

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Марка Ћосића за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 764 од 11.07.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Марка Ћосића за израду докторске дисертације **"Квантне дуге при каналисању позитрона у угљеничним наноцевима"**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Марко Ћосић рођен је 13. јуна 1982. године у Сенти, република Србија. Дипломирао је 3. октобра 2006. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на одсеку за Физичку електронику, смер оптоелектроника и ласерска техника, са просечном оценом у току студија 8,72. Положио је стручни испит из области Телекомуникационих мрежа и система и члан је Инжењерске коморе Србије од 1. априла 2010. године Марко Ћосић је запослен у Лабораторији за физику Института за нуклеарне науке "Винча". У звање истраживача сарадника изабран је 3. марта 2011 године.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Докторске студије уписао је 12. марта 2008. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на одсеку "Наноелектроника и фотоника". У току докторских студија кандидат је полагао следеће испите: Енглески језик (6 ЕСПБ), Увод у нелинеарну динамику (9 ЕСПБ), Нелинеарна оптика (9 ЕСПБ), Фуријеова Оптика (9 ЕСПБ), Комплексни ефекти у физици плазме (9 ЕСПБ), Простирање оптичких таласа у комплексним срединама (9 ЕСПБ), Нумеричка анализа (9 ЕСПБ), Моделовање наноструктура (9 ЕСПБ), Квантна оптика (9 ЕСПБ) и Оптичке особине полупроводничких хетероструктура (9 ЕСПБ).

Кандидат је ангажован на интегралном и интердисциплинарном пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја ИИИ4506: "Физика и хемија са јонским сноповима".

Кандидат је као сарадник учествовао на пројектима: "Rainbow positron channeling (RAINPC)", у 2010. години и "Relativistic positron channeling through the silicon crystal (REPSI)", у 2011. години, у оквиру програма европске комисије "HadronPhysics2 (Study of Strongly Interacting Matter, FP7- Integrated Research Infrastructure Initiative)" и на пројекту "Angular distributions of positrons channeled through thin silicon crystals (ANSI)", у 2012. години, у оквиру програма

европске комисије "HadronPhysics3 (Study of Strongly Interacting Matter, FP7 - Integrated Research Infrastructure Initiative)".

Списак радова кандидата:

Радови кандидата у врхунским међународним часописима (M21):

1. S. Petrović M. Ćosić and N. Nešković, *Quantum rainbow channeling of positrons in very short carbon nanotubes*, Physical Review A 88, 012902/1 – 012902/11 (2013).
2. S. Petrović, N. Nešković, V. Berenc, and M. Ćosić, *Superfocusing of channeled protons and subatomic measurement resolution*, Physical Review A 85, 032901/1–032901/9 (2012).

Радови у истакнутим међународним часописима (M22):

1. M. Ćosić, *Group-theoretical approach to Bloch electron in magnetic field problem*, Journal of Mathematical Physics 51, 062104/1 – 062104/15 (2010).

Саопштења кандидата са међународних скупова штампана у изводима (M34):

1. M. Ćosić, S. Petrović and N. Nešković, *Quantum positron channeling in a carbon nanotube*, Book of Abstracts, 11th International Workshop Nanoscience&Nanotechnology 2011, INFN-Frascati National Laboratories, Frascati, Italy, September, 19th – 23rd, 2011, p. 55.

Саопштења кандидата са скупова националног значаја штампана у изводима (M64):

1. M. Ćosić, S. Petrović, N. Nešković, *Quantum Channeling of 1 MeV Positrons in a Very Short (11, 9) Single-Wall Carbon Nanotube*, SFKM 2011, Book of Abstracts, (2011) p. 76, 2011.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат поседује одговарајући ниво знања и способности из физике са јонским сноповима и нумеричке математике да је у стању да реализује задатке и решава проблеме везане за израду докторске дисертације. Поред тога, кандидат поседује самосталност у истраживању и брзо и ефикасно усваја нова знања. Приликом учешћа на домаћим и међународним конференцијама кандидат је показао одличну способност излагања добијених резултата истраживања. На основу свега изложеног и досадашњих резултата кандидата, наша је процена да је он у стању да успешно реализује и заврши израду докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

У овој докторској дисертацији биће изучавано квантно каналисање позитрона у угљеничним наноцевима код кога се јавља ефекат дуге. Угљеничне наноцеви су нови наноструктурирани материјали који се могу описати као графитне равни које су савијене у цилиндри. Оне представљају један од најперспективнијих материјала за примену, нарочито у наноелектроници и нанофотоници. Биће разматрани позитрони енергије 1 и 10 MeV и хиралне једнослојне угљеничне цеви типа (11, 9) и (12, 6), дужине од 50 до 500 nm.

Ранија теоријска разматрања каналисања позитивно наелектрисаних честица у угљеничним наноцевима показала су бројне потенцијалне примене, као што су: вођење снопова наелектрисаних честица, карактеризација угљеничних наноцеви помоћу дуга и добијање меких и тврдох X-зрака.

Резултати ове дисертације би требало да покажу постојање ефекта дуге у случају каналисања квантних позитивно наелектрисаних честица (позитрона) у угљеничним наноцевима. Такође, они треба да покажу да се квантне дуге, као и класичне, могу користити за карактеризацију наноцеви. Дифракција електрона представља стандардни начин добијања информација о лонгитудиналној структури угљеничних наноцеви. Карактеризација угљеничних наноцеви помоћу квантних дуга представљала би компатибилну методу која би давала информације о трансверзалној структури наноцеви. Поред тога, у случају хиралних угљеничних наноцеви, очекује се да су квантне дуге осетљивије на трансверзалну структуру наноцеви и боље за њихову карактеризацију од класичних.

Постоји веома обимна литература посвећена ефекту каналисања у кристалима и наноцевима. Овде је дата основна литература која ће бити коришћена за израду дисертације, као и посебна која се односи на каналисање позитивно наелектрисаних честица у наноцевима и на нумеричке методе решавања временски зависне Шредингерове једначине:

[1] M. Robinson, O. Oen, *Computer Studies of the Slowing Down of Energetic Atoms in Crystals*, Physical Review, Vol 132, No 6, pp. 2385 – 2398 (1963).

[2] D. Gemmell, *Channeling and related effects in the motion of charged particles through crystals*, Review of modern physics, Vol 46, No 1, p. 129 – 227 (1974).

[3] N. Nešković, *Rainbow effect in ion channeling*, Physical Review B, Vol 33, No 9, p. 6030 – 6035 (1986).

[4] H. Krause, S. Datz, P. Dittner, J. Gomez del Campo, P. Miller, C. Moak, N. Nešković P. Pepmiller, *Rainbow effect in axial ion channeling*, Physical Review B, Vol 33, No 9, p. 6036 – 6044 (1986).

[5] N. Nešković, B. Perović, *Ion Channeling and Chatastrophe Theory*, Physical Review Letters, Vol 59, No 3, p. 308 – 310 (1987).

[6] S. Petrović, L. Miletić, N. Nešković, *Theory of rainbows in thin crystals: The explanation of ion channeling applied to Ne101 ions transmitted through a .100. Si thin crystal*, Physical Review B, Vol 61, No 1, p. 184 – 189 (2000).

[7] V. Klimov, V. Letokhov, *Hard X-radiation emitted by a charged moving in a carbon nanotube*, Physics Letters A, 222, p. 424 – 428 (1996).

[8] G. Chai, H. Heinrich, L. Chowa, T. Schenkel, *Electron transport through single carbon nanotubes*, Applied Physics Letters, 91, p. 103101/1 - 103101/3 (2007).

[9] R. Saito, G. Dresselhaus, M. Dresselhaus, *Carbon Nanotubes - Advanced Topics in the Synthesis, Structure, Properties and Applications*, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, (2008).

[10] X. Artru et al., *Carbon nanotubes and fullerites in high-energy and X-ray physics*, Physics Reports 412, p. 89–189 (2005).

[11] S. Petrović, D. Borka, N. Nešković, *Rainbows in transmission of high energy protons through carbon nanotubes*, The European Physical Journal B, 44, p. 41 – 45 (2005).

[12] S. Petrović, D. Borka, N. Nešković, *Rainbow effect in channeling of high energy protons through single-wall carbon nanotubes*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 234, p. 78 – 86 (2005).

[13] D. Borka, S. Petrović, N. Nešković, *Channeling star effect with bundles of carbon nanotubes*, Physics Letters A, 354, p. 457–461 (2006).

- [14] S. Petrović, I. Telečki, D. Borka, N. Nešković, *Proton channeling through long chiral carbon nanotubes: The rainbow route to equilibration*, Physics Letters A 372, p. 6003-6007 (2008).
- [15] S. Petrović, D. Borka, I. Telečki, and N. Nešković, *Angular distributions of high energy protons channeled in long (10, 10) single-wall carbon nanotubes*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 267, p. 2365-2368 (2009).
- [16] D. Borka, D. J. Mowbray, Z. L. Mišković, S. Petrović and N. Nešković, *Donut and dynamic polarization effects in proton channeling through carbon nanotubes*, New Journal of Physics 12, p. 043021 - 043038 (2010).
- [17] D. Borka, S. Petrović, N. Nešković, *Channeling of Protons through Carbon Nanotubes*, Nova Science Publishers, New York (2011).
- [18] R. Kosloff, and D. Kosloff, *Absorbing Boundaries for Wave Propagation Problems*, Journal of Computational Physics, 63, p. 363–376 (1986).
- [19] R. Kosloff, *Time-Dependent Quantum-Mechanical Methods for Molecular Dynamics*, The Journal of Physical Chemistry, Vol. 92, No. 8, p. 2087–2100 (1988).
- [20] J. E. Bayfield, *Quantum Evolution - An Introduction to Time-Dependent Quantum Mechanics*, Wiley, New York (1999).
- [21] J. Wang, S. Midgley, *Quantum waveguide theory: A direct solution to the time-dependent Schrödinger equation*, Physical Review B, Vol. 60m No. 19, p. 13 668 - 13 675 (1999).

3. Полазне хипотезе

При изради ове дисертације усвојене су следеће претпоставке:

- Процес каналисања позитрона третира се као серија расејања позитрона на атомима угљеника у апроксимацији малих углова. Ова апроксимација омогућава да се потенцијал интеракције позитрон-наноцев конструише на основу лонгитудинално усредњеног потенцијала интеракције позитрон–угљеник. На тај начин добија се тзв. континуални потенцијал интеракције позитрон-наноцев.
- Потенцијал интеракције позитрон–угљеник добијен је на основу Молијерове апроксимације Томас–Фермијевог потенцијала интеракције.
- Температура наноцеви је собна тако да се термалне вибрације атома угљеника у наноцеви третирају као мале и некорелисане.
- Претпоставља се да при процесу расејања позитрона на атому угљеника не долази до спинске поларизације.
- Расејање позитрона на уласку као и изласку из наноцеви се занемарује, односно занемарују се ефекти крајева наноцеви.
- Изучаване наноцеви су довољно кратке тако да се губитак енергије позитрона услед интеракције са електронским облаком може занемарити. Енергија зрачења услед кретања позитрона сматра се занемарљивом у односу на тоталну енергију позитрона.
- Позитронски сноп се описује као ансамбл неинтерагујућих честица које су описане Гаусовим таласним пакетима, који су центрирани око одговарајућег класичног ударног параметра честице.
- Претпоставља се да је детектор постављен довољно далеко од излаза из наноцеви тако да се могу мерити само угаоне расподеле каналисаних честица у далеком пољу.

Прве четири претпоставке заједничке су за класично и квантно каналисање у кристалима. Њихова исправност потврђена је експерименталним путем у случају кристала, док су

експерименти каналисања у наноцевима у почетној фази истраживања и још увек нису реализовани.

Представљање позитрона као Гаусовог таласног пакета, као и опис позитронског снопа као ансамбла неинтерагујућих таласних пакета, је ново и оригинално у области квантног честичног каналисања у кристалима и наноцевима. Исправност оваквог приступа биће проверена поређењем квантних и одговарајућих класичних дуга које се јављају при каналисању позитрона кроз угљеничне наноцеви.

4. Научне методе истраживања

Истраживање се примарно ослања на метод "нумеричког експеримента". Он би био заснован на следећим основама:

- Динамика честица би се добила нумеричким решавањем одговарајуће временски зависне Шредингерове једначине.
- Ансамбл позитрона ће се третирати коришћењем методе Монте – Карло симулације.
- Расподеле каналисаних честица у координатном и угловном простору биће конструисане полазећи од формализма матрица густине.
- Добијене квантне расподеле и дуге позитрона биће објашњене поређењем са одговарајућим класичним расподелама и дугама. Класичне расподеле биће добијене нумеричким решавањем класичних једначина кретања позитрона у трансверзалној равни наноцеви и коришћењем Монте-Карло методе. Класичне дуге ће такође бити добијене нумерички решавањем нула Јакобијана пресликавања равни ударног параметра у равни угла расејања и трансверзалних положаја која се добијају из класичних једначина кретања.

5. Очекивани научни допринос

У оквиру ове дисертације очекују се следећи резултати:

- Да се покаже постојање ефекта дуге при каналисању позитрона у угљеничним наноцевима.
- Да се предложи могућа класификацију квантних дуга у координатном и угловном простору.
- Да доведе до дубљег разумевања прелаза између квантног и класичног описа процеса каналисања позитивно наелектрисане честице у угљеничним наноцевима.
- Да се предложи могућност карактеризације трансверзалне структуре угљеничне наноцеви коришћењем просторних и угаоних расподела каналисаних позитрона доносно одговарајућих квантних дуга.

Ови резултати могли би да нађу следеће примене:

- Одређивање тачног потенцијала интеракције позитивно наелектрисане честице и угљеничне наноцеви, пошто су дуге осетљиве на избор потенцијала интеракције. Због таласне природе кретања квантне честице, може се претпоставити да би коришћење квантних дуга, уместо класичних, било успешније за одређивање потенцијала интеракције.
- Квантне дуге би се могле користити за директно одређивање хиралности угљеничне наноцеви коришћењем тродимензионалног модела потенцијала интеракције. Треба

напоменути да постојеће методе карактеризације наноцеви омогућавају само индиректно одређивање његовог хиралног вектора.

6. План истраживања и структура рада

Предвиђено је да се истраживање у оквиру дисертације спроведе у три фазе.

У првој фази потребно је одредити потенцијал интеракције позитрон–наноцев, који укључује термалне вибрације атома угљеника.

Друга фаза захтева:

- Развој ефикасног нумеричког метода за решавање временски зависне Шредингерове једначине која описује каналисање позитрона кроз наноцев.
- Развој нумеричког Монте-Карло метода за добијање квантних угаоних и просторних расподела каналисаних позитрона.

Трећа фаза подразумева:

- Примену горе наведених метода на каналисање квантних позитрона кроз хиралне наноцеви и њихово поређење са одговарајућим класичним каналисањем позитрона.
- Анализу могућих квантних просторних и угаоних дуга и њихово објашњење.
- Примену добијених резултата на проблем карактеризације трансверзалне структуре хиралних наноцеви.

Докторска дисертација требало би да садржи следеће делове:

- Увод
- Теријски део који у себи садржи: опис структуре и особина угљеничних наноцеви, опис класичне теорије каналисања и опис квантне теорије каналисања.
- Преглед и детаљан опис нумеричких модела за квантно и класично каналисање позитрона кроз наноцев.
- Презентација добијених резултата.
- Закључци
- Литература

7. Закључак и предлог

На основу свега изложеног, Комисија сматра да Марко Ћосић, дипломирани инжењер електротехнике, испуњава све формалне и суштинске услове за приступање изради докторске дисертације. Резултати до којих би кандидат требало да дође имали би значајан допринос у областима интеракције позитивно наелектрисаних честица са угљеничним наноцевима и њихове карактеризације. Зато Комисија предлаже Наставно–научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Марку Ћосићу одобри израду докторске дисертације под насловом **"Квантне дуге при каналисању позитрона у угљеничним наноцевима"**.

Тема дисертације припада области Наноелектроника и Фотоника, за коју је Електротехнички факултет у Београду матични. За ментора ове дисертације предлажемо др Јелену Радовановић, ванредног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Јелена Радовановић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Срђан Петровић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке Винча

др Небојша Нешковић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке Винча

др Јован Елазар, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Витомир Милановић, професор емеритус
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Јован Цветић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет