

## Програм докторских студија

Предлагачи: Медицински факултет, Институт за физику, Биолошки факултет, Факултет за физичку хемију, ИХТМ, Фармацеутски факултет, Институт за биолошка истраживања Синиша Станковић, Институт за нуклеарне науке - Винча, Електротехнички факултет, Факултет за специјалну едукацију и рехабилитацију, Каролинска Институт (Шведска), Факултет техничких наука Универзитет Нови Сад.

### Биофотоника

Биофотоника је интердисциплинарна научна област која се бави изучавањем интеракција између електромагнетног зрачења и материје и развијањем оптичких метода за проучавање особина живих система. Биофотоника обједињује технологије за стварање, манипулацију и детекцију фотона, које се традиционално развијају у оквиру физике, електротехнике и оптоелектронике, и користи природне процесе као што су апсорпција, емисија и расејање светлости, које се традиционално изучавају у оквиру физичке хемије, како би се окарактерисале физичко-хемијске особине живих система и утврдиле молекуларне основе биолошких процеса. Биофотоника се пре свега примењује у био-медицинским истраживањима, медицинској дијагностици, фармацији и пољопривреди, али и у производњи нових материјала који имитирају пожељне карактеристике живих бића.

Циљ програма докторских студија Биофотоника је да образује нову генерацију стручњака који својим знањем могу да превазиђу традиционално постојеће границе између физике, хемије, биологије, медицине, фармације и инжењерства у циљу бољег разумевању фундаменталних биолошких механизма који су директно значајни за здравље људи. Конкретно, циљ нам је да образујемо стручњаке који примењују технике оптичке микроскопије и спектроскопије у биомедицинским истраживањима, медицинској дијагностици и фармацији, развијају нове технике оптичке микроскопије и спектроскопије и уређаје за рану дијагностику болести и минимално инвазивну терапију.

Због интердисциплинарне природе Биофотонике образовање младих стручњака не може да се одвија у оквиру појединачних факултета и постојећих програма докторских студија, већ захтева тесну сарадњу између факултета и научно-истраживачких установа која се ефикасно може остварити у оквиру Београдског Универзитета.

Студијски програм докторских студија Биофотоника на Београдском универзитету чини 20 предмета који могу да се сврстају у 3 целине, **Уводни и општи предмети, Биомедицинско осликавање (imaging), Биолошки сензори-биомедицинско читавање (biomedical sensing).**

## 1. Обавезни предмети

*Функционална флуоресцентна микроскопија* (Владана Вукојевић, Павле Анђус)

*Биофотоника у биологији и медицини* (Владимир Трајковић, Иванка Марковић)

## 2. Уводни предмети

*Молекуларне основе и структурна организација живих организама (обавезан)* (Александра Кораћ, Ана Поповић-Бијелић, Ђорђе Фира, Павле Анђус)

*Увод у интеракцију светлости и материје (обавезан)* (Бранислав Јеленковић)

*Оптичка спектроскопија за биолошке системе* (Михаило Рабасовић, Бранислав Јеленковић)

*Фотохемија биомакромолекула* (Јасмина Димитрић-Марковић)

*Фотобиологија* (Зора Дајић)

*Неурофотоника* (Павле Анђус, Невена Зоговић)

*Самоорганизовање и математичко моделирање нелинеарних динамичких процеса* (Љиљана Колар-Анић, Жељко Чупић, Владимир Марковић)

*Оптика у офталмологији и оптометрији* (Драгомир Стаменковић)

*Биофотоника у фармацији* (Весна Кунтић)

*Биофотоника у микро биологији и лабораторијској дијагностици инфективних болести* (Маја Станијевић)

## 3. Биомедицинско осликавање (imaging)

*Савремене технике оптичке микроскопије у биологији и медицини* (Александар Крмпот, Павле Анђус, Михаило Рабасовић, Александра Кораћ)

*Пројектовање савремених оптичких система у биомедицини* (Дарко Васиљевић)

*Анализа сигнала и слика у биофотоници* (Драгана Бајић)

*Математичке методе текстуре и компресија слика* (Драгутин Шевић)

## 4. Биолошки сензори - биомедицинско читавање (biomedical sensing)

*Примена биофотонике у биодијагностичким методама* (Владимир Трајковић, Иванка Марковић, Невена Зоговић)

*Оптичке структуре у природи и биомиметика* (Дејан Пантелић, Срећко Ђурчић)

*Интегрисани и фибер оптички сензори (Љупчо Хацијевиќ, Јована Петровиќ)*

*Претварачи у биофотоници (Пеђа Михаиловиќ, Слободан Петричевиќ)*

*Раманска спектроскопија за биосистеме (Божидар Рашковиќ, Илинка Пећинар)*

## **5. Фотонски материјали и структуре**

*Нанобиофотоника (Зоран Јакшиќ)*

*Нанструктурни материјали за примену у биофотоници (Биљана Бабиќ, Ана Калијадис)*

## **6. Информатика у биофотоници**

*Биоинформација (Бранко Драговиќ, Бранислав Јеленковиќ)*

*Квантна биоинформатика са елементима не стандарне информатике (Бранко Колариќ)*

## Уводни и општи предмети:

### **Молекуларне оснoве и структурна организација живих организама**

Александра Кораћ, Ана Поповиќ-Бијелић, Ђорђе Фира, 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. Ензими и кинетика биолошких реакција. 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.

### **Биофотоника у биологији и медицини**

Владимир Трајковиќ, Иванка Марковиќ

Примена биофотонике у биологији и медицини: Примена флуорофора (ендогене и екзогене, органометални комплекси, ИР 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 O<sub>2</sub>). Фотодинамична терапија. (Основни принципи. Фотосензитизери.

### **Увод у фотонику- светлост, ласери и интеракције светлости и материје**

Бранислав Јеленковиќ

Природа светлости и оснoве интеракције светлости са материјом. Матрична оптика, таласна оптика, апсорпција и дисперзија. Поларизација и преламање, анизотропна средина, течни кристали и оптички елементи за поларизацију светлости. Кохеренција светлости. Конверзија фреквенције ласера. Квантна природа материје. Квантна стања атома и молекула. Ласер. Фотоелектрични ефекат и детекција фотона. Фотомултипликаторска цев, лавинска фотодиода, ЦЦД камера. Анализа сигнала. Лабораторијске вежбе.

## **Оптичка спектроскопија за биолошке системе**

Михаило Рабасовић, Бранислав Јеленковић

Електронска и вибрациона стања молекула. Апсорпција, емисија и расејање електромагнетног зрачења. Електронска апсорпциона и емисиона спектроскопија. Вибрациона спектроскопија. Спектроскопија хиралних молекула. Кружни дихроизам. Луминесцентна спектроскопија. *Интеракције светлости и ћелија*. Апсорпције светлости у ћелијама. Индуковање ћелијских процеса. Интеракције светлости и ткива. *Фотопроцеси у биополимерима*. Оптичка биопсија. Детекција појединачних молекула.

## **Фотохемија биомакромолекула**

Јасмина Димитрић-Марковић

Увод у фотохемију. Фотохемијска активација. Фотофизички нерадијациони прелази, класично и таласно-механичко тумачење. 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. Фотохемија важних биомолекула. Хлорофил, структура и основне спектралне карактеристике, флуоресцентни и не-флуоресцентни структурни облици Chl у условима *in vivo*. Закаслела флуоресценција хлорофила. Флуоресценција протеина, опште карактеристике и веза са структуром молекула. Деполаризација флуоресценције протеина, методе деполаризације флуоресценције, структурна испитивања протеина коришћењем методе деполаризације флуоресценције. Тирозин и триптофан, структура, основне карактеристике флуоресценције, коришћење флуоресценције тирозина и триптофана у структурној анализи протеина. Пренос енергије у протеинима. Флуоресцентни протеини. Фотоиндуковане и фотоконвертивне флуорофоре, фотопрекидачки парови. Флуоресцентно обележавање ДНК.

## **Фотобиологија**

Зора Дајић

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

Основни проблеми у неуронаукама: јонске основе екситабилности, простирање нервног импулса, ћелијско сигналирање и улога калцијума, синаптички механизми.

Преклиничка примена неурофотонике: дво-фотонска микроскопија, флуоресцентни индикатори унутарћелијских јона, волтажно – сензитивне боје, ласерско „одобљавање“ молекула („uncaging“), оптогенетика. Технике у развоју: фотоакустика, дифузиона оптичка томографија, мултиспектрално оптичко осликовање инхерентног сигнала, спектроскопија блиске инфрацрвене светлости

Клиничка примена: мапирање отвореног кортекса флуоресценцијом, неуроосликовање путем блиске инфрацрвене светлости, дифузиона корелациона спектроскопија, навођење осликовањем флуоресценцијом. Методе без индикатора: Раманска спектроскопија, CARS, микроскопирање генезом другог хармоника (SHG) као и комбинације ових техника.

## **Самоорганизовање и математичко моделирање нелинеарних динамичких процеса**

Љиљана Колар-Анић, Жељко Чупић

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. Оптичке методе за карактеризацију динамичких стања сложених хемијских и биохемијских система. Моделирање и предвиђање динамичких стања сложених реакционих система. Анализа стехиометријских мрежа. Нумеричка симулација динамичких стања посматраних процеса.

## **Оптика у офталмологији и оптометрији**

Драгомир Стаменковић

Анатомија ока. Око као оптички систем и формирање лика. Визуелна перцепција. Оштрина вида и контрастна 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 Vision Aids). Оптички и оптоелектронски уређаји и системи у офталмологији.

## **Биофотоника у фармацији**

Весна Кунтић

Појам лека и пролека. Основне групе лекова. Анализа структуре и дејства лека, SAR (Structure-Activity Relationship). Фармакокинетички процеси у организму. Рецептторски/хелијски/молекулски ниво механизма дејства лекова. Спектроскопске технике у идентификацији, квантитативној анализи лековитих супстанци и у праћењу реакције лек-рецептор: UV-VIS, IR, NIR, IR-FT, NMR, флуоресцентне и хемилуминисцентне методе, методе на бази расуте и поларизоване светлости. Фармацеутски облици лекова. Савремени фармацеутски облици/терапијски системи са циљним ослобађањем лековите супстанце, колоидни носачи лековитих супстанци. Оптичке методе у карактеризацији носача лековитих супстанци и у праћењу динамике ослобађања лековите супстанце. Фотодинамичка терапија, фотосензитивни лекови, фотосензибилизатори. Примена у козметологији, терапији кожних болести, болести ока и онкологији.

## **Биофотоника у медицинској микробиологији и лабораторијској дијагностици инфективних болести**

Маја Станојевић

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 микроорганизама и патогена; Реакција ланчане полимеризације у лабораторијској дијагностици инфективних болести (PCR, RT-PCR, RTQ-PCR); Технике ДНК секвенцирања прве, друге и треће генерације у лабораторијској дијагностици и праћењу инфективних болести; Инфрацрвена и Раманска спектроскопија у детекцији и карактеризацији микроорганизама; санитарна микробиологија (детекција патогена у намирницама и околини).

## Биомедицинско осликавање:

### **Савремене технике оптичке микроскопије у биологији и медицини**

Александар Крмпот, Павле Анђус, Михаило Рабасовић, Александра Кораћ

Оптички микроскоп. Дифракција светлости и граница просторне резолуције оптичке микроскопије. Фазно контрасни микроскоп. Флуоресцентна микроскопија. Резолуција флуоресцентне микроскопије. Микроскопске методе за добијање дво и тродимензионалних слика микрообјеката. Конфокална микроскопија. Ласери у микроскопији. Нелинеарна микроскопија са дво-фотонски побуђеном флуоресценцијом и на другом и трећем хармонику. Заобилажење дифракционог ограничења. Stimulated Emission Depletion – СТЕД микроскопија. Stochastic Optical Reconstruction Microscopy – STORM и Photo Activated Localization Microscopy – PALM микроскопија. Total Internal Reflection – TIRF микроскопија. Холографска микроскопија. Квантитативне микроскопске технике. Coherent anti-Stokes Raman Spectroscopy – CARS микроскопија. Основе фотополимеризације и микроделовања техником директног ласерског уписивања. Оптичка кохерентна томографија (ОЦТ). Супер-резолуционе микроскопске технике: Просторна резолуција оптичке микроскопије. Дифракција светлости и граница просторне резолуције. Резолуција флуоресцентне микроскопије. Заобилажење дифракционог ограничења. *Супер-резолуциона флуоресцентна микроскопија*: Електронска микроскопија. Спрезање флуоресцентне микроскопије с електронском трансмисионом микроскопијом (Ф-ТЕМ). Атомска микроскопија сила (АФМ, Atomic Force Microscopy). Спрезање флуоресцентне микроскопије с атомском микроскопијом сила (Ф-АФМ).

### **Функционална флуоресцентна микроскопија**

Владана Вукојевић, Павле Анђус

Оптичке особине ћелија и ткива. Интеракција светлости и биополимера. Ограничења класичне светлосне микроскопије. Примена флуоресценције, флуоресцентне микроскопије и флуоресцентне спектроскопије у биологији. *Флуоресцентно обележавање и визуализација биоплимера у живим ћелијама*: Оптичке пробе – органске флуорофоре, флуоресцентни протеини и квантне тачке. Фотоиндуковане и фотоконвертивне флуорофоре и фотопрекидачки парови. *Функционална флуоресцентна микроскопија (fFMI, Functional Fluorescence Microscopy Imaging)*: флуоресцентно осликавање и 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 флуоресцентног осликавања: 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. Резолуција флуоресцентне микроскопије. Заобилажење дифракционог ограничења. Супер флуоресцентна микроскопија микроскопија: STED (Stimulated Emission Depletion), STORM (Stochastic Optical Reconstruction Microscopy), PALM (Photoactivated Localization Microscopy) и SIM (Structured Illumination Microscopy). Временска резолуција флуоресцентних микроскопских техника. Лабораторијске вежбе.

### **Пројектовање саврених оптичких система у биомедицини**

Дарко Васиљевић

Основни појмови из геометријске оптике. Таласне аберације. Прорачун аберација. Хроматске аберације. Спот дијаграм. Функција расипања у тачки. 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.

### **Анализа сигнала и слика у биофотоници**

Драгана Бајић

[за биологе] Курс је прилагођен прецнању полазника. Строги математички докази су сведени на резонска тумачења која, уз низ примера и аналогија, објашњавају физичку суштину посматране особине сигнала или операције над сигналом.

Сигнал и дигитализација: теорема о одмеравању (узорковању, семпловању) и ефекат преклапања као последица неадекватног одмеравања. Временски домен/просторни домен. Хистограми и густина расподеле. Трансформациони домени: Фуријеова трансформација, теоријска ограничења, спектрална густина снаге и методе процене. Кратак приказ вејвлет трансформације и емпиријске модалне декомпозиције, предности и мане у односу на класичну спектралну анализу.

Шумови – узроци и расподеле. Карактеристични шумови (артефакти) у медицинским сликама. Количина информација и Шенонов капацитет. Основе елиминације шумова филтрирањем – у основном и у трансформационом домену. Филтрирање у просторном домену: трансформације нивоа сивог, еквиализација 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).

### **Математичке методе текстуре и компресија слика**

Драгутин Шевић

За праћење предмета потребно је знање основног курса математике са редовних студија факултета природних или техничких наука. Исход предмета је отварање видика доктораната за остваривање научних доприноса софистицираним коришћењем рачунарских ресурса у анализи и обради експерименталних резултата на пољу биофотонице.

Репрезентација и моделовање дигиталне слике. Информатичка ентропија слике. Специфичности биомедицинских слика. Дискретна Фуријеова трансформација. Специфичне технике анализе и обраде слике: Мултirezолуционе трансформације, Падеова апроксимација, Неуралне мреже, Фази логика, Хадамард-ова трансформација, Хартлијева трансформација. Побољшање квалитета слике. Текстура слике. Моделовање текстуре. Спектрални, структурни и мултirezолуциони методи анализе текстуре. Примена техника мултirezолуционе 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.

## Биолошки сезори - биомедицинско читавање:

### **Примена биофотонице у биодијагностичким методама**

Владимир Трајковић, Иванка Марковић, Невена Зоговић

*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, ИР 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 O<sub>2</sub>). Фотодинамична терапија. (Основни принципи. Фотосензитизери. *Примена фотодинамичне терапије.* Механизми фотодинамичних активности. Ирадијација за фотодинамичну терапију. Двофотонска фотодинамична терапија.). Примена биофотонице у медицинској дијагностици: неинванзивна дијагностика, ендоскопија. Примена биофотонице у терапији: фотодинамична и фототермална терапија. (основни принципи и примена.)

### **Оптичке структуре у природи и биомиметика**

Дејан Пантелић, Срећко Ђурчић

Основни оптички принципи коришћени током еволуције живог света. Дифракционе решетке (амплитудне и фазне, површинске и запреминске). Фотонске структуре и кристали. Интерференција на танким слојевима. Расејање (простирање светлости кроз случајне средине, Рејлејево, Мијево, кохерентно расејање). Поларизација и принципи поларизационе оптике (линеарна, кружна и елиптична поларизација, поларизатори, ретардери, течни кристали). Флуоресценција. Пигментно и структурно обојење. Иридесценција. Преглед биофотонских структура и њихова оптичка својства код различитих група живих бића. Оптичке структуре код бескичмењака. Инсекти: опште карактеристике, грађа и класификација. Структуре са оптичким својствима код инсеката: интегумент, крила и очи (грађа, начин настанка, функција и подела). Структурна обојеност инсеката (апсорпциони и рефлексивни спектри и усмереност рефлектоване светлости). Антирефлексивни слојеви код живих организама. Детекција светлости у живом свету; визуелни системи у живом свету. Поларизационо виђење. Спектрална осетљивост ока. Оптика сложеног ока (рефракција, рефлексивна 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, самоорганизовање, индентација). Методе експерименталног генерисања дифракционих решетака и фотонских кристала. Функционализација биолошких структура.

### **Интегрисани и фибер оптички сензори**

Љупчо Хаџиевски, Јована Петровић

Заокрет ка биосензорима на бази интегрисане и фибер оптике, контекст, мотивација, технологија, актуелне примене, перспективе; Врсте мерних система: мерења снаге, фазе, спектроскопија, мерења у реалном времену (пумпа-проба). Компоненте оптичких мерних система: Преглед мерних шема; Извори: монохроматски ласери, импулсни ласери, ласери у оптичким влакнима, извори беле светлости. Детектори: мерачи снаге и фазе, спектрометри; Биосензори: принцип рада (еванесцентни, плазмонични, са микроканалима, са решеткама...), конфигурације (лаб-он-чип и фибер-оптички), функционализација сензора. Биосензори и њихове примене: Фибер-оптички



сензори са решеткама; Сензори на бази еванесцентних поља и плазмона; Сензори са микроканалима; Интерферометри. Терахерзна спектроскопија: Генерација и детекција THz зрачења; THz спектроскопија биолошких узорака у временском домену; Даљински сензори (ремоте сенсинг). Мерења брзих биохемијских процеса у реалном времену: Ласери са ултра-кратким импулсима; Мерења биохемијских реакција методом пумпа-проба. Трендови и будући развој оптичких биосензора.

### **Претварачи у биофотоници**

Пеђа Михаиловић, Слободан Петричевић

Коцка сензорских ефеката. Повезивање сензора у електрично коло. Повезивање са микроконтролером. Аналогна и дигитална обрада сигнала. Теорема о одабирању. Карактеристике случајних сигнала. Теорема Колмогорова. Поузданост сензорског система. Сензори радијационог домена ( фотодиода, фототранзистор, PSD, CCD ). 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. Ултразвук.

### **Раманска спектроскопија у биолошким системима**

Божидар Рашковић, Илинка Пећинар

Теорија и инструментација (историјска основа Раманове спектроскопије, увод у теорију и праксу вибрационе спектроскопије, инструментација за средњу и далеку инфрацрвену, блиском 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-прехранбених производа биљног и анималног порекла. Рамански спектри карактеристични за туморске ћелије. Хемометрија и Раманска спектроскопија.

## Фотонски материјали и структуре

### **Нанобиофотоника**

Марко Спасеновић

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

### **Наноструктурни материјали за примену у биофотоници**

Биљана Бабић, Ана Калијадис

Метални наноструктурни материјали. Синтеза и карактеризација наночестице злата, сребра и силицијума. 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. Наноконтролисани 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.ио

### **Модификација биоматеријала ласерским зрачењем**

Сузана Петровић, Наташа Тодотовић, Александер Ковачевић

Интеракција ласерског зрачења са површином чврстог тела, механизам ексцитације и време релаксације, феномени на површини и у запремини услед деловања ласерског зрачења, површинско топлење, испаравање и формирање плазме, аблација материјала, креирање уређених 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 ћелија на ласерски припремљеним биоматеријалима.

## Информатика у биофотоници

### **Биоинформација**

Бранко Драговић, Бранислав Јеленковић

Биоинформација као фундаментални појам ("It from bit."). Разни аспекти биоинформације. Биофотоника, биоинформатика, биоинформација. Методи изучавања сличности биоинформација, ултраметричка сличност. ДНК, РНК, гени и протеини као носиоци биоинформације. Генетичка информација и генетички код. Биоинформација у применама.

### **Квантна биоинформатика са елементима не стандарне информатике**

Бранко Коларић

Шта је информација и веза између информације и физичког система, Увод у квантну информатику, Информација на нивоу атома и молекулских мотора-веза између термодинамике и информације, Молекулски компјутери: ДНК машине и програмирање помоћу ДНК, Телијски аутомати, Веза између информације, алгорита и еволуције, Контролисање биолошких процеса помоћу светлости

