

A Debreceni Egyetem FIZIKAI TUDOMÁNYOK doktori iskolájának foglalkozásai (doktori kurzusai)

2025.

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
URL: <http://physphd.unideb.hu>

Szerkesztette:
Dr. Oláh László, Dr. Sohler Dóra

Tartalomjegyzék

I. Atom és molekulafizikai program	3
II. Magfizikai program	5
III. Szilárdtestfizika és anyagtudományi program	7
IV. Fizikai módszerek interdiszciplináris kutatásokban program	8
V. Részecskefizikai program	10
Tantárgyleírások	12

Debrecen, 2025. augusztus

A 2025-ig regisztrált foglalkozások jegyzéke

(A tantárgyak alábbi listája és részletes leírása megtalálható a doktori iskola honlapján is: <http://physphd.unideb.hu>)

I. Atom- és molekulafizika program

Foglalkozás vezető neve	Foglalkozás rövid címe	Jele	Jellege E,D,Sz,Gy	Heti óra	Tan- egység	Megjegyzés
Dr. Cseh József	Szimmetriák két- és többtest- problémákban	PF1/319-97	E	2	2	
Dr. Csehi András	Atomok és molekulák elektromágneses térben	PF1/328-20	E	2	2	
Dr. Csehi András	Bevezetés a kvantum molekuladinamikába	PF1/329-20	E	2	2	
Dr. Erdélyi Róbert	Plazmafizika alapjai	PF1/326-18	E	2	2	
Dr. Gulácsi Zsolt	Soktestprobléma elmélete és alkalmazások I.-II.	PF1/37-93	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Mezei János Zsolt	Kis energiás ütközések a molekuláris asztrofizikában	PF1/330-20	E	2	2	
Dr. Nagy Ágnes	Klasszikusan kaotikus rendszerek kvantummechanikája (Kvantumkáosz)	PF1/321-00	E	2	2	
Dr. Nagy Ágnes	Nemlineáris jelenségek, káosz	PF1/315-93	E	2	2	
Dr. Nagy Ágnes	Sűrűség-funkcionál elmélet I.-II.	PF1/39-93	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Pálincás József, Dr. Sarkadi László	Atomi ütközési folyamatok kísérleti vizsgálata	PF1/35-93	E	2	2	
Dr. Sarkadi László	Atomi ütközési folyamatok elméleti leírása	PF1/34-93	E	2	2	

Dr. Tőkési Károly	Fizikai folyamatok számítógépes modellezése	PF1/322-08	E	2	2	
Dr. Tőkési Károly	Programozási esettanulmányok	PF1/323-08	E	2	2	
Dr. Tőkési Károly (Dr. Joachim Burgdörfer)	Bevezetés az attofizika elméletébe	PF1/325-14	E	2	2	
Dr. Tőkési Károly	Ütközési folyamatok modellezése Monte Carlo technikával	PF1/327-20	E	2	2	
Dr. Vibók Ágnes	Molekulafizika	PF1/32-93	E	2	2	
Dr. Vibók Ágnes	Atomfizika I.-II.	PF1/31-93	E	2	2x2	2 féléves

II. Magfizika program

Foglalkozás vezető neve	Foglalkozás rövid címe	Jele	Jellege E,D,Sz,Gy	Heti óra	Tan- egység	Megjegyzés
Dr. Angeli István, Dr. Nyakó Barna	Az atommag töltés és anyageloszlása I.-II.	PF2/31-93	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Angeli István	Nagyenergiájú részecskegyorsítók I.-II.	PF2/340-13	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Cseh József	Szimmetriák két- és többtest- problémákban	PF2/32-93	E	2	2	
Dr. Cseh József	Magfizikai szemináriumok	PF2/330-97	E	2	2	
Dr. Elekes Zoltán	Egzotikus atommagfizika	PF2/342-14	E	2	2	
Dr. Erdélyi Róbert	Plazmafizika alapjai	PF2/344-18	E	2	2	
Dr. Furka Andrea Ilona	Modern sugárterápiás technikák elemzése	PF2/348-22	E	2	2	
Dr. Fülöp Zsolt, (Dr. Thomas Rauscher)	Bevezetés a nukleáris asztrofizikába	PF2/338-12	E	2	2	
Dr. Fülöp Zsolt, (Dr. Kai Zuber)	Neutrínófizika	PF2/345-18	E	2	2	
Dr. Fülöp Zsolt, (Dr. Jordi Jose)	Robbanásos nukleoszintézis	PF2/346-20	E	2	2	
Dr. Fülöp Zsolt (Dr. Nigel J. Mason)	Asztrofizika, asztrokémia és az élet eredete	PF2/347-21	E	2	2	
Dr. Fülöp Zsolt,	Laboratóriumi asztrofizika	PF2/351-24	E	2	2	
Dr. Horváth Dezső	A Standard Modell és kísérleti ellenőrzése I-II.	PF2/339-12	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Kiss Gábor Gyula	A kémiai elemek eredete	PF2/350-23	E	2	2	
Dr. Krasznahorkay Attila	Mérések mágneses spektrográffal	PF2/323-94	Gy	2	2	
Dr. Krasznahorkay Attila	Kísérletek mágneses tömegszeparátorral	PF2/335-06	Gy	2	2	
Dr. Krasznahorkay Attila	Az atommagok kollektív gerjesztett állapotai	PF2/336-10	E	2	2	
Dr. Krasznahorkay Attila, Dr. Csige Lóránt	Modern magfizikai mérőműszerek és detektorok	PF2/341-14	E	2	2	
Dr. Mezei János Zsolt	Molekulák fotonabszorpciós és elektron szórási hatáskeresztmetszetei. Asztrofizikai és egyéb alkalmazások	PF2/349-22	E	2	2	
Dr. Molnár Mihály (Dr. Ulrich Ott)	Meteoritok, a korai Naprendszer és Nukleáris Asztrofizika	PF2/343-14	E	2	2	

Dr. Raics Péter	Magreakciók vizsgálati módszerei	PF2/312-93	E	2	2	
Dr. Sailer Kornél	Bevezetés a kvantumtérelméletbe	PF2/315-93	E	2	2	
Dr. Sailer Kornél	Húrelmélet I.-II.	PF2/322-94	E	2	2	2 féléves
Dr. Sailer Kornél	Szimmetriák és sérülésük a kvantum-térelméletben I.-II.	PF2/317-93	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Sailer Kornél	Renormálási csoport a fizikában	PF2/328-96	E	2	2	
Dr. Sailer Kornél	TRIANGLE-kurzus	PF2/314-93	E	2	2	
Dr. Sailer Kornél	$T \neq 0$ kvantum-térelmélet	PF2/327-95	E	2	2	
Dr. Sailer Kornél	Nemegyensúlyi statisztikus fizika	PF2/313-93	E	2	2	
Dr. Sailer Kornél, Dr. Schram Zsolt	Modellek és módszerek az elméleti fizikában	PF2/334-02	E	2	2	
Dr. Somorjai Endre Dr. Kiss Gábor	Nukleáris asztrofizika	PF2/36-93	E	2	2	
Dr. Timár János	A forgó atommag kísérleti szemmel	PF2/337-11	E	2	2	
Dr. Trócsányi Zoltán	Standard modell	PF2/321-94	E	2	2	
Dr. Vertse Tamás	Numerikus módszerek a gyakorlatban	PF2/329-97	Gy	2	2	
Dr. Vertse Tamás	Magmodellek I.-II.	PF2/35-93	E	2	2x2	2 féléves

III. Szilárdtestfizika és anyagtudomány program

Foglalkozás vezető neve	Foglalkozás rövid címe	Jele	Jellege E,D,Sz,Gy	Heti óra	Tan- egység	Megjegyzés
Dr. Beke Dezső	Szilárdtestfizika I.-II.	PF3/31-93	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Cserháti Csaba	Elektronmikroszkópia	PF3/316-93	E	2	2	
Dr. Csík Attila	Szilárdtestek vizsgálata röntgensugaras módszerrel	PF3/346-14	E+Gy	2+1	2	
Dr. Daróczi Lajos	Martenzites átalakulások	PF3/342-13	E	2	2	
Dr. Erdélyi Zoltán	Diffúzió és szegregáció nanoszerkezetekben	PF3/339-02	E	2	2	
Dr. Gulácsi Zsolt	Elméleti szilárdtestfizika	PF3/32-93	E	2	2	
Dr. Gulácsi Zsolt, Dr. Beke Dezső	Fázisátalakulások	PF3/35-93	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Gulácsi Zsolt	Mágnesség	PF3/320-93	E	2	2	
Dr. Gulácsi Zsolt	Soktestprobléma elmélete és alkalmazások I.-II.	PF3/323-94	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Gulácsi Zsolt	Kvantum fázisátalakulások	PF3/334-97	E	2	2	
Dr. Gulácsi Zsolt (de Chatel Péter)	A szupravezetés leírása	PF3/338-00	E	2	2	
Dr. Gulácsi Zsolt	Sokrészesek rendszerek periodikus potenciálban	PF3/340-08	E	2	2	
Dr. Gulácsi Zsolt,	Erősen korrelált rendszerek elmélete	PF3/343-14	E	2	2	
Dr. Gulácsi Zsolt	Kvantuminformatika és kvantumszámítógépek	PF3/344-14	E	2	2	
Dr. Kun Ferenc	Számítógépes szimuláció I.-II.	PF3/327-95	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Csarnovics István	Szilárdtest- és optoelektronika	PF3/332-97	E	2	2	
Dr. Langer Gábor	Vákuumfizika	PF3/317-93	E	2	2	
Dr. Langer Gábor	Vékonyrétegek	PF3/324-94	E	2	2	
Dr. Szabó István	Atomi feloldású mikroszkópia	PF3/329-96	E	2	2	
Dr. Tóth László Zoltán	Mikro- és nanomágnesség I.-II.	PF3/331-97	E	2	2x2	2 féléves

IV. Fizikai módszerek interdiszciplináris kutatásokban program

Foglalkozás vezető neve	Foglalkozás rövid címe	Jele	Jellege E,D,Sz,Gy	Heti óra	Tan- egység	Megjegyzés
Dr. Battistig Gábor	Mikrotechnológiai eljárások	PF4/333-25	E	2	2	
Dr. Csepura György	Sugárvédelem	PF4/36-04	E	2	2	
Dr. Csige István	Felszín alatti áramlások	PF4/315-12	E	2	2	
Dr. Erdélyi Róbert	Hullámtan	PF4/320-15	E	2	2	
Dr. Erdélyi Róbert	Szoláris magneto-hidrodinamika	PF4/321-15	E	2	2	
Dr. Erdélyi Róbert	Emelt szintű szoláris magneto-hidrodinamika	PF4/322-16	E	2	2	
Dr. Erdélyi Róbert	Sunpy	PF4/323-16	E	2	2	
Dr. Erdélyi Róbert	Plazmafizika alapjai	PF4/324-18	E	2	2	
Dr. Kiss Árpád és mások	Atomi- és nukleáris mikroanalitika	PF4/31a-93	E	2	2	
Dr. Kiss Árpád és mások	Atomi- és nukleáris mikroanalitika labor	PF4/31b-93	Gy	4	4	csatl. az előző előadáshoz
Dr. Kertész Zsófia, Dr. Molnár Mihály Dr. Kertész Zsófia	A légkör és klíma	PF4/39-09	E	2	2	
	Légköri aeroszol mintavételi módszerei és vizsgálata ionnyaláb analitikai és röntgen fluoreszcencia módszerekkel	PF4/311-12	E	2	2	
Dr. Kun Ferenc	Számítógépes szimuláció I.-II.	PF4/310-10	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Kun Ferenc	Komplex rendszerek fizikája	PF4/313-12	E	2	2	
Dr. Kun Ferenc, (Dr. Farkas Illés)	Perl programozás és hálózatok a bioinformatikában	PF4/317-14	E	2	2	
Dr. Kun Ferenc, (Dr. Frank Raichel)	Kritikus viselkedés és komplex rendszerek	PF4/318-14	E	2	2	
Dr. Kun Ferenc	Komplex hálózatok	PF4/325-18	E	2	2	
Dr. Kun Ferenc,	Univerzalitási osztályok nemegyensúlyi	PF4/326-18	E	2	2	

(Dr. Ódor Géza)	rendszerekben				
Dr. László Elemér	Légköri modellezés alapjai	PF4/331-24	E	2	2
Dr. Mason, Nigel John	Planetary Sciences	PF4/330-22	E	2	2
Dr. Mészáros Sándor	Szupravezetés	PF4/328-19	E	2	2
Dr. Molnár Mihály, Dr. Palcsu László	Radioaktiv kormeghatározás	PF4/38-09	E	2	2
Dr. Molnár Mihály, (Dr. Timothy Jull)	Geokronológia és paleoklíma	PF4/316-13	E	2	2
Dr. Molnár Mihály (Dr. Ulrich Ott)	Meteoritok, a korai Naprendszer és Nukleáris Asztrofizika	PF4/319-14	E	2	2
Dr. Nagy Ágnes	Nemlineáris jelenségek, káosz	PF4/312-12	E	2	2
Dr. Palcsu László, Dr. Csige István, Dr. Molnár Mihály	Nukleáris környezetvédelem	PF4/37-09	E	2	2
Dr. Szabó István	Atomi feloldású mikroszkópia	PF4/327-18	E	2	2
Dr. Tóth L. Viktor	Űrsillagászat	PF4/332-24	E	2	2
Dr. Tőkési Károly	Ütközési folyamatok modellezése Monte Carlo technikával	PF4/329-20	E	2	2

V. Részecskefizika program

Foglalkozás vezető neve	Foglalkozás rövid címe	Jele	Jellege E,D,Sz,Gy	Heti óra	Tan- egység	Megjegyzés
Dr. Angeli István	Nagyenergiájú részecskegyorsítók I.-II.	PF5/31-95	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Cseh József	Szimmetriák két- és többtest- problémákban	PF5/321-97	E	2	2	
Dr. Dávid Gábor	Modellezés, szimuláció, analízis a kísérleti részecskefizikában I.-III.	PF5/33-95	E	2	3x2	3 féléves
Dr. Dávid Gábor	Adatgyűjtés, trigger, online monitoring	PF5/331-10	E	2	2	
Dr. Fülöp Zsolt, (Dr. Kai Zuber)	Neutrínófizika	PF5/340-18	E	2	2	
Dr. Horváth Dezső	A Standard Modell és kísérleti ellenőrzése I-II.	PF5/326-00	E+Gy	2+2	2x(2+1)	2 féléves
Dr. Horváth Dezső	A részecskefizika kísérleti technikája I-II.	PF5/327-01	E	2	2	
Dr. Kardos Ádám	Bevezetés az effektív térelméletekbe	PF5/339-18	E	2	2	
Dr. Kardos Ádám	Bevezetés a FORM programozási nyelvbe	PF5/343-22	E	2	2	
Dr. Kovács Tamás György	Statisztikus térelmélet	PF5/334-14	E		2	2
Dr. Kovács Tamás György	Szolitónok és instantonok	PF5/341-19	E	2	2	
Dr. Kovács Tamás György	Ráctérelmélet 2.	PF5/342-19	E	2	2	
Dr. Nagy Sándor	Kvantum renormálási csoport	PF5/338-17	E	2	2	
Dr. Nagy Sándor	Nyílt rendszerek kvantumelmélete	PF5/344-22	E	2	2	
Dr. Nagy Sándor	Zárt időtengelyes formalizmus a fizikában	PF5/345-22	E	2	2	
Dr. Nándori István	A funkcionális renormálási csoport módszer alapjai	PF5/337-16	E	2	2	
Dr. Raics Péter	Részecskedetektorok	PF5/311-95	E	2	2	
Dr. Sailer Kornél	Bevezetés a kvantumtérelméletbe	PF5/312-95	E	2	2	
Dr. Sailer Kornél	Szimmetriák és sérülésük a kvantum-térelméletben I.-II.	PF5/314-95	E	2	2	
Dr. Sailer Kornél	Általános relativitáselmélet	PF5/323-98	E	2	2	
Dr. Sailer Kornél, Dr. Nagy Sándor	Funkcionális renormálási csoport módszer	PF5/333-13	E	2	2	

Dr. Sailer Kornél	$T \neq 0$ kvantum-térelmélet	PF5/334-13	E	2	2	
Dr. Sailer Kornél	Kozmológia	PF5/335-14	E	2	2	
Dr. Schram Zsolt	Ráctérelmélet	PF5/322-97	E	2	2	
Dr. Schram Zsolt	Az elméleti fizika variációs elvei	PF5/332-11	E	2	2	
Dr. Somogyi Gábor	Feynman integrálok kiszámítása	PF5/336-15	E	2	2	
Dr. Trócsányi Zoltán	Standard modell	PF5/317-95	E	2	2	
Dr. Trócsányi Zoltán	Nagy egyesített elméletek	PF5/318-95	E	2	2	
Dr. Trócsányi Zoltán	Perturbatív kvantumszindinamika I.-II.	PF5/320-97	E	2	2x2	2 féléves
Dr. Zilizi Gyula	Elektronika a részecskefizikában	PF5/316-95	E	2	2	

Rövidítések:

E = Előadássorozat

D = Diskusszió

Sz = Szeminárium

Gy = Laboratóriumi gyakorlatok

Tantárgyleírások

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. Többelelektronos atomok

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

V. Atomi ütközések

12. Alapfogalmak és potenciálszórás

Irodalom:

1. B. H. Brandsden 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. Kéttomos molekulák. Többatomos molekulák. Molekulapálya módszer. π -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 félklasszikus 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. Brandsden and C. J. Joachain: Physics of Atoms and Molecules, Longman Scientific & Technical, England 1988
3. B. H. Brandsden 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

Az oktatók neve: **Dr. Pálinkás József, Dr. Sarkadi László**

PF1/35-93

Atomi ütközési folyamatok kísérleti vizsgálata

A kurzus célja, hogy áttekinthesse 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 vizsgálataiban.

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

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

PF1/37-93

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. Szuprafluiditás. Anderson-modell. Sáv-ferromágnesesség. Koegzisztencia problémák leírása. Hubbard-modell. Periódikus Anderson-modell. Két-aktív sávos 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

Sűrűségfukcionál elmélet

Hohenberg-Kohn-tételek, Slater-Gáspár-Kohn-Sham-elmélet, a szabad elektrongáz-közelítés, a Thomas-Fermi és más modellek, lokális sűrűségfukcionál 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. Szépfolussy, 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)

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

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 Recipes

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 kibocsátás nanostruktúrákból.
- 12) Fényerőtér-elektronika: femtomásodpercen belüli szigetelő-fém átmenet.

Plazmafizika alapjai*(a foglalkozás leírását lásd PF4/324-18)***Ütközési folyamatok modellezése Monte Carlo technikával****Tematika:**

Az energikus részecskék közötti ütközések a természet alapvető folyamatai, amelyek számos kutatási és technológiai területen fontosak. Az utóbbi időben, különböző lövedékekre, számos klasszikus és kvantummechanikai módszert alkalmazták az ion-atom, ion-molekula, és ion-szilárd anyag ütközések hatáskeresztmetszeteinek kiszámításához. Az atomi, molekuláris és szilárd közegekben lejátszódó ütközési folyamatok számításának fő nehézsége az, hogy a soktest kölcsönhatást figyelembe kell venni. Ezért a számítások sikere jelentősen függ attól, hogy egy adott elmélet képes-e leírni az ütközés soktestes jellegét. A klasszikus pályájú Monte Carlo (CTMC) módszer meglehetősen sikeresen kezeli az ionanyag ütközések különböző folyamatainak leírását. A CTMC szimuláció nem perturbatív módszer. Ennek egyik fő előnye, hogy a soktest kölcsönhatásokat képes pontosan figyelembe venni az ütközések során. Ez teszi a CTMC módszert hasznossá két vagy több centrumhatás vizsgálatához. Sőt, klasszikus leírásban egyszerű az egyes részecskék közötti kölcsönhatások be- és kikapcsolása, ezáltal egyszerű az egyes kölcsönhatások hatásainak egyedi tanulmányozása. Ez a módszer egyszerűen kiterjeszthető elektron lövedékekre is. Számos elméleti leírás áll rendelkezésre a különféle mintákról visszaszórt elektronok spektrumainak leírására. A kísérletileg mérhető energiaeioszlások mellett a szimulációk számos részeloszlást is képesek meghatározni. Atomok, molekulák és szilárdtestek részecskenyalábbal történő besugárzása az egyik leghatékonyabb módszere az anyag szerkezetének tanulmányozására. Attoszekundumos, ultrarövid lézerpulzusokkal történő besugárzás, melyeket magasrendű felharmonikusok előállításával (High Harmonic Generation, HHG) segítségével hoznak létre, új perspektívát nyit a rendszerek szerkezetének megismerésében. A vizsgálatok újszerűsége abban rejlik, hogy az elektronok mozgása azok természetes, attomásodperces időskáláján figyelhetők meg. Az attomásodperces fizika egy új tudományterület, amely hihetetlenül rövid időintervallumokkal dolgozik. Klasszikus alapokon ezek az új folyamatok szintén igen jól leírhatók. Az előadások, különböző ütközési rendszerek esetében, a gyorsan fejlődő Monte Carlo technikán alapuló legújabb elméleti eredmények bemutatását fogja tartalmazni.

Az előadásokon belül a következő témák kerülnek terítékre:

- 1) Rövid áttekintés: Klasszikus dinamika időbeli fejlődés - Monte Carlo módszerek.
- 2) Klasszikus-kvantum hasonlóság.
- 3) Ion-atom ütközések leírása klasszikus pályájú Monte Carlo módszerrel.
- 4) Atom-atom ütközések lassú antiprotonokkal.
- 5) Fermi-shuttle típusú többszörös elektron szóródás atomi ütközésekben.
- 6) Szilárd mintáról rugalmasan visszaszórt elektronok elektronspektrumainak Monte Carlo szimulációja.

- 7) Nagytöltésű ionok és a felületek kölcsönhatása – Energia-átadás nanoszerkezetű anyagokban.
- 8) Nagytöltésű ionok és kapillárisok kölcsönhatása – MeV-es ionnyalábok irányítása.
- 9) Intenzív és rövid elektromos impulzusokkal és atomok kölcsönhatása- klasszikus kép.
- 10) Klasszikus pályájú Monte Carlo módszer - „Kvantumfizika figyelése valós időben”.
- 11) Sávozódási spektroszkópia alkalmazása atomokra, molekulákra és szilárd anyagokra.
- 12) Az "alagút ionizáció" és a küszöb feletti ionizáció - szemiklasszikus modell.

Az oktató neve: **Dr. Csehi András**

PF1/328-20

Atomok és molekulák elektromágneses térben

Tematika:

1. Az időfüggő perturbációs számítás elemeinek rövid áttekintése. A dipólközelítés.
2. Kétállapotú atom rezonáns és nemrezonáns elektromos térben. A forgóhullám közelítés. Rabi-oszcilláció.
3. Adiabatus és nemadiabatus átmenetek. A Landau-Zener modell.
4. Többállapotú atom elektromos térben: a stimulált Raman-átmenettel történő adiabatus populáció-átvitel (STIRAP).
5. Nyílt rendszerek: kevert állapotok, a sűrűségoperátor, a Liouville-Neumann egyenlet, dekoherencia, spontán emisszió.
6. A Stark-effektus különböző formái: elsőrendű- másodrendű-, rezonáns-, nemrezonáns-, statikus- és dinamikus Stark-effektus.
7. Multifoton átmenetek. Kétfoton Rabi-frekvencia, dinamikus változó rezonancia feltétel, csörpölt pulzusok.
8. A Zeeman-effektus formái: gyenge- és erős terű-, normális- és anomális Zeeman-effektus.
9. Ionizációs folyamatok: egyfoton-, multifoton-, küszöb feletti-, alagút- és direkt ionizáció. A Keldysh-paraméter.
10. Femtoszekundumos lézerimpulzusok alkalmazási lehetőségei. Pumpa-próba eljárás intramolekuláris folyamatok vizsgálatára.
11. Attoszekundumos impulzusok. Magasrendű harmonikusok keltése.

Referenciák

- [1] D.J. Tannor, Introduction to quantum mechanics: a time-dependent perspective, University Science Books, 2006.
- [2] H. Haken, H.C. Wolf, The physics of atoms and quanta, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- [3] B.H. Bransden and C.J. Joachain, Physics of atoms and molecules, Prentice Hall-Pearson 2nd edition, 2003.

Bevezetés a kvantum molekuladinamikába

Tematika:

1. Az időtől függő kvantummechanika alapelemeinek rövid áttekintése. A szuperpozíció elve, rezgési és forgási hullámcsomagok. Az autokorrelációs függvény és annak spektrális analízise: az abszorpciós spektrum.
2. Molekulák Schrödinger-egyenletének szeparálása: a Born-Huang és a Born-Oppenheimer közelítések. Potenciális energia felületek, nemadiabatikus csatolások. Adiabatus és diabatikus reprezentációk. Diabatizálási módszerek.
3. Elfajult elektronállapotok. A Neumann-Wigner-féle kereszteződést tiltó szabály. Lineáris és kvadratus elfajulások: kónikus keresztezések és Renner-Teller degeneranciák. Sugárzásmentes átmenetek jelentősége: fotostabilitás, molekuláris eszközök.
4. A maghullámfüggvény időpropagálására használatos módszerek: a Crank-Nicolson és a "split-operator" eljárások; az időfüggő Hartree és a multikonfigurációs időfüggő Hartree módszerek. Normál koordináták, Jakobi koordináták, bázisfüggvények.
5. A hullámfüggvényből származtatható mennyiségek: elektronállapoti populációk és koherencia, disszociációs valószínűség, kinetikus energia-eloszlás, szögeloszlás, molekuláris rendezettség. Komplex elnyelő potenciálok.
6. Molekuláris folyamatok szabályozási lehetőségei külső elektromágneses tér segítségével. A maghullámfüggvény időfejlődése deformált potenciális energia felületeken. A nemrezonáns dinamikus Stark-effektus. Kvantumos fény hatása, összenyomott és koherens állapotok.

Referenciák

- [1] H.D. Meyer, F. Gatti, G.A. Worth, Multidimensional Quantum Dynamics, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA (2009).
- [2] F. Gatti, Molecular Quantum Dynamics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2014).

Kis energiás ütközések a molekuláris asztrofizikában

Tematika:

1. Bevezetés a molekuláris asztrofizikába, alapfogalmak
2. Molekulafizika, molekuláris spektroszkópia
3. Molekula szerkezet számítási módszerek
4. Fotokémiai folyamatok
5. Kis energiás elektronok indukálta molekuláris folyamatok
6. Ion-atom, atom-atom, anion-kation ütközések.

Irodalom:

1. A. G. G. M. Tielens: Molecular Astrophysics
2. B. H. Bransden, C. J. Joachain: Physics of Atoms and Molecules
3. G. Herzberg: Molecular Spectra and Molecular Structure vol.1
4. M. S. Child: Molecular Collision Theory
5. O. Ingolfsson (ed.): Low-Energy Electrons

6. M. Larsson, A. E. Orel: Dissociative Recombination of Molecular Ions
7. B. H. Brandsden and M. R. C. McDowell: Charge Exchange and the Theory of Ion-Atom Collisions

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 modellfüggvényekkel ill. modellfüggetlen 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
 $U_1(4) \otimes \dots \otimes U_{k-1}(4)$: k atomos molekulák rezgése és forgása
 $U(4) \otimes U^{sr}(4) \otimes U(3)$...: az atommagok csomómodellje
- $U(6)$: az atommagok kollektív állapotai
káosz és dinamikai szimmetria
hipermagok
íz-spin szimmetria a hadronspektrumban

$U(6) \otimes U(m)$: az atommagok kollektív és egyrészecskes 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)

Luminozitás; hőmérséklet; tömeg; sugár; távolság. Energetika. A Hertzsprung-Russell 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 (kozmikus sugárzás, spallációs reakciók).

Az oktató neve: **Dr. Raics Péter és Dr. Sudár Sándor**

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, szórásmátrix. 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 Bp fogalma, kettős fókuszálás, felbontás, fényerő
 - mágneses termelés 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}Sm töltés és tömegeloszlása kvadrupól deformációs paraméterének meghatározása.

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-színdinamika 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. ϵ -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 eltérülése mágneses térben. A mágneses tér mérése Hall szondával, illetve NMR-el. A nyaláb eltérülésének kiszámítása illetve megmérése. A mágneses eltérítés hatása a nyaláb fókuszáltságára. Árammérés a tömegszeparátor fókuszsíkjában. A nitrogén és az oxigén különböző izotópjainak megkeresése. A szeparátor tömegfelbontásának meghatározása. A tömegfelbontás optimalizálása.

^{15}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}C 4.44 MeV-es γ -sugárzásának vizsgálata az $E_p = 898$ keV-es rezonancia környékén.

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, összegszabályok. Kísérleti módszerek az óriásrezonanciák vizsgálatára. Az óriásrezonanciák bomlása.
- Az óriásrezonanciák tulajdonságaira vonatkozó kísérleti ismereteink összefoglalása.
- Az óriásrezonanciák felhasználása a maganyag tulajdonságainak pontosabb meghatározására.

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 egyrészesecske 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

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 ősrobbanásban 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) (1. szintén alább)
- (a v-p folyamat) (1. 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 szupernóvákkal, 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 (LaBr₃), 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, bemutatta 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, plazmatik szcintillátor, félvezető detektorok, ionizációs kamra)
- kísérleti módszerek alapjai (pl. Coulomb gerjesztés, rugalmatlan proton szórási, direkt reakciók, invariáns tömeg, g-spektroszkópia)
- reakciótermékek detektálása (pl. teleszkóp, hodoszkóp, neutrontetektor, 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

Robbanásos nukleoszintézis

A kurzus Jordi Jose vendégelőadó közreműködésével valósul meg.

A kurzus nyelve: angol.

- Atommagfizika csillagokban, előfordulási arányok
- Klasszikus nógák
- Termonukleáris szupernógák
- I. típusú röntgenkitörések
- Egyéb helyszínek: egymásba olvadó csillagok, összeroppanó szupernógák

Javasolt irodalom:

- José, J., 2016, Stellar Explosions: Hydrodynamics and Nucleosynthesis, CRC/Taylor and Francis, Boca Raton (Florida, USA), ISBN 9781439853061, 452 pages.
- Iliadis, C., 2015, Nuclear Physics of Stars, 2nd Ed., Wiley-VCH, Weinheim, ISBN 9783527336487, 672 pages.

Asztrofizika, asztrokémia és az élet eredete

Bevezetés

- Nukleoszintézis
- Asztrokémia
- Laboratóriumi kísérletek
- Bolygók keletkezése
- A korai Föld
- A Földön kívüli élet kutatása
- Kutatások élet után a Naprendszerben
- Űrkutatás humán missziókra alapozva
- Exobolygók
- Kitekintés

Javasolt irodalom:

- From Big Bang to ExoBiology Edited By: Matthew A Malkan (University of California, Los Angeles, USA) and Ben Zuckerman 2nd Edition ISBN: 978-981-120-772-3 (softcover) World Scientific
- Astrobiology: An Introduction Kevin W. Plaxco and Michael Gross third edition ISBN: 9781421441290 Johns Hopkins University Press.
- The Physics of Interstellar Dust Endrik Krugel ISBN 9780367454654 Routledge Taylor and Francis
- About Stars: Their Formation, Evolution, Compositions, Locations and Companions Michael M Woolfson ISBN: 978-1-78634-725-1 (softcover) World Scientific
- Rosetta: The Remarkable Story of Europe's Comet Explorer by Peter Bond ISBN 978-3-030-60720-3 Springer

- The Solar System in Close-Up by John Wilkinson ISBN 978-3-319-27629-8 Springer Articles
- The Future of Origin of Life Research: Bridging Decades-Old Divisions
<https://www.mdpi.com/2075-1729/10/3/20/html>
- Origins of life by S Leach Advances in Chemical Physics 157:293-313 (2015)
DOI:10.1002/9781118959602.ch19

Az oktató neve: **Dr. Furka Andrea Ilona**

PF2/348-22

Modern sugárterápiás technikák elemzése

A sugárterápia, mint az onkológia szerves része, nagyon gyors technikai fejlődésen ment keresztül. Az újszerű technikák hosszabb túlélési időt eredményeznek az onkológiai betegek körében, ezért elengedhetetlen a lehető legjobb életminőség fenntartása és támogatása. Az elnyelt dózis, a beadás módja és a sugárzás minősége kulcsfontosságú a sugárterápia hatékonyságának maximalizálásához és a nem kívánt mellékhatások csökkentéséhez. A speciális dozimetriai mérések és a nagy hatásfokú minőségbiztosítás elősegíti a sugárterápia biztonságát. Egy-egy beteg számára több sugárterápiás tervet kell kidolgozni, és a sugárterapeuta az orvosfizikusokkal folytatott folyamatos konzultáció során kiválaszthatja az adott esetre a legmegfelelőbbet. A tervezés folyamata és az önellenőrzési módszerek fejlesztése jobb minőséget, így radikálisabb sugárkezelést eredményezhet, ami kedvező klinikai kimenetellel kecsegtet.

Az oktató neve: **Dr. Mezei János Zsolt**

PF2/349-22

Molekulák fotonabszorpció és elektron szórási hatáskeresztmetszetei. Asztrofizikai és egyéb alkalmazások

The results on a variety of problems covering both collisions and spectroscopy. Electron collision studies using the R-matrix method provide a major source of electron - molecule collision cross sections for problems range from rotational excitation in the interstellar medium to dissociative processes involving radicals in technological plasmas.

An R-matrix theory has also been developed to consider ultra-low energy heavy particle collisions. In this case the inner region is described using codes designed for the studying high resolution molecular spectra.

These spectroscopic (nuclear motion) codes are largely been applied to predict spectra at elevated temperatures of molecules in the atmospheres of exoplanets as part of the ERC-funded ExoMol project. The use of these codes to compute temperature-dependent photodissociation rates will be discussed.

A kémiai elemek eredete

A kurzus Prof. Zsolt Podolyák vendégelőadó közreműködésével valósul meg.

- Bevezetés
- Magszerkezet és magreakciók
- Nukleoszintézis folyamatok
- Magfizikai input
- Radioaktív nyálábos mérések
- Kitekintés

Javasolt irodalom:

Introductory Nuclear Physics by Kenneth S. Krane, ISBN: 0-471-80553-X Wiley

Nuclear Physics of Stars by Christian Iliadis, ISBN: 978-3-527-40602-9 Wiley

Stellar explosions by Jordi José, ISBN: 978-1-4398-5306-1 CRC Press

Nuclear properties for nuclear astrophysics studies by S. Goriely, European Physical Journal A 59, 16 (2023) DOI: 10.1140/epja/s10050-023-00931-x

Origin of the heaviest elements: The rapid neutron-capture process, by J. Cowan, C. Sneden, J. Lawler, A. Aprahamian, M. Wiescher, K. Langanke, G. Martínez-Pinedo, F.K. Thielemann, Rev. Mod. Phys. 93, 015002 (2021) DOI: 10.1103/RevModPhys.93.015002

Laboratóriumi asztrofizika

A kurzus Murthy S. Gudipati vendégelőadó közreműködésével valósul meg.

A kurzus nyelve: angol

- Bevezetés
- Elemek keletkezése
- Élet az univerzumban
- Laboratóriumi asztrofizikai módszerek
- Üstökösök és aszteroidák vizsgálata
- NASA missziók (Voyagers, Galileo, Cassini)
- Kitekintés

Javasolt irodalom:

From Big Bang to Exobiology Edited By: Matthew A Malkan (University of California, Los Angeles, USA) and Ben Zuckerman 2nd Edition ISBN: 978-981-120-772-3 (softcover) World Scientific

Astrobiology: An Introduction Kevin W. Plaxco and Michael Gross third edition ISBN: 9781421441290 Johns Hopkins University Press.

The Physics of Interstellar Dust Endrik Krugel ISBN 9780367454654 Routledge Taylor and Francis

About Stars: Their Formation, Evolution, Compositions, Locations and Companions Michael M Woolfson ISBN: 978-1-78634-725-1 (softcover) World Scientific
Rosetta Mission: The Remarkable Story of Europe's Comet Explorer by Peter Bond ISBN 978-3-030-60720-3 Springer
The Solar System in Close-Up by John Wilkinson ISBN 978-3-319-27629-8 Springer
Physics and Chemistry of the Solar System: John S. Lewis (Academic Press)
Planetary Sciences: Imke de Pater and Jack J. Lissauer (Cambridge University Press)
Planetary Geology: An Introduction; Claudio Vita-Finzi and Dominic Fortes (Dunedin Press)

III. Szilárdtestfizika és anyagtudomány program

Az oktató neve: **Dr. Beke Dezső**

PF3/31-93

Szilárdtestfizika

Kötéstípusok (Madelung-állandó). A potenciálarak 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 vezetőkire 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 segregáció). 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. 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. Cserhádi Csaba**

PF3/316-93

Elektronmikroszkópia

Transzmissziós elektronmikroszkópia:

A mikroszkópok felépítése. Elektromágneses lencsék, objektívlencse, elektronágyú. Lencsehibák. Mintakészítés. Elektrondiffrakció, Ewald elmélet, orientáció és fázisanálízis, 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, ed. by T. Itoh, Elsevier, Amsterdam 1988

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, szuszeptibilitás, 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: Effective 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. 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. Sűrűlő beeséses Mössbauer-spektroszkópia. Koherencia-feszültségek vékonyrétegekben. Vékonyréteg és ionimplantációs technikával létrehozott metastabil rétegek. Defektmérnökség félvezető szerkezetekben. Rétegszerkezetek félvezetőkben. Mélységselektív 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. Kun Ferenc**

PF3/327-95

Számítógépes szimuláció

A Monte-Carlo módszer elméleti megalapozása és alkalmazása. Egyszerű és irányított mintavétel. Határfeltételek. Végesméret effektusok. Bolyongáselemélet. 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.

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.

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.

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-szigetelől. Renormálási technikák. Rendezetlenség hatása kvantum rendszerekben.

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_c . 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 mérhetőség 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. Cserháti, 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. Daróczi 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 paraméterektől 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 fémek és nem fémek rendszerei. 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 csillapítóképességen alapuló eszközök. Mágneses alakmemória eszközök.

Az oktató neve: **Dr. Gulácsi Zsolt**

PF3/343-14

Erősen korrelált rendszerek elmélete

A kurzus Dr. Gulácsi Miklós vendégelőadó közreműködésével valósul meg.

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-Ansatz 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 kódolás, teleportáció; Dekohérensia és kvantum hardware.

Az oktató neve: **Dr. Csík Attila**

PF3/346-14

Szilárdtestek vizsgálata röntgensugaras módszerrel

A röntgensugárzás természete, jellemzői, kölcsönhatása az anyaggal. A röntgenfluoreszcencia (XRF) analízis során fellelő domináns mintabeli folyamatok, azok hatása a röntgenspektrum kialakulására. A gerjesztő sugárforrások szerepe az optimális mérési körülmények kialakításában, röntgen-spektrométerek felépítése. Energiadiszperzív (ED) röntgenspektrumok kvantitatív kiértékelése, a koncentráció meghatározás matematikai és kísérleti módszerei, a minta előkészítésének szerepe. Az energiadiszperzív 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 kristallit 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: Elektronspektroszkópia 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. Csepura György**

PF4/36-04

Sugárvédelem

Sugárvédelem történeti áttekintése. Sugárvédelmi alapfogalmak, mennyiségek, mérési lehetőségeik. Jogi háttér. 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, SF6, 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-¹⁴C és -³H, Csernobili-¹³⁷Cs, 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

- Léggöri aeroszol: keletkezése, terjedése, fizikai és kémiai tulajdonságai, szerepe a Föld sugárzási egyensúlyának alakulásában
- Üvegházhatású gázok: koncentrációjának alakulása, mérés technikája, a léggöri fosszilis CO₂ mennyiségének alakulása és mérés technikája (¹⁴C-módszer, CO-módszer, stb.). A CH₄ 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, Chichester, 1995.
2. Protecting the Earth's Atmosphere, An International Challenge, Interim Report of the Study Commission of the 11th 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 aeroszolok mintavételi módszerei és vizsgálata ionnyalábokkal és röntgen fluoreszcensz spektrométerrel

1. Ionnyaláb analítika alapjai
2. Aeroszol mintavételi módszerek
3. PIXE technika alapjai
4. Atmoszférikus aeroszolok ismertetése és vizsgálati módszereik
5. Aeroszolok szerepe az orvoslásban és a klímakutatásban
6. Levegőszennyezési 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.

Nemlineáris jelenségek, káosz

(Ld. PF1/315-93)

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 algoritmusa.
10. hét: Sejtautomata modellek komplex rendszerek vizsgálatára, a sejtautomaták és rácsgázmodellek alapfogalmai és számítógépes szimulációjuk.
11. hét: Hálózatok fizikája. Watts-Strogatz -féle átírási algoritmus. Hálózatok topológiájának jellemzése: klasztereződési 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 tanult 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. Víztaszport a telített és a telítetlen zónában. Szennyezőanyag terjedése. Talajgáz transzportja a telítetlen zónában. A radon gáz transzportja. Véges differenciák és végeselem módszer alapjai. Modellalkotás: koncepcionális, matematikai, numerikus és számítógépes modellek létrehozása. Alkalmazások készítése Visual Modflow és COMSOL Multyphysics 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 asszociációs) 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).

Szoláris magneto-hidrodinamika

A szoláris 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).

Emelt szintű szoláris magneto-hidrodinamika

A szoláris 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 Szoláris 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, többkomponensű 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).

Sunpy

A Sunpy (www.sunpy.org) korszerű, nyílt forráskódú Pythonban írt szoftvercsomag. Olyan felhasználóbarát programozási nyelv, amely nélkülözhetetlen napfizikai adatbázisok hatékony és gyors analizéséhez. 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 űrfizika 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 (részcseke) leírásokat, feltárva a két megközelítés közötti kapcsolatokat.

A kurzus során tárgyalt jelenségek szorosan kapcsolódnak a nap-, űr- és asztrofizika témakörökhöz, ezért konkrét kapcsolódó jelenségek körét is tárgyalni fogunk, jóllehet előzetes csillagászati ill. asztrofizikai ismeretek nem szükségeltetnek. 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;
FF Chen: Introduction to Plasma Physics

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. Klaszterezettség 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. Newmann, 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. Térelméleti 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 paritásörző (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)

Az oktató neve: **Dr. Tókési Károly**

PF4/329-20

Ütközési folyamatok modellezése Monte Carlo technikával

(a foglalkozás leírását lásd: PF1/327-20)

Name of the teacher: **Dr. Nigel John Mason**

PF4/330-22

Planetary Sciences

Understanding the formation and evolution of planets is one of the most fascinating topics of modern astronomy. The detection of planets around other stars (exo-planets) was a paradigm shift in our understanding of the of our own solar system within the wider astronomical context and the universe and deservedly won the Nobel prize in 2019. This course will review

the physics of planet formation and its coupling with parent stars; the different types of planets from gas giants, icy worlds and 'Earths', the evolution and structure of planetary atmospheres, the role of orbiting moons and interaction between planets and the stellar wind and cosmic radiation. Using the solar system as an example of the variety of planets that can be formed, from ocean worlds to gas giants, the course will explore the characteristics of different planets and their causality with the opportunity to become habitable. Throughout the course examples and data from past present missions will be presented and we will look forward to the next decade when a suite of space missions will provide new insights into planetary processes. The course will conclude with lectures on humanity's own opportunity to visit new worlds and the physics that must be addressed if habitations on our own moon and Mars is to become possible

Az oktató neve: **Dr. László Elemér**

PF4/331-24

Légköri modellezés alapjai

Numerikus időjárási és csatolt modellek. A légköri kormányzóegyenletek. A hidrodinamikai egyenletrendszer alakja, lezárási hipotézisek. A légköri és csatolt numerikus modellek osztályozási elvei. Áramlástan modellek. Terjedési modellek – a légköri szennyezőanyag-terjedés. A numerikus modell, mint kutató és fejlesztő eszköz.

Ajánlott irodalom:

- Gyöngyösi, A. Z. Weidinger, T. (Szerk), 2013: Alkalmazott számszerű előrejelzés – numerikus időjárási és csatolt modellek a gyakorlatban, ELTE jegyzet, Budapest
- Jacobson, M. Z., 2005: Fundamentals in Atmospheric Modeling, (2nd edition), CUP
- Washington, W. M. and Parkinson, C. L. 1986: An introduction to three-dimensional climate modeling, University Science Books, Oxford

Az oktató neve: **Dr. Tóth L. Viktor**

PF4/332-24

Űrcsillagászat

Az előadó az űrtevékenység kezdetei és legfontosabb személyiségei bemutatása közben rámutat a téma társadalmi és tudományos kapcsolódásaira, és a jelentős magyar részvételre. Megismerjük az űreszközök hasznát a csillagászati kutatásban (frekvencia tartomány bővítése, felbontás növelése, in-situ mérés). A szemeszter során megismerteti az űrprojektek fázisait és azokhoz kapcsolódó logisztikai és műszaki alapokat. Bemutatja a tudománytörténeti kulcs eseményeket. Különös hangsúlyt kap a Naprendszer felfedezése, rámutatva, hogy az űreszközök szerepére a Nap és a bolygók megismerésében. Megismerjük az űrprogramokat támogató földi műszaki és humán infrastruktúra elemeit, illetve az ezeket szervező világviszonylatban meghatározó intézmények (NASA, ESA, Roszkosmos, JAXA) felépítését. Áttekintjük az űreszközök mozgásának tipikus pályáit, illetve a felbocsátáshoz, pályamódosításhoz használt eszközöket, módszereket. Példákat adunk a Naprendszeren túli térség űrcsillagászati eredményeire

Az oktató neve: **Dr. Battistig Gábor**

PF4/333-25

Mikrotechnológiai eljárások

A kurzus során a modern mikro- és nanotechnológiai eljárások és a kapcsolódó vizsgálati módszerek részletes tárgyalására kerül sor.

A mikro- és nanoelektronikában alkalmazott anyagok és segédanyagok, a szükséges gyártási környezet tulajdonságai

- Fizikai és kémiai vékonyréteg leválasztási technológiák
- Litográfia a nanométeres mérettartományban
- Adalékolás és ionsugaras technikák
- 3D szerkezetek kialakítása, fizikai, kémiai és plazmamarási eljárások
- Magas hőmérsékletű eljárások
- Tokozás, kiserelés
- Felületek és vékonyrétegek minősítő eljárásai
- Alkalmazások a félvezető integrált áramkör gyártásban, MEMS és NEMS rendszerekben, szenzorikában, mikrofluidikában, orvos-biológiai érzékelőkben
- Kitekintés nem elektronikai alkalmazásokra: felületkezelés, bevonatok, felület és határfelület módosítások, tribológiai alkalmazások

Irodalom:

Robert Doering, Yoshio Nishi (Eds.), Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology, ISBN-13 978-1-57444-675-3, CRC Press (2008)

Bharat Bhushan (Ed.), Handbook of Nanotechnology, ISBN 3-540-01218-4, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, (2003)

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-vesztesség 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 és Dr. Nagy Sándor**

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. Kvarkbezárás.

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 mértékszimmétriák és kölcsönhatások
 - Lokális $U(1)$ = Elektromágneses kh.
 - Lokális $SU(3)$ = Erős kh.
 - Lokális $SU(2)$ ≠ Gyenge kh.
 - Erős kölcsönhatás és QCD, a gluonok

Tematika, 2. félév:

- A sztatikus kvarkmodell áttekintése
- Szimmétriák és kölcsönhatások áttekintése
- A gyenge kölcsönhatás
 - Paritássértés
 - Spontán szimmetriasértés
 - Higgs-mechanizmus
 - Tömegképződés
 - Kvarkállapotok 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 gyorsítókhoz 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

Tárológyűrés részecskegyorsítók, többretegű 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: elsőszintű hardware- és másodszintű 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 (Ampère törvény). Elektrodinamikai variációs elvek (Faraday és Maxwell törvényei). Mértékrögzítés és elektromágneses hullámok. Elektrodinamika kvaternió formalizmusban.
4. Gravitáció: Tér-idő metrika. Pont-részecske 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, entrópiatermelés.
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.

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

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.

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-színdinamika 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 faktorizálódhatnak, és az egyes kollineáris, illetve lágy szektorokban a sugárzás leírása a többtől 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 felösszegezésével 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**)*

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

PF5/341-19

Szolitónok és instantonok

A tárgy a bevezetést ad a kvantumtérelméletekben fellépő topologikus gerjesztések elméletének alapjaiba

- 1) Klasszikus szolitónok és jellemzésük topologikus indexekkel
- 2) Szolitónok a sine-Gordon modellben
- 3) Monopólusok (általános bevezetés)
- 4) A 't Hooft-Polyakov monopólus

- 5) Instantonok (általános bevezetés)
- 6) Euklideszi Yang-Mills konfigurációk, Yang-Mills instantonok
- 7) Instantonok más térelméleti modellekben
- 8) Statikus megoldások kvantálása
- 9) Kvantálás pályaintegrállal, WKB módszer a térelméletben

Ajánlott irodalom: Rajaraman, Solitons and instantons (Elsevier, 1989)

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

PF5/342-19

Rácstérelmélet 2.

A tárgy a rácstérelmélet haladó területeire ad bevezetést. A tárgyalt főbb témakörök a következők:

- 1) Mértékelmélet rácson (párhuzamos eltolás, Wilson hatás)
- 2) Erős csatolás kifejtés (karakter-kifejtés, gráf-szabályok, állapotösszeg kifejtése)
- 3) A Wilson-hurok erős-csatolás kifejtése, statikus potenciál, kvarkbezárás
- 4) Fermionok rácson (naív fermionok, duplázódás, Nielsen-Ninomiya tétel)
- 5) Wilson és staggered diszkretizáció, staggered gyökvonás trükk
- 6) Királis fermionok (Ginsparg-Wilson reláció, overlap, királis szimmetria rácson, index tétel)
- 7) Algoritmusok, Markov-láncok, részletes egyensúly, lokális algoritmusok, molekuláris dinamika.

Ajánlott irodalom: Montvay, Münster, Quantum Fields on a Lattice (CUP, 1994).

Az oktató neve: **Dr. Kardos Ádám**

PF5/343-22

Bevezetés a FORM programozási nyelvbe

A kurzus célja megismertetni a hallgatókat a FORM számítógépes algebrai rendszerrel. A kurzus során a FORM nyelv számos aspektusának ismertetésére fog sor kerülni, a kurzus elején a FORM nyelvet más számítógépes algebrai rendszerekkel hasonlítjuk össze. Bevezetésre kerül egy FORM program általános szerkezete az alapvető változók, lokális kifejezések és kiírások ismertetésén keresztül. Még bonyolultabb programok készítéséhez bevezetésre kerülnek a fordító direktíva utasítások, beépített függvények és azok az utasítások, amik a strukturált programozás elemeit képezik. A bevezetett utasítások használatát n -dimenziós vektorok és tenzorokon végzett műveletek segítségével illusztráljuk. Bevezetésre kerülnek a dollár változók és azok főbb felhasználási módjai. A programnyelv modern utasításainak bemutatására a részecskefizika példáin keresztül kerül sor a kvantumtérelméletben szereplő mátrixelem négyzetek és Feynman-paraméter integrálok kiszámításán keresztül.

Ajánlott irodalom:

J. A. M. Vermaseren et al.: FORM Reference Manual

Andre Heck: FORM for Pedestrians

Az oktató neve: **Dr. Nagy Sándor**

PF5/344-22

Nyílt rendszerek kvantumelmélete

A zárt rendszerek használatának korlátai, a nyílt rendszerek, a környezet szerepe a fizikában. Nyílt rendszerek tárgyalása a klasszikus fizikában, effektív elméletek. Harmonikus oszcillátorok rendszere, mint játékmódel. A zárt időtengelyes (CTP) formalizmus szerepe a nyílt rendszerek tárgyalásánál. A Green függvény CTP formalizmusban. Pályaintegrál és influencia funkcionál, a Feynman-Vernon módszer. A CTP propagátor és inverze, CTP Feynman gráfok típusai. A funkcionális renormálási csoport módszer alkalmazása nyílt rendszerekre. A nemlokális kölcsönhatások szerepe. A rendszer-környezet szabadsági fokok összefonódása.

János Polonyi, Dissipation and decoherence by a homogeneous ideal gas, Phys. Rev. A92, 042111 (2015).

Heinz-Peter Breuer, Francesco Petruccione, The Theory of Open Quantum Systems, Oxford University Press (2002).

Az oktató neve: **Dr. Nagy Sándor**

PF5/345-22

Zárt időtengelyes formalizmus a fizikában

A változók kétszerezése, a két időtengely bevezetése. Kölcsönhatás az időtengelyek között. A zárt időtengelyes (CTP) formalizmus használata a klasszikus mechanikában, effektív elméletek leírása. A CTP generáló funkcionál, CTP szimmetriák. A CTP propagátor alakja, közeltér, távöltér függvények nulla és véges hőmérsékleten. Rendszer-környezet kölcsönhatás és a nemlokális kölcsönhatások kapcsolata. Megmaradási törvények, Noether tétel. Az irreverzibilitás és a dekoherencia megjelenése a CTP formalizmusban. Általánosított fluktuáció-disszipáció tétel.

Ajánlott irodalom:

János Polonyi, Quantum-classical crossover in electrodynamics, Phys. Rev. D74, 065014 (2006).

Esteban A. Calzetta, Bei-Lok B. Hu, Nonequilibrium Quantum Field Theory, Cambridge University Press (2008).