

# BIOFIZIKA – FIZIKA ŽIVE PRIRODE\*

*Iz udžbenika prof. dr Dejana Rakovića, "Osnovi biofizike", 3. izd. (IASC & IEFPG, Beograd, 2008)*

*Biofizika* je fizika žive prirode, na svim nivoima: molekularnom, ćelijskom i nadćelijskom, uključujući biosferu u celini.

Cilj biofizike je zasnivanje teorijske biologije, korišćenjem zakona fizike i metodologije prirodnih nauka.

Pri tome je važno istaći da, saglasno metodologiji prirodnih nauka, teorijski model bilo koje pojave mora zadovoljavati tri uslova: (1) postojanje samo jedne hipoteze u modelu; (2) ostatak modela je analiza bazirana na postojećim prirodnim zakonima; (3) postojanje eksperimentalnih testova teorijskih predviđanja modela - koji u osnovi testiraju jedinu hipotezu u teorijskom modelu pojave. Uspešnost testiranog modela dovodi zatim do inkorporiranja polazne hipoteze u postojeću naučnu paradigmu odgovarajuće prirodne nauke, ili čak do redefinisavanja postojeće i formiranja nove paradigme, u slučaju revolucionarnih posledica testirane hipoteze, kako je to lepo prikazao Kun (1962) u svojoj analizi istorije razvoja nauke.

Na osnovu pomenutih metodoloških opaski, jasno je da biofizičarima stoje na raspolaganju znanja iz mnogobrojnih oblasti teorijske i eksperimentalne fizike, koja uz fenomenološko poznavanje izučavanih bioloških pojava, formiranje njihovih različitih teorijskih modela, i uz sukcesivna eksperimentalna testiranja - dovode do neprekidnog širenja granica biofizike.

Iako neka biofizička otkrića datiraju pre početka XX veka (Voltino otkriće biološkog elektriciteta, Helmholtzovo merenje brzine prostiranja nervnog impulsa, Maksvelova teorija kolornog viđenja), najveća biofizička otkrića odigrala su se tek u XX veku (struktura i karakteristike bioloških funkcionalnih molekula, karakteristike i mehanizmi funkcionisanja ćelijskih struktura, termodinamika otvorenih sistema, modeliranje biološkog razvoja, modeliranje psiholoških funkcija), ukazujući da je biofizika veoma mlada oblast fizike, koja se još uvek nalazi u burnoj razvojnoj fazi.

Najveći prodor ostvaren je u *molekularnoj biofizici*, na planu strukture i funkcionalnosti biopolimera (proteina, DNK i RNK), i njihovoj povezanosti sa genetskim kodom. Pri tome je korišćen *teorijski aparat* različitih fizičkih disciplina: ravnotežna termodinamika, statistička fizika i kvantna mehanika. *Eksperimentalne metode* su obuhvatale sedimentaciju biopolimera u ultracentrifugi, i njihovu dalju karakterizaciju rentgenskom difrakcijom, skenirajućom tunelskom mikroskopijom (STM), rasejanjem svetlosti i  $\gamma$ -zračenja, optičkom i vibracionom kao i  $\gamma$ -rezonantnom spektroskopijom, fotoluminiscencijom, nuklearnom magnetnom (NMR) i elektronskom paramagnetnom rezonancom (EPR), diferencijalnom kalorimetrijom, ...); naravno, biofizičke eksperimentalne metode se ovde široko kombinuju i sa raspoloživim biohemijskim metodama.

Najstarija oblast je *biofizika ćelije*, koja proučava strukturu i funkcionalnost ćelija i njenih organela (membrane, citoskeleti, mitohondrije, mehanohemijski sistemi, ...). Osim gore pomenutih *teorijskih metoda*, korišćenih u molekularnoj biofizici, ovde se široko koriste i metode neravnotežne termodinamike otvorenih sistema, kao i elektromagnetike. *Eksperimentalne metode* obuhvataju, pre svega, optičku i elektronsku mikroskopiju, zatim optičku i  $\gamma$ -rezonantnu spektroskopiju, elektronsku paramagnetnu rezonancu (EPR), diferencijalnu kalorimetrijom, kao i elektrofiziološke mikrometode karakterizacije polariteta ćelijskih membrana i prostiranja električnih impulsa; i ovde se pomenute biofizičke metode široko kombinuju sa biohemijskim metodama karakterizacije metaboličkih produkata ćelijskih i neurosinaptičkih aktivnosti.

Konačno, *biofizika složenih sistema* proučava matematičko-fizičko modeliranje biomehaničkih i bioelektričnih aktivnosti nadćelijskih struktura (tkiva i organa), uključujući veoma složene kognitivne psihološke funkcije, interakcije organizma i okoline, kao i biološki razvoj vrsta (filogeneza) i jedinki (ontogeneza). *Teorijski aparat* uključuje neravnotežnu termodinamiku i fizičku kinetiku, dinamiku nelinearnih procesa (fraktali, oscilacije, fazni prelazi, neuronske mreže), elektromagnetiku, kvantnu mehaniku i teoriju relativnosti (neophodnih za modeliranje najkompleksnijih psiholoških fenomena - stanja svesti i suptilnih interakcija organizma i okoline). *Eksperimentalne metode* uključuju različite dijagnostičke metode: elektrokardiografiju (EKG), elektroencefalografiju (EEG), magnetoencefalografiju (MEG), elektromiografiju (EMG), nuklearnu magnetnu rezonancu (NMR), rentgenografiju, ultrazvučnu i infracrvenu dijagnostiku, elektrodermalnu dijagnostiku, metabolički ultrasenzitivnu funkcionalnu nuklearnu magnetnu rezonancu (FNMR) i pozitronsku emisionu tomografiju (PET), ...; pomenute biofizičke metode široko se kombinuju sa biohemijskim metodama dijagnostike metaboličkih produkata tkiva i organa.

Izazovima biofizičkih problema nisu odoleli mnogi slavni fizičari XX veka. Neki od njih su svoju reputaciju stekli prethodno u drugim oblastima fizike (Šredinger, Bor, Pauli, Vigner, Kuper, Džozefson,

\* Članak je objavljen u septembarskom broju naučno-popularnog časopisa "Kroz prostor i vreme" 2008. godine.

Penrouz, Frelj, Davidov, Voljkenštejn, ...), dok su je drugi sticali u samoj biofizici (Votson, Krik, Pauling, Peruc, Sent Đerđi, Prigožin, Hodžkin, Haksli, Ejgen, Hopfild, ...).

Na ovom mestu treba posebno istaći doprinos Šredingera (1944), čije su knjige "Šta je život s tačke gledišta fizike" i "Um i materija" imale veoma značajan inicijalni uticaj na razvoj biofizike, pošto su definisale neke osnovne biofizičke probleme: (1) otvorenost bioloških sistema omogućava njihovo uređenje, odnosno smanjenje entropije (nasuprot neorganskih zatvorenih sistema koji teže maksimumu entropije, odnosno neuređenosti); (2) informacioni biopolimeri imaju strukturu aperiodičnih kristala (nasuprot periodičnim kristalima koji sadrže minimum informacije, odnosno maksimum entropije); (3) biopolimeri moraju imati makromolekularnu strukturu, radi zaštite uređenosti biološkog sistema od mikročestičnih fluktuacija; (4) završni akt svesnog opažanja igra suštinsku ulogu ne samo u kvantnomehaničkim mikročestičnim merenjima, već i u makroskopskim opservacijama.

Kasnije su ovi problemi delovali stimulatивно na druge biofizičare, koji su razvijali detaljnije biofizičke modele ne samo ovih već i mnogih drugih pojava, o kojima će u nastavku biti reči.

Na kraju, istaknimo da biofizička istraživanja nisu bila samo od fundamentalnog značaja, već su doživela i značajnu praktičnu *implementaciju*, od genetskog inženjeringa do biokibernetike. *Genetski inženjering* je omogućio značajne prodore u farmaceutskoj i prehrambenoj industriji, kao i u medicinskoj terapiji. *Biokibernetika*, koja teži implementaciji rešenja žive prirode u tehnici, dovela je do razvoja sistema automatske regulacije (princip povratne sprege), robotike (dinamika kinematičkih lanaca, veštačka inteligencija, senzori pritiska i optički senzori, povratna sprega), veštačkih organa (modeliranje funkcija organa, biokompatibilni materijali), biosenzora (biopolimerni fermenti) i neuronskih mreža (modeliranje viših moždanih funkcija), sa čak nesagledivim perspektivama u budućnosti.

Istovremeno, pitanje *morala* postaje značajnije nego ikada, jer čovek danas otkriva tehnike manipulacije od mikroskopskog do makroskopskog nivoa. *Granice interakcija* između jedinki su verovatno *mnogo provizornije* nego što je to do juče izgledalo. Zato ne treba zaboraviti da "naša sloboda prestaje tamo gde počinje tuđa".

## Dopunska literatura

1. E. Schrödinger, *What is Life and Mind and Matter?* (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1944); prevedeno i kod nas.
2. T. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago Univ. Press, Chicago 1962); prevedeno i kod nas.

Prof. dr Dejan Raković