

# FIZIKA BSC, ALKALMAZOTT FIZIKA SZAKIRÁNY

## ZÁRÓVIZSGA TÉTELEK (2012)

1. Tömegpont mechanikája és lineáris rendszerek  
Newton axiómák. Impulzustétel, munkatétel, konzervatív erők. A mechanikai energia megmaradás tétele. Mozgás centrális erőterben. Lineáris (mechanikai) és gerjesztett oszcillátor vizsgálata. Gerjesztések és válaszfüggvények. Fourier-analízis alapjai. A mechanika elvei: variációs számítás és Hamilton-elv.
2. Kiterjedt testek mechanikája és termodinamika  
Merev testek, deformálható, folytonos anyageloszlású és rugalmas közegek dinamikája. Deformációs és feszültségtenzor. Rugalmassági állandók. Hooke – törvény. A termodinamika főtételei, entrópia.
3. Elektrodinamika - Maxwell egyenletek  
Sztatikus polarizációs jelenségek. Dielektromos és mágneses polarizáció. Szigetelők és vezetők. Az Ohm-törvény és a Drude-modell. Sztatikus elektromos és mágneses tér. A vektorpotenciál. Áramjárta vezetők és mozgó töltés mágneses tere. Mágneses dipólus. Az elektromágneses tér energiája, Poynting-vektor. Maxwell-egyenletek.
4. Elektromágneses hullámok  
Elektromágneses hullámok vákuumban. Síkhullám, energia- és impulzustranszport. Inhomogén hullámegyenletek. Elektromágneses hullámok anyagi közegben. Hullámterjedés lineáris, nem mágneses anyagokban. Rossz és jó vezető anyagok optikai tulajdonságai, a behatolási mélység. Komplex szuszceptibilitás. Kramers-Kronig relációk.
5. Optika  
A geometriai optika érvényességi köre és alkalmazási területei. A fény interferenciája, interferométerek, fényelhajlás (diffrakció). A polarizáció tárgyalása, polarizáció érzékeny eszközök. Elektro- és akusztó-optikai eszközök. Fényforrások. A lézerműködés alapjai.
6. Kvantummechanikai alapok  
A kvantummechanika matematikai eszközei, Hilbert tér, operátorok. A mérés, sajátértékek, kommutátorok, határozatlansági relációk. Schrödinger egyenlet, stacionárius eset, kötött és szabad állapotok. Hullámcsomag, potenciálgát, alagúteffektus. Potenciálvölgy, harmonikus oszcillátor.
7. Atomok és molekulák  
Impulzusmomentum és spin operátor sajátértékei és sajátfüggvényei. A centrális erőter, a H-atom. Sok elektrontól álló rendszerek kvantummechanikai vizsgálata, Pauli-elv és periódusos rendszer. Molekulapályák kialakulásának egydimenziós modellje. Lazító és kötőpályák. A kémiai kötések értelmezése:  $\sigma$  és  $\pi$  pályák felépítése az atomi  $s$  és  $p$  pályákból.
8. Közelítő módszerek a kvantummechanikában

Időfüggetlen és időfüggő perturbációs számítás. Zeemann effektus, fény és atom kölcsönhatása. Hartree-, és Hartree-Fock módszer. He atom és kicserélődési kölcsönhatás.

9. Klasszikus és kvantumstatisztikák  
Mikro- és makroállapotok, zárt és kölcsönható rendszerek, egyensúly. Az egyenlő valószínűségek elve, statisztikus fizikai entrópia, kapcsolat a termodinamikával. Különböző sokaságok és ekvivalenciájuk. Termodinamikai potenciálok, fluktuációk. Ideális gázok, Fermi-Dirac, Bose-Einstein és Maxwell-Boltzmann statisztikák. Hőmérsékleti sugárzás.
10. Kristályok szerkezete, rácsrezgések  
Kristályrács és reciprokrács, szimmetriák. Diffrakció elmélete, Bragg-feltétel. Szerkezetmeghatározás: röntgen-, elektron- és neutron-szórás. Kristályhibák. Szilárd testek fajhője. Rácsrezgések, rugalmas hullámok. Diszperziós reláció harmonikus közelítésben. Fónonok energiája, impulzusa.
11. Elektronszerkezet  
Szabad elektrongáz kvantummechanikai leírása, fajhő, szuszceptibilitás. Elektronok periódikus potenciálban, Bloch-tétel, sáv szerkezet, effektív tömeg. Fotelektron spektroszkópia. Drude-modell, vezetőképesség, Hall-állandó, diszperziós reláció, optikai tulajdonságok.
12. Magfizika  
Stabil atommagok tulajdonságai és mérési módszereik (tömeg, kötési energia, impulzusmomentum, mágneses momentum). A radioaktivitás fajtái és jellemzői, bomlási sorok. Radioaktív kormeghatározás. Atommagreakciók jellegzetességei és a leírásukra szolgáló mennyiségek (energiamérleg, hatáskeresztmetszetek). A maghasadás és a magfúzió. A nukleáris energiatermelés alapjai. Atomreaktorok típusai. Sugárzások detektálása, detektortípusok. Ionizáló sugárzások hatása az élő szervezetekre.

A tételsor kiegészül a szakdolgozat témakörének megfelelő kötelezően választható tárgyak összesen 4 kreditnyi anyagából összeállított 6 tétellel. A 6 kiegészítő tételt az anyatanszék vezetője határozza meg a szakdolgozat témájának kiadásakor. A hallgató a záróvizsgán egy tételt az általános tételsorból (első 12 tétel) és egy második tételt pedig a szakdolgozat témakörének megfelelő 6 tételből húz.

*A Fizikai Intézetben diplomázó hallgatók számára négy 2 kredités blokkból (tárgyból) kettő kerül kijelölésre a téma kiadásakor.*

A blokkoknak megfelelő 3-3 tétel a következő:

#### **Alkalmazott plazmafizika (BMETE12AF11)**

- A1. Plazma definíciója és jellemző paraméterek (Debye hossz, plazma paraméter, plazma frekvencia). Klasszikus és kvantumos plazmák összehasonlítása. Akusztikus hullám a plazmában. Transzport jelenségek.
- A2. Gázkiszülések, gerjesztett és önfenntartó kiszülés, Paschen törvény. Alapvető kiszülési formák. Gázkiszülésben lejátszódó folyamatok: ionizáció, rekombináció, gerjesztés, elektród folyamatok, termikus elektronemisszió, téremisszió, szekunder emisszió.

- A3. Plazma definíciója, klasszikus és kvantumoz plazmák összehasonlítása. Alkalmazások: fúziós energiatermelés távlatai, fényforrások, lézer, ionforrás, plazmahegesztés, plazma reaktorok, CVD, Langmuir szonda.

### **Biofizika (BMETE12AF10)**

- B1. **A biofizikai rendszerek kölcsönhatása sugárzással.** Fényelnyelés biológiai makromolekulákban, a foto-gerjesztett molekulák viselkedése, a fény biológiai hatásai (hatásmechanizmus, jellemző fizikai paraméterek, folyamatok). Az ionizáló sugárzás dózis–hatás aránytalanságának jelentősége és lehetséges modelljei (csak röviden: találatelmélet, vízaktiválási elmélet, molekuláris elmélet).
- B2. **Az élő szervezet energia- és anyagforgalma.** A szervezet hőháztartása és hőszabályozása, a sejtszintű energiaátalakítás kérdései (fotoszintézis, respiráció, az ATP szerepe az élő rendszerekben). Transzportfolyamatok leírása, ideális és reális folyadékok lamináris és turbulens áramlása. A diffúzió speciális esetei élő szervezetekben: ozmózis, passzív és közvetített diffúzió, aktív transzport.
- B3. **Biológiai membránok.** A membrán, mint diffúziós közeg tulajdonságai, az ingerelhető membrán. Elektromos jelenségek: nyugalmi membránpotenciál, a sejtmembrán elektromos és funkcionális modellje, az ionszűrő. Membránpotenciál-változások az ingerküszöb alatt, akciós potenciál, ingerületterjedés.

### **Lézertechnika (BMETE12AF07)**

- L1. Fény és anyag kölcsönhatása, spontán emisszió, abszorpció, indukált emisszió. Koherens optikai erősítő. Gerjesztési módok a gyakorlatban. Az erősítés telítődése. Inhomogén és homogén erősítésű közegek eltérő tulajdonságai.
- L2. Visszacsatoló rendszer: optikai rezonátor jellemzői, módusok meghatározása a diffrakció elmélet alapján, a rezonátor stabilitása. A TEM<sub>00</sub> Gauss-nyaláb tulajdonságai: nyalábsugár, divergencia, fázisfelület. Gauss-nyaláb terjedése optikai rendszeren keresztül (ABCD mátrixok).
- L3. Lézerműködés feltételei: erősítési és fázisfeltétel. Lézerfény sávszélessége, egymódusú működés. Impulzusüzemű lézerműködés: erősítés és Q-kapcsolás, móduscsatolás. Tipikus lézeralkalmazások.

### **Mikro- és nanotechnológiák (BMETE12AF08)**

- MN1. A rétegleválasztás és rétegnövekedés fizikai alapjai. Fizikai (porlasztás, párologtatás) és kémiai (gőzfázisú, folyadékfázisú) vékonyrétegleválasztási módszerek valamint a vastagréteg technológia összehasonlítása
- MN2. Adalékolás (diffúzió és ionimplantáció), litográfia (fotolakkok, foto-, röntgensugaras, elektronsugaras, ionsugaras litográfia), rétegtávolítási technológiák (nedves ill. száraz marás)
- MN3. Rétegek minősítésére alkalmas eljárások és módszerek: röntgendiffrakció, transzmissziós elektronmikroszkópia, pásztázó elektronmikroszkópia, szekunder ion tömegspektrometria, röntgen fotoelektron-spektroszkópia, Auger elektron-spektroszkópia, pásztázó alagútmikroszkópia, atomerő mikroszkópia

A Nukleáris Technikai Intézetben diplomázó hallgatók számára *hat 4 kredites blokkból egy blokk* kerül kijelölésre a téma kiadásakor.

A blokkoknak megfelelő 6-6 tétel a következő:

### **Reaktorfizika (BMETEAF15)**

- R1. Hatáskeresztmetszetek (mikroszkopikus, makroszkopikus), szórási magfüggvény, hasadás. A magreakciók véletlen jellege. Adott reakció valószínűsége. A neutronter leírására szolgáló alapfogalmak: neutronsűrűség, fluxus, parciális áram, vektorfluxus, skalárfluxus, nettó áram. Reakciógyakoróságok meghatározása.
- R2. A neutrongáz leírása: a transzport egyenlet integro-differenciális alakja. Kezdeti és peremfeltételek. A kinetikus sajátérték: sajátfüggvények és sajátértékek. Kritikus, szubkritikus, szuperkritikus térfogat. A transzportegyenlet integrális alakja. Az aszimptotikus elmélet.
- R3. A transzportegyenlet közelítő megoldása. A diffúziós közelítés. A diffúziós közelítés alapfeltevései. A neutronspektrum felosztása, a spektrum meghatározása az egyes tartományokban.
- R4. Időfüggés és kritikusság: a keff bevezetése kritikus méret, kritikus tömeg. Relaxációs idő, relaxációs hossz. Reaktorkinetika: pontkinetika. Későneutronok, az egyenlet tulajdonságai, a megoldás módja. A reaktivitás mérése: reciprokóra egyenlet. A reaktor megszaladása. A Fermi-féle koregynlet.
- R5. A lassulás alapjai, az izotróp szórás magfüggvénye. Placzek-tranziensek. Lassulási egyenletek általában. Lassulási modellek. A rezonanciakikerülés valószínűsége. Rezonanciaintegrálok, végtelen hígítású rezonanciaintegrál. Rezonancia heterogén rendszerben: Wigner korrekciója. Doppler effektus.
- R6. A reaktor számításának menete. Reaktivitástényezők. Kampány. A kiegészítés. A fűtőanyag változása, magsűrűségek, mechanikai tulajdonságok. Fontosabb hasadási termékek (xenon és szamárium) változása. Az adjungált függvény és alkalmazásai. Perturbációelmélet.

### **Termohidraulika (BMETEAF15 - Atomerőművek termohidraulikája)**

- T1. A nukleáris üzemanyag hőfizikai jellemzői  
Az UO<sub>2</sub> anyagjellemzőinek alakulása a hőmérséklet és egyéb jellemzők függvényében. A fémurán és az UO<sub>2</sub> jellemzői közötti legfontosabb különbségek. Kutató és energetikai reaktorok nukleáris üzemanyagának felépítése.
- T2. A nukleáris üzemanyag hőátvitele  
A hővezetés általános differenciálegyenlete, valamint annak analitikus megoldása sík és hengeres üzemanyag geometria esetén. A megoldáshoz alkalmazott kezdeti és peremfeltételek. Hengeres üzemanyagpálca teljes hőátvitelének leírása. Üzemanyag, burkolat és hűtőközeg hőmérsékletének axiális és radiális alakulása a zónában.
- T3. Hidraulika  
A hidraulikai egyenletrendszer. Az áramló folyadék egyenletei (Navier-Stokes egyenlet). A nyomásvesztések számítása, veszteséges Bernoulli-egyenlet. Csövek, csőszerelvények áramlási veszteségei. Hasonlóságelmélet a hidraulikai egyenletrendszer megoldására. Hasonlósági számok.  
Kétfázisú áramlás formái vízszintes és függőleges csövekben. Áramlási térképek. Kétfázisú áramlások leírása.

- T4. Hőátvitel  
A konvektív hőátadás leírása és számítása.  
Kondenzációs hőátadás jellemzői.  
Forrásos hőátadás jellemzői. Forrásgörbe. Forráskrízisek, kritikus hőfluxusok. DNBR; tervezési és üzemeltetési feltételek a DNBR-re.
- T5. Tervezési üzemzavarok  
A reaktorbiztonság és biztonságvédelem alapjai. Determinisztikus üzemzavar elemzések. Tervezési alap, tervezési üzemzavarok. A LOCA fogalma, lefolyása. Különböző méretű hűtőközeg veszteses üzemzavarok osztályozása, fő jellemzőik. Üzemyanyag és zóna tervezésénél alkalmazott biztonsági korlátok.
- T6. Tervezési alapon túli és súlyos balesetek  
A tervezési alapon túli balesetek fogalma. Egy súlyos baleset során a reaktorzónában lejátszódó legfontosabb fizikai folyamatok, ezek jellemző hőmérsékletei. A reaktortartály sérüléséhez vezető fizikai folyamatok. A tartályszerülés következményei, illetve ezek enyhítési lehetőségei, az alkalmazott műszaki megoldások.  
A TMI-2, a Csernobil-4, az SL-1 balesetének okai, lefolyása és következményei.

### **Sugárvédelem és radioaktív hulladékok (BMETEAF00 - Sugárvédelem és jogi szabályozása, BMETEAF10 - Radioaktív hulladékok)**

- S1. Dózismennyiségek  
A dózismennyiségek definíciói, a fizikai és biológiai dózismennyiségek közötti összefüggések, kapcsolatok. Az ionizáló sugárzások egészségkárosító hatásai. A dózis- és dózisteljesítmény-mérés elméleti alapjai és mérés technikai megoldásai. A belső sugárterhelés meghatározásának mérési és számítási módszerei.
- S2. Sugárvédelmi szabályzás  
A sugárvédelem axiómái és alapelvei. A sugárvédelmi szabályzás rendszere. A tervezési folyamat elemei. Az immisszió és emisszió korlátozása. Baleseti helyzetek kezelése.
- S3. Természetes radioaktivitás  
A természetes radioaktivitás összetevői. A kozmikus és terasztriális külső sugárterhelés. Belső sugárterhelés. A radon jelentősége, meghatározási módszerei. Környezeti monitorozás, a természetes és mesterséges komponensek megkülönböztetése.
- S4. A radioaktív hulladékok osztályozása  
A radioaktív hulladékok definíciója, kategorizálásuk fajtái. Osztályozás a mentességi szintek felhasználásával. Egyéb gyakorlati osztályozási szempontok. Kulcsnuklidok és nehezen mérhető nuklidok. Mentesség és felszabadítás.
- S5. A radioaktív hulladékok keletkezése  
Kibocsátott, helyben maradó és leszerelési hulladékok. Energiatermelő atomreaktorok hulladécai: transzuránok, hasadási termékek, korróziós termékek, technológiai anyagok aktivációs termékei. Ujjlenyomat-nuklidok. Kutatóreaktorok sajátos hulladécai. A nukleáris fegyverkezés hulladécai. Ipari és orvosi alkalmazások hulladécai. TENORM-hulladékok.
- S6. A radioaktív hulladékok kezelése  
Szekvenciális és komplex hulladék-kezelési technológiai eljárások. Gyűjtés, tárolás, szállítás. A térfogatcsökkentés és a kondicionálás általános és szelektív módszerei. A

radioaktív hulladékok átmeneti és végleges elhelyezése. Mérnöki gátak, mélységi védelem.

### **Fissziós és fúziós diagnosztika (BMETE805312 - Bevezetés a fúziós plazmafizikába, BMETEAF11 - Üzemi mérések és diagnosztika)**

- F1. Jelek az időtartományban  
Jelek osztályozása (ergodicitás, gyenge és erős stacionaritás), sokaság szerinti átlagolás és időbeni átlagolás, effektív érték, amplitúdó eloszlás, autokorreláció és keresztkorrelációs függvények és fizikai tartalmuk, impulzus válaszfüggvény, lépcsőfüggvény és válaszfüggvénye, használatuk a fizikai mérésekben.
- F2. Jelfeldolgozás a frekvenciatartományban  
Fourier transzformáció, Fourier spektrum, autospektrum, keresztspektrum, átviteli függvény, koherencia- és fázisfüggvények. Mintavételezés és hatása, mintavételi törvény különböző formái, aliasing, ablakfüggvények
- F3. Fejlettebb feldolgozási technikák alapjai  
Autoregressziós modellezéssel kapott feldolgozások, a fuzzy eljárás alapelvei és használhatósága, az ideghálózatok alapelve és használhatósága, szekvenciális valószínűségi hányados teszt alapelve és használhatósága zajjal fedett jelek feldolgozására.
- F4. Fúziós reaktor felépítése, mérendő mennyiségek.  
Tokamak és sztellarátor felépítése, Lawson-kritérium, a plazma alapvető jellemzői, legfontosabb mérendő fizikai mennyiségek és jellemző tartományuk, a mérés speciális környezeti körülményei.
- F5. Laboratóriumi kísérletek mágneses összetartású berendezésekkel  
Plazma előállítás, anyagutánpótlás, fűtés, plazma-fal kapcsolat, áramhajtás, kísérlet menete.
- F6. A plazmadiagnosztika főbb típusai  
Diagnosztikák csoportosítása, mágneses diagnosztikák, ECE, VisIR, SXR, NPA, neutron detektorok, Langmuir-szonda, interferometria, reflektometria, Thomson-szórás, atomnyaláb diagnosztikák.

### **Monte-Carlo módszerek (BMETEAF07)**

- M1. Véletlen számok generálása  
Egyenletes eloszlású véletlen számok generálása. Multiplikatív, kongruenciális és egyéb algoritmusok. A véletlenszám-sorozat aperiódikus szakasza és periodicitása. Véletlen számok statisztikai vizsgálata. Illeszkedésvizsgálat, függetlenségi próba,  $\chi^2$ -próba. Empirikus próbák egyenletes eloszlású véletlen számok vizsgálatára.
- M2. Diszkrét és folytonos eloszlások mintavételezése Monte Carlo módszerrel  
Diszkrét valószínűségi változók mintavételezése Monte Carlo módszerrel. Eljárások a szimuláció gyorsítására. Folytonos eloszlású valószínűségi változók mintavételezése Monte Carlo módszerrel. Általános algoritmusok véletlen eloszlásokból történő mintavételezésre. Inverz integrál módszer, elfogadás-elvetéses (rejekciós), kompozíciós, táblázatos módszer.
- M3. Speciális eloszlások mintavételezése  
A normális eloszlás közelítő mintavételezése. Általánosított rejekciós módszer. A normális eloszlás pontos mintavételezése az általánosított rejekciós módszer alapján. A hatványfüggvényekkel leírható eloszlások modellezésének speciális eljárásai.

- M4. Síkbeli és térbeli irányeloszlások modellezése  
Síkban izotróp irányeloszlás modellezése. Algoritmusok a modellezés gyorsítására. Térben izotróp irányeloszlás modellezése. Direkt és rejekeciós eljárás. Koszinuszos irányeloszlás sorsolására szolgáló módszerek.
- M5. Részecske-transzport szimulálása Monte Carlo módszerrel  
Analog és nem analog lejátás. A részecskéhez rendelt Monte Carlo paraméterek. A részecske-transzport program főbb komponensei. A részecske-transzport szimuláció ütközési rutinja, ütközés utáni irány sorsolása. Algoritmusok a Compton-szórás modellezésére. Szabad úthossz modellezése homogén, inhomogén és szakaszosan homogén közegben.
- M6. Szóráscsökkentő eljárások  
Szóráscsökkentő eljárások a részecske-transzport szimulációjánál. Statisztikai súly, implicit befogás. Forrás-paraméterek torzítása. Térbeli fontosság módszere. Orosz rulett módszer. A trajektóriák felhasításának módszere. Energia és súly szerinti levágás. Súlyablak módszer.

**Nukleáris mérés technika és radiokémia (BMETEA05 - Nukleáris mérés technika, BMETEA14 - Radiokémia és nukleáris kémia)**

- N1. Elektromágneses sugárzás, töltött részecskék és anyag atomjai között lejátásódó, a detektálás alapjait jelentő fizikai kölcsönhatások: fotoeffektus, szórás jelenségek, párkeltés. Gáztöltésű detektorokban lejátásódó, az ionizáló sugárzás és töltött részecskék detektálásához kapcsolódó fizikai folyamatok: ionizáció, rekombináció, atomi gerjesztési folyamatok. Detektorok általános mérés technikai tulajdonságai: határfok, felbontóképesség, holtidő, kiszökési és pile-up jelenség, válaszfüggvény.
- N2. Gázionizációs detektorok típusai, ionizációs kamra, proporcionális detektor, Geiger-Müller számláló és szcintillációs detektor felépítése, működési elve, alkalmazása, karakterisztikáik. Szerves és szervetlen kristályok mint szcintillátor anyagok, LSC detektorteknikája.
- N3. Félvezető detektorokban lejátásódó elektronfizikai folyamatok. A félvezető detektorok főbb típusai: HPGe, Si(Li), PIN dióda, SDD és szupravezető detektorok működési elve, szerkezeti felépítése, alkalmazások. Speciális detektortípusok és detektálási technikák: Cserenkov-számláló, radiográfia, szilárdtest nyomdetektor, termolumineszcens detektor, köd- és diffúziós kamra.
- N4. Spektroszkópiai alapismeretek, a különböző spektroszkópiai alkalmazások detektortípusai.  $\alpha$ -,  $\beta$ -, és  $\gamma$ -spektroszkópia. Neutronok detektálásának alapelvei, fontosabb detektortípusok és alkalmazásaik. Nukleáris spektrométerek általános felépítése, az elektronikus jelfeldolgozás alapeszközei és azok mérés technikai tulajdonságai, analog-digital konverzió.
- N5. Kozmogén és teresztriális izotópok, bomlási sorok, antropogén eredetű izotópok. Radioizotópok keletkezése, előállítása atomreaktorokban és gyorsítóknak. Jelzett vegyületek előállítása kémiai és biológiai szintézissel, gyakorlati alkalmazásaik. Atomreaktorok üzemanyagának előállítása, a kiégett üzemanyag újrafeldolgozása, radioaktív hulladékok feldolgozása.
- N6. Radioizotópok speciális fizikai-kémiai tulajdonságai, izotóp effektus, nyomnyi anyagmennyiségek, radiokolloidok, Szilárd-Chalmers reakció. Radioaktív sugárzások hatása az anyag kémiai és szerkezeti állapotára. Radioizotópok meghatározása: izotóphígítás, kémiai feldolgozás, nukleáris spektroszkópia, neutronaktivációs analízis.