

# A Debreceni Egyetem FIZIKAI TUDOMÁNYOK doktori iskolájának foglalkozásai

## 2019.

---

Vezető: Dr. Kun Ferenc,  
egyetemi tanár

---

Debreceni Egyetem, TTK, Elméleti Fizikai Tanszék  
Cím: 4026 Debrecen, Bem tér 18/b  
Postacím: 4002 Debrecen, Pf. 400.  
Telefon: +36-52-509-201, fax: +36-52-509-258  
Elektronikus levél: [ferenc.kun@science.unideb.hu](mailto:ferenc.kun@science.unideb.hu)  
URL: <http://physphd.unideb.hu>

---

Szerkesztette:  
Dr. Oláh László, Kunné Dr. Sohler Dorottya

Tartalomjegyzék

|  |    |
|--|----|
| I. Atom és molekulafizikai program                             | 3  |
| II. Magfizikai program   | 9  |
| III. Szilárdtestfizika és anyagtudományi program               | 19 |
| IV. Fizikai módszerek interdiszciplináris kutatásokban program | 31 |
| V. Részecskefizikai program                                    | 42 |

Debrecen, 2019. április 14.

# I. Atom- és molekulafizikai program

Az oktatók neve: **Dr. Vibók Ágnes**

**PF1/31-93**

## Atomfizika

A kurzus célja, hogy áttekintse a modern atomfizika elméleti alapjait. A kurzus bevezeti a hallgatót az atomfizika elméletébe és alapokat biztosít ahhoz, hogy az atomfizikai speciális kurzusokba megfelelő előképzettséggel kapcsolódjon be.

A kurzus rövid tematikája:

### I. Egyelektronos atomok

1. A hidrogénatom Schrödinger egyenlete, energianívók, kötött és folytonos állapotok
2. Várható értékek, a viriál tétel
3. Speciális egyelektronos rendszerek: hidrogénszerű ionok, pozitronium és müonikus atomok

### II. Egyelektronos atomok kölcsönhatása az elektromágnes térrel

4. Az elektromágneses tér és kölcsönhatása az egyelektronos atomokkal, átmeneti valószínűségek, dipólus közelítés
5. Einstein-együtthatók, kiválasztási szabályok, vonalszélességek és élettidők
6. Finomszerkezet, Zeeman-effektus, Stark-effektus, Lamb-eltolódás

### III. Kételektronos atomok

7. Schrödinger egyenlet, energianívók, a független-részecske modell
8. Kételektronos atomok alap és gerjesztett állapotai, kétszeresen gerjesztett állapotok, Auger-effektus

### IV. Többeelektronos atomok

9. Gömbszimmetrikus közelítés, Thomas-Fermi modell
10. Hartree-Fock és önkonzisztens tér módszer, L-S és j-j csatolás
11. Többeelektronos atomok kölcsönhatása az elektromágneses térrel

### V. Atomi ütközések

12. Alapfogalmak és potenciálszórás

### Irodalom:

1. B. H. Brandt and C. J. Joachain: Physics of Atoms and Molecules, Longman Scientific & Technical, England, 1988
2. H. A. Bethe and E. E. Salpeter: Quantum Mechanics of One- and Two-Electron Atoms, Plenum Rosetta, New York, 1977
3. H. Friedrich: Theoretical Atomic Physics, Springer-Verlag, 1990

Az oktató neve: **Dr. Vibók Ágnes**

**PF1/32-93**

## Molekulafizika

A hidrogénmolekula. Kétagatomos molekulák. Többatomos molekulák. Molekulapálya módszer.  $\pi$ -elektronos rendszerek. Elektromos dipólmomentum. Mágneses szuszceptibilitás. Két- és többatomos molekulák rezgési és forgási spektruma. Molekulák elektronspektruma.

Irodalom:

1. Weissbluth, M.: Atoms and molecules. Academic Press, 1978
2. Morrison, M. A., Estl T. L.-Lane, N. F.: Quantum states of atoms, molecules, and solids. Pentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1976
3. Herzberg, G.: Spectra of Diatomic Molecules, Van Nostrand-Reinhold, Princeton, New Jersey, 1950
4. Herzberg, G.: Electronic Spectra and Electronic structure of poliatomic molecules, Van Nostrand-Reinhold, Princeton, New Jersey, 1966
5. Kapuy E., Török F.: Az atomok és molekulák kvantumelmélete, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1975

Az oktatók neve: **Dr. Sarkadi László**

**PF1/34-93**

### **Atomi ütközési folyamatok elméleti leírása**

A kurzus célja, hogy áttekintse az atomi ütközések modern elméleti leírásának elveit és technikáit. A kurzus bevezeti a hallgatót az atomi ütközések elméletének irodalmába és alapokat biztosít arra, hogy az atomi ütközések témakörben önálló elméleti munkát kezdjen, illetve alapokat biztosít a kísérleti fizikusok számára ahhoz, hogy eligazodjanak az atomi ütközések elméleti leírásában.

A kurzus rövid tematikája:

1. és 2. Szóráselméleti alapfogalmak
3. A Born-közelítés és a féklklasszikus közelítés
4. és 5. A hosszú hatótávolságú erő kezelése (SPB, CDW, stb)
6. Fotoionizáció
7. Elektronokkal létrehozott ionizáció
8. Nehéz töltött részekkel létrehozott ionizáció
9. Kétszeres és többszörös ionizáció
10. Rekombinációs folyamatok
11. Atomi átrendeződési folyamatok
12. Elektronkorreláció

Irodalom:

1. M. R. C. McDowell and J. P. Coleman: Introduction to the Theory of Ion-Atom Collision, Am. Elsevier, New York, 1970
2. B. H. Bransden and C. J. Joachain: Physics of Atoms and Molecules, Longman Scientific & Technical, England 1988
3. B. H. Bransden and M. R. C. McDowell: Charge Exchange and the Theory of Ion-Atom Collisions, Oxford Univ. Press (Int. Series of Monographs on Physics No. 82.) Clarendon Press, 1992
3. H. Friedrich: Theoretical Atomic Physics, Springer-Verlag, 1990
4. Válogatott fejezetek D. Bates ed., Advances in Atomic and Molecular Physics, Academic Press, New York 1-30 köteteiből

### **Atomi ütközési folyamatok kísérleti vizsgálata**

A kurzus célja, hogy áttekintse az atomi ütközések modern kísérleti vizsgálatának elveit és technikáit. A kurzus bevezeti a hallgatót az atomi ütközések kísérleti vizsgálatának irodalmába és alapokat biztosít arra, hogy az atomi ütközések témakörben önálló kísérleti munkát kezdjen, illetve alapokat biztosít a elméleti fizikusok számára ahhoz, hogy eligazodjanak az atomi ütközések kísérleti vizsgálatáiban.

A kurzus rövid tematikája:

- 1., 2. Atom- és ionnyalábok preparálása (ionforrások, gyorsítók, tárológyűrűk)
3. Targetek preparálása (szilárd targetek, gőz- és gáztargetek)
4. Röntgenfoton-nyalábok (röntgensövek, szinkrotron sugárzás)
- 5., 6. Ütközési alapfolyamatok kísérleti azonosítása (ionizáció, töltéscsere többelektronos folyamatok)
7. Átrendeződési folyamatok és kísérleti azonosításuk (Auger-elektron és röntgenemisszió, Coster-Kronig átmenetek, rekombináció)
8. Röntgenspektrométerek és detektorok
9. Elektronspektrométerek és detektorok
10. Koincidencia-technikák
11. Adatfeldolgozás (röntgen- és elektronspektrumok kiértékelése, koincidencia adatok feldolgozása)
12. Rekombinációs folyamatok (RTE, DR, elektronkorreláció)

Irodalom:

1. H. Haken and H. C. Wolf: Atomic and Quantum Physics, Springer-Verlag, 1991
2. Válogatott fejezetek a C. Marton (Editor-in-Chief), Methods of Experimental Physics, Academic Press, New York köteteiből
3. Válogatott fejezetek D. Bates ed., Advances in Atomic and Molecular Physics, Academic Press, New York 1-30 köteteiből

### **Soktestprobléma elmélet és alkalmazások**

Green függvények  $T=0$ ,  $T \neq 0$  hőmérsékleten. Wick-tétel, Gell Mann-Low-tétel. Feynmann diagramtechnika. Korrelációs függvények. Matzubara-számítástechnika. Zubarev-számítástechnika. Gorkov-egyenlet. Kanonikus transzformációk módszere. Alkalmazások. (BCS elmélet. Szuprafluiditas. Anderson-modell. Sáv-ferromágnesesség. Koegzisztencia problémák leírása. Hubbard-modell. Periódikus Anderson-modell. Két-aktív sávú rendszerek leírása, excitónikus rendszerek, excitónikus ferromágnes. Lokalizált spin-rendszerek, Holstein-Primakoff transzformáció. Edwards-Anderson modell.)

Irodalom:

1. Fetter, A. L.-Walecka, J. D.: Quantum Theory of Many-Particle Systems.
2. Abrikosov, A. A., Gorkov, L. P. Dzyaloshinskii, I. Y.: Quantum Field Theoretical Methods in Statistical Physics (Pergamon Press, Second Ed., 1965)

Az oktató neve: **Dr. Nagy Ágnes**

**PF1/39-93**

### **Sűrűségfunkcionál elmélet**

Hohenberg-Kohn-tételek, Slater-Gáspár-Kohn-Sham-elmélet, a szabad elektrongáz-közelítés, a Thomas-Fermi és más modellek, lokális sűrűségfunkcionál elmélet,  $X\alpha$  módszer, kémiai potenciál és elektronegativitás, kiterjesztés véges hőmérsékletű rendszerre, gerjesztett állapotokra, időfüggő rendszerekre, relativisztikus elektronsűrűség elmélet.

Irodalom:

1. Parr, R. G., Yang, W.: Density Functional Theory of Atoms and Molecules, Oxford Univ. Press, New York, 1989
2. March, N. H.: Electron density theory of atoms and molecules, Academic Press, London, 1992
3. Lundqvist, S., March, N.H.: Theory of the Inhomogeneous Electron Gas, Plenum Press, New York, 1983
4. Erdahl, R., Smith, V. H.: Density Matrices and Density Functionals, Reidel, Dordrecht, 1987
5. Dreizler, R. M. Providencic, J.: Density Functional Methods in Physics, Plenum Press, New York, 1985
6. Keller, J., Gázquez, J. I.: Density Functional Theory, Springer Verlag, Berlin, 1983

Az oktató neve: **Dr. Nagy Ágnes**

**PF1/315-93**

### **Nemlineáris jelenségek, káosz**

A nemlineáris dinamika alapfogalmai. Hamilton és disszipatív rendszerek. Stabilitás analízis. Poincaré-leképezés. Bifurkáció. Logisztikus leképezés. Kaotikus mozgás. Fraktálok. Multifraktálok. Információ, dimenzió, entrópia. KAM-tétel.

Irodalom:

1. Szépfalussy, P., Tél, T.: Káosz, Akadémiai Kiadó, Budapest, 19..
2. Thompson, J. M. T., Stewart, H. B.: Nonlinear Dynamics and Chaos, John Willey, New York, 1986
3. Lichtenberg, A. J., Lieberman, M. A.: Regular and Stochastic Motion, Springer-Verlag New York, 1983
4. Haken, I. I.: Szinergetika. Műszaki K., Budapest, 1984

Az oktató neve: **Dr. Cseh József**

**PF1/319-97**

### **Szimmetriák két-és többtest-problémákban**

(Ld. PF2/32-93)

Az oktató neve: **Dr. Nagy Ágnes**

**PF1/321-00**

### **Klasszikusan kaotikus rendszerek kvantummechanikája (Kvantumkáosz)**

Félklasszikus (Einstein-Brillouin-Keller) kvantálás. Heron-Heiles csatolt oszcillátorok. Időmegfordítás. Energiaszintek taszítása. Véletlen mátrix elmélet. H-atom mágneses térben. Standard leképezés.

Az oktató neve: **Dr. Tőkési Károly**

**PF1/322-08**

### **Fizikai folyamatok számítógépes modellezése**

Tematika:

Fizikai alapfogalmak áttekintése (2X2 óra).

Fizikai rendszerek matematikai leírása, Monte Carlo módszerek (2X2 óra).

Atomfizikai alkalmazások, klasszikus atommodellek, a Kepler egyenlet, 3 részecske mozgások (4X2 óra).

Elektronok bolyongás szilárdtestekben (2X2 óra).

Magasabb rendű mozgások (4X2 óra).

Irodalom:

Landau-Lifsic I Mechhanika

Bjarne Stroustrup: A C++ programozási nyelv (Kiskapu kiadó, 2001)

Jasmin Blanchette, Mark Summerfield: C++ CUI Programming with Qt 3

Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest: Algoritmusok (Műszaki kiadó, 1997)

Stoyan Gisbert, Takó Galina: Numerikus módszerek I. (Typotex, 2002)

Donald E. Knuth: A számítógép-programozás művészete 3.

Az oktató neve: **Dr. Tőkési Károly**

**PF1/323-08**

### **Programozási esettanulmányok**

Tematika:

Programtervezési alapismeretek (2X2 óra).

Programtervezés, algoritmizálás, kódolás (2X2 óra).

Rugalmas és rugalmatlan ütközések 3D modellezése (4X2 óra).

Magasan töltött ionok és felületek kölcsönhatásainak komplex leírása (4X2 óra).

Nanofizikai alkalmazások (6X2 óra).

Irodalom:

Bjarne Stroustrup: A C++ programozási nyelv (Kiskapu kiadó, 2001)

John Vlissides, Richard Helm, Ralph Johnson, Erich Gamma: Programtervezési minták (kiskapu kiadó, 2004)

Jasmin Blanchette, Mark Summerfield: C++ CUI Programming with Qt 3

Bányász Gábor, Levendovszky Tihamér: Linux programozás (SZAK kiadó, 2003)  
(aQt-hez további dokumentáció)

Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest: Algoritmusok (Műszaki kiadó, 1997)

Numerical Recipies

Stoyan Gisbert, Takó Galina: Numerikus módszerek I. (Typotex, 2002)

Donald E. Knuth: A számítógép-programozás művészete 3.

### **Bevezetés az attofizika elméletébe**

A kurzus Joachim Burgdörfer vendégelőadó közreműködésével valósul meg. A kurzus nyelve: angol.

- 1) Rövid áttekintés: kvantum dinamika időablakai.
- 2) Kapcsolat a klasszikus és kvantummechanika között - ultrarövid időskála.
- 3) Időskálázás az atomok, molekulák és kondenzált anyagok fizikájában.
- 4) Kirándulás: kísérleti előrelépések az idő-feloldásos ultragyors folyamatok tanulmányozásában.
- 5) Az "erős-tér" fizika elemei.
- 6) Az idő és az időképletelés operátor.
- 7) Attomásodperces csíkozódás és az ehhez kapcsolódó folyamatok.
- 8) A csíkozódás megfigyelése atomokban, molekulákban és szilárd anyagokban.
- 9) Kvantum időrendező operátor és amit ennek segítségével kísérletileg is megfigyelhetünk.
- 10) Probléma az "alagúthatás idejében": az attofizika hozzájárulhat ennek megoldásához?
- 11) Az atto és nano kombinálása: egy ciklusnál kisebb feloldású kibocsájtás nanostruktúrákból.
- 12) Fényerőtér-elektronika: femtomásodpercen belüli szigetelő-fém átmenet.

### **Plazmafizika alapjai**

*(a foglalkozás leírását lásd **PF4/324-18**)*



## II. Magfizikai program

Az oktatók neve: **Dr. Angeli István, Dr. Nyakó Barna**

**PF2/31-93**

### Az atommag töltés- és anyageloszlása

A töltéseloszlás mérési módszerei, a kiértékeléssel kapcsolatos problémák, korrekciók. A sűrűségeloszlás jellemzése modelfüggvényekkel ill. modelfüggetlen mennyiségekkel. A töltéssugár tömegszám-függésének finomszerkezete; kapcsolata a kötési energia finomszerkezetével. Sugárformulák. A nukleoneloszlás mérésének módszerei. A magfelület szerepe. Gyorsneutron-hatáskeresztmetszetek mérésének módszerei; értelmezésük. Az optikai modell különböző változatai ill. szintjei.

A magdeformáció kísérleti vizsgálata elektromágneses és nukleáris kölcsönhatás útján: a deformációt jellemző paraméterek. Különleges magalakok: szuperdeformált, háromtengelyű, oktupól; alak-koegzisztencia. Szuperdeformált atommagok kialakulása, lebomlásának kísérleti vizsgálata; az eredményekben mutatkozó általános tendenciák. Hiperdeformált magok kutatása.

Irodalom:

1. C. J. Batty, et al.: Advances in Nuclear Physics, **19** (1998) 1
2. J. F. Sharpey-Schafer, and J. Simpson: Progress in Particle and Nuclear Physics, **21** (1988) 293

Az oktató neve: **Dr. Cseh József**

**PF2/32-93**

### Szimmetriák két-és többtest-problémákban

Tartalom:

I. A kompakt unitér algebrák alkalmazása

- $U(2)$ : impulzusmomentum  
izotópspin  
kétatomos molekulák rezgései
- $U(3)$ : ritkaság és a kvarkok  
térbeli harmonikus oszcillátor  
az atommagok héj-modellje
- $U(4)$ : kétatomos molekulák rezgése és forgása  
Wigner-féle szupermultiplettek, magtömegek  
az atommagok egyszerű csomómodellje  
a mezonspektrum  
 $U_i(4) \dot{\wedge} \dots \dot{\wedge} U_{k_i}(4)$ :  $k$  atomos molekulák rezgése és forgása  
 $U(4) \dot{\wedge} U^{sr}(4) \dot{\wedge} U(3) \dots$ : az atommagok csomómodellje
- $U(6)$ : az atommagok kollektív állapotai  
káosz és dinamikai szimmetria  
hipermagok  
íz-spin szimmetria a hadronspektrumban  
 $U(6) \dot{\wedge} U(m)$ : az atommagok kollektív és egyrészesecskes állapotai

$U(7)$  a kvantummechanikai háromtestprobléma  
háromatomos molekulák  
alfaklaszter-állapotok atommagokban  
barionspektrum

## II. Egyéb algebrák alkalmazása

$O(4)$ : a Kepler-probléma szimmetriája  
 $O(3,1)$ : algebrai szóráselmélet  
 $O(4,2)$ : a Kepler-probléma dinamikai algebrája  
 $U(6/m)$ : szuperszimmetria atommagokban  
 $U_q(m)$ : kvantumcsoportok a soktest-problémában

Az oktatók neve: **Dr. Vertse Tamás**

**PF2/35-93**

## Magmodellek

Tematika:

### I. félév

1. Folyadékcsepp modell. (2x2 óra)
2. A héjmodell. (3x2 óra)
3. A mag forgása és az egyrészecske-mozgás. (2x2 óra)
4. A magerők. (2x2 óra)
5. A Hartree-Fock módszer. (2x2 óra)

### II. félév

6. A párkölcsönhatások és a szupravezető mag. (2x2 óra)
7. Az általánosított egyrészecske-modell (2x2 óra)
8. A harmonikus rezgések. (2x2 óra)
9. A magok csomómodellje. (2x2 óra)
10. Az időtől függő Hartree-Fock-módszer. (2x2 óra)

Az oktatók neve: **Dr. Somorjai Endre**

**PF2/36-93**

## Nukleáris asztrofizika

- A.) Csillagok általános jellemzői (Mérhető mennyiségek)  
Luminositás; hőmérséklet; tömeg; sugár; távolság. Energetika. A Hertzsprung-Russel diagram. Csillag halmazok. A csillagok fejlődése. A csillagok belsejének fizikai jellemzői.
- B.) Az Univerzum magyarázata  
Kozmológia (big bang). Nukleogenezis a korai Univerzumban. Galaxis-képződés. Háttérsugárzás. A kozmológia és az elemi részek kapcsolata.
- C.) A termonukleáris reakciók általános jellemzői  
A magenergia forrása. Hatáskeresztmetszet, reakciósebesség. Hatáskeresztmetszet-faktor. Energiatermelés. A reakciósebességek meghatározása különböző reakciókra.
- D.) Energiatermelő és/vagy szintetizáló folyamatok  
Hidrogén-égés (p-p láncok, CNO és más ciklusok). Hélium-égés. Magasabb-rendű égések (C, Ne, O és Si) és a robbanásos égés (Szupernóvák). Az r-, s-, és p-folyamatok.
- E.) A nukleáris asztrofizika laboratóriumi eszközei és módszerei. Ionnyalábok (ionforrások, gyorsítók). Céltárgyak és céltárgy kamrák. Detektorok és detektálási technikák. Kísérleti módszerek, mérés-kiértékelés. Modern technikák (radioaktív nyalábok, céltárgyak, stb.).
- F.) Egyéb speciális kérdések

A Nap-neutrínó probléma. Izotóp anomáliák és magyarázatuk. A könnyű elemek eredete (kozmosz sugárzás, spallációs reakciók).

Az oktató neve: **Dr. Raics Péter**

**PF2/312-93**

### **Magreakciók vizsgálati módszerei**

Kísérleti adatok a magreakciók leírására. Töltött-részecske nyalábok előállítása, diagnosztikája. Neutronforrások, neutronterek jellemzése (Fluxussűrűség, hátterek). Reakciótermékek detektálása, spektrometriája. Hatáskeresztmetszet-mérési eljárások: aktivációs technika, prompt módszerek. Gerjesztési függvények meghatározása. Differenciális hatáskeresztmetszet mérése. Korrelációs technikák, többparaméteres mérések.

A rugalmas, rugalmatlan szórás és a magreakciók elméletének alapjai, direkt és közbenső-magon keresztül lejátszódó reakciók. Optikai modell, csatolt csatornás számítások, szórásmatrix. Magreakciók statisztikus modelljei: Hauser-Feshbach modell, preekvilibrium modellek (exciton, geometriai függő hibrid modell, stb.) Többlépcsős direkt és compound reakciók. A különböző magreakció-modellekre készült számítógépi programok áttekintése. Magreakció-modellek felhasználása a kísérleti adatok analízisében.

Az előadásokat gyakorlati foglalkozások egészítik ki.

Az oktatók neve: **Dr. Sailer Kornél**

**PF2/313-93**

### **Nem egyensúlyi statisztikus fizika**

Az előítélet mentes becslés elve. Az elégséges megfigyelési szinthez tartozó entrópia. A dinamikai folyamatok első főtétele. A dinamikai folyamatok második főtétele. Releváns és irreleváns fizikai mennyiségek. A sűrűség-operátor releváns irreleváns felbontása. Lineáris válasz. Kis eltérések az egyensúlytól. Nakajima-Zwanzig- és Robertson-egyenlet.

Az oktató neve: **Dr. Sailer Kornél**

**PF2/314-93**

### **TRIANGLE-kurzus**

Kb. 2-3 éve ismétlődő, a TRIANGLE keretében közép-európai összefogással szervezett egyhetes intenzív doktori tanfolyam valamely a magfizikai kutatás élvonalához tartozó tématerületen (hazai és külföldi) szaktekintélyek előadásában.

Az oktató neve: **Dr. Sailer Kornél**

**PF2/315-93**

### **Bevezetés a kvantumtérelméletbe**

A Feynman-féle pályaintegrál. A kvantumtérelmélet generáló funkcionálja. A Green-függvények. A perturbáció-számítás. A Feynman-szabályok. Az  $S$ -mátrix és a differenciális hatáskeresztmetszetek. A térelmélet globális szimmetriái. A megmaradó áramok (Noether-tétel). A lokális mértékszimmetriák. A mértékelméletek pályaintegrállal történő kvantálása (Faddeev-Popov-féle eljárás, szellemterek). A Compton-szórás hatáskeresztmetszete.

Az oktató neve: **Dr. Sailer Kornél**

**PF2/317-93**

### **Szimmetriák és sérülésük a kvantumtérelméletben**

Mértékelméletek és BRS-szimmetria. A kvantumtérelméletek regularizálásának módszerei. Renormálási csoport szimmetria. Skála-transzformációkkal szembeni szimmetria. Dimenzionális transzmutáció. Ward- ill. Slavnov-Taylor-azonosságok. A szimmetriák explicit, spontán és anomália útján való sérülése. Globális és lokális szimmetria spontán sérülése. Goldstone-bozon. Higgs-mechanizmus. a pion, mint Goldstone-bozon. Higgs-mechanizmus az elektro-gyenge kölcsönhatás elméletében. Királis szimmetria és királis anomália szerepe az alacsony-energiás hadronfizikában. Centrum-szimmetria a kvantum-szindinamikában és a bezárás jelensége. A centrumszimmetria dinamikai sérülése.

Az oktató neve: **Dr. Trócsányi Zoltán**

**PF2/321-93**

### **Standard modell**

Az elektrogyenge és az erős kölcsönhatás fenomenológiája kerül tárgyalásra az  $SU(3)\otimes SU(2)\otimes U(1)$  mértékelmélet felől megközelítve. A szimmetriák térelméletbeli szerepének rövid összefoglalásával kezdünk. Ezután a standard  $SU(3)\otimes SU(2)\otimes U(1)$  mértékelmélet leírásában mélyedünk el. A fő fejezetek:

- $SU(2)\otimes U(1)$  és leptonok
- kvarkok és a szín- $SU(3)$
- a Standard Modell renormálása
- perturbatív kvantum-szindinamika
- hadronok szemileptonikus bomlásai
- királis Lagrange-sűrűségek

Az oktató neve: **Dr. Sailer Kornél**

**PF2/322-93**

### **Húrelmélet**

A bozonikus húr klasszikus mechanikája. A bozonikus húr kvantummechanikája. Konformtér-elmélet. Reparametrizációs szellemterek és BRST kvantálás. Zárt fermionikus húr klasszikus mechanikája. A zárt fermionikus húr kvantummechanikája. Szuperhúrok. 10-dimenziós heterotikus húr. Kac-Moody algebrák. Kovariáns rácsok. 4-dimenziós heterotikus húr. Alacsony energiás határeset.

Az oktató neve: **Dr. Krasznahorkay Attila**

**PF2/323-93**

### **Mérések mágneses spektrográffal**

Tematika:

1. A mágneses spektrográf megismerése, használata
  - működési elv, a  $B\rho$  fogalma, kettős fókuszálás, felbontás, fényerő
  - mágneses termérés NMR-rel
  - helyzetérzékeny Si detektorok használata

- 2.) Az  $^{154}\text{Sm}(\alpha, \alpha')$  inelasztikus szórás szögeloszlásának meghatározása  $E_\alpha = 10$  MeV-nél és  $E_\alpha = 18$  MeV-nél a mágneses spektrográffal ciklotron nyalámban.
- 3.) A kísérleti eredmények feldolgozása és értelmezése.  
Az  $^{154}\text{Sm}$  töltés és tömegeloszlása kvadrupól deformációs paraméterének meghatározása.

Az oktató neve: **Dr. Csikai Gyula**

**PF2/324-95**

### **Neutron és reaktorfizika**

A neutron fizikai tulajdonságai. Neutronforrások. Neutron detektorok. Neutronok lassulása és diffúziója. Neutronok energiaspektrumának és fluxusának meghatározása. Hatáskeresztmetszetek mérési módszerei. Optikai tulajdonságok és alkalmazásai. Maghasadás. Kritikus rendszerek. Heterogén reaktorok. Homogén reaktorok. Reaktorok kinematikája és vezérlése.

Az oktató neve: **Dr. Csikai Gyula**

**PF2/325-95**

### **Nukleáris módszerek tudományos és gyakorlati alkalmazásai**

Roncsolásos és roncsolás mentes analitikai módszerek. Szerkezet vizsgáló eljárások. Makroszkopikus és mikroszkopikus fizikai paraméterek meghatározása különböző összetételű és méretű minták esetén. Sugárzások hatása különböző technológiai és biológiai anyagokra. Érzékenység, pontosság és gyorsaság összevetése más módszerekkel. A nukleáris módszerek előnyei és korlátjai.

Az oktató neve: **Dr. Csikai Gyula**

**PF2/326-95**

### **Radioaktivitás és atommagfizika**

Radioaktív anyagok a természetben. A radioaktív bomlás törvényszerűségei. Alfa- béta- és gamma-sugárzás, elektron befogás. Sugárzások kölcsönhatása anyaggal, mérőberendezések. Az atommag statikus és dinamikus tulajdonságai. Elemi részecskék és kölcsönhatásaik. Az univerzum fejlődéstörténete. Részecskegyorsítók.

Az oktató neve: **Dr. Sailer Kornél**

**PF2/327-95**

### **$T \neq 0$ kvantumtérelmélet**

Az ideális Fermi- és Bose-gáz. Kölcsönható terek perturbatív tárgyalása. Kvantumelektrodinamika  $T \neq 0$  hőmérsékleten (feketetest sugárzás, elektron-pozitron plazma). Kvantum-szándinamika véges hőmérsékleten (kvarkgluon-plazma). Fázisátalakulások.

Az oktató neve: **Dr. Sailer Kornél**

**PF2/328-93**

## **Renormálási csoport a fizikában**

Önhasonlóság és skálainvariancia. A renormálási csoport alkalmazása a káosz, a perkoláció és a kritikus jelenségek vizsgálatában. Az Ising modell vizsgálata a renormálási csoport segítségével. A skalártér elmélete: átlagközelítés, spontán szimmetriasérülés. Gauss-fixpont. Wegner-Houghton-egyenlet.  $\epsilon$ -sorfejtés. Kosterlitz-Thouless fázisátalakulás.

Az oktató neve: **Dr. Vertse Tamás**

**PF2/329-97**

## **Numerikus módszerek a gyakorlatban**

A kurzus célja az, hogy megismertesse a hallgatókat a leggyakoribb numerikus feladatok megoldásával FORTRAN programozási nyelven. A foglalkozások az ISZK termináljain való interaktív programozási gyakorlatok.

Témakörök:

1. interpoláció,
2. numerikus differenciálás és integrálás,
3. differenciálegyenletek megoldása,
4. lineáris egyenletrendszerek megoldása,
5. sajátérték problémák,
6. nemlineáris egyenletek és egyenletrendszerek,
7. függvényközelítések.

Az oktató neve: **Dr. Cseh József**

**PF2/330-97**

## **Magfizikai szemináriumok**

A szemináriumsorozat célja a napjainkban folyó kísérleti és elméleti magkutatásban történő tájékozódás elősegítése. Két pilléren nyugszik. Egyfelől: átlagosan kéthetente olyan előadásra kerül sor, amelyet vagy a Debrecenbe (KLTE, ATOMKI) dolgozó kutatók, vagy az idelátogató külföldi szakemberek tartanak. Másfelől: olyan áttekintő közleményeknek a hallgatók által történő feldolgozását és ismertetését foglalja magában, amelyek ezen előadásokhoz és általában a legújabb kutatásokhoz kapcsolódnak.

Az oktató neve: **Dr. Sailer Kornél, Dr. Schram Zsolt**

**PF2/334-02**

## **Modellek és módszerek az elméleti fizikában**

A modern elméleti fizika aktuális kérdéseiről, kutatási eredményeiről, helyi és meghívott külső előadók (hazai és külföldi) tartanak hetente szemináriumi előadásokat. Az előadások az újonnan megjelent modellek, a leírásra használt új módszerek, az új számítógépes fizikai eljárások elvi és technikai részleteit mutatják majd be.

Az oktató neve: **Dr. Krasznahorkay Attila**

**PF2/335-06**

## **Kísérletek mágneses tömegszeparátorral**

Egy rádiófrekvenciás ionforrás üzembe helyezése, működési jellemzőinek vizsgálata.

Az ionok gyorsítása elektromos térrel, a részecskenyaláb megfigyelése kvarc ernyőn. A nyaláb emittanciájának becslése. Fókuszálás elektrosztatikus kvadrupólus lencse segítségével.

A részecskenyaláb eltérése mágneses térben. A mágneses tér mérése Hall szondával, illetve NMR-el. A nyaláb eltéréseinek kiszámítása illetve megmérése. A mágneses eltérés hatása a nyaláb fókuszáltságára. Árammérés a tömegszeparátor fókuszsíkjában. A nitrogén és az oxigén különböző izotópjainak megkeresése. A szeparátor tömegfelbontásának meghatározása. A tömegfelbontás optimalizálása.

$^{15}\text{N}$  ionok implantálása vas felületbe. A kapott nitrogén koncentráció mélységi eloszlásának vizsgálata a  $^{15}\text{N}(p,\alpha\gamma)^{12}\text{C}$  magreakció segítségével. A  $^{12}\text{C}$  4.44 MeV-es  $\gamma$ -sugárzásának vizsgálata az  $E_p = 898$  keV-es rezonancia környékén.

Az oktató neve: **Dr. Krasznahorkay Attila**

**PF2/336-10**

### **Az atommagok kollektív gerjesztett állapotai**

- Az atommagok alacsonyenergiás rotációs és vibrációs állapotainak kísérleti kimutatása és elméleti értelmezése. Erősen deformált szuper- és hiperdeformált állapotok.
- Az első óriásrezonanciák felfedezése és leírása a cseppmodellel. Az óriásrezonanciák osztályozása. Szelektív gerjesztések különböző magreakciók segítségével. Izovektor és izoskalár óriásrezonanciák.
- Spin és izospin gerjesztések. Mikroszkopikus értelmezés, összszabályok. Kísérleti módszerek az óriásrezonanciák vizsgálatára. Az óriásrezonanciák bomlása.
- Az óriásrezonanciák tulajdonságaira vonatkozó kísérleti ismereteink összefoglalása.
- Az óriásrezonanciák felhasználása a maganyag tulajdonságainak pontosabb meghatározására.

Az oktató neve: **Dr. Timár János**

**PF2/337-11**

### **A forgó atommag kísérleti szemmel**

A kurzus az atommag forgására vonatkozó, illetve a mag-forgás kísérleti tanulmányozásához szükséges alapismereteket foglalja össze, valamint ismerteti néhány forgó atommagban fellépő, napjainkban vizsgált jelenséget.

Tematika:

- A forgási sáv fogalma, jellemzői, jellege a különböző típusú atommagokban
- A forgási sáv kísérletileg mérhető tulajdonságai: dipól és kvadrupól sáv, forgási frekvencia, tehetetlenségi nyomaték, Routhian, alignment, elektromágneses átmeneti valószínűségek, élettido, kvadrupólmomentum
- A mérhető tulajdonságok kapcsolata a belső egyrészecske konfigurációval
- Kísérleti módszerek: fúzió-párolgási magreakció; labda gamma-detektor rendszerek, kiegészítő detektorok; többszörös gamma koincidencia, DCO, lineáris polarizáció, nívóélettido mérés
- A forgás során fellépő speciális jelenségek: sávkereszteződés, sávlezáródás, szignatúra felcserélődés, királis forgás

Az oktató neve: **Dr. Fülöp Zsolt**

**PF2/338-12**

## Bevezetés a nukleáris asztrofizikába

A kurzus Thomas Rauscher vendégelőadó közreműködésével valósul meg.  
A kurzus nyelve: angol.

A szükséges termodinamikai ismeretek rövid áttekintése

Rövid bevezető a magreakciók elméletébe

Asztrofizikai reakciósebességek és reakció hálózatok

Az ősröbbanásban lejátszódó nukleoszintézis (standard és nem-standard)

A kozmikus mikrohullámú háttér

A csillagok hidrosztatikus égési fázisai (magfizikai szempontból):

Hidrogén égés (pp-láncok, CNO ciklus)

- a napneutrínó probléma rövid ismertetése

- hélium égés

- előrehaladott égési fázisok: C-, Ne-, O-, Si-égés

Az (egyszerű) csillagmodellek és csillagszerkezetek:

- A csillagszerkezet alapvető hidrosztatikai egyenletei
- Az Lane-Emden egyenlet
- A fehér törpék alapvető tulajdonságai
- A csillag, mint sugárzás és gáz keveréke
- Energiatranszport (áttekintés)

Csillagok tulajdonságai és csillagfejlődés a csillag tömegének függvényében:

- A barna törpék és a legkönnyebb csillagok
- Az AGB csillagok és a He-héj felvillanásai (a fő s-folyamat helyszíne)
- A nagytömegű csillagok
- A (30 naptömegnél nehezebb) szupernehéz csillagok

A vas utáni nukleoszintézis:

- Az s-folyamat
- Az r-folyamat
- A p-folyamat (a gamma-folyamat)
- (az rp-folyamat) (I. szintén alább)
- (a v-p folyamat) (I. szintén alább)

Az explozív körülmények:

- Az explozív nukleoszintézis (általános feltétel)
- Az összeomló magú szupernóvák:
  - a robbanás mechanizmusa
  - nukleoszintézis (a mély rétegek (r-folyamat, v-p folyamat), külső rétegek (explozív égési héjak))
- A kettős rendszerek:
  - a neutroncsillag felszínére történő anyagáramlás (röntgen-kitörések, rp-folyamat)
  - az Ia típusú szupernóvák
    - Mechanizmus
    - Nukleoszintézis
    - Távolságmérés szupernóvákval, mint a kozmológia fontos eszköze

Az oktató neve: **Dr. Horváth Dezső**

**PF2/339-12**

**A Standard Modell és kísérleti ellenőrzése I.**



(Ld. PF5/326-00)

Az oktató neve: **Dr. Angeli István**

**PF2/340-13**

### **Nagyenergiájú részecskegyorsítók I.-II.**

(Ld. PF5/31-95)

Az oktató neve: **Dr. Krasznahorkay Attila, Dr. Csige Lóránt**

**PF2/341-14**

### **Modern magfizikai mérőmódszerek és detektorok**

Detektortechnológiai újítások: új szcintillációs (LaBr<sub>3</sub>), gáz (GEM, THGEM, MicroMegas) és félvezető detektorok (DSSD strip detektor) felépítése, működési elvei, paraméterei, használatuk, előnyeik és hátrányaik. Modern, összetett detektorrendszerek, Bragg ionizációs kamra, TPC detektorok. Digitális jelfeldolgozási technikák, zajszűrő és jelformáló algoritmusok, az algoritmusok C++ implementációja, és ROOT-ban való használata. A digitális és analóg jelfeldolgozás összehasonlítása, előnyök és hátrányok.

#### **Megjegyzés:**

Az előadásokat tömbösített laborgyakorlatok követik (2x6 óra), mely során az Atomki ciklotron laboratóriumában teszt- kísérleteket végzünk az előadások alatt megismert új típusú detektorokkal (pl. DSSD, THGEM és Bragg ionizációs kamra). Az ionizációs kamra jeleinek "hagyományos" analóg és egy CAEN 62.5 MS/s egységgel segítségével történő digitális feldolgozását is elvégezzük, összehasonlítva a két módszer előnyeit és hátrányait, illetve megismerve a digitális jelfeldolgozás során alkalmazható jelformáló algoritmusokat, bemutatva a jelalak-diszkrimináció által nyújtott részecske azonosítási lehetőségeket.

Az oktató neve: **Dr. Elekes Zoltán**

**PF2/342-14**

### **Egzotikus atommagfizika**

Az atommagról és a benne lévő nukleonok közötti kölcsönhatás jellemzőiről szerzett kísérleti tudásunk többségét stabil ionnyalábok felhasználásával értük el, azonban az utóbbi években a súlypont áthelyeződött az instabil atommagok tartományára. A kutatások nemcsak közvetlenül az atommagok szerkezetének megismerésére irányulnak, hanem az égi objektumok viselkedésének leírásában és a Világegyetemben tapasztalható elemgyakoróság kialakulásának szempontjából is igen fontosak, mivel ezen folyamatok szinte mindegyikében egzotikus atommagok is érintettek. A kurzus során áttekintjük a kísérletek háttérét biztosító eszközöket, módszereket illetve az utóbbi húsz évben feltárt különleges jelenségeket.

A következő témákat fogjuk érinteni:

- az alkalmazott gyorsítóberendezések alapjai
- radioaktív ionnyalábok előállításának módszerei
- izotópszeparátorok működése
- radioaktív ionnyalábokat alkotó izotópok azonosítása
- alkalmazott nyalábdetektorok alapjai (pl. trajektória meghatározás, pasztik szcintillátor, félvezető detektorok, ionizációs kamra)

- kísérleti módszerek alapjai (pl. Coulomb gerjesztés, rugalmatlan proton szórás, direkt reakciók, invariáns tömeg, g-spektroszkópia)
- reakciótermékek detektálása (pl. teleszkóp, hodoszkóp, neutrondetektor, g-detektorok)
- héjszerkezet a stabilitástól távol, mágikus számok változása
- neutronbőr, neutronglória
- kollektív viselkedés a stabilitástól távol, törperezonancia
- egzotikus effektusok hatása az asztrofizikai folyamatokra

Az oktató neve: **Dr. Molnár Mihály**

**PF2/343-14**

**Meteoritok, a korai Naprendszer és Nukleáris Asztrofizika**

*(Ld. PF4/319-14)*

Az oktató neve: **Dr. Erdélyi Róbert**

**PF2/344-18**

**Plazmafizika alapjai**

*(a foglalkozás leírását lásd PF4/324-18 )*

Az oktató neve: **Dr. Fülöp Zsolt**

**PF2/345-18**

**Neutrínófizika**

A kurzus Kai Zuber vendégelőadó közreműködésével valósul meg.  
A kurzus nyelve: angol.

- Bevezetés, történeti áttekintés
- Neutrínók és kölcsönhatásaik
- A neutrínók tömege
- Neutrínó-oszcillációk
- Asztrofizikai eredetű neutrínók
- A neutrínófizika nyitott kérdései

Javasolt irodalom: K. Zuber: Neutrino Physics, CRC Press 2011

# III. Szilárdtestfizika és anyagtudomány program

Az oktató neve: **Dr. Beke Dezső**

**PF3/31-93**

## Szilárdtestfizika

Kötéstípusok (Madelung-állandó). A potenciálműködés hasonlósága (empirikus szabályok mint a hasonlóság következményei, dimenzió analízis elemei). Rácsrezgések (fononok, rugalmatlan neutron-szórás). Termikus tulajdonságok (fajhő, hőtágulás, hővezetés, Mössbauer-effektus). Elektronállapotok (Bloch-függvények, sáv szerkezet, Fermi-energia, effektív tömeg). Elektromos vezetőképesség értelmezése (hőmérsékletfüggés vezetőkre és szigetelőkre, szennyező-szórás). Termoelektromosság. Dielektromos tulajdonságok. Mágneses tulajdonságok (para-, dia- és ferromágnesség). Szupravezetés. Szilárdtestek optikai tulajdonságai. Ponthibák (vakanciák, rácsközi atomok, ponthiba-párok koncentrációja, mozgása). Atomi transzport jelenségek (diffúzió, kölcsönös diffúzió, termo- és elektrondiffúzió, kúszás). Reguláris szilárd oldalak (rendeződés és kiválás, oldékonyság, felületi szegregáció). Diszlokáció és kölcsönhatásaik (képlékenységi). Felületi energia és hőmérsékletfüggése (egyensúlyi alak, felületi hibák, felületi diffúzió). Szemcse- és fázishatárok szerkezete (DSL és CSL, szerkezeti egységek, illeszkedési lehetőségek, relaxációk).

Irodalom:

1. C. Kittel: Bevezetés a szilárdtestfizikába, Műszaki Kiadó, Budapest, 1982
2. J. M. Ziman: Principles of the Theory of Solids, Cambridge, University Press
3. P. Sz. Kirijev: Félvezetők fizikája, Tankönyvkiadó, Bp. 1974
4. A. W. Harrison: Pseudopotentials on the Theory of Solids, North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1975
5. R. W. Cahn, P. Haasen: Physical Metallurgy, North-Holland, Amsterdam, 1983
6. J. Giber és mtsai: Szilárdtestek felületfizikája, Műszaki Kiadó, Budapest, 1987

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

**PF3/32-93**

## Elméleti szilárdtestfizika

Fermi folyadék, Bose folyadék, Luttinger folyadék. Lokalizált rendszerek mágnessége. Sáv-mágnesség. Excitonikus rendszerek. Magnonok, fononok, elektron-fonon kölcsönhatás. Szupravezetés. Szennyeződések hatása kondenzált fázisokra. Renormalizációs csoport és alkalmazások. Erősen korrelált rendszerek leírása. Fém-szigetelő átalakulás. Nehéz-fermion rendszerek. Spin-üveg. Kvantum Hall-effektus. Dinamikus tulajdonságok.

Irodalom:

1. D. Pines, P. Nozieres: Theory of Quantum liquids, Benjamin Inc., 1966
2. A. A. Abrikosov, L. P. Gorkov, I. Y. Dzyaloshinski: Quantum Field Theoretical Methods in Statistical Physics, Pergamon Press, 1965
3. M. S. Green, J. L. Lebowitz: Phase Transitions and Critical Phenomena, vol. 1-15, Ed. by C. Domb, Academic Press

Az oktató neve: **Dr. Beke Dezső**

**PF3/33-93**

### **Új anyagok és technológiák**

Amorf, nano- és mikro-kristályos anyagok. Kerámiák, kompozitok. Porkohászati eljárások. Ionimplantáció. Nitridek, boridok, karbidok, szilicidek. Modern felületvizsgálat, nyomelem-analitika, mikroötvözés. Magashőmérsékleti szupravezetők. Vékonyrétegek tulajdonságai és előállításuk.

Irodalom:

1. R. W. Cahn and P. Haasen: Physical Metallurgy, North-Holland, Amsterdam, 1983
2. D. C. Van Aken, G. S. Was, Ghosh (eds.), Microcomposites and nanophase Materials, A Publication of TMS, Warrenda 1991

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

**PF3/35-93**

### **Fázisátalakulások**

Címszavak:

- átalakulási rendek
- fluktuációk, korrelációk, dimenziótól való függés
- rendparaméter fogalma
- Landau elmélet
- Mean-field leírások (lokalizált mágneses rendszerek esete, Van der Waals folyadék)
- Kritikus exponensek
- Kadanoff konstrukció, általánosított homogenitás
- Statikus skála-törvények, kritikus exponensek közti összefüggés
- Kosterlitz-Thonless átmenet (példa végtelen rendű fázisátalakulásra). Időbeli rendezettség, kaotikus fagyás, frusztrált rendszerek, spin-glass
- Renormalizációs csoport
- Wilson rekurziós képlet
- Kritikus exponensek kiszámítása

Irodalom:

1. Shang-Keng Ma: Modern Theory of Critical Phenomena, W.A. Benjamin Inc., 1976
2. Finn Ravndal: Scaling and Renormalization Groups, Nordita, Copenhagen 1976
3. Phase Transitions and Critical Phenomena, Vol. 1-15., Ed. by C. Domb, M. S. Green, J. L. Lebowitz Academic Press
4. L. D. Landau, E. M. Lifsic, L. P. Pitajevskij, sorozat, Nauka, 1978

Az oktató neve: **Dr. Mészáros Sándor**

**PF3/36-93**

### **Szupravezetés**

Elektronok mozgása szilárd testekben, kollektív töltéstranszport. A szupravezetés természetét bemutató alapvető kísérletek. A szupravezetők makroszkopikus (termodinamikai) leírása, London-egyenletek, a szupravezetők elektrodinamikája. A BCS elmélet és alkalmazása a klasszikus szupravezetők leírására. A szupravezetés lehetséges mechanizmusai, magas hőmérsékletű szupravezetők, egzotikus szupravezető anyagok. A mágneses fluxus szerkezete és dinamikája szupravezetőkben. A szupravezetés és a mágnesség koegzisztenciája. Másodfajú

szupravezetők. A mágneses örvényrács szerkezete, rögzítésének mechanizmusai, az örvényrács mozgásának leírása klasszikus és magas hőmérsékletű szupravezetőkben. Az örvényrács fázisdiagramja. Ginsburg-Landau elmélet és alkalmazásai. Szupravezetők nagyfrekvenciás elektromágneses térben. Gyengén csatolt szupravezetők, Josephson effektusok. A Josephson-átmenet, mint makroszkopikus kvantummechanikai rendszer.

Irodalom:

1. D. R. Tilley and J. Tilley: Superfluidity and superconductivity, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1974.
2. R. D. Parks (editor): Superconductivity I-II., Marcel Dekker, New York, 1969
3. J. G. Bednorz and K. A. Müller: Earlier and recent aspects of Superconductivity, Springer Verlag, 1989

Az oktató neve: **Dr. Mészáros Sándor**

**PF3/37-93**

### **Modern fizikai mérőműszerek az anyagtudományban**

Szupravezető műszerek alkalmazásai az anyagtudományban: szupravezető mágneses mérőműszerek alkalmazásai az anyagtudományban: szupravezető mágneses mérőműszerek alkalmazásai az anyagtudományban: szupravezető mágneses mérőműszerek alkalmazásai az anyagtudományban: szupravezető mágneses mérőműszerek alkalmazásai az anyagtudományban: maradék-ellenállás mérése, mágneszettség, alternatív NMR.

Az oktató neve: **Dr. Erdélyi Gábor**

**PF3/39-93**

### **Szilárdtest-reakciók**

Két és háromalkotós rendszerek termodinamikai leírása, fázisdiagramok. Szilárd fázisban végbemenő átalakulások osztályozása. Kristályhibák jellegzetességei ionkristályokban, oxidokban, vegyületfázisokban. Kölcsönös diffúzió, új fázisok morfológiája, növekedési kinetikái. Fém-fém, fém-kerámia kontaktusok, diffúziós kötések. Multiréteg szerkezetek, diffúziós és mechanikai deformáció által kiváltott amorfizáció. Gyakorlati alkalmazások: porkohászati problémák, fémek oxidációja, fémek és kerámiák tulajdonságainak leromlása magas hőmérsékleteken.

Irodalom:

1. H. Schmalzried: Solid state reactions, Verlag Chemie, Weinheim, 1981
2. C.H.P. Lupis: Chemical Thermodynamics of Materials, North-Holland, 1983
3. Fundamentals of diffusion Bonding (Ed. Y. Ishida), Elsevier, 1987
4. Proceedings of Int. Symp. on metal-ceramic interfaces, 1991 Acta Met. Suppl. **40** (1992)

Az oktatók neve: **Dr. Kövér László**

**PF3/311-93**

### **Szilárdtest felületek vizsgálata**

I. Alapfogalmak: Felületi jelenségek (relaxáció, rekonstrukció, felületek és határfelületek kialakulása, felületi reakciók); Felületek tulajdonságai (felületi szerkezet, felületi kémiai összetétel, elektronszerkezet, mágneses szerkezet, dinamikus tulajdonságok) A felületvizsgálat módszereinek áttekintése és összehasonlítása.

II. A felület- és határréteg-kutatás kísérleti módszerei: Bevezetés (A módszerek fizikai alapjai, Alapvető kísérleti feltételek (pl. vákuum, mintakezelés), Besugárzó és gerjesztő források, Analizátorok, Mélységi analízis); A felületi szerkezet vizsgálatának módszerei (Diffrakciós módszerek: LEED, RHEED, fotoelektron-diffrakció és holográfia, Téremissziós módszerek: APFIM, STM, AFM, Ionszórás: ISS, Röntgenabszorpciós finomszerkezet analízis: SEXAFS, Felületmorfológiai analízis spektromikroszkópiai módszerekkel), A felületi kémiai összetétel, elektronszerkezet és mágneses szerkezet vizsgálatának módszerei (Elektron-spektroszkópiai módszerek: XPS, AES, UPS, EELS, HREELS, Ionszórási és tömegspektroszkópiai módszerek: ISS, SIMS FABMS, RBS, Deszorpciós és optikai módszerek ESD, PSD, ellipszometria, GDOS, Kilépési munka és kontaktpotenciál mérési módszerei), Dinamikus tulajdonságok (Felületi rácsdinamika vizsgálata, Felületi diffúzió, szegregáció vizsgálati módszerei, Gerjesztett állapotok vizsgálata lézer indukált módszerekkel)

III. Alkalmazási példák és gyakorlati bemutatás: A kvantitatív analitikai alkalmazások lehetősége és problémái, Felületi és határrétegek 3 dimenziós analízis, perspektívái, Felületvizsgálati módszerek alkalmazása, felületi reakciók, korrózió, ötvözetek, félvezetők, polimerek felületi tulajdonságainak és szerkezetének tanulmányozása, Laborlátogatás: (Elektron-spektroszkópia és alkalmazásai, tömegspektroszkópia, Nagyenergiájú ionok alkalmazásán alapuló módszerek)

Irodalom:

1. M. Prutton: "Surface Physics", Clarendon Press, Oxford, 1983
2. Giber J. és társai: "Szilárdtestek Felületfizikája", Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1987
3. D. Briggs, M.P. Seah: "Practical Surface Analysis" I-II, Wiley and Sons 1992
4. O. Brümmer, J. Heydenreich, K.H. Krebs, H.G. Schneider: "Szilárd testek vizsgálata elektronokkal, ionokkal és röntgensugárással", Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1984

Az oktató neve: **Dr. Cserhádi Csaba**

**PF3/316-93**

### **Elektronmikroszkópia**

Transzmissziós elektronmikroszkópia:

A mikroszkópok felépítése. Elektromágneses lencsék, objektívlencse, elektronágyú. Lencsehibák. Mintakészítés. Elektrondiffrakció, Ewald elmélet, orientáció és fázisanalízis, textúrák. Kikuchi képek és alkalmazásuk. Konvergens sugaras diffrakció. A képalkotás elméletei: kinematikus és dinamikus elmélet Diffrakciós kontraszt elmélete, kristályhibák azonosítása. Nagyfeloldású mikroszkópia, felbontóképesség, képinterpretáció, képszimuláció, szimulációs eljárások, számítógépes képfeldolgozás.

Az analitikai elektronmikroszkópia. Röntgensugaras mikroanalízis, energiavesztésanalízis. Pásztázó elektronmikroszkópia.

Az oktató neve: **Dr. Langer Gábor**

**PF3/317-93**

### **Vákuumtechnika és vékonyrétegek előállítása**

Gázok. Gázok a vákuumrendszerekben. Vákuumszivattyúk. Vákuummérés. Vákuumrendszerekben használható anyagok. Vákuumrendszerek. Vákuumgőzölés. Elektronsugaras párologtatás. Porlasztás. Magnetronok. Porlasztási karakterisztikák.

Irodalom:

1. A. Chambers, R. K. Fitch, B. S. Halliday: Basic Vacuum Technology, Adam Hilger, Bristol and New York, 1989
2. B. N. Chapman: Glow discharge Processes, Wiley, New York, 1980
3. I. E. Greene, S. A. Barnett, J. E. Sundgren and Rockett, Ion Beam Assisted Film Growth, e. by T. Itoh, Elsevier, Amsterdam 1988

Az oktató neve: **Dr. Beke Dezső**

**PF3/319-93**

### **Alakváltozás és törés**

Képlékeny alakváltozás alapvető mechanizmusai: diszlokáció-csúszás, diszlokáció-mászás, kúszás, ikresedés. Deformáció-mechanizmus térképek. Nem lineáris jelenségek. Szilárdságnövelő mechanizmusok. Szuperképlékenység. Törések keletkezése és terjedése. Törési mechanizmusok (rideg-, szívós-törés határfelületek szerepe). Törési mechanizmus térképek.

Irodalom:

1. R. W. Cahn and P. Haasen: Physical Metallurgy. North-Holland, 1983, Amsterdam
2. J. Gibber és társai: Szilárdtestek Felületfizikája, Műszaki Kiadó, Budapest, 1987.

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

**PF3/320-93**

### **Mágnesség**

Sáv ferromágnes, sáv antiferromágnes egy és két aktív sávú rendszerben. Excitonikus rendszerek mágneses tulajdonságai. Mágneses szennyeződés kérdése, Anderson modell, Nagaoka kompresszió, Kondo probléma. Lokalizált rendszerek. Kicserélődési kölcsönhatás. Weiss tér. Dimenzióatlítás szerepe. Az egydimenziós egzakt megoldások: Ising modell. Kétdimenziós Ising modell egzakt megoldása. Magnonok, Green-függvény technika alkalmazása mágneses tulajdonságok leírására lokalizált rendszerekben, Hartree-Fock, és erősebb közelítésekben nyert megoldások. Korrelációs függvények, szuszceptibilitás, kritikus exponensek, végtelen dimenzió esete.

Irodalom:

1. Elméleti Fizika, L.D. Landau, E.M. Lifsic, L.P. Pitajevszkij sorozat, Nauka, 1978
2. J.S. Smart: Effectiv Field Theories of Magnetism, 1966
3. A. L. Fetter, J. D. Walecka: Quantum Theory of Many-Particle Systems, McGraw-Hill Book Company 1971

Az oktató neve: **Dr. Beke Dezső**

**PF3/322-94**

### **Nem-egyensúlyi anyagok**

Nem egyensúlyi anyagok termodinamikája. Diffúzió. Mechanikai instabilitások. Szilárdtest amorfizáció. Metastabil anyagok kristályosodása. Mechanikai ötvözés. Nem-egyensúlyi rendszerek TEM vizsgálata. Nukleáris módszerek ( $\mu^+$ ,  $\pi^+$ ,  $e^+$ ). Szemcsehatárok szerkezete. Nanokristályos anyagok.

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

**PF3/323-94**

### **Soktestprobléma elmélet és alkalmazások**

(Ld. PF1/37-93)

Az oktató neve: **Dr. Langer Gábor**

**PF3/324-94**

### **Vékonyrétegek**

Epi- és mezotaxiális rétegek növesztése. Multirétegek. Multirétegek előállítása mágneses porlasztással. Szilárdtest-amorfizáció. Rétegépülés és szilárdfázisú átalakulások vékonyrétegekben. Multirétegek és nanorétegek szerkezete és elektronmikroszkópiája. Diffúziós amorfizáció multirétegekben. Multirétegek röntgen-diffrakciós szerkezetvizsgálata. Al-fém kölcsönhatások vékonyrétegekben. Neutron reflektometria. Vékonyrétegek Mössbauer vizsgálata. Sűrűlódó beeséses Mössbauer-spektroszkópia. Koherencia-feszültségek vékonyrétegekben. Vékonyréteg és ionimplantációs technikával létrehozott metastabil rétegek. Defektmérnökség félvezető szerkezetekben. Rétegszerkezetek félvezetőkben. Mélységszelektív mérések lassú pozitronokkal. Szigetes fémfilmek morfológia-változásának vizsgálata kerámia hordozón. Mechanofúziós kompozit porok plazmaszórása. Ionkeveredés ionporlasztás közben. Kisnyomású gyémántréteg-leválasztás. Vékonyrétegek vizsgálata ionsugaras analitikai módszerekkel. Multirétegek vizsgálata mágneses röntgen dichroizmussal.

Az oktató neve: **Dr. Kövér László**

**PF3/326-95**

### **Felületi és határréteg-struktúrák elektronszerkezete**

Lokális potenciálok, belsőhéj elektronkötési energia-változások leírása a pont-töltés modellel, kísérleti meghatározása elektron-spektroszkópiai módszerekkel. Felületi atomok belsőhéj-kötési energia eltolódása, értelmezése és kísérleti meghatározása. Belsőhéj-ionizált felületi atomok relaxációja, a relaxációs energiák megváltozásának kísérleti meghatározása az Auger paraméter mérésével. Atomi, molekula- és kollektív gerjesztési folyamatok felületeken és határfelületeken, kísérleti megfigyelésük. Lokális töltések, töltésátadás ötvözetekben és félvezető rendszerek határfelületén. A lokális kilépési munka meghatározásának kísérleti módszerei. Kristályok valenciasáv elektronszerkezetének leírása klaszter-molekulapálya módszerrel, az elektronállapotsűrűség meghatározása valenciasáv fotoelektron-spektrumokból. Lokális elektronállapot-sűrűség és elektron-elektron, vakancia-vakancia korreláció tanulmányozása Auger spektrumok analízisével. Elektron-szerkezet-"mérnökség". kvantum-karámok.

Az oktató neve: **Dr. Kun Ferenc**

**PF3/327-95**

### **Számítógépes szimuláció**

A Monte-Carlo módszer elméleti megalapozása és alkalmazása. Egyszerű és irányított mintavétel. Határfeltételek. Végesméret effektusok. Bolyongáselmélet. Diffúzió limitált aggregáció. Perkoláció. Ising modell. Determinisztikus modellek. Cella automaták. Molekuladinamikai szimulációk.



Az oktató neve: **Dr. Szabó István**

**PF3/329-96**

### **Atomi feloldású mikroszkópia**

Bevezetés: A mikroszkópia korlátai, alapvető típusai, a felületfizika és a nagyvákuumtechnika alapjai, a képalkotás és feldolgozása alapjai Térion mikroszkópia: Az alapelvek, az atompróba berendezés, képalkotó-atompróba, alkalmazási példák.

Pásztázó alagútmikroszkóp: Az első megvalósítás, az alagút effektus, rezgés-csillapítás, piezo-elektromosság, a szabályozó elektronika. Példák, kép értelmezés, alkalmazások.

Atom-erő mikroszkópia: Az alapelv, az erőmérés módjai, működési módok, a tű és a minta közti kölcsönhatás mechanizmusai, példák.

Közeli tér mikroszkópia: A hullámhossz korlát átlépése, a megvalósítás módjai, alkalmazások.

Pásztázó próba mikroszkópia: A lokális próba módszer és fő típusai, alkalmazások.

Nagy feloldású elektron mikroszkópia: Transzmissziós és pásztázó transzmissziós módszer, elektron-holográfia, a képalkotás elmélete, a feloldási határ, képszimuláció.

Az oktató neve: **Dr. Szabó István**

**PF3/330-96**

### **Intermetallikus ötvözetek**

Bevezetés: Osztályozás, főbb jellemzők, rendezett kristályrácsok jellemzői, a szerkezetvizsgálat módszerei, alapvető struktúrák és példák. Az alapállapot: Az Ising-modell, energia minimalizálás, frusztráció, ördöglétra, modulált szerkezetek.

Rend-rendezetlen átalakulás: a korrelációs függvények, Az átlagtér modell, a klasztervariációs módszer, az állapotábra meghatározása.

Kritikalitás: skálázás, univerzalitás, kísérleti vizsgálatok.

Szimulációs módszerek: A Monte-Carlo módszer és változatai, kritikus lelassulás.

Ponthibák: osztályozás, termikus egyensúlyi koncentrációk meghatározása, kísérleti módszerek.

Diffúzió: ponthiba mozgás, diffúziós mechanizmusok, kísérleti módszerek.

Antifázis határok: belső szerkezete, a doménszerkezet, nedvesítéses átalakulás, kísérleti vizsgálatok.

Az oktató neve: **Dr. Beke Dezső**

**PF3/331-97**

### **Mikro- és nanomágnesség**

1. A mágnesség alapjelenségeitől induló, kísérleti vizsgálatokra alapozó, célratoró, az elméleti eredményeket szemléletesen összefoglaló bevezetés a ferromágnességbe (Ising-modell, sáv-mágnesség, kicserélődési kölcsönhatások, különféle anizotrópiák, doménmágnesség és szerkezet). Izolált kis részecskék mágneses tulajdonságai (szuperparamágnesség).

2. Spinüvegek, klaszterüvegek, nanokristályos anyagok mágneses tulajdonságai.

Az oktató neve: **Dr. Kökényesi Sándor**

**PF3/332-97**

### **Szilárdtest és optoelektronika**

A modern szilárdtestfizikai, anyagtudományi ismeretek fontos részét képező szilárdtest- és optoelektronikai ismeretek doktori szintű összefoglalása, bevezetés a témakörrel kutatási szinten foglalkozni kívánó doktori ösztöndíjasok számára.

Az optoelektronika aktív és passzív elemei és eszközei elemzésének anyagtudományi, szilárdtestfizikai és elektronikai megközelítései.

Fényforrások: LED, lézerdióda. Fotodetektorok és fotoellenállások, fotodiódák, PIN, Shottky-diódák. Napelemek, amorf szilícium. Optronok.

Optikai hullámvezetők. Optikai szálak és kábelek: anyagok és technológiák. Átviteli tulajdonságok, azok optimalizálása. Optikai csatolóelemek és szenzorok.

Optikai modulátorok: elektro-, akusztó- és magnetooptikai jelenségek, azok alkalmazása. Nemlineáris optika: gerjesztés, bistabilitás, szolitonok.

Optikai memóriák, holográfia, képfeldolgozás. Képfelbontó eszközök és display-k: CCD, TV képcső, kijelző panelek.

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

**PF3/334-97**

### **Kvantum fázisátalakulások**

A klasszikus (véges hőmérsékletű) fázisátalakulások alapismereteinek rövid áttekintése. A kvantum-fluktuációk kezelésének technikái, Trotter-Suzuki formula, Matsubara formalizmus. Kvantum fázisátalakulások mint  $d+1$  dimenziós klasszikus problémák, véges hőmérséklet mint véges-méret skálázás. Ising-modell transzverzális térben, Jordan-Wigner transzformáció, fázisátalakulások a Mott-szigetelőből. Renormálási technikák. Rendezetlenség hatása kvantum rendszerekben.

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

**PF3/335-97**

### **Spinüvegek**

A Sherrington-Kirkpatrick modell. A replika szimmetrikus megoldás és a de-Almeida-Thouless instabilitás. A Parisi Ansatz, replika szimmetriasértés. A  $q(x)$  függvény fizikai jelentése és a tiszta állapotok. Ultrametrika. Kvantum spinüvegek. Ising spinüveg transzverzális térben.

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

**PF3/336-98**

### **Polarizáció, árnyékolás és válaszfüggvények**

Árnyékolt Coulomb-kölcsönhatás. Dielektromos állandó. Polarizáció, árnyékolás a Coulomb-gázban. Linhardt-függvény. Instabilitások, Friedel-oszcilláció. Mágneses momentum árnyékolása. Ruderman-Kittel-Kasuya-Yoshida kölcsönhatás. Lineáris válasz.

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

**PF3/338-00**

### **A szupravezetés leírása**

Alapjelenségek. Fenomenologikus leírás. London, Ginzburg-Landau elmélet. Mikroszkopikus leírás, BCS elmélet. I. és II. típusú szupravezetők leírása és jellemzése.

Örvényvonalak. Kritikus áramsűrűség a II. típusú anyagokban. Új irányzatok, high T<sub>c</sub>. Alkalmazások és az alkalmazott kutatás jelenlegi irányai.

Az oktató neve: **Dr. Erdélyi Zoltán**

**PF3/339-02**

### **Diffúzió és szegregáció nanoszerkezetekben**

A diffúzió nanoskálán még akkor is több vonatkozásban nem megértett, ha a szerkezeti hibák (szemcsehatárok, diszlokációk) menti diffúzió szerepe elhanyagolható. Ilyenkor „csak” olyan elvi nehézségek lépnek fel, amelyek kontinuum és a diszkrét modell közötti átmenet problémáját, a (a diffúziós együttható erős koncentrációfüggéséből eredő) nemlinearitások kérdését érintik. Másrészt a szegregációs kinetikák is mindig nanoskálájú atomi transzporttal valósulnak meg, így ezek tárgyalásához is tisztázandók a fenti kérdések, azzal együtt, hogy mérethatás az egyensúlyi szegregációs izotermákat is befolyásolja.

Irodalom:

- Bernardini, J, Beke, D.L., „Diffusion in Nanomaterials” in „Nanocrystalline materials: Properties and Applications” (Eds. Knauth, P., Schoonman, J.) Kluwer Academic Publ., Boston, 2001
- Beke, D.L. C. Cserhádi, Z. Erdélyi, I.A. Szabó, “Segregation in Nanostructures” in „Advances in Nanophase materials and nanotechnology” Volume: „Nanoclusters” (ed. H.S. Nalwa) American Scientific Publ., 2002, in print

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

**PF3/340-08**

### **Sokrészecskés rendszerek periodikus potenciálban**

Periodikus potenciál hatása a kvantumviselkedésben, fermionikus kvantumfolyadékok (Fermi folyadék, nem-Fermi folyadék, marginális Fermi folyadék, Luttinger folyadék), korrelációs hatások és általuk előidézett fémes és nem-fémes viselkedés, Mott szigetelők, Wigner kristály, kondenzátumok és jellemzőik.

Bibliográfia: Patrik Fazekas, Lecture Notes on Electron Correlation and Magnetism, Series in Modern Condensed Matter Physics, Vol. 5., World Scientific, 1999.

Az oktató neve: **Dr. Beke Dezső**

**PF3/341-12**

### **Nanotechnológia legújabb eredményei**

1. **Bevezetés a nanotudományba:** nanoanyagok típusai, nanoanyagok tegnap, nanojelenségek, nanoanyagok ma.
2. **Nanotechnológia és a természet:** optikai, mechanikai, biomechanikai, orvosi jelenségek.
3. **A felszín jelentősége:** geometriai faktorok, kollektív felszín, felszín-térfogat arány, a szférikus kluszter közelítés.
4. **Felszíni energia I:** a vízcsepp felszíni nyomása, kapillaritás, szuperhidrofób felületek, nanotermodinamika.

5. **Felszíni energia II:** a kristálytan alapjai, a legközelebbi szomszéd modell, az energia kompenzációs mechanizmusok.
6. **Kémiai kötések és szintézis:** intramolekuláris erők, a szén-szén kötés erőssége, intermolekuláris erők, az önszerveződés alapjai, mintázat-szintézis.
7. **Szilárdtest fizikai témák:** nanorészecskék sávelemélete, állapotsűrűség.
8. **Nano-optika:** nanoanyagok és a felszíni dipoláris plazmon rezonancia, a kvázi-statikus közelítés és a Mie elmélet, részecskeméret effektusok, alak és irányultság, metaanyagok.
9. **Néhány nanoanyag és alkalmazásuk:** karbon nanocsövek, kvantum pöttyök, ZnO, vékonyrétegek.
10. **Nanometrológiai témák**

A kurzus létrejöttét a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Az oktató neve: **Dr. Daróczy Lajos**

**PF3/342-13**

### **Martenzites átalakulások**

A martenzites átalakulások általános jellemzői. Az átalakulások krisztallográfiai leírása. A martenzites átalakulások termodinamikája, a kémiai és nem kémiai szabadenergia tagok szerepe, meghatározása, külső paramétereiktől való függése. Termoelasztikus és nem termoelasztikus átalakulások. Alakmemória effektus, szuperképlékeny és szuperelasztikus viselkedés.

Martenzites átalakulások tulajdonságai különböző anyagokban: Acélok-vasötvözetek, rézalapú ötvözetek, Ti-Ni ötvözetek, egyéb fémes és nem fémes rendszerek. Ferromágneses alakmemória anyagok.

Zajjelenségek martenzites anyagokban; akusztikus emisszió, Barkhausen-zaj, mágneses emisszió, termikus jelek zajszerű viselkedése.

A martenzites átalakulások alkalmazásai. Szénacélok, ötvözött acélok, transzformáció indukált plaszticitás, egy- és kétutas alakmemória effektus alkalmazásai, alakmemória eszközök tervezési megfontolásai. Szuperelasztikus viselkedésen és nagy mechanikai csillapítóképeségen alapuló eszközök. Mágneses alakmemória eszközök.

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

**PF3/343-14**

### **Erősen korrelált rendszerek elmélete**

Fermi és Bose folyadékok és tulajdonságaik; Bozonizáció fogalma és technikája; Luttinger folyadékok és tulajdonságaik; Konformál térelméleti fogalmak és alkalmazásuk a kondenzált anyagok elméletében; Egzakt megoldásos modellek tanulmányozása; Bethe Anzats fogalma és alkalmazása; Heisenberg modell tanulmányozása; Hubbard modell tanulmányozása; Kondo modell tanulmányozása.

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

**PF3/344-14**

### **Kvantuminformatika és kvantumszámítógépek**

Numerikus számolás és jellemzői, Turing gép fogalma, Church-Turing tétel, Moore törvény; Kvantum mérés és dinamika, információelmélet és termodinamika, reverzibilis logika; Kvantum bit fogalma, megvalósítási lehetőségek, kvantum regiszterek és működésük, kvantum kapuk, logikai körök és jellemzőik; Kvantum algoritmusok, Deutsch-Jozsa, Simon, Schor, Grover; Kvantum kriptográfia, kvantum hibakorrekciók; Klonozás, összefonódás, szupersűrű kodolás, teleportáció; Dekoherencia és kvantum hardware.

Az oktató neve: **Dr. Szabó István**

**PF3/345-14**

### **Bevezetés a spintronikába**

A kurzus Dr. Szunyogh László vendégelőadó közreműködésével valósul meg.

A tantárgy a kvantummechanika és szilárdtestfizika ismeretekre építkezve nyújt bevezetést egy új tudományterület, a spintronika elméleti alapjaiba és alkalmazásaiba. Kiemelt témakörök:

Elméleti alapok:

- Elektronszerkezeti alapok, alapvető számítási módszerek, szimmetriák.
- Sűrűségfüggvény elmélet, az itineráns elektronok mágnessége, a ferromágnesség Stoner-modelje.
- Ötvözetek leírása: a koherens potenciál közelítés.
- Adiabatus spin-dinamika, a rendezetlen lokális momentumok módszere.
- Relativisztikus elmélet: spin-pálya kölcsönhatás, mágneses anizotropia, a Rashba effektus.
- Spin modellek: Heisenberg model, Ising model.
- Kicszerélődési kölcsönhatás, RKKY kölcsönhatás, Dzyaloshinskii-Moriya kölcsönhatás.
- A Landau-Lifshitz-Gilbert egyenlet, spin-dinamika szimulációk.

Alkalmazások:

- Mágneses felületek és vékonyrétegek. Oszcilláló határréteg csatolás, óriás mágneses ellenállás.
- Spin alapú logika, mágneses domének, mágneses logika, doménfal logika.
- Kvantumszámítógépek alapjai és szilárdtestfizikai megvalósítási lehetőségei
- Mágneses nanorészecskék orvosi alkalmazásai - hipertermia.

Ajánlott irodalom:

- Sólyom Jenő: A Modern Szilárdtestfizika alapjai I.-II. (ELTE Eötvös Kiadó, 2003);
- Jürgen Kübler: Theory of Itinerant Electron Magnetism (Oxford University Press, Oxford, 2000)
- Peter Mohn: Magnetism in the Solid State, An Introduction. Springer Series of Solid State Physics 147.
- (Springer Verlag, Berlin-Heisenberg, 2003)
- Rainer Waser: Nanoelectronics and Information Technology. (Wiley-VCH 2012)

### **Szilárdtestek vizsgálata röntgensugaras módszerrel**

A röntgensugárzás természete, jellemzői, kölcsönhatása az anyaggal. A röntgenfluoreszcens (XRF) analízis során fellelő domináns mintabeli folyamatok, azok hatása a röntgenspektrum kialakulására. A gerjesztő sugárforrások szerepe az optimális mérési körülmények kialakításában, röntgen-spektrométerek felépítése. Energiadisziperzív (ED) röntgenspektrumok kvantitatív kiértékelése, a koncentráció meghatározás matematikai és kísérleti módszerei, a minta előkészítésének szerepe. Az energiadisziperzív XRF összehasonlítása más röntgenemissziós (pl. PIXE, EPM) analitikai módszerekkel.

Szerkezetvizsgálat röntgendiffrakcióval (XRD). A diffrakció alapjai, a diffrakciós spektrumot befolyásoló tényezők. Minták szerkezetének vizsgálata, a mintaelőkészítés és a készülék paramétereinek szerepe, beállítás, kalibrálás. A mérési eredmények értelmezése, rácsparaméter és kristályszerkezet meghatározása. A kristálytökéletlenség hatása a Bragg-reflexió vonalalakjára, a krisztallit méret és a rácsdeformáció meghatározása a vonalkiszélesedésből. Szinkrotronsugárzás alkalmazása szilárdtestek vizsgálatára. Multirétegek szerkezetének tanulmányozása kisszögű röntgendiffrakció segítségével.

## IV. Fizikai módszerek interdiszciplináris kutatásokban program

Az oktatók neve: **Dr. Kiss Árpád Zoltán és mások** (Előadások) **PF4/31a-93**

**Dr. Kiss Árpád Zoltán és mások** (Gyakorlatok) **PF4/31b-93**

### Atomi- és nukleáris mikroanalitika

Dr. Kiss Árpád Zoltán: Atomi- és nukleáris kölcsönhatási folyamatok áttekintése, analitikai módszerek jellemzése (E).

Dr. Uzonyi Imre: Röntgenemissziós analitika (XRF) (E+GY).

Dr. Kertész Zsófia: Töltött részecskékkel keltett röntgenemissziós analitika (PIXE) (E+GY).

Dr. Huszánk Róbert: A Rutherford-visszaszórás mint analitikai módszer (RBS) (E+GY).

Dr. Kiss Árpád Zoltán: Magreakció-analitika (Töltött részecskékkel keltett gamma-kibocsátás (PIGE)) (E+GY), (Gy: Dr. Szoboszlai Zoltán).

Dr. Uzonyi Imre: Ionmikroszkopos elemvizelés (E+GY).

Dr. Vad Kálmán: Szekunderion tömegspektroszkópia (SIMS) (E+GY), (GY: Dr. Csík Attila).

Dr. Kövér László: Elektron-spektroszkópia a kémiai analízisben (ESCA) (E+GY).

Dr. Csige István: Mikroradiográfia szilárdtest nyomdetektorokkal (SSNTD) (E+GY).

Dr. Palcsu László: Az izotópanalitika tömegspektrometriai módszerei (E+GY).

#### Irodalom:

J.R. Bird and J.S. Williams (ed.): *Ion Beams for Materials Analysis*, Academic Press Australia, 1989.

Zeev B. Alfassi (ed.): *Non-destructive Elemental Analysis*, Blackwell Sci. Ltd. UK, 2001.

E. Koltay, F. Pászti and Á.Z. Kiss, : *Chemical application of ion accelerators* (Handbook of Nuclear Chemistry, Eds.: A. Vértes et al.) 2011.

M. B. H. Breese, D. N. Jamieson, P. J. C. King: *Materials Analysis using a Nuclear Microprobe*, Wiley, 1996.

S.F. Boulyga, et al.: *Nuclear track radiography of „hot” aerosol particles*, Radiation measurements 31 (1999)131.

Scott E. Van Bramer: *An Introduction to Mass Spectrometry*,

<http://science.widener.edu/svb/massspec/massspec.pdf>

Az oktató neve: **Dr. Csikai Gyula**

**PF4/33-93**

### A neutronok analitikai alkalmazásai

A kémiai analízisben használt nukleáris módszerek helyzete (összevetés más instrumentális analitikai eljárásokkal).

Neutron források (( $\alpha$ ,n), ( $\gamma$ ,n) radioaktív források;  $^{252}\text{Cf}$ (SF) forrás; gyorsítóra alapozott források; stacionárius és pulzált reaktorok; hidegneutron források). Aktivációs analízis termikus, epitermikus és gyors neutronokkal. Az átlagos aktiváló fluxus meghatározása komplex és kiterjedt minták esetén. On-line és off-line módszerek.

Gyorsítókra és zárt neutron forrásokra alapozott prompt gamma analízis. A rugalmasan visszaszórt gyors neutronok elemvizelési alkalmazásai.

Az  $(n,\alpha)$  és  $(n,f)$  folyamatok felhasználása az analitikában. Késleltetett neutron módszerek.

A szekunder reakciók jelentősége könnyű elemek meghatározásában. A neutron aktivációs analízis és radiokémia elválasztási módszerek kombinációjának lehetőségei.

**Irodalom:**

1. J. Csikai: Handbook of Fast Neutron Generators, CRC Press Inc., Florida, 1987, Vol.I.
2. S. S. Nargolwalla and E. P. Przybylowicz, Activation Analysis with Neutron Generators, John Wiley & Sons, New York, 1973, Calif. Press, Berkeley 1975
3. Szabó E., Simonits A.: Aktivációs analízis, Műszaki Könyvtár, Bp. 1973.
4. A neutronok szerepe a tudományban és a gyakorlatban, (Szerk. Kiss D., Nagy L., Neményi M.) Akadémiai Kiadó, Budapest, 1986.

Az oktató neve: **Dr. Csepura György**

**PF4/36-04**

### **Sugárvédelem**

Sugárvédelem történeti áttekintése. Sugárvédelmi alapfogalmak, mennyiségek, mérési lehetőségeik. Jogi hátterek. Nemzetközi szervezetek. Ionizáló sugárzás gyakorlati hasznosítása. Röntgenberendezések, zárt és nyitott sugárforrások gyakorlati felhasználásai. Sűrűség, szint, vastagság, stb. mérése. Orvosi diagnosztika, terápia.

Kozmikus sugárzás. Űreszközök különös tekintettel emberes űrutazás dózis szintjei, sugárvédelme (UV és ionizáló tartományban).

Az oktatók neve: **Dr. Palcsu László, Dr. Csige István, Dr. Molnár Mihály**

**PF4/37-09**

### **Nukleáris környezetvédelem**

- Atomreaktorokkal kapcsolatos kérdések, hulladékok kezelése és tárolása.
- Atomerőmű-típusok környezeti hatásainak összevetése (normál-üzem, baleset, leszerelés, hulladékok)-áttekintés.
- Új típusú atomreaktorok, csökkentett környezeti terheléssel és fokozott biztonsággal-áttekintés. A már üzemelő- vagy hamarosan üzemelő hulladéklerakók globális áttekintése.
- Reaktor-diagnosztika nemesgázizotópokkal
- Radioaktív hulladék-minősítés fizikai módszerei, „nehezen mérhető” izotópokat.
- Gázképződés problémája a radioaktív hulladékok tárolása során
- Légköri- és talajvíz figyelő módszerek, eszközök és tapasztalatok.

**Irodalom:**

1. Molnár M.: Kis és közepes aktivitású radioaktív hulladék-tárolók gázterének vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem, Debrecen 2003
2. Charles B. Ramsey, Mohammad Modarres: Commercial Nuclear Power: Assuring Safety for the Future, BookSurge Publishing 2006

Az oktatók neve: **Dr. Molnár Mihály, Dr. Palcsu László**

**PF4/38-09**

### **Radioaktív kormeghatározás**

A kurzus Timothy Jull vendégelőadó közreműködésével valósul meg. A kurzus nyelve részben: angol.



Csillagászati korok mérése izotópos módszerekkel (a szupernova robbanás és a szilárd anyag megjelenés között eltelt idő mérése, meteoritok besugárzási korának mérése, meteoritok Földre érkezése óta eltelt idő mérése). Földtani kormeghatározási módszerek (U/Th/Pb-, K/Ar-, Ar/Ar-, Rb/Sr-, Sm/Nd-, Lu/Hf-, Re/Os-, U/He-, U/Th- és a hasadvány-nyom módszer). Talajrétegek és karbonátos kiválások korának mérése (termolumineszcens kormeghatározás; radiokarbon módszer). Vizek kormeghatározása (C-14, H-3, Freon, SF<sub>6</sub>, Kr-85, Ar-39 mérése alapján). Régészeti kormeghatározás (bio)fizikai módszerekkel (radiokarbon, dendrokronológia, elemösszetétel-méréseken alapuló kormeghatározási technikák történelmi műtárgyak estén). Globális (radio)markerek felhasználása a kormérésre (Bomba-<sup>14</sup>C és -<sup>3</sup>H, Csernobili-<sup>137</sup>Cs, stb..).

Az oktatók nevei: **Dr. Kertész Zsófia, Dr. Molnár Mihály** **PF4/39-09**

### **A légkör és klíma**

A kurzus ismerteti a légköri összetevők tulajdonságait és az éghajlatra való hatásukat, valamint betekintést ad a légkör fizikájába és kémiájába.

- A klímát befolyásoló tényezők, levegőszennyezés
- Klímamodellek, klímaelméletek – IPCC modellek
- Légköri aeroszol: keletkezése, terjedése, fizikai és kémiai tulajdonságai, szerepe a Föld sugárzási egyensúlyának alakulásában
- Üvegházhatású gázok: koncentrációjának alakulása, mérés technikája, a légköri fosszilis CO<sub>2</sub> mennyiségének alakulása és mérés technikája (<sup>14</sup>C-módszer, CO-módszer, stb.). A CH<sub>4</sub> forrásai a környezetben (emberi- és természetes). A szén-ciklus változásainak detektálása globális megfigyelő hálózatokkal.
- Ózon: sztratoszférikus ózon, troposzférikus ózon

#### **Irodalom:**

1. Boeker, E. and van Grondelle, R.: Environmental Physics, John Wiley & Sons, Chicester, 1995.
2. Protecting the Earth's Atmosphere, An International Challenge, Interim Report of the Study Commission of the 11<sup>th</sup> German Bundestag "Preventive Measures to Protect the Earth's Atmosphere" Publ. by the German Bundestag, Publ. Sect., 1989.
3. Reid, S.J.: Ozone and Climate Change, A beginner's Guide, *Gordon & Breach Science Publishers, Australia*, 2000.

Az oktató neve: **Dr. Kun Ferenc**

**PF4/310-10**

### **Számítógépes szimuláció**

(Ld. PF3/327-95)

Az oktató neve: **Dr. Kertész Zsófia**

**PF4/311-12**

**Atmoszférikus aeroszolk mintavételi módszerei és vizsgálata ionnyalábokkal és röntgen floureszcensz spektrométerrel**

1. Ionnyaláb analítika alapjai
2. Aeroszol mintavételi módszerek
3. PIXE technika alapjai
4. Atmoszférikus aeroszokok ismertetése és vizsgálati módszereik
5. Aeroszokok szerepe az orvoslásban és a klímakutatásban
6. Levegőtisztosítási határértékekre vonatkozó szabályok és előírások ismertetése
7. Regulations and policy in the field of air pollution standards
8. Adatanalízis alapjai
9. Analitikai adatok feldolgozása és értelmezési módszerei

A kurzus létrejöttét a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Az oktató neve: **Dr. Nagy Ágnes**

**PF4/312-12**

### **Nemlineáris jelenségek, káosz**

(Ld. PF1/315-93)

Az oktató neve: **Dr. Kun Ferenc**

**PF4/313-12**

### **Komplex rendszerek fizikája**

1. hét: Komplex rendszerek definíciója, alapfogalmak. Példák komplex rendszerekre. Komplex rendszerek vizsgálatának módszerei.
2. hét: Térbeli struktúrák jellemzése, a fraktálgeometria alapjai, fraktáldimenzió. Fraktálok osztályozása. Az önhasonlóság fogalma.
3. hét: A fraktáldimenzió meghatározásának numerikus módszerei. Fraktáldimenzió mérése kétdimenziós digitális projekció alapján, a box-counting és a sand-box módszer.
4. hét: Egyskálás és multiskálás fraktálok. Determinisztikus fraktálok dimenziójának analitikus meghatározása az önhasonlóság alapján. Kompozit fraktálok.
5. hét: Multifraktálok alapfogalmai. A fraktálstruktúra kiegészítése valószínűség eloszlással. Multifraktálok dimenzióspektrumának meghatározása. Analitikus megoldható és csak numerikusan kezelhető multifraktál problémák.
6. hét: Multifraktálok sűrűség indexe, az  $f$ -alfa spektrum. Multifraktálok a gyakorlatban.
7. hét: Időbeli struktúrák elemzése, az átlagos fluktuációs függvény. Idősorok multifraktál analízise.
8. hét: Strukturált határfelületek, ön-affin és fraktál felületek. Felületi struktúrák kísérleti és elméleti vizsgálata. Időbeli struktúrák kialakulása, jellemzésük kísérleti és elméleti eszközökkel.
9. hét: Hatványfüggvény eloszlások fizikai jelentősége. Hatványfüggvény eloszlásra vezető fizikai mechanizmusok, határeloszlás tételek, preferált kapcsolódás algoritmusai.
10. hét: Sejtautomata modellek komplex rendszerek vizsgálatára, a sejtautomaták és rácsmodell alapfogalmai és számítógépes szimulációjuk.
11. hét: Hálózatok fizikája. Watts-Strogatz -féle átírási algoritmus. Hálózatok topológiájának jellemzése: klaszterizációs együttható, szomszédszám eloszlás, átlagos átmérő. Hálózatok alkalmazása sejtautomatákban.

12. hét: Dinamikai instabilitás hajtott rendszerekben. Önszervezés. Az önszervezett kritikus állapot kialakulásának szükséges feltételei.

13. hét: Kritikus jelenségek és komplexitás, hasonlóságok és eltérések. Hajtás-disszipáció-relaxáció szerepe a lavina effektus létrejöttében. Makroszkopikus és mikroszkopikus időskálák szétválása.

14. hét: A komplex rendszerekről tanultak alkalmazásai, példák komplex rendszerekre. Katasztrofális lavinák előrejelzésének lehetőségei.

### **Ajánlott irodalom**

1. D. L. Turcotte, Fractals and Chaos in Geology and Geophysics (Cambridge University Press, 1996).
2. H. Jensen, Self-Organized Criticality (Oxford University Press, 1997).
3. A.-L. Barabasi and H. E. Stanley, Fractal Concepts in Surface Growth (Cambridge University Press, 1998).
4. K. Christensen and N. R. Moloney, Complexity And Criticality (Imperial College Press Advanced Physics Texts, 2005).
5. H. Takayasu, Fractals in the Physical Sciences (Manchester University Press, 1990)

Az oktatók neve: **Dr. Csige István**

**PF4/315-12**

### **Felszín alatti áramlások**

A felszín alatti vizek és gázok áramlásának víz- és gázföldtani, valamint fizikai elméletének alapjai. Víztranszport a telített és a telítetlen zónában. Szennyezőanyag terjedése. Talajgáz transzportja a telítetlen zónában. A radon gáz transzportja. Véges differenciák és véges elem módszer alapjai. Modellalkotás: koncepcionális, matematikai, numerikus és számítógépes modellek létrehozása. Alkalmazások készítése Visual Modflow és COMSOL Multiphysics programok segítségével.

A kurzus létrejöttét a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Az oktatók neve: **Dr. Molnár Mihály**

**PF4/316-13**

### **Geokronológia és paleoklíma**

A kurzus A.J. Timothy Jull vendégelőadó közreműködésével valósul meg. A kurzus nyelve: angol.

A tárgy keretében áttekintik a Negyedidőszak kutatásában használt kormeghatározási módszereket és a klimatikus változásokat a legutóbbi jégkorszakok és felmelegedési periódusok során.

A következő módszereket tekintik át, alkalmazási példákkal:

1. Radiokarbon korolás
2. Uranium-Thorium korolás
3. K-Ar korolás
4. Kozmogén izotópos korolás: a besugárzási idő meghatározás, eróziós ráta mérés és mélységi profilok tanulmányozására is kitérve.

5. Lumineszcens módszerek (TL és OSL)
6. A fenti módszerek alkalmazásai a klímaváltozás kutatásában az utolsó jégkorszak és felmelegedés során: problémák, ellentmondások és tanulságok számbavételével.

A hallgatókkal szemben elvárás a fenti módszerek kapcsán vitakészség kialakítása, illetve egy-egy kisebb téma önálló feldolgozása és bemutatása.

Ajánlott irodalom:

1. Dunai T. 2010. COSMOGENIC NUCLIDES: Principles, Concepts and Applications in the Earth Surface Sciences. Cambridge: Cambridge University Press.
2. Berger, A. and Loutre, M.F. 2007. Milankovitch theory and paleoclimate. In (Elias, S. ed) Encyclopedia of Quaternary Science. Amsterdam: Elsevier. Pp. 1017-1022.
3. Jull, A. J. T. 2006. Radiocarbon Dating: AMS Method. In Encyclopedia of Quaternary Science (ed. S. Elias), Elsevier: Amsterdam. pp. 2911-2918

Az oktató neve: **Dr. Kun Ferenc**

**PF4/317-14**

### **Perl programozás és hálózatok a bioinformatikában**

A kurzus Dr. Farkas Illés (ELTE) vendégelőadó közreműködésével valósul meg.

A tantárgy részletes tematikája:

3. Bevezetés. A bioinformatika területei. Eredmények és célok.
4. Adatgyűjtés. Mérési technológiák: szekvenálás, microarray, térszerkezet, nemkódoló RNS, kölcsönhatások.
5. Adatkezelés. Az adatok összegyűjtése és az adat minőség félautomatikus javítása (curation). Molekuláris biológiai adatbázisok az adatok típusa és feldolgozottsága szerint. Példák.
6. Programozás. Perl bevezető. Perl skalár változók és használatuk.
7. Perl lista és hash változók és használatuk részletesen.
8. A szöveggörnyezet szerepe. Alapértelmezett változók. File olvasás és írás.
9. Perl reguláris kifejezések. A mintázat illesztés használata.
10. Perl beépített függvények. Referenciák. Saját függvények írása. Példák.
11. Molekuláris biológiai adatok csoportosítása (klaszterezése) és leképezése gráfokra. K+means, self+organizing maps. Hierarchikus klaszterezés: normálás, távolság, csoportosítás.
12. Fehérje+fehérje kölcsönhatási (PPI) hálózatok. Összesített kölcsönhatási fehérje asz-szociációs) hálózatok. Gene ontology. Transzkripció szabályozási hálózatok.
13. Az adatok feldolgozása és modellezése hálózatok segítségével. Erdős--Rényi gráf, kis világ modell, skálafüggetlen modell.
14. Biológiai hálózat modellek és eredmények. Duplikáció+mutáció modell.
15. Fokszám és letalitás kapcsolata PPI hálózaton és dokkolási kapcsolatok hálózatán.

Az oktató neve: **Dr. Kun Ferenc**

**PF4/318-14**

### **Kritikus viselkedés és komplex rendszerek**

A kurzus Dr. Frank Raichel vendégelőadó közreműködésével valósul meg. A kurzus nyelve: angol.

- Bevezetés: Komplex rendszerek
- Véletlenváltozók, sztochasztikus folyamatok, Markov folyamatok
- A Langevin egyenlet
- Brown mozgás
- A Fokker-Planck egyenlet
- Nem-Gauss-i és nem-Markov folyamatok
- Véletlen sorozatok kiértékelése az idő és skála függvényeként
- Kritikus viselkedés és perkoláció
- Önszervezett kritikus viselkedés
- Az Oslo modell, törés és földrengések
- Komplex hálózatok
- Gazdasági fizika

Az oktató neve: **Dr. Molnár Mihály**

**PF4/319-14**

### **Meteoritok, a korai Naprendszer és Nukleáris Asztrofizika**

A kurzust Ulrich Ott vendégelőadó tartja, angol nyelven.

- Meteoritok: osztályozásuk és kémiai összetételük
- Meteoritok és naprendszerek összetevői: elemek és izotópok
- Izotópanalitikai módszerek és izotóp-összetétel eltérések
- A meteoritok életkora (keletkezés, átalakulás, kozmikus besugárzás)
- A meteoritok és a korai Naprendszer: elbomlott izotópok
- Nem-radiogén izotóp-anomáliák – nagytömegű meteoritok
- Csillagközi porszemcsék: izotóp-összetétel, forrás-csillagok és atommag-szintetizáló csillagok.

Az oktató neve: **Dr. Erdélyi Róbert**

**PF4/320-15**

### **Hullámtan**

Hiperbolikus differenciálegyenletek hullámtanbeli alkalmazása a modern fizika egyik kulcsfontosságú tárgya. Ez a modul lehetőséget kínál az alapfogalmaktól kiindulva a hullámjelenségek bonyolultabb matematikai összefüggésének megértésére. Először egydimenziós hullámterjedéssel foglalkozunk. Példákat mutatunk be húrokon szemléltetve, majd ezt követően definiáljuk az álló és haladó hullámok komplex fogalmát, valamint további kulcsfogalmakat (normál módusok homogén és inhomogén hullámvezetőkben) vezetünk be. A kurzus során elsajátítjuk és alkalmazzuk Fourier és Laplace módszereit és különböző problémák megoldására felhasználjuk őket. Egyik ilyen megoldandó kihívás a kétdimenziós hullámterjedés (hullámjelenségek membránon) megértése. Ezt követően a háromdimenziós hullámokkal foglalkozunk, pontosabban a légkörben vagy hangszerekben (zongora, hegedű) terjedő akusztikus hullámokkal. Külön hangsúlyt szentelünk az egy-, két- és háromdimenziós hullámterjedést leíró matematikai összefüggések hasonlóságának feltárására, azok matematikai hátterére. Ezt követően a hidrodinamikai hullámok fizikájával foglalkozunk, amelyet hasonló,

az addigra elsajátított matematikai eszközökkel kívánunk jellemezni és leírni. Ezzel kapcsolatosan definiáljuk a diszperziós reláció és csoport-sebesség fogalmát, és vizsgáljuk azok matematikai és fizikai relevanciáját. A kurzus zárásaként pedig betekintünk a nem-lineáris hullámok fizikájába, valós életbeli szemléletes példákkal alátámasztva (autópálya forgalom hullám-modellezése, stb).

Az oktató neve: **Dr. Erdélyi Róbert**

**PF4/321-15**

### **Szoláris magneto-hidrodinamika**

A soláris magnetohidrodinamika (MHD) alkalmazása egy sor asztrofizikai és plazmafizikai problémára kínál megoldást legyen az a napfizika, Nap-Föld fizika vagy a magfúzió kérdésköre. Ez a modul betekintést kínál a klasszikus magnetohidrodinamikába specifikus de jellemző napfizikai és asztrofizikai problémák alkalmazásával. Először a MHD alapegyenleteit ismertetjük ideális és nem ideális (disszipációs) esetekben. Ezt követően az alapegyenletekből szükségszerűen következő elméleteket sajátítjuk el (például megmaradási tételek, befagyáselmélet, anti-dinamó elmélet, MHD sajátérték probléma ill. sajátérték spektrum). Ismertetjük az egyszerűbb mágneses térkonfigurációkat (felületi hullámok kontakt diszkontinuitáson, hasáb-geometria, henger-szimmetrikus és gömbi geometriák, elliptikus hullámvezetők), a gyengén nem-lineáris hullámok terjedését, MHD lökéshullámok homogén, inhomogén, rétegzett és strukturált (hasáb-geometria és henger-szimmetrikus geometria), időfüggő hullámvezetők matematikai leírását. A kurzus során ismertetett jelenségek szorosan kapcsolódnak a Napfizika témaköréhez, ezért konkrét napfizikai jelenségek körét is tárgyalni fogunk (például helio-szeizmológiai alkalmazások).

Az oktató neve: **Dr. Erdélyi Róbert**

**PF4/322-16**

### **Emelt szintű soláris magneto-hidrodinamika**

A soláris magnetohidrodinamika (MHD) alkalmazása egy sor űr- és heliofizikai problémára kínál megoldást (például a napfizika, Nap-Föld fizika vagy az Űridőjárás kérdésköre). Ez a kurzus, az előfeltételként megkövetelt Soláris Magnetohidrodinamika kurzusra épülve, sajátos, jellemzően emelt szintű napfizikai problémák alkalmazásával betekintést kínál a klasszikus magnetohidrodinamikába. A hallgató megismeri az MHD karakterisztikák módszerét, az MHD sajátérték problémák rendszerét, ideális és disszipatív mágneses plazmák MHD spektrálméletét, stabilitási elméleteket, abszolút és konvektív instabilitások elméletét, inhomogén MHD plazmákban bekövetkező rezonáns abszorpció és fáziskeveredés folyamatait, valamint a mágneses rekonnekciót. Ismertetünk összetett mágneses plazmatér konfigurációkat (például kontakt diszkontinuitású áramközegek, több-komponensű hasáb- és henger-szimmetrikus geometriák), továbbá ezen geometriákban lineáris MHD hullámok terjedését. A kurzus során tárgyalt jelenségek szorosan kapcsolódnak a Nap- és Űrfizika témakörökhöz, ezért konkrét kapcsolódó jelenségek körét is tárgyalni fogunk (például hullámvezetők emelt szintű helio-szeizmológiai alkalmazásai).

Az oktató neve: **Dr. Erdélyi Róbert**

**PF4/323-16**

**Sunpy**

A Sunpy ([www.sunpy.org](http://www.sunpy.org)) korszerű, nyílt forráskódú Pythonban írt szoftvercsomag. Olyan felhasználóbarát programozási nyelv, amely nélkülözhetetlen napfizikai adatbázisok hatékony és gyors analíziséhez. Kifejezetten a napfizikai kutatások részére fejlesztették ki, kihasználva a Pythonban elérhető tudományos és képmegjelenítő lehetőségeket. A hallgatók elsajátítják a Python programozási nyelv alapjait, különös tekintettel annak napfizikai és csillagászati adatbázisok kezelésére és azok képmegjelenítő alkalmazásaira. Bevezetés nyújtunk a Sunpy és a Unix OS kapcsolatába, valamint a hatékony közösségi programfejlesztési technikába. A kurzus előadásai és a kapcsolódó gyakorlatok során különös figyelmet fordítunk olyan programfejlesztési eljárásokra, amelyek elősegítik a tudományközpontú hatékony programozást. A kurzus két ismeretátadási módszert alkalmaz: előadások és gyakorlatok, amelyek között az egyensúlyt a hallgatók ismeretbefogadási készsége határozza majd meg. Az előadásokhoz az IPython Notebook-ot, azaz a Python interaktív környezetét használjuk, kihasználva az „életre keltett programozás” megközelítésének előnyeit, amely határozottan hatékonyabb módszer, mint a hagyományos előadások.

Tematika: Bash és command line programozás alapjai; Git, verziókövetés; Bevezetés a Python nyelvbe; Emelt szintű Python; A Units and Quantities koncepció ismertetése; Képanalízis és képnymtatás; Kép típusú adatok a csillagászatban és napfizikában; *Astropy Tables* használata; Napfizikai és csillagászati adatok; Idősorok.

Az oktató neve: **Dr. Erdélyi Róbert**

**PF4/324-18**

### **Plazmafizika alapjai**

Tudtad, hogy az Univerzum anyagának több mint 98 %-a plazma halmazállapotú? Tudtad, hogy a Nap típusú csillagok légköre több millió fokos plazma? És azt tudtad-e, hogy Naprendszerünk bolygóinak légköre folyamatos kölcsönhatásban áll a Naptól kiáramló plazmafolyammal, melynek köszönhető például az auróra csodálatos látványa? A kontrollált magfúzió iránti érdeklődés folyamatos növekedésével és az úrfizika ill. relativisztikus asztrofizika területein egyre szélesebb körben elterjedő plazmafizikai alkalmazásoknak köszönhetően ma már elengedhetetlenül szükséges posztgraduális hallgatók részére, hogy más alaptárgyak, mint például a termodinamika, nukleáris fizika vagy kvantummechanika mellett a plazmafizika alapjait is alaposan elsajátítsák.

Ez a posztgraduális kurzus, az előfeltételként megkövetelt klasszikus BSc képzés elméleti fizikai ismereteire épülve, sajátos betekintést kínál a modern plazmafizika alapjaiba. Vezérelv, hogy a komplex matematikai lépések ne akadályozzák a fizikai megértést. Ennek megfelelően, a plazmák leírásánál a kétkomponensű folyadékok modelljét fogjuk többnyire alkalmazni. A kétkomponensű folyadék approximációja egyszerűbben megérthető, pontosabb, mint a hagyományos fluid megközelítés, legalábbis alacsony sűrűségű plazmajelenségek esetében. A modul egyidejű bevezetést nyújt a neutrális folyadékok és plazmák fizikájába, kiemelten tárgyalva a két megközelítésbeli hasonlóságokat és különbségeket. Áttekintjük mind a makroszkopikus (kontinuum) mind a mikroszkopikus (részecske) leírásokat, feltárva a két megközelítés közötti kapcsolatokat.

A kurzus során tárgyalt jelenségek szorosan kapcsolódnak a nap-, űr- és asztrofizika témakörökhöz, ezért konkrét kapcsolódó jelenségköröket is tárgyalni fogunk, jóllehet előzetes csillagászati ill. asztrofizikai ismeretek nem szükségesek. Végezetül, röviden áttekintjük a lézer és ipari plazmák szerepét a fúziós plazmafizika fejlődéstörténete során.

Javasolt irodalom:

AR Choudhuri: The Physics of Fluids and Plasmas;

R Dendy: Plasma Physics: An Introductory Course;

### **Komplex hálózatok**

A tárgy keretében a következő témákat dolgozzuk fel:

- A hálózatok kapcsolata komplex rendszerekkel. A hálózatok, mint gráfok, a gráfelmélet alapjai. Irányított, irányítatlan, és súlyozott hálózatok. Páros hálózatok és vetületeik. A szomszédsági mátrix. Út és távolság, legrövidebb út, átmérő, átlagos úthossz. Összefüggőség. Klaszterezettségi együttható. A centralitás legfontosabb mértékei.
- Véletlen hálózatok. Az Erdős-Rényi modell. Kisvilág-hálózatok. Watts-Strogatz -féle átkötési algoritmus. Skálafüggetlen hálózatok. A Barabási-Albert modell. Növekedés és preferált kapcsolódás. A Barabási-Albert modell kiterjesztései. Ultra-kisvilág tulajdonság. Tetszőleges fokszám eloszlású hálózatok előállítása. A preferenciális kapcsolódás eredete, mérése, és modellezése. A nem-lineáris preferenciális kapcsolódás.
- Korrelált hálózatok. A fokszámkorreláció vizsgálata. Korrelált hálózatok előállítása. A hálózatok robusztussága. Perkoláció hálózaton. Átlagos klaszterméret, rendparaméter, korrelációs hossz. Inverz perkolációs átmenet. A Molloy-Reed kritérium. Ellenállóság támadással szemben. Hiba lavinák és modellezésük. Robusztus hálózatok tervezése.
- Közösségek szociális és biológiai hálózatokon. Közösségek azonosítása és jellemzése. Terjedési jelenségek. Járványelőrejelzés. Hálózati adatszerkezetek és algoritmusok. Hálózati algoritmusok hatékony számítógépes megvalósítása.

Ajánlott irodalom: Barabási Albert László, A hálózatok tudománya (Libri, 2016). Mark J. Newman, Networks (Cambridge University Press, 2013).

### **Univerzalitási osztályok nemegyensúlyi rendszerekben**

A kurzus Ódor Géza vendégelőadó közreműködésével valósul meg.

A kurzus a nemegyensúlyi rendszerekben lejátszódó fázisátalakulások statisztikus fizikai leírásával foglalkozik. Legfontosabb témák:

- Nemegyensúlyi univerzális jelenségek létrejötte és fő kategóriái. A nemegyensúlyi dinamikus osztályok leírásának főbb mennyiségei, kritikus exponensei. Térleméleti leírás és a renormálási csoport csoport módszer. A Keldysh formalizmuson alapuló topológikus fázistér módszer. Lokális skálainvariancia.
- A rendezetlenség hatása nemegyensúlyi rendszereknél. A ritka régiók elmélete. A Harris kritérium. Nemegyensúlyi rendszerek alapvető dinamikái. Klaszter definíciók, a kritikus pont és a geometriai perkoláció viszonya.
- A  $Z_2$  szimmetriájú, nem-egyensúlyi rendszerek univerzalitása. A Potts modell osztályai és leképezései. A q-d fázisdiagram. A gyenge dinamikus univerzalitás hipotézise. A hosszú távú kölcsönhatások és diffúziók hatása a fázisátmenetek kritikus viselkedésére. A kétdimenziós, nemegyensúlyi XY modellek fázisátmenetei. Hajtott rács gáz univerzalitási osztályok egy és két dimenzióban.



- Az egy-komponensű, általános reakció-diffúziós modellek átlagtér univerzalitási osztályai. Az irányított perkolációs (directed percolation, DP) hipotézis és annak alkalmazhatósága. Hiperskála összefüggések abszorbeáló átmenetű modelleknél. Nemegyensúlyi határfeltételek és a határfelületi viselkedés leírása. Felületi átmenetek típusai. DP osztály rendezetlenséggel szembeni érzékenysége.
- Az n-CP (bináris, trimer ... $(n>1)$ ) osztályok kritikus viselkedése. Az általánosított betegség terjedési folyamat, fázisdiagramja és kapcsolata az izotróp perkolációval. Szavazó modell osztályok 1-és 2 dimenzióban.
- Az annihiláló véletlen bolyongás aszimptotikus dinamikus viselkedése különböző dimenziókban. A paritásőrző (PC) univerzalitási osztály, annak reprezentációi és a felső kritikus dimenziói. A perzisztencia és skálaösszefüggései.
- A BARWe és a Lévy flight fázisdiagramja. A versengő diffúzió/fluktuáció hatásai reakciódiffúziós rendszerekben. Elsőrendű átmenetű rendszerek skálaviselkedése. Több-komponensű AB $\rightarrow$ 0 és BARW rendszerek skálaviselkedése. Az Edwards-Wilkinson féle skálaexponensek.

Ajánlott irodalom Géza Ódor, Universality In Nonequilibrium Lattice Systems: Theoretical Foundations (World Scientific Publishing, Singapore, 2008). (...)

Az oktató neve: **Dr. Szabó István**

**PF4/327-18**

### **Atomi feloldású mikroszkópia**

*(a foglalkozás leírását lásd: PF3/329-96)*

Az oktató neve: **Dr. Mészáros Sándor**

**PF4/328-19**

### **Szupravezetés**

*(a foglalkozás leírását lásd: PF3/36-93)*

# V. Részecskefizikai program

Az oktató neve: **Dr. Angeli István**

**PF5/31-95**

## **Nagyenergiájú részecskegyorsítók I.-II.**

Bevezetés. Ionforrások. A tradicionális gyorsító típusok áttekintése. Működési elvek és feltételek. Egyenáramú és rezonanciagyorsítók. Fázisstabilitás. Betatron-oszcillációk. A gyenge és erős fókuszálás kritériumai. Alkalmazások közepes és nagy energiák esetében. Közepes- és nagyenergiájú nehéz-ion gyorsítók. A gyorsított nyaláb kivezetése, fókuszálása és céltárgyra irányítása. Elektrosztatikus és elektromágneses kvadrupól lencsék.

Töltött részecske nyalábok fizikája. A nyalábok jellemzése. Lamináris nyalábok saját-tér nélkül. Tengely-szimmetrikus nyalábok. Két-dimenziós rendszerek. Szimmetria síkok nélküli rendszerek. A saját-tér figyelembe vétele lamináris nyalábok esetében. Ütközés nélküli nem-lamináris nyalábok. Az ütközések figyelembe vétele. A sugárzási energia-veszteség szerepe. Longitudinális és transzverzális hullámok és instabilitások a nyalábban. Részecske-csomagokból álló nyalábokban fellépő dinamikus folyamatok.

Orbitális gyorsítók és tároló gyűrűk. Az él-fókuszálás. A transzverzális mozgás parametrizálása. Pálya torzulások és instabilitások. Kromatikus eltérések. Longitudinális nyaláb-dinamika. Koherens instabilitások. Sugárzási veszteség, az oszcillációk csillapítása, kvantum gerjesztések. Az ütköző-nyalábos rendszerek jelentősége, megvalósításuk speciális kérdései. Tároló-gyűrűk. Másodlagos részecske-nyalábok (antiproton, pozitron, neutrínó, stb.) előállítása, felhasználása. Divergáló antiproton nyalábok "hűtése". Lineáris nehéz-részecske gyorsítók. Lineáris elektron-gyorsítók pulzált ill. folytonos nyalábbal.

Az oktatók neve: **Dr. Dávid Gábor**

**PF5/33-95**

## **Modellezés, szimuláció, analízis a kísérleti részecskefizikában**

A kurzus bevezetést nyújt a szimuláció és statisztikai analízis felhasználásába a részecskefizikai kísérletek tervezésében és a mérési adatok analízisében.

Az alábbi témakörök kerülnek tárgyalásra: általános megfontolások kísérletek tervezéséhez; a részecskefizikai kísérletekben rögzítésre kerülő adatok természete; a statisztikus folyamatok szimulációjának gyakorlata; fizikai esemény generátorok; különböző típusú neutron-, foton-, elektron- és hosszú élettartamú hadron detektorok jeleinek szimulálása; az akceptancia, hatásfok és felbontás mérése; kinematikus illesztés; mérési adatokból paraméterek, valamint azok szisztematikus és véletlen hibáinak becslése; hipotézis vizsgálat.

Az előadás fontosabb témaköreit korábbi és jelenleg folyamatban lévő részecskefizikai kísérletekből vett példák szemléltetik. A csatlakozó gyakorlati foglalkozásokon tipikus részecskefizikai feladatok szimulációs és statisztikai analízis feladatai kerülnek feldolgozásra, lehetővé téve az e területen széles körben használt számítógépi szoftver eszközökkel való megismerkedést is.

Az oktató neve: **Dr. Raics Péter**

**PF5/311-95**

### **Részecskedetektorok**

A részecskefizikai kísérletek által támasztott feladatok, követelmények. Mérendő mennyiségek, pontosságuk. Jel/zaj viszonyok a nagyenergiás kísérletekben.

A gamma-sugárzás kölcsönhatásai az anyaggal. Töltött részecskék lassulási folyamatai. Gáztöltésű detektorok: proporcionális-, streamer-, drift kamrák. Szcintillátorok alkalmazásai. Félvezető spektrométerek. Helyérzékelő detektálás: vizuális, elektronikus pályarögzítés. Mágneses tér. Részecskeazonosítás, energia- és impulzus meghatározás. Korrelációs mérések.

Elektromágneses-, müon- és hadron kaloriméterek. Összetett rendszerek triggerelési módjai. Lokális eseményválogatás. Adatgyűjtés, továbbítás, kiértékelés nagyszámú detektorcsatorna esetén. On-line és off-line analízis. Adatformátumok. Szimulált adatok a kiértékelésben. Összevetés modellekkel.

Az oktató neve: **Dr. Sailer Kornél**

**PF5/312-95**

### **Bevezetés a kvantumtérelméletbe**

(Ld. PF2/315-93)

Az oktató neve: **Dr. Sailer Kornél**

**PF5/314-95**

### **Szimmetriák és sérülésük a kvantumtérelméletben**

(Ld. PF2/317-95)

Az oktató neve: **Dr. Zilizi Gyula**

**PF5/316-95**

### **Elektronika a részecskefizikában**

Gyorsítók és vezérlésük a részecskefizikában. A fizikai környezet paramétereinek mérése, szabályozása és adatgyűjtése a nagyenergiájú gyorsítók körüli kísérletekben. Az eseménydetektálás elektronikus háttere: detektor kiolvasó, hitelesítő és ellenőrző elektronikus eszközök. A nagymennyiségű adat átviteli módszerei a részecskefizikai kísérletekben. A nagytávolságon történő adatátvitel és adatfeldolgozás hardware problémái. Elektronikus eszközök sugárkárosodása, sugárzás hatása a kísérletben alkalmazott berendezések működésére.

Az oktató neve: **Dr. Trócsányi Zoltán**

**PF5/317-95**

### **Standard modell**

(Ld. PF2/321-93)

Az oktató neve: **Dr. Trócsányi Zoltán**

**PF5/318-95**

### **Nagy egyesített elméletek**

A standard modell rövid áttekintése; sikerei és korlátai. Az SU(5) nagy egyesített elmélet. A csoport szerkezete. Spontán szimmetriasértés. Energiafüggő csatolási állandók. A proton bomlásáról. A minimális SU(5) modell hiányosságai. Az SO(10) modell. Szuperszimmetrikus modellek. A szuperszimmetria fogalma, szuperszimmetrikus részecskék.

Az oktató neve: **Dr. Trócsányi Zoltán**

**PF5/320-97**

### **Perturbatív kvantumszindinamika I.-II.**

I. rész

A kvantumszindinamika - az erős kölcsönhatás elmélete - perturbatív leírását tárgyaljuk.

A fő fejezetek:

- A QCD Lagrange-sűrűség
- A QCD ultraibolya renormálása
- Renormálási csoport
- Fizikai példák:
  - elektron-pozitron megsemmisülésben való jet keletkezés (vezető rend, arra következő rend és a dipól rendszer, "cut" diagramok, helicitás formalizmus)
  - mélyen rugalmatlan szórás (faktorizációs tétel)
  - hadron-hadron ütközés

II. rész

A véges rendű perturbatív kvantumszindinamika alkalmazhatóságának bővítését tárgyaljuk.

1. Lágy-gluon divergenciák kezelése
  - felösszegzés a fizikai tartomány határán, ill. azon belül (thrust, C paraméter, nagy transzverzális impulzusú jet párok keletkezése hadronütközésekben)
2. Hatványkorrekciók megbecslése renormalonláncok felösszegzésével (Drell-Yan folyamat, hadronikus alakváltozók)

Az oktató neve: **Dr. Cseh József**

**PF5/321-97**

### **Szimmetriák két-és többtest-problémákban**

(Ld. PF2/32-93)

Az oktató neve: **Dr. Schram Zsolt**

**PF5/322-97**

### **Rácstérelmélet**

Kvantálás pályaintegrállal. Skalártér rácson. Fermionok. Abeli és nem-Abeli mértékelméletek megfogalmazása rácson. Analitikus módszerek. Monte Carlo szimulációk. Véges hőmérdékletű térelmélet rácson. Kvarkezárás.

Az oktatók neve: **Dr. Sailer Kornél**

**PF5/323-98**

### **Általános relativitáselmélet**

Speciális és általános relativitási elv. Sokaságok, tenzorok. Görbület. Einstein-egyenlet. Homogén és izotróp kozmológia. Swarzschild-megoldás. Speciális kérdések: Kazuális szerkezet, szingularitások, fekete lyukak. Kvantumeffektusok.

Az oktató neve: **Dr. Horváth Dezső**

**PF5/326-00**

### **A Standard Modell és kísérleti ellenőrzése**

Tematika, 1. félév:

- Szimmetriák és megmaradó mennyiségek
  - Globális mértékszimmetriák:  $U(1)$ ,  $SU(2)$ ,  $SU(3)$
- A sztatikus kvarkmodell
  - Íz- $SU(3)$ : az első három kvark
  - Alapvető kvantumszámok: izospin, ritkaság, íz, szín
  - Kísérleti bizonyítékok
- A nagyenergiájú fizika kísérleti módszerei
  - Részecskeészlelés és -azonosítás, kalorimetria
  - Eseményregisztráció, adatgyűjtés
  - Monte Carlo módszerek, szimuláció,
  - Statisztikus adatfeldolgozás
- Alapkísérletek: paritás-sértés, kaonregeneráció, CP-sértés
- Lokális mértékszimmetriák és kölcsönhatások
  - Lokális  $U(1)$  = Elektromágneses kh.
  - Lokális  $SU(3)$  = Erős kh.
  - Lokális  $SU(2) \neq$  Gyenge kh.
  - Erős kölcsönhatás és QCD, a gluonok

Tematika, 2. félév:

- A sztatikus kvarkmodell áttekintése
- Szimmetriák és kölcsönhatások áttekintése
- A gyenge kölcsönhatás
  - Paritássértés
  - Spontán szimmetriasértés
  - Higgs-mechanizmus

- Tömegképződés
- Kvarállapotok keveredése
- A Standard Modell
  - A SM felépítése
  - Menaszéria: leptonok, kvarkok, mértékbozonok
- Nagyenergiájú kísérletek: LEP és LHC
- A SM kísérleti bizonyítékai
  - Z-szélesség, a gyenge bozonok tömege
  - Lepton-univerzalitás
- A SM hiányosságai
- A SM kiterjesztése: GUT, SUSY, SUGRA, ...
- Higgs-bozonok keresése

Az oktató neve: **Dr. Horváth Dezső**

**PF5/327-01**

### **A részecskefizika kísérleti technikája**

Az előadás a *Standard Modell felépítése és kísérleti ellenőrzése* kollokviumot egészíti ki a nagyenergiájú fizika kísérleti eszköztárának bemutatásával, de arra nem épít, tehát annak előzetes meghallgatása nélkül felvehető. A Standard Modell alapjainak vázolója után konkrét kísérleteket ismertetünk, a legegyszerűbbektől, mint a részecsketömegek meghatározása rezonanciák és atomi átmenetek mérésével egészen a modern gyorsítókhöz tervezett kaloriméterekig illetve a mai neutrínódetektorokig. Az előadássorozat vázlata:

- Bevezetés: a Standard Modell.
- Hatáskeresztmetszet, energia és idő mérése, rezonancia. Részecsketömeg mérése.
- Töltött részecskék észlelése.
- Nagyenergiájú részecskék lassulása anyagban, a Bethe-Bloch egyenlet.
- Egzotikus atomok és alkalmazásaik, müonspin-rezonancia.
- Paritás megmaradása és sértése. CP-sértés, a semleges kaonok. CPT-tesztek.
- Nagyenergiájú fotonspektroszkópia és W-fizika: LEP-kísérletek.
- Neutrínódetektorok, a neutrínók tömege.
- Hadron-ütköztetők: LHC, CMS-kísérlet.
- e-p ütköztető: HERA és kísérletei.
- A jövő ütközőnyalábjai.

Az oktató neve: **Dr. Dávid Gábor**

**PF5/331-10**

### **Adatgyűjtés, trigger, online monitoring**

Tárológyűrűs részecskegyorsítók, többrétegű detektorrendszerek; RHIC PHENIX, a PHENIX aldetektorai. Órajel elosztás. A PHENIX adatgyűjtő rendszerének elemei: Front End Module (FEM), Data Collection Module (DCM), Event Builder (EvB). Fizikai kísérletek

többszintű trigger-rendszerei; konkrét megvalósítás a PHENIX-ben: elsősztintű hardware- és másodsztintű software-trigger. Adatgyűjtő rendszer particionálása. Adatok rendszerezése: események, szegmensek, „run”. Adatok online ellenőrzése (monitoring). Online és offline kalibráció, utólagos kalibráció (afterburner).

Az oktató neve: **Dr. Schram Zsolt**

**PF5/332-11**

### **Az elméleti fizika variációs elvei**

1. A variációs elv története
2. Mechanika: A virtuális munka elve. A D'Alembert elv. A hatáselv. Poisson algebra. A Gauss elv. A Lagrange módszer. A Maupertuis elv.
3. Optika és elektrodinamika: A Fermat elv. Elektrosztatikai variációs elv (Coulomb és Gauss törvények). Magnetosztatikai variációs elv (Ampére törvény). Elektrodinamikai variációs elvek (Faraday és Maxwell törvényei). Mértékrögzítés és elektromágneses hullámok. Elektrodinamika kvaternió formalizmusban.
4. Gravitáció: Térídő metrika. Pontrészecske relativisztikus mozgása. A Maupertuis-elv geometriája, geodétikusok. Töltés relativisztikus mozgása, húr-hatás. Einstein-Hilbert hatás (Einstein egyenletek).
5. Termodinamika: Entrópia elv és hőmérséklet. Szabadenergia, termodinamikai potenciálok. Gibbs eloszlás, mikro- és makro-valószínűségek. Boltzmann H-tétele, entrópiaprodukció.
6. Elemi kvantummechanika: A Schrödinger-egyenlet mögötti variációs elv. A Ritz elv. Hartree és Fock módszere. Időfüggő variációs problémák. Koherens állapotok Hilbert-tere. A Feynman pályaintegrál.

A kurzus létrejöttét a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Az oktató neve: **Dr. Sailer Kornél és Dr. Nagy Sándor**

**PF5/333-13**

### **Funkcionális renormálási csoport módszer**

A kvantumtérelméleti effektív hatás, skálafüggés, Wetterich egyenlet. Egyszerű skaláris modellek evolúciós egyenlete, megoldása és összevetése a perturbatív renormálással kapott eredményekkel. A gaussi, az ultraibolya és az infravörös fixpont. Aszimptotikusan szabadság a skaláris  $O(N)$  modellben. Aszimptotikus biztonság, példák: Gross-Neveu modell, nemlineáris sigma modell, sine-Gordon modell. A kvantumgravitáció renormálása.

Az oktató neve: **Dr. Kovács Tamás György**

**PF5/334-14**

### **Statisztikus térelmélet**

- A statisztikus fizika alapjainak rövid áttekintése
- Az Ising modell statisztikus fizikája
- Statisztikus fizikai rendszerek Monte Carlo szimulációja

- Kritikus jelenségek, az Ising modell kritikus pontja
- A renorm-csoport módszer alapjai
- Az Ising modell kritikus pontjának numerikus vizsgálata
- Kitekintés: a részecskefizika kvantumtérelméleti modelljei

Az oktató neve: **Dr. Sailer Kornél**

**PF5/335-14**

### **Kozmológia**

Csillagászati megfigyelések tapasztalatai (Hubble-törvény, kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás). Homogén és izotróp Világegyetem (Robertson-Walker-metrika, Friedmann-egyenletek és megoldásaik, horizontok, konform diagrammok, vöröseltolódás, kozmológiai paraméter, lassulási paraméter). A Világegyetem anyagösszetétele, vázlatos fejlődéstörténete. Az Ősrobbanás-modell problémái, a felfúvódó Világegyetem (inflatonmező, elő- és felfűtés). Gravitációs instabilitások (a Newton-i fizikában, az általános relativitás elméletében). A primordiális inhomogenitások és jellemzésük.

Az oktató neve: **Dr. Somogyi Gábor**

**PF5/336-15**

### **Feynman integrálok kiszámítása**

Az anyag szerkezete és viselkedése a legkisebb méretskálákon nagyenergiás elemirész ütközéseken keresztül vizsgálható. Ezen ütközések elméleti leírásának matematikai kerete a perturbatív kvantumtérelmélet. A Feynman integrálok a kvantumtérelméletben elvégzett konkrét perturbatív számítások alapvető építőkövei. Az előadás bevezetést nyújt a Feynman integrálok kiszámításának modern módszereibe. Fő fejezetek:

- Feynman integrálok definíciója
- Alapvető eszközök: alfa- és Feynman-parametrizáció
- Feynman integrálok kiszámítása Mellin-Banres reprezentáción keresztül
- Parciális integrálási azonosságok, visszavezetés mesterintegrálokra
- Feynman integrálok kiszámítása differenciálegyenleteken keresztül
- A szimbolikus integrálás modern eszközei
- Numerikus módszerek Feynman integrálok kiszámítására

Az oktató neve: **Dr. Nándori István**

**PF5/337-16**

### **A funkcionális renormálási csoport módszer alapjai**

Részecskefizikai folyamatok leírására természetes választás a kvantumtérelmélet. A kvantumtérelméleti modelleket szimmetria megfontolások segítségével definiáljuk. Azonban a kvantálás és relativisztikus leírás együttes alkalmazása azt eredményezi, hogy a modellek paraméterei skálafüggővé válnak és a mérésekkel történő összehasonlítás úgynevezett renormálást követel. A kurzus célja, hogy betekintést adjon a renormálás nem-perturbatív végrehajtására használt eljárás, a funkcionális renormálási csoport módszer alapjaiba.



Az oktató neve: **Dr. Nagy Sándor**

**PF5/338-17**

### **Kvantum renormálási csoport**

A hagyományos, egy-időtengelyes renormálási csoport (RG) módszer korlátai. Renormálás Minkowski téridőben. Az euklideszi és a Minkowski téridőben kapott RG egyenletek összehasonlítása az  $O(N)$  modellben, fázisszerkezet, fixpontok. A zárt időtengelyes (CTP) formalizmus és alkalmazásai. A CTP propagátor és inverzének meghatározása. Nyílt és zárt rendszerek. A zárt és nyílt időtengelyes formalizmus, redukált sűrűségmátrix. Bilokális potenciál és renormálása. Fa-szintű renormálás, hurok járulékok. CTP renormálási csoport egyenletek. Rendszer és környezet összefonódása.

Az oktató neve: **Dr. Kardos Ádám**

**PF5/339-18**

### **Bevezetés az effektív térelméletekbe**

A kurzus célja megismertetni a hallgatókat azokkal a technikákkal, amelyek az effektív térelméleti számításokban előfordulnak. Különösképpen pedig azokkal, amelyek a kvantum-szindinamika lágy-kollineáris effektív elméletének keretében előkerülnek. Kiszámítjuk a döfet alakváltozó első sugárzási korrekcióját, és az elméleti becslést összehasonlítva a kísérleti adatokkal megmutatjuk, hogy magasabb rendű korrekciók is szükségesek a pontos leíráshoz. Megvizsgáljuk -- kezdetben QED, majd pedig a szín töltés figyelembevételével QCD esetében is -- a lágy és kollineáris sugárzás dinamikáját és azt, hogy ezek hogyan foglalhatók általános keretbe Wilson-vonalak segítségével. Megmutatjuk, hogy a lágy-kollineáris effektív elmélet (SCET) keretében a lágy és kollineáris kölcsönhatások folyamattól függetlenül faktorizálódnak, és az egyes kollineáris, illetve lágy szektorokban a sugárzás leírása a többitől függetlenül valósul meg. Megmutatjuk a faktorizációs tétel teljesülését a Drell-Yan folyamatra (lepton-pár keletkezés hadron-hadron ütközésben), továbbá elvégezzük a döfetre adott elméleti jóslat feljavítását a perturbáció számítás minden rendjében előforduló egyes tagok felösszegzésével SCET-et felhasználva.

Az oktató neve: **Dr. Fülöp Zsolt**

**PF5/340-18**

### **Neutrínófizika**

A kurzus Kai Zuber vendégelőadó közreműködésével valósul meg.  
A kurzus nyelve: angol.

(a foglalkozás leírását lásd **PF2/345-18** )