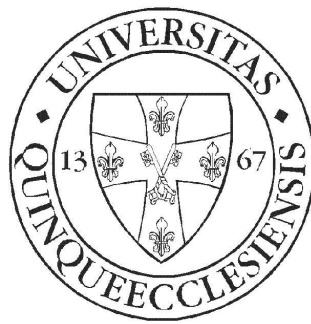


# A Pécsi Tudományegyetem Fizika Doktori Iskola képzési terve



Pécs, 2009.

# Tartalomjegyzék

<b>1. Tanulmányi követelmények a PTE TTK Fizika Doktori Iskolájában</b>	<b>3</b>
<b>2. A doktori programjai és kutatási területei</b>	<b>4</b>
2.1. Kvantumoptika és kvantuminformatika program . . . . .	4
2.2. Nemlineáris optika és spektroszkópia program . . . . .	4
2.3. Részecske és magfizika program . . . . .	5
2.4. Lézer és plazmafizika, lézerek alkalmazásai program . . . . .	5
<b>3. A doktori iskola tantárgyai</b>	<b>6</b>
3.1. Kvantumoptika és kvantuminformatika program . . . . .	6
3.1.1. Kvantumoptika I. (Janszky József) . . . . .	6
3.1.2. Kvantumoptika II. (Janszky József) . . . . .	6
3.1.3. Rezonáns fény-anyag kölcsönhatás (Ádám Péter) . . . . .	6
3.1.4. Kvantumoptikai kísérletek (Kiss Tamás) . . . . .	7
3.1.5. Kvantummechanikai paradoxonok (Koniorczyk Mátyás) . . . . .	7
3.1.6. Atomok lézeres hűtése és csapdázása (Domokos Péter) . . . . .	7
3.1.7. A kvantumelektrodinamika alapjai (Varró Sándor) . . . . .	8
3.1.8. Bose-Einstein kondenzáció ritka gázokban (Kiss Tamás) . . . . .	8
3.1.9. Koherens kontroll (Kis Zsolt) . . . . .	8
3.1.10. Rövid lézerimpulzusok koherens kölcsönhatása rezonáns atomokkal (Dzsotjan Gagik) . . . . .	9
3.1.11. Kvantuminformatika I: Elmélet (Ádám Péter) . . . . .	9
3.1.12. Kvantuminformatika II: Kísérleti vonatkozások, alkalmazások (Koniorczyk Mátyás) . . . . .	9
3.1.13. Nyílt rendszerek kvantumstatisztikája (Domokos Péter) . . . . .	9
3.2. Nemlineáris optika és spektroszkópia program . . . . .	10
3.2.1. Fluoreszcencia spektroszkópia (Erostyák János) . . . . .	10
3.2.2. Fluoreszcencia spektroszkópiái módszerek biofizikai alkalmazásai (Erostyákné Buzády Andrea) . . . . .	10
3.2.3. Nemlineáris optikai paraméterek meghatározása Z-scan módszerrel (Pálfalvi László) . . . . .	11
3.2.4. Bevezetés a lézerfizikába (Almási Gábor) . . . . .	11
3.2.5. Ultrarövid impulzusú lézerek (Hebling János) . . . . .	11
3.2.6. Nemlineáris optikai frekvenciaátalakító eszközök (Hebling János) . . . . .	12
3.2.7. Optikai spektroszkópiái eszközök (Hebling János) . . . . .	12
3.2.8. Nemlineáris optikai kristályok infravörös és Raman spektroszkópiája (Dr Kovács László) . . . . .	12
3.2.9. Mágneses rezonancia, EXAFS és egyéb spektroszkópiák (Corradi Gábor) . . . . .	12
3.3. Részecske és magfizika program . . . . .	13
3.3.1. Kvantumtérelmélet I. (Kovács Tamás) . . . . .	13
3.3.2. Kvantumtérelmélet II. (Kovács Tamás) . . . . .	13
3.3.3. Csoportelmélet a fizikában (Kovács Tamás) . . . . .	13
3.3.4. Bevezetés az algebrai kvantumtérelméletbe (Szlachányi Kornél) . . . . .	14
3.3.5. Atommagfizika (Korpa Csaba) . . . . .	14
3.3.6. Hadronfizika (Korpa Csaba) . . . . .	14
3.3.7. Nehézion reakciók modellezése (Wolf György) . . . . .	15
3.4. Lézer és plazmafizika, lézerek alkalmazásai program . . . . .	15
3.4.1. Gázkisülések fizikája (Donkó Zoltán) . . . . .	15
3.4.2. Optikai mérés technika (Czitrovsky Aladár) . . . . .	15
3.4.3. Lézertechnika (Rózsa Károly) . . . . .	15
3.4.4. Lézerfizika (Jani Péter) . . . . .	16
3.4.5. Bevezetés a plazmafizikába (Donkó Zoltán) . . . . .	16
3.4.6. Lézer-indukált plazmaemissziós spektroszkópia (Német Béla) . . . . .	16
3.4.7. Anyagvizsgáló módszerek (Jani Péter) . . . . .	17
3.4.8. A lézerek alkalmazása a biológiában és az orvostudományban (Német Béla) . . . . .	17
3.4.9. Vékonyrétegek és alkalmazásaik (Márton Zsuzsanna) . . . . .	17
3.4.10. Lézerek alkalmazása az anyagtudományban (Márton Zsuzsanna) . . . . .	18

3.4.11. Mágneses anyagtudomány (Kádár György) . . . . .	18
3.4.12. Fotonikus kristályok (Kádár György) . . . . .	19
3.4.13. Lézerspektroszkópia (Sánta Imre) . . . . .	19
3.4.14. Elektronmikroszkópia (Pécz Béla) . . . . .	19
3.4.15. Optoelektronika (Hartmann Ervin) . . . . .	20
3.4.16. Félvezető eszközök technikája (Serényi Miklós) . . . . .	20

## 1. Tanulmányi követelmények a PTE TTK Fizika Doktori Iskolájában

A tanulmányi követelményrendszert és az adminisztráció rendjét a PTE TTK Fizika Doktori Iskola szabályzata tartalmazza, az egyetemi szabályzatokkal összhangban. Ennek rövid összefoglalását adja az alábbi táblázat:

**Összes megszerzendő kredit: 180**

**Félévenkénti minimum: 15**

Kredit típus	összes			megjegyzés	igazolás módja
	minimum	maximum	javasolt		
<b>tanulmányi</b>	18	36	27	Átlagosan tanévente 3 speciálkollégium felvétele javasolt, 3 kredit / 1x2 órás speciálkollégium.	Indexben vezető, kreditértékkel, osztályzattal.
<b>oktatási</b>	0	36	18	heti óraszám/szemeszter: javasolt 1x2, maximum 2x2. A kutatási kredittel kompenzálható.	A tanszékvezető igazolja az indexben, minősítés nélkül.
<b>szakirodalom feldolgozási, referenciái</b>	18	27	27	I-IV. szemeszter. Az irodalmat a témavezető határozza meg. Félévente a témavezetőnek kell beszámolni, Beszámoló: max. 6 kredit. A IV. szemeszter végéig a kutatási téma 20-25 oldalas összefoglalóját kötelező elkészíteni, ennek értéke max. 9 kredit.	A témavezető igazolja az indexben, kreditértékkel, megfelelt/nem felelt meg skálán.
<b>kutatási</b>	90	126	108	Szemeszterenkénti kutatómunka (publikáció nélkül): a témavezető javaslata alapján max. 6 kredit. Referált folyóiratcikk: max. 30 kredit, nemzetközi konferencia előadás vagy poszter: max. 20 kredit, egyéb publikáció: max 10 kredit. Az elfogadástól számított tetszőleges félévben elszámolható.	A témavezető javaslata alapján a programvezető igazolja az indexben, szemeszterenként, megfelelt/nem felelt meg skálán.
<b>Összesen:</b>			180		

## 2. A doktori programjai és kutatási területei

Ebben a fejezetben felsoroljuk a doktori iskola programjait és azok jellemző kutatási témáit. Az aktuális doktori témakiírások a <http://www.doktori.hu> honlapon találhatóak. Az FizDIT feladata a témakiírások minőségének ellenőrzése, fejlesztése és bővítése.

### 2.1. Kvantumoptika és kvantuminformatika program

**Vezetője:** *Prof. Janszky József* akadémikus, egyetemi tanár, az MTA levelező tagja

#### **Kutatási területek:**

##### Kvantumoptika

- Kvantumtrajektória-módszerek alkalmazása kvantumoptikai rendszerek leírására.
- Koherens kontroll atomi rendszerekben.
- Kvantum rendszerek koherens kontrolja és manipulációja fázismodulált lézer impulzusokkal.
- Elektromágneses tér terjedése fotonikus kristály optikai szálakban.
- Analóg Hawking sugárzás mozgó Bose-Einstein kondenzátumokban.
- Kvantumos véletlen bolyongás tulajdonságai, szerepe kvantuminformatikai rendszerekben és kvantumoptikai megvalósítása.
- Elektronok többfotonos szóródása.
- Néhány ciklusos femtoszekundumos fényimpulzusokkal való kölcsönhatások függése az abszolút fázistól.
- Töltött részecskék mértékinvariáns Wigner-függvényei.
- S-hullámok Wigner-függvényei tetszőleges magasabb dimenziókban.

##### Kvantuminformatika

- Az összefonódottság viselkedése különféle fizikai rendszerekben és folyamatokban. Például kvantumoptikai elrendezések, szilárdtest-rendszerek, stb.
- Kvantumszámítógépek megvalósítása. A különféle megvalósításokkal, mint optikai, atom, ion, stb. kapcsolatos kvantumoptikai kérdések.
- A kvantummechanika alapkérdései az információelmélet tükrében: méréselmélet, nemlokalitás, Bell egyenlőtlenségek, interpretációk.

### 2.2. Nemlineáris optika és spektroszkópia program

**Vezetője:** *Prof. Hebling János* egyetemi tanár, az MTA Doktora

#### **Kutatási területek:**

- Molekula dinamikai vizsgálatok időbontásos spektroszkópiai módszerekkel a fs-ns időtartományon.
- Integráló gömbök fejlesztése és alkalmazása kis hatáskeresztmetszetű átmenetek tanulmányozására.
- Magas optikai roncsolási küszöbű LiTaO<sub>3</sub> kristályok vizsgálata Z-scan módszerrel
- Z-scan mérés elméleteinek fejlesztése és kritikai vizsgálata
- Nagy teljesítményű, ultrarövid THz-es impulzusok előállítása optikai egyenirányítással
- Nemlineáris fotonikus kristályok vizsgálata
- Átfordított polarizációjú LiNbO<sub>3</sub> kristályokon alapuló optikai és opto-elektronikai eszközök fejlesztése
- Ultrarövid impulzusú OPO-k és OPA-k fejlesztése
- Hidroxidionok szerepe nemlineáris optikai kristályokban
- Hologramok termikus rögzítése fotorefraktív kristályokban
- Átmeneti fém adalékok ESR-es megfigyelése LiNbO<sub>3</sub>-ban és beépülésük módosítása hőkezeléssel

## 2.3. Részecske és magfizika program

**Vezetője:** Prof. Korpa Csaba egyetemi tanár, az MTA doktora

### Kutatási területek:

**A Heisenberg-modell mint kvantumtérelmélet** A statisztikus fizikában rengeteget tanulmányozott XXX kvantumláncot mint egy 1+1 dimenziós kvantumtérelméleti modellt szeretnénk tekinteni. Így a modell ekvivalens egy a  $G = Z(2) \times Z(2)$  csoportra épített  $G$ -spin modellel. A feladat a fázisszerkezet értelmezése és összehasonlítása a két különböző nézőpontból. A szabad energia és a korrelációs függvények kiszámítása egyrészt számítógépes programok írását, másrészt sorfejtések bizonyos rendig való egzakt számítását jelenti.

**Fúziós szabályok és a pentagon egyenlet** Ez az eléggé algebrai jellegű téma az alacsonydimenziós modellekben talált kvantumszimmetriák szempontjából jelentős. Egy racionális kvantumelméletben a szuperszelekciós szektorok egy u.n. fúziós gyűrűt alkotnak. Egyszerű számítógépes programmal kilistázhatók a legkisebb fúziós gyűrűk. A nehezebb feladat meghatározni, hogy egy adott fúziós gyűrű milyen kvantum grupoid reprezentáció-elméletéből származik, ha egyáltalán. Ocneanu felismerése óta tudjuk, hogy ez a fúziós gyűrűhöz tartozó pentagon egyenlet megoldását követeli. Egyszerű esetekben remélhető, hogy találunk megoldást.

**Mezonok és barionok tulajdonságai a nukleáris közegben** Hadron-hadron szórási potenciáljának meghatározása a Bethe-Salpeter egyenlet megoldásával, a parciális-hullám kifejtés, vagy más közelítő módszer használatával. A nukleáris közeg hatásának vizsgálata a hadron-hadron (vákuumbeli) kölcsönhatását leíró vertexekre. Önkonzisztens módszerek kifejlesztése és alkalmazása a közegbeli Bethe-Salpeter egyenlet megoldására, a közeg által módosított propagátorok és vertexek figyelembe vételével.

**Egzotikus hadronok spektroszkópiája** Az utóbbi években kísérletileg kimutatott új hadronállapotok vizsgálata a kvantumszindinamikából kiindulva rácson.

**Fermionok rácson** Királishan szimmetrikus rács-fermionok tulajdonságainak vizsgálata és optimalizálása kvantumszindinamikai számolásokhoz.

**Topológikus gerjesztések a QCD-ben** Instantonok és caloronok, valamint ezek kvarkokkal való kölcsönhatásának vizsgálata a kvantumszindinamikában.

## 2.4. Lézer és plazmafizika, lézerek alkalmazásai program

**Vezetője:** Dr. Czitróvszky Aladár tudományos tanácsadó, az MTA doktora

### Kutatási területek:

- Az aeroszolok lézeres mérés technikája: részecskeméret és koncentráció meghatározás
- Felületminőség interferometrikus módszerekkel
- Részecskeszámlálók modellezése és tervezése
- Lézeres módszerek alkalmazása a légköri paraméterek meghatározásában
- Alacsony nyomású gázkisülések kísérleti vizsgálata
- Alacsony nyomású gázkisülések modellezési módszereinek fejlesztése
- Erősen csatolt plazmafizikai sokrészecske-rendszerek szimulációja
- Széles tiltottsávú félvezetők, SiC és GaN elektronmikroszkópiája
- Új fázisok ionnyalábos szintézise, mint pl. orientált gyémánt szemcsék létrehozása SiC egykristályban szén ionok magas hőmérsékletű implantálásával
- Új, többkomponensű, nanokompozit rétegek előállítás és mikroszkópiája

### 3. A doktori iskola tantárgyai

Ebben a fejezetben felsoroljuk a doktori iskola kurzusait, a tematikus programok szerinti csoportosításban. A programvezetők javaslata alapján a Fizika Doktori Iskola Tanácsa (FizDIT) határozza meg minden szemeszterben az aktuálisan felkínált kurzusokat. Az FizDIT feladata a kurzuslista minőségének ellenőrzése, fejlesztése és bővítése.

Egy adott programban tanuló doktoranduszok sajátos érdeklődésüknek és kutatási témájuknak megfelelően természetesen más programban felkínált tárgyat is felvehetnek. A Fizika Doktori Iskola *Működési szabályzata* szerint a doktoranduszok „a témavezető javaslata alapján más programban, vagy egyetemen szervezett kurzusok áthallgatásával is” szerezhhetnek tanulmányi kreditet.

#### 3.1. Kvantumoptika és kvantuminformatika program

##### 3.1.1. Kvantumoptika I. (Janszky József)

- A kvantált elektromágneses tér, módusok
- Sűrűségoperátor és fázistér
- Operátorok rendezése, operátorfüggvények
- A Wigner függvény, karakterisztikus függvény, kvázivalószínűség-eloszlás függvények
- Az EM tér kvantumállapotai: termikus, koherens, összenyomott állapotok
- Az összefonódás jelensége, Einstein-Podolsky-Rosen párok.

*Ajánlott irodalom:*

- A. Yariv: Quantum Electronics (John Wiley, New York, 1988)  
W. H. Louisell: Quantum Statistical Properties of Radiation (John Wiley, New York, 1990)  
S. M. Barnett, P. M. Radmore: Methods in Theoretical Quantum Optics (Clarendon Press, 1997)  
M. O. Scully, M. S. Zubairy: Quantum Optics (Cambridge University Press, 1997)

##### 3.1.2. Kvantumoptika II. (Janszky József)

- Passzív optikai elemek: nyalábosztó, fázistoló, multiportok
- A fotodetektálás elmélete, foton számlálás
- Homodin és heterodin detektálás
- A koherencia statisztikai és kvantumelmélete
- Nemlineáris optikai folyamatok
- Aktív optikai elemek: erősítés, parametrikus oszcillátor
- Veszteségek, zaj és csillapodás leírása a kvantumoptikában

*Ajánlott irodalom:*

- L. Mandel, E. Wolf: Optical Coherence and Quantum Optics (Cambridge University Press, 1995)  
S. M. Barnett, P. M. Radmore: Methods in Theoretical Quantum Optics (Clarendon Press, 1997)  
U. Leonhardt: Measuring the quantum state of light (Cambridge University Press, 1997)

##### 3.1.3. Rezonáns fény-anyag kölcsönhatás (Ádám Péter)

- Fényszórás atomokon, spontán emisszió
- Szemiklasszikus elmélet, csatolt Maxwell-Bloch egyenletek
- Koherens impulzus terjedése
- Rezonancia fluoreszcencia
- Elektrodinamika rezonátorban
- A Jaynes-Cummings modell
- A mikromézer
- A lézerek kvantumelmélete

*Ajánlott irodalom:*

L. Allen, J.H. Eberly: Optical Resonance and Two Level Atoms (Dover Publications, 1987)

C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, G. Grynberg: Photons and Atoms - Introduction to Quantum Electrodynamics

M. O. Scully, M. S. Zubairy: Quantum Optics (Cambridge University Press, 1997)

A kvantumelektronika alapjai, szerk.: Varró Sándor, jegyzet

### **3.1.4. Kvantumoptikai kísérletek (Kiss Tamás)**

- Nemklasszikus fény előállítás és detektálása
- Kvantumállapotok rekonstrukciója, kvantumtomográfia
- Kvantummechanikai modell ellenőrzése az optikában
- Kvantumállapot teleportációja
- Atomok csapdázása, atomoptika

*Ajánlott irodalom:*

Hans-A. Bachor, Timothy C. Ralph: A Guide to Experiments in Quantum Optics

### **3.1.5. Kvantummechanikai paradoxonok (Koniorczyk Máttyás)**

- Einstein-Podolsky-Rosen paradoxon
- Nemlokalitás, Bell egyenlőtlenségek
- Greenberger-Horne-Zeilinger összefüggések
- Korrelációk és a fénytér összefonódott állapotai
- Egyfotonos interferometria, komplementaritás, dualitás
- Kétfotonos interferometria, kvantumradír
- Rombolásmentes kvantummechanikai mérés
- Pre- és posztszelektív kvantummechanika

*Ajánlott irodalom:*

J. S. Bell: Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics

H. Paul, I. Jex: Introduction to Quantum Optics : From Light Quanta to Quantum Teleportation

### **3.1.6. Atomok lézeres hűtése és csapdázása (Domokos Péter)**

- A fény mechanikai hatása semleges részecskékre, történeti áttekintés
- Karakterisztikus időskálák, belső és külső szabadsági fokok szétválasztása, szemiklasszikus elmélet alapjai
- A lézerek mechanikai hatása álló atomra: sugárzási nyomás és dipólerő
- A sugárzási tér munkája, energiamérleg
- Az elektromágneses tér fluktuációja, diffúzió az atomi mozgásban
- A lézerek mechanikai hatása mozgó atomra, Doppler hűtés
- Optikai melasz, Langevin-egyenletek bevezetése és a hőmérséklet fogalma
- A lézerek mechanikai hatása soknívós atomokra
- Magneto-optikai csapda
- Polarizációgradiens-hűtés, Sziszifusz-effektus
- Atomok kvantált mozgása, sebességszelektív populációcsapdázás
- Csapdázott atomok hűtése oldalsávgerjesztéssel

*Ajánlott irodalom:*

H. J. Metcalf, P. Van Der Straten: Laser Cooling and Trapping (Springer-Verlag 1999)

C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, G. Grynberg: Photons and Atoms - Introduction to Quantum Electrodynamics



### 3.1.7. A kvantumelektrodinamika alapjai (Varró Sándor)

- Klasszikus térelmélet, megmaradási tételek
- Terek és részecskék, kreációs és annihilációs operátorok
- Kanonikus kvantálás
- Perturbációszámítás, Wick-tétel, Feynman-diagramok
- Mértékelméletek kvantálása: elektrodinamika
- Spontán emisszió, Lamb-féle vonaleltolódás, Casimir-effektus, többfotonos abszorpció

*Ajánlott irodalom:*

Peter W. Milonni: The Quantum Vacuum : An Introduction to Quantum Electrodynamics  
Claude Cohen-Tannoudji, Jacques Dupont-Roc, Gilbert Grynberg: Photons and Atoms - Introduction to Quantum Electrodynamics

### 3.1.8. Bose-Einstein kondenzáció ritka gázokban (Kiss Tamás)

- A nem-kölcsönható Bose gáz: fázisátmenet, kritikus hőmérséklet, kondenzált frakció
- Csapdázás: kvadrupól, TOP, Ioffe-Pritchard, optikai és mágneses-optikai csapdák
- Hűtés: Doppler, Sziszifusz és evaporatív hűtés
- Kölcsönható gázok: szórás, szórási hossz
- Gross-Pitajevszkij egyenlet, Thomas-Fermi közelítés, healing hossz
- Hidrodinamikai közelítés
- Elemi gerjesztések, Bogoljubov transzformáció
- Véges hőmérséklet, Hartree-Fock közelítés
- Korrelációk, koherencia, atom lézer

*Ajánlott irodalom:*

C. J. Pethick, H. Smith: Bose-Einstein Condensation in Dilute Gases (Cambridge University Press, 2002)  
L. P. Pitaevskii, S. Stringari, L. Pitaevskii: Bose-Einstein Condensation (Oxford University Press, 2003)  
H. J. Metcalf, P. Van Der Straten: Laser Cooling and Trapping (Springer-Verlag 1999)

### 3.1.9. Koherens kontroll (Kis Zsolt)

- Elektromágneses tér kölcsönhatása idealizált, kétszintes atomokkal
- Az atomi elektronállapotok kontrollja, Bloch-egyenletek
- Kétszintes rendszerek elektronállapotának adiabtikus kontrollja
- Disszipatív folyamatok, a disszipáció szerepe az atomi szintek kontrollálhatóságában
- Háromszintes rendszerek kölcsönhatása koherens elektromágneses térrel
- A stimulált Raman adiabtikus átmenet háromszintes rendszerben
- Degenerált atomi rendszerek kölcsönhatása elektromágneses mezővel, kiválasztási szabályok
- A stimulált Raman adiabtikus átmenet degenerált háromszintes rendszerben
- Atomfizikai alkalmazások
- Molekulák elektronhelyének kölcsönhatása elektromágneses térrel
- A rezgési hullámcsoomag kontrollja kétatomos molekulákban
- Femtokémia: kémiai reakciók befolyásolása femtoszekundumos lézerimpulzusokkal

*Ajánlott irodalom:*

R. Loudon: The Quantum Theory of Light  
C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, G. Grynberg: Atom-Photon Interaction  
M.O. Scully and M.S. Zubairy: Quantum Optics  
Paul W. Brumer, Moshe Shapiro: Principles of the Quantum Control of Molecular Processes

### 3.1.10. Rövid lézerpulzusok koherens kölcsönhatása rezonáns atomokkal (Dzsotjan Gagik)

- Lézerpulzus kétnívós atommal való kölcsönhatásának vektormodellje
- Lézerműködés populációinverzió nélkül, ill. egyéb atomi koherencia-és interferenciajelenségek
- Atomok koherens manipulációja: eltérítés és nyalábosztás
- Stimulált Raman-szórással indukált adiabatikus átmenet többnívós kvantumrendszerekben
- Frekvenciamodulált (csörpölt) lézerpulzusokkal indukált adiabatikus átmenet
- Önindukált átlátszóság, szolitonok
- Elektromágnesesen indukált átlátszóság
- Frekvenciamodulált (csörpölt) lézerpulzusok veszteségmentes terjedése többnívós atomokból álló közegben

*Ajánlott irodalom:*

C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, G. Grinberg, Atom-Photon interactions, John Wiley & SONS, Inc., New York, 1998

M.O. Scully and M.S. Zubairy, Quantum Optics, Cambridge University Press, 2002

### 3.1.11. Kvantuminformatika I: Elmélet (Ádám Péter)

- Klasszikus és kvantumos információelmélet (Shannon és Neumann entrópia, csatornakapacitás)
- Kvantumbitek dinamikája (Unitér fejlődés, kvantumoperációk, Neumann-mérés, POVM mérés, kvantumlogikai hálózatok)
- Az összefonódottság elmélete (Tipikus összefonódott állapotok (EPR, GHZ, W, Werner, stb.). Összefonódottság mérékek, összefonódottsági tanúk általában és speciális állapotosztályokon. Többrészi összefonódás.)
- Kvantumkommunikációs protokollok (Teleportáció, klónozás, szupertömörítés, titkosítás)
- Kvantumalgoritmusok (Shor, Grover, kvantum random walk, hibajavító kódok)

*Ajánlott irodalom:*

M.A. Nielsen, I.L. Chuang: Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge University Press, 2000)

### 3.1.12. Kvantuminformatika II: Kísérleti vonatkozások, alkalmazások (Koniorczyk Mátyás)

- Az általános kvantumszámítógép modelljei, kvantumszimulációk
- Dekoherencia, a kvantumszámítógép működésének feltételei, „fault tolerant quantum computing”
- Ioncsapda-kvantumszámítógép
- Hideg csapdázott atomokkal működő kvantumszimulátorok, kvantumszámítógépek
- Fotonikus kvantumszámítógépek, fotonikus kvantumkommunikáció (polarizáció qubitek, koherens állapot qubitek, Gauss-állapotok)
- NMR kvantumszámítógépek, kvantum dotok
- A kvantuminformatika eredményeinek alkalmazása a fizika más területein (A DMRG mint variációs eljárás a kvantuminformáció tükrében. Fázisátalakulások és kvantuminformáció.)

*Ajánlott irodalom:*

M.A. Nielsen, I.L. Chuang: Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge University Press, 2000)

### 3.1.13. Nyílt rendszerek kvantumstatisztikája (Domokos Péter)

- Sűrűségmátrix, von Neumann-egyenlet és mérés, entrópia
- Kvantumrendszer egy hőtartályban, Markov-közelítés
- Master-egyenlet, kvantum regressziós tétel
- Zwanzig-féle projektor-operátor módszer
- Fázistér-módszerek, Wigner függvény, Fokker-Planck egyenlet
- Hőtartály nem termikus állapotban

- Kvantumos Langevin-egyenletek, általánosított Einstein relációk
- Stochasztikus differenciálegyenletek Ito- és Stratonovich-féle értelmezése
- Fotodetektálás elmélete
- Monte-Carlo hullámfüggvény-módszer nyílt rendszerek időfejlődésének leírására
- Kvantumoptikai alkalmazások

*Ajánlott irodalom:*

C. W. Gardiner: Handbook of Stochastic Methods (Springer-Verlag, 2004)

H. Carmichael: An Open Systems Approach to Quantum Optics (Springer-Verlag, 1993)

## 3.2. Nemlineáris optika és spektroszkópia program

### 3.2.1. Fluoreszcencia spektroszkópia (Erostyák János)

- A fluoreszcencia spektroszkópia alapfogalmai.
- Mérési módszerek és mérőberendezések: direkt módszerek, mintavételezéses technika, időkorrelált egyfoton számlálás, pumpa-próba módszerek, fázisfluorimetria.
- Fluoreszcencia polarizáció.
- Fluoreszcencia-kioltás.
- Energia-transzfer.
- Reverzibilis kétállapot-reakciók.
- Kiértékelési módszerek a fluoreszcencia spektroszkópiában.

*Ajánlott irodalom:*

J. R. Lakowicz: Principles of Fluorescence Spectroscopy. Plenum Press, New York, (1983).

Szalay L., Damjanovich S. (szerk.): Lumineszcencia a biológiában és az orvostudományban. Akadémiai Kiadó, Budapest, (1983).

J. R. Lakowitz (ed.): Topics in Fluorescence Spectroscopy Vol 1-3. Plenum Press, New York, (1991).

B. Valeur, J. C. Brochon (eds.): New Trends in Fluorescence Spectroscopy. Applications to Chemical and Life Sciences. Springer, Berlin, (2001).

### 3.2.2. Fluoreszcencia spektroszkópiai módszerek biofizikai alkalmazásai (Erostyákné Buzády Andrea)

- Biológiai minták fluoreszcenciája.
- Általános és specifikus oldószerhatások.
- Dielektromos relaxáció és fehérjedinamika: elméletek, vizsgálati módszerek.
- Energia-transzfer és távolságmérés.
- Fluoreszcenciaélettartam- és anizotrópiaélettartam-eloszlások értelmezése.
- Fluoreszcencia-kioltás alkalmazása membránvizsgálatokban.
- Konfokális mikroszkópia alapjai és biofizikai alkalmazásai.
- A különböző fluoreszcencia spektroszkópiai mérési technikák alkalmazhatósága biofizikai vizsgálatokban.

*Ajánlott irodalom:*

J. R. Lakowicz: Principles of Fluorescence Spectroscopy. Plenum Press, New York, (1983).

Szalay L., Damjanovich S. (szerk.): Lumineszcencia a biológiában és az orvostudományban. Akadémiai Kiadó, Budapest, (1983).

J. R. Lakowitz (ed.): Topics in Fluorescence Spectroscopy Vol 1-3. Plenum Press, New York, (1991).

B. Valeur, J. C. Brochon (eds.): New Trends in Fluorescence Spectroscopy. Applications to Chemical and Life Sciences. Springer, Berlin, (2001).

### 3.2.3. Nemlineáris optikai paraméterek meghatározása Z-scan módszerrel (Pálfalvi László)

- A fényterjedés leírása a mátrixoptika segítségével
- Diffракció, Gauss-nyalábok
- A nemlineáris optika és a kristályoptika elemei, a harmadrendű optikai nemlinearitás
- Vékony minták Z-scan elmélete, a nemlineáris törésmutató és nemlineáris abszorpció meghatározásának lehetőségei
- A Z-scan módszer kiterjesztése vastag minták esetére, az egyes elméletek korlátjai
- A Z-scan módszer alkalmazása fényimpulzusok esetén, időbontott Z-scan mérések
- A fotorefrakció egyszerűsített modellje
- A termo-optikai nemlinearitás
- A LiNbO<sub>3</sub> vizsgálata Z-scan módszerrel

### 3.2.4. Bevezetés a lézerfizikába (Almási Gábor)

- A fény abszorpciója, emissziója, az erősítés feltételei.
- Sáv szélesség, vonalalak, telítődés tulajdonságai.
- Mátrixoptika, rezonátorok geometriai leírása.
- Rezonátorok hullámelmélete, Gauss nyalábok.
- Rezonátorok tranziens jelenségei.
- A lézerek sebességi egyenlet modellje.
- Gázlézerek. Festéklézerek. Félvezető lézerek. Szilárdtest lézerek.
- A fény detektálásának eszközei.
- Ultrarövid lézerimpulzusok generálása és mérése.
- A lézerek ipari alkalmazásai.
- A lézerek orvosi biológiai alkalmazásai.

*Ajánlott irodalom:*

P. W. Milonni, J.H. Eberly: Lasers (John Wiley, 1988)

Scully, Lamb

B.E.A. Saleh, M.C. Teich: Fundamentals of Photonics (Wiley-Interscience, 1991)

### 3.2.5. Ultrarövid impulzusú lézerek (Hebling János)

- Ultrarövid fényimpulzusok leírása
- Csoportkésés, csoportkésés-diszperzió
- Impulzus nyújtók és impulzus összenyomók (prizma-pár, rács-pár, csörpölt tükör)
- A módusszinkronizálás elve
- Módusszinkronizálási módszerek (Kerr-lencse hatás, szinkron pumpálás)
- Speciális rezonátorok, asztigmia kompenzáció
- Kerr-lencse módusszinkronizáció modellezése
- Ultrarövid impulzusú fényvezetőszál lézerek

*Ajánlott irodalom:*

W. Kaiser: Ultrashort laser pulses

J.C. Diels, W. Rudolph: Ultrashort laser pulse phenomena

### 3.2.6. Nemlineáris optikai frekvenciaátalakító eszközök (Hebling János)

- Nemlineáris optikai szuszceptibilitás
- Hullámterjedés nemlineáris optikai közegben
- Frekvenciaátalakító folyamatok (összeg- és különbségi frekvencia keltése, parametrikus erősítés)
- Fázisillesztési módszerek (egyirányú és nem egyirányú, kettőtörésen és hőmérsékletváltoztatáson alapuló, nmekritikus fázisillesztés)
- Kvázi-fázisillesztés
- Optikai parametrikus erősítő és oszcillátor
- Optikai egyenirányítás

*Ajánlott irodalom:*

P.W. Boyd: Nonlinear optics

R. L. Sutherland: Handbook of nonlinear optics

### 3.2.7. Optikai spektroszkópai eszközök (Hebling János)

- A spektum fogalma
- Szögdiszperzióval rendelkező eszközök általános felépítése és értékmérők
- Szögdiszperzióval rendelkező eszközök általános leírása
- Fabry-Perot interferométerek
- Fourier transzformációs spektrométerek
- Kristályoptikai eszközök (polarizátorok,  $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$  lemezek)
- Detektor típusok
- Detektorok jellemzői

*Ajánlott irodalom:*

F. A. Jenkins, H.E White: Fundamentals of optics

W. Demtröder: Laser spectroscopy

Ábrahám György: Optika

### 3.2.8. Nemlineáris optikai kristályok infravörös és Raman spektroszkópiája (Dr Kovács László)

- A rezgési spektroszkópia alapjai
- Fourier transzformációs infravörös és Raman spektrométerek
- Normál rezgések elmélete, szimmetriák, kiválasztási szabályok
- Kristályok optikai tulajdonságai
- Optikai kristályok infravörös és Raman spektrumai
- Lokalizált rezgések spektroszkópiája
- Hidroxidionok és oxigén tetraéderek rezgései oxidkristályokban

*Ajánlott irodalom*

G.Turrell: Infrared and Raman Spectra of Crystals

K. Nakamoto: Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds

B.C.Smith: Fundamentals of Fourier transform infrared spectroscopy

D.C.Harris and M.D.Bertolucci: Symmetry and spectroscopy

### 3.2.9. Mágneses rezonancia, EXAFS és egyéb spektroszkópiák (Corradi Gábor)

- Elektronspin rezonancia (ESR) és magrezonancia (NMR) spektroszkópia alapjai.
- Elektron- és magrezonancia kombinációja (ENDOR és ENDOR indukált ESR), optikailag detektált ESR és ENDOR.
- Spin-relaxációs effektusok.
- Alkalmazások szilárdtestek pont hibáira, biológiai objektumokra és nanorészecskékre, valamint orvosi diagnosztikai képalkotásra.

- Röntgenabszorpció finomstruktúrájából (XAFS ill. EXAFS) kinyerhető információ és alkalmazása atomi környezetek meghatározására.
- Felületvizsgálati módszerek áttekintése.

*Ajánlott irodalom:*

- J. E. Wertz and J. E. Bolton, Electron Spin Resonance, McGraw-Hill, New York, 1972  
 A. Abragam and B. Bleaney, Electron Paramagnetic Resonance of Transition Ions, Clarendon Press, Oxford, 1970.  
 C. P. Slichter, Principles of magnetic resonance, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, second revised (1978) and corrected edition (1980), enlarged third printing (1989, 1990)  
 J.-M. Spaeth, J.R. Niklas, R.H. Bartram: Structural Analysis of Point Defects in Solids, Springer  
 H. Kuzmany: Solid-state spectroscopy, an introduction, Springer, Berlin Heidelberg 1998

### 3.3. Részecske és magfizika program

#### 3.3.1. Kvantumtérelmélet I. (Kovács Tamás)

- Bevezetés: relativisztikus kvantummechanika.
- Klasszikus terek (komplex skalár-, Dirac-, fototér), Lagrange megfogalmazásban.
- Térdő és belső szimmetriák, áramok, Noether tétel, megmaradó mennyiségek.
- Abeli és nem-Abeli mértékszimmetria.
- Szabad terek kanonikus kvantálása, részecske interpretáció.
- Propagátorok, Wick tétel.
- Szórási folyamatok leírása.
- Kölcsönható skalártér kvantálása, perturbációszámítás, Feynman szabályok, a renormálás alapgondolata.
- A kvantumelektrodinamika alapjai.

*Ajánlott irodalom:*

- M. Peskin and D. Schroeder: An introduction to quantum field theory  
 L.H. Ryder: Quantum field theory  
 C Itzykson and J-B. Zuber: Quantum field theory

#### 3.3.2. Kvantumtérelmélet II. (Kovács Tamás)

- A kvantummechanika megfogalmazása pályaintegrállal.
- Skalár- és Dirac-tér kvantálása pályaintegrállal, Wick forgatás, kapcsolat a statisztikus fizikával, fázisátalakításokkal, a renormálás Wilson-féle megközelítése.
- Mértékelméletek kvantálása pályaintegrállal, Faddeev-Popov módszer.
- Kvantumszíndinamika, dimenzionális regularizáció, rácsregularizáció.
- A részecskefizika standard modellje.
- Nem-perturbatív aspektusok (szolitonok, instantonok, monopólusok).

*Ajánlott irodalom:*

- A „Kvantumtérelmélet I”-hez ajánlottak, valamint:  
 D.J. Amit: Field theory, the renormalization group and critical phenomena  
 J. Cardy: Scaling and renormalization in statistical physics  
 R. Rajaraman: Solitons and instantons

#### 3.3.3. Csoportelmélet a fizikában (Kovács Tamás)

- Csoportelméleti alapfogalmak, szimmetriák a kvantummechanikában.
- $SU(2)$ ,  $SO(3)$  és az impulzusmomentum.
- Csoportábrázolás, irreducibilitás, Schur lemma.
- Véges csoportok (permutációcsoportok, pontcsoportok) és ábrázolásai.
- Csoportkarakterek.

- Lie csoportok és algebrák, invariáns integrálás.
- $SU(N)$ ,  $U(N)$  és fizikai alkalmazásai.
- Lorentz csoport.
- Folytonos csoportok ábrázolásai.

*Ajánlott irodalom:*

A.P. Balachandran and C.G. Trahern, Lectures on group theory for physicists  
Wu-Ki Tung, Group theory in physics

### 3.3.4. Bevezetés az algebrai kvantumtérelméletbe (Szlachányi Kornél)

- Megfigyelhetők és állapotok.
- $C^*$ -algebrák és Neumann-algebrák, dinamikai rendszerek.
- Pozitív funkcionálok és a GNS konstrukció.
- Lokális algebra hálók kontra globális operátorok (Hamilton, töltések): az ábrázolások szerepe a spektrumban.
- A Haag-Kastler axiómák.
- Szuperszelekciós szektorok (DHR).
- Mese a Doplicher-Roberts tételről.
- Kitekintés: kvantumszimmetriák.

*Ajánlott irodalom:*

Haag: Local Quantum Physics

### 3.3.5. Atommagfizika (Korpa Csaba)

- Héjszerkezet az atommagokban: kísérleti alapok, a független részecske közelítés, kölcsönható héjmodell.
- Nukleonok: nem-relativisztikus kvarkmodell, zsákmodellek, egy-gluon csere a kvarkmodellben.
- Bevezetés a szóráselméletbe, a parciális-hullám kifejtés. Nukleon-nukleon szórás leírása fenomenológikus és egy-bozon-csere potenciállal.
- A nukleáris struktúra mikroszkópikus elmélete: nukleon átlagos szabad útja, a Pauli-elv és az effektív tömeg.
- Maganyag: Dirac-Brueckner elmélet. Véges magok leírása az átlagtér közelítésben, időfüggetlen és időfüggő Hartree-Fock elmélet.
- Nukleáris kollektív mozgás, vibrációk és rotációk.
- Nukleáris reakciók: elektron-atommag, nukleon-atommag, pion-atommag és atommag-atommag szórás. Mélyen rugalmatlan lepton szórás nukleonon és atommagon.

*Ajánlott irodalom:*

M.A. Preston and R.K. Bhaduri: Structure of the nucleus (Addison- Wesley Publ. Comp., Reading, Mass., 1982)

P.J. Siemens and A.S. Jensen: Elements of nuclei (Addison- Wesley Publ. Comp., 1987)

### 3.3.6. Hadronfizika (Korpa Csaba)

- Hadronok osztályozása és alapvető tulajdonságaik.
- Kölcsönhatás leírása effektív kvantumtérelmélettel: zérus-, 1/2-, 1- és 3/2-spinű részecskék.
- Kölcsönhatási potenciál közelítések: királis kifejtés,  $1/N_c$  kifejtés.
- Kétrészecskés szórás leírása Bethe-Salpeter egyenlettel.
- Véges sűrűségű és hőmérsékletű hadronikus anyag kvantumtérelméleti tárgyalása: a Matsubara- és Schwinger-Keldysh-formalizmus.
- Különböző spinű részecskék vákuumbeli és közegebeni sajátenergiájának általános, kovariáns alakja.
- Bomlásállandók, hatáskeresztmetszetek számítása.

*Ajánlott irodalom:*

F.E. Close: An introduction to quarks and partons (Academic Press, London, 1979)

### 3.3.7. Nehézion reakciók modellezése (Wolf György)

- Nehézion ütközések fenomenológiája: A kutatás célja. Nehézion gyorsítók. A nehézion ütközések leírásának alapfogalmai.
- Statisztikus modellek: Tűzgolyó. Tűzcső. Kémiai és termális egyensúlyi kifagyás.
- Transzport modellek általános tulajdonságai Hidrodinamika. BUU. QMD.
- A BUU és QMD modellek, numerikus megvalósításuk: Felépítésük. Hosszútávú kölcsönhatások kezelése. Részecskék propagálása. Pauli effektus. Ütközési tag, részecskékeltés. Fragmentáció. A modellek bemenő adatai.
- Nehézion kísérletek elméleti megértése.
- Az elméleti leírás nyitott problémái.

## 3.4. Lézer és plazmafizika, lézerek alkalmazásai program

### 3.4.1. Gázkisülések fizikája (Donkó Zoltán)

- Alacsony nyomású gázkisülések alapjelenségei: töltéshordozók keletkezése, drift és diffúzió, elemi ütközési folyamatok
- Önfenntartó gázkisülések: a gáz átütése, ködfénykisülések, katódi folyamatok és a katód környéki térrész, pozitív oszlop
- Rádiófrekvenciás gázkisülések
- Gázkisülések modellezése: folyadékmodellek, részecskeszimulációs modellek
- Gázkisülési plazmák diagnosztikája: elektromos szondák, konvencionális és lézeres spektroszkópia
- Gázkisülések alkalmazásai: gázlézerek, spektroszkópiái és egyéb fényforrások, plazmakémia, plazmaalapú felületmódosítás

*Ajánlott irodalom:*

A. von Engel, Ionized Gases (Clarendon Press, 1965)

Y. P. Raizer, Gas Discharge Physics (Springer, 1991)

M. A. Liebermann and A. J. Lichtenberg, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing (Wiley, 1994)

### 3.4.2. Optikai mérés technika (Czitrovszky Aladár)

- A lézerek alkalmazása a nagyfelbontású mérésekben: Interferometria, síkszerűség, felületvizsgálat, elmozdulás- gyorsulás-mérés, vibráció analízis. Lézer Doppler sebességmérés, korrelációs mérések.
- Fényszórás alkalmazása az optikai mérés technikában: Nephelometria, turbidimetria. Részecskeszámlálás: aeroszolok és hidroszolok mérése. Felületvizsgálat. Anemometria, LDA-, PDA rendszerek.
- Kvantumoptikai mérés technika és alkalmazásai: Különböző fotonstatisztikával rendelkező fény generálása Koincidencia, korreláció, Fotodetektorok minősítése kvantum limitált detektor rendszerek Abszolút kvantumhatásfok mérés egy és kétdetektoros módszerrel Nemlineáris paraméterek mérése optikai kristályokban
- Optikai módszerek alkalmazása a környezetvédelemben: A légkör optikai és meteorológia paraméterei A légszennyeződés hatása a légkör optikai paramétereire A légkör szennyezettségének lézeres mérési módszerei

*Ajánlott irodalom:*

Mercer: Optical Metrology for Fluids, Combustion and Solids, (Springer, 2003)

H.E. Albrecht: Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques (Springer, 2001)

Hariharan: Optical Interferometry, (Elsevier, 2003)

### 3.4.3. Lézertechnika (Rózsa Károly)

- Gázlézerek: He-Ne (folytonos ködfény kisülés, áramgenerátoros gerjesztés), argon-ion (ívkisülés, vízűtés, léghűtés, hullámhossz szelekció), He-Cd (kataforézis), nitrogén (impulzus gerjesztés, instabil rezonátor), excimer (gázkezelés, korrózió)
- Festéklézerek: jet (Folytonos gerjesztés, triplétt állapot abszorpciója, asztigmia) villanólámpás gerjesztés (tápegység) impulzus lézeres gerjesztés (hangolás, sávszélesség)



- Szilárdtest lézerek: rubin (normál és Q-kapcsolt üzemmód), Nd-YAG (impulzus, cw, diódával pumpált), Ti:zafír (hangolás, stabilizálás, módus-szinkronizálás), fényvezetőszál lézerek (módus-szinkronizálás), impulzus erősítés
- Félvezető dióda lézerek: táplálás, tranziensek, hangolás mester-szolga erősítő rendszerek
- Diagnosztikai módszerek: energiamérés (fotoelektromos, termikus, piroelektromos) impulzusidő mérés (direkt, mintavételezés, autokorreláció) spektrális jellemzők mérése (abszolút hullámhossz, sáv szélesség)

*Ajánlott irodalom:*

P. W. Milonni, J.H. Eberly: Lasers (John Wiley, 1988)

B.E.A. Saleh, M.C. Teich: Fundamentals of Photonics (Wiley-Interscience, 1991)

#### **3.4.4. Lézerfizika (Jani Péter)**

- Atomi dipól átmenetek, Rabi frekvencia
- Szemiklasszikus sugárzáselmélet, Maxwell-Bloch egyenletek
- Lézer pumpálás, populáció-inverzió, erősítés
- Lineáris és nemlineáris impulzusterjedés
- Lézer tükrök és a lézer oszcilláció: dinamika, oszcillációs küszöb
- Hullámoptika: Gauss-nyaláb, nyalábperturbáció és diffrakció
- Paraxiális rezonátorelmélet, stabil és instabil rezonátorok
- A lézer dinamikája
- Q kapcsolás, módusszinkronizálás
- A lézerműködés kvantumelmélete

*Ajánlott irodalom:*

A. E. Siegman: Lasers (University Science Books, 1986)

P. W. Milonni, J.H. Eberly: Lasers (John Wiley, 1988)

#### **3.4.5. Bevezetés a plazmafizikába (Donkó Zoltán)**

- Egyrészesecske mozgása mágneses mezőben
- A plazma folyadékmodellje
- Magnetohidrodinamika, egyensúlyi állapot
- Ütközések plazmában és ionizált plazmában
- Fokker-Planck egyenlet Coulomb ütközésekre
- Hullámok folyadékplazmában
- Hullámok nem mágneses és mágneses plazmában
- Instabilitások: folyadékplazma, Rayleigh-Taylor instabilitás
- Kinetikus elmélet, Vlasov egyenlet, Landau-féle tárgyalás

*Ajánlott irodalom.* J. Goldston, P. H. Rutherford: Introduction to Plasma Physics (Institute of Physics Publishing, 1995)

#### **3.4.6. Lézer-indukált plazmaemissziós spektroszkópia (Német Béla)**

- Atom- és molekulaszpektroszkópiái alapok
- Anyagszerkezeti alapismeretek
- Általános mikroanalitikai kérdések.
- Minőségi- és mennyiségi analitika LIPIES technikával
- Fémötvözet vizsgálatok, fémipari alkalmazások
- Geológiai, geofizikai alkalmazások

- Környezetvédelmi alkalmazások
- Kriminálisztikai alkalmazások
- Fémek, félvezetők, felületvizsgálati alkalmazásai
- Orvosi (kardiológiai, urológiai, nephrológiai) alkalmazások

*Ajánlott irodalom:* ICP Emission Spectrometry : A Practical Guide szerk. Joachim Nölte (Wiley-VCH, 2003)

### 3.4.7. Anyagvizsgálati módszerek (Jani Péter)

- Mikroszkópia: fénymikroszkópia, elektronmikroszkópia, pásztázószondás mikroszkópiák
- Diffrakciós módszerek, XRD, Röntgen-photoelektron diffrakció,
- Elektron- és Röntgenemissziós spektroszkópiák, XPS, UPS, Auger, Röntgen-fluoreszcencia
- Vibrációs spektroszkópiák, FTIR, Raman
- Mágneses magrezonancia
- Ionszórásos módszerek, RBS
- Tömeg- és optikai spektroszkópiái módszerek

*Ajánlott irodalom:*

Surface Characterization; a users handbook. Ed. D. Brune et al, John Wiley, 1996

Encyclopedia of Materials Characterisation, Ed C.R.Brundle, Manning Publ. Co., 1992

### 3.4.8. A lézerek alkalmazása a biológiában és az orvostudományban (Német Béla)

- Törés, visszaverődés, szórás, abszorpció a biológiai anyagban, behatolás és roncsolás biológiai és fizikai mechanizmusa
- Foton transzport elmélet
- A szövetek optikai tulajdonságainak mérése
- A lézer-szövet kölcsönhatás mechanizmusai: fotokémiai (fotodinamikus terápia, biostimuláció), fototermális (lézerindukált termális terápia), fotoabláció, plazmaindukált szövetabláció, lökéshullám keltés, kavitáció
- Lézerek alkalmazása orvosi szakterületeken: sebészet, fogászat, dermatológia, plasztikai sebészet, szövet forrasztás, belgyógyászat
- Lézerek a génszövetben
- Biokompatibilis anyagok előállítása
- Diagnosztikai módszerek: képalkotás tomográfiával, kétfoton-mikroszkópia

*Ajánlott irodalom:*

Markolf H. Niemz: Laser-Tissue Interactions: Fundamentals and Applications (Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering) (Springer-Verlag, 2003)

C. Fotakis, T. G. Papazoglou, C. Kalpouzos: Optics and Lasers in Biomedicine and Culture, (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2000.)

### 3.4.9. Vékonyrétegek és alkalmazásaik (Márton Zsuzsanna)

- Vákuumfizikai alapok, gázkinetika, gázáramlások, Knudsen-egyenlet, közepes szabad úthossz, transzport tulajdonságok
- Vákuum technológia, nyomásmérés, vákuumpumpák, vákuumrendszerek
- A párologtatás fizikája és kémiája
- Kisülések, plazmák, ion-felület kölcsönhatás, plazma és ionsugaras módszerek a vékonyrétegek előállításában
- Kémiai gőzfázisú leválasztás
- Szubsztrát felületek és nukleáció, termodinamikai, kinetikai aspektusok, kísérleti tapasztalatok
- Epitaxia, magas és alacsony hőmérsékletű epitaxia, félvezető eszközök, kontrollált rétegnövesztés
- A rétegek struktúrája és analízise

*Ajánlott irodalom:*

- Milton Ohring: The Materials Science of Thin Films (Academic Press, San Diego, 2002)  
A. Roth: Vacuum Technology (North Holland, 1989)  
Donald L. Smith: Thin Film Deposition: Principles and Practice (McGraw-Hill, 1995)  
John A. Mahan: Physical Vapor Deposition of Thin Films (Wiley-Interscience, 2000)

### 3.4.10. Lézerek alkalmazása az anyagtudományban (Márton Zsuzsanna)

- A lézerműködés alapelvei, lézertípusok és alkalmazási területeik
- Fizikai processzálás lézerekkel, a lézerek fókuszálhatósága, gázok, fémek, félvezetők, szigetelők abszorpció tulajdonságai, lézeres gerjesztési mechanizmusok
- Lézeres fűtés, hőmérséklet eloszlás, felületi olvadás
- Reakció kinetika, transzport folyamatok, nukleációs mechanizmusok
- Párolgatás, plazmakeltés, vágás, fúrás, hegesztés, gravírozás
- Abláció, ablációs mechanizmusok, nanoszekundumos, femtoszekundumos abláció
- Maratás, fémek, félvezetők maratása száraz és nedves környezetben
- Kémiai gőzfázisú leválasztás, vékonyrétegek, mikrostruktúrák
- Lézeres direktírás, folyadékfázisú leválasztás, impulzuslézeres leválasztás
- Lézeres felületmódosítás, keményítés, átkristályosítás, tisztítás (félvezetők, festmények), dopolás, ötvözés, oxidáció, nitridáció
- A lézerekkel keltett folyamatok analízise, optikai-, tömeg- és Röntgen-spektroszkópiai módszerek, a plazmafelhő és a lökéshullámok nyomon követése időbontott módszerekkel

*Ajánlott irodalom:*

- D. Bauerle: Laser Processing and Chemistry, (Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2000)  
Milton Ohring: The Materials Science of Thin Films (Academic Press, San Diego, 2002)  
Donald L. Smith: Thin Film Deposition: Principles and Practice (McGraw-Hill, 1995)

### 3.4.11. Mágneses anyagtudomány (Kádár György)

- Alapvető fogalmak bevezető ismertetése:  $B$ ,  $H$ ,  $M$ ,  $\chi$ ,  $\mu$  mérési módszerek
- Dipólus tere, diamágnesség, paramágnesség, Bohr-van Leuwen tétel
- Atomi mágneses kölcsönhatás: a Coulomb-tér kvantummechanikai kicserélődési járuléka
- Atomi szintű mágneses szerkezetek, ferro-, ferri-, antiferromágnesség, spinűvegek, amorf mágnesek
- A mágneses neutronszórás elmélete
- Mágneses szerkezetvizsgálat neutrondiffrakcióval
- Egyéb kísérleti módszerek a mikroszkópi mágnesség vizsgálatára
- Ferro- és ferrimágneses anyagok makroszkópikus tulajdonságai, mágneses hiszterézis
- Mágneses domének, doménfalak, Landau-Lifsic-Gilbert egyenlet, mikromágneses számítások
- Stoner-Wohlfarth modell egydoménes szemcsékben, nanomágnesség
- Mágneses memóriák, gyűrű, dob, szalag, lemez, buborék
- Mágneses vékonyrétegek, rétegszerkezetek, mágneses ellenállásváltozás, GMR
- Lágy mágneses anyagok, kemény mágnesek, egyéb alkalmazások

*Ajánlott irodalom:*

- Simonyi Károly: Villamosságtan, 1973  
Kittel, Charles: Bevezetés a szilárdtestfizikába, 1974  
Schultz, J. M.: Az anyagvizsgálat diffrakciós módszerei, 1987  
Jiles, D.: Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, 1991  
Aharoni, A.: Introduction to the Theory of Ferromagnetism, 1996

### 3.4.12. Fotonikus kristályok (Kádár György)

- Alapvető fogalmak , hulláminterferencia, diffrakció
- Elektromágneses hullámok periodikus szerkezetben, elektronok a kristályban a Maxwell és a Schrödinger egyenletek analógiája
- Balsodrású, avagy metaanyagok elvi leírása
- Metaanyagokon végzett kísérletek, eredmények
- Fényhullámhossz periodicitású szerkezetek, avagy fotonikus kristályok
- Időtartománybeli véges differenciák (FDTD) módszere a Maxwell egyenletek megoldására
- Egy- és kétdimenziós fotonikus kristályok modellezése FDTD módszerrel
- A modellszámítások és kísérleti adatok összevetése
- Hibaszerkezetek a szabályos periodikusságban, modellezésük
- Szabályos és hibaszerkezetű fotonikus kristályok előállítás
- A fotonikus kristályok kísérleti és gyakorlati alkalmazási területei
- Irodalmi aktualitások az előadások idején
- Összefoglalás

*Ajánlott irodalom:*

Kazuaki Sakod: Optical Properties of Photonic Crystals (Springer, Berlin, 2001)

Dennis M. Sullivan: Electromagnetic Simulations Using the FDTD Method (IEEE Press, 2000)

S. G. Johnson, J. D. Joannopoulos: Photonic crystals, The road from theory to practice (Kluwer AP, 2002)

### 3.4.13. Lézerspektroszkópia (Sánta Imre)

- Hagyományos abszorpciós spektroszkópia lézerekkel
- Atom- és molekulásugarak
- Spektroszkópia nagy nyomáson és alacsony hőmérsékleten
- Lézer gerjesztésű fluoreszcencia spektroszkópia
- Optoakusztikus, optogalvanikus spektroszkópia
- LIDAR, izotóp szeparáció
- Az abszorpció telítődése („lyukégetés”, Lamb-lyuk)
- Nemlineáris Raman kölcsönhatások és koherens Raman szórások (CARS)
- Optikai nutáció, FID és foton echo
- Tranziens abszorpció
- Időbontott CARS, fázisrelaxáció
- Tranziens optikai Kerr-effektus

*Ajánlott irodalom:*

B.E.A. Saleh, M.C. Teich: Fundamentals of Photonics (Wiley-Interscience, 1991)

### 3.4.14. Elektronmikroszkópia (Pécz Béla)

- Az elektronmikroszkópia alapjai.
- Elektronmikroszkópia az anyagtudományban.
- Elektronsugár források, a képpalkotás elmélete, az elektromágneses lencsék hibái, a felbontás korlátai.
- Konvencionális elektronmikroszkópia, különböző kristályszerkezetek, diszlokációk és más kristályhibák, szemcsehatárok.
- Rácsfelbontású elektronmikroszkópia.
- Elektrondiffrakció.
- Az elektronsugár számára átlátszó minták készítése.

*Ajánlott irodalom:*

L. Reimer: Transmission Electron Microscopy (Springer Verlag, 1989)

P.E.J. Flewitt and R.K. Wild: Physical methods for materials characterisation (Institute of Physics, 2003)

D. B. Williams, C. B. Carter: Transmission Electron Microscopy - A Textbook for Materials Science (Plenum Press, New York 1996)

G. Radnóczy: A transzmissziós elektronmikroszkópia és elektrondiffrakció alapjai (Egyetemi Jegyzet, Debreceni Tudományegyetem, 1994)

### **3.4.15. Optoelektronika (Hartmann Ervin)**

- Fényátviteli alapfogalmak: interferencia, reflexió, abszorpció.
- A fényterjedés befolyásolása: Kerr-, Pockels-, Faraday-effektus.
- Akusztóoptika.
- Integrált optika: Hullámvezetők, csatolók. Becsatolási módszerek.
- Fényforrások. Világító diódák, félvezető lézerek tulajdonságai.
- Fénydetektorok és jellemzőik. Spektrális érzékenység, linearitás, zaj, megszólalási idő, kvantumhatásfok.
- Száloptika: egy- és többmódusú szálak, terjedő módusok, impulzusdiszperzió.
- Fényvezető szálak és kötegek típusai, kötése, jellemzői. A jellemzők mérése.
- Fénytávközlő rendszerek felépítése.
- PCM-technika, vonalillesztés.
- Távközlési átviteli jellemzők: csillapítás, zaj, diszperzió megengedhető mértéke.

*Ajánlott irodalom:*

B.E.A. Saleh, M.C. Teich: Fundamentals of Photonics (Wiley-Interscience, 1991)

A. Yariv: Quantum Electronics (John Wiley, New York, 1988)

R.G. Hunsperger: Integrated Optics: Theory and Technology (Springer Verlag, 1995)

K. Okamoto: Fundamentals of Optical Waveguides (Optics and Photonics Series) (Academic Press, 1995)

### **3.4.16. Félvezető eszközök technikája (Serényi Miklós)**

- Egykristály rúd és szelet előállítás. Minőségi paraméterek.
- Epitaxiás eljárások. VPE, LPE, MBE, MOCVD.
- Heteroátmenetek.
- Diffúzió.
- Ionimplantáció.
- Dielektrikum rétegek. Termikus oxid, CVD eljárások.
- Litográfias eljárások, marási és fémezési technikák.
- Kontaktusok. Ohmos és Schottky átmenetek létrehozása.
- Darabolás, szerelés, tokozás, minősítés.
- Integrált áramkörök elemei I. MOS.
- Integrált áramkörök elemei II. Bipoláris.
- Tervezési eljárások. ASIC.
- Nagyfrekvenciás eszközök és kvantumkészítők készítése, szerelése.
- Világító diódák és lézerek előállítása és szerelése.
- Fényérzékelők és napelemek készítésének szempontjai.
- Szenzorok és mikrogépészet.

*Ajánlott irodalom:*

Dr. Mojzes Imre (szerk.): Mikroelektronika és Elektronikai Technológia (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1995)