

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Драгане Тошић за израду докторске дисертације

Одлуком број 5053/10-1 од 16.07.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Драгане Тошић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Синтеза и карактеризација графенских нанотрака“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Драгана Тошић је рођена у Београду 17.04.1983. Дипломирала је на Електротехничком факултету у Београду 2009. године на смеру за Биомедицински и еколошки инжињеринг, Одсека за физичку електронику. Дипломске академске (мастер) студије је завршила 2010. године на Електротехничком факултету у Београду на смеру за Биомедицинско и еколошко инжењерство, одбравивши мастер рад на тему „Испитивање структуре угљеничних нанотуба и графена микроскопијом атомских сила“ код проф. др Дејана Раковића. Експериментални део мастер рада је урађен у Лабораторији за радијациону хемију и физику 030 у Институту за нуклеарне науке „Винча“. Докторске студије је уписала 2010. године на Електротехничком факултету у Београду на модулу Нуклеарна, медицинска и еколошка техника, где је са одличним успехом положила све испите и завршила све обавезе.

Запослена је у Институту за нуклеарне науке „Винча“ од 2010. године. У периоду од 2010. до 2011. године је била ангажована на пројекту „Електронска и ласерска спектроскопија молекула“. Од 2011. године ради на пројекту „Танки слојеви једнослојних угљеничних нанотуба и графена за примену у електроници“.

У свом досадашњем научном раду има 9 објављених радова у међународним часописима, од чега је 2 рада у часописима категорије М21, 2 рада у категорији М22, 5 радова у категорији М23. Такође има и један рад на међународној конференцији штампан у изводу. У оквиру теме којом се бави докторска дисертација до сада су урађена два рада која су објављена у међународним часописима, на којима је први аутор.

Научноистраживачки рад Драгане Тошић био је усмерен на испитивање нових начина синтезе графенских нанотрака и испитивање њихових структурних особина, коришћењем различитих техника карактеризације (раманска спектроскопија, фуријеова инфрацрвена спектроскопија, фотолуминесценција, микроскопија атомске силе, трансмисиона и скенирајућа електронска микроскопија).

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У току студирања на академским докторским студијама на Електротехничком факултету Драгана Тошић је успешно положила следеће испите:

1. Физика, технологија и карактеризација биоматеријала (оцена: 10, ЕСПБ бодова: 9)
2. Нумеричка симулација радијационих и нуклеарних процеса (оцена: 10, ЕСПБ бодова: 9)
3. Електричне и оптичке карактеристике материјала у наноелектроници и фотоници (оцена: 10, ЕСПБ бодова: 9)
4. Биофизичке методе у наномедицини (оцена: 10, ЕСПБ бодова: 9)
5. Комплексни феномени у физици плазме (оцена: 10, ЕСПБ бодова: 9)
6. Моделовање наноструктура (оцена: 10, ЕСПБ бодова: 9)
7. Биомедицински сензори и претварачи (оцена: 10, ЕСПБ бодова: 9)
8. Оптичко траповање и биомедицинска наноманипулација (оцена: 10, ЕСПБ бодова: 9)
9. Скенирајућа микроскопија у нанонауци и нанотехнологији (оцена: 10, ЕСПБ бодова: 9)
10. Увод у научни рад (оцена: 10, ЕСПБ бодова: 6)

Такође, испунила је и планом судија предвиђене научно истраживачке обавезе:

1. Научно стручни рад (3 ЕСПБ бода)
2. Студијски истраживачки рад I (15 ЕСПБ бодова)
3. Студијски истраживачки рад II (15 ЕСПБ бодова)

У тренутку уписа на докторске студије Драгана Тошић се бавила испитивањем структуре угљеничних нанотуба и графена микроскопијом атомских сила. У оквиру тог истраживања одређени су профили површина нанотуба, њихове дужине, као и њихови пречници. Такође је испитиван и утицај припреме узорака и подлоге на коју је одређени узорак депонован. У оквиру обуке за рад на микроскопу атомске силе посматран је утицај околине, као што су термални дрифт и вибрације, и режим рада микроскопа на квалитет снимљених узорака.

Други сегмент истраживања (у оквиру пројекта *Танки слојеви једнослојних угљеничних нанотуба и графена за примену у електроници*, Министарство провете, науке и технолошког развоја Републике Србије, ев. бр. 172003. руководилац пројекта: др Биљана Тодоровић Марковић, научни саветник ИНН Винча) у периоду 2011-2015. године се односио на синтезу и карактеризацију графенских нанотрака применом гама зрака различитих доза зрачења. Резултати тог истраживања су објављени у међународном часопису категорије M21. У оквиру овог сегмента истраживања урађена је и упоредна анализа структурних особина графенских нанотрака синтетисаних применом различитих метода. Резултати те анализе су објављени у часопису међународног значаја категорије M23.

Трећи сегмент истраживања ће бити посвећен синтези и карактеризацији графенских нанотрака применом нове оригиналне методе синтезе ових нанотрака одгревањем никлених наножица у одређеном температурском опсегу. Резултати истраживања ће бити објављени у међународном часопису.

Резултати другог и трећег сегмента истраживања биће обухваћени овом докторском дисертацијом и укључени су у истраживања у оквиру пројекта *Танки слојеви једнослојних угљеничних нанотуба и графена за примену у електроници* (Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, ев. бр. 172003. Руководилац пројекта: Биљана Тодоровић Марковић, научни саветник ИНН Винча).

Референце:

Радови објављени у међународним часописима категорије M21

1. Tošić, D., Marković, Z., Dramićanin, M., Holclajtner Antunović, I., Jovanović, S., Milosavljević, M., Pantić, J., Todorović Marković, B., *Gamma ray assisted fabrication of fluorescent oligographene nanoribbons*, Mater. Res. Bull. 47 (8) (2012) 1996-2000, ISSN: 0025-5408.
2. Kleut, D., Jovanović, S., Marković, Z., Kepić, D., Tošić, D., Romčević, N., Marinović-Cincović, M., Dramićanin, M., Holclajtner-Antunović, I., Pavlović, V., Dražić, G., Milosavljević, M., Todorović Marković, B., *Comparison of structural properties pristine and gamma irradiated single-wall carbon nanotubes: Effects of medium and irradiation dose*, Mater. Charact. 72 (2012) 37-45, ISSN: 1044-5803.

Радови објављени у међународним часописима категорије M22

1. Kepić, D., Marković, Z., Tošić, D., Antunović, I.H., Adnadjević, B., Prekodravac, J., Kleut, D., Dramićanin, M., Todorović Marković, B., *Surface modification of single-wall carbon nanotube thin films by microwaves: a Raman spectroscopy study*, Phys. Scr. T157 (2013) 014040, ISSN: 1402-4896.

Радови објављени у међународним часописима категорије M23

1. Jovanović, S., Da Ross, T., Ostric, A., Tošić, D., Prekodravac, J., Marković, Z., Todorović Marković, B., *Raman spectroscopy of graphene nanoribbons synthesized by longitudinal unzipping of multi wall carbon nanotubes*, Phys. Scr. T162 (2014) 014023, ISSN: 1402-4896.
2. Prekodravac, J.R., Jovanović, S.P., Holclajtner-Antunović, I.D., Peruško, D.B., Pavlović, V.B., Tošić, D.D., Todorović-Marković, B.M., Marković, Z.M., *Monolayer graphene films through nickel catalyzed transformation of fullerol and graphene quantum dots: a Raman spectroscopy study*, Phys. Scr. T162 (2014) 014030, ISSN: 1402-4896.
3. Marković, Z.M., Peruško, D.B., Tošić, D.D., Romčević, N.Z., Dramićanin, M.D., Nikolić, Z.M., Marković, B.M.T., *The effect of oxidation on structural and electrical properties of single wall carbon nanotubes*, Hem. Ind. 65 (4) (2011) 363–370, ISSN: 0367-598X.
4. Jovanović, S.P., Marković, Z.M., Kleut, D.N., Tošić, D.D., Kepić, D.P., Marinović-Cincović, M.T., Holclajtner Antunović, I.D., Todorović Marković, B.M., *Covalent modification of single wall carbon nanotubes upon gamma irradiation in aqueous media*, Hem. Ind. 65 (5) (2011) 479–487, ISSN: 0367-598X.
5. Tošić, D.D., Marković, Z.M., Jovanović, S.P., Milosavljević, M.S., Marković, B.M.T., *Comparative analysis of different methods for graphene nanoribbon synthesis*, Hem. Ind. 67 (1) (2013) 147-156, ISSN: 0367-598X.
6. Marković, Z.M., Prekodravac, J.R., Tošić, D.D., Holclajtner-Antunović, I.D., Milosavljević, M.S., Dramićanin, M.D., Todorović-Marković, B.M., *Facile synthesis of water soluble curcumin nanocrystals*, J. Serb. Chem. Soc. 79 (11) (2014) 1-16, ISSN: 0352-5139.

Дана 16.07.2015. кандидаткиња је успешно одбранила испит о подобности теме и кандидата на усменој одбрани у присуству Комисије: доц. др Милош Вујисић, др Биљана Тодоровић Марковић, н. сав., проф. др Зоран Лазаревић.

Студијски програм је започела у пролећном семестру школске 2010/2011, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидаткиња је у досадашњем раду показала велико интересовање за област угљеничних наноматеријала. Упознала се са структуром, особинама, синтезом, карактеризацијом и могућом применом различитих врста угљеничних наноматеријала – једнослојних угљеничних нанотуба, графена и графенских нанотрака.

У оквиру докторске дисертације, Драгана Тошић је радила на проблему синтезе нове врсте угљеничних наночестица – графенских нанотрака поступком сечења графена помоћу гама зрака. До сада је успешно синтетисала графенске нанотраке и урадила њихову карактеризацију применом различитих техника. Обучена је за рад на микроскопу атомске силе (AFM). Савладала је и поступак припреме узорака за снимање на AFM-у (депоновање слојева спин коатингом на подлоге од силицијума и лискуна). Успешно је савладала обраду снимљених AFM слика (одређивање величине снимљених честица по дужини, ширини и висини). Радила је на обради и тумачењу раманских спектра различитих врста угљеничних наноматеријала (нанотуба, графена и графенских нанотрака). Тренутно ради на проблему синтезе графенских нанотрака новим поступком. Метода се заснива на каталитичкој трансформацији угљеника у графен. Као катализатори се користе легуре никла. Способна је да самостално решава проблеме које пред њу постављају ментори. Савладала је конципирање и писање научних радова. Показала је креативност у решавању изненадних проблема. На основу свега досад показаног, ментори предвиђају да ће кандидаткиња све предложене задатке извршити у предвиђеном времену.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предложене теме докторске дисертације су различити начини синтезе и испитивања структурних особина графенских нанотрака коришћењем различитих техника карактеризације (раманска спектроскопија, фуријеова инфрацрвена спектроскопија, фотолуминесценција, микроскопија атомске силе, трансмисиона и скенирајућа електронска микроскопија).

Графенске нанотраке су једнодимензионалне наноструктуре које су због својих јединствених структурних, електричних, оптичких, магнетних особина привукле пажњу великог броја истраживача у последњих неколико година. Оне представљају траке графена просечне дужине од неколико стотина нанометара до пар микрометара и просечног пречника величине мање од сто нанометара. Њихове електричне особине се могу подешавати од металних до полупроводних у зависности од врсте ивице којом се завршавају (да ли су ивице цик-цак или столичасте) и величине њиховог пречника.

До сада су развијене бројне методе синтезе графенских нанотрака различитих дужина и пречника. У литографским поступцима се користи литографија електронским снопом, литографија микроскопом атомске силе и литографија скенирајућом тунелском микроскопијом. Графенске нанотраке се такође могу синтетисати сонохемијским и хемијским поступцима, као што су хемијска депозиција из парне фазе и анизотропско нагризање. Један од најчешће коришћених поступака синтезе графенских нанотрака је отварање угљеничних нанотуба.

Циљ истраживања ове докторске дисертације је синтеза и карактеризација графенских нанотрака поступком примене различитих доза гама зрачења на графен диспергован у циклопентанону. Такође, графенске нанотраке ће бити синтетисане брзим термалним одгревањем Ni-C наножица у различитим временским и температурским интервалима. Вршиће се упоредна анализа структурних особина синтетисаних графенских нанотрака применом два претходно поменутог поступка.

Значај ове докторске дисертације се огледа у примени две потпуно нове оригиналне методе у синтези графенских нанотрака оптималних димензија и карактеризацији њихових структурних особина.

Основна литература коју кандидат треба да проучи и на коју се наслањају предвиђена истраживања је представљена испод:

1. M. Terrones, A. R. Botello-Méndez, J. Campos-Delgado, F. López-Urías, Y. I. Vega-Cantú, F. J. Rodríguez-Macías, A. L. Elías, E. Muñoz-Sandoval, A. G. Cano-Márquez, J. C. Charlier, H. Terrones, *Graphene and graphite nanoribbons: Morphology, properties, synthesis, defects and applications*, Nano Today (2010) 5, 351-372.
2. C. Xu, H. Li, K. Banerjee, *Modeling, Analysis, and Design of Graphene Nano-Ribbon Interconnects*, IEEE Transactions on Electron Devices, (2009) 56(8), 1567-1578.
3. S. Dutta, S. K. Pati, *Novel properties of graphene nanoribbons: a review*, Journal of Materials Chemistry, (2010) 20, 8207-8223.
4. L. Ma, J. Wang, F. Ding, *Recent Progress and Challenges in Graphene Nanoribbon Synthesis*, Chem. Phys. Chem. 14 (2013) 1, 47-54.
5. O. V. Yazyev, *A Guide to the Design of Electronic Properties of Graphene Nanoribbons*, Accounts of Chemical Research (2013) 46, 2319.
6. B. Huang, Q. Yan, Z. Li, W. Duan, *Towards Graphene Nanoribbon-based Electronics*, Frontiers of Physics in China (2009) 4(3), 269-279.
7. E. Kan, Z. Li, J. Yang, *Graphene Nanoribbons: Geometric, Electronic, and Magnetic Properties*, Physics and Applications of Graphene – Theory, www.intechopen.com.
8. J. Palacios, J. Fernández-Rossier, L. Brey, H. A. Fertig, *Electronic and magnetic structure of graphene nanoribbons*, Semiconductor Science and Technology, (2010) 25 (3), 033003.
9. L. Jiao, L. Zhang, L. Ding, J. Liu, H. Dai, *Aligned Graphene Nanoribbons and Crossbars from Unzipped Carbon Nanotubes*, Nano Research (2010) 3, 387-394.
10. L. Jiao, X. Wang, G. Diankov, H. Wang, H. Dai, *Facile synthesis of high-quality graphene nanoribbons*, Nature Nanotechnology, (2010) 5, 321-324.
11. W. Jong Yu, S. H. Chae, D. Perello, S. Y. Lee, G. H. Han, M. Yun, Y. H. Lee, *Synthesis of Edge-Closed Graphene Ribbons with Enhanced Conductivity*, ACS Nano (2010) 4, 5480-5486.
12. Z. S. Wu, W. Ren, L. Gao, B. Liu, J. Zhao, H.M. Cheng, *Efficient Synthesis of Graphene Nanoribbons Sonochemically Cut from Graphene Sheets*, Nano Research (2010) 3, 16-22.
13. D. Prezzi, D. Varsano, A. Ruini, A. Marini, E. Molinari, *Optical properties of graphene nanoribbons: The role of many-body effects*, Physical Review B (2008) 77, 041404(R).
14. L. M. Malard, M.A. Pimenta, G. Dresselhaus, M.S. Dresselhaus, *Raman spectroscopy in graphene*, Physics Reports (2009) 473, 51-87.
15. S. Ryu, J. Maultzsch, M. Y. Han, P. Kim, L. E. Brus II, *Raman Spectroscopy of Lithographically Patterned Graphene Nanoribbons*, ACS Nano (2011) 5 (5), 4123-4130.
16. A. Shiotari, T. Kumagai, M. Wolf, *Tip-Enhanced Raman Spectroscopy of Graphene Nanoribbons on Au(111)*, The Journal of Physical Chemistry C (2014) 118 (22), 11806-11812.
17. H. Chiriac, A. E. Moga, M. Urse, T.-A. Óvári, *Preparation and magnetic properties of electrodeposited magnetic nanowires*, Sensors and Actuators A: Physical (2003) 106, 348-351.
18. A. K. Bentley, M. Farhoud, A. B. Ellis, G. C. Lisensky, Anne-Marie Nickel, W. C. Crone, *Template Synthesis and Magnetic Manipulation of Nickel Nanowires*, Journal of Chemical Education (2005) 82, 765-768.
19. G. Lisensky, *Synthesis of nickel nanowires. Interdisciplinary Education Group*, Retrieved June 4, 2008, from <http://mrsec.wisc.edu/Edetc/nanolab/nickel/index.html>.
20. A. Cortés, G. Riveros, J. L. Palma, J. C. Denardin, R. E. Marotti, E. A. Dalchiele, H. Gómez, *Single-Crystal Growth of Nickel Nanowires: Influence of Deposition Conditions on Structural and Magnetic Properties*, Journal of Nanoscience and Nanotechnology (2009) 9, 1992-2000.

21. Упутство за Quesant микроскоп

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе у предложеној теми докторске дисертације ће бити:

- Применом гама зрачења различитих доза пратиће се процес синтезе графенских нанотрака сечењем графена диспергованог у циклопентанону. Пратиће се структурне особине синтетисаних графенских нанотрака применом више техника карактеризације: раманска и фуријеова инфрацрвена спектроскопија, микроскопија атомске силе, трансмисиона електронска микроскопија, дифракција X зрака и фотолуминесценција.

- Поступком аутокатализе из Ni-C купатила синтетисаће се Ni-C наножице које ће се потом брзим термалним одгревањем на различитим температурама и у различитим временским интервалима претворити у графенске нанотраке. Потом ће се вршити нагризање нанотрака да би се одстранио никл и њихов трансфер на силицијумску подлогу. Деламинисане графенске нанотраке ће бити карактерисане применом различитих техника карактеризације: раманска и фуријеова инфрацрвена спектроскопија, микроскопија атомске силе, трансмисиона и скенирајућа електронска микроскопија.

4. Научне методе истраживања

Методологија истраживања у оквиру предложене теме докторске дисертације ће обухватити следеће фазе:

- (1) Структурна анализа графенских нанотрака синтетисаних гама зрачењем;
- (2) Структурна анализа синтетисаних графенских нанотрака аутокатализом и брзим термалним одгревањем;
- (3) Упоредна анализа структурних особина синтетисаних графенских нанотрака применом два различита поступка;
- (4) Анализа структурних особина графенских нанотрака у односу на особине истих добијених другим поступцима.

У истраживању ће бити коришћени следећи методи:

- (1) Дисперговање графитног праха у циклопентанону са циљем добијања временски стабилних дисперзија графена;
- (2) Гама зрачење диспергованог графена применом доза зрачења у опсегу од 25 до 125 kGy.
- (3) Карактеризација синтетисаних графенских нанотрака;
- (4) Синтеза Ni-C наножица поступком аутокатализе. Брзо термално одгревање синтетисаних наножица на температурама у опсегу од 500-800 °C и у различитим временским интервалима (30-60 минута);
- (5) Нагризање заосталог никла и деламинација графенских нанотрака на силицијумску подлогу;
- (6) Карактеризација синтетисаних графенских нанотрака добијених поступком аутокатализе и брзог термалног одгревања.

5. Очекивани научни допринос

У оквиру предложене теме докторске дисертације очекују се следећи резултати:

- (1) Синтеза графенских нанотрака оптималних димензија потпуно новим поступком гама зрачења графена;

(2) Синтеза графенских нанотрака другим оригиналним поступком аутокатализе из Ni-C купатила и њихово брзо термално одгревање на различитим температурама и у различитим временским интервалима;

(3) Коришћење различитих техника карактеризације (раманске и фуријеове инфрацрвене спектроскопије, микроскопије атомске силе, трансмисионе и скенирајуће електронске микроскопије и фотолуминесценције) за успешно тумачење структурних особина синтетисаних графенских нанотрака.

Основни допринос који даје ова докторска дисертација је проучавање структурних промена графенских нанотрака синтетисаних применом две нове оригиналне методе: сечење графена гама зрацима и аутокатализом из Ni-C купатила и њихово брзо термално одгревање.

У оквиру истраживања обухваћених докторском дисертацијом објављени су следећи радови:

Радови објављени у међународним часописима категорије M21

1. Tošić, D., Marković, Z., Dramićanin, M., Holclajtner Antunović, I., Jovanović, S., Milosavljević, M., Pantić, J., Todorović Marković, B., *Gamma ray assisted fabrication of fluorescent oligo-graphene nanoribbons*, Mater. Res. Bull. 47 (8) (2012) 1996-2000, ISSN: 0025-5408.

Радови објављени у међународним часописима категорије M23

1. Tošić, D. D., Marković, Z. M., Jovanović, S. P., Milosavljević, M. S., Marković, B. M. T., *Comparative analysis of different methods for graphene nanoribbon synthesis*, Hem. Ind. 67 (1) (2013) 147-156, ISSN: 0367-598X.

6. План истраживања и структура рада

Технологија рада на дисертацији обухвата следеће фазе:

- (1) Договор са кандидатом о проблематици и његова сагласност да прихвата предложену тему;
- (2) Преглед литературе о графенским нанотракама;
- (3) Обука кандидата за рад на спектроскопским као и микроскопским уређајима;
- (4) Обука кандидата да напише научни рад;
- (5) Синтеза графенских нанотрака гама зрачењем;
- (6) Синтеза графенских нанотрака поступком аутокатализе из Ni-C купатила и њихово одгревање на температурама у опсегу од 500-800 оC;
- (7) Карактеризација направљених графенских нанотрака (раманском и фуријеовом инфрацрвеном спектроскопијом, микроскопијом атомске силе и трансмисионом и скенирајућом електронском микроскопијом и фотолуминесценцијом);
- (8) Анализа резултата и дискусија о могућностима коришћења синтетисаних графенских нанотрака у електроници;
- (9) Приказ резултата у научним часописима;
- (10) Приказ резултата у докторској дисертацији.

Структура текста докторске дисертације је следећа:

1. Увод
2. Графенске нанотраке: поступци синтезе, особине и примена
3. Материјали и методе
4. Методе карактеризације
5. Резултати и дискусија
6. Закључак

7. Закључак и предлог

На основу изложеног, Комисија констатује да Драгана Тошић, мастер електротехнике, испуњава све потребне услове за израду докторске дисертације под насловом „Синтеза и карактеризација графенских нанотрака“. Осим испуњавања формалних услова, кандидаткиња је у свом досадашњем раду показала квалитете пресудне за научно-истраживачки рад, као што су схватање теоријских концепата, оригиналност, способност да самостално и тимски решава проблеме на теоријском и експерименталном нивоу и да критички анализира добијене резултате.

Предложена тема је научно заснована, припада ужој научној области Савремених материјала и технологија, и представља оригинални научни допринос области синтезе и карактеризације графенских нанотрака. Тема је од огромног практичног значаја, због све веће употребе различитих угљеничних система у електроници.

Зато комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да одобри Драгани Тошић израду докторске дисертације под руководством др Дејана Раковића, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду, и др Зорана Марковића, научног саветника Института за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду.

У Београду, 17.07.2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Дејан Раковић, редовни професор,
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



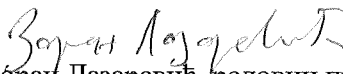
др Зоран Марковић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“



др Милош Вујић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Биљана Тодоровић Марковић, научни саветник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“



др Зоран Лазаревић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет