

# Prijedlozi tema za diplomske radove u 2021.

**Mentor:** dr. sc. Damir Aumiler

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Lasersko hlađenje frekventnim češljem ispod Dopplerove granice

**Sadržaj teme:**

Razvoj tehnike laserskog hlađenja prije tri desetljeća započeo je revoluciju u atomskoj i molekularnoj fizici te omogućio eksperimente koji nam pomažu bolje razumjeti kvantni svijet. Korištenje kontinuiranih lasera za kontrolu temperature atoma evoluiralo je tijekom godina brzo pomičući granice znanstvenog razvoja kroz impresivne pothvate u području ultrahladnih atoma i novih kvantnih tehnologija. Ipak, unatoč značajnom napretku, preostaju važne praznine unutar područja, a jedna od najizraženijih je naša nemogućnost da laserski hladimo i zarobljavamo vodik, (gotovo sve) molekule te najrasprostranjenije atome organske kemije: ugljik, kisik i dušik. Primjena niza ultrakratkih laserskih pulseva (tj. frekventnog češlja) za lasersko hlađenje posljednjih je godina sve češće spominjan pristup za prevladavanje postojećih ograničenja. Grupa na Institutu za fiziku jedna je od pionira u primjeni frekventnog češlja za lasersko hlađenje atoma. U posljednjih nekoliko godina uspješno je demonstrirano lasersko hlađenje atoma rubidija pomoću frekventnog češlja, a nedavno i simultano hlađenje dva izotopa rubidija čime je dokazan potencijal frekventnog češlja za simultano hlađenje u više kanala. U kontekstu optimizacije procesa hlađenja frekventnim češljem nužno je detaljno poznavanje fizikalnih procesa relevantnih za pobudu atoma frekventnim češljem što podrazumijeva kvalitetne teorijske modele za opis međudjelovanja atoma i svjetlosti lasera. U sklopu diplomskog rada primijenit će se numerički modeli za opis međudjelovanja atoma s frekventnim češljem temeljeni na optičkim Blochovim jednadžbama te će se na temelju njih odrediti radijativna sila na atome. Teorijski će se istražiti lasersko hlađenje frekventnim češljem u 1D geometriji laserskih zraka. Poseban naglasak će biti na razmatranju utjecaja polarizacije laserskih zraka na hlađenje atoma s hiperfinom strukturom, analogno sub-Dopplerovom hlađenju pomoću kontinuiranih lasera.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ticijana Ban

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Istraživanje elektromagnetski-inducirane transparencije za primjenu u kvantnim memorijama

**Sadržaj teme:**

Kvantna komunikacija temelji se na prijenosu kvantnih stanja na velike udaljenosti, a ključna je za buduće primjene kao što su kvantna kriptografija, kvantne mreže, kvantni internet. Prijenos kvantnih stanja na velike udaljenosti ograničen je gubitkom fotona, te se u tu svrhu ne mogu upotrebljavati tehnike pojačanja koje se koriste u klasičnoj telekomunikaciji. Problem bi se mogao riješiti upotrebom kvantnih repetitora kojima se može postići sprezanje kvantnih stanja na daljinu. Kvantne memorije su temeljna komponenta kvantnih repetitora. Kvantne memorije koriste atomske sustave u kombinaciji s linearnim optičkim tehnikama i brojanjem fotona za kontrolirano skladištenje fotona. Jedna od najperspektivnijih platformi kvantnih memorija temelji se na procesu elektromagnetski inducirane transparencije (EIT) u plinovima alkalijskih atoma. Cilj ovog diplomskog rada je proučavanje elektromagnetski inducirane transparencije u parama atoma rubidija u svrhu njihove primjene za kvantne memorije. Pare atoma rubidija stvarati će se u staklenoj ćeliji na temperaturama bliskim sobnoj temperaturi. EIT će se ostvariti upotrebom lasera s kontinuiranom emisijom. Brojanje fotona postizat će se osjetljivim optičkim detektorima. Istražit će se efikasnost i vrijeme skladištenja fotona za različite temperature atoma i parametara EIT rezonancije. Tijekom izrade diplomskog rada usvojit će se znanja o koherentim efektima uzrokovanim međudjelovanjem lasera i atoma, kao i niz praktičnih znanja povezanih uz atomsku spektroskopiju, frekventnu stabilizaciju lasera, elektroniku te kontrolu i upravljane eksperimentom kao i za analizu i obradu podataka.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Slaven Barišić Osor

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Polaroni učinci u sustavima s malim dopiranjem

**Sadržaj teme:**

Polaroni nastaju kada elektron međudjeluje s kristalnom rešetkom, zbog čega se ona polarizira (deformira). Elektron i pripadajuće mu polarizacijsko polje onda zajedno putuju kroz kristalnu rešetku, ponašajući se kao dobro definirana kvazičestica. Zbog svoje važnosti, polaroni i polaroni učinci su predmet intenzivnih istraživanja već niz desetljeća, a vezanje elektrona za polarizacijsko, ili neko drugo bozonsko polje, jedan je od najčešćih problema koji se susreće u okviru fizike jako koreliranih sustava.

Napredak eksperimentalnih tehnika, posebice kutno razlučive fotoelektronske spektroskopije (ARPES), otvorio je mogućnost izravnog uvida u elektronska svojstva materijala s vrlo velikom razlučivosti, kako po energiji, tako i po impulsu. Pomoću ove tehnike dobiva se izravan uvid i u međudjelovanja koja u pojedini materijalima djeluju na elektrone. Nedavna ARPES mjerenja poluvodiča kakvi su SrTiO<sub>3</sub> ili anataze TiO<sub>2</sub> [1], odnosno prijelaznog sloja LaAlO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> [2], otkrila su značajne polaronске učinke i iznenađujuća ponašanja s aplikativnim primjenama.

Rad bi kombiniranjem analitičkih i numeričkih pristupa proučio elektronsku spektralnu funkciju u modelu i granicama koje su relevantne za opisane eksperimente i materijale [3]. Posebno zanimljiva je ovisnost ARPES spektara o doping-u, počevši od izolatorske granice prema metalnoj, što predstavlja novi izazov za teorijsko modeliranje polaronskih učinaka i učinaka zasjenjenja. Ovisno o izvedbi, diplomski rad na opisanu temu ujedno bi mogao biti dobar temelj za jednu ili više znanstvenih publikacija, kao i za daljnja istraživanja.

[1] S. Moser, L. Moreschini, J. Jaćimović, O. S. Barišić, H. Berger, A. Magrez, Y. J. Chang, K. S. Kim, A. Bostwick, E. Rotenberg, L. Forro, M. Grioni, Tunable Polaronic Conduction in AnataseTiO<sub>2</sub>, Phys. Rev. Lett. 110, 196403 (2013).

[2] C. Cancellieri, A. Mishchenko, U. Aschauer, A. Filippetti, C. Faber, O. S. Barišić, V. Rogalev, T. Schmitt, N. Nagaosa, V. Strocov, Polaronic metal State at the LaAlO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub> interface, Nat. Commun. 7, 10386 (2016).

[3] J. Krsnik, V. N. Strocov, N. Nagaosa, O. S. Barišić, Z. Rukelj, S. M. Yakubanya, and A. S. Mishchenko, Manifestations of the electron-phonon interaction range in angle resolved photoemission spectra, Phys. Rev. B 102, 121108(R) (2020).

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Mario Basletić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Računalo u eksperimentu

**Sadržaj teme:**

Cilj ovog rada je izrada i konfiguriranje jednostavnog 'uređaja' za praćenje položaja (X- Y- ili kuta) pomoću optičkog senzora računalnog miša. Takav uređaj bi onda mogao biti korišten u nastavi, demonstracijskim pokusima i/ili na praktikumima kao mjerni instrument s mogućnošću direktnog bilježenja i manipuliranja podataka s računalom, u stvarnom vremenu. Od studenta se očekuje poznavanje programiranja u programskom jeziku Python.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Mario Basletić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Tanki filmovi odabranih materijala

**Sadržaj teme:**

Pulsna laserska depozicija (engl. PLD) jedna je od modernih tehnika za dobivanje tankih (epitaksijalnih) filmova raznih jednostavnih ili kompliciranih materijala/spojeva, a u današnje vrijeme često je povezana i s primijenjenim istraživanjima u elektroničkoj industriji.

Cilj ovog rada je ustanovljavanje protokola za dobivanje tankih filmova jednostavnih (npr. bakar) ili kompliciranijih spojeva/materijala pomoću laserske pulsne depozicije, tj. proučavanje utjecaja duljine depozicije, temperature podloge, parametara lasera, i atmosfere u kojoj se depozicija vrši, na kvalitetu tankog filma. Dobiveni tanki filmovi će dodatno biti karakterizirani strukturalnim metodama (npr. difrakcija X-zraka) te će na njima biti mjerena magnetotransportna svojstva.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike i kemije

<b>Mentor:</b>	dr. sc. Sanjin Benić	<b>Institucija:</b>	PMF
<b>Naslov teme:</b>	Foton-mlaz angularne korelacije u proton-proton i proton-jezgra sudarima na visokim energijama		
<b>Sadržaj teme:</b>	<p>Nagomilavanje partona unutar nukleona, a i unutar jezgre, na visokim energijama ima za posljedicu razne kolektivne efekte (tzv. efekti hladne nuklearne materije) u pripadnom faznom prostoru. U ovom radu predlaze se izučavanje dvočestičnih angularnih korelacija kao jedne direktne manifestacije udruženosti odnosno "kolektivnosti" u visoko-energetskim proton-proton te u proton-jezgra sudarima. U tu svrhu predlaže se konkretan izračun angularnih korelacija između fotona i mlaza unutar formalizma staklastog kondenzata boje (eng. Color Glass Condensate, CGC) što je efektivna teorija kvantne kromodinamike na visokim energijama. Unutar CGC-a kolektivnost je posljedica nastanka hipotetskog klasičnog polja gluona s nasumičnim korelacijama na skali od par GeV-a. Specijalna bi se pažnja posvetila dekoherenciji pri sudaru u kojem bi foton i mlaz izlazili iz sudara u suprotnim smjerovima. U radu student se upoznaje s CGC formalizmom, unutar kojeg radi vrlo kvantitativni račun za udarni presjek za produkciju fotona i mlaza te pokazuje da je dekoherencija foton-mlaz para izravna posljedica, te ujedno i jedan potencijalni potpis, CGC formalizma. Dokaz postojanja CGC-a naveden je kao jedan od primarnih ciljeva novog (odobrenog) elektron-ion sudarivača u Americi.</p>		
<b>Smjerovi:</b>	fizika (istraživački)		

<b>Mentor:</b>	dr. sc. Goranka Bilalbegović	<b>Institucija:</b>	PMF
<b>Naslov teme:</b>	Potraga za egzoplanetima primjenom algoritama u programskom jeziku Python		
<b>Sadržaj teme:</b>	<p>Python je u posljednje vrijeme postao standardni programski jezik u školskoj nastavi informatike. Njegove brojne biblioteke i moduli se jednostavno koriste u programima i omogućavaju povezivanje nastave informatike i fizike te njihove popularizacije. U diplomskom radu student će klasificirati već pripremljeni skup kandidata za egzoplanete.</p>		
<b>Smjerovi:</b>	prof. fizike i informatike		

<b>Mentor:</b>	dr. sc. Goranka Bilalbegović	<b>Institucija:</b>	PMF
<b>Naslov teme:</b>	Klasifikacija oblika galaksija primjenom algoritama u programskom jeziku Python		
<b>Sadržaj teme:</b>	<p>Python je u posljednje vrijeme postao standardni programski jezik u školskoj nastavi informatike. Njegove brojne biblioteke i moduli se jednostavno koriste u programima i omogućavaju povezivanje nastave informatike i fizike te njihove popularizacije. U diplomskom radu student će primjenom neuronskih mreža određivati oblike galaksija iz već pripremljenog skupa.</p>		
<b>Smjerovi:</b>	prof. fizike i informatike		

**Mentor:** dr. sc. Tomislav Bokulić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Određivanje referentne brzine kerme u zraku brahiterapijskog izvora iridija-192 velike brzine doze

**Sadržaj teme:**

Brahiterapija (BT) je oblik radioterapijskog liječenja onkoloških pacijenata u kojem se zatvoreni radioaktivni izvor zračenja uvodi u neposrednu blizinu tumorskog volumena ili direktno u njega s ciljem njegovog uništavanja. Intrakavitarna brahiterapije velike brzine doze (engl. high dose rate BT), metodom daljinski upravljano naknadno uvođenje radioaktivnog izvora (engl. remote afterloading brachytherapy unit), upotrebljava se u liječenju ginekoloških karcinoma. Minijaturni radioaktivni izvor iridija ( $^{192}\text{Ir}$ ) je zbog svojih svojstava, posebice velike specifične aktivnosti i prihvatljivo dugog vremena poluraspada, jedan od najčešćih izvora zračenja u brahiterapiji. Dozimetrijska točnost kliničkog postupka značajno ovisi o odgovarajućim postupcima osiguranja kvalitete među kojima je primarni postupak provjere veličine referentne brzine kerme u zraku (engl. reference air kerma rate, RAKR). Ona je temeljna preporučena veličina u opisu jakosti BT izvora i unosi se u računalni sustav za račun raspodjele i optimizaciju doze (engl. treatment planning system) nakon instaliranja novog izvora u uređaj. Nezavisna provjera RAKR BT izvora se provodi u kliničkim odjelima najčešće kalibriranim ionizacijskim komorama bunarskog tipa velikog volumena. U ovom radu će se retrospektivno analizirati veći skup mjerenja referentne brzine kerme u zraku ionizacijskom komorom bunarskog tipa, prikupljen višegodišnjim redovitim provođenjem mjerenja u Klinici za onkologiju i nuklearnu medicinu, KBC Sestre milosrdnice. Razmotrit će se konzistentnost postupka mjerenja i računa referentne brzine kerme, analizirati razloge odstupanja proizvođačkih vrijednosti kalibracije brahiterapijskih izvora od rezultata mjerenja u klinici i usporediti s rezultatima u literaturi. Istaknut će se prednosti i nedostaci ove metode određivanja jakosti izvora u odnosu na druge metode. Student će u pripremi ove teme ponoviti radioaktivne raspade, međudjelovanja nabijenih i nenabijenih čestica s materijom, i upoznati se s radom detektora ionizirajućeg zračenja, elektrometra, te dozimetrijskim veličinama i jedinicama od značaja u brahiterapiji. Proučit će se optimalni uvjeti mjerenja ionizacijskom koji osiguravaju ponovljivost mjerenja, kratkotrajnu i dugoročnu stabilnost mjernog sustava. Student će analizirati doprinose mjerenja struje/naboja ionizacije i kalibracijskog koeficijenta nepouzdanosti određivane referentne brzine kerme u zraku.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike

**Mentor:** dr. sc. Tomislav Bokulić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Monte Carlo simulacije scintilacijskih detektora gama kamere u određivanju energijskih spektara fotona nuklearno medicinskih radionuklida

**Sadržaj teme:**

Poznavanje svojstava energijskih spektara radionuklida koji se rabe u nuklearnoj medicini (NM), zabilježenih uređajima poput gama kamere i scintilacijskih detektora za in-vitro studije, važno je u optimizaciji slikovnih postupaka poput istovremenog oslikavanju pomoću dva radionuklida u jednofotonskoj emisijskoj računalnoj tomografiji (engl. single photon emission computed tomography, SPECT) ili tehnikama korekcije raspršenih fotona koje popravljaju kvalitetu SPECT slika i njihovu kvantitativnu točnost. Dostupni MC simulacijski kodovi opće namjene su veoma popularni i često prihvatljiv izbor za korisnike u simuliranju različitih razmještaja izvora zračenja i scintilacijskih detektora. Važne su im značajke razvijenog korisničkog sučelja, lakog oblikovanja razmještaja detektora, izvora i drugih elemenata, provjerenih i točnih fizikalnih podataka poput udarnih presjeka međudjelovanja, mogućnosti uključivanja različitih aproksimacija i slično. Za neke primjene, ovi simulacijski kodovi su preopćeniti. Zbog toga su razvijani i MC kodovi za simulacije specifičnih slikovnih tehnika ili radioterapijskih problema. Upotrijebit će se javno dostupni MC kod SIMIND (verzija 6.2, 2020, Medical Radiation Physics, Department of Clinical Sciences, Lund, Lund University, Sweden) kojim je moguće simulirati bilježenje energijskog spektra fotona, željene raspodjele nuklearno medicinskih radionuklida (npr. Tc-99m, I-131, Tl-201 ili Lu-177), u detektoru gama kamere bez instaliranog kolimatora i s kolimatorom (intrinzično i ekstrinzično). Razmještaj izvora i detektora će u radu uključivati simulacije: a) točkastog izvora u zraku, b) točkastog i sfernog izvora u cilindričnom vodenom fantomu bez aktivnosti dodane u vodeni fantom (pozadinu) ili c) isto kao i pod b) uz različite koncentracije radionuklida dodane u vodeni fantom. Simulacije će omogućiti bilježenje i analizu cjelokupnih energijskih spektara, redova komptoni raspršenih fotona i njihovog doprinosa pojedinim energijskim prozorima, „razgovora“ energijskih prozora i sadržaja postraničnih energijskih prozora glavnomu, što je važno za oblikovanje korekcije raspršenog zračenja u planarnim i SPECT slikovnim nuklearno medicinskim tehnikama. Tema obrađuje niz fizikalno zanimljivih područja poput međudjelovanja fotona s materijom, rad scintilacijskih detektora, uporabu te analizu prednosti i ograničenja MC simulacija, i načela slikovnih tehnika i njihove uporabe za dobivanje kvantitativne informacije o apsolutnim aktivnostima prisutnim u oslikavanim volumenima. Opseg rada uključujući broj radionuklida i simulacijskih konfiguracija, te eventualna uporaba nekog drugog MC koda (npr. Electron Gamma Shower code, EGSnrc) ovisit će o brzini napredovanja u izradi rada.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Damir Bosnar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Analiza podataka iz mjerenja narušenja Paulijeva principa HPGe detektorima

**Sadržaj teme:**

Paulijev princip zabranjuje postojanje dva fermiona u istom stanju. Iako Paulijev princip ima dalekosežne posljedice, njegov uzrok još uvijek nije objašnjen. Što isto tako znači da taj princip može biti u određenoj, vrlo maloj mjeri i narušen u nekim reakcijama. Narušenja Paulijevog principa eksperimentalno su istraživana u traženju x-zraka emitiranih u prijelazima elektrona u popunjene ljuske određenih atoma, kao i traženjima gama zraka emitiranih u prijelazima u jezgrama, a koji su inače zabranjeni Paulijevim principom. Na Fizičkom odsjeku PMF-a s dva HPGe detektora napravljena su mjerenja spektara x-zračenja iz olova kroz koji prolazi određena struja, odnosno postoje dodatni slobodni elektroni koji mogu, u slučaju narušenja Paulijevog principa, emitirati x-zrake određenih energija u slučaju elektronskih prijelaza u popunjeno osnovno stanje olova. U diplomskom će se analizirati podaci iz mjerenja. Potrebno (osnovno) znanje C/C++.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Damir Bosnar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Priprema i mjerenja s edukacijskim ToF PET sustavom i brzim digitalizatorima pulsa

**Sadržaj teme:**

Nuklearne metode imaju primjene i u drugim granama, a jedan od istaknutih primjera je pozitronska emisijska tomografija (PET) u medicini. PET je neinvazivna metoda medicinskog funkcionalnog oslikavanja sa širokim kliničkim primjenama. Na Fizičkom odsjeku izgrađen je edukacijski PET sustav od 48 BaF2 detektora (<http://www.phy.pmf.unizg.hr/~bosnar/lab/pet.html>) za edukaciju i istraživanje novih mogućnosti kod PET-a. Jedna od karakteristika sustava je mogućnost određivanja razlike vremena proleta (time-of-flight ToF) emitiranih gama zraka kod pozitronske anihilacije, što se koristi kod najnovijih kliničkih PET sustava za smanjivanje šuma i poboljšanja kvalitete slike. Za sakupljanje podataka umjesto klasične elektronike (diskriminatori, ADC i TDC) koristit će se novo razvijeni više kanalni brzi digitalizatori pulsa koji spremaju kompletne signale iz detektora i iz kojih se naknadnom analizom određuju potrebne fizikalne veličine, kao što su napr. energija detektirane čestice i vrijeme pojave signala. Moguća je izrada više diplomskih radova različite složenosti. Napraviti će se energijska kalibracija BaF2 detektora, odrediti vremenska rezolucija detektorskih parova, testna mjerenja različitih konfiguracija radioaktivnih izvora. U tu svrhu trebat će pripremiti dio detektorskog sustava, napraviti kalibracijska mjerenja i razviti ili modificirati postojeće algoritme za određivanje energije i određivanja vremena pojave signala uporabom Root programskog paketa ([root.cern.ch](http://root.cern.ch)). Diplomski rad je eksperimentalne prirode i uključuje rad u laboratoriju na konstrukciji i ispitivanju detektora te analizu podataka, a radom na onom diplomskom može se steći uvid u primjene metoda subatomske fizike u medicini i funkcionalnom oslikavanju, kao i upoznati napredne detektore, elektroniku i načine procesiranja i obrade signala u subatomskoj fizici.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike



**Mentor:** dr. sc. Željka Bošnjak

**Institucija:** FER

**Naslov teme:** Istraživanje međuzvezdane tvari pomoću bljeskova gama-zraka

**Sadržaj teme:**

Ekstragalaktički bljeskovi gama-zraka (engl. gamma-ray burst, GRB) povezuju se s kratkotrajnim i izuzetno snažnim eksplozijama u svemiru. Emitirano zračenje raspršuje se na međuzvezdanim zrnima prašine, koje onda opažamo kao vremenski promijenjivi halo u području X-zraka. Istraživanje energetske i vremenske ovisnosti haloa pruža informacije o kemijskom sastavu i veličini zrnaca prašine te raspodjeli prašine u međuzvezdanom prostoru. Cilj ovog rada je istražiti haloe bljeskova gama-zraka u bazi podataka Swift satelita te odrediti raspodjelu prašine duž doglednice. Dobiveni rezultati će se usporediti s opažanjima polariziranog zračenja zrnaca prašine pomoću satelita Planck, s opažanjima polariziranog sinkrotronskog zračenja pomoću radioteleskop LOFAR te s modelom lokalne trodimenzionalne raspodjele prašine (model STILISM) baziranim na ekstinkciji zračenja zvijezda i njihove udaljenosti određene pomoću stelita GAIA.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ivana Capan

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Istraživanje transportnih svojstava širokopojsnih poluvodiča

**Sadržaj teme:**

Cilj ovog diplomskog rada je proučavanje transportnih svojstava širokopojsnih poluvodiča. Osnovne metode koje će se koristiti su temperaturno ovisne strujno-naponska (I-V-T) i kapacitivno-naponska (C-V-T) karakterizacija. Za proučavanje električki aktivnih defekata u poluvodičkom materijalu koristit će se metoda tranzijentne spektroskopija dubokih nivoa(DLTS), pri čemu se mjeri kapacitivni odziv na naponske pulseve kao funkcija temperature. U radu će se koristiti širokopojsni poluvodički materijali kao što su n-tip SiC i n-tip Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Athanasios Chatzistavrakidis

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Generalised Global Symmetries, 't Hooft Anomalies and Fractons

**Sadržaj teme:**

Conserved charges and currents in both particle physics and condensed matter systems are associated to global symmetries of the underlying theory. Motivated by recent developments in higher gauge theory and symmetry protected topological phases of matter, a new class of generalised global symmetries has been described. These often come along with 't Hooft anomalies, which are operator shifts in the effective action that obstruct the gauging of the full global symmetry and they are a standard tool to study non-perturbative features of quantum field theory. Moreover, certain generalised global symmetries appear in the physics of fractons, which are quasiparticle excitations in condensed matter systems where dipole moment is conserved. Describing fractons as nonrelativistic gauge theories is currently a very active and cutting-edge field of study.

In this master thesis, the student will get familiar with important and multidisciplinary new developments in theoretical physics. Specifically, they will learn how to identify generalised global symmetries in quantum field theories and study their relation to 't Hooft anomalies by examining anomaly polynomials, using the technique of anomaly inflow and determining the behaviour of effective actions. Furthermore, they will learn about the exciting new developments in the physics of subdimensional particles such as fractons and their descriptions as gauge theories. An advanced student could potentially address currently unsolved problems in the field and conduct original research.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Athanasios Chatzistavrakidis

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Poisson-Lie Dualities and Graded Generalised Geometry

**Sadržaj teme:**

Duality is a fascinating property of a large variety of physical systems in both high-energy and condensed matter physics. Dualities have played a pivotal role in deepening our understanding of quantum field theory, string theory and quantum gravity. A surge of activity in recent years has also highlighted the interplay between dualities and geometry. New geometric structures have thus emerged in physical settings, such as generalized geometry, graded geometry, Courant algebroids, L-infinity algebras, and non-commutative and non-associative geometry. A prominent example is T-duality in string theory, which relates strings propagating in a circle of radius  $R$  to strings propagating in a dual circle of inverse radius  $1/R$ , a feature that characterises a minimal length scale in the theory and has played a fundamental role in understanding the geometry of spacetime for extended degrees of freedom. Ordinary T-duality admits a fascinating generalisation called Poisson-Lie duality, which is based on the concept of Drinfel'd doubles for Lie bialgebras and its physical consequences are currently under investigation. In the general case, the underlying geometry of this duality is naturally described using modern techniques of graded generalised geometry.

In this master thesis, the student will get familiar with a diverse set of dualities both in field theory and strings and understand their interplay with modern differential geometry. Focusing on Poisson-Lie T-duality, they will learn how to construct doubles of Lie bialgebroids in three different ways with emphasis on the natural role of graded geometry and apply the techniques to specific examples related to 2D and 3D topological quantum field theories. An advanced student would also study the very recent proposal of Poisson-Lie U-duality for strongly coupled strings and potentially address open problems in this currently very active topic.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Maro Cvitan

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Geometrijska optika u zakrivljenom prostoru u nelinearnoj elektrodinamici

**Sadržaj teme:**

Proučiti aproksimaciju geometrijske optike u slučaju zakrivljenog prostora i nelinearne elektrodinamike (npr. Euler-Heisenberg lagranžijana) te opisati dvolom i dvometričnost koji se u tom slučaju javljaju. Literatura: Misner Thorne Wheeler, Gravitation, San Francisco: W. H. Freeman, (1973), poglavlje 22.5 Visser, Barcelo, Liberati, Inquiring the Universe. Frontier Group, Santa Barbara, 2003, pp. 397-429. [gr-qc/0204017] Fan et al., Eur. Phys. J. D 71 (2017) no.11, 308 [arXiv:1705.00495 [physics.ins-det]].

**Smjerovi:** prof. fizike

**Mentor:** dr. sc. Marko-Tomislav Cvitaš

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Putovi tuneliranja u grozdovima vode

**Sadržaj teme:**

Potruga za adekvatnom karakterizacijom i razumijevanjem kooperativne dinamike vodikovih veza u vodi motivirala je brojne eksperimente na malim grozdovima vode uporabom vibracijsko-rotacijske spektroskopije. Kako su za sustave od više od 6 atoma egzaktni kvantno-mehanički računi prezahtjevni, koristimo metodu instantona kako bismo odredili koji su dominantni putevi preslagivanja u grozdu vode, te njima interpretirali izgled spektra. Cilj diplomskog rada je karakterizacija spektra odabranog grozda vode (npr. tetramer ili heksamer vode), te izračun dinamike preslagivanja vodikovih veza u ovisnosti o temperaturi. Metoda instantona prošla je kroz razdoblje intenzivnog razvoja u zadnjem desetljeću, te je njena primjena u mnogim domenama još neistražena (npr. spektar tuneliranja u vibracijski i rotacijski pobuđenim stanjima, brzine procesa u mikrokanonskom ansamblu, te brzine tuneliranja kroz neadijabatske barijere). Primjena metode instantona u novim domenama, što uključuje temu ovog diplomskog rada, dio je upravo započetog HrZZ projekta.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Marko-Tomislav Cvitaš

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Neadijabatsko tuneliranje u molekulskim sustavima metodom instantona

**Sadržaj teme:**

Fotoinducirani procesi u molekulama često uključuju dinamiku u pobuđenim elektronskim stanjima. Kad se takav sustav nađe u blizini koničnog presjecišta, gdje dva elektronska stanja postanu degenerirana, može doći do efikasnog transfera populacije među stanjima. Te su populacije observable koje se mogu eksperimentalno mjeriti. Kada je energija sustava ispod koničnog presjecišta, prijelaz među stanjima moguć je tuneliranjem, što se eksperimentalno očituje u jakoj ovisnosti brzine procesa o valnoj duljini pobuđenja i masi (izotopnim supstitucijom). Cilj diplomskog rada je proučiti na modelu koliko se precizno može računati koeficijent brzine tuneliranja između dva elektronska stanja metodom instantona kroz različite režime vezanja dva elektronska stanja, te za mikrokanonski i kanonski ansambl. Očekivana primjena je na fotodisocijaciji molekule pirola. Tijekom diplomskog rada, očekuje se izrada vlastitog računalnog programa za izračun koeficijenta brzine reakcije za kanonski i mikrokanonski ansambl, te metode za optimizaciju puta minimalne akcije, koji povezuje dva elektronska stanja kroz konično presjecište. Primjena metode instantona u novim domenama, što uključuje temu ovog diplomskog rada, dio je upravo započetog HrZZ projekta.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Ida Delač

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Defekti u 2D materijalima

**Sadržaj teme:**

Dvodimenzionalni (2D) materijali potekli su iz porodice slojevitih materijala izdvajanjem jedne atomske ravnine iz trodimenzionalnog kristala. U slojevitim materijalima veze između pojedinih slojeva su relativno slabe (van der Waalsove), dok su atomi unutar slojeva čvrsto vezani (tipično kovalentnim vezama). Iako postoji mnogo stabilnih slojevitih materijala, samo malobrojni ostaju stabilni kada ih se svede na jednu ravninu. Prvi uspješno izoliran takav materijal bio je grafen, dobiven izdvajanjem jedne atomske ravnine iz grafita, a danas ih je poznata nekolicina. 2D materijali smatraju se dobrom potencijalnom građom za buduće elektroničke uređaje zbog svojih iznimnih mehaničkih, električnih i optičkih svojstava. Međutim, 2D kristali su izuzetno osjetljivi na defekte pa tako koncentracija defekata u materijalu kao i njihova vrsta može značajno utjecati na njegova svojstva. Zbog toga je za buduće potencijalne primjene nužno poznavati utjecaj defekata koji nastaju prilikom sinteze i manipulacije 2D materijala, kao i dugotrajnih izlaganja ambijentalnim uvjetima. U sklopu izrade diplomskog rada provest će se karakterizacija 2D materijala sintetiziranih kemijskom depozicijom para (eng. chemical vapour deposition - CVD). Proučit će se nastajanje novih defekata u materijalu prilikom transfera s podloge na kojoj je materijal sintetiziran na druge ravne metalne ili poluvodičke podloge kao i utjecaj izlaganja ambijentalnim uvjetima. Student/ica će provesti karakterizaciju koristeći prvenstveno tehnike skenirajuće probne mikroskopije: mikroskop atomskih sila (eng. atomic force microscope - AFM) i pretražni tunelirajući mikroskop (eng. scanning tunneling microscope - STM) a po mogućnosti ta će se mjerenja nadopuniti s komplementarnim tehnikama karakterizacije 2D materijala.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Vito Despoja

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** G<sub>0</sub>W<sub>0</sub> elektronske vrpce u kompozitu hBN/grafen

**Sadržaj teme:**

Ovaj diplomski rad namjenjen je prvenstveno studentima na istraživačkom smjeru fizike. Student prvo mora naučiti neki od DFT paketa za izračun elektronske i kristalne strukture u osnovnom stanju. Poželjno je da student već razumije metodologiju u okviru Kvantne fizike mnoštva tijela, poput dijagramatskog perturbativnog računa, RPA i sl. Prvi zadatak diplomskog rada je istražiti DFT elektronsku vrpčastu strukturu u hBN/graphen kompozitu. Drugi zadatak je istražiti kako blizina dopiranog grafena utječe na energijski procijep u poluvodljivom hBN-u. Drugim riječima, student mora istražiti kako dugodosežno kulonsko zasjenjenje koje potječe od dopiranog grafena utječe na renormalizaciju energijskog procijepa  $E_g$  u hBN-u, u ovisnosti o njihovoj međusobnoj udaljenosti  $d$  i o grafenskom dopingu.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Vedran Đerek

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Geometrijska optimizacija elektroda za kapacitivnu neurostimulaciju

**Sadržaj teme:**

Električna neurostimulacija ciljano je pobuđivanje neurona ili dijelova središnjeg živčanog sustava električnom strujom, sa točno određenim terapijskih ciljem. Učinkovita i sigurna električna neurostimulacija ključna je za razvoj bioelektroničkih medicinskih terapijskih postupaka. Kapacitivnom stimulacijom osigurava se izostanak elektrokemijskih Faradajskih reakcija na elektrodama, te se izbjegava generiranje slobodnih radikala i metalnih iona u blizini bioelektroničkog implantata. Tijekom električne neurostimulacije poželjno je neuromodulacijski učinak ograničiti prostorno na ciljano područje, te ograničiti neželjeni tok struje kroz osjetljiva područja. U okviru teme ovoga diplomskog rada izraditi će se numerički model elektroda za kapacitivnu neurostimulaciju softverskim paketom COMSOL Multiphysics. Dobiveni model koristit će se za optimizaciju geometrije pobudne i povratne elektrode za nekoliko scenarija primjena u implantatima. Odabrane optimizirane geometrije biti će realizirane eksperimentalno u obliku geometrijski strukturiranih organskih elektrolitskih foto-kondenzatora, te će biti izmjereno prostiranje struja i polja električnog potencijala u elektrolitu i modelu tkiva sa svrhom potvrde numeričkog modela. Optimizirane i eksperimentalno verificirane geometrije biti će korištene na elektrofiziološkom modelu staničnih kultura primarnih neurona, u suradnji sa Hrvatskim institutom za istraživanje mozga.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Vedran Đerek

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Oblikovanje neuromodulacijskog pulsa optičkom pobudom organskih elektrolitskih foto-kondenzatora

**Sadržaj teme:**

Oblik i polaritet neuromodulacijskog strujnog pulsa određuje stimulacijski ili inhibicijski karakter električne neuromodulacije, pa je primjerice depolarizacijom motoričkog neurona moguće postići kontroliranu kontrakciju mišića, dok hiperpolarizacija dovodi do inhibicije širenja akcijskog potencijala, pa je tako moguće primjerice blokirati signal boli u osjetilnom neuronu. U ovome radu kao neuromodulatori koristiti će se organski elektrolitski foto-kondenzatori, koji na pobudu svjetlosnim pulsom isporučuju neuromodulacijski strujni puls. Za učinkovitu neuromodulaciju ključno je precizno oblikovanje strujnoga neuromodulacijskog pulsa, što je moguće postići vremenskim oblikovanjem svjetlosnog pulsa. U okviru ovoga rada biti će izrađen i eksperimentalno verificiran analitički model slobodno plutajućeg foto-kondenzatora u elektrolitu, te će pomoću njega biti riješen inverzni problem oblikovanja svjetlosnog pulsa uz zadani oblik strujnoga pulsa. Realni eksperimentalno izvedeni organski elektrolitski foto-kondenzator biti će modeliran metodama potpomognutog strojnoga učenja korištenjem neuronskih mreža, te će dobiveni model biti uspoređen sa analitičkim modelom i njegovim inverznim rješenjem. Konačno, strujni pulsevi oblikovani za optimalnu neurostimulaciju i neuroinhibiciju biti će in-vitro provjereni na elektrofiziološkim modelima staničnih modela, u suradnji sa Hrvatskim institutom za istraživanje mozga.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Fabio Franchini

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Confinement without potential

**Sadržaj teme:**

An electron circling a magnetic flux acquires a phase, which is topological in nature and has no classical counterpart. If several magnetic fluxes surround a certain region of space containing one electron, the phase requirement for the electron to travel across the fluxes will increase its energy, effectively trapping a low energy electron in a region of space, even in absence of a classical potential, giving thus rise to a pure quantum, topological trapping, which can be simulated with a mixture of analytical and numerical work. Alternatively, the student can study a different type of confinement, due to a spontaneous breaking of rotational symmetry in a random matrix system. In this case, the student will study the metropolis evolution of a large matrix under a statistical weight that tends to concentrate the matrix eigenvalues around two different given values, to show that the eigenvectors of the matrix span two spaces that do not mix under the evolution.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Fabio Franchini

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Frustrating dynamics

**Sadržaj teme:**

The past century has taught us a great deal on the equilibrium of strongly correlated systems, that is, systems whose properties differ significantly from those of their elementary constituents, due to interactions. In the new century, guided by experimental breakthroughs, the community has moved toward understanding different types of non-equilibrium behaviors. In this work, the student will solve and study the dynamics of frustrated quantum spin chains, that is, one-dimensional systems which, already at equilibrium, show different properties due to a global constraint which is not present without frustration. The student will learn how these systems are solved through analytical techniques and use these solutions to follow their evolution numerically.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Salvatore Marco Giampaolo

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Ground-state Fidelity in frustrated and unfrustrated models

**Sadržaj teme:**

Novi sadržaj. The Ginzburg-Landau theory provides a unified tool that allows interpreting the different macroscopic phases in terms of symmetry violations and local order parameters and predicts the invariance of them from several aspects as the boundary conditions. However, in the last years, it was observed that when the topological frustration, i.e. a particular kind of frustration induced by a precise choice of boundary condition, is realized, it is possible to observe several new macroscopic phases that have no counterpart in the unfrustrated models hence directly contradicting the prescriptions of the Ginzburg-Landau theory. These results are of enormous relevance since they disclose the possibility of the existence of several still unknown new phases. In this work, the student will try to highlight the main difference between the frustrated and the unfrustrated models both in static and dynamic conditions. To those goals, she/he will use a modern approach directly derived by the quantum information theory, i.e. the analysis of the fidelity of the ground-state and the related susceptibility will compare frustrated and unfrustrated models as well as the study of other entanglement related quantities.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Salvatore Marco Giampaolo

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Statistical behavior of concurrence in the dynamics of systems of interacting particles

**Sadržaj teme:**

Entanglement is usually quantified by entropic measurements, but its properties are much more complex than what can be expressed with a single number. This fact plays a key role in the dynamics of complex systems that may present three distinct dynamical phases, known as thermalization, Anderson localization, and many-body localization. It was shown that such phases, even when they show close values of von Neumann entropy, are marked by different patterns of the spectrum of the time-dependent reduced density matrix. While the entanglement spectrum displays Poisson statistics for the case of Anderson localization, it displays universal Wigner-Dyson statistics for both the cases of many-body localization and thermalization, albeit the universal distribution is asymptotically reached within very different time scales in the two cases. In this work the student will analyze the hypothesis that this type of trend has a correspondence also for the concurrence that quantifies the entanglement between two single elements of the system using a setup inspired either by condensed matter physics, such as a spin chain, or by high energy physics, focusing on interacting particles.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)



**Mentor:** dr. sc. Vjeran Gomzi

**Institucija:** FER

**Naslov teme:** Hidridi prijelaznih metala u vodikovoj ekonomiji i katalizi

**Sadržaj teme:**

Ideja: Hidridi prijelaznih metala jedna su od klasa spojeva koji su kandidati za pohranu vodika. Takvi materijali su interesantni pri procjeni mogućnosti prelaska na vodikovu ekonomiju zbog sigurnosti pohrane i transporta vodika kao energijskog materijala. Pri tome su ključna svojstva potencijalnih materijala povezana s načinom i energijskom ravnotežom vezanja i otpuštanja vodika. To je sve pak povezano s detaljima nastanka i pucanja veze kompleks-hidrid. Posebna su klasa spojeva prijelaznih metala oni spojevi koji istovremeno imaju mogućnost stvaranja i hidrida i vezanja molekule vodika (H<sub>2</sub>) [1,2]. Jedan od takvih spojeva, njegova posebna svojstva i detalji vezanja bili bi predmet teorijskog istraživanja upotrebom računa funkcionala gustoće (DFT). Takvim bi se računima, na predmetnoj strukturi, proučila orbitalna slika veze i objasnile energijskostrukturne posljedice.

Diplomski rad bi se sastojao od: 1) Općenitijeg pregleda potencijalno interesantnih materijala za primjenu u vodikovoj ekonomiji, s posebnim naglaskom na prijelazne metale sa sposobnošću tvorbe hidrida. 2) Provođenja više ab-initio i DFT računa za odabrani sustav. 3) Analize računa u okviru molekularno-atomske teorije vezanja. 4) Izvođenja zaključaka i usporedbe s poznatim (literatura) i/li očekivanim svojstvima.

Mane: Relativno puno teorijskog (knjiškog) posla. Prednosti: Relativno sigurno ostvarivanje rezultata, bez prevelike mogućnosti da se nešto zakomplicira. Ovisno o dobivenim rezultatima, možda je moguć neki jednostavniji rad.

[1] Kubas, Gregory J. (2001-08-31). Metal Dihydrogen and  $\sigma$ -Bond Complexes: Structure, Theory, and Reactivity (1 ed.). Springer. ISBN 0-306-46465-9. [2]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Dihydrogen\\_complex](https://en.wikipedia.org/wiki/Dihydrogen_complex)

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Vjeran Gomzi

**Institucija:** FER

**Naslov teme:** Proučavanje razgradnje organskih molekula na površini modificiranih katalizatora

**Sadržaj teme:**

Ideja: Katalizatori se koriste kako bi ubrzali i olakšali reakcije. U suvremenoj poljoprivredi i industriji mnogo je proizvoda i nusprodukata koji imaju zdravstveno i ekološki nepovoljna svojstva. Uspješna razgradnja takvih spojeva važan je element u planiranju industrijskih procesa, odnosno primjene kemijskih spojeva u poljoprivredi. Više je elemenata važno uzeti u obzir pri izboru katalizatora: osim učinkovitosti, važne su i cijena, dostupnost te stabilnost katalizatora tijekom reakcije. Optimizacija katalizatora često se provodi iskušavanjem malih modifikacija u postojećoj strukturi koja ima poznata, povoljna katalitička svojstva za reakciju koju se promatra. Te male modifikacije moguće je istraživati kako eksperimentalnim tako i teorijskim metodama. Tijekom rada, teorijski bi istražili neke od poznatih katalitičkih struktura (poput gC<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, grafitnog ugljik-nitrida, TiO<sub>2</sub>, titan-dioksida ili drugih) s primjesama koje utječu na katalitička svojstva oksidativne i fotorazgradnje modelnih spojeva onečišćivača. [1]

Diplomski rad bi se sastojao od: 1) Općeg pregleda spojeva koji su zbog svojih svojstava kandidati za istraživanje unutar navedene teme rada, 2) pregleda i obrazloženja izbora modela za teorijsku procjenu katalitičkih svojstava, 3) primjene modela (teorijskih računa) i njihove usporedbe s dostupnim eksperimentalnim podacima, te 4) zaključka o teorijskom modelu i/ili o specifičnim svojstvima modificiranog katalizatora

Mane: Tema je blizu područja primijenjene fizike, a teorijska istraživanja su brza i jeftina, pa je puno mogućih spojeva već obrađeno na taj način. Prednosti: Osobna satisfakcija radom u području u kojem su mogući stvarni učinci na ekološki otisak modernih industrija.

[1] M. Duplančić V. Gomzi, A. Pintar, S. Kurajica, V. Tomašić (2021) *Ceramics International*, 47(3):3108-3121.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Luca Grisanti

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Computational studies on the aggregation of molecules in solutions

**Sadržaj teme:**

The possibility to assemble and characterize molecular structures in order to obtain particular optical or electronic properties is an ambitious goal in material science. In any case, the structural prediction and characterization is a fundamental pre-required step. In this project we aim therefore to conduct a computational investigation on the structures resulting from the aggregation of one specific classes of organic molecules in condensed phase (liquid solution), such as for instance pi-conjugated organic dyes or biologically relevant building blocks. The computational investigation of processes where functional or bio-organic molecules assembly into structures with higher hierarchy is at the same time interesting and challenging. First, it depends on a balance of several competing physical-chemical interactions - which geometry is determined by the molecular structures. Secondly, it is a problem of statistical relevance as it involves many degrees of freedom with different characteristic times, which adequate sampling is a critical and a recurring issue in all application of computational biophysics. Such type of complex problem can be approached in the frame of atomistic simulations. For this project, the main computational technique that the student will use and possibly master is classical molecular dynamics and some of their more advanced applications, such as enhanced sampling techniques. This will be realized by using existing code packages (e.g. Gromacs, Plumed), which usage will be learnt in the process. Reference environment is Unix/Linux. The project will be developed within the group of Condensed Matter and Statistical Physics of the Theoretical Physics Division at IRB. Calculations will be run on available computer stations and/or HPC cluster, owned by the Division.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Luca Grisanti

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Excited states in molecular crystals

**Sadržaj teme:**

Electronic and optical properties of molecular crystal has been investigated since several decades, in view of its fundamental understanding and because the potential applications in material science, such as the design of material with given desired optical properties or in the field of organic electronics for optoelectronic devices (organic LED, organic solar cells, etc). Typical examples of investigated materials with several experimental and theoretical available are i) the family of oligoacenes molecular crystal (fused-ring aromatic systems from benzene to pentacene) and ii) functional molecular materials or molecular crystal of organic pi-conjugated molecules, that posses more complex chemistry including polar groups.

The aim of this project is primarily to acquire confidence in electronic structure theory for materials and some of its extension, such as time-dependent version (for excited states). Crystal structure of selected molecules of the above types will be used as a model system. The typical calculation will be based on (time-dependent) DFT, as implemented in some computational package (i.e. Quantum Espresso, cp2k). Reference environment is Unix/Linux. The project will be developed within the group of Condensed Matter and Statistical Physics of the Theoretical Physics Division at IRB, where calculations could be run on an available HPC cluster.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Davor Horvatić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Koncept mase u specijalnoj teoriji relativnosti

**Sadržaj teme:**

Kako masa ima dva značenja u specijalnoj relativnosti često dolazi do krivih koncepcija u predavanju tog zahtjevnog gradiva. Masa mirovanja je nepromjenjiva veličina koja je ista za sve promatrače u svim referentnim sustavima, a relativistička masa ovisi o brzini promatrača. Diplomski rad trebao bi dati pregled koncepta mase u specijalnoj relativnosti s naglaskom na to da je najbolje uvesti samo koncept mase mirovanja i niti jedan drugi.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Davor Horvatić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Temperaturna ovisnost mase pseudoskalarnih mezona

**Sadržaj teme:**

Dyson-Schwingerov i Bethe-Salpeterov pristup omogućuje nam izgradnju efektivnih modela u neperturbativnom režimu kvantne kromodinamike te time i istraživanje fenomenologije hadrona. U diplomskog radu istraživao bi se utjecaj tzv. Polyakovljeve petlje na dinamiku kvarkovskih i mezonskih masa na končanim temperaturama, te utjecaj parametrizacije potencijala Polyakovljeve petlje na prirodu faznog prijelaza.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Saša Ilijić

**Institucija:** FER

**Naslov teme:** Izvođenje Shorovog algoritma za faktorizaciju cijelih brojeva na kvantnim računalima iz porodice IBM Q Experience

**Sadržaj teme:**

Shorov algoritam za faktorizaciju cijelih brojeva iz 1994. godine oslanja se na kvantnu Fourierovu transformaciju te omogućuje faktorizaciju uz značajno manju računalnu složenost od bilo kojeg poznatog klasičnog algoritma. U diplomskom radu će se opisati mogućnost izvođenja kvantne Fourierove transformacije i Shorovog algoritma na kvantnim procesorima iz porodice IBM Q Experience koji kao kvantne bitove koriste supravodljive Josephsonove spojeve i koji su od 2017. g. dostupni istraživačkoj zajednici. Konkretno, opisat će se faktorizacija brojeva 15, 21 i 35 korištenjem kvantnih procesora s do 7 kvantnih bitova te rezultati dobiveni izvođenjem algoritama na stvarnim procesorima, uz osvrt na učinke dekoherencije u sustavu kvantnih bitova. Također će se razmotriti mogućnost korištenja javno dostupnog grafičkog sučelja kvantnih procesora IBM Q Experience u nastavi moderne fizike u srednjoj školi.

P. W. Shor, "Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring," Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Santa Fe, NM, USA, 1994, pp. 124-134, doi: 10.1109/SFCS.1994.365700.

M. Amico, Z. H. Saleem, and M. Kumph, "Experimental study of Shor's factoring algorithm using the IBM Q Experience," Phys. Rev. A 100, 012305 (2019), doi: 10.1103/PhysRevA.100.012305.

**Smjerovi:** prof. fizike

**Mentor:** dr. sc. Katarina Jeličić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Prilagodba istraživački usmjerene nastave fizike za online okruženje

**Sadržaj teme:**

Zatvaranje mnogih osnovnih i srednjih škola zbog COVID-19 pandemije i prebacivanje nastave u online okruženje, spriječilo je nastavnike u održavanju kontaktne nastave. Istraživački usmjerena nastava fizike postupno izgrađuje razumijevanje fizikalnih sadržaja te razvija učeničke istraživačke vještine, a pritom učenicima pruža uvid u istraživački karakter fizike. Kako bi se sve to postiglo, učenici trebaju biti aktivno uključeni u proces učenja. Praćenje nastave u online okruženju često učenike postavlja u pasivan položaj. U sklopu rada istražiti će se razne metode aktiviranja učenika u online okruženju. Svrha rada je prilagoditi nekoliko postojećih nastavnih jedinica iz fizike za osnovne i/ili srednje škole za rad s učenicima u online okruženju. Naglasak će biti na razvoju učeničkih istraživačkih pokusa koje bi učenici mogli provesti koristeći svakodnevne predmete i lako dostupne materijale uz strukturirano i vođeno online predavanje. Takvi prilagođeni online sadržaji održat će se u sklopu nastave fizike u osnovnoj i/ili srednjoj školi kako bi se testirala njihova provedba te će se dokumentirati eventualne poteškoće (izvedbene, tehničke...) koje pritom nastanu.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Vibor Jelić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Faradayevi momenti južnih galaktičkih širina u pregledu neba LoTSS

**Sadržaj teme:**

Pregled neba LoTSS (eng. The LOFAR Two-meter Sky Survey) ima za cilj napraviti opažanja cijelog sjevernog dijela neba na frekvencijama između 120 MHz i 168 MHz pomoću radioteleskopa LOFAR. Trenutno je dvije trećine opažanja gotovo i spremno za znanstvena istraživanja. Cilj ovog rada je istražiti Faradayeve momente područja neba na južnim galaktičkim širinama, koje obuhvaća oko 1400 kvadratnih stupnjeva neba. U radu će se koristiti Stokes Q i U slike niske rezolucije (4 lučne minute) kako bi u Faradayevoj tomografiji do izražaja došle strukture polariziranog sinkrotronskog zračenja Mliječne staze. Slike će biti potrebno organizirati u mozaik te zatim izračunati Faradayeve momente na temelju kojih će se odrediti raspodjela ionizirane međuzvezdane tvari u promatranom području neba. Dobiveni rezultati istraživanja će biti uspoređeni s promatranjima neutralne komponente međuzvezdane tvari te prašine (podaci EBHIS i satelita Planck).

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Tajron Jurić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Singulariteti, kvantna kompletnost i kvantni prostori

**Sadržaj teme:**

Intuitivno, singularitet prostorvremena jest "mjesto" gdje zakrivljenost "eksplođira" ili nailazimo na druge tipove "patološkog ponašanja" u metrici. Upravo ova nezadovoljavajuća definicija proizlazi iz nemogućnosti da riječi pod znakom navodnika bolje definiramo. Naime, u svim teorijama, osim opće teorije relativnosti, prostor, to jest mnogostrukost je unaprijed zadana, kao pozornica, na kojoj su pojmovi mjesto i vrijeme dobro definirani. Međutim, ako uvedemo gravitaciju u igru, više ne možemo tako lako reći "gdje je" niti što je singularitet. 70-tih godina tom problemu su doskočili Hawking i Penrose kada su formulirali svoje famozne teoreme o singularitetima pomoću tzv. geodetske kompletnosti. Ovi teoremi dobro klasificiraju fizikalne mnogostrukosti, međutim malo govore o samoj prirodi singulariteta i dali su oni uopće dinamički opazivi. Glavni problem se krije u dvostrukoj klasičnosti: opća teorija je klasična i teoremi počivaju na pojmu geodezici koji su vezani za klasičnu točkastu česticu. Korištenjem kvantne probe može se pokazati da mnogi singulariteti u Hawking-Penrose smislu prestaju postojati, tj. da su na neki način "razmazani" i to vodi do definiranja tzv. kvantne kompletnosti. Na posljetku moguće je istraživati i učinke kvantne gravitacije pomoću formalizma nekomutativne geometrije i kvantnih prostora.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike

**Mentor:** dr. sc. Tajron Jurić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Opservable i hermitski operatori u kvantnoj fizici

**Sadržaj teme:**

Kvantizacija fizikalnih sustava zahtjeva matematički ispravnu i rigoroznu definiciju kvantno-mehaničkih opservabli, kao npr. hamiltonijana, kao hermitskih operatora u odgovarajućem Hilbertovom prostoru s odgovarajućom spektralnom analizom. Uobičajeni pristupi kvantizaciji, obično predstavljeni na dodiplomskom studiju, često su vrlo "naivni" i temelje se na rezultatima iz konačno-dimenzionalnih prostora što često može dovesti do određenih neželjenih paradoksa (npr. za operator impulsa na konačnom intervalu) ili do anomalija (kada klasična simetrija je slomljena u procesu kvantizacije). Da bi se izbjegli ili barem suštinski shvatili ovi paradoksi, potrebno je detaljnije analizirati hermitske operatore i njihovu spektralnu dekompoziciju u beskonačno-dimenzionalnom Hilbertovom prostoru. U beskonačno-dimenzionalnom prostoru, hermitičnost postaje kompliciranije svojstvo nego u konačno-dimenzionalnom slučaju. Naime, potrebno je paziti i na domene operatora. Uzevši to u obzir, pokazuje se da hermitičnost operatora i njihova spektralna analiza izrazito ovisi o tome dali je operator ograničen ili neograničen. Može se pokazati da u kvantnoj mehanici uvijek imamo posla s barem jednim neograničenim operatorom (ili položaj ili impuls), tako da je potrebno detaljnije proučiti njihovu hermitičnost, te upoznati se s točnim kriterijima, tzv. von Neumannovim uvjetima, o tome kada je operator hermitski i ima realan spektar, kada nije, a kada možemo "popraviti" situaciju koristeći teoriju o hermitskim proširenjima. Sve ovo moguće je obraditi na dobro poznatim primjerima iz kvantne mehanike dodiplomskog studija.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Tajron Jurić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Hopfove algebre u fizici

**Sadržaj teme:**

Hopfove algebre povezuju razna područja matematike (Lijeve grupe, Lijeve algebre i njihove reprezentacije, specijalne funkcije, teoriju čvorova, niže-dimenzionalnu topologiju, operatorsku algebru, nekomutativnu geometriju i kombinatoriku) i fizike (integrabilni modeli, fizika čestica, teorija polja, fizika na Planckovoj skali). Posebno su nam zanimljive u fizici jer nam one daju poopćeni okvir za proučavanje uloge simetrija u kvantnim teorijama te imaju izrazito važnu ulogu (ali često skrivenu) u:

-razjašnjavanju veze čestične statistike i simetrije -perturbativne renormalizacije (veza BPHZ i Connes-Kremer renormalizacije) -Wickov teorem u teoriji polja -računanje Feynmanovih "loop" integrala -Nekomutativna teorija polja -fizika na Planckovoj skali

Od studenta se očekuje da prvo savlada matematički formalizam Hopfovih algebri te zatim to znanje primjeni na nekim od gore navedenih primjera u fizici.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Dubravko Klabučar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Pojemne teškoće kod učenja kvantne fizike i njihovo prevladavanje u nastavi

**Sadržaj teme:**

Kvantna je fizika protivna intuiciji mnogo češće od klasične fizike. Ujedno je, budući da je mnogo manje zorna od klasične fizike, apstraktnija i mnogo ovisnija o matematičkom formalizmu. Zato nije čudno da s razumijevanjem kvantne fizike, pa čak i kod gradiva blisko povezanog s gradivom koje se predaje u školama, postoje vrlo raširene pojmne teškoće i česta pogrešna shvaćanja ("miskonceptije") [1,2]. To pokazuju ne samo anegdotalna iskustva predavača i ispitivača, nego i sistematska istraživanja (na pr. [3,4]) problema naučavanja, studiranja i učenja kvantne fizike. Diplomski bi se rad bavio nekim od tih problema [1-4] kod studenata - na primjer, teškoćama shvaćanja odnosa klasične i kvantne fizike ili razumijevanja vremenske ovisnosti u kvantnoj mehanici [4]. Diplomski bi rad također trebao obraditi nastavne strategije i pristupe sačinjene da riješe neke od učenih problema [5-8].

Reference:

1. D. F. Styer, Common misconceptions regarding quantum mechanics, Am. J. Phys. 64, 31 (1996).
2. L. C. McDermott and E. F. Redish, Resource Letter: PER-1: Physics education research, Am. J. Phys. 67, 755 (1999).
3. C. Singh, Student understanding of quantum mechanics, Am. J. Phys. 69, 885 (2001).
4. P. J. Emigh, G. Passante, P. S. Shaffer, Student understanding of time dependence in quantum mechanics, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 11, 020112 (2015).
5. D. A. Zollman, N. S. Rebello, and K. Hogg, Quantum mechanics for everyone: Hands-on activities integrated with technology, Am. J. Phys. 70, 252 (2002).
6. C. Singh, Interactive learning tutorials on quantum mechanics, Am. J. Phys. 76, 400 (2008).
7. S. B. McKagan, K. K. Perkins, M. Dubson, C. Malley, S. Reid, R. LeMaster, and C. E. Wieman, Developing and researching PhET simulations for teaching quantum mechanics, Am. J. Phys. 76, 406 (2008).
8. P. J. Emigh, G. Passante, P. S. Shaffer, Developing and assessing tutorials for quantum mechanics: Time dependence and measurements, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 14, 020128 (2018).

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije



**Mentor:** dr. sc. Dubravko Klabučar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** O pojmu mase u teoriji relativnosti

**Sadržaj teme:**

Diplomski bi rad bio posvećen pojmu mase u fizici. Osobito bi se bavio pregledom i preciznim raščišćavanjem konceptualne zbrke koja u vezi s interpretacijom relativističkih formula s masom postoji ne samo u popularnim prikazima, nego i u nekim inače vrhunskim pedagoškim tekstovima u dijelovima posvećenima specijalnoj teoriji relativnosti, a ne bi smio postojati ni kod izlaganja srednjoškolskog gradiva. Glavni primjer je odnos vjerojatno "najpopularnije formule za vezu mase i energije"  $E = m c^2$  (po kojoj bi relativistička masa preko energije ovisila o brzini) sa skalarnom masom  $m^2 = E^2/c^4 - p^2/c^2$ , koja je invarijantna na Lorentzove transformacije jer je skalarni produkt dva četvero-vektora u prostoru Minkowskog. Primjeri nekih relevantnih referenci (uključujući i neke primjere s nešto spomenute pojmovne konfuzije) su:

G. Oas: "On the Abuse and Use of Relativistic Mass", <http://arxiv.org/abs/physics/0504110>

G. Oas: "On the Use of Relativistic Mass in Various Published Work", <http://arxiv.org/abs/physics/0504111>

L. B. Okun: "Energy and Mass in Relativity Theory", World Scientific (2009).

R. P. Feynman, R. B. Leighton and M. Sands: "The Feynman Lectures on Physics", Addison Wesley (1963).

L. D. Landau and Yu. B. Rumer: "What is relativity?", Dover (2003) [ruski original 1959.]

P. Hraskó: "Basic Relativity - An Introductory Essay", Springer (2011).

A. Einstein: "Ist die Tragheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?", Ann. Phys. 18(1905) 639-641.

L. B. Okun: "The concept of mass", Physics Today, June 1989, p. 31-36.

E.F. Taylor and J.A. Wheeler: "Spacetime Physics", New York (1992), pp 246-252, Dialog: Use and Abuse of the concept of mass.

**Smjerovi:** prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike

**Mentor:** dr. sc. Dubravko Klabučar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Slomljene QCD simetrije  $SU_A(3)$  i  $U_A(1)$ , te njihovo obnavljanje na visokim temperaturama i gustoćama

**Sadržaj teme:**

Tema rada bi bilo modeliranje neperturbativne kvantne kromodinamike (QCD) fundamentalnih kvarkova i gluona na način kao u referencama [1-4], i to prvenstveno neperturbativno generiranje "jako obučениh" efektivnih kvarkova, kvark-antikvark vakuumskih kondenzata, topološke susceptibilnosti QCD-a, te mezonskih pseudoskalarnih vezanih stanja kvarkova i antikvarkova, a s glavnim ciljem da se istraživanja [1-4] obnavljanja (na nultoj temperaturi i gustoći slomljenih) simetrija  $SU_A(3)$  i  $U_A(1)$  na visokim temperaturama nastave i na visokim gustoćama, te izvan limesa izospinske simetrije.

Na niskim energijama, dakle u neperturbativnom režimu, QCD dovodi do vrlo složene hadronske fenomenologije. Nobelove su nagrade dodijeljene za QCD u perturbativnom režimu, ali je neriješena ostala neperturbativna kromodinamika. Upravo je ona ključna za razumijevanje kako gluoni vežu kvarkove u kompozitne hadronske čestice - mezone i barione.

Dva najvažnija neperturbativna efekta kromodinamike su: 1.) potpuno zatočenje kvarkova i gluona, fenomen koji još uvijek ne razumijemo u potpunosti, te 2.) spontano, odnosno dinamičko lomljenje okusne SU(3) kiralne simetrije, koje već dobro razumijemo, posebno u okviru Schwinger-Dysonovog pristupa teoriji polja. Dinamičko lomljenje kiralne simetrije pokazuje kako gluoni od fundamentalnih kvarkovskih polja generiraju efektivne, konstituentne kvarkove. Time se ujedno razjašnjavaju mnoge inače misteriozne pojave hadronske fenomenologije, poput hadronskih spektara, gdje kvarkovski model uglavnom veoma dobro funkcionira, ali su - na prvi pogled - misteriozno malene mase pseudoskalarnih mezona u oktetnoj reprezentaciji tri najlakša kvarkovska okusa.

Zanimljivo je i lomljenje druge kiralne simetrije QCD-a, naime  $U_A(1)$ , kojoj njihov deveti partner, pseudoskalarni mezon  $\eta'$ , duguje svoju anomalno veliku masu. Jedna je mađarska grupa međutim prije nekoliko godina eksperimentalne rezultate sa američkog sudarača RHIC protumačila padom mase  $\eta'$ , odnosno obnavljanjem  $U_A(1)$  simetrije u vrućem QCD mediju, što bi mogao biti jedan od najboljih znakova formiranja sasvim novog stanja materije - jako interagirajuće kvarkovsko-gluonske plazme. Tome je jedan od prvih kvantitativnih opisa dala naša grupa, pruživši scenarij gdje je obnavljanje  $U_A(1)$  simetrije povezala s obnavljanjem okusne SU(3) kiralne simetrije, naime  $SU_A(3)$ . Nedavno smo uskladili taj scenarij sa, u zadnjim godinama eksperimentalno potvrđenim, postepenim prijelazom iz hadronske u kvarkovsko-gluonsku fazu [1], te pokazali slaganje našeg pristupa s predikcijama (računa na rešetci) temperaturne ovisnosti mase hipotetske čestice - aksiona [2]. Prošle godine smo pokazali kako (i zašto) proširenje računa van limesa aproksimativne izospinske simetrije ima značajne efekte ako je narušenje i obnavljanje kiralne i  $U_A(1)$  simetrije QCD-a tako povezano [3,4]. (To je zanimljivo i zato što je u hadronskoj fizici rijedak slučaj da je narušenje izospinske simetrije kvantitativno važno.) Zato taj pristup otvara mogućnosti za relativno jednostavna dodatna ispitivanja, koja mogu biti obrađena u diplomskom radu s velikom vjerojatnosti objave rada u časopisu.

[1] D. Horvatić, D. Kekez i D. Klabučar, Phys.Rev. D99 (2019) no.1, 014007.

[2] D. Horvatić, D. Kekez i D. Klabučar, Universe 5 (2019) no.10, 208.

[3] D. Horvatić, D. Kekez i D. Klabučar, Eur.Phys.J.ST 229 (2020) no.22-23, 3363-3370.

[4] D. Horvatić, D. Kekez i D. Klabučar, Eur.Phys.J. A56 (2020) no.10, 257.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Dubravko Klabučar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Sistematska kvantizacija harmoničkog oscilatora

**Sadržaj teme:**

Harmonički oscilator zauzima važno mjesto već u školskom gradivu, a na studiju fizike važnost mu još poraste, osobito sa sve dubljim ulaskom u kvantnu teoriju. Zato se često može čuti mišljenje, koje je doduše očito prepaušalno, ali u grubom na neki način i točno, da ako netko dobro razumije kvantizaciju harmoničkog oscilatora, može razumjeti sve u kvantnoj fizici. Time se nipošto ne misli samo na brojne primjene na konkretne kvantno-mehaničke sisteme, nego prvenstveno na to da upravo kvantizacija harmoničkog oscilatora omogućava proširenje kvantne mehanike na fundamentalniju razinu, naime na kvantnu teoriju polja. To se u obradi ove diplomske teme može, ali i ne mora slijediti, no prednost toga je da otvorenost prema tom golemom području omogućuje da si diplomand koji odabere ovu temu može po volji odmjeriti koliko daleko i koliko ambiciozno želi ići sa svojim diplomskim radom u dubinu konceptualno te u širinu s primjenama. Ipak, minimalno bi se morale izložile potrebne matematičke strukture teorije u smislu linearnih prostora i linearnih operatora, te postuliranja osnovnih pretpostavki (aksioma kvantne mehanike), kako bi se potom pristupilo kvantizaciji harmoničkog oscilatora bez ikakvog pozivanja na argumente heurističkog tipa.

Metode kvantizacije bi svakako uključivale dvije standardne, naime Schrödingerovu kvantizaciju putem istoimene jednadžbe i valne mehanike, te Heisenbergovu kvantizaciju u matricnoj mehanici. One bi se usporedile i glede konceptualne ekvivalencije i glede pogodnosti primjene u raznim fizikalnim situacijama, te bi se izgrađeni formalizam primijenio na pojedine odabrane realne fizikalne sisteme.

Ovisno o ambicijama diplomanda, mogle bi se uključiti i usporedno analizirati i neke druge, manje standardne metode kvantizacije. Na primjer, također popularnu Feynmanovu kvantizaciju preko propagatora i integrala po stazama. Ili, nešto manje popularne metode poput Weylove kvantizacije preko deformacija Poissonovih struktura, Bargmannove holomorfne kvantizacije, ili pak supersimetrične kvantizacije.

U smislu tih raznih mogućnosti izbora metoda kvantizacije, te izbora i širine zastupljenosti realnih fizikalnih sistema na koje bi se izgrađeni formalizam primjenjivao, ova općenita tema može poslužiti za više različitih diplomskih radova, čemu se onda naravno može prilagoditi i naslov.

Izbor iz moguće literature: W. Greiner, "Quantum Mechanics: An Introduction", 4th edition, Springer 2001. R. Shankar, "Principles of Quantum Mechanics", 2nd edition, Plenum Press 1994. A. Bohm, "Quantum Mechanics: Foundations and Applications", 3rd ed., Springer 2001. A. Bohm, P. Kielanowski and G.B. Mainland, "Quantum Physics: States, Observables and Their Time Evolution", Springer 2019. E.M. Henley and Walter Thirring, "Elementary Quantum Field Theory", McGraw-Hill 1962, reprint Franklin Classics 2018. R.P. Feynman and A.R. Hibbs, "Quantum Mechanics and Path Integrals", Emended Edition, Dover Publications, 2010. S. Gentilini et al., "Physical realization of the Glauber quantum oscillator", Sci Rep 5, 15816 (2015); <https://doi.org/10.1038/srep15816> . Y. S. Kim (editor), "Harmonic Oscillators In Modern Physics", A special issue of Symmetry (ISSN 2073-8994); [https://www.mdpi.com/journal/symmetry/special\\_issues/harmonic\\_oscillators](https://www.mdpi.com/journal/symmetry/special_issues/harmonic_oscillators) .

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Ivan Kokanović

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Magnetska svojstva  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{(6+x)}$  monokristala

**Sadržaj teme:**

Pojava visokotemperaturne supravodljivosti, VTS, pokazala se jednom vrlo interesantnom fizikalnom pojavom, za koju unatoč velikim naporima znanstvene zajednice u razumjevanju fizikalne pozadine same pojave ni nakon gotovo više od 30 godina istraživanja još uvijek nije nađeno cijelovito rješenje. Najveći problem u razumjevanju VTS predstavlja kompleksnost materijala, i vrlo složeni fazni dijagram. Tako u faznom dijagramu imamo prisutnost antiferomagnetske faze za koncentracije kisika  $X=0$  te s povećanjem koncentracije kisika uz magnetsko uređenje javlja se supravodljiva faza, jaka elektronska međudjelovanja, pojava tzv. pseudoprocijepa, isčezavanje pseudo potencijala s maksimalnom temperaturom supravodljivog prijelaza,  $T_c$ , da bi na kraju povećanje koncentracije kisika  $X=1$  dovelo do sniženja  $T_c$ . U okviru rada student će istražiti utjecaj uređenja kisika na magnetska i supravodljiva svojstva  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{(6+x)}$  ( $0.5 < x < 1$ ) monokristala i upoznati tehnike sinteze  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{(6+x)}$  monokristala, dopiranja uzoraka kisikom i mjerenja magnetizacije monokristala u temperaturnom području od 5 K do 300 K.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Ivan Kokanović

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Elektronska struktura 3D  $\text{ZrSiS}$  Diracovog linijskog polumetala

**Sadržaj teme:**

Trodimenzionalni (3D) topološki Diracov polumetal  $\text{ZrSiS}$  je topološka faza materije koja je 3D analogon grafena s linearnom disperzijom vrpce u 3D prostoru impulsa. U 3D topološkim polumetalima, vodljiva i valentna vrpca mogu se križaju u diskretnim (Diracovim) točkama, linijama i petljama u Brillouinovoj zoni te posjeduju linearnu disperziju u svim smjerovima prostora impulsa. U okviru predloženog rada student će se upoznati sa sintezom i tehnikama mjerenja magnetskih svojstava  $\text{ZrSiS}$  Diracovog linijskog polumetala i izvršiti mjerenja magnetskih svojstava monokristala. Parametri Fermijeve plohe će se odrediti iz rezultata mjerenja kvantnih oscilacija u magnetizaciji  $\text{ZrSiS}$  monokristala.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Nikša Krstulović

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Laserska sinteza nanočestica i primjena u fotokatalizi organskih boja

**Sadržaj teme:**

Nanočestice se koriste na površinama i u volumenima raznih materijala kao funkcionalni elementi (npr. za unaprijeđenje učinkovitosti pohranjivanja energije), kao bioaktivno sredstvo u biološkim mikro- i nano-sustavima (kao biomarkeri, u terapijske svrhe, za dostavu aktivnog sredstva u stanice, za dijagnostiku) te kao aktivno sredstvo u fotokatalizi (očuvanje voda i okoliša). Učinkovitost primjene i razvoja ove klase materijala uvelike ovisi o čistoći samih nanočestica. Za razliku od klasičnih načina sinteze nanočestica (putem kemijskih metoda gdje je problem prisutnosti nečistoća koje dolaze od prekursora kemijskih reakcija i raznih aditiva, ili putem kondenzacije u plinskim fazama gdje je čest problem agregacije u mikroobjekte i slabe raspršenosti) laserska ablacija u tekućinama omogućuje sintezu nanočestica velike čistoće (nanočestice se sastoje samo od materijala mete) iz širokog spektra materijala (metali, polimeri, keramika, poluvodiči, slitine). U ovome radu proučavat će se nanočestice ključne za primjenu u fotokatalizi organskih boja. U tu svrhu sintetizirat će se metalni oksidi i dvokomponentne napredna nanočestice posebno dizajniranih svojstava. Fotokataliza će se proučavati mjerenjem stope degradacije organskih boja (Methylene blue, Rhodamine B, itd.). Karakterizacije nanočestica će se vršiti pomoću klasične fotoapsorpcije u UV-VIS dijelu spektra, istaloženih filmova tehnikom refleksije X-zraka, po potrebi Raman spektroskopijom i fotoapsorpcijom X-zraka. Također će se uzorci karakterizirati optičkim mikroskopom, mikroskopom atomskih sila (AFM) kao i transmisijskim i skenirajućim elektronskim mikroskopom (TEM i SEM).

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Krešimir Kumerički

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Sučelje za pristup funkcijama strukture protona

**Sadržaj teme:**

Trodimenzionalna raspodjela kvarkova i gluona u protonu opisana je pomoću poopćenih partonskih distribucija. Univerzalnost tih funkcija čini ih važnim inputom u raznim istraživanjima. U radu bi se izradilo sučelje (web sučelje po mogućnosti) koje bi omogućilo korisniku pristup numeričkim vrijednostima, te grafički prikaz tih funkcija u zadanom kinematičkom području.

(Student Andrej Kontrec kojem je lani ova tema dodijeljena je pri kraju izrade diplomskog rada, ali ako sam dobro razumio pravila nakon godine dana je potrebno ponoviti proceduru.)

**Smjerovi:** prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Ivan Kupčić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Transportna svojstva Diracovih polumetala

**Sadržaj teme:**

Disperzije vodljivih elektrona u Diracovim polumetalima mogu se opisati s anizotropnim 3D Diracovim modelom s konačnom Diracovom masom. Vrlo često se te disperzije aproksimiraju s disperzijama elektrona u kvazi 2D Diracovom modelu. U ovom radu će se teorijski istražiti transportna svojstva ovakvih sustava i provjeriti valjanost ovakve aproksimacije disperzija 3D Diracovih elektrona.

Prvo će se izgraditi realistični model koji objašnjava utjecaj spin-orbit vezanja na disperzije elektrona u Diracovim polumetalima. Nakon toga će se ispitati vezanje tih elektrona na vanjska elektromagnetska polja. Na kraju će se izračunati efektivan broj nositelja naboja u istosmjernoj vodljivosti i u Hallovoj konstanti te usporediti rezultate s predviđanjem semiklasične Boltzmannove transportne teorije.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ivor Lončarić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Mogu li strojno naučeni potencijali modelirati dinamička svojstva molekularnih kristala

**Sadržaj teme:**

Kroz cijelu povijest napredak čovječanstva ovisio je dostupnim materijalima. Tako i danas tragamo za naprednim materijalima željenih svojstava, a sve bitniju ulogu u tome ima teorijsko modeliranje materijala. Posebno povoljan omjer preciznosti i računalne zahtjevnosti postiže se teorijom funkcionala gustoće (DFT) koja osim specijalnih slučajeva dobro predviđa svojstva materijala. Međutim, molekularni kristali, iako veoma značajni, zbog velikih jediničnih ćelija koje zahtijevaju veliku računalnu snagu često se ne mogu modelirati DFT-om. S razvojem strojno naučenih potencijala na temelju DFT izračuna[2,3], moguće je dostići točnost DFT-a uz puno manje računalne zahtjeve. U ovom diplomskom radu provjerila bi se točnost ovih strojno naučenih potencijala u modeliranju dinamičkih svojstava molekularnih kristala, poput fononskih spektara i termodinamičkih svojstava.

[1]Nature Communications 8, 13890 (2017) <https://doi.org/10.1038/ncomms13890> [2]Chem.Sci., 8, 3192 (2017) <https://doi.org/10.1039/C6SC05720A>

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ivor Lončarić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Struktura i svojstva dvodimenzionalnih Dion-Jacobson perovskita

**Sadržaj teme:**

U zadnje vrijeme hibridni organsko-anorganski perovskiti pokazuju se kao materijali budućnosti za solarne ćelije i LED. Ovi perovskiti nude pregršt mogućnosti za mijenjanje njihove strukture kako bi se postigla željena optoelektronička svojstva. Unutar različitih klasa ovakvih materijala proučavali bi se dvodimenzionalni Dion-Jacobson perovskiti koji su posebno prikladni za konstrukciju novih LED uređaja. Samu atomsku strukturu ovih materijala, a o kojoj ovise njihova svojstva, nije lako odrediti jer se sinteza obično vrši u obliku filma. Iz tog razloga, naprednim teorijskim/računalnim tehnikama u ovom diplomskom radu bismo previđali strukturu ovih perovskita. Dobivene strukture bismo usporedili s eksperimentalno poznatim strukturama. Poznavanje strukture za još nesintetizirane spojeve omogućava računalno pretraživanje svojstava materijala bez potrebe za skupim postupkom sinteze.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Rakhi Nandalal Mahbubani

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** More precise collider limits on wino dark matter

**Sadržaj teme:**

A wino (electroweak doublet) is one of the simplest additions to the Standard Model that could account for the observed dark matter density by thermal freeze-out. Its couplings are tightly constrained by the gauge structure of the Standard Model, and if there is a large separation of scales between it and any new strongly-coupled physics (as the data seem to suggest) the model is rather predictive.

The most promising way to search for nearly pure winos at hadron colliders like the LHC is via the 'disappearing charged track' left by its charged component as it is produced at the interaction point, traverses some part of the inner tracker layers of a detector, and decays,  $O(\text{cm})$  later to states that are detector-invisible. Current constraints from such searches at the ATLAS experiment, for example, exclude winos of up to 460 GeV at 95% confidence.

The exact limit is dependent on the decay length of the wino, computed using the one-loop value of the mass splitting. A more precise computation of the splitting is now available, which gives a correction of up to 40% percent to the tree-level value. This project will involve recasting the current wino limits, updating them in the light of the new two-loop results to give the true LHC limits on this state. You will need to:

(1) read and understand the current disappearing charged track analysis at ATLAS/CMS, including the recasting procedure (2) simulate wino production and decay using Madgraph (3) apply the recasting procedure and update the ATLAS/CMS limit plots.

On successful completion, the results of this project could also be submitted as a contribution to the Snowmass White Pages, the international collaborative effort that endeavours to define the future of the field of particle physics.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Marija Majer

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Mjerenje apsorbiranih doza u području izvan ciljnog volumena tijekom kraniospinalnog ozračivanja radioterapijskim tehnikama VMAT i 3D-CRT

**Sadržaj teme:**

Radioterapija ima jako važnu ulogu u liječenju karcinoma. Oko 2/3 oboljelih će tijekom terapije primiti neki oblik radioterapije i stoga se tehnike i metode zračenja snažno razvijaju i unapređuju ne bi li se omogućila što bolja raspodjela zračenja u ciljni volumen (tumor) i što bolja poštuda ostalog zdravog tkiva pacijenta. Zbog međudjelovanja zračenja s materijom, ozračivanje zdravog tkiva pri radioterapiji se nikada ne može potpuno izbjeći i stoga, da bi se mogli procijeniti rizici za štetne učinke u zdravom tkivu, moraju se znati doze koje takvo tkivo primi.

U ovom radu će se mjeriti i usporediti apsorbirane doze izvan ciljnog volumena pri kraniospinalnom ozračivanju fotonima koristeći dvije tehnike: volumno modeliranu lučnu radioterapiju (engl. volumetric modulated arc therapy, VMAT) i 3D konformalnu radioterapiju (engl. 3 dimensional conformal radiotherapy, 3D-CRT). Kraniospinalno zračenje podrazumijeva veliki ciljni volumen (cijela lubanja i kralješnica) zbog čega će i okolno zdravo tkivo primiti veće doze nego u slučaju malih ciljnih volumena pa ih je vrlo važno znati pogotovo za dječje pacijente. Pacijent će biti antropomorfni fantom napravljen od tkivu ekvivalentnih materijala koji predstavlja desetogodišnje dijete, a za mjerenja će se koristiti radiofotoluminescentni (RPL) dozimetri.

Student će tijekom rada naučiti međudjelovanja ionizirajućeg fotonskog zračenja s materijom; osnovne dozimetrijske veličine i principe; osnovne fizikalne principe radioterapije te posebno tehnike VMAT i 3D-CRT; osnovne fizikalne principe RPL dozimetrije.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije



**Mentor:** dr. sc. Marija Majer

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Ispitivanje odziva radiofotoluminiscentnih dozimetara u protonskom polju

**Sadržaj teme:**

Dozimetrija zračenja podrazumijeva mjerenje/računanje energije koju ionizirajuće zračenje pohrani u materiji kroz koju prolazi i neophodna je za sigurnu primjenu ionizirajućeg zračenja. Da bi se neki dozimetar mogao pravilno primijeniti za takva mjerenja, potrebno je najprije ispitati i razumjeti njegova dozimetrijska svojstva (npr. ovisnost odziva o dozi, energiji, kutu zračenja...) u poljima zračenja u kojima će se koristiti.

Dozimetrija u radioterapiji snopovima teških nabijenih čestica te dozimetrija zračenja u svemiru trenutno su vrlo aktualne i izazovne problematike. Radiofotoluminiscentni (RPL) dozimetar je dobar kandidat no još uvijek nedovoljno istražen u poljima protona i pogotovo težih iona. Cilj rada je ispitati odziv RPL dozimetara u protonskom polju. Protonski snopovi dobivat će se u akceleratoru Tandem Van de Graaf (VDG) na Institutu Ruđer Bošković gdje će se napraviti eksperimentalni dio rada. Eksperimentalni rezultati usporedit će se rezultatima dobivenim izračunima koji koriste Monte Carlo simulacije. Ovisno o interesu studenta, diplomski rad će se usmjeriti na eksperimentalno istraživanje ili na modeliranje RPL dozimetara u protonskom polju koristeći Monte Carlo algoritme (PHITS, Geant4 ili MCNP). Student će naučiti kako se dobivaju protonski snopovi i kako međudjeluju s materijom; osnovne dozimetrijske veličine i principe; osnovne fizikalne principe RPL dozimetrije; osnove MC simulacija

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Mihael Makek

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Određivanje dubine interakcije u detektorima gama zračenja

**Sadržaj teme:**

Ubrzan razvoj scintilacijskih materijala te poluvodičkih detektora i brze elektronike omogućava posljednjih godina opažanje gama zračenja sa sve većom preciznošću. Visoko segmentirani detektori omogućavaju precizno određivanje položaja gama zračenja u ravnini okomitoj na smjer upadne čestice, no izazov predstavlja određivanje dubine interakcije u detektorima zračenja. Rješavanje ovog izazova, omogućilo bi određivanje položaja interakcije gama zračenja u detektoru u 3 dimenzije, što bi bilo od velike važnosti za opažanja u fundamentalnoj fizici kao i primjenama u uređajima za medicinsko oslikavanje.

Cilj ovog rada je ispitati specifične metode određivanja dubine interakcije gama zračenja u segmentiranim scintilacijskim detektorima, iščitavanim silicijskim fotomultiplikatorima i naprednom elektronikom.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Nadica Maltar Strmečki

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Istraživanja dozimetrijskih svojstva kloridnih soli optički stimuliranom luminiscencijom (OSL)

**Sadržaj teme:**

U slučaju radiološke nesreće potrebna je brza procjena apsorbirane doze izloženih pojedinaca koji profesionalno ne nose osobne dozimetre, te hitna masovna trijaža. Retrospektivna dozimetrija istražuje promjene izazvane zračenjem bilo na materijalima koji su bili u blizini ili na samim žrtvama nuklearnih i radioloških nesreća, bilo na njihovim stanicama i pruža nedvosmisleni uvid u populaciju koja je bila izložena zračenju i treba hitnu medicinsku pomoć. Pokazano je da je optički stimulirana luminiscencija (OSL) brza metoda retrospektivne dozimetrije, te može omogućiti brzu procjenu doze velikog broja ljudi u kratkom vremenskom razdoblju. Cilj rada je istražiti svojstva kloridnih soli metodom optički stimulirane luminescencije (OSL) i njihovu potencijalnu uporabu u retrospektivnoj dozimetriji. Istraživat će se optimalni uvjeti za očitavanje OSL-a pomoću stimulacije s dvije različite valne duljine, 470 nm i 890 nm. Cilj je utvrditi ponovljivost signala, osjetljivost detekcije i stabilnost signala tijekom vremena. Rezultati će biti uspoređeni za obje vrste stimulacije.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Blaženka Melić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Raspadi i vremena života teških hadrona

**Sadržaj teme:**

Vrijeme života čestice je njeno najosnovnije svojstvo. Vremena života teških hadrona se dobivaju izračunavanjem inkluzivnih širina raspada teških kvarova koji se sustavno tretiraju u konzistentnom teorijskom okviru poznatom kao razvoj po masi teške čestice (eng. HQE), koji je nastao spojem tehnika razvoja operatorskog umnoška (eng. OPE) i efektivne teorije teškog kvarka (eng. HQET). Budući da su vezana stanja teških kvarova i lakih konstituenata (šarmantni/beauty mezoni, jednostruko c(šarmantni)/b(beauty)-barioni) ili dva teška kvarka i jednog lakog konstituenta (dvostruko c(šarmantni)/b(beauty)-barioni), teški hadroni sadrže meke stupnjeve slobode koji stvaraju neperturbativne korekcije koje je teško izračunati. Novi eksperimentalni podaci, kako o c-hadronskim raspadima tako i o b- raspadima, omogućili su detaljnu usporedbu eksperimentalnih i teorijskih rezultata i otkrili su veliko slaganje, uz nekoliko značajnih iznimaka: nedavna mjerenja vremena života  $\Xi_c^+$ ,  $\Xi_{cc}^{++}$  i osobito  $\Omega_c^0$  bariona se ne slažu s teorijskim predviđanjima i to značajno. Rješavanje tih neslaganja jedan je od najvažnijih zadataka u fizici teških hadrona danas.

Tema diplomskog rada će biti upoznavanje s tehnikama računanja vremena života te ponovno razmotranje izračuna vremena života šarmantnih bariona, usporedba s novim eksperimentima, te kombiniranjem svih saznanja određivanje dijelova računa koji traže teorijska poboljšanja, koja setakođer mogu djelomično napraviti ukoliko bude vremena. Obzirom na aktualnost istraživanja moguće će biti publiciranje rezultata kao i da se istraživanje nastavi nakon diplomiranja u okviru HrZZ projekta na istu temu, kao i u suradnji s njemačkim kolegama unutar projekta Alexander von Humboldt zaklade.

Prof.dr. Blaženka Melić

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Matko Milin

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Nuklearne reakcije izazvane projektilom  ${}^7\text{Li}$  i proučavane koincidentnim opažanjima

**Sadržaj teme:**

U jezgama atomske jezgre s desetak nukleona već i na vrlo niskim energijama pobuđenja pokazuju stanja vrlo raznolikih struktura. Neka od tih stanja mogu se dobro opisati dobro poznatim modelom ljusaka, no za većinu ostalih nužni su egzotični opisi koji ukazuju na grupiranje nukleona u klusterske i molekulske strukture ili čak i na formiranje Bose-Einsteinovog kondenzata. Eksperimentalni podaci za potpuno razumijevanje tih struktura daleko su od potpunih, pa su nova mjerenja i rezultati i više nego nužni, a samim time se i nalaze u fokusu interesa mnogih recentnih istraživanja u području. Cilj rada je dobivanje novih eksperimentalnih rezultata o stanjima niza atomskih jezgara iz analize mjerenja nuklearnih reakcija  ${}^7\text{Li}+{}^6,{}^7\text{Li}$  i  ${}^7\text{Li}+{}^{12}\text{C}$ , na energiji projektila  ${}^7\text{Li}$  od 30 MeV-a. Postojeći spektri dopunili bi se rezultatima dobivenima iz koincidencija odnosno istovremenog opažanja dviju ili više čestica. Analiza već izmjerenih podataka izvršila bi se u standardnom programskom jeziku Python uz upotrebu programskog paketa ROOT (razvijenog na CERN-u). Očekuje se da će dobiveni rezultati sadržavati nove spoznaje o nuklearnoj strukturi lakih jezgara, a i samom mehanizmu proučavanih nuklearnih reakcija, koje će biti pogodne za objavu u znanstvenom članku.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Slobodan Milošević

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Tretman vode atmosferskim plazmenim mlazom i primjene

**Sadržaj teme:**

Motivacija za predložena istraživanja nalazi se u potrebi boljeg razumijevanja tretmana vode u kontaktu s plazmenim mlazom pri atmosferskom tlaku. Prilikom tretmana dolazi do otapanja u vodi raznih molekula i radikala nastalih u plazmenom mlazu, kao na primjer peroksid, nitriti i nitrati itd. Cilj je karakterizirati plazmeni mlaz, parametre tretmana i plazmom tretiranu vodu te proučiti njen sastav te uvjete za vremensku stabilizaciju (starenje tretirane vode) i kontrolu sastava plazmom tretirane vode.

Diplomski rad obuhvaća: upoznavanje s literaturom, modifikacije postojećeg eksperimentalnog postava (automatizacija), korištenje optičke emisijske spektroskopije (OES), usvajanje tehnika vremenski razlučivih mjerenja, izvođenje mjerenja, analizu i diskusiju rezultata, te pisanje diplomskog rada.

Postoji mogućnost nastavka istraživanja u sklopu domaćeg projekta AVASC, odnosno međunarodne COST akcije CA19110 s primjenama plazme u poljoprivredi.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Tamara Nikšić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Modeli nuklearne strukture zasnovani na teoriji energijskog funkcionala gustoće

**Sadržaj teme:**

Teorija energijskog funkcionala gustoće predstavlja temelj velikog dijela modela u nuklearnoj fizici. Osim optimizacije parametara samog funkcionala, za precizan opis strukture atomske jezgre potrebno je koristiti razne modele koji predstavljaju nadogradnju srednjeg polja pogodnog za opis osnovnog stanja jezgre. Npr, za opis malih oscilacija atomske jezgre može se koristiti kvazičestični model slučajnih faza ili metodu konačnih amplituda, dok se za opis fluktuacija velikih amplituda može koristiti metoda generatorskih koordinata.

U predloženom radu će se neki od postojećih modela strukture atomske jezgre primijeniti na opis svojstava koje su trenutno u fokusu eksperimentalnih istraživanja, a postoji mogućnost i manjih nadogradnji i unaprijeđenja modela.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Tamara Nikšić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Izrada simulacija u teorijskoj fizici pomoću programskog jezika Python

**Sadržaj teme:**

Programski jezik Python predstavlja idealan alat, kako za učenje programiranja, tako i za pojašnjavanje osnovnih fizikalnih koncepata u osnovnim i srednjim školama. Jednostavna sintaksa i velik broj gotovih programskih paketa, kao i činjenica da se radi o besplatnom programskom jeziku čine Python dostupnim širokom krugu nastavnika i učenika. Posebno pogodan za rad u školama je paket VPython koji pruža mogućnost jednostavnog programiranja grafičkih prikaza rješenja različitih fizikalnih problema s naglaskom na animacijama.

U okviru predloženog rada student bi izradio numeričke simulacije pogodne za ilustraciju nekog od standardnih problema teorijske fizike. Time bi učenicima mogao predočiti neke od zanimljivih fizikalnih pojava.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike

**Mentor:** dr. sc. Kosuke Nomura

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Nuclear spectroscopy from energy density functional theory

**Sadržaj teme:**

Theoretical research in the area of low-energy nuclear physics is becoming more and more demanding. Experiments using radioactive-ion-beams around the world have produced a wealth of new data on thus far unknown nuclei. A quantitative description of low-lying states in nuclei and their decays in terms of the underlying nucleon dynamics has always been a challenge for nuclear theory. At present, nuclear density functional theory is among the most reliable theoretical tools able to predict both ground-state and collective properties of nuclei over the whole nuclide chart. We develop theoretical models for describing low-energy collective excitations and electromagnetic decays in nuclei, in particular, within the beyond-mean-field framework based on the nuclear energy density functional theory. Interesting topics we plan to explore include studies of quantum phase transitions and coexistence of nuclear intrinsic shapes, pear-shaped nuclear deformations, and fundamental nuclear processes such as beta and double-beta decays, which are also used as a test of Standard Model of elementary particles.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Andrej Novak

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Primjena Cahn-Hilliardove jednadžbe u obradi digitalne slike

**Sadržaj teme:**

Poznata Cahn-Hilliardova (CH) jednadžba prvobitno je izvedena kao model koji opisuje razdvajanja faza u binarnim legurama. Od tada je našla primjenu u problemima kao što su spinodalni raspad, obrada digitalne slike, višefazni protoci tekućina, mikrostrukture s elastičnom nehomogenošću, simulacija rasta tumora i dr. Cilj ovog diplomskog rada je predstaviti osnove teorijske rezultate vezane za CH jednadžbe i fokusirati se na primjene iz područja obrade digitalne slike, a posebno na problem uslikavanja digitalne slike (engl. image inpainting). Uslikavanje digitalne slike se često koristi za rekonstruiranje oštećenih područja slike na temelju podataka iz poznatih područja. Od kandidata se očekuje poznavanje programiranja, parcijalnih diferencijalnih jednadžbi i osnovnih numeričkih metoda za rješavanje parcijalnih diferencijalnih jednadžbi.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Andrej Novak

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Implementacijski aspekti Merkleovih stabala s primjenom u blockchain tehnologiji

**Sadržaj teme:**

Ralph Merkle uveo je 1979. godine ovu naprednu strukturu podataka motiviran problemom generiranja sažetaka direktorija digitalnih certifikata. No jedna od najpoznatijih primjena ove strukture je u kriptovalutama i blockchain tehnologiji. Bitcoin koristi najjednostavnije Merkleovo stablo. Svaki čvor u takvom stablu je hash vrijednosti i pohranjuje SHA256 hash vrijednost podataka o transakciji. Vrijednosti dva čvora međusobno se spajaju, a zatim se vrijednost roditelja dobiva primjenom hash funkcije. Postupak se nastavlja rekurzivno dok se ne generira korijen, odnosno korijen merkleove transakcije. S korijenom Merkleovog stabla otkriva se neovlašteno mijenjanje podataka o transakciji u bloku, osiguravajući integritet podataka o transakciji. U Ethereumu se korijen Merkleovog stabla izračunava pomoću generalizacije spomenutog pristupa (engl. Merkle Patricia tree) jer se podaci o transakcijama u bloku ne mijenjaju puno, ali podaci o statusu se često mijenjaju i taj broj je velik. Prilikom gradnje novog bloka, u takvom stablu treba samo izračunati status računa koji se promijenio u novom bloku, dok se grane bez promjene statusa mogu izravno referencirati. Od kandidata se očekuje spretnost u programiranju i poznavanje osnovnih struktura podataka kao što su binarna stabla i algoritmi nad njima.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Mario Novak

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Zakretanje ravnine polarizacije svjetlosti putem Faradayevog efekta

**Sadržaj teme:**

U sklopu navedene teme diplomskog rada proučavat će se efekt Faradayeve rotacije, odnosno zakretanja ravnine polarizacije pod utjecajem vanjskog magnetskog polja za niz optički aktivnih materijala kao što su kvarc, KCl, NaCl te KBr. Kao aplikativni dio tematike kandidat će pokušati proučiti da li ravnina zakretanja ovisi o vrsti maslinovog ulja, odnosno da li navedeni efekt može koristiti za karakterizaciju maslinovog ulja. U sklopu rada kandidat će se pobliže upoznat fizikom elektromagnetskih valova u vidljivom dijelu spektra te s efektom linearne polarizacije svjetlosti te kako je modificirati. U metodičkom dijelu rada kandidat će razraditi kao učenicima predočiti što su to elektromagnetski valovi te što znači polarizacija elektromagnetskog vala.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Dino Novko

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Formiranje vala gustoće naboja u dvodimenzionalnim dihalkogenidima prijelaznih metala i pripadni utjecaj na elektronsku i vibracijsku strukturu

**Sadržaj teme:**

Posljednjih godina veliki broj teorijskih i eksperimentalnih istraživanja pokušalo je dati odgovor na pitanje koji je uzrok formiranju vala gustoće naboja (eng. charge density wave ili CDW) u trodimenzionalnim i dvodimenzionalnim dihalkogenidima prijelaznih metala (eng. transition metal dichalcogenides ili TMD). Fokus je uglavnom bio na metalnim TMD-ovima gdje dobar dio radova upućuje na poveznicu između elektron-fonon vezanja i pojave CDW faze. Nakon takvih saznanja postavlja se pitanje o mogućnosti formiranja CDW-a u poluvodičkim TMD-ovima, gdje isto dolazi do mekšanja fononskih modova uslijed dopiranja (pa tako i do strukturalne nestabilnosti) i gdje je elektron-fonon vezanje vrlo značajno. Nekoliko teorijskih i eksperimentalnih radova upućuju na strukturalne promjene u dopiranom molibden disulfidu (npr., 1H --> 1T'), no formiranje CDW faze i pripadne strukturalne promjene nisu diskutirane.

Koristeći se teorijom funkcionala gustoće istražiti će se utjecaj CDW-a na elektronske vrpce i fononske energije u dopiranim poluvodičkim TMD-ovima. Preliminarni rezultati pokazuju vrlo jako mekšanje akustičkih fonona u M točki Brillouin zone te jasnu tendenciju sustava da promjeni strukturu fazu.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Dalibor Paar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Razumijevanje rada i energije kroz primjere iz olimpijskih sportova

**Sadržaj teme:**

Rad i energija spadaju među temeljne fizikalne koncepte, a istodobno imaju važnu ulogu u sportu. Na primjer tijekom skoka motkom uključeni su različiti oblici energije. Prvo, sportaši tijekom trčanja transformiraju kemijsku energiju u kinetičku energiju svog tijela. Dio ove kinetičke energije postaje elastična potencijalna energija, što se opaža deformacijom motke; ostatak energije postaje gravitacijska potencijalna energija, koja se opet pretvara u kinetičku energiju dok sportaši preskakuju šipku. U radu ćemo obraditi nekoliko sličnih primjera odabranih olimpijskih sportova koji se onda mogu implementirati na odgovarajućim mjestima u kurikulumu fizike.

Literatura: J.E.Goff. Gold Medal Physics. The Science of Sports. The Johns Hopkins Univ. Press, 2010.

**Smjerovi:** prof. fizike

**Mentor:** dr. sc. Dalibor Paar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Fizika i sport

**Sadržaj teme:**

U suvremenoj nastavi fizike dobro je implementirati primjere iz svakodnevnog života koji pobuđuju dodatni interes za fiziku. Sport je područje koje ima veliki potencijal povezivanja s fizikom kako kroz implementaciju pojedinih primjera u okviru kurikulumu fizike tako i za pobuđivanje interesa za fiziku u nižim razredima osnovne škole. U radu će se obraditi nekoliko odabranih primjera koji se mogu implementirati u kurikulum fizike u osnovnoj školi i nekoliko primjera prilagođenih za implementaciju u razrednoj nastavi.

Literatura: J.E.Goff. Gold Medal Physics. The Science of Sports. The Johns Hopkins Univ. Press, 2010.

**Smjerovi:** prof. fizike

**Mentor:** dr. sc. Dalibor Paar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Konstrukcija mjernih instrumenata baziranih na micro:bitu za potrebe nastave fizike

**Sadržaj teme:**

Fizikalni pokus treba biti sastavni dio svakog sata fizike u školi. U ovom radu uz diskusiju o ulozi pokusa u nastavi fizike fokusirat ćemo se na mjerni instrument kao neophodan alat za kvantitativno istraživanje fizikalnih pojava. Kroz primjer upotrebe mikrokontrolera (micro:bita) pokazat ćemo kako se mjerni instrumenti mogu puno intenzivnije koristiti u nastavi fizike.

**Smjerovi:** prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Dalibor Paar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Konstrukcija vremenskih vrata i primjena u nastavi fizike

**Sadržaj teme:**

Mjerenje vremenskog intervala ključno je za istraživanje brojnih procesa u fizici. U ovom radu uz pomoć micro:bita konstruirati ćemo više varijanti vremenskih vrata i primjeniti ih na pokuse u različitim područjima (mehanika, elektricitet, magnetizam). Osvrnut ćemo se i na interdisciplinarnu primjenu u sportskim aktivnostima.

**Smjerovi:** prof. fizike i informatike



**Mentor:** dr. sc. Dalibor Paar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Izazovi popularizacije fizike u 21. stoljeću

**Sadržaj teme:**

U radu ćemo istaknuti ulogu popularizacije fizike i prirodoslovlja u svijetu i u Hrvatskoj. Popularizacija znanosti općenito ispunjava važnu zadaću učiniti znanstveno znanje razumljivim i dostupnim. U radu ćemo dati primjere načina na koji se mogu popularizirati pojedine fizikalne teme. Detektirat ćemo i rizike koje nekritičko pojednostavljivanje znanstvenih informacija donosi različitim dobnim skupinama.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Nils Paar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Magnetski prijelazi u egzotičnim jezgrama

**Sadržaj teme:**

Ekstremne vrijednosti izospina egzotičnih jezgri daleko od stabilnosti, kao i njihovo slabo vezanje, otkrivaju nove strukturne fenomene kao što je neutronska "halo" i neutronska omotač, koji igraju važnu ulogu u razumijevanju nuklearnog problema mnoštva čestica i njihovog međudjelovanja. Prilikom pobuđenja, ovakve jezgre mogu rezultirati kolektivnim gibanjem slabo vezanih nukleona, što rezultira pojavom egzotičnih rezonancija koje se danas mogu i eksperimentalno mjeriti, npr. raspršenjem fotona, protona, alfa čestica na jezgama ili u relativističkim sudarima teških iona. Takvi modovi su interesantni ne samo kao novi fizikalni fenomeni, nego igraju i važnu ulogu u procesima od značaja za astrofiziku. U okviru ove teme predviđeno je teorijsko istraživanje magnetskih prijelaza u egzotičnim atomskim jezgrama temeljem teorijskog formalizma zasnovanog na relativističkom energijskom funkcionalu gustoće i kvazičestičnoj aproksimaciji slučajnih faza. Koristeći numeričku implementaciju modela, bit će istražene reducirane vjerojatnosti prijelaza, struktura najvažnijih pobuđenih stanja, odnosno mogućnosti postojanja novih, dosad nepoznatih modova magnetskih pobuđenja u egzotičnim jezgrama.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Nils Paar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Nuklearni procesi slabog međudjelovanja od značaja za evoluciju supernove

**Sadržaj teme:**

U okviru ove teme predviđen je teorijski opis procesa koji se odvijaju tijekom evolucije supernove tipa IIa i igraju značajnu ulogu u nukleosintezi kemijskih elemenata u r-procesu. Istraživanja uključuju razmatranje teorijskog formalizma za opis jednog od procesa slabog međudjelovanja kao što su uhvat elektrona, neutrina, i beta raspada atomskih jezgri u uvjetima konačne temperature karakteristične u fazi koja prethodi kolapsu jezgre supernove tipa IIa. Navedeni procesi će biti istraživani u okviru teorijskog formalizma zasnovanog na najnovijim varijantama relativističkog energijskog funkcionala gustoće. Razmotrit će se učinci konačne temperature i korelacija sparivanja u navedenim procesima, odnosno odredit će se karakteristične temperature faznih prijelaza na kojima doprinosi korelacija sparivanja u jezgrama iščezavaju. Teorijski opis ovakvih procesa zahtijeva numeričku implementaciju, pa je predviđeno korištenje naprednijih numeričkih metoda i klaster računala na Fizičkom odsjeku u proračunima. Ova tema je prikladna za izradu više diplomskih radova.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Damir Pajić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Magnetometri u istraživanju materijala

**Sadržaj teme:**

Za istraživanje magnetskih svojstava materijala koriste se različiti magnetometri. Student će se upoznati sa konstrukcijom i načinom rada današnjih najčešćih izvedbi magnetometara, kao što su SQUID magnetometar i magnetometar s vibrirajućim uzorkom, te drugima po mogućnosti. Izvest će i neka osnovna mjerenja te ih interpretirati i staviti u kontekst istraživanja magnetskih svojstava novih materijala

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Damir Pajić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Magnetsko i električno ponašanje odabranog multiferoičnog materijala

**Sadržaj teme:**

Magnetoelektrični multiferoici pokazuju istovremeno dvije vrste uređenja, a naročito je zanimljivo ako su ona međusobno povezana tako da se električnim poljem može utjecati na magnetsko stanje te magnetskim na električno. Multiferoičnost s magnetskim i električnim uređenjem može se javiti u različitim vrstama materijala, od složenih oksida metala, do metalo-organskih kompleksnih spojeva. Unutar diplomskog rada istražiti će se magnetsko i po mogućnosti električno ponašanje odabranog potencijalno multiferoičnog spoja. Eksperimentalno istraživanje obuhvatit će mjerenja magnetizacije, zatim utjecaja električnog polja na nju, te električne polarizacije i utjecaja magnetskog polja na nju ukoliko se pokaže primjenjivo. Pružit će se i mogućnost sudjelovanja u sintezi novog materijala te istraživanju njegove strukture, ali nije nužno. Student će napraviti cjelovito eksperimentalno istraživanje i dati zaokruženu sliku ponašanja i objašnjenja odabranog složenog magnetskog sustava.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Nenad Pavin

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Izučavanje geneze pogrešaka u diobi živih stanica

**Sadržaj teme:**

Pogreške u podjeli kromosoma za vrijeme stanične diobe uzrokuju aneuploidiju, stanje neravnoteže u broju kromosoma. Takvo je stanje pogubno za razvoj embrija te ubrzava stvaranje tumora. Stoga je otkrivanje uzroka pogrešaka i njihov učinak na stanice ključno za razumijevanje aneuploidije. Da bi se razumjeli mehanizmi koji dovode do velike učestalosti pogrešaka, student/studentica će uvesti teorijski opis diobe stanica. Model će opisati mehaničke procese koji se odvijaju prilikom formiranja diobenog vretena, uključujući i mehanizme koji dovode do pogrešaka te korekciju tih pogrešaka. Model će uključiti poznate procese koji se događaju prilikom formiranja diobenog vretena, a opaženi su izučavanjem živih stanica, dok će se za opis staničnog skeleta koristiti rezultati dobiveni in vitro istraživanjima. Ukoliko to bude moguće, u modelu će se pratiti veliki broj staničnih dioba kako bi se dobila informacija o dinamici pogrešaka u višestrukim diobama živih stanica. Dobiveni teorijski rezultati će usporediti s pogreškama opaženim u živim stanicama, proučavanim u laboratoriju profesorice Ive Tolić s Instituta Ruđer Bošković.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Robert Pezer

**Institucija:** SIM

**Naslov teme:** Klasični međudjelujući sistemi

**Sadržaj teme:**

Planira se provedba analize značajki sistema međudjelujućih klasičnih čestica (npr realnih plinova) korištenjem molekularne dinamike - rješavanje sustava Newtonovih jednadžbi za višečestični sustav. Jedan od specifičnih ciljeva je određivanje značajki sistema poput Lennard Jones tekućine u različitim stanjima faznog dijagrama. Sferni oblik i stabilnost atoma helija, neona i dušika lako stvaraju tekućine, a složenost sistema je takva da je izračun moguć numeričkom simulacijom na dostupnim računalima. Odabrana termodinamička, strukturalna i transportna svojstva bi se računala i uspoređivala s eksperimentalnim podacima. Numerička zahtjevnost u problemu će se provjeravati pri visokim temperaturama i niskim gustoćama, a posebno s obzirom na korelacijske funkcije. Utjecaj međudjelovanja na fizičke veličine poput energije, tlaka i temperature je istaknuta tema u ovo prijedlogu.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Robert Pezer

**Institucija:** SIM

**Naslov teme:** Kvantno prstenje

**Sadržaj teme:**

Glavna ideja je razmotriti kvazi 1D prsten na kojem je smješteno više nabijenih čestica (elektrona). Broj nositelja naboja je dobro definiran, a fluktuacije sistema su pod nadzorom u modernim eksperimentima. Posljednjih desetljeća sve je veći teoretski i eksperimentalni interes za mikroskopske sisteme poput kvantnog prstenja i točaka. Više je razloga za to, a glavni od njih su: - mogućnost kontrole broja čestica i fluktuacija - mogućnost proučavanja umjetnih atoma i njihovih značajki jer kvantno prstenje i točke posjeduju strukturu ljuske sličnu spektrima stvarnih atoma - eksperimentalna realizacija kvantnog prstenja je moguća zahvaljujući dostignućima razvoja poluvodičke tehnologije. Cilj ovog istraživanja je predstaviti teorijski osnovne značajke ovog sistema na odabranim primjerima uz osnovni pregled eksperimentalnih rezultata. Rad se intenzivno oslanja na kompjuterske simulacije i programiranje.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Maja Planinić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Fizikalna objašnjenja svakodnevnih predmeta i pojava i njihova primjena u nastavi fizike

**Sadržaj teme:**

Učenici osnovne i srednje škole često doživljavaju fiziku kao vrlo apstraktnu disciplinu, slabo povezanu sa svakodnevnim životom. S druge strane, fizički se zakoni mogu primijeniti na objašnjavanje mnoštva svakodnevnih pojava ili funkcioniranja predmeta koji se koriste u svakodnevnom životu. Takve primjene fizičkih načela i zakonitosti mogle bi učiniti nastavu fizike relevantnijom i zanimljivijom za učenike te ih motivirati za učenje. Premda se nešto takvih primjera uvijek sporadično nalazi u nastavi fizike, u ovom bi ih se diplomskom radu pokušalo razmotriti na drugačiji način, krećući od onoga što učenike na pojedinoj razini obrazovanja doista zanima. Stoga bi diplomand proveo online anketu na nekoliko razreda učenika osnovnih i srednjih škola, te odabrao najčešće pojave i predmete koji zanimaju učenike. U diplomskom bi radu istražio i prikazao njihova detaljna fizikalna objašnjenja, a potom diskutirao kako ta objašnjenja prilagoditi znanju učenika na pojedinoj obrazovnoj razini i uklopiti ih u odgovarajuće nastavne jedinice u sklopu istraživački usmjerene nastave fizike. Također bi diskutirao i druge načine njihovog predstavljanja, poput učeničkih projekata ili popularizatorskih radionica.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Nikola Poljak

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Analiza svojstava raspada snopova korištenjem neuralne mreže u ulozi klasifikatora

**Sadržaj teme:**

Svojstva fizikalnih raspada koji se dešvaju prilikom nastanka snopa čestica ne mogu se jednostavno očitati iz konačne distribucije čestica u detektoru. U ovom radu najprije će se simulirati sustav čestica jasno definiranih masa i kanala raspada koji predstavlja "istinit sustav" kojem želimo reproducirati distribucije vjerojatnosti raspada. Uz pretpostavku da imamo samo podatke koje sustav producira u detektoru, koristit ćemo metodu koja iterativno primjenjuje neuralnu mrežu u ulozi klasifikatora između događaja koje u detektoru ostavi istinita distribucija i događaja koje ostavi neka testna distribucija. Usporedit ćemo rezultate dobivene na ovaj način sa poznatim distribucijama raspada istinitog sustava. Rad je proširenje metode objavljene u Entropy 2020, 22(9), 994.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Nikola Poljak

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Nastanak i analiza svojstava duge na modelu kapljice vode

**Sadržaj teme:**

Duga je poznati optički fenomen koji se objašnjava lomom i disperzijom bijele svjetlosti u kapljicama vode. U ovom radu će se pomoću okrugle staklene posude ispunjene vodom napraviti model kapljice na kojem će se reproducirati nastajanje duge. Zbog veličine sustava moguće je analizirati svojstva duga prvog i drugog reda kao i nastajanje Alexandrovog pojasa. Pokazat ćemo kako debljina stjenke posude utječe na svojstva duge te odrediti minimalnu udaljenost od zastora potrebnu za jasno primjećivanje duga višeg reda. Dobiveni eksperimentalni postav ostao bi u fondu Odsjeka za nastavne potrebe.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Petar Popčević

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Slojeviti materijali budućnosti

**Sadržaj teme:**

Dihalkogenidi prijelaznih metala vruća tema istraživanja kako eksperimentalnog tako i teorijskog. Radi se o kvazi-dvodimenzionalnim materijalima koji su u fokusu znanstvenog interesa iz dva razloga: prvi je činjenica da je moguće sintetizirati atomski takne slojeve te se istražuje njihovog potencijala za primjene u elektronici, spintronici i dr.; drugi razlog je njihova snižena dimenzionalnost (slojevita struktura) koja pospješuje korelacijske efekte što rezultira bogatstvom raznih osnovnih stanja. Ovisno o kemijskom sastavu oni mogu biti poluvodiči, polumetali i pravi metali, a neki od njih su i supravodljivi. Moguće ih je interkalirati magnetskim ionima te na taj način dobiti sustave u kojima koegzistiraju magnetski i metalični podsustavi. Međudjelovanje ovih dvaju sustava rezultira zanimljivim osnovnim stanjima kojima je moguće manipulirati primjenom vanjskog tlaka i/ili magnetskog polja. U okviru ovoga rada proučavat će se jedan od interkalata NbS<sub>2</sub> sustava kao što je Co<sub>1/3</sub>NbS<sub>2</sub>. Student će se upoznati s laboratorijskim tehnikama postizanja hidrostatskog i uniaksijalnog tlaka od nekoliko GPa kao i magnetskog polja te mjerenjem fizikalnih veličina u ekstremnim uvjetima. Rad će se odvijati u laboratoriju Instituta za fiziku uz mogućnost međunarodne suradnje (TU Wien, EPFL). Rezultati rada će se sažeti u znanstvenu publikaciju.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike

**Mentor:** dr. sc. Petar Popčević

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Obećavajući termoelektrici i primjena

**Sadržaj teme:**

Termoelektrični materijali nude mogućnost iskorištavanja dijela otpadne topline (waste heat) pretvarajući je u korisnu električnu energiju. Stoga su u svjetlu inicijativa za smanjenje zagađivanja i potrošnje energije općenito vrlo zanimljivo područje znanstvenog istraživanja. Kako bi se procijenilo koliko je materijal učinkovit prilikom termoelektrične pretvorbe, potrebno je mjeriti njegova transportna svojstva. U okviru rada diplomand će se upoznati s termoelektričnim veličinama (definicijama, mjernim tehnikama i teorijskim opisom), pojavom termoelektriciteta i njegovim primjenama. Na primjeru jednog visoko obećavajućeg materijala (kao što su SnSe, Cu<sub>2</sub>Se, dopirani TiO<sub>2</sub>), odredit će se njegov termoelektrični potencijal (mjerenje termostruje, električne i toplinske vodljivosti). Rezultati rada će se sažeti u znanstvenu publikaciju.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Danko Radić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Formiranje Schrödingerovih "cat-stanja" u nanoelektromehaničkim sustavima

**Sadržaj teme:**

Koherentnim tuneliranjem Cooperovih parova na supravodljivu kvantnu točku smještenu između supravodljivih kontakata, tako da se može gibati harmoničkim oscilacijama, dolazi do sprezanja električnih i mehaničkih stupnjeva na poseban način. Sustav s dva nivoa, kako opisujemo populaciju elektronskog naboja na kvantnoj točki, postaje kvantno isprepleten s mehaničkim harmoničkim oscilatorom. Vremenska evolucija ovog sustava vodi na pojavu tzv. Schrödingerovih "cat-stanja" vrlo važnih u modernoj teoriji kvantne komunikacije. U okviru ovog rada valja numerički izračunati operator vremenske evolucije ovog sustava u Fockovom prostoru i prikazati evoluciju ovih stanja.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Danko Radić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Terahercni samopobuđeni oscilator temeljen na heterostrukturi dielektrik-feroelektrik

**Sadržaj teme:**

U okviru ovog diplomskog rada student će se upoznati s fizikom feroelektrika, Landauovim razvojem Gibbsove energije i faznim prijelazima, razmatranjem rješenja Landau-Khalatnikove jednadžbe u statičkoj i dinamičkoj granici. Heterostruktura, spoj dielektrik-feroelektrik ispoljava vrlo posebno svojstvo tzv. "negativnog električnog kapaciteta" do kojeg dolazi fiksiranjem rubnih uvjeta rješenja spomenutih jednadžbi na granici spoja. Drugi način realizacije ovog svojstva je korištenjem tzv. Landauovih domena suprotne orijentacije polarizacije, koje se spontano formiraju, a čije veličine ovise o električnom polju kojem je izložen feroelektrik. Ovakvo svojstvo ima potencijalno vrlo važnu mogućnost primjene u fizici samopobuđenih oscilatora, pa i metamaterijala ako se odziv na vremenski ovisnu elektromagnetsku pobudu pokaže širokopojasnim. U tom cilju, u okviru ovog rada trebat će formulirati problem heterostrukture dielektrik-feroelektrik u kojem se formiraju Landauove domene regulirane samosuglasno generiranim totalnim električnim poljem (u smislu povratne veze). Očekujemo da spoj odlikuje negativni električni kapacitet s maksimalnim odzivom u terahertznom području. Bit će analizirana strujno-naponska karakteristika kruga koja sadrži ovu heterostrukturu u smislu istraživanja dinamičke nestabilnosti koja bi vodila na samopobuđene oscilacije u terahertznom području. Druga motivacija za istraživanje "negativnog električnog kapaciteta", pokrivena u ranijim radovima, je svakako u razvoju digitalne tehnologije, napose tehnologije FET tranzistora korištenih u konstrukciji računalnih procesora. Pojavio se, naime, fundamentalni problem donje granice promjene potencijala na kanalu FET-a, koja izazove promjenu struje, od 60 mV po dekadi. Ovo je rezultiralo stagnacijom operativne frekvencije procesora na cca. 2 GHz, a ostvarivanje napretka u brzini obrade podataka postiže se isključivo paralelizmom jezgri. Dodani sloj feroelektričnog materijala na dielektrik ispod vrata FET-a efektivno se ponaša poput serijskog spoja dva kapacitora od kojih jedan ima negativni kapacitet. Isti se ponaša poput transformatora napona temeljenog na pozitivnoj povratnoj sprezi koja dolazi od mikroskopskih stupnjeva slobode feroelektrika. Ovaj mehanizam omogućava prevazilaženje granice od 60 mV po dekadi i ima potencijalno važne konsekvence za digitalnu tehnologiju.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Tania Natalie Robens

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Models with extended scalar sectors at future colliders

**Sadržaj teme:**

Particle physics is currently in one of the most exciting eras in the last 50 years. The discovery of the long-sought Higgs Boson, the last building block of the Standard Model (SM) of Particle Physics, at the Large Hadron Collider (LHC) at the European Center for Nuclear Research (CERN) in Geneva, Switzerland, in 2012 has led to the Nobel prize in 2013 and reinforced the enthusiasm of theoretical and experimental researchers. In this project, a model will be investigated that extend the scalar sector of the SM by additional physical states. Such models are already constrained by theoretical and experimental data, however, experimental uncertainties and limits in search regions still leave room for new physics models. In more detail, the student will investigate the parameter space of a model that incorporates 6 additional particles and currently serves as a benchmark for the experimental collaborations. The work will be build on an existing scan code for the models parameter space (publication in preparation) and will investigate possible signatures at future colliders, e.g. a muon-muon collider. One goal is to become acquainted with publicly available computational programs such as Madgraph and numerical simulations of parton collisions. A basic knowledge of the Standard Model of particle physics is assumed.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Tania Natalie Robens

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Approximating numerical evaluations using grids

**Sadržaj teme:**

In Quantum Field Theory, particle collisions are usually described using a perturbative approach, where subleading orders are supposed to only slightly modify the leading order description of a certain process. However, in practise these can be quite large and therefore need to be included in theoretical predictions for physical processes. For processes with many particles in the final state the typical tools used for these predictions are Monte Carlo Event Generators, that mimic the experimental results using numerical approaches. The inclusion of subleading contributions into such tools has been one of the major research fields in recent years. The inclusion of higher-order corrections however comes with caveats, as in principle divergent terms cancel in each order in perturbation theory; however, the numerical inclusion of such cancellations proves tedious. For this, theorists employ subtraction schemes, which shuffle terms with these divergences and subsequently allow for an analytic cancellation. In these schemes, some additional contributions need to be evaluated numerically. The aim of this project is to generate appropriate approximation functions for these numerical contributions and to interface them with an existing code describing processes at next-to-leading order. This will build on a bachelor style research project performed in Dresden in 2012, where first steps have already been taken into this direction; results were published in a conference proceeding. The code will be made publicly available if feasible.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)



**Mentor:** dr. sc. Anđelo Samsarov

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Kvazinormalni modovi fermionskih perturbacija Reissner-Nordstromove crne rupe

**Sadržaj teme:**

Kvazinormalni modovi (KNM) su svojstveni modovi disipativnog sustava. Perturbacije klasične gravitacijske pozadine crne rupe prirodno vode na kvazinormalne modove. Analiza i klasifikacija KNM spektara zahtijeva rješavanje problema svojstvenih vrijednosti za nehermitske operatore koji proizlaze iz odgovarajućih linearnih diferencijalnih jednažbi. U astrofizici, detekcija kvazinormalnih modova u eksperimentima vezanim uz potragu za gravitacijskim valovima direktno je vezana uz pojavu mogućnosti preciznog mjerenja mase i angularnog momenta crne rupe, kao i uz otvaranje novih mogućnosti testiranja opće teorije relativnosti. U ovom radu planira se izučiti kvazinormalne modove fermionskih perturbacija crne rupe Reissner-Nordström tipa.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Anđelo Samsarov

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Rerezentacije Lievih algebri i primjene u fizici

**Sadržaj teme:**

Simetrije imaju presudnu ulogu u fizici, posebno u kvantnoj teoriji, gdje se stanja čestica mogu klasificirati prema ireducibilnim reprezentacijama dane grupe simetrija. Teorija Lievih algebri pruža prirodan matematički okvir za njihov opis i ima važnu ulogu u modernim fizikalnim teorijama. Cilj rada je prezentirati matematičke osnove teorije reprezentacija Lievih grupa i algebri te ilustrirati njihovu primjenu na konkretne fizikalne probleme, koji se mogu prilagoditi interesima studenta. Konkretni fizikalni problemi uključuju široko područje tema kao što su: primjena simetrične grupe i tenzorskih metoda na dekompoziciju reprezentacija dane grupe na njene ireducibilne reprezentacije, detaljna rekonstrukcija Gell-Mann&Ne'emanove organizacijske sheme za klasifikaciju subatomske čestice prema SU(3) multiplima, izborna pravila, kao i primjene teorije Lievih algebri na klasične i kvantne integrabilne sustave. Više matematički orijentirani studenti mogu istražiti vezu između grupa simetrija i specijalnih funkcija matematičke fizike, kao primjerice vezu između grupe rotacija i kuglinih funkcija, te vezu između Euklidove grupe i Besselovih funkcija.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Neven Santic

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Automatizacija prikupljanja podataka u laboratoriju

**Sadržaj teme:**

Moderni laboratoriji u atomskoj fizici kontinuirano prikupljaju i bilježe podatke. Nadalje, zbog utjecaja koji temperatura i drugi atmosferski uvjeti imaju na vrlo osjetljive eksperimente, na primjer optičke atomske satove, nužno je mjeriti i bilježiti ove parametre kako bi se postigla rekordna točnost mjerenja vremena koju ovakvi satovi omogućavaju.

Cilj ovog rada je izrada sustava za kontinuirano mjerenje, bilježenje i interaktivno prikazivanje niza parametara u Laboratoriju za hladne atome na Institutu za fiziku. Mjerenje će se biti bazirano na Arduino ili LabJack platformama te je cilj kontinuirano mjeriti i bilježiti niz parametara: temperaturu na više točaka u laboratoriju, tlak u vakuumskoj komori, atmosferski tlak, signale na fotodiodama, itd. Podaci će se spremati u InfluxDB bazu podataka, a prikazivati će se pomoću web-aplikacije Grafana.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Neven Santic

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Kontrola propagacije svjetlosti u nehermitskom dielektricnom mediju

**Sadržaj teme:**

Iz osnova linearne algebre poznato je da hermitski operatori uvijek imaju realne spektre vlastitih vrijednosti. Međutim, tek relativno nedavno je otkriveno i da određene klase nehermitskih operatora, koji opisuju fizikalne sustave sa lokalnim izvorima i ponorima energije, mogu u posebnim slučajevima imati realne spektre. Iako se implikacije tog rezultata za kvantnu fiziku trenutno još istražuju, klasična optika pokazala se kao plodno tlo za razne primjene. U zadnjih nekoliko godina često se proučavaju dizajni nehermitskih dielektrika sa svojstvima koja je nemoguće postići s konvencionalnim materijalima. Jedno od tih atraktivnih svojstava je i propagacija laserske zrake kroz raspršujući nehermitski dielektrik bez modulacije intenziteta, što istog čini nevidljivim za vanjskog promatrača, te dosad nikada nije opaženo u eksperimentu. Cilj ovog diplomskog rada je dizajnirati eksperiment za opažanje tog fenomena u vrućim atomskim parama. Detaljna manipulacija optičkih potencijala, koju taj sustav omogućuje, pruža brojne nove mogućnosti za kontrolu propagacije laserske zrake.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Zdravko Siketić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Razvoj neutronske mikroprobe

**Sadržaj teme:**

Laboratorij za interakcije ionskih snopova, Instituta Ruđer Bošković, opremljen je s dva ubrzivača, 1 MV Tandentron i 6 MV Tandem Van de Graaff, pomoću kojih se ubrzavaju različiti ioni u jednu od postojećih 9 eksperimentalnih linija. Jedna od njih je i ionska mikroproba u kojoj se ioni energija nekoliko MeV, magnetske rigidnosti do  $R=14$ , fokusiraju na dimenzije od  $\sim 1 \times 1 \mu\text{m}^2$  (i manje). Prelaženjem snopa preko analizirane površine uzorka, može se raditi dvodimenzionalna karakterizacija (elementno mapiranje), a ujedno i modifikacija materijala. Ionska mikroproba se koristi i za ispitivanje efikasnosti detekcije različitih čestičnih detektora. Razvojem nuklearne fisije, a u zadnje vrijeme i fuzije, pojavila se je potreba i za karakterizacijom efikasnosti neutronske detektora. Za 2D karakterizaciju efikasnosti detekcije, potrebno je imati prostorno i energijski dobro definiran snop neutrona. Cilj diplomskog rada je da se proizvede mikro-sноп neutrona koji će se bazirati na postojećem sistemu za fokusiranje iona na mikronske dimenzije. U tu svrhu koristit će se dvije nuklearne reakcije:  ${}^7\text{Li}({}^1\text{H}, n){}^7\text{Be}$  i  ${}^1\text{H}({}^7\text{Li}, n){}^7\text{Be}$ . Da bi neutroni emitirani s površine nekoliko  $\mu\text{m}^2$  zadržali istu prostornu distribuciju, moraju biti prostorno dobro definirani. To se može postići neutronima na samom pragu reakcije  ${}^7\text{Li}({}^1\text{H}, n){}^7\text{Be}$  ili kinetički kolimiranim neutronima iz pripadne reverzne reakcije  ${}^1\text{H}({}^7\text{Li}, n){}^7\text{Be}$ . Diplomant će sudjelovati u razvoju postava za proizvodnju i detekciju mikro-neutrona.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike

**Mentor:** dr. sc. Zdravko Siketić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Mjerenje efikasnosti detekcije TOF-ERDA spektrometra

**Sadržaj teme:**

Među najvažnijim tehnikama za karakterizaciju i dubinsko profiliranje tankih filmova, debljine nekoliko stotina nm, nalaze se metode koje se baziraju na interakciji ionskih snopova (engl. Ion Beam Analysis, IBA) s materijalom. Ioni ubrzani na energije od  $\sim 1 \text{ MeV/A}$  pomoću Van de Graaff akceleratora, sudaraju se s metama, te se gledaju produkti raspršenja. Jedna od IBA metoda je elastično izbijanje iona u prednje kutove (engl. Elastic Recoil Detection Analysis, ERDA), gdje se bilježi energija i broj elastično izbijenih iona iz promatrane mete. Uz detekciju energije može se mjeriti i vrijeme proleta elastično izbijenih iona (eng. Time of Flight, TOF), što omogućuje odvajanje iona istih energija, a različitih masa. Jedna od odlika TOF-ERDA metode je odlična dubinska ( $\sim 2 \text{ nm}$  na površini) i masena razlučivost  $M/\Delta M \sim 40$ . Efikasnost detekcije izbijenih iona nije 100% i ovisna je o njihovoj vrsti i energiji. Grubo pravilo je da je efikasnost proporcionalna zaustavnoj moći iona (eng. Stopping power) u tankim folijama koje se koriste za generiranje START i STOP signala u TOF dijelu spektrometra. Laki ioni, poput H, D, He i Li imaju malu zaustavnu moć na energijama od nekoliko MeV-a i efikasnost spektrometra varira od 10-90%. Kao tema za diplomski predlaže se mjerenje efikasnosti detekcije TOF-ERDA spektrometra. Mjerenja će se raditi za ione H, He, Li i O u rasponu energija od 100 keV-10 MeV. U tu svrhu koristit će se Van de Graaff akcelerator i TOF-ERDA spektrometar u Laboratoriju za interakcije ionski snopova, Instituta Ruđer Bošković.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike

**Mentor:** dr. sc. Hrvoje Skenderović

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Generiranje svjetlosti s orbitalnim angularnim momentom pomoću svjetlosnog modulatora

**Sadržaj teme:**

Strukturiranje svjetlosti je važno područje eksperimentalne optike sa širokom primjenom u optičkim komunikacijama, optičkoj metrologiji, optičkoj manipulaciji, visokorazlučivoj mikroskopiji i drugim oblastima. Prostorni svjetlosni modulator (Spatial Light Modulator, SLM) je uređaj koji omogućuje kreiranje i detekciju strukturirane svjetlosti. SLM je matrica tekućih kristala raspoređenih u pojedinačne piksele koji se mogu individualno adresirati. U slučaju reflektivnog SLM-a, računalo se zadaje željena faza reflektiranog dijela svjetlosnog snopa koji pada na svaki piksel i tako se dobija prostorna fazna modulacija cijelog snopa, odnosno modulacija valne fronte. U biti, maska koja se pošalje na SLM je hologram koji se može numerički izračunati ili koristiti snimljeni hologram realnog predmeta. Na primjer, jednostavna sinusna maska predstavlja difrakcijsku rešetku, pa tako možemo mijenjati kut refleksije upadne zrake pomoću računala spojenog na SLM. Poznato je da je cirkularna polarizacija optičkog polja povezana sa spinskim angularnim momentom (SAM). Međutim, angularni moment povezan s azimutalnom faznom ovisnošću valne fronte definira orbitalni angularni moment (OAM) optičkog polja. Tek je krajem devedestih godina 20. stoljeća pokazano da Laguerre Gauss laserski (LG) modovi posjeduju dobro definiran OAM. Za razliku od spinskog, koji ima dvije vrijednosti, orbitalni kvantni broj  $l$  može imati (skoro) beskonačno mnogo vrijednosti,  $l=0, +/-1, +/-2, \dots$ . Upravo ta beskonačna dimenzionalnost OAM polja otvara mogućnosti za korištenje OAM svjetlosti za širokopoljnu komunikaciju, kvantnu kriptografiju, realizaciju entanglementa i dr. Generiranje i detekcija OAM laserskih zraka je najjednostavnija pomoću SLM uređaja. Pri izradi diplomskog rada, kandidat će se upoznati s matematičkim rješenjima Helmholtzove paraaksijalne jednačbe (Gauss, LG, Bessel...), radom SLM uređaja, generiranju transferne funkcije za OAM snopove i generiranju i detekciji OAM snopova u laboratoriju pomoću SLM uređaja.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Hrvoje Skenderović

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Izrada računalno generiranih holograma pomoću femtosekundnog lasera

**Sadržaj teme:**

Razlika između fotografije i holograma je u tome da fotografija bilježi intenzitet svjetla dok hologram bilježi intenzitet i fazu. Holografija se ostvaruje zapisivanjem interferentnih pruga između koherentnog svjetla i svjetla koje se reflektira od objekta. Za rekonstrukciju slike potrebno je hologram obasjati koherentnom svjetlošću. Rekonstruirana slika tada posjeduje sve osobine objekta poput dubine fokusa ili perspektive. Međutim, razvojem numeričkih metoda moguće je računalno generirati hologram (CGH) koji predstavlja sliku nekog realnog ili izmišljenog objekta. Ovakav CGH je 2D matrica realnih brojeva koja se može fizički zapisati u neki medij. Metode CGH se koriste u 3D oslikavanju (imagingu), holografskoj kriptografiji, pohranjivanju podataka i drugdje. Zapis CGH-a na neki medij je nekada bio ograničen kompliciranim litografskim metodama, a jedna od alternativa je direktno zapisivanje laserom. Jedinstvene osobine fs lasera omogućuju kvalitetan zapis visoke rezolucije (~8000 dpi) odnosno reprodukciju većih objekata iz holograma male veličine. Diplomski rad za nastavni smjer bi se sastojao u ovladavanju numeričkim metodama za izradu CGH i rekonstrukciju slike, te ispitivanju utjecaja pojedinih parametara na kvalitetu rekonstrukcije. Diplomski rad za studente istraživačkog smjera bi tome dodao i izradu holograma na reflektirajućoj površini metala pomoću fs lasera.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Ana Sunčana Smith

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Aktivni transport i topološke invarijante na primjeru epitelnih tkiva

**Sadržaj teme:**

Epitel je jedna od osnovnih skupina tkiva višestaničnih organizama a glavna im je značajka da kao tanke opne odjeljuju različite odjeljke (organe, kožu, krvožilni sustav i sl.). Njihova funkcionalnost je nužna za preživljavanje a također su ishodište većine tumora. Da bi izvršavala svoju funkciju, epitelna tkiva moraju održavati visoki nivo organizacije i topološke jedinstvenosti koja se uspostavljaju kontrolom populacijske dinamike te kompleksnim kooperativnim transportom stanica. S obzirom na vlastiti interes, studenti će se moći fokusirati na razvoj optimizacijskih tehnika, stohastičku geometriju, teoriju aktivnog transporta, razvoj simulacija baziranim na metodi dinamike disipativnih čestica, masivnom analizom multidimenzijskih podataka metodama umjetne inteligencije, ili na primjenu teorije i simulacija na konkretne probleme iz područja mehano-biologije tkiva.

Studenti će postati integralni dio jake interdisciplinarnе i internacionalne grupe te će im uz znanstveni rad na najsuvremenijoj opremi biti omogućen uvid u eksperimentalnu komponentu projekta i sudjelovanje u programu kojim se potiče znanstveno umrežavanje, razvoj vještina nužnih za modeliranje (programiranje, uvod u znanost o podacima, rad na superračunalima), te socijalne i prezentacijske vještine kao što su timski rad, sposobnosti prezentiranja ili pisanja na engleskom jeziku.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

<b>Mentor:</b>	dr. sc. Ana Sunčana Smith	<b>Institucija:</b> IRB
<b>Naslov teme:</b>	Stvaranje proteinskih domena u membranama i fazni prijelazi na u dvodimenzionalnim sustavima	
<b>Sadržaj teme:</b>	<p>Stanične membrane su dvodimenzionalne složene strukture koje sudjeluju u gotovo svim staničnim procesima. Njihova funkcionalnost ovisi o tome da se pravovremeno stvore i raspadnu funkcionalne proteinske domene koje su sadržajno vrlo jasno definirane. Vjeruje se da taj process ovisi o mnogočestičnim silama između konstitutivnih molekula (lipida i proteina), a kontroliran je transportom i aktivnim fluktuacijama u sustavu. Tijekom diplomskog rada student(ica) će se upoznati s osnovnim biološkim principima rada membrane u kontekstu fizike mekih materijala. S obzirom na vlastiti interes, kandidati će se moći fokusirati na doprinošenje teoriji faznih prijelaza u mnogočestičnim neravnotežnim sustavima, na razvoj numeričkih metoda za simulaciju tih sustava, ili na primjenu teorije i simulacija na konkretne probleme iz područja stanične imunobiologije.</p> <p>Studenti će postati integralni dio jake interdisciplinarne i internacionalne grupe te će im uz znanstveni rad na najsuvremenijoj opremi biti omogućeno i sudjelovanje u programu kojim se potiče znanstveno umrežavanje, razvoj vještina nužnih za modeliranje (programiranje, uvod u znanost o podacima, rad na superračunalima), te socijalne i prezentacijske vještine kao što su timski rad, sposobnosti prezentiranja ili pisanja na engleskom jeziku.</p>	
<b>Smjerovi:</b>	fizika (istraživački)	

<b>Mentor:</b>	dr. sc. Vernesa Smolčić	<b>Institucija:</b> PMF
<b>Naslov teme:</b>	Radiogalaksije u polju COSMOS	
<b>Sadržaj teme:</b>	<p>U radu će se analizirati sinkrotronsko zračenje radiogalaksija u polju COSMOS koristeći radiopodatke prikupljene radioteleskopima GMRT i Karl G. Jansky VLA na frekvencijama od 300, 600, 1400 i 3000 MHz. Na temelju tih podataka bit će izrađene mape spektralnih indeksa te proračunata magnetska polja i sinkrotronska starost radiogalaksija. Proučavat će se i okruženje tih radiogalaksija.</p>	
<b>Smjerovi:</b>	fizika (istraživački)	

<b>Mentor:</b>	dr. sc. Ivica Smolić	<b>Institucija:</b> PMF
<b>Naslov teme:</b>	Kozmološki singulariteti u formalizmu integrala po putovima	
<b>Sadržaj teme:</b>	<p>Naše trenutno razumjevanje globalne prirode svemira počiva na modelu evoluirajućeg prostorvremena s Velikim praskom, temeljito poduprtog nizom neovisnih opažanja i matematičkih teorema o singularitetima, koji ukazuju na to da je naša klasična slika svemira nepotpuna, sa singularitetom u njegovom "ishodištu". Hartle i Hawking su dali tzv. "no boundary" prijedlog u pokušaju konstrukcije konzistentne kvantne slike kozmološkog singulariteta u formalizmu integrala po putevima. U ovom radu bio bi analiziran tretman klasičnog singulariteta Velikog praska u formalizmu integrala po putevima, Hartle-Hawkingov konstrukcija "bez ruba" i novi rezultati vezani za ovaj problem.</p>	
<b>Smjerovi:</b>	fizika (istraživački)	

**Mentor:** dr. sc. Neven Soić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Spektroskopija atomskih jezgri proizvedenih u nuklearnoj reakciji  $10B + 14N$

**Sadržaj teme:**

Lake atomske jezgre s manje od 20 nukleona su zbog relativno malog broja relevantnih stupnjeva slobode pogodne za razumijevanje bazičnih koncepata nuklearne strukture. Mala gustoća pobuđenih stanja lakih jezgri i na relativno visokim energijama pobuđenja omogućuju kvalitetna istraživanja nuklearne spektroskopije. Razvijene su eksperimentalne tehnike i metode koje omogućuju potpunu karakterizaciju pojedinačnih stanja u lakim jezgrama, kao i teorijski modeli bazirani na temeljnim znanjima o interakciji pojedinačnih nukleona jakom silom. Usporedba eksperimentalnih i teorijskih rezultata omogućava detaljno razumijevanje građe lakih atomskih jezgri i olakšava modeliranje kompleksnijih nuklearnih sustava. U okviru diplomskog rada obraditi će se dio podataka iz eksperimenta izvedenog u laboratoriju INFN-LNL Padova u kojem je snop  $14N$  udario u metu  $10B$ . Produkti reakcija detektirani su u složenom detektorskom postavu koji je omogućio efikasnu koincidentnu detekciju više produkata reakcije s rezolucijom potrebnom za detaljno istraživanje visoko pobuđenih stanja, prvenstveno, izotopa ugljika ( $10,11,12,13,14C$ ). Cilj ovog eksperimenta je identifikacija pobuđenih stanja koja se raspadaju emisijom jezgara helija ( $3,4,6He$ ), njihova karakterizacija i povezivanje s mogućim klusterskim strukturama jezgri ugljika. Tijekom izrade rada student(ica) će se upoznati s osnovnim tehnikama i metodama eksperimentalnih istraživanja nuklearne spektroskopije i naučiti osnove obrade eksperimentalnih podataka. Za različite jezgre proizvedene u reakciji  $14N+10B$  odrediti će spektre pobuđenja tih jezgri, usporediti ih s poznatim podacima o tim jezgrama i naučiti kako povezati takve spektre s nuklearnom strukturom.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Davorin Sudac

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Određivanje kemijskog sastava tvari pomoću brzih neutrona

**Sadržaj teme:**

Brzi neutroni upotrebljavaju se u industriji duži niz godina, npr. u naftnoj industriji za kontrolu naftnih bušotina, u građevini za utvrđivanje vlažnosti tla, u rudarstvu za kontrolu kvalitete raznih ruda. Laboratorijski se upotrebljavaju za određivanje kemijskog sastava različitih uzoraka, a u novije vrijeme intenzivno se radi na konstrukciji neutronske senzora za in-situ kontrolu brodskih kontejnera, podvodnih objekata, detekciju minsko-eksplozivnih sredstava, bojnih otrova i sl. Zbog svoje prodornosti pogodni su za ne-destruktivnu analizu objekata zapakiranih i skrivenih iza prepreke, nedostupnih ljudskom oku kao i standardnim analitičkim metodama. U okviru ovog rada student će se upoznati s osnovama nuklearne fizike, interakcije neutrona i gama zraka s materijom, detekcije neutrona i gama zraka kao i različitim metodama upotrebe brzih neutrona u određivanju kemijskog sastava tvari.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Denis Sunko

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Geometrija u prostoru valnih funkcija

**Sadržaj teme:**

Valne funkcije se obično shvaćaju kao vektori u Hilbertovom prostoru kvantnih stanja. Međutim, čim je broj identičnih čestica veći od jedan, pojavi se i specifična algebarska struktura, koja isti Hilbertov prostor generira kao slobodni modul nad prstenom simetričnih polinoma. Matematički generatori slobodnog modula su fizički vakuumske valne funkcije. To su geometrijski likovi u prostoru valnih funkcija, koji kinematski ograničavaju gibanje čestica, a u laboratorijskom prostoru se neposredno uočavaju kao glave vrpce u spektrima konačnih sustava, ili posredno kao jake korelacije.

Već i veoma mali primjeri 2-4 čestice otvaraju niz zanimljivih pitanja međuodnosa ovog algebarsko-geometrijskog i uobičajenog funkcionalno-analitičkog shvaćanja valnih funkcija. Ovisno o afinitetu i predznanju studenta, u diplomskom radu bi se načelo neko od tih pitanja, možda i na razini samo jednog konkretnog primjera.

Moguća pitanja uključuju: (1) klasifikaciju generatora s obzirom na neku grupu simetrija; (2) korištenje algebarske strukture za nalaženje "dobrih" varijacionih funkcija; (3) vizualizaciju nodalnih hiperploha, tj. geometrijskih mjesta točaka gdje mnogočestična valna funkcija iščezava.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Denis Sunko

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Elektroni u suvremenim funkcionalnim materijalima

**Sadržaj teme:**

Ponašanje elektrona u mnogim suvremenim tehnološki važnim materijalima se ponekad razlikuje od udžbeničkog idealnog plina, bio to idealni plin slobodnih čestica (za metale) ili idealni plin magnetskih momenata (za lokalizirane elektrone u magnetskim materijalima). To može biti posljedica nezasjenjenih kulonskih potencijala u materijalu, ili međudjelovanja vodljivih elektrona sa lokaliziranim kvantnim stanjima. Bitan fizikalni sadržaj ovih problema se može proučavati na pojednostavljenim modelima, od kojih su neki okrenuti tumačenju određenih mjerenih pojava, a drugi rasvjetljavanju pojedinih teorijskih ideja. U širokom rasponu poznatih pristupa, od kojih se neki razvijaju i na Fizičkom Odsjeku u okviru znanstvenih istraživanja, postoje dobre mogućnosti prilagođavanja diplomskog rada interesima i temperamentu pojedinog studenta

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije



**Mentor:** dr. sc. Ana Sušac

**Institucija:** FER

**Naslov teme:** Učinak uporabe reprezentacija u nastavi na konceptualno razumijevanje kod studenata

**Sadržaj teme:**

Istraživanja u edukacijskoj fizici ukazuju na važnu ulogu reprezentacija u nastavi fizike. Različite reprezentacije, kao što su crteži, grafovi, dijagrami, formule i tekst, koriste se za uvođenje i proučavanje fizikalnih koncepata. Cilj ovog diplomskog rada je istražiti učinak uporabe različitih reprezentacija u nastavi na konceptualno razumijevanje kod studenata. Mjerit će se pokreti očiju studenata tijekom nastavne intervencije i rješavanja konceptualnih zadataka. Osim mjerenja učinkovitosti korištenja različitih reprezentacija, dobit će se uvid u distribuciju pažnje studenata tijekom nastavne intervencije.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Ana Sušac

**Institucija:** FER

**Naslov teme:** Mjerenje pokreta očiju studenata tijekom prepoznavanja interferencijskih i ogibnih uzoraka

**Sadržaj teme:**

Prepoznavanje interferencijskih i ogibnih uzoraka jedan je od očekivanih ishoda učenja valne optike. Prethodna istraživanja pokazala su da učenici i studenti imaju poteškoće s uočavanjem važnih značajki pojedinih uzoraka i prepoznavanjem razlika među sličnim uzorcima. Cilj ovog diplomskog rada je istražiti prepoznavanje interferencijskih i ogibnih uzoraka kod studenata tijekom rješavanja konceptualnih zadataka koji sadržavaju te uzorke. Mjerit će se pokreti očiju studenata tijekom rješavanja zadataka što će omogućiti dodatni uvid u studentske strategije i poteškoće.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Hrvoje Štefančić

**Institucija:** UNI

**Naslov teme:** Dinamika širenja zaraznih bolesti na kompleksnim mrežama

**Sadržaj teme:**

Kompleksne mreže su se pokazale kao iznimno široko primjenjiv koncept u opisu strukture i dinamike rasta raznorodnih kompleksnih sustava, kako u fizici, tako i u različitim drugim područjima znanosti. Nadalje, osobito su zanimljivi procesi koji se odvijaju na kompleksnim mrežama, poput procesa širenja zaraznih bolesti, zauzimanja stavova o pojedinim pitanjima ili prosljeđivanja paketa informacija. U istraživanju ovih pojava su od velike koristi bili pristupi i metode razvijene u statističkoj fizici i fizici kompleksnih sustava. Kompleksne mreže su postale sastavni element modeliranja u epidemiologiji budući da predstavljaju vrlo pogodan okvir za opis socijalnih kontakata. U kombinaciji s epidemiološkim modelima temeljenim na modelima odjeljaka (engl. compartmental models), kao što su npr. SIS (engl. Susceptible-Infected-Susceptible) i SIR (engl. Susceptible-Infected-Recovered) modeli, proučavanje epidemijske dinamike postaje dostupno u analitičkim i simulacijskim pristupima. Opći cilj teme diplomskog rada je proučiti dinamiku epidemijskih procesa na kompleksnim mrežama s osobitim naglaskom na utjecaj strukture i topologije kompleksne mreže na ključne osobine širenja epidemije kompleksnom mrežom poput epidemijskog praga, udjela broja zaraženih čvorova ili učinaka ciljane imunizacije pojedinih čvorova. Posebni cilj teme diplomskog rada je dublje proučiti SIS epidemijski model, istražiti problem utvrđivanja izvorišnog čvora epidemije iz informacije o već razvijenoj epidemiji na kompleksnoj mreži u SIS epidemijskom modelu te usporediti dobivene rezultate s analognim istraživanjima u SIR modelu.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Hrvoje Štefančić

**Institucija:** UNI

**Naslov teme:** Skalarna polja u fizikalnoj kozmologiji

**Sadržaj teme:**

Mnoštvo opažачkih podataka u fizikalnoj kozmologiji koji su postali dostupni u zadnjih dvadesetak godina ukazuju na iznimno zanimljiv sastav i strukturu svemira. Tako npr., uz pretpostavku da Opća teorija relativnosti ispravno opisuje gravitacijsko međudjelovanje i na kozmološkim prostorno-vremenskim skalama, više od 95% građe svemira su tzv. tamne komponente (tamna energija i tamna materija). Njihova fizikalna priroda nije do sada nedvosmisleno utvrđena, unatoč iznimno brojnim originalnim predloženim teorijskim objašnjenjima. S druge strane, brojna opažanja poput visoke razine izotropije kozmičkog mikrovalnog pozadinskog zračenja, mogu se dobro objasniti pretpostavljajući fazu ubrzanog širenja svemira u vrlo ranoj fazi njegove dinamike, tzv. fazu inflacije. Skalarna polja su do sada uspješno korištena u modeliranju mehanizma faze inflacije, kao i tamne energije, tamne materije i njihovog ujedinjenja. Opći cilj teme diplomskog rada je upoznati se s najvažnijim primjenama skalarnih polja u fizikalnoj kozmologiji, s osobitim naglaskom na opisu faza ubrzanog širenja svemira. Specifični cilj teme diplomskog rada je proučiti modele k-esencije, karakterizirane nekanonskim kinetičkim članom skalarnog polja, te njihovu primjenu na opis tamne energije i njene dinamike, kao i povezanost modela k-esencije s drugim pristupima modeliranju tamnih komponenti svemira.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Emil Tafra

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Povezivanje supravodiča s topološkim materijalima

**Sadržaj teme:**

Topološki zaštićeni površinska i rubna stanja u blizini supravodiča nude uzbudljive mogućnosti za stvaranje niza novijih nanotehnoloških spintronijskih i elektroničkih uređaja. No, kvalitetno povezivanje topoloških materijala sa supravodičima nije trivijalno. Jedna od mogućnosti je da se supravodljivost može „upisati“ u materijal, dopiranjem s rezolucijom litografije s elektronskim snopom. Topološki materijal s mogućnošću „pisanja“ supravodljivosti pruža potencijalno obećavajuću platformu za realizaciju niza topološki zaštićenih supravodljivih uređaja koje je trenutno teško ili nemoguće realizirati. U ovom radu su predviđena istraživanja elektronskih transportnih i magnetotransportnih svojstava specijalno proizvedenih nanostrukture u vrlo jakim magnetskom poljima do 16 T i širokom temperaturnom području od 0.3 K do 300 K. Studenti će se u ovom radu upoznati s eksperimentalnom aparaturom za mjerenje magnetotransportnih svojstava na niskim temperaturama, te s mjerenjem i kontrolom eksperimenta pomoću računala.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Emil Tafra

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Transportna svojstva slitina visoke entropije

**Sadržaj teme:**

Većina konvencionalnih slitina sastoji se od jednog, ili u rijetkim slučajevima dva, osnovna metala kojima se dodaju male količine drugih metala i/ili nemetala kako bi se poboljšala njihova svojstva. U posljednjih nekoliko godina veliku pažnju pak privlači novi tip slitina, tzv. slitine visoke entropije (eng. High-entropy alloys - HEA). Ove slitine su građene od velikog broja ( $\geq 5$ ) elemenata u približno ekvimolarnom omjera. Ovakva građa otvara potencijal za istraživanje velikog broja novih slitina raznih struktura i svojstava. U ovom radu predviđena su mjerenja promjene električnog otpora s temperaturom, električnog otpora u magnetskom polju (magnetootpora) i Hallovog efekta u vrlo jakim magnetskom poljima do 16 T i širokom temperaturnom području od 0.3 K do 300 K, za izabrane slitine visoke entropije. Rezultati mjerenja će nam omogućiti određivanje temperature supravodljivog prijelaza, njene ovisnosti o magnetskom polju, koncentracije nosioca naboja, njihove pokretljivosti i drugih važnih elektronskih parametara. Studenti će se u ovom radu upoznati s eksperimentalnom aparaturom za mjerenje magnetotransportnih svojstava na niskim temperaturama, te s mjerenjem i kontrolom eksperimenta pomoću računala.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Emil Tafra

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Električni krug za Lorenzov atraktor

**Sadržaj teme:**

Edward Lorenz je 1963. g. objavio svoj poznati sistem vezanih nelinearnih diferencijalnih jednažbi prvog reda. Rješenja ako se nacrtaju u tri dimenzije daju putanju koja se zavija u neponavljajućem uzorku leptirolikog oblika. Cilj rada je izgraditi analogno računalo, odnosno električni krug za analogno rješavanje ovog sistema diferencijalnih jednažbi. Rješenja će se promatrati na osciloskopu i proučavati utjecaj promjene parametara. Osim toga predviđeno je proučavanje teorijske pozadine ovog fenomena.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Eduard Tutiš

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Odmatanje elektronskog spektra superstrukture u pristupu aproksimacije čvrste veze

**Sadržaj teme:**

Kristalne superstrukture posljedica su strukturnih faznih prijelaza ili interkalacije. Posljedice dopiranja materijala također je moguće izučavati kroz sustave s velikim superćelijama. Dok god su deformacije kristalne rešetke pri super-strukturiranju malene, ili je pak takva koncentracija interkaliranih atoma, eksperimentalno mjerene elektronske strukture su u pravilu vrlo slične onima u roditeljskoj fazi. U standardnim proračunima vrpca ta se sličnost uglavnom teško uočava za velike superstrukture, radi drastične promjene u obliku i volumenu jedinične ćelije u inverznom prostoru. Istovremeno je otežano opažanje i promjena u spektru uzrokovanih superstrukturiranjem. Pristup preko aproksimacije čvrste veze omogućuje da se ti uvidi povrate, te da se učinci superstrukturiranja temeljito i brže izuče, a spektri prezentiraju na način kako ih vidi eksperiment kutno razlučive fotoemisije. U radu će se proučiti ovaj pristup kroz primjere superstrukture i elektronskih spektara čiji su parametri dobiveni ab-initio proračunima, ili su mjereni u zadnje vrijeme. Težište rada bi će na oblikovanju procedure i koda za brzo i lako odmatanje, simulaciju i prikaz elektronskih spektara superstrukture.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Martina Vrankić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Mikrostrukturna svojstva nanočestica ZnO istraživana difrakcijom rendgenskog zračenja pri visokom tlaku

**Sadržaj teme:**

Cinkov oksid (ZnO) je materijal velike termičke i kemijske stabilnosti, te niske toksičnosti, što ga čini vrlo pogodnim za primjenu u tehnologiji. Optimalna kombinacija optičkih, električnih i mikrostrukturnih svojstava, široki energijski procijep i velika slobodna energija vezanja ekscitona čine ZnO atraktivnim kandidatom za izradu optoelektroničkih uređaja koji rade u plavom i ultraljubičastom području spectra [1,2]. Kako bi se poboljšala željena svojstva određenog materijala i njegova funkcionalnost tzv. usko grlo svakog istraživanja predstavlja pronalazak optimalne kombinacije mehaničkih, fizičkih i kemijskih svojstava materijala. U području istraživanja nanočestica ZnO postoji značajan broj znanstvenih radova u kojima je težište stavljeno na postupak priređivanja ovog materijala, sa ciljem da se postigne optimalna kontrola veličine, oblika i disperzibilnosti čestica. Međutim, vrlo je mali broj dosadašnjih istraživanja u kojima se detaljno pojašnjava sprega mikrostrukturnih parametara (veličine čestica, naprezanja, deformacija) u uvjetima tlaka i temperature koji nisu standardni, a koji su jedan od odlučujućih parametara kada je u pitanju direktna primjena ovog materijala. Poznato je da ZnO pripremljen pri uvjetima standardnog tlaka i temperature kristalizira u heksagonskom sustavu (vurcitna struktura), dok pri visokom tlaku prelazi u kubičnu strukturu kamene soli [3] koja je izuzetno pogodna za primjenu u optoelektronici,[2] s obzirom na činjenicu da se u takvu strukturu može ugraditi značajno veća koncentracija dopanja. Pored toga, ZnO može kristalizirati i u kubičnoj strukturi sfalerita, koja se stabilizira isključivo heteroepitaksijalim rastom na kubičnim podlogama [4]. Yang i sur. su 2016. godine primjenom in situ sinkrotronskog rendgenskog zračenja pri visokom tlaku opazili da tijekom faznog prijelaza vurcitne strukture u kubičnu strukturu dolazi do pojave unutarnjeg elastičnog naprezanja na određenim ravninama u kristalnoj rešetki ZnO, što se pripisuje neusklađenosti kristalne rešetke vurcitne i kubične faze [5]. Pri tome unutarnja elastična naprezanja dovode do omekšavanja obiju kristalnih struktura tijekom faznog prijelaza pri uvjetima visokog tlaka. Navedeni rezultati pružili su čvrste dokaze o postojanju elastične deformacije uslijed fazne promjene pri visokom tlaku, te njezinom utjecaju na fizikalna svojstva materijala U okviru predložene teme student/ica će se upoznati s metodom difrakcije rendgenskih zraka i njezinom primjenom, te proučiti utjecaj promjene tlaka (~0-30 GPa) na strukturne i mikrostrukturne parametre odabranih uzoraka ZnO nastale uslijed faznog prijelaza pri visokom tlaku.

[1] Pearton, S. J.; Norton, D. P.; Ip, K.; Heo, Y. W.; Steiner, T. Prog. Mater. Sci. 2005, 50, 293. [2] Ozgur, U.; Alivov, Ya. I.; Liu, C.; Teke, A.; Reshchikov, M. A.; Dogan, S.; Avrutin, V.; Cho, S.-J.; Morkoc, H. J. Appl. Phys. 2005, 98, 041301. [3] Mujica, A.; Rubio, A.; Munoz, A.; Needs, R. J. Rev. Mod. Phys. 2003, 75, 863. [4] Kogure, T.; Bando, Y.; J. Electron Microsc. 1993, 47, 7903. [5] Yan, X.; Dong, H.; Li, Y.; Lin, C.; Park, C.; He, D.; Yang, W. Sci. Rep. 2016, 6, 24958.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Nataša Vujičić

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Optičko oslikavanje uzoraka tehnikom polarizacijski osjetljive SHG mikroskopije

**Sadržaj teme:**

Dihalkogenidi prijelaznih metala (TMD) čine veliku obitelj slojevitih kristalnih materijala koji se jednako efikasno poput grafena mogu izolirati u svojem jednoslojnom obliku. TMD materijali, kemijske formule  $MX_2$ , gdje je M prijelazni metal, a X S, Se ili Te posjeduju jedinstvena i vrlo obećavajuća elektronička i optička svojstva.

Neovisno govorimo li o hetero ili homoslojevima TMD-a, možemo iskoristiti simetrijska svojstva tih materijala: odsustvo inverzne simetrije u neparnom broju slojeva TMD-a ukazuje da su mogući nelinearni procese drugog reda kao što je generacija drugog harmonika (SHG). Korištenjem SHG mikroskopije, moguće je identificirati kut rotacije između slojeva. Polarizacijski osjetljiva SHG mikroskopija je neinvazivna optička tehnika koja nam pruža informaciju o kristalnoj kvaliteti uzorka, kristalografskoj orijentaciji uzorka i broju slojeva.

Na Institutu za fiziku postoji eksperimentalni postav za polarizacijski razlučiva SHG mjerenja, koji se temelji na femtosekundnom laseru koji emitira pulseve u NIR području, na 800 nm. U trenutnoj izvedbi postava, moguće je mjeriti polarizacijski signal u jednoj točki uzorka, koja je definirana veličinom fokusa laserske zrake. Pozicioniranje uzorka vrši se pomoću motoriziranog XY translacijskog nosača uzoraka. Naprednija varijanta ovog postava omogućila bi optičko oslikavanje (tzv. imaging) uzorka, odnosno, izradu optičkih mapa uzorka za što je potrebno (i) automatizirati pokretanje nosača uzorka i (ii) povezati pomicanje translatora s uređajem za prikupljanje signala dobivenog za dani položaj nosača uzorka.

Student/studentica bi aktivno sudjelovao/sudjelovala u unaprijeđenu postojećeg postava kroz izradu programa za usklađeno upravljanje kretanjem nosača uzoraka, prikupljanje signala s detektora te i pohranu izmjerenih podataka. Takav program izradio bi se u Labview ili nekom drugom programskom jeziku. Po izradi programa, napravili bi i kontrolna mjerenja na jednoslojnim i višeslojnim 2D uzorcima te analiza optičkih slika.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Tomislav Vuletić

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Detekcija vezanja stanica algi na bioreceptore korištenjem kvarcne mikrovage

**Sadržaj teme:**

Izvršni biološki pokazatelji promjena u okolišu su fitoplanktonske vrste, čije su glavne karakteristike kratak životni ciklus te brza reakcija na promjene u okolišu. Student će istražiti viskoelastične značajke vezanja na površinama i viskoelastična svojstva (rigidnost), dviju vrsta algi. Alge će se deponirati na senzor kvarcne mikrovage s praćenjem disipacije (quartz-crystal microbalance with dissipation monitoring, QCM-D). Pratit će se promjenu frekvencije i disipacije senzora i njihov omjer u vremenu. Promjena frekvencije, koja se povezuje s masom uhvaćenom na senzoru usporedit će se s brojem stanica dobivenim mikroskopiranjem površine senzora. Korelirat će se koncentracija algi u otopini, broj algi uočenih na senzoru i vrijednosti promjene frekvencije. Ustanovit će se može li jakost disipacije poslužiti za razlikovanje vrsta algi koje karakteriziraju različite rigidnosti stanica.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

**Mentor:** dr. sc. Tomislav Vuletić

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Detekcija formiranja DNK-origamija pomoću FCS (fluorescencijska korelacijska spektroskopija)

**Sadržaj teme:**

DNK lanci povezuju se vrlo specifično, ovisno o komplementarnosti sekvenci nukleotida. Stoga se pomoću njih mogu konstruirati nano-strukture (tzv. DNK origami) koje mogu imati ulogu same po sebi ili kao predlošci strukturama drugih materijala (metal, keramika, polimer). DNK origami tetraedre koristili smo za formiranje uređenih struktura na površini 2D materijala. Kako bismo unaprijedili naše znanje o formiranju tetraedara planiramo praćenje koeficijenta difuzije, u vodenom mediju, četiriju komponenti iz kojih se formiraju u otopini. Student bi na Institutu za fiziku radio na FCS postavu (fluorescencijska korelacijska spektroskopija), a također i radio jednostavne pripreme potrebnih otopina. FCSom bi se mjerio koeficijent difuzije slobodnih fluorescentno obilježenih fragmenata DNK (oligomeri jednolančane DNK) prilikom koraka kompleksiranja s ostala tri sastavna dijela (neobilježeni oligomeri). Cilj je usporediti efikasnost i pouzdanost formiranja tetraedra u jednom koraku (miješanje sve 4 komponente odjednom) i u postepenim koracima, dodavanjem jedne po jedne komponente.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Goran Zgrablić

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Primjena strojnog učenja za korekciju artefakata u Fluorescencijskoj korelacijskoj spektroskopiji (FCS)

**Sadržaj teme:**

Da bi se dobio uvid u kompleksne biomolekularne interakcije na razini jedne molekule ili jedne stanice često se koristi Fluorescencijska korelacijska spektroskopija (FCS) koja direktno mjeri difuzijsku konstantu biomolekule označenu nekim fluorescentnim markerom. Na Institutu za fiziku sagrađen je FCS invertirani mikroskop koji je testiran i kalibriran standardnim protokolom gdje se autokorelacijske funkcije fitaju modelom koji pretpostavlja gausijanski oblik MDFa (Molecular Detection Function). U ovom diplomskom radu testirat ćemo drugačiji protokol kalibracije FCS mikroskopa koja zadnjih godina dobija na popularnosti. Ta metoda koristi strojno učenje za analizu vremenskih nizova da bi tu moćnu eksperimentalnu tehniku učinila otpornom na optičke artefakte samog uređaja.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Vinko Zlatić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Utjecaj staničnih dioba na reologiju bioloških tkiva kroz dalekodosežne elastične interakcije

**Sadržaj teme:**

Tokom razvoja višestaničnih organizama potrebno je preoblikovati biološka tkiva. Tkiva se sastoje od stanica koje diobama doprinose rastu organizma. Do promjene oblika tkiva dolazi heterogeno distribuiranim diobama stanica, no također i lokaliziranim preslagivanjem stanica što dovodi do trajne, plastične deformacije tkiva. Takva preslagivanja uvelike podsjećaju na elementarne plastične događaje u amorfnim krutinama poput gustih emulzija, koloidnih stakala ili pjena, gdje dolazi do preslagivanja čestica poput kapljica, koloidnih čestica ili mjehurića, respektivno. Nelinearna reologija takvih amorfnih krutina uvelike je određena dalekodosežnim elastičnim interakcijama i posljedičnim korelacijama među plastičnim događajima, a njihova statistička svojstva mogu se proučavati elastoplastičnim modelima koji efektivno opisuju preslagivanje čestica na mezoskopskoj skali. Utjecaj elastičnih interakcija na preslagivanje stanica i reologiju bioloških tkiva aktivno je područje istraživanja, pri čemu je uloga staničnih dioba dosad promatrana kao nezavisan doprinos fluktuacijama mehaničkog stresa. Sveobuhvatan opis mehaničkih interakcija staničnih dioba i preslagivanja stanica omogućio bi istraživanje njihovih korelacija te bolje razumijevanje plastičnih deformacija u biološkim tkivima.

Izrada diplomskog rada uključivat će dizajn i implementaciju staničnih dioba u mezoskopskom elastoplastičnom modelu te njihove interakcije sa preslagivanjem stanica. Cilj rada je opis korelacija koje proizlaze iz takvih interakcija i utjecaja staničnih dioba na reologiju bioloških tkiva korištenjem numeričkih simulacija mezoskopskog modela. Ovisno o interesu studenta i raspoloživom vremenu, analitički pristup problemu mogao bi se razviti kroz aproksimaciju modela u teoriji srednjeg polja.

Izrada rada biti će u suradnji sa istraživačkom grupom Marka Popovića na Max Plack Institutu za Fiziku Kompleksnih Sistema u Dresdenu.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)



**Mentor:** dr. sc. Vinko Zlatić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Opis realnih mreža pomoću Stohastičkog blok modela

**Sadržaj teme:**

Teorija kompleksnih mreža danas predstavlja jedno od najinteresantnijih područja istraživanja u interdisciplinarnim znanostima. Mreže u osnovi predstavljaju topologiju interakcija između konstituenata kompleksnog sustava. Čvorovi predstavljaju konstituente (recimo ljude ili biološke vrste ili vrste molekula), a bridovi predstavljaju egzistenciju interakcije između konstituenata. Jedan od trajnih problema opisa mreža je određivanje najboljeg modela za reprodukciju realnih podataka. Stohastički blok model (SBM) je model baziran na Bayesianском pristupu maksimizacije logaritma uvjetne vjerojatnosti parametara, te se smatra trenutno najbolje teorijski podkrijepljenim modelom kompleksnih mreža.

U ovom radu student će se upoznati: 1. S stohastičkim block modelom i nekim njegovim varijantama

2. S upotrebom graph-tool biblioteke programskog jezika python

3. S heuristikama za odabir modela kompleksnih sustava.

Student će prvo naučiti osnove teorije stohastičkog blok modela. Nakon toga će nekoliko interesantnih mreža izvučenih iz podataka koje ranije nisu bile adekvatno teorijski opisane pokušati opisati uz pomoć SBM-a. Budući da će mreže pokušati opisati s nekoliko inačica SBM-a, nakon toga će koristiti heuristike bazirane na konceptima minimalne duljine deskripcije, kako bi odabrao najpovoljniji model za opis mreže. Fokus realnih mreža koje će se proučavati će biti financijske mreže i socijalne kontaktne mreže.

**Smjerovi:** fizika (istraživački), prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Petar Žugec

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Primjena statističkih metoda u analizi Brownovog gibanja

**Sadržaj teme:**

Cilj je diplomskog rada simulirati slučajnog šetača te primjeniti statističke metode u analizi njegove putanje, s posebnim naglaskom na značenje prvih statističkih momenata, važnost nepristranih procjenitelja i vezu sa središnjim graničnim teoremom. Programiranje se može provesti u programskom jeziku po izboru studenta, no preferabilno u C++ ili Python. Ovisno o napretku studenta, problemu se može pristupiti i s aspekta jednadžbe difuzije.

**Smjerovi:** prof. fizike, prof. fizike i informatike