

# A Fizikus MSc szak záróvizsga-tételei

**Érvényes: a 2024/2025. tanév nyári záróvizsga-időszakában**

**„A” tételek: összesen 11 db általános tétel, minden vizsgázó hallgatónak egységes.**

**„B” tételek: összesen 11 db tétel:**

- **1-5. tétel: általános, minden vizsgázó hallgatónak egységes**
- **6-11. tétel: a hallgató által a képzés során teljesített és előzetesen megjelölt 3 modultárgyhoz kapcsolódó, modultárgyanként 2-2 tétel.**

**A választott 3 modultárgy kizárólag a fizika köréhez kapcsolódó tantárgy lehet.**

## „A” tételek

### 1. A klasszikus térelmélet elemei

Lagrange-formalizmus a klasszikus mezők elméletében: variációs elv, Euler-Lagrange egyenlet, Noether-tétel. A kanonikus energia-impulzus tenzor. A Klein-Gordon mező, mint példa. Az elektromágneses mező Lagrange-sűrűsége, energia-impulzus tenzora és lokális mértékinvarianciája.

### 2. Elektromágneses hullámok és hullámegyenlet

Homogén és inhomogén hullámegyenlet. Skalár- és vektorhullámok. Sík- és gömbhullámok. Monokromatikus hullámok. Hullámok Fourier-féle felbontása. A fény polarizációs állapotának leírása.

### 3. Közegek elektrodinamikája

A Maxwell egyenletek vákuumban és közegekben. A Lorentz-féle átlagolási eljárás elve. A polarizáció és a mágnesezettség fogalma. Az anyagbeli (fenomenologikus) Maxwell-egyenletek differenciális és integrális alakja. Anyagi egyenletek.

### 4. Elektromágneses hullámok közegekben

A diszperzió és a törésmutató egyszerű modellje, anomális diszperzió, rezonáns abszorpció, Kramers-Kronig-reláció. A csoportsebesség, hullámcsomag terjedése diszperzív közegekben. A vezetőképesség elemi modellje, vezetőképesség alacsony és nagyon magas frekvencián.

## 5. Az impulzusnyomaték és a spin a kvantummechanikában

Az impulzusnyomaték spektruma, pálya-impulzusnyomaték és spin, gömbfüggvények és paritás. Két impulzusnyomaték összeadása. Impulzusnyomaték és mágneses tulajdonságok kapcsolata, Zeeman-effektus.

## 6. Atomspektrumok

A hidrogén atom elsődleges spektruma, finomszerkezet, hiperfinom szerkezet, Lamb eltolódás. A periódusos rendszer felépítése. Az alkáli atomok spektruma, a hélium atom spektruma.

## 7. Molekulák spektrumai

Két-és többatomos molekulák spektruma, elektron, rezgési és rotációs spektrumok. Raman-spektroszkópia. Az elektron- és a magmozgás szétválasztása, adiabatikus és Born-Oppenheimer közelítés.

## 8. A statisztikus fizika alapvető módszerei.

Mikrokanonikus, kanonikus és nagykanonikus eloszlások, termodinamikai potenciálok. Reális gázok. A folyadék-gőz átalakulás van der Waals elmélete.

## 9. Ideális kvantumgázok

Azonos független részecskékből álló rendszerek, betöltési számok. Ideális fermiongáz, a Bethe-Sommerfeld féle sorfejtés. Ideális bozongáz, Bose-Einstein kondenzáció. A fotongáz, a Planck-féle sugárzási törvény.

## 10. A részecskefizika standard modelljének elemei

Alapvető kölcsönhatások és megmaradási törvények. Részecskék és mezők közötti megfeleltetés: a Klein-Gordon mező kvantálása, mint példa. Dirac egyenlet, Yang-Mills mezők, spontán szimmetriasértés, Higgs-mechanizmus.

## 11. A standard kozmológiai modell

A kozmológiai elv. Friedmann, Raychaudhuri és folytonossági egyenletek, kapcsolatuk. Állapotegyenletek és a skálafaktor időfejlődése por, sugárzás, kozmológiai állandó esetén. Az univerzum életkora. Luminozitás-távolság vöröseltolódás-függése és kis távolságokra érvényes közelítése: a Hubble-törvény. Feszültségek a Hubble-állandó meghatározásában. Az  $\Omega_{\Lambda 0} - \Omega_{m 0}$  diagramm. Az univerzum összetételét meghatározó megfigyelések. A kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás.

## „B” tételek

### Általános „B” tételek:

#### 1. Fourier-transzformáció fizikai alkalmazásai

Fizikai folyamatok és rendszerek frekvencia analízise. Stacionárius és nem stacionárius jelek. Laplace-transzformáció, Fourier-transzformáció és diszkrét Fourier-transzformáció. A spektrum értelmezése. Rendszerelméleti alapfogalmak, soros RLC-kör átviteli függvénye és mérése. Spektrométer készülék-függvénye (amplitúdóátvitele), spektrális felbontóképesség.

#### 2. Rácsrezgések szilárdtestekben

A háromdimenziós rács rezgései, optikai és akusztikus ágak, fononok. Az állapotsűrűség fogalma, kiszámítási módja, Einstein és Debye közelítése. A fonongáz fajhője, az alacsony hőmérsékletű határeset és a fononkép, a Dulong-Petit-törvény. Rezgésállapotok amorf anyagokban.

#### 3. Elektronállapotok szilárdtestekben

Elektronok periodikus potenciálban, translációs szimmetria, Bloch- állapotok. A sáv szerkezet megjelenése egyelektron közelítésben. Betöltöttség, a fémek, szigetelők és a félvezetők kvalitatív sávképe. Hibahelyek hatása az elektronszerkezetre. Amorf anyagok elektronállapotai. Kísérleti módszerek a sáv szerkezet meghatározására: ARPES, fotoelektron-spektroszkópia.

#### 4. Az anyagok mágneses tulajdonságai

Független részecskék mágnessége. Para- és diamágnesség. Curie törvény. Ferromágneses anyagok, az Ising-modell, átlagtér-közelítés és a Landau-elmélet. Az egydimenziós modell megoldása, energia-entrópia érvelés a mágneses rend létezéséről.

#### 5. Az atommagok kötési energiája

A magrők tulajdonságai. A kötési energia értelmezése a Fermi-féle gázmodellben, cseppmodell, héjmodell. Mágikus számok, oszcillátor potenciál közelítés, a spin pálya kölcsönhatás.

## Modultárgyak tételei:

### I. modultárgy: Környezeti áramlások fizikája

#### 1. A Föld globális energiaegyensúlya és a globális energiateranszport folyamatok

A Föld globális energiaegyensúlyának részfolyamatai és egyszerűsített modelljei. Globális energiateranszport, a légkör cellás szerkezete.

#### 2. Nagyléptékű környezeti áramlások

Áramlások a troposzférában és a planetáris határrétegben

### II. modultárgy: Alkalmazott spektroszkópia

#### 1. Fotoakusztikus spektroszkópia

Fotoakusztikus jelkeltés alapjai. Fotoakusztikus rendszerek felépítése, kalibrációja. Alkalmazások.

#### 2. Optikai abszorpció és gerjesztési spektroszkópia

Természetes vonalszélesség, vonalkiszélesedési mechanizmusok (Doppler, ütközési). Abszorpció és gerjesztési spektroszkópia. A két módszer érzékenysége.

### III. modultárgy: Reaktortechnika

#### 1. Atomreaktorok típusai, reaktorgenerációk

Csoportosítás rendeltetés és biztonság alapján. Az alul- és felülmoderáltság magyarázata. Reaktortípusok felépítés és hűtőközeg alapján. A jövő atomreaktorai, generációs csoportosítás. Tenyésztőreaktorok. Evolúciós és revolúciós reaktorok.

#### 2. Atomerőművek üzemanyagciklusa

Uránbányászat, ércfeldolgozás, dúsítási eljárások. Uránüzemanyagok, a fűtőelemgyártás lépései, fűtőelemtípusok. Hulladékosztályozás, hulladékkezelés, reprocessálás, transzmutáció. Izotóptemetők technikai, földtani jellemzői. Védelmi gátak.

### IV. modultárgy: Globális környezeti katasztrófák

#### 1. Atomerőmű-balesetek

INES-skála. Jelentősebb atomerőmű-balesetek (Windscale, Hanford). A Paksi Atomerőmű üzemzavara. A Csernobili atomerőmű-balesethez vezető tényezők (wigneritis, felülmoderáltság, xenonmérgezés, szabályozórudak helyzete). Beépített védekezési fokozatok a Paksi Atomerőműben.

#### 2. Földrengések

A földrengések lehetséges okai. Intenzitásskálák (Mercalli-skála, Richter-skála, momentummagnitúdó). Földrengéshullámok csoportosítása, fizikai jellemzése. A földszerkezet kutatása földrengéshullámok segítségével. A Föld belső felépítése.

## **V. modultárgy: Lézerek az orvostudományban**

### **1. Lézersebészeti eljárások a szemészetben**

A szem, mint optikai rendszer; refraktív sebészet (rövid-, távollátás lézeres gyógyítása, PRK, LASIK, INTRA-LASIK); átlátszó közegek mögötti lézeres műtéti technikák alkalmazása (zöldhályog, szürkehályog gyógyítása, retinális beavatkozások).

### **2. Lézerspektroszkópia a klinikai diagnosztikában**

Az orvosi diagnosztika lényege, célja; lézer-indukált fluoreszcencia spektroszkópia (LIFS) és alkalmazásai; fotodinamikus diagnosztika és terápia a rák gyógyításában; biológiai anyagok beazonosítása Raman-spektroszkópiával.

## **VI. modultárgy: Femto- és nemlineáris optika alapjai**

### **1. Ultrarövid lézerimpulzusok és terjedésük anyagi közegben**

Ultrarövid fényimpulzusok jellemzése és megadása. Határozatlansági és határozatlansági jellegű relációk  
Rövid impulzusok terjedése lineáris diszperzív közegben. Formulák időben Gauss-eloszlású impulzusokra.

### **2. Nemlineáris optika alapjai**

A fény terjedése anizotróp közegben. Hullámegyenlet nemlineáris polarizációval. Másodharmonikus keltés, háromhullám keverés. Optikai parametrikus erősítés és oszcilláció. Rövid impulzusok önfázismodulációja és következményei.

## **VII. modultárgy: Kvantumelektrodinamika és kvantumoptika**

### **1. Az elektromágneses mező kvantumos szerkezete, kvantumoptika**

A mező felbontása normál módusokra, számállapotok és a foton fogalma. Koherens állapotok és tulajdonságaik. Préselt állapotok.

### **2. Kétnívós atomi rendszer és rezonáns mező kölcsönhatása.**

A Jaynes-Cummings-Paul modell klasszikus és kvantumos leírása. A kvantumos modell kísérleti megvalósítása.

## **VIII. modultárgy: Kvantumtérelmélet**

### **1. Kanonikus és útintegrál kvantálás a szabad skalármező elméletben**

Schrödinger-kép, Heisenberg-kép és Kölcsönhatási-kép. Szabad valós és komplex skalármezők kanonikus kvantálása, Fock-tér; Feynman-propagátor; Wick-tétel. Funkcionális integrál ("útintegrál") a skalár kvantummező-elméletben; generáló-funkcionál skalármezőre; n-pont Green-függvény.

### **2. Önkölcsönható skalármező kvantumtérelmélete**

Szórás-mátrix elemek; Mandelstam-változók; Kölcsönhatási-kép alkalmazása a kölcsönható (valós) skalármezőre; generáló funkcionál; Példa: a  $\phi^4$  önkölcsönható skalármező: Feynman-diagramok, koordináta-térbeli Feynman-szabályok, vákuum-diagramok eliminálódása, Feynman-szabályok impulzus-térben. Lehmann—Symanzik—Zimmermann-redukciós formula (LSZ-redukciós formula) valós skalármezőre.

## **IX. modulárny: Relativisztikus asztrofizika**

### **1. Részecskék mozgása Schwarzschild-téridőben**

Tömeges részecske mozgása, mozgásállandók, pályastabilitás. Bolygópályák precessiója. Fotonok mozgása, fotonpályák stabilitása. Fényelhajlás a Naprendszerben és kompakt égitestek körül.

### **2. Gravitációs lencsézés**

Gravitációs törésmutató. Lencseegyenlet Schwarzschild-téridőben, a képek helyzete, Einstein-gyűrű.

## **X. modulárny: Az általános relativitáselmélet alapjai**

### **1. Riemann-geometria, mint gravitáció**

A metrikus tenzor, metrikával kompatibilis konnexitó, Riemann-, Ricci-, Einstein-tenzorok, Bianchi-azonosság, Einstein-egyenlet. Geodetikus és geodetikus deviációs egyenlet.

### **2. A gravitáció variációs elve**

Einstein-Hilbert hatás variációsja. Energia-impulzus tenzor. Az anyag minimális csatolása, anyagi és elektromágneses mezők görbült háttéren.

## **XI. modulárny: A femtoszekundumos lézerektől az attoszekundumos fizikáig**

### **1. Femtoszekundumos impulzusok**

Ultrarövid impulzusok jellemzői spektrális és időképben. Femtoszekundumos impulzusok időbeli karakterizálására szolgáló diagnosztikai eszközök, működésük fizikai alapelvei, amplitúdó- és fázisrekonstrukció. A pumpa-próba módszer.

### **2. Attoszekundumos fizika**

Atomok erős lézertérben (optikai ionizáció, magasrendű felharmonikusok keltése és annak háromlépcsős modellje, küszöbfeletti ionizáció). Attoszekundumos impulzussorozatok időbeli karakterizálása. Fázisillesztés alapjai.

## **XII. modulárny: Vékonyrétegek előállítása és alkalmazása**

### **1. Vékonyrétegek, keletkezésük és szerkezetük**

A rétegépülés lépései, fizi- és kemiszorpció, klasztermigráció. Rétegépülési módok és azok energetikai leírása. Epitaxia. Szerkezet-zóna modell.

### **2. Fontosabb vékonyréteg-építési technológiák bemutatása és a velük készíthető vékonyrétegek jellemzése**

Párolgatás. Molekulanyaláb-epitaxia. Porlasztás. Kémiai gőzfázisú leválasztás. Atomi rétegleválasztás.

### **XIII. modultárgy: Elméleti asztrofizika 1.**

#### **1. Csillagszerkezetet leíró alapegyenletek**

Csillagok hidrosztatikai egyensúlya. Viriáltétel és stabilitás. Ideális gáz és sugárzási tér állapotegyenlete. Fizikai viszonyok a csillagok felszínén és centrumában. Csillagok szerkezetét leíró differenciálegyenlet-rendszer.

#### **2. Magreakciók a csillagokban**

Magreakciók energetikája. Rezonáns- és nemrezonáns hatáskeresztmetszet. Gyenge kölcsönhatás szerepe. H-He fúzió lehetséges reakcióhálózatai. Nehezebb elemek fúziója. Szupernóva-robbanások szerepe a vasnál nehezebb elemek kialakulásában.

### **XIV. modultárgy: Elméleti asztrofizika 3.**

#### **1. A sugárzás terjedése a csillaglégkörben**

Optikai mélység fogalma. A sugárzási transzferegyenlet plánparallel atmoszférában. A transzferegyenlet formális megoldása. Abszorpció és emissziós folyamatok, folytonos és vonalas abszorpció. Szürke atmoszféra modellje.

#### **2. A csillagpulzáció elméleti alapjai**

Asztrofizikai közegek hidrodinamikai alapegyenletei: kontinuitási egyenlet, Euler-egyenlet, energiaegyenlet. Euler- és Lagrange-kép. Egyzóna-modell és tulajdonságai. A lineáris, adiabatikus, radiális pulzáció egyenlete (Sturm-Liouville probléma) és tulajdonságai. Pulzáló csillagok empirikus periódus-fényesség relációjának elméleti értelmezése.

### **XV. modultárgy: Obszervációs csillagászat 1.**

#### **1. Változócsillagok alapvető típusai és megfigyelési módszereik**

Pulzáló változócsillagok az instabilitási sávban és azon kívül. Rotáló változócsillagok. Kettős és többes csillagrendszerek. Eruptív változócsillagok. Kataklimikus változócsillagok.

#### **2. Kozmikus távolságmérés**

A Csillagászati Egység fogalma és mérése. Trigonometriai parallaxis. Távolságmérés változócsillagok vizsgálatával. Extragalaktikus távolságmérési módszerek. A kozmikus távolságlétra.

### **XVI. modultárgy: Alkalmazott statisztikus fizika**

#### **1. Komplex hálózatok és matematikai modelljei**

Komplex hálózatok példái és jellemzői. A komplex hálózatok matematikai modelljei: Erdős-Rényi-modell, perkoláció, kicsi a világ modell, skálamentes hálózat modellje.

#### **2. Pénzügyi befektetések kockázatelemzése és a portfólió optimalizáció**

A befektetések kockázatának jellemzői (volatilitás, kockázati érték). A portfólió optimalizáció alapjai Gauss-típusú befektetések esetén (nem korrelált és korrelált befektetések példáján).