

A Pécsi Tudományegyetem Fizika Doktori Iskola  
Képzési Terve



Pécs, 2023.

# Tartalomjegyzék

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Tanulmányi követelmények a PTE TTK Fizika Doktori Iskolájában .....</b> | <b>2</b> |
| <b>2</b> | <b>A doktori iskola programjai és kutatási területei.....</b>              | <b>5</b> |
| 2.1      | Kvantumoptika és kvantuminformatika program.....                           | 5        |
| 2.2      | Lézerfizika, nemlineáris optika és spektroszkópia program .....            | 6        |
| 2.3      | Sokrészecskés rendszerek fizikája program .....                            | 6        |
| 2.4      | Tudóstanár képzés program.....   | 7        |
| <b>3</b> | <b>A doktori iskola tantárgyai.....</b>                                    | <b>8</b> |
| 3.1      | Kvantumoptika és kvantuminformatika program.....                           | 8        |
| 3.2      | Lézerfizika, nemlineáris optika és spektroszkópia program .....            | 13       |
| 3.3      | Sokrészecskés rendszerek fizikája program .....                            | 24       |
| 3.4      | Tudóstanár képzés program.....   | 24       |

# 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 összefoglalója olvasható alább:

- 1) A doktori képzés ideje 8 szemeszter.
- 2) A doktori képzés két lépcsőben valósul meg:
  - i) Az első egy 4 féléven keresztül tartó „képzési és kutatási szakasz”.
  - ii) A második egy szintén 4 féléves „kutatási és disszertációs szakasz”.
- 3) A doktori képzés során kötelezően megszerzendő kreditmennyiség a két képzési ciklusban összesen  $120+120=240$ .
- 4) A doktori képzésben különböző tevékenységi formák révén szerezhető kredit:
  - i) képzésben való részvétellel („tanulmányi kredit”),
  - ii) oktatással,
  - iii) kutatómunkával,
  - iv) szakirodalom feldolgozásával,
  - v) kutatási eredmények publikálásával,
  - vi) hallgató tevékenységeit összegző írásos beszámolóval.
- 5) A doktori képzésben kötelezően elvégzendő kurzusok:

| Kvantumoptika és kvantuminformatika                           | Lézerfizika, nemlineáris optika és spektroszkópia | Sokrészecskés rendszerek fizikája                                       | Tudóstanár képzés  |
|---|---|---|--|
| Tudományos cikkek feldolgozása és előadása<br>(Hebling János) |   |   |  |
| Kvantumoptika I.<br>(Bergou János, Ádám Péter)                | Optika (Hebling János)                            | Többrészecskés rendszerek fizikája (Gál Tamás)                          | A fizika tanítása I.<br>(klasszikus fizika)<br>(Pálfalvi László) |
| Kvantuminformatika I.<br>(Bergou János, Ádám Péter)           | Lézerfizika (Hebling János)                       | Matematikai módszerek a sokrészecskés rendszerek leírásában (Gál Tamás) | A fizika tanítása II.<br>(modern fizika)<br>(Pálfalvi László)    |

- 6) A komplex vizsga vizsgatárgyai:

|                        | Képzési program                     |   |   |                       |
|------------------------|-------------------------------------|---|---|-----------------------|
|                        | Kvantumoptika és kvantuminformatika | Lézerfizika, nemlineáris optika és spektroszkópia | Sokrészecskés rendszerek fizikája                           | Tudóstanár képzés     |
| <b>Vizsgatárgy I.</b>  | Kvantummechanika                    | Optika  | Többrészecskés rendszerek fizikája                          | A fizika tanítása I.  |
| <b>Vizsgatárgy II.</b> | Kvantuminformatika                  | Lézerfizika                                       | Matematikai módszerek a sokrészecskés rendszerek leírásában | A fizika tanítása II. |

- 7) Az egyes tevékenységi formákkal szerezhető kreditekre vonatkozó előírások:  
 i) Az 1-4. félévben:  
 Összes megszerzendő kredit: 120

|  | Kreditszám |         | Megjegyzés  | Igazolás módja  |
|--|------------|---------|---|---|
|  | Minimum    | Maximum |   |   |
| <b>Tanulmány</b>                           | 30         | 48      | A témavezető javaslata alapján teljesített kurzusok esetében, heti 1 tanóra egy szemeszterben 2 kreditet ér. Kreditek a témavezető javaslata alapján, a programvezető egyetértésével más programban, vagy egyetemen szervezett kurzusok áthallgatásával is teljesíthetők. | A tárgy teljesítését a kurzus vezetője igazolja.                        |
| <b>Oktatás</b>                             | 8          | 32      | Heti 1 tanóra egy szemeszterben 2 kreditet ér   | Az oktatási tevékenységet a Fizikai Intézet oktatási felelőse igazolja. |
| <b>Szakirodalom feldolgozás</b>            | 0          | 24      | A feldolgozandó szakirodalmat a témavezető jelöli ki. Szemeszterenként 0, 2, 4, vagy 6 kredit adható.   | Témavezető igazolja.  |
| <b>Kutatás</b>                             | 6          | 32      | Szemeszterenként 0, 2, 4, 6, vagy 8 kredit.   | Témavezető igazolja.  |
| <b>Első két szemesztert záró beszámoló</b> | 3          | 12      | A prezentációért vagy az írásos beszámolóért, amely legfeljebb 15 oldalban összegezi a doktorandusz addigi tevékenységét. 3, 6, 9, vagy 12 kredit adható a témavezető javaslata alapján.  | Témavezető igazolja.  |

ii) Az 5-8. félévben:

Összes megszerzendő kredit: 120

|                                 | Kreditszám |         | Megjegyzés   | Igazolás módja   |
|---------------------------------|------------|---------|--|--|
|                                 | Minimum    | Maximum |  |  |
| <b>Tanulmány</b>                | 0          | 16      | A témavezető javaslata alapján teljesített kurzusok esetében, heti 1 tanóra egy szemeszterben 2 kreditet ér. Kreditek a témavezető javaslata alapján, a programvezető egyetértésével más programban, vagy egyetemen szervezett kurzusok áthallgatásával is teljesíthetők.                    | A tárgy teljesítését a kurzus vezetője igazolja.                                       |
| <b>Oktatás</b>                  | 0          | 24      | Heti 1 tanóra egy szemeszterben 2 kreditet ér  | Az oktatási tevékenységet a Fizikai Intézet oktatási felelőse igazolja.                |
| <b>Szakirodalom feldolgozás</b> | 0          | 12      | A feldolgozandó szakirodalmat a témavezető jelöli ki. Szemeszterenként 0, 2, 4, vagy 6 kredit adható.  | Témavezető igazolja.   |
| <b>Kutatás</b>                  | 0          | 16      | Szemeszterenként 0, 2, 4, 6, vagy 8 kredit.  | Témavezető igazolja.   |
| <b>Publikáció</b>               | 72         | 96      | Nemzetközi referált folyóiratban megjelent publikációra maximum 30, nemzetközi konferencián bemutatott előadásra maximum 20, poszterre maximum 15, egyéb publikációra maximum 10 kredit adható, amelyet a publikáció elfogadásától számított bármely szemeszterben érvényesíthet a hallgató. | A teljesítést a témavezető javaslata alapján a programvezető szemeszterenként igazolja |

## 2 A doktori iskola 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. A Fizika Doktori Iskola Tanácsának (FizDIT) feladata a témakiírások minőségének ellenőrzése, fejlesztése és bővítése.

### 2.1 Kvantumoptika és kvantuminformatika program

**Vezetője:** *Prof. Bergou János*, egyetemi tanár

#### 2.1.1 Kvantumoptika

- Kvantumtrajektória-módszerek alkalmazása kvantumoptikai rendszerek leírására.
- Koherens kontroll atomi rendszerekben.
- Kvantum rendszerek koherens kontrolja és manipulációja fázismodulált lézer impulzusokkal.
- Fény lassítása frekvencia-modulált lézerimpulzusok segítségével: Alkalmazások a kvantuminformatikában és a rezonáns nemlineáris optikában
- Ultrahideg atomgázok kollektív optikai gerjesztései
- Fény és kötött állapotú ionok közötti kölcsönhatás vizsgálata
- 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.

#### 2.1.2 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, nemlokális, Bell egyenlőtlenségek, interpretációk.
- Erősen korrelált elektronrendszerek két dimenzióban
- Frakcionális kvantum Hall effektus
- Dekohérált kvantumrendszerek felhasználása kvantuminformatikai eljárásokban
- A nemklasszikus fény gyakorlati alkalmazásai
- Kvantum csatornák hibamentes kapacitásainak vizsgálata

## 2.2 Lézerfizika, nemlineáris optika és spektroszkópia program

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

- Molekuladinamikai vizsgálatok időbontásos spektroszkópai 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.
- Tranziens dinamika félvezetőkben terahertzes impulzusok hatására
- Pumpa-próba mérések terahertzes impulzusokkal
- Grafén fizikai tulajdonságai
- Nemlineáris fotonikus kristályok vizsgálata.
- Ritkaföldfémekkel adalékolt optikai kristályok nagyfelbontású spektroszkópiája
- Átfordított polarizációjú LiNbO<sub>3</sub> kristályokon alapuló optikai és opto-elektronikai eszközök fejlesztése.
- Ultrarövid impulzusú OPO-k és OPA-k fejlesztése.
- Intenzív elektromágneses terek töltött részecskékkel való kölcsönhatásának modellezése PIC módszerekkel
- 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.
- Kapilláris z-pinch lágyröntgen-lézerek kísérleti és elméleti vizsgálata.
- Kapilláris z-pinch optikai hullámvezetők kísérleti és elméleti vizsgálata.
- Nemlineáris optika lágyröntgen-lézerrel.
- Az aeroszolkok lézeres mérés technikája: részecskeméret és koncentráció meghatározás.
- Aeroszolkok biológiai hatásának vizsgálata
- Energia-átadás és fluoreszcencia kioltás kavítandok gazda-vengég komplexeiben
- Felületminősítés interferometrikus módszerekkel.
- Részecskeszámlálók modellezése és tervezése.
- Lézeres módszerek alkalmazása a légköri paraméterek meghatározásában.

## 2.3 Sokrészecskés rendszerek fizikája program

**Vezetője:** *dr. habil. Gál Tamás*, egyetemi docens

- A Heisenberg-modell mint kvantumtérelmélet.
- Fúziós szabályok és a pentagon egyenlet.
- Mezonok és barionok tulajdonságai a nukleáris közegben.
- Egzotikus hadronok spektroszkópiája.
- Topológikus gerjesztések a QCD-ben.
- Alacsony nyomású gázkisülések kísérleti vizsgálata.
- Alacsony nyomású gázkisülések modellezési módszereinek fejlesztése.
- Elektronkinetika részecskealapú szimulációja
- 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 előállítása és mikroszkópiája.

## 2.4 Tudóstanár képzés program

**Vezetője:** *Prof. Pálfalvi László*, egyetemi tanár

- Oktatóvideók a fizika oktatásban
- Kompetencia-orientált tudásfelmérés a középiskolai fizika oktatásban
- Mikrokontroller a fizika oktatásban
- Szimulációk alkalmazása az elektromosságtan témakörben a kísérletek előkészítésére
- Elektromágneses terek, rádiófrekvenciás hullámok a középiskolai fizikaoktatásban
- Tudománynépszerűsítés módszerei és hatásai a természettudományos oktatásban
- Környezetfizika a fizikaoktatásban
- Mérési eredmények értelmezése, méréseken alapuló döntések. A valószínűségszámítás és a statisztika alapjainak felhasználása a középiskolai fizika oktatásban
- Nem tantárgyspecifikus kognitív képességek szerepe és fejlesztése az egyetemi (és középiskolai) fizika oktatásban
- Analógiák a fizikában
- Tehetséggondozás és fizikaversenyek
- Haladó fizikai és matematikai ismeretek szintézise versenyfeladatokban
- Szélsőérték problémák fizika feladatokban
- Komplex, válogatott (közoktatási vonatkozású) problémakörök a klasszikus fizika területéről
- Golyómodell újratöltve: Számítógépes molekulamodellezés
- Elvetett próbálkozások a fizika történetében
- A fizika alakulása, mint véletlenek és szükségszerűségek összjátéka



### 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 szabályzata szerint a doktoranduszok „a témavezető javaslata alapján más programban, vagy egyetemen szervezett kurzusok áthallgatásával is” szerezhethetnek tanulmányi kreditet.

#### 3.1 Kvantumoptika és kvantuminformatika program

##### 3.1.1 Kvantumoptika I. (Ádám Péter)

- 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. (Ádám Péter)

- 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, and E. Wolf: "Optical Coherence and Quantum Optics" (Cambridge University Press, 1995)  
S. M. Barnett, and 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 Kvantumoptikai kísérletek (Kiss Tamás)

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

*Ajánlott irodalom:*

Hans-A. Bachor, and T. C. Ralph: "A Guide to Experiments in Quantum Optics"

### 3.1.4 Kvantuminformatika I: Elmélet (Ádám Péter)

- Klasszikus és kvantum információelmélet (Shannon és Neumann entrópia, csatornkapacitás)
- 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. Többrészes 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)

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

- Az általános kvantumszámítógép modelljei, kvantumszimulációk
- Dekoherencia, a kvantumszámítógép működésének feltételei, "fault tolerant quantum computing"
- Ioncsapda-quantumszámítógép
- 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, and I. L. Chuang: "Quantum Computation and Quantum Information" (Cambridge University Press, 2000)

### 3.1.6 Számítási módszerek a kvantuminformatikában (Koniorczyk Mátyás)

- Kvantumbitek, kvantumditek tiszta és kevert állapotai
- Unitér időfejlődés, projektív mérés
- Többrészes kvantumrendszerek: tenzorszorzat, részleges nyom
- Általános kvantummechanikai időfejlődés: CP leképezések, POVM mérések
- Schmidt-felbontás, összefonódottság, EPR, GHZ, W állapotok
- Kötétt összefonódottság, PPT, NPT állapotok
- Kvantummechanikai entrópiák
- Kétrészes összefonódottság, konkurrencia
- Az összefonódottság monogámiája, tangle, CKW egyenlőtlenségek
- Lokalizálható összefonódottság, cluster állapotok

*Ajánlott irodalom:*

John Preskill: "Lecture notes for Physics 229: Quantum information and computation" (California Institute of Technology, 1998)

Michal Horodecki, Pawel Horodecki, and Ryszard Horodecki: "Mixed state entanglement and quantum communication" (Quantum Information: An Introduction to Basic Theoretical Concepts and Experiments, Springer-Verlag, 2001)

M. Hein, W. Dür, J. Eisert, R. Raussendorf, M. Van den Nest, and H.-J. Briegel: "Entanglement in Graph States and its Applications" (<https://arxiv.org/abs/quant-ph/0602096>)

### 3.1.7 Kvantummechanikai paradoxonok (Koniorczyk Mátyás)

- 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, and I. Jex: "Introduction to Quantum Optics : From Light Quanta to Quantum Teleportation"

### 3.1.8 A kvantumelektrodinamika alapjai (Varró Sándor)

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

*Ajánlott irodalom:*

P. W. Milonni: "The Quantum Vacuum: An Introduction to Quantum Electrodynamics"

C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, and G. Grynberg: "Photons and Atoms - Introduction to Quantum Electrodynamics" (Wiley, New York 1989)

### 3.1.9 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

### 3.1.10 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)

### 3.1.11 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 lézer mechanikai hatása álló atomra: sugárzási nyomás és dipólerő
- A sugárzási tér munkája, energiamérleg
- Az elektromágneses tér fluktuációja, diffúzió az atomi mozgásban
- A lézer mechanikai hatása mozgó atomra, Doppler-hűtés
- Optikai melasz, Langevin-egyenletek bevezetése és a hőmérséklet fogalma
- A lézer mechanikai hatása soknívós atomokra
- Magnetooptikai csapda
- Polarizációgradiens-hűtés, Sziszifusz-effektus
- Atomok kvantált mozgása, sebességszelektív populációcsapdázás
- Csapdázott atomok hűtése oldalsávgerjesztéssel

*Ajánlott irodalom:*

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

C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, and G. Grynberg: "Photons and Atoms - Introduction to Quantum Electrodynamics" (Wiley, New York 1989)

### 3.1.12 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, and H. Smith: "Bose-Einstein Condensation in Dilute Gases" (Cambridge University Press, 2002)

L. P. Pitaevskii, S. Stringari, and L. Pitaevskii: "Bose-Einstein Condensation" (Oxford University Press, 2003)

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

### 3.1.13 Koherens kontroll (Kiss Zsolt)

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

*Ajánlott irodalom:*

R. Loudon: "The Quantum Theory of Light" (Oxford University Press, 2000)

C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, and G. Grynberg: "Photons and Atoms - Introduction to Quantum Electrodynamics" (Wiley, New York 1989)

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

P. W. Brumer, and M. Shapiro: "Principles of the Quantum Control of Molecular Processes" (Wiley, 2003)

### 3.1.14 Rövid lézerimpulzusok koherens kölcsönhatása rezonáns atomokkal (Dzsotjan Gagik)

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

*Ajánlott irodalom:*

C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, and G. Grynberg: "Photons and Atoms - Introduction to Quantum Electrodynamics" (Wiley, New York 1989)

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

## 3.2 Lézerfizika, nemlineáris optika és spektroszkópia program

### 3.2.1 Fluoreszcencia spektroszkópia (Eróstyák 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., és 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, and J. C. Brochon (eds.): "New Trends in Fluorescence Spectroscopy. Applications to Chemical and Life Sciences." (Springer, Berlin, 2001)

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

- A fényterjedés leírása a mátrixoptika segítségével
- Diffrakció, 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

*Ajánlott irodalom:*

R. L. Sutherland: "Handbook of Nonlinear Optics" (New York: Marcel Dekker, 1996)

M. G. Kuzyk, and C. W. Dirk: "Characterisation Techniques and Tabulations for Organic Nonlinear Materials" (Marcel Dekker, p. 655-692, 1998)

R. Guenther: "Modern Optics" (John Wiley and Sons, 1990)

### 3.2.3 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, and J. H. Eberly: "Lasers" (John Wiley, 1988)

M. Sargent, M. O. Scully, and W. E. Lamb: "Laser physics" (Addison-Wesley Pub. Co., Advanced Book Program, 1974)

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

### **3.2.4 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, szinkronpumpálás)
- Speciális rezonátorok, asztigmia kompenzáció
- Kerr-lencsés módusszinkronizáció modellezése
- Ultrarövid impulzusú fényvezetőszál lézerek

*Ajánlott irodalom:*

W. Kaiser: Ultrashort Laser Pulses and Applications (Topics in Applied Physics, 1988)

J. C. Diels, and W. Rudolph: Ultrashort laser pulse phenomena, 2nd Edition (Academic Press, 2006)

### **3.2.5 Röntgenlézerek (Kuhlevszkij Szergej)**

- Alap fizikai folyamatok a lézerekben
- Lézererősítő tényező
- Sokszorosán ionizált ion, mint lézeraktív anyag
- Ionizáció és rekombináció plazmában
- Energiaszintek ionokban és ezek populációinverziója
- A plazma magnetohidrodinamikai leírása
- Rekombináció-pumpálású lézersémák
- Alkalmazások

*Ajánlott irodalom:*

R. C. Elton: "X-Ray Lasers" (Academic Press, San Diego, 1990)

J. A. R. Samson, and D. L. Ederer (eds.): "Vacuum Ultraviolet Spectroscopy" (Academic Press, New York, 1998)

D. Attwood: "Soft X-Rays and Extreme Ultraviolet Radiation" (Cambridge University Press, 2000)

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

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

*Ajánlott irodalom:*

P. W. Boyd: Nonlinear optics (Academic Press, 1992)

R. L. Sutherland: Handbook of nonlinear optics (New York: Marcel Dekker, 2003)

### **3.2.7 Optikai spektroszkópiai eszközök (Hebling János)**

- A spektrum fogalma
- Szögdiszperzióval rendelkező eszközök általános leírása, felépítése és értékmérőik

- Fabry-Perot interferométerek
- Fourier-transzformációs spektrométerek
- Kristályoptikai eszközök (polarizátorok,  $\lambda/2$ ,  $\lambda/4$  lemezek)
- Detektor típusok
- Detektorok jellemzői

*Ajánlott irodalom:*

F. A. Jenkins, and H. E White: "Fundamentals of optics" (McGraw-Hill, 1957)

W. Demtröder: "Laser Spectroscopy: Basic Concepts and Instrumentation" (Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1981)

Ábrahám György: "Optika" (Panem Kft., 1997)P. W. Boyd: Nonlinear optics (Academic Press, 1992)

R. L. Sutherland: Handbook of nonlinear optics (New York: Marcel Dekker, 2003)

### **3.2.8 Nemlineáris optikai kristályok infravörös és Raman spektroszkópiája (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" (Academic Press, London and New York, 1972)

K. Nakamoto: "Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds" (Wiley, 1963)

B. C. Smith: "Fundamentals of Fourier transform infrared spectroscopy" (CRC Press, Boca Raton, FL, 1996)

D. C. Harris, and M. D. Bertolucci: "Symmetry and spectroscopy: an introduction to vibrational and electronic spectroscopy" (New York: Oxford University Press, 1978)



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

- D. C. Harris, and M. D. Bertolucci: "Symmetry and spectroscopy: an introduction to vibrational and electronic spectroscopy" (New York: Oxford University Press, 1978)
- Elektron- és magrezonancia kombinációja (ENDOR és ENDOR indukált ESR), optikailag detektált ESR és ENDOR
- Spin-relaxációs Elektronspin rezonancia (ESR) és magrezonancia (NMR) spektroszkópia alapjai
- effektusok
- Alkalmazások szilárdtestek ponthibáira, 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, and R. H. Bartram: "Structural Analysis of Point Defects in Solids" (Springer, Berlin Heidelberg, 1992)
- H. Kuzmany: "Solid-state spectroscopy, an introduction" (Springer, Berlin Heidelberg, 1998)

### 3.2.10 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, spektroszkópiai 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)

### 3.2.11 Optikai mérés technika (Czitrovsky 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 két detektoros 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)

### 3.2.12 Mikrovezérlők gépi programozása (Almási Gábor)

- Mikrovezérlők architektúráis sajátosságai: von Neuman vs. Harvard architektúra
- Mikrovezérlők kommunikációs perifériái
- Interface az analóg és digitális világ között: analóg perifériális komponensek
- Programozás CISC és RISC utasításkészletű processzorok esetén
- A gépi utasításkészletek szerkezete I (értékkadás, címzés módok, adatmozgatás)
- A gépi utasításkészletek szerkezete II (logikai, aritmetikai műveletek)
- A gépi utasításkészletek szerkezete III (vezérlés átadás, feltételes utasítások, megszakításkezelés)
- A megszakításvezérlés megoldási lehetőségei
- Speciális Funkciójú Regiszterek (SFRs)
- Eseményvezérelt programok fejlesztése
- A félvezető alapú tárolás mikrovezérlőkben (ROM, EPROM, EEPROM, Flash memória)
- Tárbovítási lehetőségek
- Mikrovezérlők programozása magas szintű nyelvek alkalmazásával
- TASKING 8051 - egy teljes fejlesztő rendszer bemutatása
- IAR - Végesállapotú automaták tervezése és megvalósítása

*Ajánlott irodalom:*

### 3.2.13 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)

### **3.2.14 Lézerindukált 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:*

J. Nölte: "ICP Emission Spectrometry: A Practical Guide" (Wiley-VCH, 2003)

### **3.2.15 Anyagvizsgálati módszerek (Jani Péter)**

- Mikroszkópia: fénymikroszkópia, elektronmikroszkópia, pásztázószondás mikroszkópiák
- Diffrakciós módszerek, XRD, Röntgen-fotoelektron 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:*

D. Brune et al: "Surface Characterization: a users handbook" (John Wiley, 1996)

C. R. Brundle: "Encyclopedia of Materials Characterisation" (Manning Publ. Co., 1992)

### **3.2.16 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 génebészetben
- Biokompatibilis anyagok előállítása
- Diagnosztikai módszerek: képalkotás tomográfiával, kétfoton-mikroszkópia

*Ajánlott irodalom:*

M. 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) C. R. Brundle: "Encyclopedia of Materials Characterisation" (Manning Publ. Co., 1992)

### 3.2.17 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:*

M. 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)

J. A. Mahan: "Physical Vapor Deposition of Thin Films" (Wiley-Interscience, 2000)

### 3.2.18 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
- Párologtatás, plazmakeltés, vágás, fűrés, 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)

M. Ohring: "The Materials Science of Thin Films" (Academic Press, San Diego, 2002)

D. L. Smith: "Thin Film Deposition: Principles and Practice" (McGraw-Hill, 1995)

### 3.2.19 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, and C. B. Carter: "Transmission Electron Microscopy - A Textbook for Materials Science" (Plenum Press, New York 1996)

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

### 3.2.20 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)

### 3.2.21 Optoelektronika (Hartmann Ervin)

- Fényátviteli alapfogalmak: interferencia, reflexió, abszorpció
- A fényterjedés befolyásolása: Kerr-, Pockels-, Faraday-effektus
- Akusztooptika
- 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, and 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)

### 3.2.22 Optomechanika, optoelektronika (Sánta Imre)

- Optikai tartók, sínek, asztalok, felépítmények: lovas, mágnestalp, rudazat;
- Tükörtartók, beállítók ( Gimbal, 3 pontos, rugólemezes), forgatók
- Lineáris eltolók (prizmás, golyósoros, görgős, rugólemezes), teherbírás;
- Motoros hajtás (orsó, hiszterézis, DC, AC szervó, léptetőmotor, microstep, vezérlők)
- Piezo aktuátorok (lineáris, inch-worm, )
- Kódlécek, kódtárcsák, pozíció szabályozás (PID)
- Pozíció vezérlés mikrovezérlővel, PC-vel, elosztott intelligencia
- Fényforrások: izzólámpa, fluoreszcens lámpák, LED, félvezető lézerek.
- Fénydetektorok és jellemzőik. spektrális érzékenység, linearitás, zaj, kvantumhatásfok.
- Jelfeldolgozás, szelektív erősítés (BOXCAR, lock-in, fotonszámlálás, TCSPC)
- Fényátviteli alapfogalmak: reflexió, abszorpció, szórás, interferencia.
- A fényterjedés befolyásolása: Kerr-, Pockels-, Faraday-effektus, akusztóoptika.
- Integrált optika: hullámvezetők, csatolók, becsatolási módszerek.
- Száloptika: egy- és többmódusú szálak, kötegek, terjedő módusok, impulzusdiszperzió, a jellemzők mérése.
- Fénytávközlő rendszerek felépítése, távközlési átviteli jellemzők: csillapítás, zaj, diszperzió, PCM-technika, vonalillesztés.

#### *Ajánlott irodalom:*

B.E.A. Saleh, M.C. Teich: Fundamentals of Photonics (Wiley-Interscience, 1991)  
 Sánta Imre: Optoelektronika, TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1 MSc, SZTE, Szeged, 2014.  
[www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011\\_0025.../2011\\_0025\\_fiz\\_8.pdf](http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011_0025.../2011_0025_fiz_8.pdf)  
 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)"

### 3.2.23 Femtoszekundumos és nemlineáris optika (Tóth György)

- Áttekintés a tárgyról. Ultrarövid impulzusok leírása.
- Ultrarövid impulzusok terjedése diszperzív közegben, Gauss impulzusok terjedése.
- Optikai elemek diszperziós tulajdonságai (dielektrikumok, gázok, optikai szálak, interferometrikus struktúrák diszperziója: Fabry-Perot, Gires-Tournois interferométer, csörpölt tükrök)
- Optikai elemek diszperziós tulajdonságai (rés, prizma, rács, impulzuskompresszorok, lencsék). A fény terjedése anizotróp közegben
- Szögdiszperzió és hatásai: impulzusfrontdőlés, térbeli csörp
- Nemlineáris hullámegyenlet. Összeg- és különbségfrekvencia keltés.
- Másodharmonikus generálás. Fázisillesztés. Kvázi fázisillesztés.
- Parametrikus erősítés. Optikai parametrikus erősítő és oszcillátor.
- Nemlineáris törésmutató: önfázis moduláció, önfókuszálás. Nemlineáris törésmutató mérése z-scan módszerrel.
- Ultrarövid impulzusok mérése: autokorreláció, FROG, GRENOUILLE, SPIDER.
- Nemlineáris optikai folyamatok modellezése.

#### *Ajánlott irodalom:*

Jean-Claude Diels: Ultrashort Laser Pulse Phenomena, Academic Press, 2006.  
 Robert W. Boyd: Nonlinear Optics, Academic Press, 2003.

B. E. Saleh, M. C. Teich: Fundamentals of Photonics. Wiley&Sons, 1991.  
R. D. Guenther, Modern Optics, Wiley&Sons, 1990  
R. Trebino: Frequency-Resolved Optical Gating: The Measurement of Ultrashort Laser Pulses,

### 3.2.24 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 kvantum eszközök 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)

### 3.2.25 Fotonikus kristályok (Kádár György)

- Alapvető fogalmak , hulláminterferencia, diffrakció
- Elektromágneses hullámok periodikus szerkezetben, elektronok a kristályban a Maxwell és a Schrödinger egyenletek analógiája
- 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 előállítása
- A fotonikus kristályok kísérleti és gyakorlati alkalmazási területei
- Irodalmi aktualitások az előadások idején
- Összefoglalás

*Ajánlott irodalom:*

K. Sakod: "Optical Properties of Photonic Crystals" (Springer, Berlin, 2001)

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

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

### 3.2.26 Mágneses anyagtudomány (Kádár György)

Alapvető fogalmak bevezető ismertetése: B, H, M, khi, mű 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 neutronszerkezet elmélete

Mágneses szerkezetvizsgálat neutrondiffrakcióval

Egyéb kísérleti módszerek a mikroszkópiai mágnesség vizsgálatára

Ferro- és ferrimágneses anyagok makroszkopikus tulajdonságai, mágneses hiszterézis

Mágneses domének, doménfalak, Landau-Lifshic-Gilbert egyenlet, mikromágneses számítások

Stoner-Wohlfarth modell egydoménes szemcsékben, nanomágnesség

Mágneses memóriák, gyűrű, dob, szalag, lemez, buborék

Mágneses vékonyrétegek, rétegszerkezetek, mágneses ellenállás-változás, GMR

Lágy mágneses anyagok, kemény mágnesek, egyéb alkalmazások

#### *Ajánlott irodalom:*

Simonyi Károly: "Villamosságtan" (Akadémiai Kiadó, Budapest, 1973)

C. Kittel: "Bevezetés a szilárdtestfizikába" (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981)

J. M. Schultz: "Az anyagvizsgálat diffrakciós módszerei" (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987)

D. Jiles: "Introduction to Magnetism and Magnetic Materials" (CRC Press, 1991)

A. Aharoni: "Introduction to the Theory of Ferromagnetism" (Clarendon Press, 2000)



### **3.3 Sokrészecskés rendszerek fizikája program**

#### **3.3.1 Többrészecskés rendszerek fizikája (Gál Tamás)**

#### **3.3.2 Matematikai módszerek a sokrészecskés rendszerek leírásában (Gál Tamás)**

#### **3.3.3 Tenzorok es differencialformak (Alice Fialowski)**

- Tenzoralgebra, Grassman algebra.
- Az inverz lekepezes altalanositasai.
- Sokasagok, parametrizalas.
- Parameterezett sokasag terfogata.
- Sokasagon értelmezett skalarfüggvény integrálása.
- Vektormezok sokasagon, muveletek vektormezokkal.
- Integralas sokasagon.

*Ajánlott irodalom:*

Munkres: Analysis on Manifolds

Spivak: Calculus on Manifolds

Guillemin: MIT Lecture Notes, 2008.

#### **3.3.4 Szoboljev terek es parciais differencialegyenletek (Komornik Vilmos)**

- Hilbert terek, meroleges vetites, Riesz-Frechet tetel, teljesen folytonos, szimmetrikus operatorok spektraltetele
- Szoboljev terek, Gauss-Osztrogradszkij es Green formulai, nyomtetelek Elliptikus peremertek-problemak: Dirichlet- es Neumann-feladat a Laplace operatorra
- A Laplace-operator spektraltetele
- A hovezetesi egyenlet es altalanosabb parabolikus evolucios egyenletek megoldasa a Fourier-modszerrel; irreverzibilitas, vegtelen terjedesi sebesseg es maximum-elv
- A hullamegyenlet es altalanosabb hiperbolikus evolucios egyenletek megoldasa a Fourier-modszerrel; reverzibilitas, energia-megmaradas, veges terjedesi sebesseg

*Ajánlott irodalom:*

H. Brezis: Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations, Springer, 2011

V. Komornik: Lectures on Functional Analysis and the Lebesgue Integral, Springer, 2017

Besenyei Ádám, Komornik Vilmos, Simon László, Parciális differenciálegyenletek, ELTE, TypoTeX, 2013

### **3.4 Tudóstanár képzés program**

#### **3.4.1 A fizika tanítása I. (klasszikus fizika)**

#### **3.4.2 A fizika tanítása II. (modern fizika)**

#### **3.4.3 A fizika fogalom és törvényrendszere**

#### **3.4.4 Válogatott fejezetek a klasszikus fizikából**

#### **3.4.5 Válogatott fejezetek a modern fizikából**

#### **3.4.6 A feladatmegoldás módszertana**

#### **3.4.7 A fizika szintézise**

**3.4.8 A fizika és a természettudományok kapcsolata**

**3.4.9 Fizikai alkalmazások és kutatások**

**3.4.10 E-Learning a fizika oktatásban**

**3.4.11 Elektronika a demonstrációs- és mérőkísérletekben**