи публикација): Milinda Abeykoon, постдокторант 2009-2012, са тренутном позицијом као водећи истраживач на инструменту 28-ID-1 на NSLS2 у БНЛ. Kevin Кнох, постдокторант 2011-2015, са тренутном позицијом као подпредсеник J.P. Morgan. Runze Yu, постдокторант 2016-2018, са тренутном позицијом ванредног

професора на Институту за Физику при Кинеској Академији Наука. Robert Koch, постдокторант 2019-2021, са тренутном позицијом истраживача аналитичара у Raytheon Technologies. Alexandros Lappas, гостујући Фулбрајт истраживач 2016-2017, са тренутном позицијом као научни саветник (Research Director) у фондацији за истраживања и технологију (FORTH) у Грчкој.

Емилова делатност у формирању научних кадрова такође обухвата и периодичне (редовне и спорадичне) курсеве и школе како у европи тако и у северној америци. Школе су посвећене едукацији нових генерација истраживача у областима физике и хемије материјала о употреби напредних Фурије техника, од поставке експеримената до моделовања података и интерпретације резултата, за карактеризацију односа структуре и особина материјала. Ово илуструју Емилова учешћа у „School and Conference on Analysis of Diffraction Data in Real Space“ у периоду од 2014.-2022. (фреквенца 3 године) на Институту Лаје Ланжевен (ILL) у Греноблу у Француској, затим серији годишњих „US School on Total Scattering Analysis“ од 2017.-2022. која се одвија у Оак Риџ и Брукхејвен лабораторијама у САД, летњој школи „Hot Topics in Contemporary Crystallography“ одржаној на Брачу у Хрватској 2018. године, радионици за електронски ПДФ у организацији универзитета Улм 2021. године, као и летњег кампа физике кондензоване материје са фокусом на „Coherence and Entanglement in Quantum Systems“ одржаном у Зуозу у Швајцарској 2022. године. Школе трају до недељу дана и типично их похађа између 30 и 50 студената пажљиво селекованих у веома компетитивном процесу како би се обезбедио максималан импакт на научна истраживања.

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

Природа, као и сама комплексност истраживања неретко је захтевала учешће истраживача из различитих група. Укупан број бодова пре нормирања је 654, а када се узме у обзир број аутора, укупан број је смањен на 523.27.

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

У периоду последњих 15 година др Божин је коруководилац на пројектима (докази у прилогу):

1. Field Work Proposal US DOE Office of Basic Energy Sciences “X-ray Scattering” Co-Primary Investigator 2012 – до данас. Од \$1,100,000/год до \$1,800,000/год. Видети прилог.

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

#### **3.5.1 Рецензирање научних пројеката**

Емил је био рецезент за велик број научних пројеката министарства енергије САД (US DOE), Европске Научне Агенције (European Research Council), Хрватске Научне Заједнице (Hrvatska Znanstvena Zajednica).

#### **3.5.2 Рецензирање научних радова у часописима**

Емил је служио као рецезент за бројне радове у часописима, укључујући Nature Materials, Nature Communications, Nature Scientific Reports, Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. B, Chem. Mat., Journal of the American Chemical Society, Journal of the Physical Society of Japan, Journal of Physical Chemistry, Journal of Applied Crystallography.

### 3.5.3 Рецензирање предлога истраживачких експеримената

Емил је био рецензент за истраживачке предлоге експеримената за Националне Лабораторије и Постројења у САД (Оак Риџ) (ORNL Oak Ridge), у Аустралији (Брег Институт Аустралијске Нуклеарне Агенције) (ANSTO), и Немачкој (DESY).

### 3.5.4 Функције у друштвима, телима, комитетима

- i. Члан LANSCE саветодавног комитета корисника 2013.-2015. у Лос Аламос Националној Лабораторији
- ii. Члан саветодавног одбора за пројекат SCOPES швајцарске националне научне фондације (Swiss National Science Foundation) 2014.-2016.
- iii. Члан саветодавног тима за прављење инструмента DISCOVER у Оак Риџ Националној Лабораторији 2018-данас
- iv. Ко-организатор је Фокус Сесије „Engineering Phase Transitions in Strongly Correlated Oxides“ у име Division of Materials Physics на годишњој мартовској конференцији америчког друштва физичара (APS March meeting) 2015. године у Сан Антонију,
- v. Ко-организатор три америчке Националне Школе за Тотално Расејање одржане у Оак Риџ лабораторији (2019-2022)
- vi. Ко-организатор Микросимпозијума „Total scattering“ на 25. конгресу међународне кристалографске уније (25th IUCr2020 congress) одржаном у Прагу 2020. године
- vii. Ко-организатор радионице „Structural Responses to Electronic Order in Quantum Materials from Total Scattering Approaches“ у оквиру годишњег скупа корисника NSLS2 синхротрона и Центра за Функционалне Наноматеријале (CFN) одржаног 2021. године у БНЛ
- viii. Ко-организатор Микросимпозијума „Total scattering studies and disorder“ на 17. европској конференцији дифракције на праху (EPDIC17) одржаној 2022. године у Шибенику.

### 3.6. Утицај научних резултата

Видети 2 и 3.1.1.

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

Видети 3.1.1.

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

У периоду од последњих 15 година, Емил Божин је одржао 17 предавања по позиву на међународним конференцијама (докази у прилогу). Одабрана значајна предавања М32 у последњих десетак година Емил је одржао на следећим конференцијама:

- “*Role of Local Ru Hexamers in Superconductivity of Ruthenium Phosphide*” International Conference on Quantum Materials and Technologies ICQMT 2022 16.-22. октобар 2022., Бодрум, Турска (предавање по позиву)



- “*PDFgui – a small box modelling platform for nanoscale structure analysis*”  
Analysis of Diffraction Data in Real Space ADD 2022  
16.-21. октобар 2022., Гренобл, Француска (предавање по позиву)
- “*Hexamer precursor to a two-stage electronic transition in RuP*”  
International Conference Superstripes 2022  
20.-24. јун 2022., Фраскати-Рим, Италија (предавање по позиву)
- “*Local structural responses to electronic phenomena in quantum materials*”  
Coherence and Entanglement in Quantum Systems, 3<sup>rd</sup> PSI Summer Camp  
8.-12. август 2022., Зуоз, Швајцарска (предавање по позиву)
- “*Dual Orbital Degeneracy Lifting in a Strongly Correlated Electron System*”  
Quantum Complex Matter Symposium 2021  
7.-9. јун 2021., Рим, Италија (предавање по позиву)
- “*Local Orbital Degeneracy Lifting as a Precursor to Orbital-Selective Peierls Transitions*”  
APS March Meeting 2021  
15.-19. март 2021, виртуелно САД (предавање по позиву)
- “*Local Orbital Degeneracy Lifting as a Precursor to Orbital-Selective Peierls Transition*”  
The 20<sup>th</sup> Symposium on Condensed Matter Physics  
7.-11. октобар 2019., Београд, Србија (предавање по позиву)
- “*Revealing local orbital degeneracy lifting and local geometric frustration relieving in Complex electronic materials with total scattering*”  
European Powder Diffraction Conference, EPDIC16  
1.-4. јул 2018., Глазгов, Шкотска (пленарно предавање)
- “*Mapping the local phase diagram of metal-insulator transition systems*”  
Hot Topics in Contemporary Crystallography HTCC3  
23.-27. септембар 2018., Брач, Хрватска (предавање по позиву)
- “*Cuproiridsite - orbital parts unknown*”  
Annual Meeting of the American Crystallographic Association 2017  
26.-30. мај 2017, Њу Орлеанс, САД (предавање по позиву)
- “*Local structural aspects of metal-metal transition in IrTe<sub>2</sub>*”  
International Conference Superstripes 2016  
23.-29. јун 2016., Искија, Италија (предавање по позиву)
- “*Evolution of Orthogonally Inequivalent States in Cuprates*”  
The 19<sup>th</sup> Symposium on Condensed Matter Physics  
7.-11. септембар 2015., Београд, Србија (предавање по позиву)
- “*Evolution of symmetry-broken states in the pseudo-gap regimes of nickelates and cuprates*”  
29<sup>th</sup> European Crystallographic Meeting  
23.-28. август 2015, Ровињ, Хрватска (уводно предавање)
- “*Local Off-Centering Symmetry Breaking in the High-T Regime of SnTe*”  
European Powder Diffraction Conference, EPDIC14  
15.-18. јун 2014, Аарус, Данска (уводно предавање)
- “*Exploring Nanoscale Fluctuations in Mixed-valent Spinels by the PDF Approach*”  
Materials Research Society Spring Meeting 2013  
1.-5. април 2013., Сан Франциско, САД, (предавање по позиву)

Комплетна листа предавања по позиву је у прилогу. Предавања типа М34 која су документована изводима дата су у засебном прилогу.

#### 4. Елементи за квантитативну оцену научног доприноса кандидата

		Потреб но	Остваре но	Нормира но
Научни саветник	Укупно	272	<b>671.5</b>	<b>564.67</b>
Обавезни(1)	M20+M30	200	<b>671.5</b>	<b>564.67</b>
Обавезни(2)	M21+M22+M23	142	<b>654</b>	<b>523.27</b>

## 5. Закључак комисије

Током досадашње каријере, др Емил Божин развио се у самосталног, светски признатог научника који успешно руководи научним пројектима, учествује у едукацију младих научних кадрова, активан је у раду научних тела ради на унапређењу експерименталне методе. Успоставио је широку мрежу међународне сарадње која је резултовала публикавањем преко 125 научних чланака у часописима високе репутације. На основу података приказаних у овом Извештају, закључујемо да кандидат задовољава све квантитативне и квалитативне услове за избор у звање научни саветник, који су прописани Правилником о стицању истраживачких и научних звања Републике Србије.

Имајући у виду представљене резултате, као и вредност и оригиналност научних радова, изузетно нам је задовољство да предложимо Научном већу Института за физику у Београду да донесе одлуку о прихватању предлога за избор др Емила Бојина у звање научни саветник.

У Београду, 22.02.2023. године



---

др Ненад Лазаревић,  
научни саветник  
Институт за физику у Београду



---

др Дарко Танасковић,  
научни саветник  
Институт за физику у Београду



---

Академик Зоран Поповић  
САНУ