

# Orvosi Biofizika tételsor 2018/19

## I. félév

### 1. Sugárzások alapfogalmai, a geometriai optika alapjai

A sugárzások fajtái. A radiometria mennyiségei (ki és besugárzott felületi teljesítmény, intenzitás), irányfüggés, térszög. A detektált intenzitás távolságtól való függése különböző geometriájú sugárzók esetén grafikus szemléltetéssel. A sugárzás gyengülése közegen való áthaladáskor (a törvény differenciális és integrális alakja, értelmezése). A geometriai optika, mint modell. A Fermat-elv. Abszolút és relatív törésmutató, a visszaverődés és a törés törvénye. A kritikus szög számítása. Teljes belső visszaverődés jelensége és alkalmazása.

### 2. Egyszerű optikai rendszerek képalkotása

Egyetlen görbült felület leképezése, törőerősség, a leképezés törvénye. Képalkotás lencsékkel: nevezetes sugármenetek, lencsetörvény. Nagyítás és szőgnagyítás. Lencserendszerek: egymás mellé helyezett lencsék eredő törőerőssége. A mikroszkóp felépítése, sugármenetek, nagyítás.

### 3. A hullámoptika alapjai

Rezgések és hullámok, hullámok típusai. Huygens–Fresnel-elv, interferencia, elhajlás résen és rácson. Az elhajlási szög számítása. A polarizált fény fogalma. A polarizáció alkalmazásai: polarimetria, fáziskontraszt- és polarizációs mikroszkópia (röviden, az elve). A feloldóképesség hullámoptikai korlátja. A színek hullámoptikai jelentése.

### 4. A fény kettős természete

A hullámtermészetre utaló jelenségek és értelmezésük. A teljes elektromágneses spektrum. A fényelektromos jelenség, annak einsteini magyarázata és alkalmazásai. Fotonenergia, az eV-skála. A fény impulzusának (lendületének) értelmezése, alkalmazás: lézercsipesz. Az anyaghullám fogalma. Az elektronmikroszkóp felépítése és feloldóképessége.

### 5. Atommodellek, az elektron, mint részecske és hullám

Atommodellek. Bohr-féle atommodell. Frank–Hertz-kísérlet. Az anyaghullám fogalma és számítása. Az elektron hullámtermészete (hullámhossz, kísérleti bizonyítékok). A szabad elektron hullámtulajdonságai, a Heisenberg-féle határozatlansági reláció. A kötött elektron jellemzése, kvantumszámok. A periódusos rendszer felépítése.

### 6. Atomi és molekuláris kölcsönhatások

Kölcsönhatások a fizikában. Az atomon belüli és az atomok közti kölcsönhatások általános leírása; potenciális energia, kötéstávolság és kötési energia fogalma és szemléltetése grafikonon. Az elektronegativitás fogalma. Elsődleges kötések (kovalens, fémes, ionos). Másodlagos kölcsönhatások (dipól-dipól, van der Waals, hidrogénhid, hidrofób). Atomsugarak. Pásztázó tűszondás mikroszkópiák típusai. STM, AFM (alapelv, felépítés, alkalmazások).

## 7. Sokrészecskés rendszerek I.: ideális és reális gázok

Makroállapot és mikroállapot. Az entrópia boltzmanni definíciója. Ideális gáz. Kinetikus gázelmélet. Az ideális gázok nyomásának eredete. A Maxwell–Boltzmann-féle sebességeloszlás. A reális gázok állapotegyenlete (van der Waals-egyenlet). A Boltzmann-eloszlás és érvényességének feltételei. Barometrikus magasságformula, fémek termikus emissziója, Nernst-egyenlet, reakcióegyensúly és reakciósebesség, Arrhenius-féle ábrázolás. Kötéserőségek, különböző típusú kötések felszakadásának értelmezése a Boltzmann-eloszlás segítségével. Félvezetők elektromos vezetőképességének hőmérsékletfüggése.

## 8. Sokrészecskés rendszerek II.: szilárd anyagok, folyadékok és folyadékkristályok

A kristályos állapot jellemzése, elemi cella, kristályhibák. Energianívók kristályokban, sávszerkezetek (szigetelők, vezetők, szerkezeti és adalékolt félvezetők). Kristályos anyagok elektromos és optikai tulajdonságainak értelmezése. A félvezető dióda működése. A folyadékállapot jellemzői, rendezettsége. A mezomorfa állapot tulajdonságai. Termotróp és liotróp folyadékkristályos szerkezetek. Biológiai példák folyadékkristályos tulajdonságú rendszerekre. Elektro- és termooptikai jelenségek és alkalmazásai.

## 9. A fény kölcsönhatása atomokkal és molekulákkal

Fényszórás: Rayleigh-szórás és Mie-szórás példákkal. Turbidimetria, nephelometria. Dinamikus fényszórás és a belőle nyerhető információ. A sugárgyengülési törvény és ebből a Lambert–Beer-törvény levezetése. Az abszorpciós színek mérése (mérőműszer felépítése és működése), jellemző paraméterei és a belőlük nyerhető információ. Atomok és molekulák energiaszintjei és spektrumai.

## 10. A hőmérsékleti sugárzás

A hőmérsékleti sugárzás energetikája. Az abszolút fekete test. Kirchhoff-törvény, Stefan–Boltzmann-törvény, Wien-törvény. A Planck-féle magyarázat. Az abszolút fekete test emissziós spektruma. Néhány jelenség magyarázata (gyertyaláng árnyéka, különböző színű izzó testek). Hőmérsékleti sugárzáson alapuló fényforrások. A hőmérsékleti sugárzás orvosi alkalmazásai.

## 11. A lumineszcencia és formái

A lumineszcencia típusai (a gerjesztés, valamint a relaxáció módja szerint) példákkal. Atomok fényemissziós mechanizmusa. Molekulák elektron-energiaszerkezete, Jabłoński-diagram (szingulett és triplétt nívók, vibrációs relaxáció, *intersystem crossing*), Kasha-szabály. Lumineszcencia spektrumok, Stokes-eltolódás magyarázata. Kvantumhatásfok, élettartam. A fluoreszcencia spektrométer felépítése és működése. A fluoreszcencia orvosi alkalmazásai: FRET, FRAP, lumineszcencia mikroszkópiai módszerek.

## 12. Lézer

A lézersugárzás keltésének alapjai: spontán és indukált (stimulált) emisszió, populációinverzió, optikai rezonátor, a rezonancia feltételei. A lézerfény tulajdonságai. Lézertípusok. A lézerfény speciális tulajdonságainak orvosi (sebészeti, szemészeti és bőrgyógyászati) és egyéb alkalmazásai példákkal.

### **13. Atommag, izotópok. Radioaktív bomlás módjai, magsugárzások**

Az atommag felépítése és a stabilitását befolyásoló tényezők. Izotópok. Bomlástípusok felsorolása és részletes ismertetése. Mitől függ, hogy melyik bomlástípus lép fel? Az elektron és a pozitron (összehasonlítás, illetve a keletkezés és megsemmisülés értelmezése a megmaradási törvényekkel). A gammasugárzás keletkezése. Az  $\alpha$ -,  $\beta$ - és  $\gamma$ -sugárzások energiaspektrumai. Izotópok létrejöttének és mesterséges előállításának módjai.

### **14. A radioaktív bomlástörvény. A radioaktív izotópok jellemzői. Magsugárzások kölcsönhatása az anyaggal**

Az aktivitás definíciója. A bomlástörvény differenciális és integrális alakja. Felezési idő és átlagos élettartam. Az aktivitás csökkenése az idővel. Ionizáló sugárzások felosztása az anyaggal való kölcsönhatás módja szerint. Az  $\alpha$ -,  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ , és  $\gamma$ -sugárzások kölcsönhatása az anyaggal. Neutronsugárzás hatása. Protonsugárzás, a Bragg-csúcs és jelentősége.

### **15. Magsugárzások mérése**

A magsugárzások mérésére szolgáló eszközök felépítésének és működési elvének ismertetése: szcintillációs számláló, gázionizáción alapuló detektorok, termolumineszcens doziméter, fotografiai (film) módszerek, félvezető detektorok. Alkalmazási területük.

### **16. Dozimetria, dóziszfogalmak, sugárvédelem**

Az ionizáló sugárzás biológiai hatása: a sugárhatás mechanizmusa (fizikai, kémiai, biológiai fázisok), sztochasztikus és determinisztikus hatás.

Dóziszfogalmak: elnyelt dózis, besugárzási dózis, egyenértékűdózis, effektív dózis, dózisteljesítmény. A besugárzási dózis mérése, a levegőben és szövetben fellépő dózisos viszonyai, súlytényezők jelentése.

Sugárvédelem: ALARA-elv (grafikus magyarázat), dóziskorlátok, küszöbdózisosok.

### **17. Izotópdiaosztika alapjai. A megfelelő izotóp kiválasztásának elvei**

Az izotópdiaosztikával nyerhető információ. *Cost-benefit*-elv. Az izotóp kiválasztásának szempontjai: kémiai elem (radiofarmakon definíciója), aktivitás, felezési idő, emittált sugárzás típusa és energiája, ezek gyakorlati jelentősége. Tc-generátor felépítése és működése.

### **18. Izotópdiaosztikai eljárások, a sugárterápia alapjai**

Az izotópdiaosztikai eljárások osztályozása. A gammakamera felépítése és működése. Szcintigráfia. Dinamikus felvétel, ROI. Tipikus izotópfelvételi görbe értelmezése. Egy szerv biológiai felezési idejének meghatározása. SPECT. A PET elve és felépítése. Multimodális eljárások. A sugárzás kiválasztása az elnyelődés és az okozott ionizáció alapján. A relatív mélydózis. Az alkalmazott dózis. Sugárforrások. Teleterápia: geometriai szempontok, kollimátor fogalma és szerepe (példák), gammakés. A brachiterápia elve.

### **19. A biológiai jelek fajtái, jelfeldolgozás**

A jelek osztályozása különféle szempontok szerint, példákkal. Jelek összehasonlítása (decibelskála). Fourier-tétel periodikus és aperiodikus jelekre, példákkal. Biológiai jelek tipikus frekvencia- és amplitúdótartományai. Feszültségosztó és váltóáramú szűrők felépítése és működése. Erősítő működése és a működést szemléltető függvények; a visszacsatolás hatása. Analóg jelek digitalizálása, Shannon–Nyquist-tétel. Impulzusjelek feldolgozása, példák orvosi alkalmazásokra.

## II. félév

### 20. A röntgensugárzás előállítása, jellemzése és az anyaggal való kölcsönhatása

A röntgensugárzás tipikus hullámhossz- és fotonenergia tartománya. A röntgensugárzás keltése: a röntgenső felépítése és működése. A fékezési röntgensugárzás spektruma. A röntgenső teljesítménye és hatásfoka. Duane–Hunt-törvény. A karakterisztikus röntgensugárzás keletkezése, spektruma és alkalmazási területei.

### 21. A röntgendiagnosztika alapjai

A röntgensugárzás elnyelődésének mechanizmusai és azok energiafüggései. A diagnosztikában használt energiatartomány. A szummációs kép. Kontrasztanyagok, képerősítő, DSA. Röntgendetenzitometria. A komputertomográfia elve, a CT-generációk, képrekonstrukció. Hounsfield egység, ablakozás. A modern CT-képalkotás speciális lehetőségei. A CT hátrányai. Nagyenergiájú röntgensugárzás keltése és alkalmazási területe.

### 22. Folyadékáramlás

Alapfogalmak: Térfogati áramerősség, áramvonalak. viszkozitás. Az áramlások típusai. Az ideális folyadékok: Kontinuitási egyenlet. Bernoulli-törvény, plazma lefölezés. A reális folyadékok: Newton-féle sűrűlási törvény, a Reynolds-szám, kritikus sebesség. Stokes-törvény, Hagen–Poiseuille-törvény, Áramlási ellenállás. Összehasonlítás az elektromos ellenállással. A vér viszkozitásának meghatározó faktorai.

### 23. A diffúzió és törvényei. Ozmózis

A diffúzió fogalma. Hőmozgás, Brown-mozgás. Részecske bolyongása. Az anyagtranszport leírásához használt fizikai mennyiségek. Fick I. törvénye és annak érvényességi feltétele. A diffúziós állandó. Einstein–Stokes-összefüggés. Gázcsere a vér és a tüdőhólyagocskák között. Fick II. törvénye. Termodiffúzió. Hővezetés, Fourier-törvény. Ozmózis, ozmózisnyomás, ozmolaritás. Az ozmózis orvosi jelentősége.

### 24. Termodinamika I

Termodinamikai rendszerek típusai. Az emberi test mint termodinamikai rendszer. Energiafajták a termodinamikai rendszerben, belső energia, annak járuléklai. A belső energia megváltozása. Extenzív és intenzív mennyiségek. A termodinamika I. főtétele, alkalmazása biológiai rendszerre. Entrópia, termikus és konfigurációs entrópia, kapcsolat a rendezettséggel.

### 25. Termodinamika II

Termodinamikai valószínűség. Az entrópia statisztikus definíciója. A II. főtétel, folyamatok iránya, kapcsolat az evolúcióval. A III. főtétel. A belső energia hasznosítható része különböző (izobár, izoterm, izoterm-izobár) rendszerekben. Termodinamikai potenciálok. Folyamatok iránya elszigetelt, izoterm, valamint izoterm-izobár rendszerekben. Az egyensúly feltétele.

## **26. Bioelektromos jelenségek I. A nyugalmi potenciál**

Inger, ingerület. Nyugalmi potenciál, ioneloszlás, ionok diffúziója a membránon keresztül. Donnan-egyensúly elmélete és annak korlátai. A transzportmodell kiindulópontjai. Goldman–Hodgkin–Katz-egyenlet. A membrán elektromos modellje. A membrán potenciálváltozása ingerlés hatására (kísérlet, biológiai példák). A membránpotenciál-változás az idő és a térkoordináta függvényében, az ezeket befolyásoló tényezők.

## **27. Bioelektromos jelenségek II. Az akciós potenciál és terjedése**

Az akciós potenciál során bekövetkező potenciál- és ionáram-változások az idő függvényében. Elektrokémiai potenciál mint hajtóerő. Az akciós potenciál terjedése, szaltatorikus terjedés, a terjedési sebesség, refrakter stádium és szerepe. Szinapszis. Testfelszínen mérhető elektromos jelek, azok detektálása és a hozzájuk kapcsolódó diagnosztikai módszerek.

## **28. Ultrahang előállítása és jellemzése. Ultrahang-diagnosztika és -terápia**

A hang, mint hullám, frekvencia és intenzitástartományok, intenzitásszint. Az ultrahang keltése, és detektálása, piezoelektromos jelenség. Az UH terjedése, sebessége és elnyelődése. Akusztikus impedancia. Refrakció és reflexió, reflexióképesség. Doppler-effektus. Az UH hatásai, terápiás alkalmazások. Az UH-diagnosztika elve, képalkotó módozatok (A, B, M), alkalmazási példák.

## **29. A víz és a biológiai makromolekulák**

Molekulaszerkezet, a vízmolekula mérete, dinamikája. Szerkezetek folyadék és szilárd halmazállapotban. A víz különleges fizikai tulajdonságai és az ezekből eredő jelenségek (jó oldószer, élővizek hőmérsékleteloszlása, kapillaritás). Fázisdiagram.

Biopolimerek: alegység, kötés, példák. Bolyongó mozgás és polimerek konformációjának analógiája. Kontúrhossz, perzisztenciahossz. Entropikus rugalmasság. A DNS szerkezete és rugalmassága. Erőgörbék felvétele lézercsipesszel. Fehérjék szerkezete, a szerkezetet stabilizáló kölcsönhatások. Fehérje gombolyodás, egyedi fehérje kitekerése AFM-el.

## **30. Az érzékszervek biofizikája**

Érzékszervi receptorok. A jelátalakítás lépései. Információkódolás a receptor- és az akciós potenciál esetében. Pszichofizikai törvények. Adaptáció. A látás biofizikája: a szem felépítése, fotoreceptorok, a fényérzékelés alapjául szolgáló fotokémiai reakció. A színérzékelés alapja. A hang, mint mechanikai hullám: frekvencia és intenzitástartományok. Phon és son skálák. A fül egyszerűsített vázlata. Jeltovábbítás és erősítés a középfülben. Belső fül, csiga, szőrsejtek, Békésy féle haladóhullámok.

## **31. Biomechanika: biomolekuláris és szöveti mechanika**

Alapfogalmak: feszültség, deformáció. Feszültség–deformáció-diagram és tartományai, Hooke-törvény, Young-modulus. Rugalmas artériák biomechanikája. Kollagén és elasztin, disztenzibilitás. Laplace–Frank-egyenlet. Csontszövet, fogzománc biomechanikai jellemzői. Viszkoelaszticitás: mechanikai modell, feszültségrelaxáció, energiaveszteség. Példák:

porckorong, periodontális ligamentum. Az izomszövet rugalmassága, titin. Szonoelasztográfia.

### **32. A biológiai mozgás molekuláris mechanizmusai**

Motorfehérjék szerkezete és típusai. Munkaciklus, tipikus erő- és munkatávolság-tartomány, processzivitás. Az izomműködés biofizikájának alapjelenségei: rángás, szummáció, tetanusz, izometriás és izotóniás kontrakció, izommunka, teljesítmény. Erő–sebesség-görbe. Csúszófilamentum-modell. A kontraktilis apparátus tagjai, a miozin munkaciklusa, az izom-összehúzódás szabályozása.

### **33. A biomolekuláris szerkezet vizsgálata: Röntgenkristallográfia és tömegspektrometria.**

A diffrakció jelensége, a diffrakció feltétele. Bragg-diffrakció. Molekulaszerkezet-meghatározás röntgenkristallográfiával. A tömegspektrometria elve. Ionizációs módszerek: elektropray, MALDI. Töltött részecske mozgása elektromos és mágneses térben. Tömeganalízis mágneses és repülésiidő-módszerrel. Alkalmazások: proteomika, diagnosztika, onkokés.

### **34. A biomolekuláris szerkezet vizsgálata: rádióspektroszkópiák**

Stern–Gerlach-kísérlet, mágneses momentum, energiaszintek felhasadása mágneses térben (Zeeman-effektus), Larmor-precesszió, rezonanciafeltétel. Makroszkópikus mágnesezettség (Boltzmann-eloszlás). Relaxációk, relaxációs idők (T1, T2). Spin echo. NMR és ESR spektroszkópiák. Az MRI alapjai: térbeli kódolás, képképzés: protonszűrőség, T1 és T2 súlyozás. Speciális MRI-módszerek.

### **35. A vérkeringés és szívműködés biofizikája**

Az érrendszer feladata. Az áramlás mint transzportfolyamat. A nyomás, az érkeresztmetszet, az összkérsztmetszet, és az áramlási sebesség változásai az érrendszerben. A rugalmas érfal mechanikája. Nyomásviszonyok az artériás rendszerben, a vérkeringés segéderői. A szív mechanikai és elektromos működésének együttes leírása. Nyomásváltozások a szív ciklus során. A szív munkája.

### **36. A légzés biofizikája. A fizikális vizsgálat biofizikai alapjai**

Az egyetemes gáztörvény, parciális nyomás, Henry-törvény, kapilláris jelenség. Az emberi légzőrendszer: doboz, csőrendszer, gázcserefelület. Intrapulmonáris, pleurális és transzpulmonáris nyomások. Légzési térfogatok és kapacitások. A légzési ciklus eseményei, és dinamikája. Compliance, Hagen–Poiseuille-törvény. A légzési munka. Megtekintés. Tapintás: biomechanika, viszkoelaszicitás. Kopogtatás: hang, rezonancia. Hallgatóság: Korotkov-féle hang, turbulens áramlás, szívzörejek és légzési hangok.