

## Teme za seminarje, Fizika 1. stopnja, 3. letnik

### **Boštjan Golob**

Teme s področja fizike delcev:

- 1) Vzbujena stanja mezonov
- 2) Preverjanje univerzalnosti leptonskih okusov

Teme s področja eksperimentalnih metod:

- 3) Transport žarkov nabitih delcev v pospeševalnikih

Teme s področja energijskih virov:

- 4) Generiranje energije s pomočjo zemeljskega magn. polja

### **Miha Ravnik**

Mehka robotika

Mikroskopski plavalci

Biofizika proteinskih disperzij

Koloidni dimanti: nacrtovanje in amosestavljanje

Topologija v materialih

Strojno učenje v fiziki snovi

Osnove pristopov k modeliranju COVID epidemije

Fizika prepustnosti obraznih mask

### **Miha Mihovilovič**

- 1) Razgrinjanje lastnosti nevtrinov z jedrskimi eksperimenti

V opisu zgradbe snovi, kot ga predvideva Standardni model, naj bi bili nevtrini brezmasni delci. Opaženje oscilacij okusa nevtrinov je nedvoumno pokazalo, da to ni tako in da imajo nevtrini neničelne mase. Nevtrinske oscilacije so opazili različni eksperimenti. Za potrditev tega pojava sta Art McDonald in Raymond Davis, Jr., leta 2015 prejela tudi Nobelovo nagrado za fiziko. Nevtrinske oscilacije predstavljajo mešanje lastnih stanj okusa ter lastnih stanj mase in jih v okviru trenutnega opisa predstavimo s  $3 \times 3$  mešalno matriko, ki jo določajo trije mešalni koti ter fazni kot kršitve simetrije CP. Novi, natančni meritvi oscilacij je danes posvečena vrsta zapletenih eksperimentov, kot so T2K, MiniBooNE, MINERvA in DUNE. Povezavo med izmerjenimi oscilacijami in parametri, ki opisujejo mešanje, dajo nato simulacije Monte-Carlo, ki se zanašajo na natančen opis interakcije nevtrinov z jedri v detektorjih. Zato namenske nevtrinske poskuse spremlja vrsta majhnih jedrskih poskusov z elektroni v laboratorijih MAMI in Jefferson Lab, ki si prizadevajo izboljšati trenutni opis interakcije leptonov z jedri.

## 2) Nerešljivi problem nabojnega polmera protona

Lastnosti in zgradbo protona fiziki preučujemo od samih začetkov eksperimentalne hadronske fizike. Od prvih meritev velikosti protona je minilo že več kot 50 let, a kljub vsem prizadevanjem in več deset različnim eksperimentom danes še vedno ne vemo dovolj natančno, kako velik je ta osnovni gradnik snovi. Rezultati eksperimentov, ki so jih raziskovalci izvedli v zadnjih desetih letih, navajajo povprečne nabojne radije protona, ki se med seboj razlikuje za več kot 6-sigma. Problem nekonsistentnih meritev danes ljubiteljsko imenujemo »protonska uganka« in je, zaradi potencialnih resnih posledic na naše razumevanje fizikalnega sveta, med fiziki ena najbolj burnih in vročih tem.

## Rok Žitko

### 1) Homotopske grupe v fiziki

Homotopske grupe opisujejo zvezne deformacije ene preslikave v drugo. Tema seminarja je vpeljava osnovnih pojmov, kot so ovojna števila, in predstavitev nekaj primerov uporabe v fiziki.

Nakahara: Geometry, topology, and physics, Taylor & Francis (2003)

### 2) Elektronska vezja s superprevodnimi elementi

Elektronska vezja lahko poleg dobro znanih osnovnih komponent, kot so uporniki, tuljave in kondenzatorji, vsebujejo tudi superprevodne elemente, kot so Josephsonovi spoji. Tema seminarja je izpeljava enačbe gibanja za takšna superprevodniška elektronska vezja in nekaj primerov uporabe.

Devoret: Quantum fluctuations in electrical circuits, Les Houches, Session LXIII, 1995

## Daniel Svenšek

1) Formation of vortices in long microcavities (N. Osterman, J. Derganc, D. Svenšek, Microfluid Nanofluid (2016) 20:33 DOI 10.1007/s10404-015-1689-7 in ostale reference v članku)

Gre za vprašanje, kakšen je režim hidrodinamskega toka v mikrofluidični komori – stranskem slepem kanalu: ali se pojavi obratni vrtinec ali ne in od česa je to odvisno. V eksperimentalno-teoretični

študiji smo pokazali, da v odvisnosti od geometrije komore obstajata dobro definirana režima z vrtinci in brez, med katerima je ostra meja.

2) Self-organization dynamics of bacterial microfluidic pumping (Daniel Svenšek, Harald Pleiner and Helmut R. Brand, *Soft Matter* (2019), 15, 2032 in reference v članku, predvsem na originalni eksperiment)

Eksperiment z Brown University pokaže, da se bički bakterij, ki so adsorbirane na stene mikrofluidičnega kanala, uspejo orientacijsko samoorganizirati, tako da takšna "bakterijska preproga" začne spontano delovati kot mikrofluidična črpalka. Samoorganizacijo in nekatere opažene eksperimentalne odvisnosti, predvsem učinkovitost črpanja od širine kanala, se da makroskopsko modelirati kot konstruktivno povratno zanko med orientacijskim polje bičkov in hitrostnim poljem tekočine.

### **Irena Drevenšek Olenik**

1) Optične metapovršine (Optical metasurfaces)

2) Medcelične komunikacije na osnovi valov  $Ca^{2+}$  (Intercellular communications based on  $Ca^{2+}$  waves)

### **Gregor Skačej**

1) Nematsko-izotropni prehod Lebwohl-Lasherjevega modela

Lebwohl-Lasherjev model je mrežni model, podoben klasičnemu Heisenbergovemu, ki opiše orientacijski fazni prehod v tekočem kristalu. Šele porast procesorske moči v zadnjih letih je omogočil obravnavo dovolj velikih vzorcev v simulacijah Monte Carlo, da je postal dobro viden tudi nezvezni značaj faznega prehoda, opažen eksperimentalno.

P. A. Lebwohl in G. Lasher, *Phys. Rev. A* 6, 426 (1972)

G. Skačej in C. Zannoni, *Proc. R. Soc. A* (2020)

### **Natan Osterman**

1) Papirnata mikrofluidika

[https://en.wikipedia.org/wiki/Paper-based\\_microfluidics](https://en.wikipedia.org/wiki/Paper-based_microfluidics)

2) Laboratorij na čipu

<https://en.wikipedia.org/wiki/Lab-on-a-chip>

### 3) Fizika jadranja

[https://gewa.gsfc.nasa.gov/clubs/sailing/RESOURCES/Physics\\_of\\_sailing.pdf](https://gewa.gsfc.nasa.gov/clubs/sailing/RESOURCES/Physics_of_sailing.pdf)

### 4) Optična pinceta

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Optična\\_pinceta](https://sl.wikipedia.org/wiki/Optična_pinceta)

## **Tomaž Rejec**

1) Rydbergovi atomi (<https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-04-quantum-physics-i-spring-2016/video-lectures/part-3/rydberg-atoms/>)

2) Aharonov-Casherjev pojav (<https://arxiv.org/pdf/0708.3744.pdf>)

## **Saša Prelovšek Komelj**

### 1) Raziskave vezanih stanj in resonanc z sipanjem

Z meritvami sipanja delcev se raziskuje interakcije med njimi, njihova vezana stanja ter resonance. Pri seminarju bi predstavili tudi primere uporabe pri nekaterih aktualnih raziskavah, na primer pri študiju običajnih in neobičajnih hadronov. Vir za teoretično osnovo: standardni učbeniki kvantne mehanike – poglavja, ki se ne obravnavajo pri drugih predmetih v 3. letniku (npr. Schwabl);

### 2) Born-Oppenheimerjev približek za sisteme s težkimi in lahkimi delci

Born-Oppenheimerjev približek je nepogrešljiv pri obravnavi molekul, kjer so jedra mnogo težja od elektronov. Elektroni se zato gibljejo mnogo hitreje kot jedra, lastnosti molekul pa izluščimo v dveh korakih. V prvem koraku so jedra statična in določimo potencial  $V(r)$  med njimi, v drugem koraku pa obravnavamo gibanje jeder v tem potencialu. Pristop je dragocen tudi pri drugih fizikalnih sistemih, na primer pri obravnavi hadronov s težkimi in lahkimi kvarki. Pri seminarju bi prikazali tudi primere sodobnejše uporabe: potencial med težkim kvarkom in antikvarkom, ki kaže na ujetje kvarkov pri velikih razdaljah; potencial med dvema težkima mezonoma, ki vodi do štirikvarkovskega vezanega stanja. Vira za teoretično osnovo na primer:

<http://vergil.chemistry.gatech.edu/notes/bo/bo.pdf>

<https://ocw.mit.edu/courses/chemistry/5-73-introductory-quantum-mechanics-i-fall-2005/lecture-notes/sec12.pdf>

## **Andrej Studen**

### 1) Kvantitativni slikovni biomarkerji v onkologiji

V medicinski diagnostiki se poleg kvalitativne ocene slike vse bolj pogosto pojavlja tudi kvantitativna analiza, tako anatomskih kot funkcionalnih slikovnih načinov. Krajevna ločljivost tovrstnih slik ne omogoča prepoznavanja bioloških procesov na ravni celic, mikrobiološko delovanje pa pusti za seboj tipične vzorce v sestavi in obliki tkiva. S kvantitativnimi metrikami tekstur lahko prepoznamo pogoste vzorce in jih povežemo s tipom bolezni, odzivom na zdravljenje in uspešnostjo zdravljenja. Namen seminarja je opisati pogoste metrike tekstur, opisati zanesljivost in jasnost povezanosti med teksturnimi metrikami in kliničnimi spremenljivkami ter povezavo s fizikalnim ozadjem nastanka slike. Kandidat bo za svoje delo izbral enega izmed področij, ki jih pokrivajo članki:

- presejanje za raka dojke:  
Radiology 2016 279:1, 65-74

- zdravljenje z imunoterapijo

Aide N, Hicks RJ, Le Tourneau C, Lheureux S, Fanti S et Lopci E. FDG PET/CT for assessing tumour response to immunotherapy. EUR J Nucl Mol Imaging 2019; 46(1): 238-50. doi: 10.1007/s00259-018-4171-4

### 2) Adaptivna hadronska/protonska radioterapija

Hadronska radioterapija predstavlja moderno inačico radioterapije, kjer namesto žarkov gama, fotonov, uporabljamo protone ali jedra lahkih atomov. Tovrstni nabiti delci se v telesu ustavijo in odložijo energijo in sevalno dozo v okolici Braggovega vrha, kar v teoriji prihrani dozo okoliškemu tkivu ter omogoča prilagajanje razporeditve doze značilnostim tumorja. Natančnost hadronske terapije je povezana s poznavanjem obsevanega telesa, saj bo lega Braggovega vrha močno odvisna od poti delcev po telesu. V izogib negotovostim je razvoju protokol adaptivne HT, kjer obsevalni načrt sproti prilagajamo spremembam v telesu pacienta. Seminar bo pojasnil ozadje HT, fizikalne vzroke negotovosti prejete doze in metode zmanjševanja negotovosti v okviru adaptivne metodologije.

De Ruysscher D, Sterpin E, Haustermans K, Depuydt T. Cancers (Basel). 2015 Jun 29;7(3):1143-53, doi: 10.3390/cancers7030829.

Ree A H, Redalen K R. Br J Radiol. 2015; 88(1051): 20150009, doi: 10.1259/bjr.20150009.

Simone CB, Ly D, Dan TD, Ondos J, Ning H, Belard A, O'Connell J, Miller RW, Simone NL. Radiother Oncol. 2011 Dec;101(3):376-82, doi: 10.1016/j.radonc.2011.05.028.

## **Simon Širca**

1) Zivljenje na Marsu: kako narediti kisik in gorivo za pot domov

2) Analiza naftnih vrtin

- 3) Stohasticno hlajenje
- 4) Najnatancnejši termometer na svetu
- 5) Stern-Gerlachov poskus s prostimi elektroni

### **Dragan Mihailović**

1. Uporaba D-wave računalnika za izračun urejanja v kvantnih sistemih
2. Kvantni spomin: izziv za razvoj kvantnih računalnikov
3. Makroskopsko kvantno tuneliranje med vesolji v laboratoriju.

Kvantno tuneliranje je elementarni pojav, ki ima ključno vlogo pri zelo različnih fizikalnih procesih, od jedrske fuzije, in razpada alfa delcev, do uporabe v tunelskih diodah, kvantnem računalništvu in tunelskih mikroskopih. Makroskopsko tuneliranje celotnega vesolja napoveduje tudi Standardni model na osnovi današnjih vrednosti fundamentalnih konstant<sup>1</sup>. Seminarska tema tokrat obravnava moderne manifestacije makroskopskega tuneliranja v analognih sistemih v trdni snovi, kjer govorimo o tuneliranju več-delčnih stanj, kot je na primer tuneliranje med različnimi konfiguracijskimi stanji elektronov<sup>2</sup>. Poleg zanimivosti za fundamentalno fiziko je pojav ključen za razlago novih spominskih elementov na osnovi konfiguracijskih stanj v plastnih kristalih tantalovega disulfida<sup>3,4</sup>.

-Turner, M. S. & Wilczek, F. Is our vacuum metastable? *Nature Nanotechnology* 298, 633–634 (1982).

-Vodeb, J. et al. Configurational electronic states in layered transition metal dichalcogenides. *New J Phys* 21, 083001 (2019).

-Vaskivskiy, I. et al. Controlling the metal-to-insulator relaxation of the metastable hidden quantum state in 1T-TaS<sub>2</sub>. *Science Advances* 1, e1500168 (2015).

-Vaskivskiy, I. et al. Fast electronic resistance switching involving hidden charge density wave states. *Nature Communications* 7, 11442 (2016).

### **Igor Vaskivskiy**

1. Generacija ultra-kratkih rentgenskih sunkov z namiznim laserjem

Nelinearna interakcija svetlobe in snovi lahko povzroči generacijo fotonov z energijami, ki se razlikujejo od energije začetnih fotonov. Eden od takih pojavov, generacija visokih harmonikov, lahko pomaga ustvariti fotone z energijo od vidnega do rentgenskega območja iz nizkoenergetskih infrardečih fotonov. Pojav uporabljajo tudi za generacijo izjemno kratkih attosekundnih laserskih sunkov. Po drugi strani, iz spektra visokih harmonikov lahko preučujemo elektronske lastnosti in pasovno strukturo materiala, v katerem so bili generirani. Seminarska tema obravnava nastajanje pojava v plinih in trdnih snoveh ter njegovo uporabo za generacijo kratkih rentgenskih sunkov.

2. Magnetno urejanje na femtosekundni skali (mentor Igor Vaskivskiy)

Kako hiter je magnetizem? Osnova pojava je izmenjalna interakcija med elektroni, ki povzroči, da se njihovi spini uredijo. Dolgo časa so verjeli, da magnetnih lastnosti ne moremo hitro spremeniti

preprosto zato, ker je težko neposredno vplivati na spin elektrona in običajno postopek vključuje dodatne vmesne stopnje. Vendar se je pred kratkim pokazalo, da lahko že najkrajši električni ali optični sunki, ki so danes na voljo, uničijo ali spremenijo magnetne lastnosti nekaterih materialov. To je odprlo številne nove možnosti, na primer uporabo magnetnih snovi v ultrahitrih pomnilniških napravah, katere bi lahko zamenjale trde diske računalnikov v prihodnjih letih. Seminarska tema obravnava kako se magnetni red spreminja na ultrahitri skali in kako lahko z njim manipuliramo.

### **Nejc Košnik**

1. Krsitev simetrije CP v zgodnjem vesolju in v trkalnikih (V seminarju bi nekaj povedali, zakaj rabimo krsitev simetrije CP za razlago vesolja z nenicelnim barionskim številom (bariogeneza). Potem bi pogledali, kaksna je krsitev simetrije CP v Standardnem modelu, od kje pride, kako jo merimo, in zakaj ne razloži trenutnega asimetričnega stanja v vesolju)
2. Baryogenesis ([http://background.uchicago.edu/~whu/Courses/Ast321\\_17/Baryogen\\_Lecture.pdf](http://background.uchicago.edu/~whu/Courses/Ast321_17/Baryogen_Lecture.pdf))
3. Primordial Black Holes as Dark matter (Ukvarjali bi se z vprašanjem, ali so prvotne crne luknje, ki so nastale v zgodnjem vesolju, lahko temna snov.)

### **Sašo Grozdanov**

#### 1. Magnetni monopoli

Ideja seminarja je, da student predstavi konstrukcijo magnetnega monopola iz vidika vektorskega potenciala v magnetostatiki, ob tem pa izpelje Diracovo kvantizacijo za električne naboje v vesolju, kjer je prisoten en sam magnetni monopol. Drugi del seminarja je lahko predstavitev tega kaj vemo in kaj pričakujemo glede obstoja magnetnih monopolov v naravi iz vidika teorije delcev in kozmologije (teorija poenotenja in teorija inflacije).

Literatura:

- <http://www.damtp.cam.ac.uk/user/tong/gaugetheory/gt.pdf>
- standardne knjige iz kozmologije, npr. Weinberg.

#### 2. Holografski princip

Ideja seminarja je splosna predstavitev argumentov v teoriji crnih lukenj, zakaj gravitacija deluje kot hologram. Obravnava teme ne predvideva znanja splosne teorije relativnosti, le znanje termodinamike in statistične fizike.

Literatura:

- <https://arxiv.org/pdf/hep-th/0203101.pdf>

### **Tomaž Mertelj**

- 1) Vzburjanje in kontrola koherentnih nihanj atomov v snovi s kratkimi laserskimi sunki

S femtosekundnimi laserskimi sunki lahko vzbujamo in opazujemo koherentna nihanja atomov v trdnih snoveh in molekulah. S primernimi zaporedji sunkov se da nihanja tudi kontrolirati na ultrahitri časovni skali. Z vzbujanjem koherentnih nihanj lahko prekljaplamo snovi med različnimi fazami.

T.E. Stevens et al., Physical Review B 65, 144304 (2002).

R. Merlin, Solid State Communications 102, 207 (1997).

## 2) Optična centrifuga za molekule

Polje močne laserske infrardeče svetlobe lahko uporabimo za kontrolirano vrtenje nesimetričnih molekul v stanja z visoko vrtilno količino. Dosežemo lahko celo tolikšno vrtilno količin, da se molekule disociirajo.

J. Karczmarek et al., Phys. Rev. Lett. 82, 3420 (1999).