

## Životopis - dr. sc. Ivica Friščić

### Osobni podaci

Ime i prezime: Ivica Friščić  
Datum rođenja:  
Mjesto rođenja:  
Državljanstvo:  
Elektronička pošta:

### Školovanje i postignuta zvanja

- 12.07.1999. – 16.06.2003.: Srednja škola Ivanec, smjer opća gimnazija.
- 14.07.2003. – 23.12.2008.: Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu smjer: diplomirani inženjer fizike, diplomski rad "*Izgradnja modela pozitronskog emisijskog tomografa*", mentor prof. dr. sc. Damir Bosnar.
- 03.12.2009. – 24.03.2015.: Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu poslijediplomski doktorski studij fizike, smjer: nuklearna fizika; doktorski rad "*Measurement of the  $p(e, e'\pi^+)n$  reaction with the short-orbit spectrometer at  $Q^2 = 0.078$  (GeV/c) $^{2n}$* ", mentor prof. dr. sc. Damir Bosnar. Postignut akademski stupanj *Doktor znanosti*.

### Poznavanje stranih jezika

Govorim, čitam i pišem engleski i njemački jezik.

### Dosadašnja zaposlanja, zvanja i funkcije

- 01.07.2009. – 31.12.2018.: Fizički odsjek, Prirodoslovno matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska. Radio sam na radnom mjestu asistent, znanstveni novak u istraživačkoj grupi prof. dr. sc. Damira Bosnara. Od lipnja 2015. kao poslijedoktorski suradnik. Zbog poslijediplomskog usavršavanja na MIT-u tijekom cijele 2016. godine bio sam na plaćenom dopustu, a tijekom 2017. i 2018. godine na neplaćenom dopustu.
- 04.01.2016. – 31.12.2020.: Laboratory for Nuclear Science (LNS), School of Science, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, Sjedinjene Američke Države. Radio sam na radnom mjestu poslijedokorskog suradnika (postdoctoral associate) u grupi za hadronsku fiziku pod vodstvom prof. dr. Richarda G. Milnera, a od srpnja 2019. kao viši poslijedoktorski suradnik (senior postdoctoral associate).
- 18.01.2021. – danas: Fizički odsjek, Prirodoslovno matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska. Trenutno radim na radnom mjestu suradnika na projektu Horizon 2020 "The strong interaction at the frontier of knowledge: fundamental research and applications" – STRONG-2020 (GA 824093).

### Znanstveno usavršavanje

- 04.01.2016. – 31.12.2020., **ukupno 5 godina**, poslijedoktorski boravak na Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, MA, Sjedinjene Američke Države. Područje usavršavanja: eksperimenti s elektronskim snopom, plinske mete bez zidova, elektrodezintegracija i astrofizički važna reakcija radijativnog uhvata  $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ , elektronska kalorimetrija temeljena na scintilatorima i brzom digitalizatoru pulsa, simulacije sudarivača elektrona i iona (engl. Electron-Ion Collider EIC) s naglaskom na inkluzivno i semi-inkluzivno duboko neelastično raspršenje na polariziranom  $^3\text{He}$ . Potvrda o zaposlenju na MIT-u nalazi se u prilogu.

- 2009. – 2015. boravci od jedan do dva mjeseca godišnje na Institut für Kernphysik, Mainz, Njemačka. Područje usavršavanja: eksperimenti s elektronskim raspršenjem na različitim atomskim jezgrama, te mjerenja s magnetskim spektrometrima i ostalim detektorima A1 kolaboracije.
- 2014., boravak od jednog mjeseca na Laboratorio Nazionale di Frascati, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Frascati, Italija. Područje usavršavanja: eksperimentalne tehnike, detektori i elektronika u nuklearnoj fizici.
- 2011., boravak od jednog mjeseca na Fakultetu fizike, Sveučilišta sv. Kliment Ohridski, Sofija, Bugarska. Područje usavršavanja: primjena komora s otpornim pločama (engl. resistive plate chambers RPC) u pozitronskoj emisijskoj tomografiji (PET).
- 2009., boravak od jednog mjeseca na Fizičkom odsjeku Prirodoslovnog fakulteta, Sveučilišta u Coimabri, Portugal. Područje usavršavanja: metode za rekonstrukciju slike pozitronske emisijske tomografije s vremenom proleta.

### Članstvo i funkcije u strukovnim udruženjima, organizacijama i institucijama

2016. – danas, član Američkog fizikalnog društva (<https://www.aps.org/>).

### Priznanja i nagrade

- "2007. Rektorova nagrada", Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska, za studentski rad: "*Ramanska spektroskopija hidrogen trititanatnih nanocjevčica sintetiziranih iz različitih TiO<sub>2</sub> struktura i istraživanje njihovih faznih prijelaza induciranih visokoenergijskim mljevenjem i porastom temperature*" (koautor s Milivojem Plodincem, mentorica: dr. sc. Andreja Gajović). Preslika rektorove nagrade nalazi se u prilogu.
- "2017 Infinte Kilometer (K) Award", School of Science, MIT, Cambridge, MA, Sjedinjene Američke Države. Nagrada se dodjeljuje poslijedoktorandima i istraživačkom osoblju MIT-a u okviru programa "The School of Science Staff Excellence Awards" za iznadprosječne rezultate i doprinose u istraživanjima, te zajednici na MIT-u. (<https://science.mit.edu/about/awards/staff-excellence-awards/infinite-mile-kilometer-winners/>). Dobio sam ovu nagradu za svoju ulogu (sustav mehaničke blokade i kontrole) u ispitivanju plinske mete bez prozora, na LERF-u u JLabu, Newport News, VA, Sjedinjene Američke Države. Pismo/obavijest o dobivanju nagrade nalazi se u prilogu.

### Stipendije:

- 2003. – 2007.: Državna stipendija Ministarstva znanosti Republike Hrvatske, sveukupno četiri godine.
- Tri jednomjesečne stipendije Agencije za atomsku energiju, Beč, Austrija, za znanstvena usavršavanja u 2009., 2011., i 2014. godini.
- 2019. – 2020.: Stipendija u trajanju od 12 mjeseci, Electron-Ion Collider Center at Jefferson Lab (EIC<sup>2</sup>@JLab), Newport News, VA, USA.

### Područje djelovanja u znanosti i nastavi

Većina znanstvenih aktivnosti je fokusirana na eksperimentalnu nuklearnu fiziku temeljenu na elektronskom raspršenju, razvoj pripadnih detektorskih sustava, korištenje modernih sustava za prikupljanje podataka bez okidača, te primjena nuklearnih metoda u medicini.

### 1) Diplomski student:

Znanstvene aktivnosti započeo sam 2007. godine u laboratoriju za molekularnu fiziku Instituta Ruđer Bošković, gdje sam pomoću *in-situ* Ramanove spektroskopije istraživano svojstva i fazne prijelazi titanatnih nanocjevčica induciranih temperaturom i mljevenjem u planetarnom mlinu. Za navedeno istraživanje, u koautorstvu s Milivojem Plodincem, dobio sam rektorovu nagradu za studentski rad iz fizike za akademsku godinu 2006./2007. (mentorica dr. sc. Andreja Gajović). Kasnije smo uzorke karakterizirali

datnim metoda, te istraživanje objavili u dvije znanstvene publikacije (R.br. 1 i 3 iz priloženog bibliografskog popisa radova).

### 2) Doktorski student, znanstveni novak:

2009. godine nastavio sam raditi na istraživanju provedenom u okviru mog diplomskog rada, gdje sam proučavao izvedbu detektorskog sustava temeljenog na BaF<sub>2</sub> scintilatorima koji se mogu postaviti u prsten čineći mali model pozitronskog emisijskog tomografa (PET). Detektorski sustav nadograđen je sustavom za prikupljanje podataka temeljenom na vremensko-digitalnom konverteru (TDC) koji radi u kontinuiranom modu (bez signala za okidanje), tako da je mogao raditi kao PET s vremenom proleta (ToFPET). U kontinuiranom načinu rada svakom se registriranom signalu dodjeljuje vremenska oznaka, a samo određivanje koincidencija dvije gama zrake odradio sam u naknadnoj analizi. Time je izbjegnuta uporaba elektronike za koincidencije, te je samim time sustav za prikupljanje podataka jednostavniji.

Tijekom 2009. godine postao sam član A1 kolaboracije na Institutu za nuklearnu fiziku Sveučilišta u Mainzu, Njemačka, te sam počeo sudjelovati u njihovom istraživačkom programu koji uključuje eksperimente elektronskog raspršenja visoke preciznosti koristeći elektronski snop koji isporučuje ubrzivač Mainz Microtron (MAMI), s energijama od 180 MeV do 1,6 GeV i strujama do 100 μA. Sudjelovao sam u mjerenjima: virtualnog Comptonovog raspršenja, zračenja početnog stanja za određivanje radijusa protona, traženju tamnih fotona, testiranju različitih detektora i mjerenju stranosti u hadronskim sustavima pomoću Kaos spektrometra.

Početkom 2011. definirana je tema mog doktorata: "*Measurement of the  $p(e, e' \pi^+)n$  reaction with the short-orbit spectrometer at  $Q^2 = 0.078 \text{ (GeV/c)}^2$* ". Imao sam vodeću ulogu u pripremi mjerenja, simulacijama za određivanje kinematike mjerenja, pripremi detektora za mjerenja, u izvođenju mjerenja i u analizi podataka. Podaci su prikupljeni tijekom tri tjedna u travnju 2011. koristeći MAMI ubrzivač, pri invarijantnoj masi  $W = 1094 \text{ MeV}$  (približno 15 MeV iznad praga za proizvodnju nabijenog piona). Raspršeni elektron izmjeren je u jednom od standardnih magnetskih spektrometara A1 kolaboracija, a proizvedeni nabijeni pion u spektrometru s kratkom orbitom (SOS) i to je bilo prvo fizikalno mjerenje ovim spektrometrom. U usporedbi sa standardnim spektrometrima A1 kolaboracije, SOS ima za jedan red veličine manju duljinu puta čestica (približno 1,6 m) i specijaliziran je za detektiranje niskoenergijskih piona, time je smanjena nepouzdanost zbog raspada piona, koja je jedna od najvećih doprinosa sistematskoj nepouzdanosti iz prethodnih eksperimenata. Udarni presjek reakcije  $p(e, e' \pi^+)n$  izmjeren je za tri različite vrijednosti polarizacije virtualnog fotona u paralelnoj kinematici, kako bi se Rosenbluthovom metodom razdvojili longitudinalni (L) i transverzalni (T) član udarnog presjeka. Mjerenjem piona "lijevo" i "desno" u odnosu na smjer paralelne kinematike, određen je longitudinalno-transverzalni (LT) član udarnog presjeka. Za potrebe analize analizu podataka prikupljenih SOS-om razvio sam procedure i postupke koje uključuju: implementaciju SOS-a u program za izračun luminoznosti, razvoj postupka za izračun duljine traga čestica za korekciju raspada piona, razvoj Monte Carlo simulacije raspada piona unutar SOS-a u okviru postojećeg programskog paketa, kako bi mogao odrediti udio miona u prikupljenim podacima itd. Dobivene vrijednosti L, T i TL članova udarnog presjeka, prema trenutno dostupnim publikacijama, određene su najbliže pragu reakcije elektroprodukcije nabijenog piona (15 MeV iznad praga) i na najmanjem prijenosu četveroimpulsa  $Q^2 = 0,078 \text{ (GeV/c)}^2$ . Doktorski rad uspješno sam obranio 24. ožujka 2015. godine i objavio rezultate udarnih presjeka L, T i TL u članku I. Friščić et al., Phys. Lett. B 766, (2017), 301-305, te opis analize kao dio D. Baumann, M. Ding, I. Friščić et al., Nucl. Instrum. Met. A, 874 (2017), 79-87.

### 3) Poslijedoktorand na MITu:

Početkom 2016., pridružio sam se DarkLight kolaboraciji s MIT-a, kao nastavak potrage za hipotetskom česticom, tamnim fotonom, u kojoj sam sudjelovao kao član A1 kolaboracije. Cilj DarkLight eksperimenta je bila potraga za tamnim fotonom u području masa ispod 100 MeV. Kako bi ispunili taj cilj, prvo smo napravili i testirali plinsku metu bez prozora i kao drugo, proveli smo mjerenje najvećeg doprinosa sistematskoj nepouzdanosti – Møllerovo raspršenje na niskim energijama.

Plinsku metu bez prozora konstruirali smo tijekom 2016. Ta se meta temelji na pregradama za ograničavanje protoka plina i sustava vakuumskih pumpi za odražavanje visokog vakuuma izvan područja mete. Testiranja su izvedena u Low Energy Recirculator Facility (LERF) pri Jefferson National Laboratory (JLab), Newport News, VA, SAD. Moja uloga je bila postavljanje elektronike i senzora (vakuumskih) za kontrolu i dijagnostiku, te izrada i instalacija sustava mehaničke blokade (interlock) koji je uspješno prošao inspekciju JLab-ove odgovorne osobe za sigurnost, pa je test plinske mete mogao biti proveden.

U 2017. nadzirao sam eksperimentalni rad doktoranda koji je proučavao karakteristike poboljšane plinske mete bez prozora. Također sam sudjelovao u pripremi eksperimenta mjerenja Møller-ovog raspršenja, te sam bio uključen u izradu elektronike i detektora fokalne ravnine magnetskog spektrometra. Mjerenje je provedeno u MIT-ovom Laboratoriju za visokonaponska istraživanja (HVRL) koristeći tanku ugljičnu metu i snop elektron energije 2,5 MeV iz Van der Graafvog ubrzivača.

2018. godine, zajedno s R. G. Milner-om i T. W. Donnelly-em, započeo sam rad na opsežnom istraživanju reakcije  $^{16}\text{O}(e,e'\alpha)^{12}\text{C}$  s ciljem povećanja preciznost astrofizičkih S-faktora E1 i E2  $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$  reakcije. Ovo istraživanje motivirano je činjenicom, da unatoč više od 50 godina dugog eksperimentalnog napora, učestalost reakcije  $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$  još uvijek nije poznata sa zadovoljavajućom preciznošću, te među svim nuklearnim parametrima koji ulaze u modeliranje evolucije zvijezda baš ta reakcija ima najveću nepouzdanost. Ovdje smo razvili model koji povezuje reakcije radijativnog uhvata s reakcijama inkluzivne elektrodeintegracije, te smo pokazali da bi se mjerenjem učestalosti elektrodeintegracije  $^{16}\text{O}$  u eksperimentu visoke luminoznosti, pri čemu bi se koristili mlazna plinska meta i nova generacija linearnih ubrzivača s povratom energije, moglo značajno smanjiti statističke nepouzdanosti S-faktora E1 i E2  $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$  reakcije u astrofizički zanimljivom području. Ova je studija objavljena 2019. u I. Frišić, T. W. Donnelly and R. G. Milner, Phys. Rev. C 100, (2019) 025804, te sam održao dva usmena izlaganja na međunarodnim konferencijama, od kojih je jedan bio pozvano predavanje na jesenskom sastanku sekcije za nuklearnu fiziku Američkog fizičkog društva 2019 (DNP Fall Meeting 2019).

Tijekom 2019. godine moj glavni fokus bio je na pripremi za ispitivanje kalorimetra koji se sastojao od  $3\times 3$   $\text{PbWO}_4$  scintilatora, te provedba testnih mjerenja koristeći testni snop ubrzivača DESY, Hamburg, Njemačka. Ova vrsta kalorimetra planira se koristiti u budućem eksperimentu mjerenja dvofotonske izmjene, tj. procesa drugog reda u QED opisu raspršenja elektrona na protonu. Cilj testa bio je istražiti dva različita sustava za prikupljanje podataka: klasičnog, koristeći QDC (naboj u digitalni konverter) sa okidačkim signalom i sustava bez okidačkog signala koji se temelji na brzom digitalizatoru pulsa. Sudjelovao sam u pisanju upravljačkih programa za QDC, pripremi eksperimenta na ubrzivaču DESY i prikupljanju podataka. Tijekom 2020. bavio sam se analizom podataka prikupljenih, te su dijelovi analize korišteni su prijedlogu eksperimenta mjerenja dvofotonske izmjene (The TPEX proposal) koji predložen na Desy PRC 90 meeting 2020.

Tijekom studenog i prosinca 2019. sudjelovao sam u pripremi eksperimenta elastičnog raspršenja elektrona na protonu s mlaznom vodikovom metom MAGIX kolaboracije na Institutu za nuklearnu fiziku Sveučilišta u Mainzu, Njemačka. Krajnji cilj je riješiti dugogodišnji problem određivanja nabojnog radijusa protona. Za ovaj eksperiment, grupa s MIT-a dizajnirala je i izgradila veto detektore i sustav kolimatora. Moja je uloga bila instalirati naveden sustave, te ih uklopiti u postojeći eksperimentalni postav. Na početku 2020., u dva navrata, sudjelovao sam u mjerenjima elastičnog raspršenja elektrona na protonu, pri čemu su korišteni magnetski spektrometri A1 kolaboracije.

U sklopu 12-mjesečne stipendije Electron-Ion Collider Centra laboratorija Jefferson (EIC2 @ JLab) proučavao sam duboko neelastično raspršenje (DIS) i polu-inkluzivno DIS (SIDIS) elektrona na  $^3\text{He}$ , sa i bez polarizacije, u kinematici elektron-ion sudarivača (EIC). Posebno sam se fokusirao na kanale reakcije u kojima se elektron rasprši na jednom od nukleona, a ostala dva nukleona (promatrači) se detektiraju prednjim detektorima, što omogućava da se odredi količina gibanja nukleona na kojem se elektron rasprši. U eksperimentima s fiksnom metom to je gotovo nemoguće ostvariti, stoga se količina gibanja nukleona na kojem se elektron rasprši mora odrediti iz modela. Ta studija biti će dio EIC žute knjige (EIC yellow report), dijelove studije sam prezentirano prilikom tri usmena izlaganja (dvije konferencije i jedan sastanak), a rad za publikaciju je u pripremi.

#### 4) Suradnik na projektu STRONG-2020:

Nastavio sam se baviti analizom podataka prikupljenim brzim digitalizatorima pulsa iz različitih detektora.

**Djelovanje u nastavi** mogu podijeliti na nastavu koju sam održao kao poslijedoktorand na MIT, te doktorand/znanstveni novak u Zagrebu:

- Tijekom ljetnog semestra 2019. godine sudjelovao sam u nastavi Junior Lab-a (ID predmeta 8.13, radi se o praktikumu iz fizike na trećoj godini) na MIT-u. Moja uloga bila je praćenje studenata tijekom izvođenja mjerenja, ocjenjivanje studentskih izvještaja u formatu PRL-a, te zajedno voditeljem grupe (prof. dr. Christoph Paus) i asistentom ocjenjivanje usmenih izlaganja.
- Od 2010. do kraja 2015. na Fizičkom odsjeku PMF-Zagreb održao sam vježbe, seminare i praktike, sveukupno oko 620 sati (zimski semestar 2015./2016. nisam održao do kraja, zbog odlaska na poslijedoktorsko usavršavanje), i to iz sljedećih predmeta:
  - 1) Akademska godina 2009./2010., ljetni semestar: Računala i operativni sustavi (1 sat/tjedno), Računalni praktikum 2 (2 sata/tjedno), Praktikum iz moderne fizike (3 sata/tjedno)
  - 2) Akademska godina 2010./2011., zimski semestar: Nuklearna fizika (1 sat/tjedno) i Računalni praktikum 1 (2 sat/tjedno), ljetni semestar: Nuklearna fizika (1 sat/tjedno) i Računalni praktikum 2 (2 sata/tjedno)
  - 3) Akademska godina 2011./2012., zimski semestar: Nuklearna Fizika 1 (1 sat/tjedno) i Računalni praktikum 1 (2 sata/tjedno), ljetni semestar: Nuklearna Fizika 2 (1 sat/tjedno) i Računalni praktikum 2 (2 sata/tjedno)
  - 4) Akademska godina 2012./2013., Nuklearna Fizika 1 (1 sat/tjedno), Reaktorska fizika (1 sat/tjedno) i Odabrana poglavlja iz nuklearne i fizike čestica (2 sata/tjedno), ljetni semestar: Nuklearna Fizika 2 (1 sat/tjedno) i Računalni praktikum 2 (2 sata/tjedno)
  - 5) Akademska godina 2013./2014., zimski semestar: Nuklearna Fizika 1 (1 sat/tjedno), Reaktorska fizika (1 sat/tjedno) i Odabrana poglavlja iz nuklearne i fizike čestica (2 sata/tjedno), ljetni semestar: Nuklearna Fizika 2 (1 sat/tjedno) i Računalni praktikum 2 (2 sata/tjedno)
  - 6) Akademska godina 2014./2015., zimski semestar: Nuklearna Fizika 1 (1 sat/tjedno), Reaktorska fizika (1 sat/tjedno) i Odabrana poglavlja iz nuklearne i fizike čestica (2 sata/tjedno), ljetni semestar: Nuklearna Fizika 2 (1 sat/tjedno) i Računalni praktikum 2 (2 sata/tjedno)
  - 7) Akademska godina 2015./2016.: zimski semestar: Reaktorska fizika (1 sat/tjedno) i Odabrana poglavlja iz nuklearne i fizike čestica (2 sata/tjedno)

U studentskoj anketi, iz akademske godine 2013./2014., održane vježbe iz Odabranih poglavlja iz nuklearne i fizike čestica ocjenjene su s prosječnom ocjenom 4.69. Rezultati ankete sa svim detaljima nalaze se u prilogu.

#### **Namjera daljnjeg djelovanja**

U nedavnom natječaju H2020-WF-03-2020 (u sklopu Obzor 2020 Europske komisije) odobreno mi financiranje prijavljenog projekta pod naslovom "Ortho-positronium decay and the search for CP and CPT violation in leptonic sector — OPSVIO" u okviru "widening" stipendije u trajanju od 24 mjeseci. Trenutno sam u fazi pripreme projektnog ugovora (Grant Agreement number: 101038099). Glavnina projekta u okviru "widening" stipendije uključuje određivanje slamanja CP i CPT simetrija u leptonskom sektoru koristeći detekciju gama zraka iz raspada ortopozitronija (o-Ps). Mjerenje će se raditi u Laboratoriju za nuklearnu fiziku, Fizičkog odsjeka, gdje već postoji eksperimentalna oprema u vidu 48 BaF<sub>2</sub> scintilacijskih detektora (od kojih će se dio zamijeniti s većim kristalima) s pripadajućom elektronikom, a sustav za određivanje spina pozitrona, odnosno o-Ps, će se izgraditi u sklopu stipendije. Za razliku od prijašnjih eksperimenata, za prikupljanje podataka planiraju se koristiti brzi digitalizatori pulsa te više detektora, pa je moguće koristiti jači izvor pozitrona i u usporedivom roku prikupiti više podataka. Isto tako koristit će se puni krug detektora bez pokretnih dijelova, što će doprinijeti manjoj sistematskoj pogrešci. Sve zajedno omogućiti će poboljšanje preciznosti u određivanju slamanja CP i CPT simetrija za minimalno jedan red

veličine u odnosu na prijašnje eksperimente s raspadom o-Ps, koji unutar svojih preciznosti nisu uspjeli pokazati slamanje tih simetrije u leptonskom sektoru.

Od ovog dvoje, naročito je interesantno odrediti slamanje CP simetrije. Naime, slamanje CP simetrije može objasniti asimetriju materije i antimaterije u svemiru. I to je već eksperimentalno potvrđeno u hadronskom sektoru, no sama jačina slamanja u hadronskom sektoru nije dovoljna da se objasni tako velika asimetrija materije i antimaterije. Slamanje CP simetrije u leptonskom sektoru, s teorijskog aspekta favoriziraju neki modeli leptogeneze, dok s eksperimentalnog aspekta trenutno postoji samo indicija iz mjerenja oscilacija neutrina, koja je objavljena 2020. godine u Nature-u K. Abe, R. Akutsu, A. Ali et al., Nature 580, 339–344 (2020), što dodatno motivira planirana mjerenja.

Slamanje CP i CPT simetrija moguće je također odrediti iz mjerenja asimetrija kod kojih je, među ostalim, potrebno izmjeriti i polarizaciju jednog od o-Ps fotona. Međutim ova metoda nikad nije korištena, jer ne postoji odgovarajući polarimetar. Kako je u Laboratoriju za nuklearnu fiziku u tijeku izrada 16 modula jednoslojnih Comptonskih polarimetara, jedan dio vremena u okviru "widening" stipendije izdvojiti ću za istraživanje svojstva jednoslojnih Comptonskih polarimetara, kako bi ispitali potencijalnu primjenu tih detektora u budućim eksperimentima i mjerenjima.

U gore opisanom eksperimentu koristiti ću brze digitalizatore pulsa, a sa sličnim tipom digitalizatora sam već radio prilikom testnih mjerenja za TPEX (two photon exchange) eksperiment, nastaviti ću suradnju s MIT grupom, te planiram sudjelovati u testovima nove verzije PbWO<sub>4</sub> kalorimetra na elektronskom ubrzivaču Desy, Hamburg, Njemačka. Cilj TPEX eksperimenta je odrediti jačinu dvofotonske izmjene kod raspršenja elektrona na protonu, tj. doprinos drugog reda u QED opisu navedenog procesa.

Članovi grupe Laboratorija za nuklearnu fiziku na Fizičkom odsjeku također sudjeluju u istraživanjima na elektronskom ubrzivaču MAMI u Mainz, Njemačka i na sudarivaču DAFNE u Laboratori Nazionali di Frascati (LNF), pa ću stoga i manji dio svog vremena posvetiti na suradnju s navedenim europskim istraživačkim centrima. Na MAMI sudarivaču grupa sudjeluje u mjerenjima elektromagnetskih faktora protona i neutrona, a na LNF-u u preciznim mjerenjima kaonske mase HPGe detektorima i x-zraka iz prijelaza u kaonskom deuteriju.

### **Objavljeni znanstveni radovi**

Koautor sam 39 znanstvenih radova koji su indeksirani u bazi Web of Science Core Collection (WoSCC) i Current Contents, a objavljeni su u znanstvenim časopisima koji su indeksirani u bazi podataka InCites Journal Citation Reports (JCR). Od toga 16 časopisa nalazi u Q1 kvartilu JRC predmetnog područja, 15 u Q2 kvartilu, 6 u Q3 kvartilu i 2 u Q4 kvartilu. Ukupan broj citata je 507, prosječan broj citata po radu je 13.00, a h-indeks je 10.

Broj radova koji su indeksirani u bazi podataka Scopus je 38, ukupan broj citata je 565, prosječan broj citata po radu je 14.88, a h-indeks je 11.

Potvrda o zastupljenosti i citiranosti radova u relevantnim bazama podataka, bibliografski podaci o časopisima dani i separati radova priloženi su kao posebni prilozi.

Koautor sam i 12 znanstvenih radova iz skupine ostalih radova koji se odnose na radove objavljene u zbornicima skupova (nisu indeksirani u JCR-u) te spadaju u Q4 kvartil. Također je priložen i popis tih radova.

### **Sudjelovanje na znanstvenim i stručnim sastancima**

Ukupno sam sudjelovao na 21 znanstvenih i stručnih sastanaka. Od toga sam na 8 samo sudjelovao, na 3 sam prezentirao poster, a na 10 sam održao predavanja, od čega bi htio istaknuti pozvano predavanje (pozivno pismo je priloženo):

- 15.10.2019.: APS DNP 2019 Meeting, Crystal City, VA, Sjedinjene Američke Države, pozvano predavanje: sekcija FG.00001: I. Friščić, "Electrodisintegration of <sup>16</sup>O: Measurement and Astrophysical implication" ([http://meetings.aps.org/Meeting/DNP19/APS\\_Invited](http://meetings.aps.org/Meeting/DNP19/APS_Invited))

## Predavanja na institucijama

Održao sam ukupno 3 predavanja na institucijama i od toga jedno pozvano predavanje (pozivno pismo je u prilogu):

- 13.10.2015.: LNS Lunchtime seminar, LNS-MIT, Cambridge, MA, Sjedinjene Američke Države, pozvano predavanje: I. Friščić, "Measurement of the  $p(e,e'\pi^+)n$  reaction with the short-orbit spectrometer at  $Q^2 = 0.078 \text{ (GeV/c)}^2$ ".

## Sudjelovanja na projektima

- Suradnik na projektu Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta "QCD i jezgre; primjena nuklearnih metoda: materijali, medicina, okoliš", 119-1191005-1021, voditelj projekta: prof. dr. sc. Damir Bosnar, trajanje projekta: 2006. – 2013.
- Suradnik na projektu tehničke suradnje Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) "Improving Educational and Training Capabilities in Nuclear Science and Applications" RER/0/028, voditelj projekta: prof. dr. sc. Damir Bosnar, trajanje projekta: 2011. – 2013.
- Suradnik na FP7 projektu "Study of Strongly Interacting Matter" (acronym HadronPhysics3), voditelj projekta: prof. dr. Hans-Jürgen Arends, trajanje projekta: 2012. – 2014.
- Suradnik na projektu Hrvatske zaklade za znanost "High precision measurements of hadronic system properties and low energy QCD" no. 1680, voditelj projekta: prof. dr. sc. Damir Bosnar, trajanje projekta 2014. – 2018.
- Suradnik na projektu tehničke suradnje Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) "Improving Capabilities for the Application of Positron Annihilation Spectroscopy" CRO/0/009, voditelj projekta: prof. dr. sc. Damir Bosnar, trajanje projekta: 2014. – 2016.
- Suradnik na projektu američke Nacionalne zaklade za znanost (engl. National science foundation, USA): "MRI Consortium: Collaborative Research: Development of the Phase-I DarkLight Experiment at Jefferson Laboratory" NSF PHY-1437402, voditelj projekta: prof. dr. Richard Milner, suvoditelji: prof. dr. Peter Fisher, James Kelsey, trajanje projekta: 2014. – 2018.
- Suradnik na projektu američkog Ministarstva energije: US Department of Energy, Office of Nuklearna Fizika under Contract Number DE-FG02-94ER40818, voditelj projekta: prof. dr. Richard Milner, trajanje projekta: 2006. – danas.
- Suradnik na projektu Horizon 2020 "The strong interaction at the frontier of knowledge: fundamental research and applications" – STRONG-2020 (GA 824093), predstavnik/voditelj projekta na PMF-Zagreb: prof. dr. sc. Damir Bosnar, trajanje projekta: 2019. – danas.

Naročito bi htio istaknuti da sam na natječaj H2020-WF-03-2020 Widening Fellowships (u sklopu Obzor 2020 programa Europske komisije) prijavio projekt pod naslovom "Ortho-positronium decay and the search for CP and CPT violation in leptonic sector — OPSVIO", te mi je za isti nedavno odobreno financiranje. Projekt bi trebao započeti tijekom 2021. godine i trajati će 24 mjeseci. Trenutno sam u fazi pripreme projektnog ugovora (Grant Agreement number: 101038099). U prilog sam priložio pozivno pismo za početak pripreme ugovora.

## Ostale institucionalne aktivnosti

Pet puta sam sudjelovao u predstavljanju Fizičkog odsjeka na smotri Sveučilišta u Zagrebu, i to na:

- 14. smotra od 21. – 23. 01. 2010.
- 15. smotra od 04. – 05. 11. 2010.
- 16. smotra od 13. – 15. 10. 2011.
- 17. smotra od 15. – 17. 11. 2012.
- 18. smotra od 14. – 16. 11. 2013.

### **Članstvo u kolaboraciji**

- 2009 – 2016: Član A1 kolaboracije na Institutu za nuklearnu fiziku Johannes Gutenberg Sveučilišta u Mainzu, Njemačka, raspršenje elektrona na nukleonima i jezgrama.
- 2016 – 2018: Član DarkLight kolaboracije na Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, Sjedinjene Američke Države, plinska meta bez prozora, mjerenje Møller-ovog raspršenja na niskim energijama, potraga za tamnim fotonom u području masa ispod 100 MeV.
- 2019 – danas: Član MAGIX kolaboracije na Institutu za nuklearnu fiziku Johannes Gutenberg Sveučilišta u Mainzu, Njemačka, eksperimenti raspršenja elektrona na mlaznoj plinskoj meti.

### **Tehničke vještine i kompetencije**

- Rad s različitim detektorima i detektorskim sustavima koji se koriste u nuklearnoj fizici (scintilacijski detektori za detekciju gama zraka i elektrona, driftne komore, poluvodički detektori).
- Rad s raznim vrstama elektronike za digitalizaciju detektorskih signala: klasični sustavi temeljeni na okidačkom signalu i sustavi temeljeni na brzim digitalizatorima pulsa.
- Rad sa sustavima pumpa za postizanje visokog vakuuma i različitim detektorima za mjerenje tlaka.
- Računalno programiranje: C, C++, Fortran, Mathematica, Matlab, EPICS.
- Rad s operativnim sustavima: Windows, Linux, MacOS.
- Rad s programskim paketom za simulacije PET-a i SPECT-a Gate.
- Rad s programskim paketom za simulacije Geant4.
- Rad s programskim paketom za analizu podataka Cola i Root.