

Програм докторских студија Биофотоника

Предлагачи програма су научно истраживачке организације Београдског универзитета, Физички факултет, Медицински факултет, Институт за физику Београд, Биолошки факултет, Факултет за физичку хемију, Институту за хемију технологију и металургија, Фармацеутски факултет, Институт за биолошка истраживања Синиша Станковић, Пољопривредни факултет, Институт за нуклеарне науке - Винча, Електротехнички факултет, Факултет за специјалну едукацију и рехабилитацију. На програму су ангажовани и наставници са Каролинска Институт (Шведска) и Факултета техничких наука Универзитет Нови Сад.

Биофотоника

Биофотоника је област која обједињује фотонику и биологију, као наука и технологија, нас упознаје са начинима на које прозводимо светлост односно фотоне, контролишемо њихове особине и простирање, како их детектујемо. Веза са биологијом је преко примене оптичких метода помоћу којих се, на основу интеракције светлости са материјалом, објашњавају појаве од биолошког значаја. У биофотоници се преко физичких процеса апсорпције, емисије и расејања светлости на ткивима и ћелијама, карактеришу физичко-хемијске особине живих система и утврђују молекуларне основе биолошких процеса.

Циљеви студијског програма су *теоријско и практично образовање* студената у мултидисциплинарној области коју чине научне дисциплине из биологије, физике, хемије, медицине, фармације и инжењерства, у циљу бољег разумевања фундаменталних биолошких механизма, стицања знања о оптичким особинама ћелија и ткива да би, уз лабораторијско усавршавање, формирали стручњаке који ће својим радом остваривати резултате значајне за здравље људи.

У оквиру биофотонике проулавају се *оптичке особине ћелија и ткива*, развијају и користе оптичке методе за визуелно представљање и манипулацију ћелија и биолошких процеса. Више знања о тим процесима омогућиће да унапредимо биотехнологије које нам све више помажу у медицини и здравству. Део биофотонике је и *биоинжињерство*, у оквиру које се ласерским техникама у новим биолошким материјалима праве структуре погодне за нове биолошке сензоре, или за контролисани раст ћелија и генерисање ткива и органа. Програм омогућава студентима упознавање са најновијим применама физике, оптике и математике у биологији и медицини, преко предмета који уводе *кванту оптику, информатику и машинско учење* у биологију.

Због интердисциплинарне природе биофотонике потребно образовање студената може да се оствари само анагажовањем наставника из различитих научних дисциплина, са различитих факултета и научних института. Због тога је право и једино место где је могуће организовати студије из биофотонике - Универзитет у Београду.

Студијски програм докторских студија Биофотоника на Београдском универзитету чини 30 предмета који су сврстани у следеће целине, Обавезни предмети, Уводни предмети, Биомедицинско осликавање, Биолошки сензори-биомедицинско читавање, Фотонски материјали и структуре и Квантна биофотоника, информатика и машинско учење у биофотоници.

Завршетком студија кандидати стичу звање доктор мултидисциплинарних наука из области биофотоника.

Обавезни предмети

1. *Функционална флуоресцентна микроскопија* (Владана Вукојевић, Павле Анђус)
2. *Примена биофотонике у биологији и медицини* (Владимир Трајковић, Иванка Марковић, Невена Зоговић, Жељка Станојевић, Соња Мисерлић-Денчић)
3. *Молекуларне основе и структурна организација живих организама (обавезан)* (Александра Кораћ, Горан Вукотић, Павле Анђус) [за студенте техничких факултета, физике и физичке хемије]
4. *Увод у биофотонику - интеракције светлости и материје (обавезан)* (Бранислав Јеленковић) [за студенте биологије, медицине и фармације]

Уводни предмети

5. *Оптичка спектроскопија за биолошке системе* (Михаило Рабасовић, Бранислав Јеленковић)
6. *Фотохемија биомакромолекула* (Јасмина Димитрић-Марковић)
7. *Фотобиологија* (Зора Дајић, Марина П. Мачукановић)
8. *Неурофотоника* (Павле Анђус, Невена Зоговић)
9. *Самоорганизовање и математичко моделирање динамике нелинеарних реакционих система* (Љиљана Колар-Анић, Жељко Чупић, Стеван Маћешкић)
10. *Оптика у офталмологији и оптометрији* (Драгомир Стаменковић)
11. *Биофотоника у микробиологији и лабораторијској дијагностици инфективних болести* (Маја Станојевић)
12. *Биофотоника у фармацији* (Александра Јаношевић Лежаић, Анђелија Маленовић)
13. *Биофотоника у форензици* (Душан Димић)

Биомедицинско осликавање

14. *Савремене технике оптичке микроскопије у биологији и медицини* (Александар Крмпот, Павле Анђус, Михаило Рабасовић, Александра Кораћ)
15. *Пројектовање савремених оптичких система у биомедицини* (Дарко Васиљевић)
16. *Анализа сигнала и слика у биофотоници* (Драгана Бајић)
17. *Математичке методе текстуре и компресија слика* (Драгутин Шевић)

Биолошки сензори - биомедицинско читавање

18. *Примена биофотонике у биодиагностичким методама* (Владимир Трајковић, Иванка Марковић, Невена Зоговић, Соња Мисирлић-Денчић, Жељка Станојевић)
19. *Оптичке структуре у природи и биомиметика* (Дејан Пантелић, Срејко Ђурчић)
20. *Фибер-оптички сензори за премење у биологији и медицини* (Јована Петровић, Љупчо Хаџиевски)
21. *Претварачи у биофотоници* (Пеђа Михаиловић, Слободан Петричевић)
22. *Раманска спектроскопија за биосистеме* (Божидар Рашковић, Илинка Пећинар)

Фотонски материјали и структуре

23. *Нанобиофотоника* (Марко Спасеновић)
24. *Нанструктурни материјали за примену у биофотоници* (Биљана Бабић)
25. *Дизајн и развој биоактивних фотонских структура* (Сузана Петровић, Наташа Тодоровић, Александер Ковачевић)
26. *Микро-оптика и микро-механика у биомедицини* (Дејан Пантелић, Марија Ненадић)

Квантна биофотоника, информатика и машинско учење у биофотоници

27. *Квантна биофотоника* (Александра Димић, Бранислав Јеленковић)
28. *Квантна биоинформатика са елементима нестандарне информатике* (Бранко Коларић)
29. *Машинско учење у биофотоници* (Владимир Лончар)

Обавезни предмети:

Функционална флуоресцентна микроскопија

Владана Вукојевић, Павле Анђус

Теоријска настава

Интеракција светлости и материје; флуоресценција. Флуоресцентно обележавање и визуализација биоплимера у живим ћелијама. Оптичке пробе: органске флуорофоре, флуоресцентни протеини и квантне тачке. Флуоресцентно осликавање. Квантитативно одређивање концентрације, транспортних својстава, кинетике молекулских реакција и равнотежних константи везивања молекула у живим ћелијама техникама флуоресцентне микроскопије и спектроскопије. Флуоресцентна ласерска сканирајућа микроскопија (CLSM, Confocal Laser Scanning Microscopy). Специјализоване технике: Форстеров резонантни пренос енергије (Förster Resonance Energy Transfer, FRET); успостављање флуоресценције након фотоизбељивања (Fluorescence Recovery After Photobleaching, FRAP); тотална унутрашња рефлексија (Total Internal Reflection Fluorescence, TIRF); осликавање полувремена живота флуоресценције (Fluorescence Lifetime Microscopy, FLIM). Флуоресцентна корелациона и кроскорелациона спектроскопија (Fluorescence Correlation Spectroscopy, FCS и Fluorescence Cross-Correlation Spectroscopy, FCCS). Просторна резолуција оптичке микроскопије. Дифракција светлости и граница просторне резолуције. Заобилажење дифракционог ограничења. Супер-резулациона флуоресцентна микроскопија: STED (Stimulated Emission Depletion), STORM (Stochastic Optical Reconstruction Microscopy), PALM (Photoactivated Localization Microscopy) и SIM (Structured Illumination Microscopy).

Практична настава

Лабораторијске вежбе: 1. Флуоресцентна ласерска сканирајућа микроскопија. 2. Успостављање флуоресценције након фотоизбељивања (FRAP). 3. Флуоресцентна корелациона спектроскопија

Примена биофотонице у биологији и медицини

Владимир Трајковић, Иванка Марковић, Невена Зоговић, Жељка Станојевић, Соња Мисерлић-Денчић

Теоријска настава

1. Динамичка организација живих организама: Ћелијски метаболизам и основе биоенергетике. Молекуларни механизми унутарћелијског преноса сигнала и регулације ћелијских функција. Молекуларне основе наслеђивања, превођење наследне информације у функционални протеин; контрола генске експресије. Ћелијски циклус и његова регулација. Типови и механизми смрти

ћелије. Молекуларни механизми онкогенезе. 2. Примена биофотонице у испитивању ћелијских функција. Примена флуорофора, флуоресцентних протеина и интравиталних боја у биомедицини. Принципи флуоресцентних технологија и примена у анализи ћелијских функција. Методе за анализу експресије гена и нуклеинских киселина, нивоа и функције протеина, редокс, биоелектричног и биохемијског статуса у ћелији. Флуоресцентна микроскопија, проточна цитофлуориметрија – FACS. 3. Примена биофотонице у дијагностици. Принципи биофотонице у визуелизацији ткива и органа (врсте извора светлости, принципи интеракције са живом материјом). Стандардне и напредне технике визуелизације у дијагностици. Ендоскопија. Праћење метаболизма у реалном времену (глукоза, проток O₂). 4. Примена биофотонице у терапији. Фотодинамична терапија. (Основни принципи. Фотосензитизери. Принципи фотодинамичне терапије и њена примена. Дво-фотонска фотодинамична терапија.). Фототермална терапија.

Практична настава

1. Практичан рад – испитивање ћелијских функција проточном цитофлуориметријом: праћење оксидативног стреса, квантификација садржаја ДНК и испитивање аутофагије; флуоресцентне пробе у анализи нуклеинских киселина (real-time PCR); примена флуоресценце и хемилуминисценце у анализи активности протеина (технике имуноблота); 2. Семинар – презентација одабране теме о Динамичкој организацији живих организама; 3. Студијски истраживачки рад – писање семинарног рада из области примене биофотонице у медицини (дијагностици или терапији).

Молекуларне основе и структурна организација живих организама

Александра Кораћ, Горан Вукотић, Павле Анђус

Биополимери: нуклеотиди и полинуклеотиди (ДНК и РНК), аминокиселине и полипептидни низ (пептиди и протеини), моносахариди и полисахариди (шећери). Липиди, мицеле и везикуле. Структура и функција протеина. Биолошке мембране. Транспорт материје и пренос сигнала из спољашње средине. Структура ћелија. Врсте ћелија. Организовање ћелија у ткива. Врсте и функције ткива. Специфичности структуре и организације микроорганизама.

Увод у биофотонику- интеракције светлости и материје

Бранислав Јеленковић

Теоријска настава

Светлост и материја, механизми интеракција. Апсорпција, расејање и простирање светлости у ткивима. Флуоресценција и неелеастично расејање. Поларисана светлост и расејање на честицама. Оптичке особине ткива. Вишеструка расејања код турбидних медија. Интерференција. Фото-детекција. Расејање светлости и методе за медицинске инструменте. Ласерска светлост и кохерентни ефекти у расејању. Нелинеарни ефекти интеракције ласера и медијума, генерисање виших хармоника. Методе медицинске дијагнозе: временски разложена спектроскопија, поларизационо осетљиве методе.

Практична настава

Рад у лабораторији на оптичком и ласерском микроскопу. Одређивање односа расејане и апсорбоване светлости на различитим биолошким узорцима.

Уводни предмети:

Оптичка спектроскопија за биолошке системе

Михаило Рабасовић, Бранислав Јеленковић

Теоријска настава

1. Електронска стања молекула. Вибрациона стања молекула. Енергије електронских и вибрационих стања и одговарајуће таласне дужине светлости. 2. Основне интеракције светлости и материје: апсорпција, емисија и расејање електромагнетног зрачења. 3. Принципи рада спектрометара.

Дисперزيونи елементи. Интерферометри. 4. Основне спектроскопске технике. Електронска апсорпциона и емисиона спектроскопија. Вибрациона спектроскопија. Луминесцентна спектроскопија. 5. Спектроскопске технике за анализу биолошких узорака. Спектроскопија хиралних молекула. Кружни дихроизам. 6. Интеракција светлости и биолошких узорака. Интеракције светлости и хелија. Апсорпције светлости у хелијама. Индуковање хелијских процеса. Интеракције светлости и ткива. 7. Фотопроеци у биополимерима. Оптичка биопсија. 8. Детекција појединачних молекула. Технике за детекцију појединачних молекула.

Практична настава

Практична настава се састоји од рачунских вежби, самосталних лабораторијских вежби и показних вежби. Рачунске вежбе обрађују следеће проблеме: Ламбер-Беров закон апсорпције, апсорбанца, оптичка густина, апсорпциони пресек, конверзија јединица, рачунање концентрације и масе молекула на основу корелационе криве, емисионе линије атома водоника. Самосталне експерименталне вежбе обухватају области: атомска емисиона спектроскопија, апсорпционе спектроскопије, луминесцентне спектроскопије. Показне вежбе се реализују посетом лабораторијама које су ангажоване на програму докторских студија. На овим вежбама приказују се напредне спектроскопске методе попут високорезолуционе ласерске спектроскопије, спектроскопије ласерски индуковане плазме, мерење времена живота..

Фотохемија биомакромолекула

Јасмина Димитрић-Марковић

Теоријска настава

Увод у фотохемију. Фотохемијска активација. Фотофизички нерадијациони прелази, класично и таласно-маханичко тумачење. Флуорофоре, подела, основне карактеристике. Типови нерадијационих прелаза, корелација брзине и ефикасности нерадијационих прелаза са структуром молекула. Фотофизички радијациони прелази, типови флуоресцентне емисије, фосфоресценција, фактори утицаја, квантни приноси. Интермолекулски и интрамолекулски фотофизички пренос електронске енергије, механизми, типови преноса енергије. Биофизички аспекти фотохемије, фотохемија важних биомолекула. Хлорофил, структура и основне спектралне карактеристике, флуоресцентни и не-флуоресцентни структурни облици Chl у условим *in vivo*. Закасна флуоресценција хлорофила. Флуоресценција протеина, пренос електронске енергије у молекулима протеина. Деполаризација флуоресценције, структурна испитивања протеина коришћењем методе деполаризације флуоресценције. Тирозин, триптофан, структура, основне карактеристике флуоресценције, коришћење флуоресценције тирозина и триптофана у структурној анализи протеина. Пренос енергије у протеинима. Флуоресцентно обележавање биомакромолекула.

Практична настава

Предмет има практичну наставу која се реализује кроз самостално извођење четири експериментале вежбе: 1. Утицај структурних параметара и рН вредности на карактеристике флуоресцентне емисије Биомакромолекула. 2. Спектрофотометријско одређивање константе гашења флуоресценције биомакромолекула, примена Штерн-Фолмерове једначине. 3. Одређивање типа гашење флуоресценције говеђег серум албумина. 4. Примена Липерт-Матагове једначине.

Фотобиологија

Зора Дајић, Марина П. Мачукановић

Фотохемија биомолекула; Биолуминесценција; Феномен фотосинтезе: основни и помоћни фотосинтетички пигменти (структура и функција), фотосистеми; Светла фаза фотосинтезе – процеси и механизми биохемијских реакција; Интензитет фотосинтезе; Фитохроми и криптохроми; Фотоморфогенеза; Фотопериодизам; Циркадијални ритам; Фотосензитивитет; Покрети живих бића у односу на светлост и фототропизам; Фототоксичност; Адаптације живих бића у односу на светлост; Светлост и биотехнологије

Неурофотоника

Павле Анђус, Невена Зоговић

Теоријска настава

Основни проблеми у неуронаукама: јонске основе ексцитабилности, простирање нервнoг импулса, ћелијско сигналирање и улога калцијума, синаптички механизми. Преклиничка примена неурoфотонике: дво-фотонска микроскопија, флуоресцентни индикатори унутарћелијских јона, волтажнo – сензитивне боје, ласерско „одробљавање“ молекула („uncaging“) и оптичка стимулација неурона путем генетски модификованих протеина (оптогенетика). In vivo снимања оптичких сигнала са мозга животињама у покрету. Технике у развоју: “random access” микроскопија, фотоакустика, дифузиона оптичка томографија, мултиспектрално оптичко осликавање инхерентног сигнала, спектроскопија блиске инфрацрвене светлости, холографија дендридског стабла. Клиничка примена неурoфотонике: мапирање отвореног кортекса флуоресценцијом, неуроосликавање путем блиске инфрацрвене светлости, дифузиона корелациона спектроскопија, навођење осликавањем флуоресценцијом. Методе без индикатора: Раманска спектроскопија, CARS, микроскопирање генезом другог хармоника (SHG) као и комбинације ових техника.

Практична настава

Студијски истраживачки задатак: претрага научне литературе. Примери примене фотонике у неуронаукама

.Самоорганизовање и математичко моделирање нелинеарних процеса

Љиљана Колар-Анић, Жељко Чупић, Стеван Маћешић

Теоријска настава

Нелинеарни системи са повратном спрегом у стањима далеко од термодинамичке равнотеже. Самоорганизација. Динамичка стања и структуре у затвореним и отвореним системима. Периодична еволуција и настајање детерминистичког хаоса. Методе за анализу динамичких стања. Бифуркације. Фазни дијаграм. Поенкаров пресек. Повратне мапе. Љапуновљеви експоненти. Спектар снаге. Примери самоорганизације у физици, хемији, физичкој хемији, биолошким и еколошким системима, као и материјалима. Моделирање и предвиђање динамичких стања сложених реакционих система. Анализа стехиометријских мрежа. Нумеричка симулација динамичких стања посматраних процеса.

Практична настава

Извођење нумеричких симулација и анализа карактеристика модела појединих нелинеарних реакционих система помоћу одговарајућих програмских пакета. Постављање нових модела жељених карактеристика.

Оптика у офталмологији и оптометрија

Драгомир Стаменковић

Анатомија ока. Око као оптички систем и формирање лика. Визуелна перцепција. Оштрина вида и контрасна сензитивност. Фотометрија вида. Акомодација ока. Бинокуларни вид. Колорни вид. Рефракционе аномалије ока. Мерење оптичких параметара ока - објективна и субјективна рефракција. Очна биометрија. Интраокуларни притисак и пахиметрија. Оптичка кохерентна томографија. Оптика за корекцију вида. Наочари и сочива за наочаре. Контактна сочива. Офталмохирургија - рефрактивна хирургија. Катаракта и интраокуларна сочива. Слабовидост. Страбизам. Помоћ слабовидим особама - ЛВА (Low Висион Аидс). Оптички и оптоелектронски уређаји и системи у офталмологији.

Биофотоника у медицинској микробиологији и лабораторијској дијагностици инфективних болести

Маја Станојевић

Теоријска настава

Медицинска микробиологија – основе, врсте микроорганизама и патогена (вируси, бактерије, протозое, паразити, гљивице); Специфичности структурне организације микроорганизама;

Биолуминисценција, фотогени и хромогени микроорганизми; Патогеност и вируленција; Начини детекције и карактеризације микроорганизма и патогена; Реакција ланчане полимеризације у лабораторијској дијагностици инфективних болести (ПЦР, РТ-ПЦР, РТQ-ПЦР); Технике ДНК секвенцирања прве, друге и треће генерације у лабораторијској дијагностици и праћењу инфективних болести; Масена спектрометрија, инфрацрвена и раманска спектроскопија у детекцији и карактеризацији микроорганизма; . санитарна микробиологија (детекција патогена у намирницама и околини).

Биофотоника у фармацији

Александра Јаношевић Лежаић, Анђелија Маленовић

Теоријска настава

Појам лека и пролека. Основне групе лекова. Анализа структуре и дејства лека, SAR (Structure-Activity Relationship). Фармакокинетички процеси у организму. Рецептoрски/ћелијски/молекулски ниво механизма дејства лекова. Физичкохемијске методе у идентификацији/квантитификацији лековитих супстанци и праћењу механизма реакције лек-рецептор: UV-VIS апсорпциона спектроскопија, вибрациона спектроскопија (IR, NIR, FTIR, Раманска спектроскопија, фотоакустична спектроскопија), фотолуминисцентна спектроскопија (флуоресцентна и хемилуминисцентна спектроскопија), NMR, спектроскопија поларизоване светлости (циркуларни дихроизам). Фармацеутски облици лекова. Савремени фармацеутски облици/терапијски системи с циљним ослобађањем лековите супстанце, колоидни (нано) носачи лековитих супстанци.. Физичкохемијске методе у карактеризацији носача лековитих супстанци и праћењу кинетике ослобађања лековите супстанце. Фотодинамичка терапија, фотосензитивни лекови, фотосензибилизатори. Примена у козметологији, онкологији и терапији кожних болести и болести ока.

Практична настава

Студијски истраживачки рад подразумева анализу одређене фармаколошки активне супстанце/дозираног облика/ ексципијенса, испитивање динамике ослобађања лековите супстанце из носача неком спектрометријском методом или анализу случаја из праксе у области примене фотодинамичке терапије у козметици/за лечење кожних болести..

Биофотоника у форензици

Душан Димић

Теоријска настава: Увод у форензику и врсте доказа, значај оптичких физичкохемијских метода, статистичка обрада података и валидација метода, примена спектроскопских метода (уљ-вид, ФТИР, раманска, спектрофлуориметрија, НМР, атомска апсорпциона и атомска емисиона) у анализи природних и вештачких психоактивних супстанција, телесних течности и отрова, сегментна анализа длаке, анализа биолошких узорака након пожара и експлозија, спектроскопске методе у форензичкој ентомологији, нове спектроскопске методе, микроскопске методе, припрема извештаја вештака. Програмом је предвиђена и студијска посета референтним лабораторијама за форензичку анализу у складу са могућностима.

Практична настава: Експерименталне вежбе које прате теоријску наставу и укључују анализу длаке, метала и металоида, психоактивних супстанција, и примену микроспектропских метода. Студенти ће самостално или у малим групама имати приступ инструментима и заједно са асистентима/техничарима бити обучени за рад на спектрометрима за уљ-вид, ФТИР и раманску спектроскопију, спектрофлуориметру и флуоресцентном микроскопу.

Биомедицинско осликавање:

Савремене технике оптичке микроскопије у биологији и медицини

Александар Крмпот, Павле Анђус, Михаило Рабасовић, Александра Корач

Теоријска настава

1. Репетиторијум оптике и физике ласера. Геометријска и таласна оптика у микроскопији. Апсорпција и емисија светлости. Флуоресценција, фосфоресценција и фотоизбелјивање. Детекција светлости. Типови и особине ласера у микроскопији. 2. Физички основи оптичке микроскопије. Преглед и подела оптичких микроскопских техника. Дифракција светлости и границе просторне резолуције оптичке микроскопије. Функција расипања у тачки (Point spread function). Стварање лика код микроскопа. Објективи. Увећање и нумеричка апертура. Системи за обасјавање (илуминацију). 3. Микроскопске технике са класичним изворима светлости за осветљавање. Микроскопија тамног и светлог поља. Поларизациона микроскопија. Фазно контрастна микроскопија. Двојно преламање у биолошким узорцима. Номарски (Differential Interference Contrast – DIC) микроскопија. Флуоресцентна микроскопија. Флуоресцентни обележивачи. 4. Квалитативне технике микроскопске технике и 3D микрообјеката. Фокусирање Гаусовог снопа. Ласерске скенирајуће микроскопске технике и 3D осликавање. Детекција светлости. Конфокална микроскопија. Латерална и аксијална резолуција код конфокалне микроскопије. Нелинеарне микроскопске технике (Two Photon Excitation Fluorescence – TPEF, Second/Third Harmonic Generation – SHG/THG). Дубина продирања и резолуција нелинеарних техника. Расејање. Основе дигиталне обраде слике и 3D реконструкције. 5. Квантитативне микроскопске технике. Корелациона микроскопија. Статистика фотонског одброја. Детектори појединачних фотона. Раманово расејање и CARS (Coherent anti-Stokes Raman Spectroscopy) микроскопија. FLIM (Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy), FRET (Förster Resonance Energy Transfer) и FRAP (Fluorescence Recovery After Photobleaching) микроскопија. 6. Супер резолуционе технике. Заобилажење дифракционог ограничења. ТИРФ (Total Internal Reflection), СТЕД (Stimulated Emission Depletion), СТОРМ (Stochastic Optical Reconstruction Microscopy) и ПАЛМ (Photo Activated Localization Microscopy) микроскопија. 7. Примене савремених микроскопских техника. Микро стерео литографија и директно ласерско уписивање. Нанохирургија на нивоу ћелије. Оптичке пинцете. 8. Неоптичке методе микроскопског и макроскопског осликавања. Особине и границе примена оптичких и неоптичких метода. Основи електронска микроскопије.

Практична настава

Практична настава се одвија кроз самосталне лабораторијске вежбе, рачунске вежбе, показне вежбе, посете релевантним научним институтцијама, вежбе на интернет симулаторима и писање самосталног семинарског рада.

Пројектовање савремених оптичких система у биомедицини

Дарко Васиљевић

Теоријска настава

Основни појмови из геометријске оптике. Таласне аберације. Прорачун аберација. Хроматске аберације. Спот дијаграм. Функција расипања у тачки (Point spread function). Дифракција на кружној апертури и утицај аберација на дифракцију. Резолуција оптичких система. Оптичка преносна функција. Абериционе толеранције. Увод у радиометрију и фотометрију. Атмосфера и простирање зрачења кроз атмосферу. Начини формирања функције за оцену. Класичне методе оптимизације оптичких система. Савремене методе оптимизације оптичких система. Пројектовање објектива са сочивима. Пројектовање објектива са огледалима. Пројектовање окулара. Пројектовање система за пренос и/или обртање лика. Пројектовање пројекционих система. Пројектовање система за скенирање. Пројектовање различитих типова ендоскопа. Специфичности пројектовања инфрацрвених оптичких система. Термовизијски системи.

Практична настава

Рад у стандардном програму за пројектовање оптичких система. Анализа постојећих оптичких система и пројектовање и оптимизацију нових оптичких система.

Анализа сигнала и слика у биофотоници

Драгана Бајић

Теоријска настава

Предавања се изводе уз слајдове и могу се поделити на неколико целина:

Сигнал и дигитализација: теорема о одмеравању (узорковању, семпловању) и проблеми. Временски домен/просторни домен. Трансформациони домени: Фуријеова трансформација, теоријска ограничења, процена спектралне густине снаге. Вејвлет трансформација и емпиријске модалне декомпозиције, предности и мане.

Шумови – узроци и расподеле. Карактеристични шумови (артефакти) у медицинским и микроскопским сликама. Количина информација и Шенонов капацитет. Филтрирање у просторном домену: трансформације нивоа сивог, еквализација хистограма, НФ маске, медијан филтрирање, усредњавање. Филтрирање у трансформационом домену: НФ (Бутервортов и Гаусов) и ВФ филтри. Минимизација средње квадратне грешке.

Детекција тачака, линија и ивица. Сегментација према одређеној карактеристици. Препознавање облика засновано на упаривању – метода минималних квадрата и метода корелације и на статистичким методима - Бајесовог класификатор.

Ентропија и методе компримовања података, са и без оштећења информационог садржаја (MP, JPEG, MPEG). Медицински стандарди (DICOM, PACS).

Практична настава

Програмирање у матлабу које прати сваки сегмент наставе

Математичке методе текстуре и компресија слика

Драгутин Шевић

Теоријска настава

Репрезентација и моделовање дигиталне слике. Информатичка ентропија слике. Специфичности биомедицинских слика. Дискретна Фуријеова трансформација. Специфичне технике анализе и обраде слике: Мултирезолуционе трансформације, Падеова апроксимација, Неуралне мреже, Фази логика, Хадамард-ова трансформација, Хартлијева трансформација. Побољшање квалитета слике. Текстура слике. Моделовање текстуре. Спектрални, структурни и мултирезолуциони методи анализе текстуре. Примена техника мултирезолуционе анализа на поступке брзог претраживања великог броја слика. Сепарабилност и несепарабилне методе обраде дводимензионалних сигнала. Утицај архитектуре рачунара на ефикасност имплементације алгоритама за анализу и обраду слике. Специфичности, анализа разлога за и против компресије биомедицинских слика. Поступци компресије биомедицинских слика. Скаларна и векторска квантизација. Поступци анализе слике коришћењем алгоритама вештачке интелигенције.

Практична настава

Рад докторанта на изабраном пројекту уз индивидуалне консултације са предавачем. Обрада одабране теме уз коришћење рачунарских ресурса: програмирање у неком од савремених програмских језика или коришћење интегрисаних графичких окружења за анализу дво- и вишедимензионалних података као што је SOLO (Eigenvector research).

Биолошки сензори - биомедицинско читавање:

Примена биофотонице у биодијагностичким методама

Владимир Трајковић, Иванка Марковић, Невена Зоговић, Соња Мисирлић-Денчић, Жељка Станојевић

Теоријска настава

Основи ћелијске биологије: организација ћелије; структура и улоге ћелијских органела; основи структуре, функције и транспорта протеина у ћелији; молекуларни механизми регулације ћелијских функција; ћелијски циклус и његова регулација; молекуларни медијатори смрти ћелије). Примена флуоресцентних технологија (флуоресцентна микроскопија, FACS, PCR и др.) у анализи ћелијских функција (експресија гена, ниво и функција протеина, редокс, биоелектрични и биохемијски статус,

ћелијска смрт). Примена биофотонице у биологији и медицини: Примена флуорофора (ендогене и екзогене, органометални комплекси, ИП флуорофоре, неорганске наночестице), флуоресцентних протеина и интравиталних боја у биомедицини. Проточни цитофлуориметар – FACS. Неинванзивне слике органа и тумора. Ендоскопија. Мониторинг метаболизма у реалном времену (глукоза, проток O₂). Фотодинамична терапија. (Основни принципи. Фотосензитизери. Примена фотодинамичне терапије. Механизми фотодинамичних активности. Ирадијација за фотодинамичну терапију. Дво-фотонска фотодинамична терапија.). Примена биофотонице у медицинској дијагностици: неинванзивна дијагностика, ендоскопија. Примена биофотонице у терапији: фотодинамична и фототермална терапија. (основни принципи и примена.)

Практична настава

1. Практичан рад – напредно испитивање ћелијских функција проточном цитофлуориметријом: испитивање функције митохондрија и лизозома; праћење експресије молекула применом флуорохрома, флуоресцентне пробе у анализи модификоване експресије (трансфекције нуклеинских киселина); примена флуоресценце у визуелизацији ћелијске морфологије и функције флуоресцентном и конфокалном микроскопијом; 2. Семинар – презентација одабране теме о примени метода биофотонице у анализи ћелијских функције или дијагностици; 3. Студијски истраживачки рад – писање семинарког рада из области примене биофотонице у медицини (дијагностици или терапији).

Оптичке структуре у природи и биомиметика

Дејан Пантелић, Срећко Ђурчић

Теоријска настава

Основни оптички принципи коришћени током еволуције живог света; кратак увод у основне принципе дифракције таласа; дифракционе решетке (амплитудне и фазне, површинске и запреминске); фотонске структуре и кристали; методе експерименталног генерисања дифракционих решетака и фотонских кристала (самоорганизовање, микролитографија, холографија, индентација); кратак увод у принципе интерференције таласа; интерференција на танким слојевима; расејање (простирање светлости кроз случајне средине, Рејлијево, Мијево, кохерентно расејање); поларизација и принципи поларизационе оптике (линеарна, кружна и елиптична поларизација, поларизатори, ретардери, течни кристали); флуоресценција; иридесценција; пигментно и структурно обојење организама; структурна обојеност инсеката (спектри и усмереност рефлектоване светлости, однос форме и функције); детекција светлости у живом свету; визуелни системи у живом свету; поларизационо виђење; спектрална осетљивост ока; оптика сложеног ока (рефракција, рефлексја и дифракција светлости унутар сложеног ока, адаптација); оптика простог ока (адаптација и акомодација); фототрансдукција; технике имитације и копирања биолошких структура; фотолитографија (електронска, холографска, директно исписивање ласерским снопом, стереолитографија); функционализација биолошких структура.

Практична настава

1. Снимање спектралних карактеристика иридесценције лептира *Apatura ilia* и *A. iris*.
2. Нелинеарна микроскопија ока лептира *Pieris rapae*.

Фибер-оптички сензори за премене у биологији и медицини

Јована Петровић, Љупчо Хаџиевски

Теоријска настава

Основе мерења, карактеризација сензора. Увод у оптичка влакна. Принципи мерења температуре, механичких сила и индекса преламања оптичким влакнима. Фибер-оптичка мерења: компоненте, мерне шеме и типови сензора. Напредни концепти: унакрсна осетљивост, мултиплексирање и мултипараметерска мерења. Фибер-оптичке Брагове решетке: принцип рада, дизајн, производња и мерне шеме. Фибер-оптичке решетке са дугим периодом: принцип рада, дизајн, производња и мерне шеме. Наносензори на принципу еванесцентног поља и плазмонских резонанци. Дистрибуирани сензори на принципу расејања: Рејлијевог, Рамановог и Брилуеновог. Фибер-оптички

интерферометри. Примене фибер-оптичких сензора у медицини. Примене фибер-оптичких сензора у биологији, биомедицини, хемији и екологији. Преглед развоја и тржишта фибер-оптичких сензора и одговарајућих трендова.

Практична настава

Пројектовање сензора за конкретне примене изабране у складу са интересовањем студента. Мерења фибер-оптичким решеткама за потребе медицинске дијагностике.

Претварачи у биофотоници

Пеђа Михаиловић, Слободан Петричевић

Теоријска настава

Енергетски домени и коцка сензорских ефеката. Карактеристике случајних сигнала. Теорема о одабирању. Теорема Колмогорова. Аналогна и дигитална обрада сигнала. Повезивање сензора у електрично коло. Повезивање са микроконтролером. Поузданост сензорског система. Сензори радијационог домена (фотодиода, лавинска диода, фототранзистор, PSD, CCD, фотомултипликатори). Карактеристике извора светлости. Ласерске диоде, LED, широкопојасни извори, суперфлуоресцентна оптичка влакна. Сензори хемијског домена. Оптички нос. Спектроскопија гасова. Имобилизација биолошких молекула. Сензори термалног домена. Контактни термометри. Термовизија. Сензори механичког домена. Одређивање брзине флуида Доплеровим ефектом. Ултразвучни претварачи.

Практична настава

Поред рачунских вежби и демонстрација апаратуре и мерења, студенти ће у току семестра имати два домаћа задатка. При крају семестра студенти ће бирати пројекат који се ради у групама. Пројекат подразумева предлог биосензора, мерне технике и обраде сигнала за конкретан проблем. На писменом испиту студенти бране своја решења.

Раманска спектроскопија у биолошким системима

Божидар Рашковић, Илинка Пећинар

Теоријска настава

Теорија и инструментација: историјска основа Раманове спектроскопије, увод у теорију и праксу вибрационе спектроскопије, инструментација за средњу и далеку инфрацрвену, блиску и Раманову спектроскопију.

Основе вибрационе спектроскопије, Рејлијево расејање, Стоуксови и анти-Стоуксови спектри, енергетски нивои, Рамански спектри специфичних хемијских веза и једињења, интерференција, флуоресценција, појачавање Рамановог сигнала (резонантна Раманова спектроскопија и СЕРС), типови ласера, детектори, филтери, ФТ-Раман, Раманови спектри хемијских једињења у биљној и животињској ћелији, Раманови спектри различитих органа у биљној и животињској ћелији. Примене и предности Раманове спектроскопије у истраживањима на биљном материјалу (идентификација и локализација биљних метаболита). Раманова спектроскопија у карактеризацији пољопривредно-прехрамбених производа биљног и анималног порекла. Рамански спектри карактеристични за туморске ћелије. Хемометрија и Раманова спектроскопија.

Практична настава

Раман микроспектроскоп и биљна, анимална ћелија, припрема узорака за спектроскопску анализу, спектроскопска анализа различитих типова ткива код биљака и животиња, анализа Рамановом спектроскопијом фотосинтетички активних биљних органа, органа за складиштење резервних материја (плодова, семена, подземних изданака, коренова) код биљних врста различите употребне вредности. Анализа добијених резултата: одрада спектара, идентификација кључних компонената, примена софтвера за статистичку обраду добијених спектара.

Фотонски материјали и структуре

Нанобиофотоника

Марко Спасеновић

Теоријска настава

Основе електромагнетске подталасне оптике. Градивни блокови за нанофотонику: наночестице, квантно конфинирани материјали, нанокompозити. 1Д, 2Д и 3Д фотонски кристали. Површински плазмони поларитони (ППП) и наноплазмоника, локализовани и пропадајући ППП. Подталасни плазмонски кристали и метаматеријали. Резонантне наноантене. Матрице наноапертура са прекомерном оптичком трансмисијом (ЕОТ). Трансформациона оптика, суперконцентратори, суперапсорбери, хиперсочива. Адијабатско нанофокусирање оптичке енергије. Нанофотонски и наноплазмонски биосензори; конвенционални СПР сензори, ЕОТ, метаматеријални сензори, СЕРС спектроскопија, сензори са наноантенама; детекција појединачних молекула, флуорофори, селективност сензора и лиганди, микро/нанофлуидика за нанобиофотонику. Карактеризација методама блиског оптичког поља. Фотобиологија – интеракција са ткивом, фотокатализа, фотосинтеза, нанофотоника за циљану фототермалну терапију тумора, Оптичка пинцета и манипулација биолошким честицама.

Практична настава

Практична настава на институту ИХТМ: производња и карактеризација нано- и микроструктура и употреба у нанобиофотоници. Фотолитографија, депозиција танких слојева Лангмир-Блоцет методом, израда микрофлуидних реактора. Карактеризација оптичком УВ-ВИС и инфрацрвеном спектроскопијом, микроскопијом атомских сила (АФМ), скенирајућом електронском микроскопијом (СЕМ) и електрична карактеризација микро- и нанобиолошких сензора.

Микро-оптика и микро-механика у биомедицини

Дејан Пантелић, Марија Ненадић

Теоријска настава

Основи класичне механике и микромеханике, адхезивне и фрикционе силе на микронском нивоу, микрофлуиди у транспорту активних супстанци, микроконзоле и њихове примене у сензорима, основни принципи оптике и микро-оптике, оптичке микрокомпоненте (сочива, таласоводи, дифракциони елементи), технологије израде микронских структура (фотолитографија и стереолитографија, механичка микро-обрада, ласерска микро-обрада, микро-диспенсинг и остале специфичне технике), микрохирургија, интеграција микро-оптичких, микро-електронских и микро-механичких структура.

Практична настава

У сарадњи са Институтом за физику студенти ће имати практичне вежбе израде микро-сочива и микро-канала директним ласерским исцртавањем, као и вежбу микро-сечења биолошких и аболошких узорака применом фемтосекундног ласера.

Наноструктурни материјали за примену у биофотоници

Биљана Бабић

Теоријска настава

Метални наноструктурни материјали. Синтеза и карактеризација наночестице злата, сребра и силицијума. Полимерни биоматеријали. Биокоњуговане наночестице злата за примену у колориметријским тестовима. Наночестице силицијума као носачи за контролисано ослобађање лекова. Синтеза композитних наноструктурних металних материјала. Језгро-омотач структура различитих геометрија. Сребрне честице са плазмонском резонанцом за примену у биолошким тестовима. Несферичне језгро-омотач наночестице као емитери светлости. Нанокompозитни хидрогелови за фототермално контролисано ослобађање лекова и аблацију ћелија. Металне квантне тачке и угљеничне квантне тачке – синтеза и карактеризација. Полупроводнички нанокристали (квантне тачке) као флуоресцентни биолошки обележивачи. Апконверзиони наноструктурни материјали.

Практична настава

Практична настава се састоји од лабораторијских вежби и показних вежби. У оквиру експерименталних вежби предвиђено савладавање основних метода синтезе наноструктурних материјала као и основних метода за карактеризацију оптичких особина материјала. Показне вежбе се реализују посетом лабораторијама које су ангажоване на програму докторских студија.

Дизајн и развој биоактивних фотонских структура

Сузана Петровић, Наташа Тодотовић, Александер Ковачевић

Теоријска настава

Интеракција ласерског зрачења са површином чврстог тела, механизам екситације и време релаксације, феномени на површини услед деловања ласерског зрачења, површинско топлење, испаравање и формирање плазме, аблација материјала, креирање уређених 3Д фотонских структура на површини, утицај параметара ласерског зрачења на индуковане модификације, ласерски индуковани процеси оксидације, легирања и формирања интерметалних једињења, технике за испитивање промена хемијског састава, структуре и морфологије, процедуре засејавања ћелија на модификованим површинама, адхезија, раст и размножавање више врста ћелијских култура на ласерски креираним биоактивним површинама. Биофизички фактори микрооколине који утичу на ћелијску физиологију и сигнализацију: геометрија екстраћелијског матрикса, механика причвршћавања, микротопографија. Физиолошки ефекти варијација топологије ћелијске микрооколине (ћелијска адхезија; густина и распрострањавање; секреција цитокина; пролиферација; диференцијација матичних ћелија). Принцип купловања физичке структуре са током информација на примеру актомиозина као система контролне повратне спреге. Потенцијал за дизајн комплетних вештачких микроћелијских ниша за матичне ћелије.

Практична настава

Лабораторијске вежбе - креирање уређених 3Д фотонских структура на различитим материјалима ласерским зрачењем, засејавање ћелија на модификованим биоактивним површинама и утврђивање ћелијског одговора са модификованих материјала..

Квантна биофотоника, информатика и машинско учење у биофотоници

Квантна биоинформатика са елементима нестандарне информатике

Бранко Коларић

Теоријска настава

Шта је информација? Основна питања филозофије информација. Веза између информације и физичког система. Термодинамика и информација. Структура Биомолекула. Веза између информације и преноса информације и биолошке структуре (РНА, ДНА протеини), ДНА компјутери и ћелијски аутомати, молекулски мотори. Основи Квантне информатике, Информација и еволуција, Квантни дарвинизам, Увод у биофотонику, оптогенетику и неурофотонику (теоријске основе и приказ основних експерименталних техника).

Квантна биофотоника

Александра Димић, Бранислав Јеленковић

Теоријска настава

Основе квантне оптике. Квантна суперпозиција и квантне корелације. Нелинеарна оптика за квантно увезане фотоне. Фотонска статистика. Примери генерисања квантне увезаности у нелинеарним вештачким и биолошким узорцима. Једнофотонски извори и детектори појединачних фотона. Фундаменталне интеракције између светлости и материје. Спектроскопија биолошких система. Примена квантне оптике у биолошким истраживањима, квантној микроскопији, биомагнетометрији, кохерентној Рамановој спектроскопији.

Практична настава

Упознавање са . извором парова корелисаних фотона, 2. атомским магнетометром и 3. нелинеарним микроскопом

Машинско учење у биофотоници

Андреј Коренић

Теоријска настава

Основни појмови и мотиви за развој и коришћење техника машинског учења. Концепти машинског учења. Надгледано, ненадгледано учење; предикција и модели; унакрсна провера. Регресија и класификација са линеарним моделима. Вишеструке линеарне регресије. Бинарна класификација. Логистичка регресија. Бајесов класификатор. Стабла одлучивања. Методе најближих суседа. Методе језгра (kernel). Методе потпорних вектора (Support Vector Machine). Вредновање класификатора. Конфузиона матрица. Гласање. Кластеровање. Регуларизација и оптимизација. Редукција димензионалности вектора обележја.

Практична настава

Студенти ће се кроз илустративне примере упознати са рачунарским алатима за машинско учење и применити знање са теоријске наставе на припремљеним примерима из домена биофотонице.

Дубоко учење у биофотоници

Владимир Лончар

Теоријска настава

Увод у дубоко учење: вештачки неурони, перцептрон, вештачке неуронске мреже, алгоритам пропагације уназад, градијентни методи оптимизације; припрема и статистичка обрада података: чишћење података, скалирање атрибута, трансформација; надгледано и ненадгледано учење: класификација и регресија путем потпуно повезаних неуронских мрежа, анализа и обрада слика биолошких узорака помоћу конволутивних неуронских мрежа, учење репрезентације и аутоенкодери, генеративни модели.

Практична настава

Студенти ће се кроз илустративне примере упознати са рачунарским алатима за дубоког учење и применити знање са теоријске наставе на припремљеним примерима из домена биофотонице.

