

# Prijedlozi tema za diplomske radove u 2016.

**Mentor:** dr. sc. Darko Androić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Elektromagnetski valovi; njihov koncept i vizualizacija u nastavi fizike

**Sadržaj teme:**

Pojam elektromagnetskog vala je u XX. stoljeću prešao iz strogo znanstvene u civilizacijski općeprihvaćenu sintagmu. U isto vrijeme nastavna satnica posvećena valnim gibanjima i pojavama je značajno reducirana. Istina pojavili su se novi simulacijski alati koji pokušavaju unaprijediti usvajanje znanja i shvaćanja vezanih uz valne pojave, napose pojavu elektromagnetskih valova. Nažalost ostaje dojam da učenici nakon srednje škole nemaju valjano razvijeno konceptualno shvaćanje elektromagnetskih valova već samo barataju s par oktroiranih definicija vezanih uz problematiku.

S obzirom da se radi o kulturološki i civilizacijski značajnom pojmu ovaj dio nastave fizike trebalo bi detaljnije ispitati te ga pokušati vrednovati u svjetlu modernih shvaćanja nastave fizike. U diplomskom radu se pretpostavlja da je student sposoban uočiti temeljne pojmove vezane uz fenomen te njihovu usvojenost valorizirati nekim testom objektivnog tipa.

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

**Mentor:** dr. sc. Darko Androić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Spektrometar neutralnih čestica

**Sadržaj teme:**

Precizna mjerenja distribucije partonskih komponenti unutar protona (valentnih i virtualnih kvark-antikvark parova već više od desetljeća provodi se na Thomas Jefferson National Accelerator Facility u okviru različitih Hall C kolaboracija spektrometrima visoke razlučivosti impulsa nabijenih čestica (HMS SHMS) i polariziranim elektronskim snopovima visoke energije (6 i 12 GeV). Ovako postavljena precizna mjerenja u pravilu predstavljaju testove standardnog modela na niskim energijama i daju rezultate komplementarne istraživanjima fizike elementarnih čestica na velikim sudarivačima. U novoj generaciji preciznih mjerenja poopćenih partonskih distribucija značajnu ulogu igrat će spektrometar neutralnih čestica (neutralni pioni i gama čestice). Detekcija neutralnih visokoenergijskih čestica predstavlja novi izazov u dizajniranju detekcijskih sustava. Tijekom diplomskog rada očekuje se da student ovlada konceptima detekcije nabijenih čestica, te principima rada i rekonstrukcije neutralnih čestica u detektorima dizajniranim za njihovo mjerenje.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

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

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Stabilizacija optičkog frekventnog češlja

**Sadržaj teme:**

Spektar optičkog frekventnog češlja čini velik broj diskretnih, pravilno raspoređenih linija - otud i naziv frekventni češalj. Frekventni češalj može se koristiti za mjerenje optičkih frekvencija na analogan način na koji se ravnalo koristi za mjerenje duljine. A sam spektar češlja u potpunosti je definiran pomoću dvije radiofrekvencije - frekvencije repeticije pulseva (frep) i frekvencije faznog pomaka između dva uzastopna pulsa (f0). No da bi se frekventni češalj mogao upotrijebiti u eksperimentu dvije spomenute frekvencije trebaju biti aktivno stabilizirane povratnim vezama, a njihova vrijednost treba biti vrlo točno definirana. Cilj diplomskog rada je usvojiti i implementirati eksperimentalne tehnike aktivne stabilizacije spektra frekventnog češlja, tj. tehnike stabilizacije i određivanja frekvencija frep i f0, u odnosu na referentni laser čija je frekvencija dobro poznata.

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

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

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Radijativna sila na atome uzrokovana optičkim frekventnim češljem

**Sadržaj teme:**

Radijativna sila kojom svjetlost kontinuiranog lasera djeluje na atome dobro je poznata i uvelike se koristi u eksperimentima. S druge pak strane, optomehanički efekti povezani s djelovanjem niza ultrakratkih laserskih pulseva (tj. optičkim frekventnim češljem) na atome neusporedivo su manje poznati. Recentna istraživanja pokazala su čak i da trenutno prihvaćeni model opisa sile koju frekventni češalj uzrokuje na atome vodi na eksperimentalna predviđanja koja nije moguće potvrditi u stvarnom eksperimentu. Stoga su nužna daljnja istraživanja, kako teorijska tako i eksperimentalna, međudjelovanja atoma sa svjetlošću frekventnog češlja i s tim povezane radijativne sile na atome. U okviru diplomskog rada teorijski će se opisati dvofotonska pobuda frekventnim češljem atoma s tri nivoa. Razmotrit će se uvjeti koji vode na optimizaciju dvofotonske pobude, a rezultatna sila na atome analizirat će se kroz usporedbu s radijativnom silom u slučaju pobude atoma s dva nivoa, sve u kontekstu primjene frekventnog češlja za lasersko hlađenje atoma.

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

**Mentor:** dr. sc. Ivan Balog

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Dinamika domenskih zidova u sustavima s neredom

**Sadržaj teme:**

U posljednje vrijeme bilježi se snažan rast istraživanja utjecaja nereda na sustave u kojima su efekti dugodosežnih korelacija isprepleteni s utjecajem nereda. Interes za takve sustave je kako teorijske tako i eksperimentalne prirode, ali također i sa strane primjena u modernim tehnologijama. Na primjer, procesi zapinjanja ("`depinning") koji su prisutni u takvim materijalima, i koje želimo proučavati, direktno utječu na brzinu i disperziju energije u elektroničkim uređajima.

Fokusirati ćemo se na metalno staklo Fe<sub>x</sub>Ni<sub>80-x</sub>B<sub>18</sub>Si<sub>2</sub>. Razlog je u tome što taj spoj zbog svojih karakteristika omogućava promatranje međugre dva fizikalno zanimljiva efekta: a) termodinamičkog faznog prijelaza i b) relaksacijske dinamike domenskih zidova prilikom procesa zapinjanja. S magnetske strane, sustav predstavlja 3D klasični Heisenbergov model, ali zbog toga što je pripremljen brzim kaljenjem, on pokazuje karakteristike strukturnog stakla koje u konačnici uvode orijentacijski nered u interakciji spinskih stupnjeva slobode. Takav nered uzrokuje zapinjanje domenskih zidova u feromagnetskoj fazi što rezultira u netrivialnoj, fraktalnoj hrapavosti domenskog zida koji razdvaja domene (zrna) različite orijentacije magnetizacije. Karakteristike i dinamika domenskog zida odražavaju se na magnetsku susceptibilnost. Preliminarna istraživanja pokazala su da susceptibilnost ispod termodinamičkog prijelaza pokazuje potpise fizike lavina (naglih nelokalnih promjena u sustavu), što je u skladu s fizikom zapinjanja domenskih zidova i spore relaksacije pri konačnim temperaturama ("`creep motion"). Također utjecaj na parametar udjela atoma željeza "`x" pruža mogućnost direktne kontrole nad parametrima jakosti zapinjanja u sustavu.

Diplomski rad je prvenstveno teorijske prirode, ali naglasak može biti stavljen i na eksperimentalne aspekte. Cilj rada jest razumijevanje doprinosa AC magnetske susceptibilnosti u fenomenološkom modelu izvedenom iz modela nasumične mnogostrukosti ("`random elastic manifold model"). Analitički rezultati usporedili bi se s mjerenim rezultatima i diskutirale granice primjenljivosti. Student bi također aktivno sudjelovao u mjerenjima AC susceptibilnosti u laboratoriju M. Prestera na Institutu za Fiziku.

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

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

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Optomehanika hladnih atoma uzrokovana femtosekundnim laserskim zračenjem

**Sadržaj teme:**

Mehaničko djelovanje laserskog zračenja kontinuirane emisije (cw) na atome predstavlja centralni dio istraživanja u području atomske fizike već zadnjih nekoliko desetljeća. Sila zračenja (ili Dopplerova sila) čini osnovu za lasersko hlađenje i uhvat atoma u stupicu, čime je omogućeno stvaranje dovoljno gustih oblaka hladnih atoma. U zadnjih petnaest godina nekoliko Nobelovih nagrada dodjeljeno je upravo za istraživanja u ovom području. Hladni atomi omogućili su stvaranje novih stanja materije, kao što su Bose-Einstein-ov kondenzat i degenerirani Fermijev plin, čime je utemeljeno jedno od najperspektivnijih i najproduktivnijih područja suvremene znanosti. Nasuprot opsežnom i dobro shvaćenom području cw laserom inducirane atomske optomehanike, istraživanja mehaničkog utjecaja uslijed interakcije s nizom ultrakratkih pulseva su oskudna. Štoviše, nedavna preliminarna mjerenja radijativne sile femtosekundnog zračenja na oblak hladnih atoma osporavaju prethodne teorijske modele, te ukazuju na potrebu za daljnim eksperimentalnim potvrdama. U sklopu diplomskog rada eksperimentalno će se istraživat radijativna sila femtosekundnog zračenja na oblak hladnih atoma zarobljenih u magneto-optičkoj stupici (MOT-u). Pri tome će se raditi na razvoju i uvođenju novih eksperimentalnih tehnika u drugu generaciju eksperimenta s hladnim atomima na Institutu za fiziku.

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

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

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Stabilizacija poluvodičkih lasera za optičku manipulaciju hladnih atoma

**Sadržaj teme:**

Laseri velike spektralne čistoće i stabilnosti izuzetno su važni u područjima optičkih komunikacija, laserskog hlađenja i frekventnih standarda. Moderne tehnike za stabilizaciju frekvencije emitiranog laserskog zračenja obuhvaćaju niz kompleksnih procedura, u kojima se isprepliću područja optike, spektroskopije, elektronike i Fourierove analize. Točno poznavanje absolutnog iznosa i stabilnosti frekvencije laserskog zračenja nužno je za provođenje eksperimenata s hladnim atomskim plinovima. Tema diplomskog rada obuhvaća upoznavanje s principima rada poluvodičkih lasera u konfiguraciji vanjskog rezonatora (eng. external cavity laser diodes ECDL), te tehnikama stabilizacije frekvencije emitiranog zračenja. Frekvencija lasera stabilizirat će se koristeći tri različite tehnike: a) direktna modulacija laserske frekvencije pomoću modulacije struje, b) indirektna modulacija laserske frekvencije koristeći akusto-optički modulator i c) modulacija atomskih energijskih nivoa pomoću modulacije vanjskog magnetskog polja. Razvit će se tehnika heterodine spektroskopije koja će se upotrijebiti za mjerenje frekventne stabilnosti laserskog zračenja i usporedbu navedenih tehnika stabilizacije.

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

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

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Polaroni – kvazičestice koje uporno iznenađuju svojim učincima

**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 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. Zadnja 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 polaronske 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. Posebno zanimljiva je ovisnost ARPES spektara o dopingu, 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. Forró, M. Grioni, Tunable Polaronic Conduction in Anatase TiO<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).

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

**Mentor:** dr. sc. Neven Žitimir Barišić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Visokotemperaturna supravodljivost – ponašanje fermijevske tekućine i lokalizacija jedne šupljine po jediničnoj ćeliji

**Sadržaj teme:**

Pojava visokotemperaturne supravodljivosti pokazala se jednim od najzbudljivijih fizikalnih problema, koji unatoč iznimnim naporima znanstvene zajednice ni sada nakon više od 30 godina istraživanja još uvijek nije riješen. Najveći problem u tom smislu predstavljaju kompleksnost materijala u kojima se ona pojavljuje, koje onda prate i vrlo složeni fazni dijagrami. Tako se zbog prisutnosti antiferomagnetske faze, jakih elektronskih međudjelovanja, pojave tzv. pseudoprocijepa, itd., elektronska svojstva visokotemperaturnih supravodiča na bazi spojeva bakrenih oksida obično tumače kao vrlo nestandardna (nefermijevska) i egzotična. Dvije teme za diplomske radove koje se ovdje predlažu ušle bi u okvir eksperimentalnih istraživanja koja su unazad nekoliko godina pokazala da je ovu vrlo kompliciranu situaciju s pojavom visokotemperaturne supravodljivosti moguće pokušati objasniti promjenom pojedinih paradigmi, uz uvođenje sljedećih osnovnih polazišta: 1) vodljivi nosioci naboja koji sudjeluju u pojavi visokotemperaturne supravodljivosti slijede dobro poznato fermijevsko ponašanje; 2) pojava pseudoprocijepa odgovara postupnoj (Mottovoj) lokalizaciji točno jednog nosioca naboja po jediničnoj ćeliji; 3) tzv. bozonsko ljepilo dolazi od bozonskih pobuđenja jednog lokaliziranog naboja po jediničnoj ćeliji, što vodi na novi oblik ekscitonskog mehanizma za supravodljivost. Prva tema ===== U okviru teme prvoga diplomskog rada istraživanja bi bila vezana za pitanje univerzalnosti vremena raspršenja koje karakteriziraju fermijevske tekućine. Pri tome bi se razmatrali fazni dijagrami visokotemperaturnih supravodiča na bazi spojeva bakrenih oksida. Diplomskim radom nastojao bi se napraviti kvalitetan uvod u problem te sažet i jasan pregled eksperimentalnih rezultata. Druga tema ===== U okviru teme drugoga diplomskog rada razmatrala bi se veza između supravodljivosti i lokalizacije jednoga naboja unutar jedinične ćelije. Diplomskim radom nastojao bi se dobiti pregled relevantne literature, kao i konkretniji uvid u osnovne aspekte problema.

N. Barišić et al., Nature Phys. 9, 761, 2013. N. Barišić et al., Proc. Natl. Acad. Sci., 110, 12235 (2013). S. I. Mirzaei et al., Proc. Natl. Acad. Sci., 110, 5774 (2013). M. K. Chan et al., Phys. Rev. Lett. (2014).

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Mario Basletić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Niskodimenzionalni i anizotropni sustavi - magnetotransport i Hallov efekt

**Sadržaj teme:**

U ovom radu proučavat će se magnetotransportna svojstva materijala karakteriziranih niskom dimenzionalnošću - sustavima u kojima je električna vodljivost ovisna o smjeru toka struje. Eksperimentalnim tehnikama koje uključuju mjerenje ovisnosti otpora o temperaturi ( $300\text{mK} < T < 300\text{K}$ ), o magnetskom polju ( $B < 18\text{T}$ ) i Hallovog efekta određivat će se bitni parametri koji opisuju osnovno stanje materijala. Tematika diplomskog rada usko je vezana za istraživački projekt HRZZa "Strongly Correlated Electrons in Layered Organics and Manganites: Low Frequency Excitations and Non-linear Dynamics" (više informacija: <http://sceinlom.ifs.hr/>).

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Mario Basletić **Institucija:** PMF

**Naslov teme:** 'Skin' efekt u nehomogenim materijalima

**Sadržaj teme:**  
U ovom radu će se teorijskim metodama proučavati 'skin' efekt, tj. vođenje visokofrekventne struje u vodljivim materijalima. Posebna će se pažnja posvetiti razlici između homogenih i nehomogenih materijala, te će se na konkretnim primjerima planarnih i kružnih vodiča konstruirati egzaktna rješenja profila električnih struja i efektivne vodljivosti. Također, bit će dokazana relacija (teorem) o ukupnoj efektivnoj vodljivosti nehomogenih materijala u odnosu na homogene. Od studenta se očekuje poznavanje Besselove diferencijalne jednadžbe i pripadnih Besselovih funkcija.

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

**Mentor:** dr. sc. Mario Basletić **Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Računalo u eksperimentu

**Sadržaj teme:**  
Cilj ovog rada je izrada jednostavnog uređaja, baziranog na Arduino ili RaspberryPi platformi, koji bi mogao služiti za višekanalno mjerenje vremenski ovisnih napona i/ili struja. 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. Ivo Batistić **Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Izračun vrpčaste elektronske strukture u periodičnom potencijalu

**Sadržaj teme:**  
Vrpčasta struktura bi se izračunavala za periodični potencijal pomoću metode ravnih valova, u kojoj se rješavanje Schodingerove jednadžbe svodi na rjesavanje problema vlastitih vrijednosti matrice. Izračun se može napraviti u python-u ili nekom drugom programskom jeziku.

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

**Mentor:** dr. sc. Ivo Batistić **Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Potraga za nepoznatim materijalima i/ili molekulama

**Sadržaj teme:**  
Pretpostavila bi se određena vrsta materijala, ili molekula određenog oblika i sastava te bi se pomoću DFT računa provjerila jel takav materijal može postojati i kakva je njegova stabilnost.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ivo Batistić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Vlastita energija čestica koreliranih sustava u GW aproksimaciji

**Sadržaj teme:**

Tema može poslužiti za izradu više diplomskih radova, od kojih neki mogu dati teorijski pregleda GW aproksimacije unutar fizike mnoštva čestica, dok se drugi mogu se poslužiti već gotovim paketima (npr. YAMBO+Quantum espresso) za izračun vlastitih energija elektrona/šuplina u metalima i izolatorima.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Goranka Bilalbegović

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Rendgenski spektri astrofizičkih materijala

**Sadržaj teme:**

Planiran je račun rendgenskih spektara primjenom numeričkih metoda kvantne teorije funkcionala gustoće. Zanimaju nas materijali za koje se zna, ili se može pretpostaviti, da postoje u svemiru. Predviđeno je i upoznavanje s osnovama rendgenske astronomije.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Goranka Bilalbegović

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Priprema meteoroloških prognostičkih karata u programskom jeziku Python

**Sadržaj teme:**

Programski jezik Python postaje sve značajniji za obradu i prikaz podataka u znanosti. Pored velikih mogućnosti koje ima Python, mogu se koristiti dodatni osnovni paketi za numerički rad i vizualizaciju kao što su Numpy, Scipy, Matplotlib, Mayavi, te paketi koji su prilagodjeni za rad u određenom užem znanstvenom području. U ovom diplomskom radu će se primijeniti Python te dodatne biblioteke za analizu i prikaz meteoroloških podataka. Specijalno će se napisati programi za predstavljanje na Webu podataka koji se odnose na jednu od regija u Hrvatskoj. Student će razmotriti značaj uključivanja djece u osnovna meteorološka mjerenja za popularizaciju znanosti.

**Smjerovi:** prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Goranka Bilalbegović

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Molekule u svemiru

**Sadržaj teme:**

Otkriveno je više od 180 molekula u međuzvjezdanom prostoru naše i drugih galaksija. Mogućnosti današnjih teleskopa su takve da se svake godine otkrije nekoliko novih. Te molekule su različitog sastava, ali najviše ima spojeva ugljika. Do sad otkrivene molekule u svemiru su različite veličine, od dvoatomskih do molekula od 13 atoma. Izuzetak su već otkrivene nanočestice ugljika (fulereni) C60 i C70. Za diplomski rad je predviđeno upoznavanje s metodama istraživanja molekula u svemiru te analiza spektra određene molekule.

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

**Mentor:** dr. sc. Aleksa Bjeliš

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Novi mehanizmi uspostave valova gustoće naboja i spina

**Sadržaj teme:**

Valovi gustoće naboja i spina vrlo su česta osnovna stanja u mnogim skupinama materijala reducirane dimenzionalnosti koje se danas intenzivno istražuju i imaju niz potencijalnih tehnoloških primjena (lančasti anorganski i organski vodiči, kuprati s visoko-temperaturnom supravodljivošću, grafske i interkalirane grafitne strukture, i t. d.). Naročito su aktualna uređenja inducirana jakim vanjskim ili efektivnim magnetskim poljima. Diplomski rad bio bi uključen u aktualna istraživanja u teorijske skupine koja je nedavno predložila novi mehanizam kojim se valovi gustoće naboja ili spina stabiliziraju probijem u magnetskom polju kroz dijelove recipročnog prostora koji nisu pokriveni disperzijom vodljive vrpce.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Aleksa Bjeliš

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Utjecaj magnetskog polja na elektronske vrpce u pristupu jake veze

**Sadržaj teme:**

Uključivanjem vanjskog magnetskog polja modificiraju se svi parametri elektronske vrpce u opisu jake veze (tight binding), i vodi na lokalizaciju elektronskih stanja i diskretni spektar s visokim stupnjem degeneracije, što izravno utječe na transportna, termička i magnetska svojstva materijala. U radu bi se sustavno i detaljno analiziralo polazište Peierlsove supstitucije korištene u teorijskim razmatranjima ovakvih pojava. Posebno bi se ispitale mogućnosti korelacija orbitalnih efekata magnetskog polja na atomskoj skali i na skali tuneliranja među susjednim atomima. Cilj je analiza do sada neistraženih efekata uzrokovanih tom korelacijom, naročito u danas aktualnim materijalima sa specifičnim elektronskim disperzijama na Fermijevom nivou.

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

**Mentor:** dr. sc. Aleksa Bjeliš

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Gibanja zvrkova čiji tenzor tromosti malo odstupa od simetričnog

**Sadržaj teme:**

Gibanje zvrkova, kako slobodnih, tako i onih na podlozi, jedno je od najzanimljivijih područja klasične mehanike jer omogućava analizu utjecaja simetrije zvrka na njegove moguće putanje. Naročito je zanimljiv prijelaz sa simetričnih zvrkova na asimetrične zvrkove s malim odstupanjem od simetričnosti. U integrabilnom problemu slobodnih zvrkova tom prijelazu odgovara prijelaz s jednostavnog precesijskog gibanja na fazni portret koji sadrži i nestabilne trajektorije. Složeniji je problem gibanje na podlozi, kod kojeg zbog asimetričnosti zvrka jednadžbe gibanja postaju neintegrabilne (uz jedinstvenu iznimku zvrka Kowalewske), a u faznom portretu su prisutne kaotične putanje. Tema rada je detaljna analiza utjecaja asimetričnosti zvrka, uz pokušaj primjene Kolmogorov-Arnold-Moserovog teorema na karakterizaciju osobina faznog portreta asimetričnog zvrka na podlozi.

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

**Mentor:** dr. sc. Ivančica Bogdanović Radović

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Ispitivanje potencijala MeV SIMS metode za molekularno mapiranje materijala važnih u forenzici

**Sadržaj teme:**

Spektrometrija sekundarnih molekularnih iona pomoću iona MeVskih energija (MeV SIMS) u kombinaciji sa teškoionskom mikroprobom metoda je koja se koristi za 2D mapiranje molekularnog sastava u različitim uzorcima s mikronskom prostornom rezolucijom. U ovom radu istražio bi se potencijal metode za molekularno mapiranje materijala od važnosti u forenzici (boje, tinte u rukopisima, otisci prstiju, tragovi kemikalija). Kako je metoda izuzetno površinski osjetljiva može se koristiti za određivanje slijeda događaja (npr. što je prvo stavljeno na papir, otisak prsta ili rukopis?).

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

**Mentor:** dr. sc. Ivančica Bogdanović Radović

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Dubinsko profiliranje molekularnog sastava različitih uzoraka pomoću MeV SIMS metode

**Sadržaj teme:**

Spektrometrija sekundarnih iona pomoću iona MeV-skih energija (MeV SIMS) nova je analitička metoda koja se od nedavno nalazi na teškoionskoj mikroprobi akceleratora Instituta Ruđer Bošković. Trenutno, metoda se koristi za određivanje molekularnog sastava različitih uzoraka ali uglavnom samo pri površini uzorka. Ugradnjom argonskog ionskog topa u postojeću komoru mikroprobe biti će moguće dubinsko profiliranje različitih molekula. U ovom radu ispitala bi se mogućnost korištenja metode za dubinsko profiliranje sekundarnih molekularnih iona u ovisnosti o energiji i vrsti primarnih iona ubrzanih u akceleratoru. Ispitivanje bi se vršilo na višeslojnim organskim uzorcima poznatog molekularnog sastava.

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

|                      |   |                     |     |
|----------------------|---|---------------------|-----|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Damir Bosnar  | <b>Institucija:</b> | PMF |
| <b>Naslov teme:</b>  | Mjerenje magnetskog momenta miona iz kozmičkog zračenja   |                     |     |
| <b>Sadržaj teme:</b> | <p>Kod raspada miona koji je uzrokovan slabom interakcijom imamo pojavu narušenja pariteta. Polarizirani kozmički mioni nastali iz raspada piona bit će zaustavljeni u ploči od metala koja se nalazi u poznatom magnetskom polju. Spinovi miona precesirju u magnetskom polju i angularna distribucija pozitrona iz raspada pozitivnih miona bit će mjerena kao funkcija vremena scintilacijskim detektorima. Magnetski moment miona će se izračunati iz frekvencije precesije miona</p> |                     |     |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike   |                     |     |

|                      |   |                     |     |
|----------------------|---|---------------------|-----|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Damir Bosnar  | <b>Institucija:</b> | PMF |
| <b>Naslov teme:</b>  | Mjerenje brzine pozitrona dijamantnim detektorima   |                     |     |
| <b>Sadržaj teme:</b> | <p>Sustavom od dva dijamantna detektora i brzim digitalizatorima pulsa detektirat će se pozitroni iz <math>^{22}\text{Na}</math> izvora i odrediti njihova brzina metodom vremena proleta. Ta metoda detekcije i mjerenje brzine pozitrona može se upotrijebiti u fundamentalnim istraživanjima i u primjena.</p> |                     |     |
| <b>Smjerovi:</b>     | prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike  |                     |     |

|                      |  |                     |     |
|----------------------|--|---------------------|-----|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Damir Bosnar   | <b>Institucija:</b> | PMF |
| <b>Naslov teme:</b>  | Mjerenje energije gama zraka kod raspada pozitronija $\text{CeBr}_3$ detektorima   |                     |     |
| <b>Sadržaj teme:</b> | <p>Mjerenje energije gama zraka kod raspada pozitronija <math>\text{CeBr}_3</math> detektorima Elektron i pozitroni mogu tvoriti nestabilno vezano stanje - pozitronij. Ovisno o spinu vezanog stanja moguć je raspad na dvije gama zrake (para-pozitronij), odnosno tri gama zrake (orto-pozitronij) s različitim vremenima života i vjerojatnostima raspada. Pozitronij je od otkrića bio pogodan sustav za ispitivanje temeljnih zakona fizike. U diplomskom će se mjeriti energije gama zraka iz raspada pozitronija <math>\text{CeBr}_3</math> detektorima.</p> |                     |     |
| <b>Smjerovi:</b>     | prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike   |                     |     |

|                      |   |                     |     |
|----------------------|---|---------------------|-----|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Hrvoje Buljan   | <b>Institucija:</b> | PMF |
| <b>Naslov teme:</b>  | Anyoni  |                     |     |
| <b>Sadržaj teme:</b> | <p>U okviru ove teme zanimaju nas svojstva tzv. "anyona" - čestica koje žive u dvo-dimenzionalnom prostoru i imaju statistiku između fermionske i bozonske. Teorijski ćemo razmatrati modele za Abelove i ne-Abelove anyone i njihovu dinamiku.</p> |                     |     |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije  |                     |     |

**Mentor:** dr. sc. Hrvoje Buljan

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Ultrahladni atomi, nove topološke faze materije

**Sadržaj teme:**

U okviru ove teme proučavaju se ultrahladni atomski sustavi, Bose-Einsteinovi kondenzati te niskodimenzionalni jako korelirani sustavi. U okviru ovih sustava, zanimaju nas slijedeće pojave: (i) stvaranje umjetnih magnetskih polja za atome, (ii) nove topološke faze materije, (iii) prijedlog za eksperimentalnu realizaciju tzv. "anyon" - čestica koje žive u dvo-dimenzionalnom prostoru i imaju statistiku između fermionske i bozonske.

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

**Mentor:** dr. sc. Hrvoje Buljan

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Fotoničke strukture, propagacija svjetlosti, topološki efekti

**Sadržaj teme:**

U okviru ove teme proučavaju se fotoničke strukture, preciznije fotonički kristali i fotoničke rešetke te propagacija svjetlosti u njima. U okviru ovih sustava, zanimaju nas slijedeće pojave: (i) stvaranje umjetnih magnetskih polja za fotone koristeći dizajn fotoničkih struktura, (ii) topološka rubna stanja i nove topološke faze, (iii) stvaranje diskretnih fotoničkih struktura dimenzije veće od dimenzije kontinuiranog prostora u kojem se nalaze, (iv) realizacija tzv. "anyon" - čestica koje žive u dvo-dimenzionalnom prostoru i imaju statistiku između fermionske i bozonske.

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

**Mentor:** dr. sc. Maja Buljan

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Mreže nanopora u Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: primjena u izradi nano-membrana

**Sadržaj teme:**

Tankoslojni porozni materijali iznimno su zanimljivi za primjenu u raznim tipovima filtera i senzora. U našem laboratoriju trenutno se istražuje tankoslojni materijal u kojemu je opažena pojava pravilno uređenih mreža nano-pora. Tema diplomskog rada je istraživanje ovisnosti strukturnih svojstava jednog takvog materijala o uvjetima pripreme te mogućnost njegove primjene u nano-filtraciji. U okviru teme planira se istražiti jedna serija (3-5 uzoraka) materijala koja se razlikuju po promjeru i prostornom uređenju nano-pora. Priprava materijala vrši se metodom magnetronskog rasprašenja te naknadnim grijanjem. Strukturna svojstva materijala istražila bi se metodom GISAXS (grazing incidence small angle x-ray scattering), te analizom njihovog atomskog sastava. Za ispitivanje primjenjivosti materijala planiraju se izraditi tanke membrane od pripremljenih materijala i testirati njihova osnovna filtracijska svojstva.

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

**Mentor:** dr. sc. Maja Buljan

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Samouređene kvantne točke: priprava i karakterizacija

**Sadržaj teme:**

Materijali bazirani na prostorno uređenim nanočesticama i kvantnim točkama iznimno su zanimljivi zbog posebnih svojstava i velikih mogućnosti primjene u nano-tehnologiji. Naša grupa se bavi istraživanjem posebnog tipa poluvodičkih kvantnih točaka koje nastaju procesom samouređenja tijekom rasta materijala. Tema diplomskog rada je priprava jednog takvog materijala metodom magnetronskog rasprašenja, opis njegove strukture metodom GISAXSa (grazing incidence small angle x-ray scattering), te mjerenja osnovnih električnih i optičkih svojstava. U okviru teme bi se istražila serija (3-5 uzoraka) tankih višeslojnih filmova sastavljenih od jezgra/ljuska kvantnih točaka u Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ili ITO matrici, gdje bi se varirali uvjeti depozicije (temperatura, debljina slojeva ili volumni udio poluvodičkih materijala). Istraživala bi se ovisnosti oblika, veličine i prostornog rasporeda kvantnih točaka o uvjetima priprave, te ovisnost električnih i optičkih svojstava materijala o njegovoj strukturi. Strukturna svojstva odredila bi se analizom GISAXS mjerenja na pripremljenim uzorcima. Za analizu postoji uhodani program za simulaciju eksperimentalno izmjerenih podataka. Aparatura za električna i optička mjerenja također je dostupna u našem laboratoriju.

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

**Mentor:** dr. sc. Maja Buljan

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Priprava solarnih ćelija baziranih na samouređenim kvantnim točkama u staklu

**Sadržaj teme:**

Materijali bazirani na poluvodičkim kvantnim točkama interesantni su za primjenu u iskorištavanju sunčeve energije. Naša grupa trenutno istražuje primjenu tih materijala u solarnim ćelijama baziranim na kvantnim točkama zatočenim u staklu. Tema diplomskog rada je dizajn i priprava jedne serije takvih solarnih ćelija korištenjem gore navedenih materijala, te karakterizacija njihovih svojstava. U tu svrhu bi se varirao jedan strukturni parametar materijala baziranog na kvantnim točkama. U okviru teme bi se izradili tankoslojni filmovi materijala baziranih na kvantnim točkama u staklu, i solarne ćelije u kojima bi se isti materijal koristio kao aktivni sloj. Materijalima bi se izmjerila osnovna električna i strukturna svojstva, a ćelijama operativna. Iz dobivenih rezultata mjerenja potrebno je ispitati podobnost korištenog materijala za primjenu u solarnim ćelijama te odrediti utjecaj variranog parametra na svojstva materijala i solarnih ćelija.

Znanstveni radovi nedavno objavljeni iz tog područja dostupni su na <http://bib.irb.hr/lista-radova?autor=242416>

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

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

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Defekti uvedeni zračenjem u poluvodičima

**Sadržaj teme:**

Električki aktivni defekti uvedeni zračenjem (ioni i/ili neutroni) u poluvodičke materijale kao što su Si, Ge i SiC ključni su za rad senzora/detektora koji se proizvode od tih materijala. Uvođenjem defekata, uvode se zamke za slobodne nosioce naboja te se smanjuje vrijeme života, povećava "struja curenja", smanjuje efikasnost detektora i dr. Kao izvor zračenja koristit će se ioni (Si, Ge, O, Er) te brzi reaktorski neutroni. Osnovna karakterizacija uključuje temperaturno ovisna strujno-naponska (I-V) i kapacitivno-naponska (C-V) mjerenja. Za detaljnu analizu električki aktivnih defekata koristit će se kapacitivna tranzijentna spektroskopija. Metoda omogućava određivanje koncentracije defekata, udarnog presjeka, aktivacijske energije te dubinsko profiliranje.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Saša Ceci

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Temeljna svojstva kratkoživućih čestica

**Sadržaj teme:**

Sve kratkoživuće čestice, od jezgara vodika u dubokom svemiru koje pogađaju visokoenergetske gama zrake, do Higgsovog bozona stvorenog na CERN-ovom Velikom hadronskom sudarivaču imaju iste temeljne karakteristike. Te čestice, koje nazivamo i rezonancije, tako imaju neku masu, energiju na kojoj ih primijećujemo u udarnim presjecima. Imaju i širinu raspada koja je obrnuto proporcionalna s vremenom života te čestice. Ta dva svojstva ne ovise o procesu u kojem nastaje rezonancija. Osim njih postoje i omjer grananja, koji nam govori na koje će se čestice i s kojom vjerojatnošću ta rezonancija raspasti, te parametar faze koji nema jasan fizikalni smisao. Promatrajući nekoliko procesa raspršenja u kojima se pojavljuju rezonancije objasniti ćemo moguće fizikalno značenje faze koristeći jednostavnu aproksimaciju koju smo razvili u našoj grupi, te provjeriti koliko je ta interpretacija uspješna na stvarnim izmjerenim rezonancijama. Pokazati ćemo i zanimljive veze svih ovih svojstava s raznim drugim parametrima koji se pojavljuju u literaturi, poput Breit-Wignerove odnosno konvencionalne mase rezonancije.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Numerički pristup gravitaciji

**Sadržaj teme:**

Cilj je proučiti numeričke načine rješavanja problema u zakrivljenom prostoru npr. rješavanje jednadžbi gibanja za metriku ili jednadžbi gibanja za polja ili materiju u fiksnoj metrici. Tema je pogodna za više diplomskih radova. Literatura: V. Cardoso et al, Living Rev. Relativity 18, (2015), <http://www.livingreviews.org/lrr-2015-1>; L. Rezzolla i O. Zanotti, Relativistic Hydrodynamics, OUP Oxford, 2013; T.W. Baumgarte i S.L. Shapiro, Numerical Relativity: Solving Einstein's Equations on the Computer, Cambridge University Press, 2010.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

|                      |  |                         |
|----------------------|--|-------------------------|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Nazif Demoli   | <b>Institucija:</b> IFS |
| <b>Naslov teme:</b>  | Karakterizacija i primjena prostornog svjetlosnog modulatora na bazi tekućih kristala tipa LCoS  |                         |
| <b>Sadržaj teme:</b> | <p>Prostorni svjetlosni modulator na bazi tekućih kristala LCoS (Liquid Crystal on Silicon) modulira amplitudu i fazu upadne svjetlosti u refleksiji. LCoS je upravljani kompjutorom u svojstvu drugog monitora, a zahvaljujući svojim karakteristikama (razlučivanje: 1920 x 1080 piksela, dimenzija piksela: 6.4 <math>\mu\text{m}</math>) pogodan je za brojne primjene, posebno, za optičku rekonstrukciju digitalnih holograma. Da bi upotreba LCoS-a bila efikasna, treba izmjeriti njegove karakteristike. Zadatak diplomskog rada je izabrati metodu za mjerenje amplitudno-faznih karakteristika LCoS-a, izmjeriti karakteristike za sve konfiguracije ulaznih i izlaznih polarizacija modulirane svjetlosti, odabrati optimalne konfiguracije za razne primjene te demonstrirati primjenu LCoS-a na nekoliko primjera.</p> |                         |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije   |                         |

|                      |   |                         |
|----------------------|---|-------------------------|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Nazif Demoli  | <b>Institucija:</b> IFS |
| <b>Naslov teme:</b>  | Karakteriziranje glazbenog instrumenta metodom vremenski usrednjene digitalne holografije   |                         |
| <b>Sadržaj teme:</b> | <p>Holografija je metoda bilježenja i rekonstruiranja valne fronte svjetlosnog polja (amplitudna i fazna informacija sačuvane). Fizikalne osnove obuhvaćaju svojstva valne prirode svjetlosti te interferenciju i difrakciju. Vremenski usrednjena holografija omogućuje vizualiziranje modalne strukture titranja neke površine. Zadatak diplomskog rada: za odabrani glazbeni instrument (po vlastitom izboru) treba naći rezonantne modove titranja te diskutirati raspodjelu nađenih nodova (stacionarna područja) i antinodova (područja maksimalne amplitude titranja). Kandidat treba, u pripremnom dijelu rada, proučiti akustiku odabranog glazbala dok, u eksperimentalnom dijelu, treba usvojiti tehniku optičkog bilježenja i numeričkog rekonstruiranja holograma.</p> |                         |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije  |                         |

|                      |   |                         |
|----------------------|---|-------------------------|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Nazif Demoli  | <b>Institucija:</b> IFS |
| <b>Naslov teme:</b>  | Što o mikrotvrdoći materijala doznajemo primjenom holografske interferometrije  |                         |
| <b>Sadržaj teme:</b> | <p>Digitalna holografija je postupak bilježenja i rekonstruiranja informacije o kontrastu i fazi valne fronte svjetlosti koja dolazi s površine nekog predmeta. Ako snimimo dva holograma površine predmeta, jedan prije i drugi nakon neke pretrpljene deformacije, zbrajanjem tih holograma dobivamo interferogram koji rekonstruiran prikazuje osim same slike predmeta također i pruge nastale na mjestu deformacije. Mikrotvrdoća materijala dobiva se primjenom indentora (kuglica ili piramida) u prilagođenom optičkom mikroskopu te mjerenjem odgovarajućih parametara utisnuća. Potpuno novi pristup omogućuje primjena holografske interferometrije. Zadatak diplomskog rada bio bi podesiti eksperimentalni uređaj, zatim istražiti 3D profile utisnuća u raznim materijalima te diskutirati dobivene parametre mikrotvrdoće.</p> |                         |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački)   |                         |

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Elektronska struktura i optička svojstva kvazi dvodimenzionalnih kristala

**Sadržaj teme:**

Kvazi dvodimenzionalnih kristal je naziv za kristal koji se proteže duž jedne ravnine te se u smjeru okomitom na tu ravninu sastoji od jednog ili nekoliko atomskih slojeva. U današnje vrijeme često proučavani kvazi dvodimenzionalni kristali su grafen (jedan sloj ugljika) ili recimo molibden-disulfid (MoS<sub>2</sub>) koji se sastoji od dva sloja atoma sumpora i jednog sloja atoma molibdena. U okviru ovog diplomskog rada student prvo konstruira povoljnu kristalnom strukturom promatranog sustava (Bravaisovu superresetku) te rješava elektronsko osnovno stanje, elektronske vrpce, Blochove valne funkcije, gustoću stanja (DOS) ili gustoću pobuđenja (JDOS). Račun se provodi pomoću besplatnog ab initio koda Quantum ESPRESSO koji koristi razvoj po ravnim valovima i metodu pseudopotencijala. U sljedećoj fazi student (samo studenti istraživačkog smjera) pomoću elektronskih vrpce i Blochovih valnih funkcija može konstruirati gustoća-gustoća odzivnu funkciju iz koje izvlači informacije o optičkim svojstvima kvazi dvodimenzionalnog kristala.

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

**Mentor:** dr. sc. Dinko Ferenček

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Optimizacija algoritama za identifikaciju b mlazova nakon nadogradnje CMS detektora

**Sadržaj teme:**

Veliki dio programa istraživanja na Velikom hadronskom sudarivaču oslanja se na uspješnu identifikaciju mlazova nastalih hadronizacijom b kvarkova tzv. b označavanje ("b tagging"). To je vezano uz činjenicu da treća generacija kvarkova igra važnu ulogu unutar Standardnog modela, ali i u mnogim modelima fizike izvan Standardnog modela.

Algoritmi za identifikaciju b mlazova nastoje razlučiti hadronske mlazove nastale od b kvarkova od onih nastalih od drugih vrsta kvarkova. Koriste se karakteristična svojstva b hadrona, njihovo relativno dugo vrijeme poluživota kao i veliki omjer granja za kanale raspada s prisutnim leptonima. CMS detektor sa svojim unutarnjim silicijskim detektorom tragova odlikuje se izvrsnim karakteristikama u pogledu identifikacije b mlazova. Tu je od posebne važnosti piksel detektor, dio detektora tragova najbliži točki sudara protonskih snopova. U sklopu nadogradnje CMS detektora, koja je planirana u prvoj polovici 2017. godine, postojeći piksel detektor zamijenit će se lakšom i unaprijeđenom verzijom koja uz postojeća tri dodaje još jedan detektorski sloj u centralnom dijelu, te uz postojeća dva dodaje još jedan disk sa svake strane piksel detektora. Nadograđeni piksel detektor omogućiti će znatno bolje performanse CMS detektora u pogledu identifikacije b mlazova. Međutim, uz nadograđeni detektor i izmijenjenu geometriju bit će potrebno ponovno optimizirati algoritme za identifikaciju b mlazova, kako bi se maksimalno iskoristile karakteristike nadograđenog detektora.

Cilj ovog diplomskog rada je optimizacija postojećih ili razvoj novih algoritama za identifikaciju b mlazova nakon nadogradnje CMS detektora. Rad bi također uključivao testiranje algoritama na stvarnim proton-proton sudarima prikupljenim CMS detektorom. Tijekom izrade diplomskog rada student će se upoznati sa modernim tehnikama analize podataka prikupljenih na Velikom hadronskom sudarivaču. Naglasak će posebice biti na metodama strojnog učenja koje se često koriste u definiciji najboljih algoritama za identifikaciju b mlazova. Student će se također uključiti u rad CMS-a, velike međunarodne znanstvene kolaboracije na samoj fronti istraživanja. Poželjno je osnovno poznavanje programskih jezika C/C++ i/ili Python te dobro vladanje engleskim jezikom ugovoru i pisanju.

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

**Mentor:** dr. sc. Dinko Ferenček

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Razvoj i testiranje algoritma za identifikaciju hadronskih mlazova nastalih raspadom ultrarelativističkih Higgsovih bozona u dva b kvarka

**Sadržaj teme:**

Nedavno otkriće bozona na masi od oko 125 GeV konzistentnog s Higgsovim bozonom Standardnog modela otvara nove mogućnosti u potrazi za fizikom izvan Standardnog modela. Naime, razumno je pretpostaviti da novootkriveni bozon interagira s česticama izvan Standardnog modela te bi se mogao pojaviti kao produkt njihovih raspada. Pored toga, postojeće granice na mase novih čestica ukazuju da bi one trebale biti teške, što implicira da bi se Higgsov bozon, kao produkt njihovog raspada, javljao s visokom količinom gibanja. Drugim riječima, javljao bi se kao ultrarelativistička čestica. Uzevši u obzir da je dominantni kanal raspada Higgsovog bozona u par b kvarka i antikvarka, u takvom bi režimu produkti raspada bili kolimirani, te bi eksperimentalni potpis takvih raspada bio jedan hadronski mlaz koji se sastoji od dva djelomično preklapajuća b podmlaza. Takav karakterističan eksperimentalni potpis može se iskoristiti za razvoj algoritma za identificiranje tzv. "boosted" Higgsovih bozona kao svojevrstne ekstenzije postojećih algoritama za identifikaciju b mlazova. Razvoj takvog algoritma omogućio bi da novootkriveni bozon i sam postane alat u potrazi za novim otkrićima.

Cilj ovog diplomskog rada je razvoj algoritma za identifikaciju hadronskih mlazova nastalih raspadom ultrarelativističkih Higgsovih bozona u dva b kvarka korištenjem metoda strojnog učenja. Rad bi također uključivao testiranje algoritma na stvarnim proton-proton sudarima prikupljenim CMS detektorom. Tijekom izrade diplomskog rada student će se upoznati s modernim tehnikama analize podataka prikupljenih na Velikom hadronskom sudarivaču te će se uključiti u rad CMS-a, velike međunarodne znanstvene kolaboracije koja je na samoj fronti istraživanja. Poželjno je osnovno poznavanje programskih jezika C/C++ i/ili Python te dobro vladanje engleskim jezikom u govoru i pisanju.

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

**Mentor:** dr. sc. Dinko Ferenček

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Potraga za rezonancama u konačnim stanjima s dva hadronska mlaza na masama ispod 1 TeV u proton-proton sudarima na Velikom hadronskom sudarivaču

**Sadržaj teme:**

Nedavni rezultati eksperimenata CMS i ATLAS koji ukazuju na moguće postojanje nove rezonance u spektru invarijantne mase dva fotona na masi od oko 750 GeV pobudili su veliko zanimanje u znanstvenoj zajednici. Iako su indikacije za novu česticu dosad uočene samo u kanalu raspada s dva fotona, sigurno je da bi se ona, ako postoji, trebala raspadati i u hadronska konačna stanja, primarno u dva hadronska mlaza. Ta činjenica otvara mogućnost potrage za novom česticom u dodatnom kanalu raspada kao i njenu dodatnu karakterizaciju u slučaju da se njeno postojanje potvrdi.

Cilj ovog diplomskog rada je potraga za fizikom izvan Standardnog modela u spektru invarijantne mase dva hadronska mlaza na masama ispod 1 TeV. Tijekom izrade diplomskog rada student će se upoznati sa modernim tehnikama analize podataka prikupljenih na Velikom hadronskom sudarivaču te će se uključiti u rad CMS-a, velike međunarodne znanstvene kolaboracije na samoj fronti istraživanja. Poželjno je osnovno poznavanje programskih jezika C/C++ i/ili Python te dobro vladanje engleskim jezikom u govoru i pisanju.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Andreja Gajović

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Postojana fotovodljivost u BaTiO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> heterostrukturi

**Sadržaj teme:**

Ovo istraživanje se nadovezuje na dosadašnja naša istraživanja dijelom objavljena u članku Appl. Phy Letter 105 (2014) 152101-1-152101-5, a svrha je dublje razumijevanje postojane fotovodljivosti u BaTiO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> heterostrukturi. Krajnji cilj je istražiti utjecaj strukturnih svojstava na svojstva postojane fotovodljivosti. Diplomski će obuhvatiti istraživanje kristalne strukture, morfologije i kemijskog sastava: (1) ramanske vibracijske vrpce će pokazati kristalnu strukturu u cijelosti dok će se prisutnost nestehiometrije i defekata utvrditi posredno iz pomaka ramanskih vrpca, (2) pretražnom elektronskom mikroskopijom (SEM) će se uočavati morfologija dobivenih nanostrukture, dok će (3) transmisivna elektronska mikroskopija (TEM) omogućiti određivanje morfologije i kristalne strukture materijala na nano skali uz energijski disperzivnu spektroskopiju X zraka za određivanje lokalnog kemijskog sastava. TEM mjerenja će se izvoditi u Fritz Haber Institute of Max Planck Society, Berlin, Njemačka, kao dio bilateralne suradnje. Diplomand-ica će se upoznati s fizikalnom pozadinom problema proučavanjem dostupne literature, kroz eksperimentalni rad će se upoznati s principima i osnovama spomenutih tehnika, dok će tijekom analize dobivenih eksperimentalnih podataka savladati različite specifične softvere za njihovu obradu. Rezultati diplomskog rada će se kombinirati s mjerenjima fotovodljivosti izvedenim izvan okvira diplomskog rada te će se, po mogućnosti, objaviti u znanstvenom radu.

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

**Mentor:** dr. sc. Andreja Gajović

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** TiO<sub>2</sub> nanocjevčice za fotonaponske ćelije

**Sadržaj teme:**

TiO<sub>2</sub> nanocjevčice (i općenito TiO<sub>2</sub> nanostrukture) predstavljaju jedinstvenu kombinaciju strukturnih, fizičkih i kemijskih svojstava. Velika specifična površina, poluvodička svojstva ( $E_g=3,2$  eV za TiO<sub>2</sub> anatas, 3,02 eV za TiO<sub>2</sub> rutil) u kombinaciji s dobrim interkaliranjem i ionskom izmjenom daju im svojstva koja su pogodna za primjenu u pretvorbi sunčane energije. U diplomskom radu će se nizovi TiO<sub>2</sub> nanocjevčica pripremati anodizacijom tankog sloja titana (1-2 mikrometra) nanosenog na vodljivu prozirnu podlogu, za primjenu u perovskitnim fotonaponskim ćelijama. Istraživat će se optičko-električna svojstva sloja u ovisnosti o strukturi i morfologiji, te će se optimizirati parametri pripreme TiO<sub>2</sub> nanocjevčica. Za istraživanje strukture tankog sloja će se primjenjivati Ramanova spektroskopija u mikro-Raman konfiguraciji, rendgenska difrakcija pod malim kutom, a za određivanje morfoloških svojstava pretražna elektronska mikroskopija. Diplomand-ica će se upoznati s eksperimentalnim osnovama i teorijskom podlogom tih tehnika, a analizu dobivenih podataka će izvoditi uz primjenu različitih specifičnih programskih paketa. Uvod u problematiku će se dobiti proučavanjem dostupne literature, a rezultati diplomskog rada će se uklopiti i kombinirati s rezultatima postojećih projekata te će, po mogućnosti, postati dio znanstvene publikacije.

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

**Mentor:** dr. sc. Igor Gašparić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Simulacije odziva detektora brzih neutrona

**Sadržaj teme:**

Atomske jezgre s velikom asimetrijom u broju protona i neutrona, kao i nevezana stanja nukleona interesantni su za proučavanje svojstava nuklearne sile, strukture jezgara i nuklearne tvari. Uz to, ova istraživanja su neophodna za opisivanje i objašnjavanje astrofizičkih procesa poput nukleosinteze u eksplozijama zvijezda ili dinamike neutronske zvijezde. Te vrlo kratkoživuće jezgre i nevezana stanja eksperimentalno se mogu proučavati samo na modernim postrojenjima za proizvodnju snopova radioaktivnih jezgara. Predložena tema diplomskog rada usko je vezana s realizacijom trenutno najopsežnijeg znanstvenog projekta FAIR (<http://www.fair-center.eu/>), točnije njegove nuklearne komponente NuSTAR, odnosno detektora neutrona NeuLAND (New Large-Area Neutron Detector, <http://www.fair-center.de/fileadmin/fair/experiments/NUSTAR/Pdf/TDRs/NeuLAND-TDR-Web.pdf>). Detekcija brzih neutrona u nuklearnim reakcijama korisno je oruđe u proučavanju jezgara, osobito onih bogatih neutronima. Budući da su neutroni električno neutralni, izrada neutronske detektora velike efikasnosti i iznimne prostorne i vremenske moći razlučivanja predstavlja osobiti izazov. Za uspješan rad na detektoru potrebno je dobro upoznati njegovo ponašanje opsežnim testiranjem kako svih osnovnih komponenti, tako i cijelog detektora. Pri tome je neophodno razviti i koristiti software za simulacije odziva detektora. Zadatak studenta će biti upoznavanje i rad na razvoju programskog paketa za simulacije odziva detektora, konkretno na algoritmima prepoznavanja višeneutronske događaja. Za tu svrhu koristit će podatke prikupljene u nekoliko eksperimenata izvedenih na FAIR-u u Njemačkoj i RIKEN-u u Japanu. Student će steći znanja i vještine u problematici djelovanja neutrona na materiju, osnovama istraživanja s radioaktivnim snopovima, upoznati se s radom scintilacijskih detektora, te obradom velike količine podataka i radom na simulacijama što otvara sjajne mogućnosti za nastavak rada u eksperimentalnoj nuklearnoj fizici.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Matko Glunčić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Oscilacije kinetohora u metafazi

**Sadržaj teme:**

Za pravilnu podjelu genetskog materijala potrebno je da se sestrinske kromatide svakog kromosoma vežu na mikrotubule putem kinetohora, proteinskih kompleksa na kromosomu, nakon čega ovaj sustav oscilira oko ekvatorijalne ravnine diobenog vretena. Oscilacije kinetohora primijećene su u različitim organizmima od kvasca do sisavaca. Te se oscilacije javljaju dok stanica provjerava jesu li sve kinetohore ispravno spojene, što je spoznato kao kontrolna točka diobenog vretena. Stoga je važno razumjeti mehanizam oscilacija kinetohora, kako bi se razjasnilo kako stanica regulira sile napetosti između sestrinskih kinetohora. Oscilacije kinetohora ovise o dinamici mikrotubula, koja uključuje rast mikrotubula i njihovo skraćivanje. Ta svojstva mikrotubula reguliraju proteini poput motora kinezina-8, za koje je pokazano da potiču katastrofu mikrotubula i njihovo skraćivanje. Međutim, uloga kinezina-8 u oscilacijama još uvijek nije teorijski istražena. Cilj ovog istraživanja je otkriti ulogu kinezina-8 u oscilacijama koristeći teoriju srednjeg polja kojom će se opisati prostorno-vremensko ponašanje molekularnih motora i mikrotubula, odnosno signalnih proteina. Očekujemo da će takva teorija rezultirati skupom Fokker-Planckovih jednadžbi, koje će se rješavati numerički metodom konačnih razlika. Sljedeći je korak identifikacija oscilacija te istraživanje parametarskog prostora. Numerički će se identificirati točke u kojima dolazi do bifurkacije korištenjem analize stabilnosti lineariziranog sustava. Kako bi se sustavno istražio parametarski prostor, također će se analitički riješiti jednadžbe. Da bi to bilo moguće, bit će potrebno pojednostaviti model zadržavanjem samo ključnih članova u jednadžbama.

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

**Mentor:** dr. sc. Matko Glunčić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Model rotacije flagelarnih motora

**Sadržaj teme:**

Mnoge bakterije "plivaju" pomoću flagelarnih motora koji pokreću rotaciju njihovih spiralnih filamenata. Kontrola zaustavljanja i pokretanja ovih motora omogućuje bakterijama nakupljanje u područjima pogodnim za njihovo preživljavanje. Grupa Teute Piližote na University of Edinburgh eksperimentalno je pokazala da se pri niskim brzinama rotacija ovih motor odvija u diskretnim koracima. Cilj je ovog rada razviti jednostavan fizikalni model koji bi opisao diskretno ponašanje motora kao slučajan hod u pomaknutom naboranom potencijalu. Rad se realizira u suradnji s dr.sc.Teutom Piližotom, voditeljem grupe na Institute of Cell Biology, University of Edinburgh.

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

**Mentor:** dr. sc. Matko Glunčić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Kotrljanje na rotirajućem disku

**Sadržaj teme:**

Ako na hrapavi disk, koji se uniformo vrti oko vertikalne osi, postavimo lagani rotirajući objekt (na primjer disk ili lopticu), objekt neće biti izbačen s diska, već će se nastaviti gibati po pravilnim putanjama (vidi film na [http://www.phy.pmf.unizg.hr/~matko/diplomski\\_loptica.html](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~matko/diplomski_loptica.html)). Cilj ovog istraživanja je opisati kako različiti tipovi gibanja loptice ovise o relevantnim parametrima. U tu svrhu student obavlja eksperiment na rotirajućem disku i pri tome snima putanje laganog objekta. Potom analizira gibanje objekta koristeći program Logger Pro, te na osnovi izmjerenih parametara predlaže fizikalni model kojim opisuje i objašnjava različite vrste gibanja laganog objekta na rotirajućem disku. Projekt se realizira u suradnji s prof. Damirom Kličekom, voditeljem Centara izvrsnosti iz fizike.

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

**Mentor:** dr. sc. Mihael Grbić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Naslov teme: Heat capacity of systems with complex magnetic phase diagrams for magnetic field along hard magnetization axes / Mjerenje toplinskog kapaciteta u sustavima s kompleksnim faznim dijagramom s magnetskim poljem duž osi teške magnetizacije

**Sadržaj teme:**

Voditelj diplomskog rada: Prof. dr. sc. Christian Pfleiderer (Department of Physics, TU Munich, Garching, Njemačka) Su-voditelj: doc. dr. sc. Mihael S. Grbić

Outline: Measurements of the heat capacity in magnetic materials provide key information on the nature of the excitations and changes of entropy across the phase boundaries. In magnetic materials with complex magnetic phase diagrams for magnetic field along the hard magnetization axes essentially no information is available on the underlying changes of entropy across the phase boundaries. Due to strong mechanical torques in finite magnetic fields they are incompatible with present-day experimental apparatus. The objective of the project is the implementation of an experimental set-up for measurements of the specific heat in RE-Cu, (RE = Ho, Er, Tm) which display strong electronic correlations and large magnetic anisotropies. The measurements will be performed under large applied magnetic fields along hard magnetization axes down to very low temperatures. These anisotropic systems are of particular interest due to a strong interplay of spin and orbital degrees of freedom. The project comprises of the development of the experimental set up for these studies, and the investigation of selected materials.

Sažetak: Mjerenja toplinskog kapaciteta u magnetskim materijalima pružaju pristup ključnim informacijam o prirodi pobuđenja i promjeni entropije duž njihova faznog dijagrama. U magnetskim materijalima koji imaju kompleksne fazne dijagrame za magnetsko polje postavljeno uzduž osi teške magnetizacije u većini slučajeva ne postoji informacija o promjeni entropije blizu faznih granica. Naime, zbog pojave snažnog zakretnog momenta u konačnom magnetskom polju nisu kompatibilni su s postojećim mjernim postavima. Cilj projekta je izrada eksperimentalnog postava za mjerenje specifičnog toplinskog kapaciteta u RE-Cu spojevima (RE = Ho, Er, Tm) koje karakterizira velika magnetska anizotropija i jake elektronske korelacije. Mjerenja će se izvesti s jakim magnetskim poljem uzduž osi teške magnetizacije i pri vrlo niskim temperaturama. Ovi anizotropni sustavi su od posebnog interesa zbog snažne međugre spinskih i orbitalnih stupnjeva slobode. Projekt se sastoji od konstrukcije eksperimentalnog postava namijenjenog za ova mjerenja i proučavanja spomenutih RE-Cu sustava.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Mihael Grbić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Proučavanje promjene simetrije Fermijeve plohe bizmuta metodom nelinearne vodljivosti

**Sadržaj teme:**

Nedavno je otkriveno da u elementalnom bizmutu dolazi do promjene simetrije Fermijeve plohe u ovisnosti o temperaturi i vanjskom magnetskom polju. Porijeklo promjene nije sasvim očito, no podsjeća na topološke promjene elektronskih stanja viđene u sustavima teških fermiona i topoloških izolatora pod utjecajem vanjskog tlaka. Cilj rada je proučiti prijelaz metodom nelinearne vodljivosti u monokristalnom uzorku bizmuta kako bi se razumjela priroda i mehanizam prijelaza.

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

**Mentor:** dr. sc. Mirta Herak

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Istraživanje magnetske anizotropije niskodimenzionalnih spinskih sustava

**Sadržaj teme:**

Proučavanje magnetskih materijala motivirano je brojnim postojećim i potencijalnim primjenama tih materijala te njihovom važnosti za razvoj novih tehnologija. Magnetski materijali sadrže atome koji posjeduju magnetski moment. Zanimljive magnetske pojave u takvim materijalima javljaju se kao posljedica interakcija među magnetskim momentima. Magnetske interakcije definiraju magnetsku rešetku u materijalu koja se po dimenzionalnosti može razlikovati od kristalne rešetke. U trodimenzionalnim sustavima posljedica magnetske interakcije najčešće je pojava dugodosežnog magnetskog uređenja ispod neke konačne temperature koja ovisi o jačini interakcije. Niskodimenzionalnim magnetskim, odn. spinskim sustavima nazivamo one sustave u kojima su interakcije ograničene u prostoru na manje od tri dimenzije. Tako u realnom trodimenzionalnom magnetskom materijalu možemo imati magnetske ravnine (2D), magnetske lance (1D) i male magnetske nakupine (0D). Upravo se u niskodimenzionalnim magnetskim rešetkama javljaju nekonvencionalna magnetska stanja koja ne moraju biti dugodosežno magnetski uređena čak ni pri temperaturi apsolutne nule. Konačno osnovno stanje tih sustava ovisi i o drugim faktorima osim dimenzionalnosti, a među najbitnijima je magnetska anizotropija. Magnetska anizotropija opisuje svojstvo materijala da ga se lakše magnetizira u nekom preferiranom smjeru. U magnetski uređenom sustavu orijentacija magnetskih momenata u prostoru određena je upravo magnetskom anizotropijom tog sustava. Tema diplomskog rada je eksperimentalno proučavanje makroskopske magnetske anizotropije niskodimenzionalnog spinskog sustava metodom mjerenja magnetskog momenta sile i magnetske susceptibilnosti u širokom temperaturnom području (2K - 300K). Mjerenja će se vršiti na novosintetiziranim monokristalnim spojevima bakrovih dimera (0D sustavi) u kojima su nosioci magnetskog momenta spinovi  $S=1/2$  iona bakra okruženi organskim molekulama. Kroz izradu diplomskog rada student će se upoznati s osnovama magnetizma te će kroz sudjelovanje u eksperimentima steći iskustvo u magnetskim mjerenjima pri niskim temperaturama. Student će sudjelovati i u trenutnoj nadogradnji postava na visoka magnetska polja (do 5T) čime će steći iskustvo i u radu sa supravodljivim magnetom. Svrha diplomskog rada je stjecanje dodatnih znanja i vještina u području eksperimentalnog magnetizma koja nisu pokrivena diplomskim studijem, te stvaranje dobrih temelja za daljnje bavljenje magnetizmom i eksperimentalnom fizikom čvrstog stanja. Osim navedenih spojeva, za mjerenje je dostupna i nekolicina drugih niskodimenzionalnih sustava te je tema pogodna za izradu više diplomskih radova. Diplomski rad bit će izrađen na Institutu za fiziku uz potporu HRZZ uspostavnog projekta UIP-2014-09-9775 uz čiju temu je rad vezan.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

|                      |   |                         |
|----------------------|---|-------------------------|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Davor Horvatić  | <b>Institucija:</b> PMF |
| <b>Naslov teme:</b>  | Topološko uređenje u kvantnim spinskim sustavima (Topological Order in Quantum Spin Systems)  |                         |
| <b>Sadržaj teme:</b> | <p>Od velikog broja različitih fizičkih pojava koje se mogu opaziti u kvantnim spinskim sustavima, jedna od najzanimljivijih je zasigurno pojava topološki uređenih faza. Topološko uređenje izlazi iz okvira predstavljenih klasičnom Ginzburg-Landauvom teorijom faznih prijelaza uz slamanje simetrije. Trenutno se topološki uređene faze dobro razumiju samo na temperaturi apsolutne nule, gdje su karakterizirane postojanjem globalnih opservabli koje su otporne na lokalne perturbacije Hamiltonijana sustava, primjerice degeneracija njegova osnovnog stanja. Postoji tek malen broj općih metoda za proučavanje ovih sustava. No, tijekom posljednjih desetak godina svjedočimo dramatičnom napretku u razumijevanju kinematike i dinamike snažno međudjelujućih kvantnih spinskih sustava, osobito pri primjeni novih ideja iz teorije kvantne informacije. Ovaj napredak pripada kategoriji Lieb-Robinsonovih granica i adijabatskog razvoja. U ovom će radu navedene ideje biti primijenjene na opisane sustave, te će biti udružene s ciljem razumijevanja učinaka lokalnih perturbacija na stabilnost topološkog uređenja, kao i izvođenja općih granica njihovog utjecaja.</p> <p>Quantum spin systems exhibit a wide variety of physical phenomena, the most striking of which is topologically ordered phases. Topologically ordered phases go beyond the classical Ginzburg-Landau symmetry-breaking theory of phase transitions. They are currently well-understood only at the temperature of absolute zero, where they are characterized by the existence of global observables that are robust against local perturbations of the system's Hamiltonian, such as the ground space degeneracy. There exist very few general techniques to study such systems. However, in recent years we've witnessed dramatic progress in understanding the kinematics and dynamics of strongly interacting quantum spin systems, particularly exploiting new ideas from quantum information theory. These fall under the rubric of Lieb-Robinson bounds and adiabatic continuation. In this work, these ideas will be applied to the aforementioned systems, where they will be combined to understand the effects of the stability of topological order against local perturbations and derive general bounds on their influence.</p> <p>Voditelj: Prof. Dr. Tobias Osborne, Institut für theoretische Physik, Leibniz Universität Hannover<br/>Suvoditelj: doc.dr.sc. Davor Horvatić</p> |                         |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački)   |                         |

|                      |   |                         |
|----------------------|---|-------------------------|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Davor Horvatić  | <b>Institucija:</b> PMF |
| <b>Naslov teme:</b>  | Rješavanje fizikalnih problema pomoću programskog jezika Julia  |                         |
| <b>Sadržaj teme:</b> | <p>U znanstvenoj zajednici uobičajeno je programirati u programskim jezicima koji imaju visoke performanse. C i FORTRAN sa svojim veliki skupom biblioteka i razrađenih numeričkih rutina obično predstavljaju prvi izbor, no za razvoj operativnog programskog koda trebamo više vremena nego u dinamičkim jezicima poput Pythona. U zadnjih par godina nametnula se alternativa, programski jezik Juila. Brzinom ekvivalent C i FORTRAN-u, a jednostavan za programiranje poput Pythona. Ideja diplomskog rada je pokazati prednosti programskog jezika Juila rješavajući fizikalne probleme koji se sureću tokom studija fizike.</p> |                         |
| <b>Smjerovi:</b>     | prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije   |                         |

**Mentor:** dr. sc. Davor Horvatić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Koncept elektromotorne sile u nastavi fizike

**Sadržaj teme:**

Kod opisa strujnih krugova integral sile po jediničnom naboju nazivamo elektromotornom silom. Kako se taj izraz ustalio u upotrebi ideja diplomskog rada je dati pregled svih detlja povezanih s opisom elektromotrne sile u strujnom krugu. Dodatno će se testirati razumijevanje tog kocepta među učenicima koji su obradili taj dio gradiva.

**Smjerovi:** prof. fizike i tehnike

**Mentor:** dr. sc. Davor Horvatić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Efektivni model gluonske materije na konačnoj temperaturi

**Sadržaj teme:**

Zadatak ovog diplomskog rada uskladiti podatke je za pritisak u ovisnosti o temperaturi u Yang-Mills teoriji sa efektivnim modelom. Čestični sadržaj efektivnog modela su konstituentni gluoni i glueballi. Uz to, model sadrži i "interpolirajuće polje" čiji je zadatak kontrolirati čestični sadržaj u ovisnosti o temperaturi. Vrijednost interpolirajućeg polja kontrolira efektivni potencijal čiji je oblik u principu nepoznat. Cilj rada je pronaci koeficijente ovog potencijala usklađujući pritiske efektivnog modela i Yang-Mills teorije na rešetci. Tako kalibiriran model bio bi veoma koristan za fenomenologiju kompaktnih zvijezda gdje bi se koristio pri računu jednadžbe stanja na konačnoj gustoći.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Amon Ilakovac

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Renormalizacijska grupa

**Sadržaj teme:**

Analizirat će se metode renormalizacijske grupe i naći renormalizacijske grupne jednadžbe na nivou jedne petlje za niz modela. U planu je odrediti renormalizacijske grupne jednadžbe za QED, QCD, Standardni model, MSSM i MSSM s dodatnim teškim neutrinima. Analizirat će se i renormalizacijske grupne jednadžbe na nivou dvije petlje.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Tomislav Ivek

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Dielektrična svojstva organskog vodiča niske dimenzionalnosti

**Sadržaj teme:**

Svojstva nekog novog materijala najizravnije se mogu odrediti njegovim pobuđivanjem i zatim promatranjem odziva. Gotovo se svaki eksperiment konceptualno svodi na takav pristup, uključujući različite spektroskopske metode kao što su ARPES, NMR, infracrvena ili Ramanova spektroskopija. Dielektrična spektroskopija jest jedna od tehnika koja omogućava mjerenje vodljivosti i kapaciteta uzoraka u širokom rasponu frekvencija mHz – MHz i time ispituje stanje naboja odn. električnih dipola u materijalu. Ispostavlja se da upravo u tom frekventnom rasponu svoj karakteristični potpis bogat informacijama ostavljaju određena nova elektronska stanja kao što su elektronska feroelektričnost, valovi gustoće ili uređenja naboja.

U ovom diplomskom radu odredit ćemo dielektrična svojstva materijala iz obitelji niskodimenzionalnih molekulskih vodiča s konačnim ciljem da opišemo osnovno stanje na niskim temperaturama. Ta ćemo mjerenja popratiti prema potrebi karakterizacijom nelinearne vodljivosti i magnetske susceptibilnosti u ovisnosti o temperaturi. Student će u laboratorijskom radu ovladati vakuumskim i krio-tehnikama kojima se dosežu temperature sve do 4 K. Kroz praksu naučit će detalje eksperimentalnih tehnika dc i pulsno električnog transporta, dielektrične spektroskopije te mjerenja magnetske susceptibilnosti Faradayevom metodom. Tematika diplomskog rada usko je vezana za istraživački projekt HRZZ-a "Strongly Correlated Electrons in Layered Organics and Manganites: Low Frequency Excitations and Non-linear Dynamics" (više informacija: <http://sceinlom.ifs.hr/>).

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Marinko Jablan

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Nelinearna plazmonika u grafenu

**Sadržaj teme:**

Precizna kontrola nad optičkim svojstvima materijala bi mogla dovesti do potpuno novih paradigmi u znanosti i tehnologiji. Npr. jake optičke nelinearnosti bi omogućile ultra-brzu obradu podataka (svjetlosna računala) te u ekstremnoj kvantnoj granici, egzotična ne-klasična stanja svjetlosti te kvantnu obradu podataka (kvantna računala). Dok tipični materijali pate od slabog nelinearnog odziva (dva snopa svjetlosti mogu interagirati samo pri ogromnim intenzitetima), nedavno je pokazano da grafen posjeduje jaki nelinearni odziv.

U sklopu ovog diplomskog rada student će se moći upoznati s vrućim temama istraživanja i razvojem novih tehnologija u modernoj fizici. Konkretno, student će naučiti kakva su svojstva neobičnog materijala grafena, što je plazmonika i što se krije ispod difrakcijske granice, te kakvi su to neobični efekti nelinearne optike. Naglasak će biti upravo na nelinearnim efektima tj. reakciji sustava na silovite pobude izvan ravnoteže. U klasičnom režimu student će se upoznati s konceptima poput višeplazmonske absorpcije u grafenu dok će se u kvantnom režimu student moći upoznati s konceptom plazmonske blokade tj. mogućnosti realizacije interakcije između samo dva kvanta svjetlosti u grafenskim nano-strukturama.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Milko Jakšić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Proizvodnja uređenih nanorupica u membranama pomoću energetskih teških iona

**Sadržaj teme:**

Zbog izuzetno velikog transfera energije, kod zaustavljanja teških iona energija reda MeV/amu u materijalu, proizvodi se trajno oštećenje duž trajektorije svakog pojedinačnog iona. Kod nekih materijala (npr. polikarbonatne membrane), pogodnim jetkanjem tih latentnih ionskih tragova, mogu se proizvesti nanorupice što može je baza jedne od metoda nanostrukturiranja. U sklopu ovog rada, na ionskoj mikroprobi tandem akceleratora IRB-a, konstruirao bi se sustav za detekciju sekundarnih elektrona koji se emitiraju prilikom impakta teških iona. Na taj način bi se razvila metoda uređenja ionskih tragova u zračenim membranama. Cilj je rada postizanje visoke vjerojatnosti detekcije ionskog impakta (blizu 100%) pomoću nove generacije CEM (channel electron multiplier) detektora elektrona, što će se postići ispitivanjem ovisnosti efikasnosti detekcije o vrsti zračenog materijala i energiji ionskog snopa.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Vibor Jelić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Istraživanje epohe reionizacije svemira pomoću pozadinskog zračenja svemira u mikrovalnom području

**Sadržaj teme:**

Okolo 380 tisuća godina nakon Velikog praska, nastanak atoma omogućilo je zračenju slobodno kretanje Svemirom. Danas, to zračenje detektiramo u mikrovalnom području elektromagnetskog spektra, te ga nazivamo pozadinskim zračenjem svemira. Između 150 milijuna i milijardu godina nakon Velikog praska zračenje prvih "zvijezda" u svemiru ioniziralo je međugalaktičku materiju, tj. atome vodika (epoha reionizacije svemira). Nastali slobodni elektroni međudjeluju (Thompsonovo raspršenje) sa pozadinskim zračenjem svemira, ostavljajući karakteristični otisak u polariziranom zračenju. Ovaj rad će se baviti istraživanjem epohe reionizacije svemira pomoću pozadinskog zračenja svemira, tj. kinetičkog Sunyaev-Zel'dovich (kSZ) efekta. Rad će uključivati analizu hidrodinamičkih simulacija s prijenosom zračenja, izračun kSZ efekta, te predviđanje mogućnosti korelacije između mjerenja pozadinskog zračenja svemira (npr. Planck, SPT) i kozmoloških 21-promatranja u radio području (npr. LOFAR, SKA).

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Vibor Jelić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Međuzvjezdana tvar u našoj galaksiji detektirana pomoću LOFAR radioteleskopa

**Sadržaj teme:**

Međuzvjezdana tvar u našoj galaksiji sastoji se od mješavine plinova različitih temperatura i faza. Netermičku komponentu u fazi plazme čine relativističke čestice oslobođene pri eksplozijama masivnih zvijezda. U njihovom međudjelovanju sa sveprožimajućim magnetskim poljem naše galaksije se stvara sinhrotronsko zračenje koje možemo detektirati pomoću radioteleskopa. Nedavna promatranja s LOFAR (eng. Low Frequency Array) radioteleskopom otkrila su vrlo neobične morfološke strukture u polariziranom sinhrotronskom zračenju naše galaksije (Jelic et al. 2014,2015). Obzirom da su otkrivene strukture vrlo velike i pravocrtne, njihovo porijeklo je prava zagonetka. Ovaj rad će se fokusirati na analizu i određivanje fizikalnih karakteristika novootkrivenih struktura, a uključivat će analizu LOFAR i Planck podataka u radio i mikrovalnom području, te izračune bazirane na jednadžbama prijenosa zračenja.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Larisa Jonke

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Poopćene baždarnе teorije

**Sadržaj teme:**

Osnovna međudjelovanja materije opisujemo funkcionalom djelovanja invarijantanim na baždarnе simetrije. Kao posljedicu postojanja baždarnе simetrije u funkcional djelovanja uvodimo međudjelovanje baždarnih polja i polja materije u skladu s principom minimalne substitucije. Ukoliko dozvolimo transformacije baždarnih polja koje ovise o poljima materije možemo generirati nove baždarnе teorije čiju važnost u opisu fizikalnih proces tek treba istražiti. (A. Kotov, T. Strobl: Curving Yang-Mills-Higgs Gauge Theories, <http://arxiv.org/abs/1510.07654>)

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Marko Karlušić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Tragovi brzih teških iona u piroklorima

**Sadržaj teme:**

Prolaskom brzog teškog iona kroz materijal, formira se nanometarsko oštećenje duž njegove putanje koje se naziva ionski trag. Istraživanja ionskih tragova u materijalima s piroklornom strukturom (A2B2O7) su važna zbog njihovog potencijala u skladištenju nuklearnog otpada (R.C. Ewing et al., J. Appl. Phys. 95 (2004) 5949) jer se ionskim zračenjem MeVskih energija može sistematski ispitivati odgovor materijala na fisijske fragmente. Nedavno objavljeni pregledni članak dobro prikazuje rezultate dosadašnjih istraživanja (M. Lang et al., Curr. Opin. Solid State Mater. Sci. 19 (2015) 39). Cilj ovog diplomskog rada je usporediti predviđanja modela termalnog vala s eksperimentalnim podacima dostupnim u literaturi.

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

**Mentor:** dr. sc. Marko Karlušić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Validacija analitičkog modela termalnog vala za opis ionskih tragova

**Sadržaj teme:**

Ionski tragovi su oštećenja u materijalu uzrokovana prolaskom teških iona visokih energija. Zbog nano-dimenzija, opažaju se metodama poput transmisijskog elektronskog mikroskopa (tragovi u materijalu) odnosno mikroskopa atomskih sila (tragovi na površinama materijala). Unatoč mnoštvu eksperimentalnih podataka dostupnih u literaturi, postojeće razlike između modela koji opisuju formiranje ionskih tragova su otvoren problem (Phys. Rev. B 85 (2012) 054112). Cilj ovog diplomskog rada je usporediti predviđanja analitičkog modela termalnog vala (Phys Rev. B 51 (1995) 8026) s eksperimentalnim podacima novijeg datuma i s drugim modelima formiranja ionskih tragova.

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

**Mentor:** dr. sc. Dubravko Klabučar

**Institucija:** PMF

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

**Sadržaj teme:**

Kvantna kromodinamika kvarkova i gluona (QCD) dovodi do vrlo složene hadronske fenomenologije. Nobelove su nagrade dodijeljene za kromodinamiku u perturbativnom režimu, ali je neriješena ostala neperturbativna kromodinamika.

Upravo je ona ključna za razumijevanje kako gluoni vežu kvarkove u hadronske čestice - mezone i barione. Dva najvažnija neperturbativna efekta kromodinamike su: 1.) potpuno zatočenje kvarkova i gluona, fenomen koji još uvijek ne razumijemo, 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 hadronskog spektra, poput anomalno lakog okteta pseudoskalarnih mezona.

Zanimljivo je i lomljenje druge kiralne simetrije QCD-a, naime  $U_A(1)$ , kojoj pak deveti pseudoskalarni mezon,  $\eta'$ , duguje svoju anomalno veliku masu. Grupa mađarskih fizičara je 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 zagrebačka grupa, pruživši scenarij gdje je obnavljanje  $U_A(1)$  simetrije povezala s obnavljanjem okusne  $SU(3)$  kiralne simetrije, naime  $SU_A(3)$ . To otvara mogućnosti za diplomske radove iz fizike elementarnih čestica i nuklearne fizike, pogotovo zato što su otvorene mogućnosti za proširenje tog scenarija i na gustu jako interagirajuću materiju, te što je grupa iz Budimpešte zainteresirana za suradnju o razradi i primjenama tog scenarija i na visokim temperaturama i na visokim gustoćama.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Dubravko Klabučar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Uvođenje edukacijskih kartaških igara

**Sadržaj teme:**

Dobar i zanimljiv način za popularizaciju fizike su edukacijske igre, te ih je potrebno učiniti bolje poznatim u Hrvatskoj. Zato predlažem da tema diplomskog rada budu razni aspekti uvođenja, popularizacije, a u konačnici možda i mogućnosti komercijalizacije kartaške igre koja popularizira neke osnovne pojmove fizike elementarnih čestica [1,2]. Nju su prije nekoliko godina, potaknuti otkrićima na sudaračima u Brookhavenu i CERN-u, izumili članovi jednog srednjoškolskog znanstvenog kluba u Mađarskoj. Zapravo se radi o posebnom snopu karata, "špil" koji omogućuje više raznih igara, jer se pravila mogu odabrati u skladu s raznim razinama znanja, pa i sa znanjem onih igrača koji su najmanje upućeni u fiziku čestica.

Te igre, "Quark Matter Card Games" tj. "Kartaške igre kvarkovske tvari", kao "farbe karata" koriste razne okuse kvarkova i antikvarkova u tri boje QCD-a, te razne vrste leptona i antileptona, pa na taj način mogu i potpunom laiku približiti osnovnu terminologiju fizike elementarnih čestica. Na razini potpunog laika, karte se mogu koristiti za igru običnog tipa "Memory". Zatim se pravila proširuju na formiranje zadanih validnih parova ili tripleta, tako da cilj igre postaje formiranje "bezbojnih" mezona i bariona s ispravnim kvantnim brojevima. Postojeće upute omogućavaju tri razine težine igre, što je moguće i proširivati. Na primjer, isti taj "špil" karata, budući da simbolički sadrži čestice koje se pojavljuju kao finalni produkti raspada Higgsovog bozona, omogućava i igru "lova" na njega, nazvanu "Vaš vlastiti Higgsov bozon" ("Higgs boson on your own") [2].

Osnovni, najjednostavniji element diplomskog rada bilo bi, nakon prevođenja, razjašnjavanje uputa za razne varijante igre - kako onih standardnih kratkih na prospektu-listiću priloženom uz "špil" (koji se može dobiti od mentora), tako i znatno detaljnijih uputa, razrada i komentara datih u raznim publikacijama posvećenima ovim edukacionim igrama - na pr. u [1,2], te u dodatnim referencama sadržanima u [1,2]. Informatički obrazovaniji studenti bi mogli pokušati načiniti i verziju za igranje na računalu.

Proširenje gornje teme, ali možebitno i kao TEMA POSEBNOG DIPLOMSKOG RADA jest razmatranje odnosno izvođenje ambicioznijih koraka popularizacije - na primjer, pokušaja izdavanja i prodaje tih karata s uputama prevedenim na hrvatski (za što je potencijalno zainteresirana na pr. i firma "Hitra", [www.hpdoc.hr](http://www.hpdoc.hr)). To je moguće ostvariti kroz Technology Commercialization and Partnership Office of Brookhaven National Laboratory, koji drži copyright. Financiranje bi se moglo postići, na pr., pomoću tzv. crowdfundinga (vidi [www.indiegogo.com/](http://www.indiegogo.com/) ili [www.kickstarter.com/](http://www.kickstarter.com/)). To se ne odnosi samo na hrvatsko izdanje, jer iako su zainteresirani, niti autori niti Brookhaven National Laboratory nisu još posegnuli za crowdfundingom za englesko i eventualna druga izdanja. Pritom bi mogli pomoći razni čimbenici, na pr. neprofitna obrazovna udruga "Bura znanja" (<http://buraznanja.uniri.hr/>), a u sklopu diplomskog rada bi se mogle ispitati i standardnije mogućnosti podrške: od Hrvatskog fizikalnog društva, nekih od naših srednjih škola i/ili Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta, te razna skupljena iskustva iznijeti u diplomskom radu.

[1] J. Csörgő, C. Török and T. Csörgő, "Memory of Quark Matter Card Game," e-print arXiv:1303.2798 [physics.pop-ph].

[2] T. Csorgo, "Higgs Boson - on Your Own," e-print arXiv:1303.2732 [physics.pop-ph].

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

|                      |   |                         |
|----------------------|---|-------------------------|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Ivan Kokanović  | <b>Institucija:</b> PMF |
| <b>Naslov teme:</b>  | Temperaturna i magnetska ovisnost električne vodljivosti PANI-HCl i PANI-DBSA uzoraka tankih filmova  |                         |
| <b>Sadržaj teme:</b> | Student će u okviru teme raditi na problemu sinteze tankih filmova vodljivog polianilina. Istražit će se metode dobivanja homogenih otopina PANI-HCl, PANI-DBSA, pogodnih za depoziciju tankih filmova da se dobiju uzorci u obliku pogodnom za eksperimentalno istraživanje tj. za mjerenje električne vodljivosti. Pozornost će biti usmjerena na razumjevanje kako dopant i otapalo utječu na električnu vodljivost PANI-HCl i PANI-DBSA tankih filmova, tj. kako se može proizvesti procesibilni materijal sa željenim vodljivim svojstvima. Istražit će se temeljna svojstva električnog transporta kako bi se moglo razumjeti detalje transporta naboja u tankim filmovima vodljivog polianilina. |                         |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije  |                         |

|                      |  |                         |
|----------------------|--|-------------------------|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Ivan Kokanović   | <b>Institucija:</b> PMF |
| <b>Naslov teme:</b>  | Transportna svojstva metalnih stakla i nanokristalnih metalnih slitina   |                         |
| <b>Sadržaj teme:</b> | Student će se upoznati s načinom pripreme metalnih stakala. Diferencijalnom kalorimetrijom i difrakcijom X zraka istražiti će kristalizaciju metalnih stakala kao i strukturu odabranih amorfnih i nanokristaliničnih metalnih slitina. Student će istražiti utjecaj različitog stupnja nereda na transportna svojstva amorfnih i nanokristaliničnih metalnih slitina. Student će upoznati teorije: slabe lokalizacije, elektron-fonon interakcije i spinskih fluktuacija. |                         |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije   |                         |

|                      |   |                         |
|----------------------|---|-------------------------|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Ivan Kokanović  | <b>Institucija:</b> PMF |
| <b>Naslov teme:</b>  | Magnetska i supravodljiva svojstva $YBa_2Cu_3O_{6+x}$ monokristala  |                         |
| <b>Sadržaj teme:</b> | Student će istražiti utjecaj uređenja kisika na magnetska i supravodljiva svojstva $YBa_2Cu_3O_{6+x}$ ( $0.35 < x < 0.7$ ) monokristala i upoznati tehnike sinteze $YBa_2Cu_3O_{6+x}$ ( $x < 0.5$ ) monokristala, dopiranja uzoraka kisikom i mjerenja magnetizacije monokristala u temperaturnom području od 5 K do 300 K. |                         |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije  |                         |

**Mentor:** dr. sc. Marko Kralj

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Sklopovi bazirani na slojevitim 2D materijalima i njihovim heterostrukturama

**Sadržaj teme:**

Nakon 10 godina, era intenzivnog istraživanja prvog i ultimativnog 2D materijala grafena, ulazi u fazu u kojoj se uvođenjem novih 2D materijala, primjerice slojevitih dihalogenida prijelaznih metala (TMD), proširuje spektar mogućih primjena zahvaljujući raznolikoj prirodi tih materijala u odnosu na grafen. To se prvenstveno odnosi na svojstva vođenja elektrona, gdje su u limitu jednog sloja mnogi TMD materijali poluvodiči s direktnim procjepom. Ključ u fundamentalnom razumijevanju i napretku prema tehnološkim primjenama 2D materijala i njihovih kompleksnijih heterostruktura (vertikalnih i lateralnih), leži u pripremi/sintezi što kvalitetnijih uzoraka, te rješavanju delikatnih izazova u pripremi dobro definiranog interfejsa tih atomski tankih materijala i vanjskih elektroda. Cilj ovog diplomskog rada je sistematska razrada postupka za električno kontaktiranje struktura 2D materijala lateralnih karakterističnih dimenzija ~100 mikrometara pomoću tehnika koje ne uključuju upotrebu polimera i tipičnih litografskih postupaka. Električne karakteristike odabranih dobivenih tranzistorskih sklopova biti će testirane u sklopu rada, a kao karakterizacije tehnike koristiti će se još mikroskopija atomskih sila pretražnom probom (AFM), optička mikroskopija, te Ramanova spektroskopija.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Nikša Krstulović

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Laserski proizvedene sudarne plazme proučavane pomoću LASPOR tehnike

**Sadržaj teme:**

Laserski proizvedene plazme (LPP) nastaju procesom laserske ablacije kada se laserski puls fokusira na površinu mete. Tada se iznad površine mete formira oblak vruće i guste plazme koji evoluiraju u prostoru i vremenu, te se radijativno hladi. Kako se plazmeni oblak širi, tako se i sadržaj plazme mijenja. Općenito prilikom laserske ablacije metu prvo napuštaju elektroni, potom ioni, atomi i molekule, a na kraju nano- i mikročestice (nastaju ili direktno iz mete ili procesima kondenzacije u ablacijskom oblaku). Ako se LPP širi u nekom pozadinskim plinu, zbog sudarnog međudjelovanja, moguće je i formiranje novih molekula od interesa. Da bi se svi ovi vrlo kratki procesi detektirali i pratili potrebna je pogodna i visokorazlučiva tehnika. U našem laboratoriju koristimo vrlo osjetljivu lasersku apsorpcijsku spektroskopiju pomoću optičkog rezonatora, LASPOR (engl. Cavity Ring-Down Spectroscopy, CRDS) koja omogućuje analizu LPP s razlučivanjem od 10 ns i u optičkom dijelu spektra. Ideja je primijeniti CRDS na laserski proizvedene sudarne plazme (LPSP). LPSP nastaje tako da se laserski snop za ablaciju rascijepa na dva istovjetna snopa koji upadaju na površinu mete i međusobno su udaljeni 1-10 mm. Tako nastanu dvije međusobno ukrštene LPP. U području njihova međusobnog sudara, ovisno o parametrima ablacije i gustoće ablacijskog oblaka, dolazi do interpenetracije jedne plazme u drugu s zanemarivim međudjelovanjem ili do formiranja tzv. stagnacijskog sloja koji je karakteriziran visokim stupnjem sudarnog međudjelovanja ablacijskih oblaka. Parametar koji određuje stupanj interpenetracije, odnosno stagnacije naziva se 'sudarni parametar' i on ovisi o temperaturi, gustoći i stupnju ionizacije plazme. U ovome projektu istraživat će se LPSP raznih mete od šireg znanstvenog interesa kao što su Ti, Sn, In, Fe, itd. Rad podrazumijeva određivanje i optimizaciju sudarnog parametra, te praćenje prostorno(2D)-vremenskog odvijanja LPSP; određivanja sastava, brzina i gustoća pojedinih konstituenata LPSP (ioni, atomi, molekule – posebno u stagnacijskom sloju). CRDS mjerenja bit će potpomognuta i kompatibilnim emisijskim mjerenjima u širokom spektralnom području, kao i analizom deponiranih filmova. Primjene LPSP i posebno stagnacijskog sloja usmjerene su prema razvoju izvora svjetlosti za fotolitografiju nove generacije i pripadne metrologije (LPP kao izvor ekstremno ultraljubičastog zračenja i X-zraka), razvoju medija pogodnog za dobivanje visokih harmonika pomoću snažnih TW fs lasera (koherentni izvori X-zraka u as području – ultrabrzi laseri X-zraka), pulsne laserske depozicije tankih filmova, laboratorijskih eksperimenata i modeliranja astrofizikalnih procesa, izvora X-zraka za pogonjenje fuzije gorivih ćelija, izvora iona u akceleratorima za potrebe znanstvenih, medicinskih i industrijskih istraživanja, u laserski induciranoj 'breakdown' spektroskopiji, itd.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

|                      |   |                     |     |
|----------------------|---|---------------------|-----|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Nikša Krstulović  | <b>Institucija:</b> | IFS |
| <b>Naslov teme:</b>  | Hladnom plazmom potpomognuta laserska sinteza nanočestica u tekućinama i primjene   |                     |     |
| <b>Sadržaj teme:</b> | Laserska sinteza nanočestica u tekućinama bit će potpomognuta hladnim atmosferskim plazmenim mlazom. Proučavat će se prednosti ovakve vrste inovativne sinteze s klasičnim načinom pomoću laserske ablacije u tekućinama. Ovako sintetizirane nanočestice koristit će se za neke primjene kao npr. za površinski potpomognutu Ramanovu spektroskopiju za detekciju molekula u tekućinama ili za impregnaciju nanočestica u razne uzorke od interesa (npr. polimere ili celulozu). Mjerenja će se vršiti i rezultati analizirati pomoću slijedećih tehnika: optičke emisijske spektroskopije, fotoapsorpcije, Raman spektroskopije, fluorescencije, SEM i AFM mikroskopije, DLS analize. |                     |     |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije  |                     |     |

|                      |  |                     |     |
|----------------------|--|---------------------|-----|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Krešimir Kumerički   | <b>Institucija:</b> | PMF |
| <b>Naslov teme:</b>  | Odvajanje signala od pozadine u eksperimentima fizike elementarnih čestica pomoću strojnog učenja  |                     |     |
| <b>Sadržaj teme:</b> | Automatska klasifikacija objekata pomoću algoritama strojnog učenja se u posljednje vrijeme potvrđuje kao moćna metoda za odvajanje signala zanimljive fizike od pozadinskog "šuma" u eksperimentima fizike elementarnih čestica. U predloženom radu bi se prvo proučila dinamika i kinematika raspada Higgsovog bozona na dva tau leptona u standardnom modelu fizike elementarnih čestica, a zatim bi se u tom kontekstu proučili najpopularniji algoritmi strojnog učenja te bi se usporedila njihova moć i upotrebljivost primjenom na konkretne događaje kakvi se opažaju na Velikom hadronskom sudarivaču. |                     |     |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački)  |                     |     |

|                      |  |                     |     |
|----------------------|--|---------------------|-----|
| <b>Mentor:</b>       | dr. sc. Ivan Kupčić  | <b>Institucija:</b> | PMF |
| <b>Naslov teme:</b>  | Dinamičko zasjenjenje kulonskih interakcija u grafenu  |                     |     |
| <b>Sadržaj teme:</b> | Grafen dopiran elektronima ili šupljinama modelni je primjer za istraživanje elektrodinamičkih svojstava vodljivih elektrona sa slabim interakcijama u dvije dimenzije. Postoje dvije vrpce u blizini Fermijevog nivoa, bez procjepa u jednoelektronskoj gustoći stanja. Posljedica toga je da će većina niskoenergetskih svojstava ovisiti ne samo o unutarvrpčanim nego i o međuvrpčanim procesima raspršenja elektrona. |                     |     |
|                      | U ovom radu će se istražiti utjecaj međuvrpčanih elektron-šupljina pobuđenja na DC vodljivost te na frekvenciju i gušenje unutarvrpčanih plazmona.   |                     |     |
| <b>Smjerovi:</b>     | fizika (istraživački)  |                     |     |

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

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Ovisnost perifernih doza o sekundarnom kolimatoru na neuroradiokirurškom uređaju gama nož

**Sadržaj teme:**

Uređaj gama-nož koristi se u neuroradiokirurgiji za vrlo precizno tretiranje malih tumora unutar lubanje jednokratnim ozračivanjem tumora visokom dozom gama zračenja. Uređaj se nalazi na KBC Rebro i sastoji se od 201 izvora gama zračenja  $^{60}\text{Co}$  raspoređenih u polusferi. Pomoću kolimatorskog sustava 201 uski snop usmjerava se prema uskom području tumora. Pri planiranju zračenja cilj je raspodjelu doze zračenja što bolje prilagoditi obliku tumora i maksimalno poštediti okolno zdravo tkivo. No, zbog međudjelovanja gama zračenja s okolnim materijalom, neizbježno je da i tkiva/organi izvan tumora, pa i oni najudaljeniji, tijekom zračenja prime male doze zračenja za koje je poznata mogućnost neželjenih učinaka.

Cilj ovog rada je proučiti ovisnost doza koju prime organi izvan tumora (tzv. periferne doze) o izboru sekundarnog kolimatora. Na KBC Rebro će se primjenom gama noža zračiti antropomorfni fantom koji predstavlja desetogodišnje dijete, a za određivanje doza u organima koristit će se radiofotoluminescentni (RPL) detektori koji će pripremati i obrađivati na IRB-u. Budući da zračenja pacijenata najčešće zahtijevaju uporabu nekoliko kolimatora, cilj je na temelju eksperimentalnih podataka napraviti model koji za određeni odabir i broj kolimatora opisuje periferne doze.

**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:** Eksperimentalni potpisi kvarkovsko-gluonske plazme

**Sadržaj teme:**

Eksperimenti sa sudarima teških iona relativističkih energija dokazali su postojanje kvarkovsko-gluonske plazme, novog stanja materije u kojem za razliku od obične materije, kvarkovi i gluoni nisu zarobljeni u hadronima. Postojanje novog stanja materije pokazano je brojnim eksperimentalnim potpisima poput potisnuća nekih hadrona zbog jake interakcije sa stvorenom materijom, potisnuća mlazova, hidrodinamičkog toka plazme ili pak termalnog spektra stvorene materije. Današnji eksperimenti imaju za cilj detaljno istražiti svojstva kvarkovsko-gluonske plazme, a to je moguće učiniti preciznim opažanjima navedenih potpisa.

U okviru ove teme student će nadograditi znanje iz nuklearne fizike i fizike elementarnih čestica te se upoznati sa suvremenim metodama u području visokoenergijskih hadronskih sudara. Od studenta se očekuje upoznavanje sa teorijskom pozadinom, eksperimentalnim postavima te uključenje u analizu podataka dobivenih u PHENIX eksperimentu na RHICu, na samoj fronti istraživanja. Efikasno korištenje engleskog jezika je neophodno.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Mjerenje polarizacije gama zračenja

**Sadržaj teme:**

U okviru teme će se konstruirati, ispitati i koristiti uređaj za mjerenje polarizacije gama zračenja. Uređaj će se sastojati od scintilacijskih ili poluvodičkih detektora zračenja, koje će trebati kalibrirati i ispitati. Signali detektora će se obrađivati pomoću digitalizatora impulsa, a prema potrebi će se prilagoditi postojeći softver za analizu podataka. Cilj je izvršiti mjerenja polarizacije gama zračenja i ocijeniti njihovu efikasnost u raznim geometrijskim konfiguracijama radi potencijalne primjene polarizacijskih mjerenja u fundamentalnim istraživanjima i medicinskom oslikavanju.

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

**Mentor:** dr. sc. Tomislav Marketin

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Prilagodba parametara modela na dinamička svojstva jezgara

**Sadržaj teme:**

Nukleosinteza teških elemenata jedno je od najvećih nerazjašnjenih pitanja u modernoj fizici. To je vrlo kompleksan fenomen u kojem sudjeluju razni procesi, od kolapsa supernove na makroskopskoj skali do nuklearnih reakcija na mikroskopskoj skali. Kako sadašnja eksperimentalna postrojenja nisu u mogućnosti odrediti svojstva većine jezgara koje sudjeluju u r-procesu, nužno je koristiti teorijske modele. Modeli temeljeni na relativističkom funkcionalu gustoće energije su posebno prikladni za ovakva istraživanja zbog primjenjivosti na proizvoljno teške i egzotične jezgre te daju konzistentan opis karakteristika jezgara u svim dijelovima nuklearne karte. Cilj diplomskog rada je prilagodba parametara funkcionala gustoće na dinamička svojstva jezgara (položaj Gamow-Teller rezonance, vremena poluživota nestabilnih jezgara) i usporedba rezultata sa dosadašnjim prilagodbama.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Tomislav Marketin

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Alfa raspadi superteških jezgara

**Sadržaj teme:**

Proučavanje superteških jezgara je aktivno područje istraživanja u nuklearnoj fizici, jer sustavi sa ekstremnim brojem protona i neutrona daju nove informacije o nuklearnom međudjelovanju. Istraživanja ukazuju da je alfa-raspad jedan od bitnih kanala raspada takvih jezgara, i postao je važan alat u identifikaciji novih izotopa. Glavni faktori pri određivanju vremena poluživota pri alfa raspadu su energije vezanja početne i konačne jezgre, kao i raspodjela gustoće materije unutar jezgre. Cilj diplomskog rada je izgraditi model alfa raspada temeljen na kvantnom tuneliranju kroz potencijalnu barijeru. Usporedbom rezultata dobivenih na temelju empirijskih vrijednosti i onih iz teorijskih modela temeljenih na relativističkom nuklearnom funkcionalu gustoće, istražiti će se utjecaj ulaznih parametara na preciznost dobivenih rezultata. Za uspješnu izradu diplomskog rada preporučeno je poznavanje programiranja.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Tomislav Marketin

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Upotreba grafičkih procesora u numeričkim izračunima

**Sadržaj teme:**

GPGPU (General-purpose computing on graphics processing units) označava primjenu grafičkih procesora, koji tipično služe za računalnu grafiku, za izvršavanje proračuna koji se obično vrše isključivo na centralnoj procesorskoj jedinici. Ovaj pristup omogućava velika ubrzanja za operacije čiji se dijelovi mogu simultano izvršavati, npr. operacije sa vektorima i matricama. Ove metode se koriste u izuzetno širokom spektru primjena: bioinformatika, molekularna dinamika, procesiranje signala, simulacije fizikalnih sustava, procesiranje video zapisa, klimatologija, kriptografija, itd. do te mjere da se neka od najjačih superračunala dobrim dijelom sastoje od grafičkih procesora. Tema diplomskog rada uključuje primjenu algoritama razvijenih za grafičke procesore na određivanje pobuđenih stanja i brzine prijelaza kod procesa slabe interakcije na egzotičnim jezgrama. Za uspješnu izradu diplomskog rada preporučeno je poznavanje programskog jezika C.

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

**Mentor:** dr. sc. Blaženka Melić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Higgsov mehanizam u Standardnom modelu i izvan njega

**Sadržaj teme:**

ATLAS i CMS eksperimenti na CERNu su 2012. godine otkrili Higgsovu česticu. Higgsov bozon je najjednostavnija manifestacija Brout-Englert-Higgs mehanizma spontanog narušenja simetrije i generiranja masa čestica za čije je predviđanje dodjeljena i Nobelova nagrada za fiziku. Cilj diplomskog rada bi bio upoznavanje s Higgsovim mehanizmom, Goldstoneovim teoremom, teorijskim postavkama i ograničenjima na svojstva Higgsove čestice u Standardnom modelu, kao i osnovni račun jednostavnih raspada Higgsa pomoću kojih je i otkrivena ta čestica. Obzirom da postoje teorijski razlozi za možebitno postojanje više Higgsovih čestica, analiziralo bi se poopćenje Higgsovog mehanizma u najjednostavnijem proširenju Standardnog modela koje, za razliku od standardnog mehanizma, uključuje dva Higgsova dubleta, te neki fenomenološki aspekti takvog poopćenja.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

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

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Efekti plazmenog mlaza u režimu različitih tlakova i vrste plinova

**Sadržaj teme:**

Tematika diplomskog rada vezana je uz dijagnostiku i primjene hladne atmosferske plazme bazirane na jednoj elektrodi (plasma jet). Cilj je istražiti kako dolazi do formiranja plazmenog mlaza. U tu svrhu promatrat će se nastajanje snopa plazme u ovisnosti o tlaku i vrsti plina uz električku i spektroskopsku karakterizaciju izvora. Ispitat će se i mogućnost stvaranja plazmene igle potpomognute laserski proizvedenom plazmom. Rad obuhvaća, pored upoznavanja i pregleda odgovarajuće literature, upoznavanje i korištenje, vakumskih uređaja, pulsnih ns Nd-YAG lasera i ekscimerskog lasera s laserom na organske boje, optičkih uređaja za analizu i detekciju svjetlosti (minijturnih spektrometara s optičkim vlaknom, standardni spektrometri sa CCD detektorom), metode cavity ringdown spektroskopije, elektroničkih uređaja za vremensko i prostorno praćenje i obradu signala, kompjutersku obradu i analizu podataka (LabView) modeliranje fizikalnih procesa u eksperimentu, itd. Efekti se očekuju na razini promjene dinamike širenja mlaza plazme i na preraspodjeli naseljenosti atoma u određenim elektronskim stanjima za što će se koristiti optička emisijska spektroskopija. Rad se provodi u dinamičnoj grupi koja se sastoji od doktoranada, poslijedoktoranada i stalnih znanstvenika uz međunarodne suradnje (npr. COST akcija -COST Action TD1208).

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Vlasta Mohaček Grošev

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Uloga glukuronske kiseline u formiranju gela

**Sadržaj teme:**

Hijaluronska kiselina je glavni sastojak izvanstanične matrice, očne tekućine te sinovijalne tekućine. Osim toga se primjenjuje u novim metodama mikrokapsuliranja lijekova u ovojnice. Važno je stoga razumijeti interakcije ove molekula s vodom u formiranju gela. Glukuronska kiselina (glukoza-COOH) je uz N-acetil-glukozamin osnovni ponavljajući dio hijaluronske kiseline i odgovorna za stabilizaciju gela. Diplomski rad sastojao bi se u vibracijskoj analizi normalnih modova glukuronske kiseline u čvrstom stanju te u stanju gela, te usporednom proučavanju vibracija hijaluronske kiseline. Diplomand /ica bi primijenio eksperimentalne metode Ramanove i infracrvene spektroskopije te numeričke metode analize vibracija na ovu molekulu. Očekuje se objavljivanje rezultata u časopisu Spectrochimica Acta A.

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

**Mentor:** dr. sc. Vlasta Mohaček Grošev

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Istraživanje polimorfizma čvrstih faza piruvične kiseline Ramanovom spektroskopijom

**Sadržaj teme:**

Piruvična kiselina  $\text{CH}_3\text{C}=\text{O}\text{COOH}$  mala je molekula izuzetno važna u ljudskom metabolizmu. Nastaje iz mliječne kiseline djelovanjem s  $\text{NAD}^+$  u prisustvu laktata dehidrogenaze i dio je ciklusa limunske kiseline (Krebsovog ciklusa). S aspekta molekulske fizike zanimljiva je stoga što joj je točka kristalizacije između 11 i 12 stupnjeva Celzija, te je tekuća sve do točke vrelišta na 165 C. Molekulski dimeri vezani su u kristalu vodikovim vezama, dok na dinamiku metilnih grupa uglavnom utječe temperatura. U predloženom diplomskom radu student/ica bi eksperimentalno, mjereći niskofrekventne Ramanove spektre u ovisnosti o temperaturi, istražio/istražila koliko faznih promjena nastaje hlađenjem ovog molekuskog kristala te modelirao/modelirala potencijalne strukture numeričkim programima ab initio (CRYSTAL09) ili metodom simulacije molekulske dinamike (DLPOLY). Očekuje se pojava neke od mezofaza poput plastičnog kristala (plastic crystal) ili staklastog kristala (glassy crystal). Komplementarnom metodom mjerenja toplinskog kapaciteta provjerili bi se dobiveni zaključci. Rezultati be se objavili u CC časopisu.

**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:** Optimizacija slabo određenih modela nuklearne strukture

**Sadržaj teme:**

eorija energijskog funkcionala gustoće predstavlja temelj velikog dijela teorijskih modela u nuklearnoj fizici. Najveći izazov za precizan opis strukture atomske jezgre predstavlja optimizacija parametara samog funkcionala, posebno jer dostupni eksperimentalni podaci ne dozvoljavaju jednoznačno određivanje parametara. Ukratko, modeli nuklearnog energijskog funkcionala gustoće mogu se ubrojiti u široku klasu tzv. sloppy modela poznatih ne samo u fizici, nego i biologiji, ekonomiji itd. U okviru predloženog rada planiramo provesti detaljnu analizu mnogostrukosti u prostoru eksperimentalnih podataka pomoću standardnih metoda diferencijalne geometrije s ciljem eliminacije najslabije određenih parametara funkcionala.

**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 (npr. problem tri tijela, gibanje zvrka, dinamika kvantnih valnih paketa). Time bi učenicima mogao predočiti neke od zanimljivih fizikalnih pojava.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Izrada tankih filmova PNAI-DBSA vodljivog polimera

**Sadržaj teme:**

Polianilin je vodljivi polimer koji se odlikuje visokom stabilnošću na ambijentnim uvjetima te je pogodan za tehnološku primjenu, npr. izradu raznih vrsta senzora. Cilj ovog projekta je sinteza polianilina dopiranog s dodecil-benzensulfonskom kiselinom koja omogućava njegovo otapanje u kloroformu te izradu tankih filmova. Filmovi će se izrađivati metodom deponiranja kapalice otopine na polimerni supstrat te korištenjem „spin coating“ metode. Dobiveni filmovi ispitivati će se transportnim tehnikama (mjerenjem otpornosti) na sobnoj temperaturi i na niskim temperaturama (tekući helij). Također testirati će se mogućnost kontroliranja vodljivosti dobivenih tankih filmova primjenom vanjskog električnog polja metodom „ion liquid gating“. Student će prilikom izrade diplomskog rada ovladati radom u kemijskom laboratoriju, pripremom uzoraka za transportna mjerenja te niskotemperaturnim transportnim mjerenjima.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Proučavanje efekta pomicanja Fermijeve energije u monokristalnim uzorcima topoloških izolatora primjenom ionskih tekućina

**Sadržaj teme:**

Topološki izolatori (TI) su novo i vrlo uzbudljivo područje istraživanja u fizici čvrstog stanja. U TI unutrašnjost materijala posjeduje energijski procijep između valentne i vodljive vrpce, što čini materijal izolatorom u unutrašnjosti. S druge strane, na površini TI zbog svojstava valnih funkcija će se pojaviti metalna stanja koja se odlikuju svojstvom da je spin elektrona uvijek okomit na njegov valni vektor kristalnog impulsa te su takvi materijali vrlo interesantni za primjenu u spintronici. Cilj navedenog projekta je detektirati i istražiti pomicanje Fermijeve energije s primjenom vanjskog električnog polja, što će se očitovati u promjeni niskotemperaturne otpornosti uzoraka, njihovoj temperaturnoj ovisnosti te u koncentraciji nosioca naboja. Student koji se odluči za navedenu temu savladat će osnove eksperimentalnog rada u laboratoriju, što podrazumjeva sintezu monokristala određenih TI, njihovu transportnu i strukturnu karakterizaciju, pripremu uzoraka za niskotemperaturna mjerenja te provedbu niskotemperaturnih mjerenja.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Sinteza odabranih monokristalnih uzoraka 3D Diracovih materijala

**Sadržaj teme:**

3D Dirac i Wely materijali su posljednja generacija takozvanih Diracovih materijala. Fizika Diracovih materijala pobudila je veliki interes u fizici čvrstog stanja nakon otkrića grafena (jednoatomni sloj ugljika). Nakon grafena pronađeno je da se niskoenergijska pobuđenja opisana Diracovim hamiltonijanom mogu pronaći u topološkim izolatorima, određenim visokotemperaturnim supravodičima i organskim vodičima. Cilj diplomskog rada je sinteza novih 3D Dirac i Wely polumetala kao što su ZrSiS, NbP ili TaP. Student koji odabere navedenu temu savladati će osnove primijenjene kemije potrebne za sintezu materijala (rad s „glove box“ sustavom, analitičkom vagom, vakuumsko zavarivanje kvarcnih cijevi, itd.), osnove strukturne analize (analiza rezultata rendgenske difrakcije), pripremu uzoraka za transportna mjerenja te osnove niskotemperaturne fizike. Cilj projekta je dobiti visokokvalitetne uzorke navedenih Diracovih sustava koji će se koristiti u kasnijim istraživanjima.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Nikolina Novosel

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Dinamika magnetizacije jednodomenskih magnetskih nanočestica

**Sadržaj teme:**

Magnetske nanočestice predmet su intenzivnog dugogodišnjeg istraživanja zbog njihove velike potencijalne primjene u informatičkoj industriji (zapisivanje podataka, kvantna računala) i biomedicini (ciljana dostava lijekova, uništavanje tumorskog tkiva zagrijavanjem, povećanje MRI kontrasta itd.). Svojstva nanometarskih magnetskih materijala bitno su drugačija u odnosu na masivne uzorke istih materijala. Smanjivanjem veličine magnetski uređenog materijala ispod određene kritične veličine, koja ovisi o materijalu, a uglavnom je manja od 100 nm, magnetska struktura prelazi iz višedomenske u jednodomensku. Takva magnetska čestica karakterizirana je vektorom magnetskog momenta. Zbog anizotropije danog materijala postoji jedna ili više preferiranih osi duž kojih je energijski najpovoljniji usmjeriti magnetski moment čestice pri čemu su stanja minimalne energije odvojena energijskom barijerom. Kvalitativno različito ponašanje skupa jednodomenskih magnetskih čestica opaža se kada je termička energija mnogo manja, odnosno veća od energije barijere. Tako se na niskim temperaturama opaža ukočivanje magnetskog momenta i spora relaksacija magnetizacije, a na visokim temperaturama ponašanje je analogno paramagnetskom (zbog toga i zbog vrlo velikog momenta ovakvih čestica one se nazivaju superparamagneti). Prijelaz između ukočenog i superparamagnetskog režima ovisi o parametrima sustava, vanjskom magnetskom polju i vremenskoj skali eksperimenta. Pored individualnih svojstava magnetskih čestica često je potrebno razmotriti i njihovo međusobno međudjelovanje koje utječe na magnetsko ponašanje sustava, a može uzrokovati i kolektivne efekte. Dinamika magnetizacije skupa jednodomenskih magnetskih čestica istraživat će se metodom mjerenja ac magnetske susceptibilnosti u ovisnosti o frekvenciji, temperaturi i primijenjenom dc magnetskom polju.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Terenska nastava fizike

**Sadržaj teme:**

U okviru ovog rada razradit će se novi koncepti kojima bi se unaprijedila nastava fizike. U današnjem sustavu školovanja postoji mogućnost uklopiti pojedine segmente nastave fizike u formu terenske nastave. Pod pojmom teren smatramo bilo koju lokaciju izvan učionice, to može biti posjet nekom institutu, istraživačkom laboratoriju, muzeju, znanstvenoj izložbi, ali i posjet određenim lokacijama u prirodi na kojima se mogu proučavati fizikalni procesi. Posebni terenski uvjeti u kojima se nastava odvija potiču timski rad i suradnju u okviru malih grupa te izražavanje mišljenja i raspravu, što su temelji interaktivnih metoda poučavanja. Terenskoj nastavi prethodi priprema koja će učenicima omogućiti da obrate pažnju na različite fizikalne procese. Praktični zadaci će ih zaokupiti na terenu i usmjeriti im pažnju, a organizacija terenske nastave za djecu ima određena pravila kojih se treba pridržavati.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Analize vremenskih nizova u fizikalnim procesima

**Sadržaj teme:**

Ovaj rad je namijenjen studentima koji se žele upoznati s praktičnim primjenama fizike u proučavanju prirode. Proučavanjem prirodnih procesa bilježimo vremensku evoluciju niza fizikalnih varijabli. Usporedbom vremenskih nizova dolazimo do zaključaka o samoj fizikalnoj pojavi odnosno procesima koji mijenjaju vrijednosti varijabli. To je važna tematika, posebice za fiziku okoliša gdje su pojave definirane velikim brojem varijabli. U ovom diplomskom radu će se na konkretnom primjeru fizikalnih mjerenja u špiljama kao prirodnim pojavama definiranim nizom fizikalnih varijabli razmotriti pojedine tehnike analize vremenskih nizova, proračuna vremenskog odmaka, korelacija i dr. Odabrane analize će se izvesti programskim jezikom Python. Za studente nastavnih smjerova osmisлити će se koncept nastavnog sata u okviru kojeg bi se istaknula važnost vremenskog praćenja fizikalnih varijabli i njihove interpretacije.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Trodimenzionalna fraktalna analiza pojava u kršu

**Sadržaj teme:**

Ova tema namijenjena je studentima koji žele proširiti znanja koja su stekli na studiju i promisliti o uvođenju tih tema u nastavu fizike. Tehnika fraktalne analize omogućava analizu uzoraka na temelju njihove makroskopske strukture. Interes primjene te tehnike u fizici okoliša, odnosno u geoznanostima je pridruživanje fizikalnih parametara prirodnim pojavama kvantificiranjem skalno invarijantnih distribucija, čime bi se omogućilo njihovo bolje razumijevanje i praćenje njihovih promjena. U okviru rada student bi razvio računalni program u Pythonu za proračun fraktalne dimenzije u 3D i primijenio ga na odabrane specifične prirodne pojave u hrvatskom kršu koje evidentno imaju fraktalna svojstva. Student će razraditi koncepciju nastavnog sata kojom bi se učenika kroz odabrane primjere upoznalo s ovom tematikom.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Demonstracijski pokusi u nastavi fizike

**Sadržaj teme:**

Osnovno pitanje koje će se dotaknuti ovim radom je na koji način, uz minimalna sredstva pojačati upotrebu demonstracijskih pokusa u nastavi fizike u Hrvatskoj. Uz osvrtanje na svjetska iskustva, odabrat će se uža tema iz osnova fizike te će se osmisliti set demonstracijskih pokusa koje svaki nastavnik može lako implementirati u obliku klasične nastave ili projektno orijentirane nastave. Razmotrit će se koncepti uvođenja tih pokusa u nastavu te uloge nastavnika i učenika. U nastavi fizike demonstracijski pokus ima važnu ulogu jer se njime stječe fizičko iskustvo i zorna predodžba o fenomenu koji se razmatra, zbog čega ima ulogu u razvijanju koncepata, testiranju hipoteza i uočavanju zakonitosti. Demonstracijski pokus može se u nastavi dodatno pojašniti računalnim simulacijama i drugim multimedijalnim elementima.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Upotreba Raspberry Pi računala u dizajnu demonstracijskih pokusa ili mjernih instrumenata

**Sadržaj teme:**

Pojava vrlo jeftinih modularnih računala kao što je Raspberry Pi omogućava njihovu širu primjenu u obrazovanju. U okviru ovog diplomskog rada istaknut će se mogućnosti ovog računala te će se razraditi konkretan primjer primjene u okviru projektne nastave gdje učenik konstruira demonstracijski pokus iz fizike ili mjerni instrument. Rezultat ovog rada je detaljna uputa nastavnicima kako implementirati ovakav pristup izvođenju nastave.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Nukleosinteza elemenata težih od željeza

**Sadržaj teme:**

Razumijevanje sinteze kemijskih elemenata težih od željeza predstavlja danas jedan od najznamenitijih izazova nuklearne astrofizike. U okviru ove teme predviđeno je istražiti moguće odgovore na neka od temeljnih pitanja vezano uz nukleosintezu težih elemenata: 1) Koje zvijezde sintetiziraju te elemente i koji su nuklearni procesi s najvažnijim doprinosom? 2) U kojoj fazi evolucije tih zvijezda su teži elementi sintetizirani? 3) Koliko dobro poznajemo svojstva jezgara u okruženju u kojem su nastale? Predviđeno je izvođenje simulacije nukleosinteze težih elemenata u različitim astrofizičkim scenarijima.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Supernova neutrino i antineutrino-jezgra međudjelovanje

**Sadržaj teme:**

Medjudjelovanje neutrina, odnosno antineutrina s atomskim jezgrama je od posebnog značaja za razumijevanje neutrinški induciranih procesa u nukleosintezi u astrofizičkom okruženju velikih tokova neutrina kao što je eksplozija supernove. Nadalje, međudjelovanje anti(neutrina) s jezgrom-metom omogućuje detekciju anti(neutrina) na zemaljskim detektorima i ima značajan potencijal u istraživanjima neutrinških svojstava. U okviru ove teme predviđeno je istraživanje (anti)neutrino-jezgra udarnih presjeka koristeći Hamiltonijan slabog međudjelovanja i nuklearni energijski funkcional gustoće za određivanje osnovnog i pobudjenih stanja jezgre-mete. Bit će uspostavljen model koji simulira broj događaja na detektoru neutrina realističnog volumena, u okviru kojeg će biti istražen odziv detektora za skup tokova neutrina za različite faze tijekom evolucije supernove, akrecijsku i fazu hladjenja.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Nuklearne mase

**Sadržaj teme:**

Nuklearne mase su od fundamentalnog značaja gotovo u svim područjima nuklearne fizike, kao i u različitim astrofizičkim modelima evolucije zvijezda i sinteze kemijskih elemenata u svemiru. U okviru ove teme predviđeno je sustavno istraživanje masa, odnosno energija vezanja atomskih jezgara uzduž citave mape nuklida, kao i njihov značaj u simulacijama r-procesa nukleosinteze. Nakon analize najnovijih eksperimentalnih podataka, predviđeno je modeliranje nuklearnih masa u okviru različitih teorijskih pristupa. Bit će obradjene fenomenološke formule mase inspirirane modelom kapljice, kao i njihova ograničenja. Također će biti primijenjeni i napredniji teorijski modeli, poput onih zasnovanih na energijskom funkcionalu gustoće, u sustavnim izračunima nuklearnih masa. Konacno, bit će istražene mogućnosti izračuna statističkih i sistematskih pogresaka u modeliranju nuklearnih masa.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Egzotični kolektivni modovi pobudjenja u atomskoj jezgri

**Sadržaj teme:**

Predviđen je razvoj i primjena modernih mikroskopskih modela za rješavanje problema međudjelovanja većeg broja fermionskih čestica temeljenih na relativističkom energijskom funkcionalu gustoće. Tema uključuje istraživanje kolektivnih modova pobudjenja u atomskim jezgrama i njihovu interpretaciju uz pomoć novih relevantnih eksperimentalnih podataka sa ubrzivaca, dobivenih npr. raspršenjem fotona, protona, i alfa čestica na jezgrama ili u relativističkim sudarima teških iona. Ekstremne vrijednosti izospina egzotičnih jezgara 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. Jedan od mogućih smjerova istraživanja predložene teme bit će i potraga za novim dinamičkim fenomenima u egzotičnim jezgrama do kojih dolazi zbog kolektivnog pobudjenja nukleona iz slabo vezanih orbitala. Takvi modovi su interesantni ne samo kao novi fizikalni fenomeni, nego igraju i važnu ulogu u procesima od značaja za astrofiziku.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Damir Pajić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Magnetsko i električno ponašanje složenih oksida prijelaznih metala

**Sadržaj teme:**

Miješani oksidi prijelaznih metala često tvore strukturu u kojoj se ostvaruju složena magnetska uređenja popraćena i električnim uređenjem. Naročito je zanimljivo ako se električnim poljem može utjecati na magnetsko uređenje te magnetskim na električno. Unutar diplomskog rada istražiti će se statičko i dinamičko magnetsko ponašanje složenog oksida prijelaznih metala, zatim utjecaj električnog polja na magnetizaciju, te električna polarizacija. Materijali od interesa odabrat će se između Bi-La-Fe-O, Bi-Yb-Fe-O, Ba-Ni-Nb-O, Ba-Ni-Co-Nb-O i slično. Student će napraviti cjelovito eksperimentalno istraživanje i dati zaokruženu sliku ponašanja i objašnjenja.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Damir Pajić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Magnetsko i električno ponašanje organometalnog perovskitnog multiferoika

**Sadržaj teme:**

Magnetoelektrični multiferoici pokazuju istovremeno dvije vrste uređenja, a naročito je zanimljivo ako su ona međusobno povezana. Perspektivna skupina za ugađanje svojstava su organometalni spojevi gdje se uređenje magnetskih iona ostvaruje preko mostova izmjene, a polarno uređenje smještanjem organskih skupina između magnetskih slojeva ili lanaca. Unutar diplomskog rada istražiti će se statičko i dinamičko magnetsko ponašanje organometalnog spoja složene perovskitne strukture, zatim utjecaj električnog polja na magnetizaciju, te električna polarizacija. Student će napraviti cjelovito eksperimentalno istraživanje i dati zaokruženu sliku ponašanja i objašnjenja.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Damir Pajić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Visoko-entropijske slitine i njihova svojstva

**Sadržaj teme:**

Visokoentropijske slitine zanimljiva su skupina materijala jer gradnjom struktura pomoću velikog broja atoma moguće je dobiti vrlo različita svojstva, i pratiti njihov razvoj s malim promjenama koncentracije određenih atoma. Student će na temelju literature, poglavito nedavno objavljenih znanstvenih radova, napraviti pregled strukturnih posebnosti, te odabranih svojstava kao što su vodljivost i supravodljivost, magnetska svojstva, toplinska svojstva, i slično. Neka od tih svojstava istražiti će pomoću jednostavne eksperimentalne aparature te ih opisati i objasniti na konkretnom primjeru (TiZnCuNb)<sub>(1-x)</sub>-Ni<sub>x</sub> visoko-entropijske slitine.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Utjecaj dinamike formiranja diobenog vretena na gubitak kromosoma

**Sadržaj teme:**

Za vrijeme mitoze, diobeno vreteno omogućuje osobitu preciznost u podjeli kromosoma, s greškom manjom od  $10^{-6}$  u diploidnim stanicama kvasca u laboratorijskim uvjetima. U tetraploidnim stanicama, međutim, defekti se događaju znatno češće, što uključuje tisuću puta češći gubitak kromosoma, koji je najvjerojatnije posljedica neispravne veze kromosoma s mikrotubulima. U diplomskom radu, student/studentica će razviti teoriju koja će povezati poznate mehanizme formiranja diobenog vretena s gubitkom kromosoma. Teorijski će opis uključiti dinamička svojstva mikrotubula te dinamiku formiranja veze između mikrotubula i kromosoma u diploidnim i tetraploidnim stanicama. Teorija bi trebala predvidjeti kako se unutar pojedine populacije mijenja broj izgubljenih kromosoma te dati objašnjenje zašto je u stanicama s dvostruko većim brojem kromosoma gubitak kromosoma tisuću puta veći. Konačno, teorija bi trebala objasniti koje su se evolucijske promjene trebale dogoditi kod stanica koje iako imaju povećan broj kromosoma ostvaruju mali gubitak kromosoma prilikom diobe.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Uloga vezivnih proteina i pivotiranja mikrotubula u formiranju paralelnih svežnjeva mikrotubula

**Sadržaj teme:**

Za vrijeme stanične diobe nastaje diobeno vreteno koje se brine o ispravnoj raspodjeli genetskog materijala između dvije stanice-kćeri. Unutar diobenog vretena, mikrotubuli se organiziraju u paralelne i antiparalelne strukture. U ovom interdisciplinarnom radu, korištenjem numeričkih simulacija, teorijski će se proučavati formiranje paralelnih svežnjeva mikrotubula. Teorija će opisati proteine kao elastične opruge koje povezuju mikrotubule koji rastu iz istog pola te kruno kretanje mikrotubula. Student/studentica bi za vrijeme diplomskog rada trebao odgovoriti na pitanje kolika mora biti difuzija te kolike moraju biti koncentracije proteina da bi se mogli formirati stabilni svežnjevi paralelnih mikrotubula.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Uloga pivotiranja mikrotubula u formiranju antiparalelnih svežnjeva mikrotubula

**Sadržaj teme:**

Centralno je pitanje stanične biologije kako nastaje diobeno vreteno, mikro-stroj koji se brine o ispravnoj raspodjeli genetskog materijala između dvije stanice-kćeri. Nastanak diobenog vretena uključuje precizno organiziranu prostornu raspodjelu mikrotubula, uključujući njihovu ispravnu orijentaciju. U ovom interdisciplinarnom radu, korištenjem bazičnih znanja iz statističke fizike i klasične mehanike, teorijski će se proučavati formiranje antiparalelnih svežnjeva mikrotubula. Teorija će opisati kutno kretanje mikrotubula koji rastu iz suprotnih polova te proteine koji ih povezuju. Student/studentica bi za vrijeme diplomskog rada trebao odgovoriti na pitanje koliko se brzo formiraju antiparalelni svežnjevi te kolike moraju biti koncentracije proteina da bi se moglo formirati stabilno diobeno vreteno.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Krešimir Pavlovski

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Dinamička masa ekstrasolarnih planeta

**Sadržaj teme:**

Do početka 2016. godine detektirano je preko 2000 ekstrasolarnih planeta. Njihova je masa određena samo indirektno, najčešće iz dinamike matične zvijezde. Zbog toga može se odrediti samo funkcija masa, ali ne i omjer masa između zvijezde i planeta. Cilj je diplomskog rada utvrđivanje praga detekcije spektra ekstrasolarnog planeta u kompozitnom spektru sustava zvijezda-planet. U radu će se provesti simulacije spektara sustava zvijezda-planet za različite očekivane kombinacije, te njihovo raspetljavanje metodikom koja se koristi u istraživanju dvojnih sustava zvijezda. Simulirat će se opažački uvjeti za novu generaciju 40m teleskopa, kao što je E-ELT čija je izgradnja započela u pustinji Atacama u Čileu.

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

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

**Institucija:** SIM

**Naslov teme:** Analiza optičkih valovoda

**Sadržaj teme:**

Optički valovoda je fizička struktura koja vodi elektromagnetske valove iz optičkog dijela spektra. Oni se koriste kao komponente u integriranim optičkim krugova, kao medij za prijenos za svjetlosne komunikacije na velikim udaljenostima ili za biomedicinska snimanja. Valovode možemo razvrstati prema različitim metodama. Prema geometrijskoj strukturi: ravni, vrpca ili vlakno. Prema strukturi modova: jednostruki ili višestruki. Prema raspodjeli indeksa loma: skokovito ili postepena promjena indeksa loma. Prema materijalima: staklo, polimerni, poluvodiči. U ovom radu je predviđeno razmatrati nekoliko jednostavnih geometrijskih 1D i 2D dielektričnih struktura s aspekta analize modova, raspodjele polja, disperzije i grupne brzine.

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

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

**Institucija:** SIM

**Naslov teme:** Atomističko modeliranje elastičnih konstanti u metalima

**Sadržaj teme:**

Metodama molekularne dinamike istraživala bi se elastična svojstva odabranih metala korištenjem kompjutorskih simulacija. Zahvaljujući progresu dostupne kompjutorske snage u mogućnosti smo simulirati fizički relevantne volumene materijala tijekom naprezanja u prihvatljivom vremenu. Korištenje gotovih potencijala međudjelovanja ugođenih na realne fizičke značajke dostupna su nam istraživanja složenog ponašanja u materijalu uzimanjem atomskih stupnjeva slobode eksplicitno. Izradom diplomskog rada stjecale bi se dodatne kompetencije iz područja kompjutorske simulacije, kristalografije i jednostavne teorije elastičnosti.

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

**Mentor:** dr. sc. Ivica Picek

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Kozmološke posljedice postojanja lakog higgosa

**Sadržaj teme:**

Usprkos odsutnosti simetrije koja bi u standardnom modelu čestica i sila (SM) zaštitila masu Higgsove čestice, na LHC-u je izmjerena njezina neprivredno mala vrijednost  $M_H = 125$  GeV. Tom problemu prirodosti mase higgosa s pridruženim problemom stabilnosti vakuuma SM-a pridodan je problem kozmološke konstante i uloge skalarnih polja kao pogonitelja inflacije svemira. Diplomski rad bi se fokusirao na popćenja čestičnog sastava SM-a, koja bi SM mogla dovesti u suglasje sa standardnim kozmološkim LambdaCDM modelom.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ivica Picek

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Modeli neutrinjskih masa i tamna tvar u astrofizici i na sudarivačima čestica

**Sadržaj teme:**

Otkrićem Higgsove čestice 2012. g. na CERN-u, kao prve temeljne čestice bez spina, zaokružena je „periodička tablica“ temeljnih čestica i sila kakvu predviđa standardni model elementarnih čestica i sila. Pri tome uočavamo da u retku s aktivnim „lijevim“ neutrinima nedostaju njihovi „desni“ partneri. Isto tako, usamljeni novootkriveni Higgsov bozon u zadnjem stupcu „periodičke tablice“ mogao bi imati skalarne partnere. Postojanje takvih partnera ugrađeno je i u tzv. skotogeničke radijativne modele neutrinjskih masa, gdje je potisnuće neutrinjskih masa dano kvantnim petljama čestica čije su mase na skali TeV-a. Takve čestice su potencijalni kandidati za kozmološku tamnu tvar (DM od engl. Dark Matter) nazvanu wimpovima (od engl. Weakly Interacting Massive Particles). U klasi skotogeničkih modela se zajedno s tamnim higgsevima uvode i tzv. tamni fotoni kao čestice koje će biti relevantne za niz astrofizičkih opažanja. Diplomski rad bi s jedne strane izučavao sama vezanja skalarne DM na higgs kao tzv. Higgsov portal koji nam otvara vrata u dosad nepristupačan svijet tamne tvari, a s druge strane posljedice novouvedenih čestica za fenomenologiju na sudarivačima čestica.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Maja Planinić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Nestandardni tipovi zadataka u nastavi fizike

**Sadržaj teme:**

Rješavanje zadataka je važan dio nastave fizike. No, iskustvo nastavnika fizike, kao i rezultati istraživanja, pokazuju da je to sposobnost koju nije lako razviti kod većine učenika i studenata. Problemu rješavanju zadataka posvećena je velika pažnja u edukacijskoj fizici u svijetu, te su tako uvedeni i evaluirani novi tipovi zadataka, drugačiji od standardnih zadataka, koji su uobičajeni u našim zbirkama. Neki od njih pokazuju veći potencijal za razvijanje sposobnosti rješavanja fizikalnih problema kod učenika i studenata od standardnih zadataka. U ovom će se diplomskom radu dati pregled istraživanja vezanih uz evaluaciju primjene i učinkovitosti takvih nestandardnih tipova zadataka u nastavi fizike u svijetu, te će se evaluirati mogućnost njihove primjene u hrvatskoj školskoj praksi.

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Reprodukcijska i izučavanje fenomena grebena ("ridge") u korelacijama dvaju čestica na ALICE detektoru

**Sadržaj teme:**

ALICE detektor na CERNu ima mogućnost mjerenja korelacija dvaju čestica nastalih u sudarima iona (p i Pb u svim kombinacijama) kao funkcije razlike njihovih azimutalnih kutova  $\Delta\phi$  i njihovih pseudorapiditeta  $\Delta\eta$ . Prijašnja istraživanja ukazala su na novi fenomen, danas poznat pod imenom "ridge", koji je jaka korelacija čestica pri malim relativnim azimutalnim kutovima i još uvijek nije teorijski potpuno objašnjen. U diplomskom radu će se pokušati reproducirati navedeni fenomen na stvarnim ALICE podacima te se unaprijediti trenutno znanje proširenjem postojećih analiza u smjerovima koji doprinose razumijevanju teorijskih modela. Jedan od takvih smjerova jest izučavanje korelacija za samo neki pojedini tip čestica, za što je ALICE detektor idealan kandidat jer ima veliku mogućnost razlučivanja različitih čestica.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Dopplerov efekt u ubranom sustavu i određivanje ubrzanja izvora zvuka

**Sadržaj teme:**

Opis Dopplerovog efekta tijekom studija provodi se za tijela koja se gibaju stalnim relativnim brzinama. U diplomskom radu će se razmotriti kako izgleda vremenska ovisnost frekvencije na prijatelju ako signal dolazi s tijela koje se giba ubrzano relativno u odnosu na prijatelja. Osim teorijske razrade efekta, predložiti će se i pokušati provesti pokus s kojim bi se izmjerilo ubrzanje izvora i usporedilo s ubrzanjem izmjerenim video analizom gibanja.

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

**Mentor:** dr. sc. Danko Radić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Pseudomagnetska polja u grafenu

**Sadržaj teme:**

Cilj ovog diplomskog rada iz područja fizike kondenzirane materije je detaljno se upoznati s nastankom pseudomagnetskih polja generiranih mehaničkom deformacijom kristalne rešetke u grafenu te s glavnim fenomenima vezanim uz ista. Problem elektrona na mehanički deformiranoj kristalnoj rešetki grafena valja riješiti u okviru aproksimacije čvrste veze i potom napraviti valjani razvoj po malom parametru deformacije u okolini Diracovih točaka. Elemente tenzora deformacije koji se javljaju u jednoelektronskoj disperziji treba interpretirati kao efektivni pseudovektorski potencijal te dati njegovu potpunu analizu s obzirom na smjer generiranog efektivnog magnetskog polja i izračunati elastičnu energiju potrebnu za takvu konfiguraciju deformacije rešetke. Nadalje, treba istražiti dostupnu literaturu, znanstvene članke i mrežne baze podataka te naći i opisati najvažnije eksperimentalno opažene efekte generirane pseudomagnetskim poljima poput npr. Bohm-Aharonovog efekta, Landauove kvantizacije itd. Ambiciozniji student može u okviru diplomskog rada preuzeti i dio aktualnog istraživanja vezan uz formulaciju modela magnetskog proboja izazvanog pseudomagnetskim poljima u kemijski, ili "gating"-efektom dopiranom grafenu.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Danko Radić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Elektromehanička nestabilnost u nanoelektromehaničkim sustavima

**Sadržaj teme:**

Nanoelektromehanički sustavi (NEMS) predstavljaju trenutno vrlo aktualno područje fizike kondenzirane materije, posebno grane koja se odnosi na istraživanje nanotehnologija. Vezanje mehaničkih i električnih svojstava, pogotovo s diskriminacijom elektronskog spina u transportu, predstavlja nelinearni problem u spintronici na kojem se temelji tehnologija modernih oscilatora na nano skalama. Cilj ovog diplomskog rada je dati klasični teorijski opis elektromehaničke nestabilnosti u nanoelektromehaničkom sustavu, ugljikove nanocjevčice pričvršćene na mikrokontakte pod prednaponom, u području dozvoljenih fizikalnih parametara. Vezanje električnih (tuneliranje elektrona s distinkcijom spina) i mehaničkih (vibracije nanocjevčice) stupnjeva slobode izvršeno je magnetomotornim vezanjem tj. Lorentzovom silom na nanocjevčicu u vanjskom magnetskom polju. Sustav je potrebno modelirati jednadžbama gibanja harmoničkog oscilatora tjeranog Lorentzovom silom i "rate equations" za tunelirajuće struje spinova koje čine sustav vezanih diferencijalnih jednadžbi. Rješavanjem sustava numeričkim i analitičkim metodama analize dinamičkih sustava treba naći područje parametara u kojem sustav podliježe elektromehaničkoj nestabilnosti tj. nastanku samoekscitiranih oscilacija mehaničkih i električnih obzervabli koje se vide kao gubitak stabilnosti stacionarne fiksne točke i nastanku graničnog kola u faznom prostoru oscilatora.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Danko Radić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Učinci magnetskog polja na jednoelektronski spektar 2D elektronskog plina

**Sadržaj teme:**

Cilj ovog diplomskog rada iz područja fizike čvrstog stanja je upoznati učinke magnetskog polja na dvodimenzionalni elektronski plin. Potrebno je izvršiti kvantnomehaničku formulaciju problema elektrona u vanjskom magnetskom polju najprije u modelu slobodnog elektronskog plina i pokazati učinke Landauove kvantizacije elektronskih stanja. Potom se model proširuje na problem elektrona na 2D kristalnoj rešetki. Korištenjem analitičkog i numeričkog modeliranja treba pokazati kvantizaciju magnetskog toka i izračunati elektronski spektar u kojem se javlja samoslična struktura (fraktal - "Hofstadterov leptir") ovisno o jačini vanjskog magnetskog polja. Ambiciozniji student može istražiti i učinke magnetskog polja na elektronski spektar u kvazi-1D sustavima, npr. Bechgaardove soli, s otvorenim Fermijevim površinama.

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

**Mentor:** dr. sc. Danko Radić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Supravodljivost i primjene

**Sadržaj teme:**

Tema ovog diplomskog rada iz fizike čvrstog stanja je upoznati se s osnovnim aspektima supravodljivosti, od fenomenoloških činjenica preko osnova BCS teorije pa do najvažnijih aspekata tehnološke primjene. Od studenta se očekuje da istraživanjem literature i mrežnih baza podataka napravi pregled najvažnijih eksperimentalno opaženih pojava vezanih uz supravodljivost, počevši od otkrića iste pa do danas. Nadalje, student treba proučiti temeljne principe na kojima se fenomen supravodljivosti zasniva: pojava privlačne elektron-elektron interakcije izmjenom fonona, formiranje Cooperovih parova u prisustvu Fermijevog mora, konstrukcija BCS valne funkcije i dijagonalizacija hamiltonijana u okviru aproksimacije srednjeg polja. Na poslijetku, valja dati osvrt na pojave temeljene na fenomenu supravodljivosti, npr. Josephsonov efekt, Andrejevljeva refleksija itd. i u svjetlu ovih na najvažnije aspekte njezine tehnološke primjene.

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

**Mentor:** dr. sc. Danko Radić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Duffingov oscilator i karakterizacija kaosa u faznom prostoru

**Sadržaj teme:**

Cilj ovog diplomskog rada iz područja nelinearne fizike i dinamičkih sustava je upoznati model i neke aspekte dinamike Duffingovog oscilatora tj. oscilatora u koji je ugrađena nelinearna povratna sila. Napose, kada jednodimenzionalni Duffingov oscilator izložimo sili tjeranja i time proširimo fazni prostor na tri dimenzije, otvorili smo mogućnost pojave kaosa u sustavu i nastanka stranog atraktora u faznom prostoru. Korištenjem analitičkih i numeričkih metoda za analizu dinamičkih sustava, Poincareovih presjeka i tzv. "box-counting" metode za određivanje fraktalne dimenzije objekta, potrebno je karakterizirati nastali atraktor i utvrditi područje parametara u kojem dolazi do pojave kaosa u sustavu.

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

**Mentor:** dr. sc. Krešimir Salamon

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Program za izračun i vizualizaciju difrakcije i raspršenja s tankih filmova

**Sadržaj teme:**

Tanki filmovi su planarni slojevi materijala debljine reda 1-100 nm. Dobivaju se fizikalnim ili kemijskim metodama depozicije, a rast filma spada općenito u neravnotežne procese koji mogu rezultirati u novim materijalima i metastabilnim strukturama. Za primjenu takvih materijala, te za razumjevanje dinamike rasta slojeva, osnovno je razumjeti strukturno-morfološka svojstva filmova i povezati ih s procesom depozicije. U tu svrhu koriste se najčešće, između ostalih, rendgenske tehnike malog upadnog kuta kao što su reflektivnost rendgenskih zraka (XRR), difrakcija pri malom upadnom kutu (GIXRD), te raspršenje u mali kut pri malom upadnom kutu (GISAXS). XRR i GISAXS su metode za morfološko istraživanje, a GIXRD otkriva fazni sastav tankih filmova. Kako su tanki filmovi često teksturirani (kristaliti preferirano izlažu neku kristalografsku ravninu prema ravnini površine), GIXRD analiza postaje komplicirana i potrebne su simulacije za određivanje i kvantificiranje teksture. Cilj ovog rada je upoznati se sa rendgenskim tehnikama malog upadnog kuta za istraživanje strukture i morfologije tankih filmova, te izraditi programski paket koji bi za dani materijal i strukturu, te eventualno teksturu, izračunao/fitao i vizualizirao GIXRD spektar izmjeren s 1D ili 2D detektorom. Student bi se upoznao s pojmom recipročnog prostora, te raspodjelom difrakcije ili raspršenja u istom, ovisno o strukturi/morfologiji uzorka i geometriji eksperimenta. Od studenta se očekuje poznavanje programskog jezika Fortrana i/ili Pythona.

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

**Mentor:** dr. sc. Krešimir Salamon

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Istraživanje strukturnih i optičkih svojstava TaN nanočestica

**Sadržaj teme:**

Nedavna istraživanja u području nanotehnologije donijela su nova saznanja o plazmanskim svojstvima nanomaterijala. Kod metalnih nanočestica može se npr. pobuditi tzv. lokalizirana površinska plazmonska rezonanca (LSPR), gdje se događa vezanje svjetlosnog vala na površinske vodljive elektrone metalne nanočestice. Takva interakcija rezultira u snažnim lokalnim električnim poljima ograničenima na volumen puno manji od valne duljine svjetlosti. Rezonantna frekvencija i jačina vezanja, što onda određuje i široku primjenu takvih materijala, ovisi o brojnim faktorima, među kojima su sastav, veličina, geometrija i prostorni međuodnos nanočestica, te priroda dielektrične okoline. Uobičajeni materijali koji se koriste za pobuđivanje LSPR-a u vidljivom dijelu spektra su plemeniti metali Au i Ag. Najnovija istraživanja idu u smjeru pronalaska alternativnih materijala koji bi podržavali LSPR i u infracrvenom dijelu spektra, važnom u području biomedicine i telekomunikacija. Jedna od obećavajućih grupa materijala u tom smislu su nitridi prijelaznih metala, npr. TiN, TaN, HfN i sl. Cilj ovog rada je priprava metalnih TaN nanočestica uronjenih u tanki površinski Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sloj, te karakterizacija istih. Uzorci će se napraviti kao periodički višeslojevi i to metodom reaktivnog magnetskog rasprašenja, tj. naizmjeničnom depozicijom Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Ta+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> slojeva u atmosferi reaktivnog plina N<sub>2</sub>. Nakon depozicije, uzorci će se termički popuštati (eng. annealing) u svrhu poticanja sinteze TaN nanočestica u početno homogenim Ta+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> slojevima. Ispitali bi se utjecaji nekoliko depozicijskih parametara, kao što su debljina slojeva, udio Ta u mješanom sloju, tlak N<sub>2</sub> itd., na strukturna, morfološka i optička svojstva uzoraka. Eksperimentalne metode koje bi se koristile za karakterizaciju su strukturno-morfološke rendgenske metode (eng. X-ray reflectivity i eng. grazing incidence x-ray diffraction na IFSu, te eng. grazing incidence small angle x-ray scattering na Sinkrotronu Elettra), te optičke metode (IFS i IRB) za istraživanje plasmonske svojstava TaN nanokristala.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Zdravko Siketić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Kolimiranje ionskog snopa na dimenzije nekoliko  $\mu\text{m}$  pomoću kapilare

**Sadržaj teme:**

Ionski snop MeV-skih energija i mikrometarskih presjeka uobičajeno se dobiva pomoću fokusiranja kompleksnim sustavima magnetskih kvadrupolnih leća. Mnogo jednostavnija metoda dobivanja ionskog snopa malog presjeka (nekoliko  $\mu\text{m}$ ) zasniva se na korištenju kapilare koja služi kao kolimator. Na novoj komori za testiranje kompleksnih detektora za nuklearnu i fiziku visokih energija, uvođenje kapilare za kolimiranje ionskog snopa (npr. protoni 8-10 MeV-a) omogućilo bi rad u zraku pri čemu bi kapilara, uz funkciju fokusiranja, bila i mjesto gdje iz vakuumske sustava snop protona izlazi u zrak. Cilj diplomskog rada bi bio montiranje kapilare na sistem za precizno pozicioniranje, te testiranje karakteristika ionskog snopa na izlazu iz kapilare (energijski profil i prostorna razlučivost).

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Zdravko Siketić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Provjera mjerenih udarnih presjeka za  $^{12}\text{C}(p,p)^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}(p,p)^{16}\text{O}$  i  $\text{natSi}(p,p)\text{natSi}$  reakcije

**Sadržaj teme:**

Među najvažnijim metodama za karakterizaciju tankih filmova debljine oko nekoliko stotina nm nalaze se metode koje se baziraju na interakciji ionskih snopova (engl. Ion Beam Analysis, IBA) sa materijalom. Ioni ubrzani na energije od  $\sim 1$  MeV/A pomoću Van de Graaff akceleratora, sudaraju se s metama, te se gledaju produkti raspršenja. Jedna od IBA metoda je elastično raspršenje u stražnje kuteve (engl. Elastic Backscattering, EBS), gdje se bilježi energija i broj elastično raspršenih iona iz snopa na jezgrama atoma mete. Pošto se često za EBS mjerenja koriste ioni vodika (protoni), energija nekoliko MeV, postoji mogućnost da se pređe coulombska barijera u procesu raspršenja i da udarni presjek odstupa od rutherfordskog udarnog presjeka zbog utjecaja jakih nuklearnih sila. Do sada je napravljen niz mjerenja udarnih presjeka za elastično raspršenje protona na raznim metama kako i u Laboratoriju za ionske interakcije na Institutu Ruđer Bošković tako i u drugim laboratorijima u svijetu. Zbog velikog broja eksperimentalnih podataka koji postoje u bazi podataka IBANDL (Ion Beam Analysis nuclear Data Library <https://www-nds.iaea.org/ibandl/>), potrebno je napraviti test mjerenja (eng. benchmarking experiment), korištenjem dobro poznatih meta u strogo kontroliranim eksperimentalnim uvjetima (energija protona, kutevi raspršenja, prostorni kut detektora, i dr.) Kao tema za diplomski se predlaže provjera mjerenih udarnih presjeka za  $^{12}\text{C}(p,p)^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}(p,p)^{16}\text{O}$  i  $\text{natSi}(p,p)\text{natSi}$  reakcije na debelim metama  $\text{SiO}_2$  i C. Mjerenja će se raditi na rasponu energija od 2-4 MeV u koracima od 200 keV, na tri različita kuta raspršenja  $120^\circ$ ,  $150^\circ$  i  $165^\circ$ .

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

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

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Izrada uređaja za modificiranja transparentnih materijala pomoću femtosekundnog lasera

**Sadržaj teme:**

Modificiranje transparentnih materijala pomoću svjetlosti zasniva se na nelinearnoj apsorpciji unutar medija koja dovodi do optičkog razlaganja materijala i trajne promjene unutar fokalnog volumena. Da bi došlo do razlaganja materijala potrebna je jakost električnog polja reda veličine jakosti polja koje veže valentni elektron u atomu. Dovoljne jačine polja se lako postižu fokusiranjem ultrakrtakih laserskih pulseva (oko 100 fs) pomoću objektiva kratke fokalne daljine. Kratkoća pulsa reducira i termalne efekte i time se postiže velika preciznost upisivanja mikronskih i submikronskih struktura. Ova tehnika nalazi primjenu u izradi 3D fotoničkih kristala, valovoda, mikrofluidnih uređaja i dr. Predmet diplomskog je izrada jednostavnog uređaja koji bi obuhvaćao leće za kondicioniranje snopa, objektiv i računalno upravljanje preciznim 3D pozicioniranjem uzorka. Ispitat će se kako jednostavni parametri kao duljina pulsa, numerička apertura objektiva i intenzitet svjetlosti utječu na upisane strukture u uzorcima od stakla (kvarc, BK7 i dr.) Za kandidata s nastavnog smjera naglasak diplomskog rada će biti na izradi programa koji će računalno upravljati pozicioniranjem uzorka i kontrolom laserskog snopa što će kandidatu biti od koristi prilikom demonstriranja pokusa u nastavi koji se zasnivaju na računalno upravljanim instrumentima. Za kandidata s istraživačkog smjera naglasak rada će se staviti na fizikalne procese koji dovode do modificiranja materijala pomoću fs pulseva.

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

**Mentor:** dr. sc. Željko Skoko

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Difrakcija rendgenskih zraka u kristalnoj tvari

**Sadržaj teme:**

Rendgenska difrakcija u polikristalu je glavna nedestruktivna tehnika za određivanje kristalne strukture materijala. Mogućnosti rendgenske difrakcije su velike: od identifikacije kristalnih faza u uzorku, određivanja udjela pojedinih faza (kristalnih i amorfnih - kvantitativna fazna analiza), određivanja veličine kristalita i defekata kristalne rešetke, utočnjavanja kristalne strukture pa sve do rješavanja nepoznate kristalne strukture. U okviru diplomskog rada detaljno će se razraditi teorija raspršenja i difrakcije rendgenskih zraka te u okviru eksperimentalnog dijela obaviti mjerenja na nekoliko egzemplarnih uzoraka kojima će se pokazati mogućnosti ove metode za istraživanje kristalne strukture.

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

**Mentor:** dr. sc. Željko Skoko

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Implementacije bazičnih algebarskih rutina u jezicima visoke razine

**Sadržaj teme:**

Glavna je tema rada implementacija BLAS rutina u jezicima visoke razine. U radu će se razmatrati sve tri razine BLAS-a te implementacija takvih rutina prije svega u jezicima FORTRAN i C. U uvodnom dijelu rada opisat će se osnove numeričkih algoritama i navesti povijesno značajni primjeri takvih algoritama. Objasnit će se vremenska složenost algoritama te navesti neki otvoreni znanstveni problemi vezani uz temu. Praktični dio rada uključit će primjene BLAS-a u nekim matričnim algoritmima. U tu svrhu analizirat će se najznačajniji poznati algoritmi s matricama. Implementirat će se bazične algebraske rutine i primijeniti na neke probleme uključujući efikasno računanje determinate matrice  $n$ -tog reda.

**Smjerovi:** prof. fizike i informatike

**Mentor:** dr. sc. Željko Skoko

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Molekulski strojevi

**Sadržaj teme:**

Nanostroj je diskretan broj molekulskih komponenti koje izvode kvazi-mehaničke pokrete kao odgovor na vanjski podražaj. Najčešće se radi o molekulama koje jednostavno oponašaju funkcije koje se dešavaju na makroskopskoj razini.

Motorna komponenta je ključna za svaki nanostroj i zbog toga se vjeruje da će molekulski strojevi odigrati glavnu ulogu u nanotehnologijskoj revoluciji 21. stoljeća, kao što su i njihovi makroskopski analogoni – parni strojevi i motori s unutranjim sagorijevanjem odigrali u industrijskoj revoluciji 19. stoljeća. Osnovnu poteškoću u konstruiranju molekulskih strojeva ne predstavlja postizanje kretanja na molekulskoj razini nego kontroliranje tog kretanja, a posebno njegova usmjerenost. Premda funkcionalnost predstavlja kritičan dio dizajniranja makroskopskih strojeva, kod molekulskih strojeva je ključno učiniti njihovo gibanje vidljivim. Upravo zbog toga znanstvenici danas prijavljuju ne cjelokupni projekt, već komponente dizajna i konstrukcije molekulskih strojeva.

U okviru diplomskog rada sintetizirat će se i strukturno ispitati novi materijali koji se mogu koristiti kao molekulski strojevi i, s pomoću njih, dobiti dodatne informacije koje će omogućiti daljnje razumijevanje njihovog ponašanja i ciljanu sintezu novih materijala koji će iskazivati mehaničko ponašanje na nanoljestvici. S tim ciljem na umu, ideja je modificirati neke od postojećih sustava (pomoću kontrolirane promjene strukture) i dobiti nove spojeve s navedenim svojstvima.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ana Sunčana Smith

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Izgradnja intuicije o elastičnosti pomoću ugrubljenog modela membrane

**Sadržaj teme:**

U gotovo svim udžbenicima fizike metodički pristup pri uvođenju ideje elastičnosti je formalan, a ne intuitivan, zbog čega u prosjeku učenici ne uspiju izgraditi mikroskopsku zamisao elastičnosti materijala. Ugrubljeni model membrane kao dvosloja kuglica koje su vodoravnim oprugama povezane sa svojim susjedima u ravnini svoga sloja, a uspravnim oprugama sa susjedima iz drugog sloja, jedan je od najpogodnijih prikaza najvažnijih elastičnih svojstava materijala i mikroskopskog podrijetla tih svojstava, kao i veze titranja s elastičnošću materijala. U ovom radu student bi (1) osmislio i proveo ulazno malo istraživanje razumijevanja koncepta elastičnosti kod gimnazijskih učenika na uzorku od oko 200 učenika; (2) osmislio i izgradio prijenosni eksperimentalni model ugrubljene membrane; (3) osmislio i metodički obradio nastavnu jedinicu ili više njih u kojima bi uveo i obradio osnovne pojmove i pojave vezane uz elastičnost s naglaskom na raspravu i kviz kao glavne metode te biološku primjenu kao glavnu međupredmetnu vezu; (4) osmislio i proveo izlazno malo istraživanje analogno ulaznom; (5) analizirao i interpretirao rezultate iz (1) i (4) te analizirao uspješnost ovog pristupa.

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

**Mentor:** dr. sc. Ana Sunčana Smith

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Hydrogen-bond kinetics in liquid water in external electric fields

**Sadržaj teme:**

The dynamical structure of liquid water is often characterized as a fluctuating network of hydrogen bonded molecules, in which specific molecular motions, such as restricted translations and rotations, contribute to many practically important phenomena (e.g., acoustics). The process of breaking and making hydrogen bonds in the condensed phase can be efficiently studied by means of computer simulations. Indeed, the molecular dynamics simulations have revealed that on long timescales the relaxation behaviour of hydrogen bonds in liquid water exhibit non-exponential kinetics for which an adequate theoretical framework is already developed. However, the influence of the externally applied electric field on the hydrogen bond dynamics is not satisfactorily understood. The idea of the project is to systematically investigate the temperature dependence of the hydrogen bond kinetics and thermodynamics of liquid water at an appropriate interval of electric field strengths.

Requirements: Basic general knowledge of chemistry/physics is necessary. Capability to communicate in English. Experience with programming and molecular dynamics simulations is welcomed, but not necessary.

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

**Mentor:** dr. sc. Ana Sunčana Smith

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Kristalni rast zlatnih kapica na silicijevim kuglicama

**Sadržaj teme:**

Kad silicijeve nano-kuglice stavimo u zasićenu otopinu zlata, u eksperimentima je opaženo stvaranje i rast zakrivljenog dvodimenzijuskog zlatnog kristala na površini kuglice („kapica“) [1]. Dinamika rasta i makrostruktura kapice određena je difuzijom zlatnih iona po površini silicijeve kuglice i reakcijom vezanja na rubu rastuće zlatne površine. Međuigra ovih dvaju mehanizama rezultira u nekoliko režima kristalnog rasta: dendritoliki, fraktalni i prijelazni [2]. Cilj ovog rada je unaprijediti Monte-Carlo simulacije za ovaj problem, simulirati sustave usporedive eksperimentima naše suradničke grupe, te razviti teorijski model kristalnog rasta za ovaj sustav i konačno usporediti rezultate simulacija i teorije s eksperimentalnim podacima.

Napomena. Diplomski rad, po želji studenta, moguće je izraditi i na Friedrich-Alexander Sveučilištu u Erlangenu.

[1] Bao, H., Peukert, W., Klupp Taylor, R. N., *Advanced Materials*, 23, 2644, 2011. [2] Bao, H., Bihr, T., Smith, A.-S., Klupp Taylor, R. N., *Nanoscale*, 6, 3954, 2014.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ana Sunčana Smith

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Brzina neutralne čestice u neutralnoj tekućini pod električnim poljem

**Sadržaj teme:**

Kada u neutralnu polarnu tekućinu, kao što je voda, stavimo neutralnu kuglicu značajno veću od molekula tekućine (bjelančevina, vezikula i sl.) koja s tim molekulama međudjeluje kroz Lennard-Jonesov efektivni potencijal, te narinemo električno polje koje ne međudjeluje s kuglicom, kuglica se počne gibati nekom nanosnom brzinom (eng. drift velocity) suprotna smjera od smjera električnog polja, usprkos intuiciji koja bi pretpostavila da će kuglica mirovati. To je i potvrđeno nizom naših molekulsko-dinamičkih simulacija u paketu GROMACS [1]. Također, ukoliko je kuglica mekana, u električnom polju će se blago izobličiti [2]. Cilj rada je teorijski izračunati nanosnu brzinu kuglice u ovakvom sustavu za stalno i izmjenično električno polje, odrediti rad koji se troši za izobličenje kuglice te istražiti biološke, kemijske i tehničke primjene mehanizma i dobivenih rezultata.

Napomena. Diplomski rad, po želji studenta, moguće je izraditi i na Friedrich-Alexander Sveučilištu u Erlangenu.

[1] Miličević, Z., Marrink, S. J., Smith, A.-S. i Smith, D., J. Mol. Model. 20, 2359, 2014. [2] Aranda, S., Riske, K. A., Lipowsky, R. i Dimova, R., Biophys. J. Biophys. Lett. 95(2), L19, 2008.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ana Sunčana Smith

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Toplinski plašt nevidljivosti - vođenje difundirajućih čestica

**Sadržaj teme:**

Vođenje topline i difuzija čestica su načelno nasumični procesi pa se usmjereno vođenje topline ili difundirajućih čestica čini teorijski nemogućim. Ipak, nedavno je eksperimentalno pokazano [1] da strukture koje se sastoje od slojeva različitih provodnosti mogu zasjeniti, usmjeriti (koncentrirati) ili čak obrnuti postojeći tok topline. Također, moguće je rukovati tokom topline tako da se veliki poremećaj unutar vodljive tvari sakrije: toplinski tok iza poremećaja ponaša se kao da nema poremećaja, tj. kao da je poremećaj nevidljiv, pa se zato ovaj učinak zove toplinski plašt nevidljivosti. [2] Unutar ovog rada treba pokazati da se slične strukture mogu koristiti kako bi se rukovalo difuzijom čestica (difuzijski plašt nevidljivosti) te istražiti moguće eksperimentalne i tehničke primjene pronađenih mehanizama i modela.

Napomena: Diplomski rad, po želji studenta, moguće je izraditi i na Friedrich-Alexander Sveučilištu u Erlangenu.

[1] Narayana, S. i Sato, Y. Phys. Rev. Lett. 108, 214303, 2012. [2] Schittny, R. et al. Phys. Rev. Lett. 110, 195901, 2013.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ana Sunčana Smith

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Dinamika difuzije površinom stanične membrane

**Sadržaj teme:**

Budući da je stanična membrana složena struktura, difuzija čestica po njenoj površini uvjetovana je mnoštvom međudjelovanja s drugim česticama i čestičnim nakupinama, međudjelovanjem čestice s membranom i membrane s okolinom, te fluktuacijama membrane, a uz to su povratno svi ovi mehanizmi uvjetovani i difuzijom po membrani. Stoga je difuzija u membrani anomalna, što potvrđuje i niz eksperimenata. Ipak, ne postoji mikroskopski model koji bi jasno povezao ove mehanizme s anomalnom difuzijom. U ovom radu cilj je (1) simulirati difuziju u membrani kao dvodimenzijanski Monte-Carlo nasumični hod na rešetki u kojem se čestice vežu i odvezuju za rešetku i međusobno, pri čemu vezanje dinamički mijenja okolinu veznog mjesta i ometa difuziju vezane čestice. Rezultati simulacija pružit će osnovu za (2) izgraditi ili nadograditi teorijski model kojim će se opisati plošna difuzija u staničnoj membrani.

Napomena. Diplomski rad, po želji studenta, moguće je izraditi i na Friedrich-Alexander Sveučilištu u Erlangenu.

[1] Bihl, T., Seifert, U. i Smith, A.-S., New J. Phys. 18, 083016, 2015.

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

**Mentor:** dr. sc. Vernesa Smolčić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Precizna mjerenja svojstava prasine galaksija u svemiru starom 1 milijardu godina

**Sadržaj teme:**

U radu će se proučavati svojstva prasine 10 normalnih galaksija na crvenom pomaku  $z=5-6$  opazjenih u COSMOS polju koristeći nova mjerenja visoke razlučivosti. Koristit će se podatci sa Hubble Space Telescope Wide Field Camera 3 (HST WFC-3) u ultraljubicastom (UV) dijelu spektra u sustavu mirovanja galaksija, te mjerenja u daleko-infracrvenom (eng. FIR) dijelu spektra u sustavu mirovanja galaksija i [CII] emisijskih linija. Analiza HST WFC-3 podataka omogućit će precizna mjerenja UV spektralnih nagiba u sustavu mirovanja galaksija. Nadalje, proučavat će se gradijent crvenjenja i usporediti UV i [CII] morfologija i dinamika galaksija, te će se na taj način dobiti uvid o tome kako se galaksije strukturiraju.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ivica Smolić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Kosa crnih rupa

**Sadržaj teme:**

Iako crne rupe nastaju kolapsom složenih, makroskopskih objekata, stacionarne crne rupe su obilježene tek s nekoliko "naboja", poznatih kao "kosa". U slučaju crnih rupa koje su opisane Einstein-Maxwellovim jednadžbama polja, imamo 3 "naboja": masu  $M$ , zamah  $J$  i električni naboj  $Q$ . U prisustvu drugih (skalarnih, ne-Abelovih) polja moguć je i dodatni, ali ograničen broj "naboja". Cilj ovog rada je napraviti pregled svih rezultata koji daju restrikcije o tipovima i geometriji kose crnih rupa.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ivica Smolić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Prostorno-vremenski singulariteti

**Sadržaj teme:**

Crne rupe se formiraju u gravitacijskom kolapsu masivnih astrofizičkih objekata. U unutrašnjosti crnih rupa koje su rješenja gravitacijskih jednadžbi polja redovito nalazimo prostorno-vremenske singularitete. Stoga se nameće pitanje jesu li ovi singulariteti samo artefakt "presimetričnih" rješenja ili se ipak nužno javljaju u fizikalno realističnim situacijama kolapsa materije. Počevši od radova R. Penrosea i S. Hawkinga, niz preciznih teorema sugerira kako su singulariteti neizostavni u svakom kolapsu, nakon što je materija stješnjena unutar neke kritične geometrijske granice, kao i u Velikom prasku ekspanirajućeg svemira. U ovom radu bio bi napravljen pregled dosadašnjih razmatranja o prirodi prostorno-vremenskih singulariteta te njihovoj vezi s kauzalnom strukturom prostor-vremena.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ivica Smolić

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Termodinamika i simetrije u okolini horizonata crnih rupa

**Sadržaj teme:**

Jedan od središnjih problema u gravitacijskoj fizici jest razumijevanje veze između kauzalne strukture prostor-vremena i njegovih termodinamičkih svojstava, prije svega mikroskopskog podrijetla entropije crnih rupa. Niz bitno različitih tehnika i modela daju konzistentnu vezu između površine horizonta crne rupe i Bekenstein-Hawkingove entropije. Cilj ovog rada bio bi dati pregled upotrebe približnih simetrija u okolini crnih rupa u objašnjavanju univerzalnosti ovog termodinamičkog fenomena.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

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

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Razvoj metode aktivacije brzim neutronima za podvodno određivanje rijetkih zemalja u morskom sedimentu

**Sadržaj teme:**

Metali rijetkih zemalja (rare earth elements, REE) pripadaju grupi elemenata koji uključuju itrij, skandij i lantanide. REE su nezamjenjive u industriji visoke tehnologije. Trenutno najveću komercijalnu vrijednost postižu REE koje se koriste za proizvodnju snažnih permanentnih magneta, te energetski učinkovitih rasvjetnih tijela i zaslona, ali imaju i brojne druge primjene. Zbog visoke potražnje rijetkih zemalja, pronalaženje njihovih novih isplativih eksploatacijskih izvora postaje od sve veće ekonomske važnosti. Kao vrlo perspektivna nalazišta smatraju se dubokomorski sedimenti jer se REE na nekim lokacijama talože u visokim koncentracijama u obliku nodula. U našim prethodnim istraživanjima razvili smo daljinski upravljivu ronilicu s neutronske senzora za podvodna istraživanja eksploziva i drugih opasnih materijala (FP7 UNCOSS). Cilj predloženog istraživanja je razvoj metode aktivacije brzim neutronima za podvodnu prospekciju REE u dubokomorskim sedimentima. Ukoliko se pokaže efikasnom u smislu pouzdanosti i brzine detekcije, metoda bi mogla pridonijeti ekonomičnijem pretraživanju morskog dna u svrhu pronalaženja potencijalnih dubokomorskih ležišta REE.

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

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

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Određivanje stehiometrijskog omjera kemijskih elemenata u uzorku pomoću neutronske aktivacijske analize

**Sadržaj teme:**

Upotreba brzih neutrona u određivanju kemijskog sastava tvari aktualna je u zadnjih petnaest godina, zbog njihove prodornosti, nedestruktivnosti i mogućnosti da se selektivno bira dio prostora koji se istražuje. Često je potrebno ne samo kvalitativno utvrditi prisutnost nekog kemijskog elementa, već i identificirati istraživani uzorak, npr. radi li se o eksplozivu, narkotiku ili nekoj drugoj tvari. U okviru diplomskog rada prirediti će se specijalni uzorci, koji imaju poznati omjer broja atoma ugljika i aluminija, atoma ugljika i sumpora itd., pomoću kojih će se izraditi kalibracijske krivulje koje poveju stehiometrijske C/Al, C/S, C/F ... omjere i omjere dobivene neutronske aktivacijske metodom. Pomoću kalibracijskih krivulja odredit će se kemijska formula nepoznatog uzorka. U nastavku ispitati će se mogućnost kvantitativnog utvrđivanja količine pojedinih sastojaka u smjesi.

**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:** Valne funkcije identičnih čestica

**Sadržaj teme:**

Valne funkcije se obično shvaćaju sa stajališta funkcionalne analize, 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 graduiranu algebru nad prstenom simetričnih polinoma. Već i veoma mali primjeri 2--4 čestice otvaraju niz zanimljivih pitanja međuodnosa ta dva načina gledanja. 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 algebre s obzirom na permutacije (preimenovanja) Kartezijevih osi; (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:** Jako korelirani elektroni

**Sadržaj teme:**

Suvremenim istraživanjima u fizici kondenzirane tvari dominiraju materijali neobičnih kombinacija svojstava, koja ukazuju da su elektroni u njima daleko od granice idealnog plina, bio to idealni plin slobodnih čestica (za metale) ili idealni pline magnetskih momenata (za lokalizirane elektrone u magnetskim materijalima). Čini se kao da isti elektroni provode vrijeme u različitim stanjima. Fizikalni pojmovi i pristupi za opis ovakvih sustava, od kojih se neki razvijaju i u Zagrebu, mogu se naučiti proučavanjem pojednostavljenih slučajeva, pogodnih za izradu diplomskog rada. Ti slučajevi obuhvaćaju analitičko ili numeričko opisivanje malih sustava, račun smetnje u posebno odabranim modelima, te varijacione metode.

**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:** Kvantne tekućine

**Sadržaj teme:**

Tekućine s kojima se svakodnevno susrećemo su u takozvanoj hidrodinamičkoj granici, što znači da energija iznosa  $kT$  može pobuditi mnoštvo mikroskopskih stanja. Raspršenjem među njima se uvode nova stanja, te se pojavljuje trenje. No postoji i suprotna granica, u kojoj je pobuđeno tek jedno ili mali broj kvantnih stanja, a tekućina ipak teče. Kako ona to uspijeva? Objašnjenja variraju od slučaja do slučaja, a odnose se na niz zanimljivih i tehnološki važnih stanja materije na niskim temperaturama: supravodljivost, supratekućost, kvantni Hallov učinak, Bose-Einsteinova kondenzacija, no i "obični" elektronski plin u metalima je u stvari kvantna tekućina, koja tek isprva ne izgleda neobično. Ovo otvara mogućnosti diplomskih radova raznih usmjerenja, a koja objedinjuje to svojstvo kvantne mehanike, da broj dostupnih stanja gibanja može biti i puno manji od broja čestica.

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

**Mentor:** dr. sc. Selma Supek

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Neuromagnetsko istraživanje najranijih učinaka prostorne vidne pažnje

**Sadržaj teme:**

Neuromagnetsko funkcionalno oslikavanje mozga (magnetoencefalografija – MEG) primjenom metoda za prostorno-vremensku lokalizacije omogućuje uvid u dinamiku kortikalnog procesiranja u stvarnom vremenu, na milisekundnoj razini. Upravo zbog visoke vremenske rezolucije MEG-a kao i činjenice da su evocirani neuromagnetski signali relativno slabo ovisni o vodljivoj geometriji glave, za razliku od elektroencefalografskih (EEG) mjerenja, MEG ima bolju rezoluciju u prostoru izvora u usporedbi sa ostalim metodama za neurooslikavanje (EEG, fMRI, PET) i predstavlja u trenutku optimalnu metodu za praćenje topologije i dinamike kortikalnih mreža aktiviranih senzornim i kognitivnim procesima. Naša su ranija MEG istraživanja bila prva neinvazivna istraživanja ljudskog mozga koja su demonstrirala učinke selektivne vidne pažnje u primarnom vidnom korteksu (V1) već na 150 ms i to putem povratne veze iz V2 područja (Aine, Supek i dr., 1995), suprotno tradicionalnom modelu serijskog procesiranja kada bi se taj učinak očekivao tek oko 300ms poslije prezentiranja vidnog podražaja. Koristeći eksperimentalnu paradigmu tzv. usmjeravanja pažnje ("top-down cuing") više EEG istraživanja analizom izmjerenih signala i, do sada samo jedna MEG studija koristeći linearnu rekonstrukciju izvora niske prostorne rezolucije, pokazali su učinke pažnje i na znatno ranijim latencijama tj. ispod 100ms.

U suradnom laboratoriju Sveučilišta u Jeni napravljena su MEG mjerenja selektivne vidne pažnje u kojima je eksperimentalna paradigma uključivala dva načina usmjeravanja prostorne vidne pažnje – nasumično i održavano. Cilj diplomskog rada je sudjelovati u analizi MEG mjerenja i istražiti topologiju i dinamiku najranijih vidnih odgovora kako bi se, korištenjem nelinearnog modela prostorno-vremenskog lokaliziranja, dobio uvid na kortikalnoj razini do koje mjere su i kojim mehanizmom i najraniji vidni odgovori podložni modulaciji usmjerenom prostornom pažnjom.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Ana Sušac

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Pokusi iz termodinamike u interaktivnoj nastavi fizike

**Sadržaj teme:**

Edukacijska istraživanja u fizici pokazala su da je interaktivna nastava vrlo učinkovita u razvijanju konceptualnog razumijevanja fizike. Posebno se pomoću pokusa može postići aktivna uključenost učenika u nastavni proces. Cilj ovog diplomskog rada je razviti interaktivne nastavne materijale uz pokuse iz termodinamike. Pokusi i nastavni materijali testirat će se u školama.

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

**Mentor:** dr. sc. Suzana Szilner

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Istraživanje neutron-proton korelacija u reakcijama prijenosa nukleona

**Sadržaj teme:**

Nuklearne reakcije prijenosa na energijama bliskim kulonskoj barijeri oduvijek su važne u proučavanju nuklearne strukture i dinamike reakcija. Pokazano je da su teškoionske reakcije odličan način za proučavanje rezidualne interakcije u jezgrama, posebno komponenata odgovornih za vezanje i korelacije. Predložena tema temelji se na eksperimentalnom proučavanju reakcija prijenosa na energijama bliskim kulonskoj barijeri. Osnovni cilj rada je dobivanje novih eksperimentalnih podataka o korelacijama između nukleona pomoću mjerenja funkcije pobuđenja. Mjerenje reakcije  $^{92}\text{Mo}+^{54}\text{Fe}$  je izvršeno na magnetskom spektrometru PRISMA, smještenom u akceleratorском centru Legnaro (INFN-LNL). Izvrednjavanje funkcije pobuđenja obradom prikupljenih podataka na energijama oko i ispod barijere tražit će se mogući efekti neutron-proton korelacija. Ovo mjerenje slijedi uspješan niz već napravljenih mjerenja na jezgrama sa zatvorenim ljuskama  $^{96}\text{Zr}+^{40}\text{Ca}$  i superfluidnom sistemu  $^{116}\text{Sn}+^{60}\text{Ni}$  gdje je glavni cilj bilo proučavanje korelacije među neutronima. U reakciji  $^{92}\text{Mo}+^{54}\text{Fe}$  mjerena je ukupna funkcija pobuđenja od energije kulonske barijere do oko 25% ispod nje. Korištenje inverzne kinematike i detektiranje iona na prednjim kutevima istovremeno osigurava dovoljno kinetičke energije lakšem partneru što je bitno za masenu razlučivost dok fokusiranost u prednje kuteve u laboratorijskom sustavu rezultira velikom efikasnošću. Na enerijama ispod kulonske barijere proizvedene jezgre imaju malu energiju pobuđenja što bitno umanjuje složenost računa vezanih kanala i olakšava kvantitativno određivanje efekta korelacija. Usporedbom eksperimentalnih rezultata i vrhunskih polu-klasičnih modela dobivaju se jakosti nukleonskih korelacija. Te informacije od velike su važnosti za buduća mjerenja uz upotrebu radioaktivnih snopova kao i za razumijevanje sila međudjelovanja u atomskim jezgrama.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Antonio Šiber

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Optimalni oblici kompaktnih fluorescentnih žarulja

**Sadržaj teme:**

Kompaktne fluorescentne žarulje sastoje se od cijevi ispunjene plinom pod niskim tlakom koja je oblikovana (zakrivljena) tako da se efikasno spakira u mali prostor. Na tržištu postoje dvije različite konfiguracije cijevi. U prvoj, cijev se sastoji od nekoliko (4,6) ravnih i paralelnih dijelova spojenih na dnu, a u drugoj, cijev spiralno prati oplošje cilindra, a dva kraja ulaze u područje električnog kontakta [1]. Postavlja se pitanje postoji li još učinkovitih konformacija cijevi te kako formulirati problem optimalnosti konformacije s obzirom na efikasnost pakiranja te osvjetljenja okolice.

Ciljevi ovog diplomskog rada su:

1. Formulirati problem optimalnog dizajna kompaktne fluorescentne žarulje kao problem minimizacije poopćenog energetskeg funkcionala. Razmotriti različite energetske funkcionalne, pogotovo one koji uključuju proračun samo-zasjenjivanja zbog specifičnog oblika cijevi.
2. Riješiti problem (globalne) minimizacije.
3. Odrediti "fazni dijagram" optimalnih oblika s obzirom na geometriju žarulje odn. omjer radijusa cijevi i veličine same žarulje.
4. Ukratko povezati problem pakiranja fluorescentne cijevi s pakiranjem polimera i polielektrolita u fizici meke tvari i biofizici, pogotovo s pakiranjem DNA molekula u virusima [2,3].

[1] Wikipedia, "Compact fluorescent lamp" >>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Compact\\_fluorescent\\_lamp](https://en.wikipedia.org/wiki/Compact_fluorescent_lamp)

[2] A. Leforestier, A. Šiber, F. Livolant, and R. Podgornik "Protein-DNA Interactions Determine the Shapes of DNA Toroids Condensed in Virus Capsids", Biophys. J. 100, 2209 (2011).

[3] A. Šiber, u pripremi

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

**Mentor:** dr. sc. Antonio Šiber

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Oblici DNA kondenzata

**Sadržaj teme:**

DNA molekula se posredstvom više-valentnih iona ili osmolita može dovesti u uvjete samoprivlačenja odn. kondenzacije. U takvim je uvjetima pogodno da DNA vrpce budu blizu jedne drugoj. U slučaju duge DNA molekule, jedan od načina da se to realizira je da se DNA organizira u formu torusa [1]. U takvom obliku, mnogo DNA strujnica, a sve zapravo ista DNA vrpca, prolaze jedna pored druge. DNA torusi su opaženi i eksperimentalno, ali su opaženi i drugi oblici DNA kondenzata, npr. strukture slične cilindrima, sferama i sl. [2]

Ciljevi ovog diplomskog rada su:

1. Formulirati model kondenzacije DNA.
2. Uključiti u model efekte (elastičnost DNA vrpce, površinska i volumna energija DNA kondenzata) koji omogućuju pojavnost DNA kondenzata različitih oblika.
3. Izračunati fazni dijagram oblika koji, ovisno o parametrima međudjelovanja, objašnjava pojavnost različitih DNA kondenzata.

[1] A. Leforestier, A. Šiber, F. Livolant, and R. Podgornik "Protein-DNA Interactions Determine the Shapes of DNA Toroids Condensed in Virus Capsids", *Biophys. J.* 100, 2209 (2011).

[2] Trinh X. Hoang, Hoa Lan Trinh, Achille Giacometti, Rudolf Podgornik, Jayanth R. Banavar, Amos Maritan, Phase diagram of the ground states of DNA condensates, arXiv:1512.05039 [q-bio.BM]

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Antonio Šiber

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Usporedba zrcaljenja na paraboličnim i sfernim zrcalima i značenje paraksijalne aproksimacije u geometrijskoj optici

**Sadržaj teme:**

Najjednostavnije objašnjenje refleksije i refrakcije svjetlosti u optičkim sustavima može se dobiti u aproksimaciji geometrijske optike. Redovito se uz ovu aproksimaciju koristi i paraksijalna aproksimacija, tj. pretpostavka da se svjetlosne zrake prostiru blizu optičke osi sustava. Za kuteve  $\theta$  koje takve zrake zatvaraju s optičkom osi sustava vrijedi da je  $\sin(\theta)$  približno jednak  $\theta$  i  $\cos(\theta)$  približno jednak 1 [1]. Paraksijalna se aproksimacija može lako zaobići koristeći računalne aplikacije za praćenje optičkih zraka, kao što je npr. PovRay [2]. Ciljevi ovog diplomskog rada su:

1. Objasniti paraksijalnu aproksimaciju te optičke efekte koji nastaju u sustavima u kojima se ona ne može primijeniti, posebno zrcalima [1].
2. Primijeniti program PovRay za numeričku ilustraciju paraksijalne aproksimacije. Objasniti razlike između sfernih i paraboličnih zrcala simulacijama zrcaljenja u PovRay-u. [3,4,5]

[1] Jon Lawrence, Telescope Optics, ASTR278: Advanced Astronomy (2011). [2] Persistence of Vision Ray Tracing, >> <http://www.povray.org>. [3] Kristijan Kunštek, "Reprezentacija učinka kompleksnih optičkih elemenata metodom praćenja zraka", diplomski rad, Fakultet za fiziku, Prirodoslovnomatematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu (2010); vidi >> [http://asiber.ifs.hr/diplomski\\_kunstek.html](http://asiber.ifs.hr/diplomski_kunstek.html). [4] Bruno Paun, "Istraživanje kaustike metodom praćenja svjetlosnih zraka i usporedba s eksperimentom", diplomski rad, Fakultet za fiziku, Prirodoslovnomatematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu (2011); vidi >> [http://asiber.ifs.hr/bruno\\_pauns\\_caustic.html](http://asiber.ifs.hr/bruno_pauns_caustic.html). [5] Marko Marelja, „Simulacija nesfernih zrcala i anamorfnih slika metodom praćenja svjetlosnih zraka“, diplomski rad, Fakultet za fiziku, Prirodoslovnomatematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu (2012); vidi >> [http://asiber.ifs.hr/marko\\_mareljas\\_anamorphosis.html](http://asiber.ifs.hr/marko_mareljas_anamorphosis.html).

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

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Elektrostatsko dopiranje izolatora pomoću ionskih tekućina

**Sadržaj teme:**

U novije vrijeme ostvaren je značajan napredak u elektrostatskom dopiranju izolatora pomoću ionskih tekućina. Posebno su zanimljivi izolatori STiO<sub>3</sub> i KTaO<sub>3</sub> perovskitne strukture, kod kojih je elektrostatskim dopiranjem ostvarena dobra vodljivost s visokom pokretljivošću elektrona, te supravodljivost na vrlo niskim temperaturama. Cilj rada je istražiti utjecaj elektrostatskog dopiranja na magnetotransportna svojstva tih i sličnih materijala. Predviđa se mjerenje promjene električnog otpora s temperaturom, električnog otpora u magnetskom polju (magneto otpora) i Hallvog efekta u vrlo jakim magnetskom poljima do 16 T i širokom temperaturnom području od 0.3 K do 300 K. Proučavanjem magnetotransportnih svojstava se mogu odrediti vodljivost materijala, vrsta, koncentracija i pokretljivost nosioca naboja, parametri Fermijeve plohe, a u nekim slučajevima i sam oblik Fermijeve plohe.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Magnetotransportna svojstva organskih vodiča

**Sadržaj teme:**

Od sedamdesetih godina prošlog stoljeća počelo je intenzivno istraživanje organskih vodiča, zbog teorijske pretpostavke da bi mogli pokazivati supravodljivost na vrlo visokim temperaturama. Organski supravodiči su uspješno sintetizirani, ali njihovo supravodljivo stanje nikad nije došlo do visokih temperatura, no i do danas traje vrlo intenzivno istraživanje njihovih svojstava, posebice zbog vrlo bogatih faznih dijagrama koje ti spojevi čine. Značajno svojstvo organskih vodiča je anizotropija u električnoj vodljivosti, što znači da je otpornost u jednom ili dva smjera znatno manja nego otpornost u trećem smjeru, pa govorimo o niskodimezionalnim vodičima. U ovom radu predviđena su mjerenja promjene električnog otpora s temperaturom, električnog otpora u magnetskom polju (magnetootpora) i Hallvog efekta u vrlo jakim magnetskom poljima do 16 T i širokom temperaturnom području od 1.5 K do 300 K. Proučavanjem magnetotransportnih svojstava se mogu odrediti bitni parametri, kao što su anizotropija vodljivosti, vrsta, koncentracija i pokretljivost nosioca naboja, te karakteristike Fermijeve plohe. Na taj se način mogu proučavati svojstva raznih faza u faznim dijagramima organskih vodiča. Student 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), prof. fizike, prof. fizike i informatike, prof. fizike i tehnike, prof. fizike i kemije

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

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Kaotične oscilacije u nelinearnom električnom titrajnom krugu

**Sadržaj teme:**

Uvođenjem nelinearnog elementa (npr. diode) u električni titrajni krug, moguće ga je dovesti u režim kaotičnih oscilacija. U ovom radu predviđa se slaganje električnog titrajnog kruga na ploči i izbor optimalnih elemenata za postizanje kaotičnih oscilacija. Također se predviđa sastavljanje programa za mjerenje i kontrolu eksperimenta (unutar postojećeg programskog paketa s grafičkim sučeljem), vršenje mjerenja, prikupljanje podataka s digitalnog osciloskopa, analiza eksperimentalnih podataka korištenjem FFT-a, te teorijsko objašnjenje opaženih pojava.

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

**Mentor:** dr. sc. Eduard Tutiš

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Jednostavni modeli kolapsa Fermijeve površine

**Sadržaj teme:**

Proporcionalnost volumena Fermijevog mora i broja fermiona u sustavu osnovna je relacija koja se poučava u fizici mnoštva čestica na primjeru čestica bez međudjelovanja. Preživljavanje ove proporcionalnosti u nepromijenjenom obliku i u sustavima u kojima čestice slabo ili jako međudjeluju sadržaj je znamenitog Luttingerovog teorema, starog više desetljeća. Praktična važnost tog teorema je značajno porasla zadnjih godina s razvojem vrlo preciznih mjerenja Fermijeve površine putem kutno razlučive fotoemisijske spektroskopije. Istovremeno, na određenom broju sustava ekperimentalno se opaža „kolaps“ Fermijeve površine pri promjeni kolektivnog elektronskog stanja. Radi se uglavnom o sustavima s jakim korelacijama u kojima se taj kolaps povezuje s uspostavom (izostrukturnog) dugodosežnog ili kratkodosežnog reda u elektronskom plinu; s razvojem zasjenjenja spinskog sustava od strane vodljivih elektrona, ili s pojavom pseudo-procijepa radi strukturnih fluktuacija. U diplomskom radu student bi proračunao i diskutirao elektronski spektar sustava elektrona u najjednostavnijim modelima u kojima do kolapsa Fermijeve plohe dolazi potpuno ili nepotpuno, kao posljedica slabog (kolektivnog) polja.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Silvije Vdović

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Ultrabrza tranzijentna apsorpcija fotokemijskih reakcija

**Sadržaj teme:**

U tipičnom postavu za tranzijentnu apsorpciju pomoću femtosekundnih laserskih pulseva na uzorak se šalju dva laserska pulsa, s točno definiranim vremenskim razmakom između njih. Prvi, pumpni, pobuđuje molekule u neko gornje pobuđeno stanje, a drugi, probni puls, ispituje trenutnu apsorpciju tako formiranog tranzijentnog stanja. Analizom apsorpcijskih spektara za određeni interval vremena kašnjenja probe može se dobiti slika o ultrabrzoj dinamici. Pumpni puls u postavu koji se razvija na Institutu za fiziku podešen je na valnu duljinu od oko 265 nm (UV zračenje) što omogućava pobudu velikog broja molekula i spojeva koji ne apsorbiraju vidljivu svjetlost, dok je probni puls laserska bijela svjetlost čiji spektar pokriva gotovo cijeli vidljivi dio spektra zračenja kako bi mogao ispitati apsorpciju za što veći opseg energija. U sklopu aktualnog eksperimenta diplomand bi radio na optimizaciji postava, razvoju softverske kontrole mjerenja te određivanju vremenske rezolucije i definiranja granične osjetljivosti mjerenja apsorpcijskih promjena testnih uzoraka. Moguća je i nadogradnja suradnje kroz planirana mjerenja tranzijentne apsorpcije fenolnih spojeva iz kojih fotokemijskim reakcijama nastaju kinon-metidi. Ovi spojevi imaju veliki potencijal u farmaceutskoj industriji kao nositelji lijekova, a mjerenja njihove ultrabrze dinamike bila bi među prvima za tu klasu molekula.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Damir Veža

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** „Međunarodni sustav jedinica i uloga metrologije u njegovom razvoju“

**Sadržaj teme:**

Sadržaj teme: Međunarodni sustav jedinica (SI, franc. *Système international d'unités*) službeno je međunarodno prihvaćen 1960. godine, nakon čega se proširio gotovo u cijelome svijetu. Sastoji se od 7 osnovnih i 21 izvedene jedinice, koje se tvore iz osnovnih. Stvaranje ovog metričkog/decimalnog sustava vezano je za vrijeme Francuske revolucije. Dana 22 lipnja 1799 dva artefakta, etalon duljine (metar) i etalon mase (kilogram) pohranjeni su u Archives de la République u Parizu što se može smatrati prvim korakom u stvaranju današnjeg Međunarodnog sustava jedinica (SI). U razvitku i izgrađivanju SI sustava sudjelovali su najznačajniji znanstvenici svoga vremena – Gauss, Weber, Maxwell, Thomson i mnogi drugi. Uz međunarodni sustav jedinica usko je vezan i pojam metrologije, znanosti o mjerenju. Metrologija ima tri glavna zadatka: definiranje mjernih jedinica, ostvarenje mjernih jedinica znanstvenim metodama, te utvrđivanje lanca sljedivosti pri određivanju i dokumentiranju vrijednosti i točnosti mjerenja. U diplomskom radu bit će opisana povijest razvitka SI sustava kao i uloga nekih značajnih znanstvenika u njegovom stvaranju. Također će biti opisana uloga znanosti o mjerenju (metrologije) u razvitku SI sustava.

Mentor: prof. dr. Damir Veža (veza@phy.hr) Smjerovi: svi nastavnički smjerovi

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

**Mentor:** dr. sc. Damir Veža

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** "Laser Induced Periodic Surface Structures (LIPSS) on Polymer Thin Films"

**Sadržaj teme:**

Mentor: prof. dr. Nadjib Semmar, Sveučilište u Orleansu, Orleans, Francuska, Email: nadjib.semmar@univ-orleans.fr Institucija: GREMI, <http://www.univ-orleans.fr/gremi/>

Dodatna info: \* tema unutar programa suradnje FO PMFa i Sveučilišta u Orleansu "Double master in physics" (vidi [http://www.pmf.unizg.hr/phy?@=1j7tl#news\\_26990](http://www.pmf.unizg.hr/phy?@=1j7tl#news_26990) ) \* Kontakt osoba na Fizičkom odsjeku prof. dr. Damir Veža, x5535, ured 209, Email: veza@phy.hr

Sadržaj teme (Eng.): The generation of nanostructured surfaces is a challenge in order to produce new materials with advanced conductive, optical, magnetic or tribological surface properties. Laser irradiation can induce on thin films periodic structures named Laser Induced Periodic Surface Structures (LIPSS). The characteristics of these structures depend on the wavelength of the used laser beam, the duration and the energy power used (laser beam dose). The characteristic size is close to the beam wavelength. LIPSS have been observed on metallic thin films [1] but also on polymer thin films [2]. In ICMN, the nanostructuring of polymer thin film is mainly performed using phase separation process. In GREMI, the production of LIPSS has already been performed onto metallic and oxide thin films using pulsed laser beams from nano to femtoseconde regime. In this internship, the student will be at the interface between these two laboratories. The works will be dedicated to determine the experimental conditions allowing the formation of LIPSS on different types of polymer thin films, to study the characteristics of the formed structures in relation to the experimental parameters and to investigate the mechanisms inducing the structuration. The structuration of the film will be investigated using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Atomic Force Microscopy (AFM). To investigate the in situ LIPSS formation, time-resolved reflectometry (TRR)

will be also realized.

Sadržaj teme (hrv.): Nanostrukturirane površine spadaju u kategoriju novih materijala s naprednim magnetskim, optičkim, tribološkim i drugim svojstvima. Obasjavanje laserskom svjetlošću površine tankih filmova napravljenih od izabranih materijala stvara na njima površinske strukture poznate kao "Laser Induced Periodic Surface Structures (LIPSS)". Karakteristike ovih struktura ovise o valnoj duljini laserske svjetlosti, trajanju i energiji laserskog impulsa. Karakteristične dimenzije su bliske korištenoj valnoj duljini. LIPSS strukture su opažene ne samo na metalnim tankim filmovima, nego i na polimerskim. Nanostrukturiranje na polimerskim tankim filmovima radi se najčešće procesima faznog separiranja (u ICMN lab) i/ili pulsni laserima (u GREMI lab, u nano- i femto-sekundnom režimu rada). Tijekom boravka u našim laboratorijima student će povezivati rad jednog i drugog laboratorija. Cilj istraživanja je određivanje eksperimentalnih uvjeta koje vode na formiranje LIPSS na različitim vrstama polimerskih tankih filmova, istraživanje karakteristika stvorenih struktura ovisno o parametrima eksperimenta i mehanizama koji vode na strukturiranje površine. U istraživanju će biti korišteni Scanning Electron Microscopy (SEM), Atomic Force Microscopy (AFM) i time-resolved reflectometry (TRR).

Internship duration : 4 to 6 months

References: [1] Evidence of liquid phase during LIPSS formation induced by accumulative UV picosecond laser beam T. T. D. Huynh, M. Vayer, A. Sauldubois, A. Petit and N. Semmar, Appl. Phys. Lett. 107, 193105 (2015) [2] Rebollar, E., Castillejo, M., & Ezquerra, T. A. (2015). Laser Induced Periodic Surface Structures on Polymer Films: From Fundamentals to Applications. European Polymer Journal, 73, 162-174.

Contact : ICMN Christophe Sinturel christophe.sinturel@univ-orleans.fr Marylene Vayer marylene.vayer@univ-orleans.fr GREMI Nadjib Semmar nadjib.semmar@univ-orleans.fr

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Damir Veža

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** „Helij – neonski laser“

**Sadržaj teme:**

Sadržaj teme: Helij-neonski laser je prvi plinski laser koji je radio u kontinuiranom načinu rada (Ali Javan, 1962. godine). Radni medij HeNe lasera sastoji se od smjese plinova helija (pri parcijalnom tlaku od oko 100 Pa) i neona (pri oko 10 puta manjem parcijalnom tlaku). Električnim istosmjernim izbojem atomi helija pobuđuju se u visoko-pobuđena atomska stanja iz kojih je zabranjena emisija u osnovno stanje. Pobuđeni atomi helija u sudarima druge vrste s atomima neona predaju im svoju energiju pobuđenja, a oni stimuliranom emisijom i neradijativnim prijelazima padaju u niža atomska stanja i u osnovno stanje. Budući da se cijeli sustav nalazi unutar optičkog rezonatora Fabry-Perot tipa postiže se laserski efekt, koji je moguć na nekoliko atomskih prijelaza. Najjače laserske linije imaju optičke snage reda veličine nekoliko milivata do nekoliko desetaka milivata, ovisno o konstrukciji lasera. Jedna od linija je u vidljivom dijelu spektra, valne duljine 632,8 nm i laser je poznat baš po njoj. Student će u radu opisati nastanak HeNe lasera, a na primjeru jednog školskog HeNe lasera i njegove osnovne dijelove i način rada. Osim toga bit će objašnjena i najvažnija područja primjene HeNe lasera.

Mentor: prof. dr. Damir Veža (veza@phy.hr) Smjerovi: svi nastavnički smjerovi

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

**Mentor:** dr. sc. Damir Veža

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** „Poluvodički laser i primjene“

**Sadržaj teme:**

Sadržaj teme: Laserska dioda je poluvodičko optičko pojačalo s optičkom povratnom vezom. Poluvodičko optičko pojačalo je propusno polarizirani jako dopirani p+-n+ spoj napravljen od poluvodičkog materijala s tzv. direktnim energijskim procjepom. Pobuđenje aktivnih atoma postiže se prolaskom struje kroz medij, nakon čega dolazi do emisije svjetlosti i optičkog pojačanja. Optičku povratnu vezu stvara refleksija svjetlosti na "unutarnjim zrcalima" koja se dobivaju kalanjem poluvodičkog materijala po kristalnim ravninama (stvarajući Fabry-Perot rezonator). Obzirom da poluvodički materijal ima visoki indeks loma u odnosu na zrak/vakuum ( $n \sim 3.5$ ) koeficijent refleksije je dovoljno visok da osigura jaku optičku povratnu vezu, pretvarajući tako optičko pojačalo u optički oscilator odnosno u laser. U diplomskom radu bit će opisana fizička svojstva poluvodičkih laserskih dioda, princip rada diodnih lasera i različite mogućnosti njihove primjene. U demonstracijskom eksperimentu bit će istražena i njihova osnovna svojstva.

Mentor: prof. dr. Damir Veža (veza@phy.hr) Smjerovi: svi nastavnički smjerovi

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

**Mentor:** dr. sc. Dario Vretenar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Modeliranje procesa nuklearne fisije

**Sadržaj teme:**

Spontana fisija predstavlja kompleksan proces evolucije atomske jezgre od početnog osnovnog stanja do konačnog stanja dvaju fragmenata i uključuje tuneliranje kroz potencijalne barijere u višedimenzionalnom kolektivnom prostoru deformacija. Teorija nuklearne fisije još uvijek nije u stanju potpuno kvantitativno opisati osnovne značajke ovog procesa: visinu fisionih barijera, energije pobuđenja fisionih izomernih stanja, poluživote jezgara koje se raspadaju spontanom fisijom, raspodjelu masa fragmenata i raspodjelu kinetičkih energija. Predloženi rad uključuje studiju i numeričke izračune značajki spontane fisije uporabom dinamičkih modela koji se zasnivaju na teoriji relativističkih nuklearnih funkcionala gustoće. Jie Zhao, Bing-Nan Lu, T. Nikšić, D. Vretenar, Physical Review C 92, 064315 (2015).

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Dario Vretenar

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Mikroskopski opis strukture atomske jezgre

**Sadržaj teme:**

Modeli atomske jezgre zasnovani na teoriji energijskog funkcionala gustoće trenutno predstavljaju najpotpuniji alat za opis svojstava osnovnog i pobuđenih stanja u atomskim jezgrama. Međutim, iako većina atomskih jezgara ima neparan broj protona i/ili neutrona, većina dosadašnjih teorijskih istraživanja bila je usmjerena prema strukturi parno-parnih atomskih jezgara. Nedavni eksperimentalni rezultati potaknuli su razvoj pouzdanih teorijskih modela koji bi mogli obuhvatiti i jezgre s neparnim brojem nukleona. U predloženom radu razmotrit će se jedan od mogućih pristupa koji povezuje teoriju energijskog funkcionala gustoće i algebarske modele međudjelujućih bozona i fermiona. Odgovarajući Hamiltonijan izgradio bi se temeljem mikroskopskih računa zasnovanih na teoriji energijskog funkcionala gustoće, a potom bi se dijagonalizacijom Hamiltonijana određivali niskoležeći energijski nivoi i vjerojatnosti prijelaza u atomskim jezgrama s neparnim brojem nukleona. Model bi se prvo provjerio na ilustrativnim primjerima izotopa u području rijetkih zemalja, a kasnije bi se mogao upotrijebiti na složenijim slučajevima neparnih jezgara s oktupolnom deformacijom čime bi se otvorila mogućnost testiranja CP narušenja u kontekstu nuklearne fizike. K. Nomura, D. Vretenar, T. Nikšić, Bing-Nan Lu, Physical Review C 89, 024312 (2014).

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Nataša Vujičić

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Optička svojstva 2D heterostruktura

**Sadržaj teme:**

Odnedavno, jednoslojni poluvodički materijali iz porodice dihalcogenida prijelaznih metala (eng. transition metal dichalcogenides-TMDs) privlače pažnju i veliki interes istraživačke zajednice zbog svojih jedinstvenih fizikalnih svojstava. Dvodimenzionalni (2D) materijali iz porodice TMDs-a mogu se prikazati općenitom formulom  $MX_2$ , pri čemu M predstavlja neki od prijelaznih metala (Mo, W, itd.), a X jedan od elemenata iz porodice halkogenida (S, Se, Te, itd.). Kad se takvi materijali sintetiziraju iz forme višeslojnih (eng. multilayer) struktura u formu jednoslojnih (eng. monolayer) struktura, TMDs postaju poluvodički materijali s direktnim energijskim procjepom u blizini vidljivog i infracrvenog dijela spektra, zbog čega mogu prilično efikasno apsorbirati i emitirati svjetlost. Taj prijelaz iz posrednog (eng. indirect) u neposredni (eng. direct) poluvodič uslijed renormalizacije energijskih vrpca u ovisnosti o broju slojeva materijala rezultat je slabog, ali nezanemarljivog Van der Waalsovog vezanja između slojeva materijala, koje vodi do pomicanja energijskih nivoa u valentnoj i vodljivoj vrpca u pojedinim točkama visoke simetrije u Brillouinovoj zoni.

Ukoliko se iz više različitih jednoslojnih materijala (primjerice jednosloja MoS<sub>2</sub> i WS<sub>2</sub>) počnu graditi vertikalne slojevite strukture nastaju tzv. Van der Waalsove heterostrukture. Van der Waalsove heterostrukture predstavljaju bogatu kolekciju materijala koji se zbog svojih novih fizikalnih svojstava (primjerice, efikasnog razdvajanja elektrona i šupljina) mogu iskoristiti u poluvodičkoj industriji i imati važnu ulogu u proizvodnji brzih elektroničkih i efikasnih fotovoltaičkih uređaja. Optičkim metodama, poput vibracijske Raman spektroskopije, apsorpcijske spektroskopije, fotolumiscencije te vremenski razlučive spektroskopije mogu se dobiti informacije kako razmak između slojeva, a time i vezanje slojeva te različite međusobne orijentacije slojeva unutar heterostruktura utječu na optička kao i na funkcionalna svojstva heterostruktura.

U okviru ovog diplomskog rada, navedenim optičkim metodama istraživali bi se efekti koji nastaju u MoS<sub>2</sub>/WS<sub>2</sub> heterostrukturama dobivenim tehnikom depozicije iz kemijskih para (eng. chemical vapour deposition- CVD). Student/studentica bi aktivno sudjelovao/sudjelovala u izradi eksperimentalnog postava za mjerenje Raman/PL/apsorpcijskih spektara, s mogućnošću mapiranja uzoraka i automatskog prikupljanja podataka kao i u mjerenjima i analizi eksperimentalnih podataka.

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Tihomir Vukelja

**Institucija:** PMF

**Naslov teme:** Fizika Ruđera Boškovića

**Sadržaj teme:**

Hrvatski filozof, matematičar, fizičar, astronom i književnik Ruđer Josip Bošković (1711. – 1787.) jedna je od najznamenitijih osoba hrvatske znanstvene i filozofske baštine te jedan od istaknutijih svjetskih znanstvenika svih vremena. Najznačajniji je po doprinosu filozofiji prirode, a tu su mnoge njegove ideje bile ispred vremena te su postale aktualnije u današnjoj fizici nego što su bile u njegovo doba. Njegov rad obuhvaća razna područja, a najpoznatiji je njegov doprinos proučavanju sila i strukture tvari, kojim je raskinuo s materijalističko-korpuskularnom teorijom tvari i postavio pravu dinamističko-atomističku teoriju, na kojoj je utemeljio i svoje originalno shvaćanje prostora i vremena. U radu bi se prikazali ti temeljni elementi Boškovićeve fizike, kao i načela iz kojih ih je izveo. Potom bi se na primjerima pokazao izravni utjecaj njegove izvorne teorije sila i strukture tvari na razvoj suvremene fizike, poput uloge koju je ta teorija igrala u oblikovanju ideje polja (M. Faraday i J. C. Maxwell) ili razmatranju strukture atoma (J. J. Thomson i N. Bohr). Također, istaknule bi se one odlike i posljedice njegove teorije po kojima se ona može smatrati prethodnicom važnih fizičnih ideja i teorija razvijenih u XX. stoljeću, poput teorije relativnosti.

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

**Mentor:** dr. sc. Tomislav Vuletić

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Nanopore

**Sadržaj teme:**

Potreba za brzim sekvenciranjem DNK molekula, u kliničkoj i znanstvenoj primjeni, otvara niz novih, fundamentalnih pitanja u području biofizike. Umjesto vremenski zahtjevnog rada s otopinama, današnje se metode baziraju na stvaranju DNK senzora/čipova. DNK i proteini se mogu detektirati i pri prolazu kroz nanopore (dijametar 3-20 nm) u membrani materijala kao što su grafen, MoS<sub>2</sub> ili SiNx. Rad na nanoporama se odvija u sklopu suradnje sa EPFL, Lausanne, Švicarska, <http://lben.epfl.ch/> i u sklopu aktivnosti Jedinice za Grafen i 2D materijale Znanstvenog centra izvrsnosti, G2D/CEMS <http://cems.irb.hr/hr/research-units/the-science-of-graphene-and-related-2d-structures/>. Nanopore se u Zagrebu proizvode metodom dielektričnog proboja membrana. Iskorak na kojem radimo vezan je na način ugradnje membrana u polimerne nosače i otvaranje pristupnih otvora u polimeru ozračivanjem pojedinim teškim ionima na ionskoj mikroprobi na IRBu. Diplomand bi radio na sintezi 2D materijala (chemical-vapour deposition-CVD), skidanju materijala s podloge (lift-off), nanošenju polimera (spin-coating) i otvaranju (diel.breakdown) i karakteriziranju nanopora po ozračivanju ionima. Karakterizacija se izvodi praćenjem translokacija DNK molekula kroz nastale pore. Otvorena je mogućnost sudjelovanja na radionicama i ljetnim školama. Više informacija na <http://soft.ifs.hr>

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Tomislav Vuletić

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Kada viševalentni ion postaje poliion?

**Sadržaj teme:**

Interakcija lipidnih struktura (vezikule, (dvo)slojevi, cijevi...) sa DNK se istražuje budući su ti kompleksi dobar odabir za isporuku biofarmaka, pa čak i genetskog materijala u stanicu. U sklopu bilateralnog projekta s kolegama iz Graza namjeravamo istraživati lipidne mnogodvosloje dopirane sa vrlo kratkim fragmentima DNK (3, 5, 10 nukleotida), koji su veličinom između točkastih iona i linearnih poliiona. Fragmenti bi ovdje poslužili kao polivalentni anioni koji utječu na razmak mnogodvosloja. Diplomant bi u Zagrebu radio na uređajima FCS (fluorescencijska korelacijska spektroskopija) i QCM-D (kvarcna mikrovaga). Sa FCSom bi mjerio koeficijent difuzije fluorescentno obilježenih fragmenata DNK u vodenom mediju i u kompleksu s lipidima pripremljenim u Grazu. Nadamo se kako će biti moguće detektirati difuziju u 2 dimenzije, budući bi difuzija DNK fragmenata trebala biti ograničena na prostor između dvosloja. Difuzija bi trebala ovisiti i o koncentraciji DNK fragmenata. Diplomant ima priliku provesti i nekoliko mjeseci u Grazu kako bi proširio svoja istraživanja iz Zagreba te usvojio i metodu raspršenja X-zraka kojom bi se pratila promjena debljine dvosloja dodavanjem DNK (<http://www.uni-graz.at/~pabstg/>). Otvorena je i mogućnost sudjelovanja na radionicama i ljetnim školama. Više informacija na <http://soft.ifs.hr>

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Tomislav Vuletić

**Institucija:** IFS

**Naslov teme:** Istraživanje ligand-receptor vezanja i denaturacije DNK u prisustvu molekula krioprotektanata

**Sadržaj teme:**

Interakcija lipidnih struktura (vezikule, (dvo)slojevi, cijevi...) sa DNK se istražuje budući su ti kompleksi dobar odabir za isporuku biofarmaka, pa čak i genetskog materijala u stanicu. U sklopu bilateralnog projekta s kolegama iz Graza namjeravamo istraživati lipidne mnogodvosloje dopirane sa vrlo kratkim fragmentima DNK (3, 5, 10 nukleotida), koji su veličinom između točkastih iona i linearnih poliiona. Fragmenti bi ovdje poslužili kao polivalentni anioni koji utječu na razmak mnogodvosloja. Diplomant bi u Zagrebu radio na uređajima FCS (fluorescencijska korelacijska spektroskopija) i QCM-D (kvarcna mikrovaga). Sa FCSom bi mjerio koeficijent difuzije fluorescentno obilježenih fragmenata DNK u vodenom mediju i u kompleksu s lipidima pripremljenim u Grazu. Nadamo se kako će biti moguće detektirati difuziju u 2 dimenzije, budući bi difuzija DNK fragmenata trebala biti ograničena na prostor između dvosloja. Difuzija bi trebala ovisiti i o koncentraciji DNK fragmenata. Diplomant ima priliku provesti i nekoliko mjeseci u Grazu kako bi proširio svoja istraživanja iz Zagreba te usvojio i metodu raspršenja X-zraka kojom bi se pratila promjena debljine dvosloja dodavanjem DNK (<http://www.uni-graz.at/~pabstg/>). Otvorena je i mogućnost sudjelovanja na radionicama i ljetnim školama. Više informacija na <http://soft.ifs.hr>

**Smjerovi:** fizika (istraživački)

**Mentor:** dr. sc. Vinko Zlatić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Ansambli težinskih mreža

**Sadržaj teme:**

U okviru ove teme, od pristupnika se očekuje izrada računalnog programa koji će na temelju mjerenih karakteristika težinskih mreža, kreirati niz realizacija sintetskih mreža s danim karakteristikama. U zadnjih 15 godina kanonski i mikrokanonski ansambl kompleksnih težinskih mreža su bili veliki neriješeni problem. Unutar zadnjih godinu dana taj je problem djelomično riješen. U okviru ove teme pristupnik će morati proučiti pet znanstvenih radova na predstavljenju temu i naučiti osnove fizike kompleksnih mreža. Na temelju proučenih radova student će izraditi program (u pythonu, C++-u ili Matlabu) koji služi za generiranje kanonskih realizacija težinskih kompleksnih mreža. Nakon uspješnog završavanja programa, student će upotrijebiti nekoliko mreža izvučenih iz podataka kako bi generirao sintetske mreže koje će su upotrijebiti kao null-modeli mreža izvučenih iz podataka. U idealnom slučaju student će sudjelovati u znanstvenom članku na kojem radi moja grupa.

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

**Mentor:** dr. sc. Dijana Žilić

**Institucija:** IRB

**Naslov teme:** Magnetska svojstva Cr(III) polimernih oksalatnih kompleksa

**Sadržaj teme:**

Elektronska spinska rezonancija (ESR) značajna je spektroskopska tehnika u fizici čvrstog stanja, kojom se dobiva uvid u lokalna svojstva paramagnetskih centara i mikroskopska slika međudjelovanja. U okviru diplomskog rada, student će se upoznati s ESR spektrometrom na IRB-u, u Laboratoriju za magnetske rezonancije, koji radi u X-području (koristi mikrovalove frekvencije oko 10 GHz i magnetsko polje do 1 T). Da bi se dobio spinski Hamiltonian paramagnetskih iona sa spinom  $S > 1/2$ , neophodno je primijeniti ESR spektroskopiju koja koristi visoke frekvencije i jaka polja (HF-ESR). Student će sudjelovati u analizi HF-ESR spektara Cr(III) polimernih oksalatnih spojeva dobivenih na IFW-Dresden. Koristeći softverski alat EasySpin napisan u Matlab-u, napraviti će se simulacija ESR spektara te će se dobiveni rezultati povezati sa kristalnom strukturom istraživanih kompleksa prijelaznih metala.

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