

A Pécsi Tudományegyetem Fizika Doktori Iskola  
Képzési Terve



Pécs, 2022.

# 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.....	25

# 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 (Hebling János)			
Kvantumoptika I. (Bergou János, Ádám Péter)	Optika (Hebling János)	Többrészecskés rendszerek fizikája (Gál Tamás)	A fizika tanítása I. (klasszikus fizika) (Pálfalvi László)
Kvantuminformatika I. (Bergou János, Ádám Péter)	Lézerfizika (Hebling János)	Matematikai módszerek a sokrészecskés rendszerek leírásában (Gál Tamás)	A fizika tanítása II. (modern fizika) (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 kavitandok 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 elektromosságban 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” szerezhetnek 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
- Kötött 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
- 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

*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, kettőstörésen 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, 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)

### 3.2.11 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)
- Tárbovítési 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
- Diffrakációs 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 génszövetben
- 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
- Elektron diffrakció
- 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 elektron diffrakció 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 előállítása. Minőségi paraméterek
- Epitaxiás eljárások. VPE, LPE, MBE, MOCVD
- Heteroátmenetek
- Diffúzió
- Ionimplantáció
- Dielektrikum rétegek. Termikus oxid, CVD eljárások
- Litográfias eljárások, marási és fémzési 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 ismételése: 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-Lifsic-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 integralasa.
- 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) (Pálfalvi László)

- A fizika tanításának cél- és eszközrendszere
- A fizika tanításának intézményi keretei
- A NAT
- Modell és absztrakció a klasszikus fizika tanítása során
- A klasszikus fizika főbb fejezeteinek tanítása (mechanika, hőtan, elektromágnesség, optika)
- A nehezen tanítható anyagrészek diszkussziója (pl. hőtan 2. főtétele, entrópia, elektromágneses indukció, hullámmozgás)
- Demonstrációs és tanulókísérletek a fizika tanítása során
- A számítógép szerepe mérésekben, szimulációkban, ismeretszerzésben

##### *Ajánlott irodalom:*

Juhász András, Tasnádi Péter, Jenei Péter, Illy Judit, Wiener Csilla, Főzy István, A fizika tanítása a középiskolában I. (mechanika I., hőtan ) az ELTE Fizika DI jegyzete

Juhász András, Tasnádi Péter, Wiener Csilla, Gócz Éva, A fizika tanítása a középiskolában II. (mechanika II., elektromágnesség ) az ELTE Fizika DI jegyzete

#### 3.4.2 A fizika tanítása II. (modern fizika) (Pálfalvi László)

- A modern fizika főbb fejezeteinek tanítása (a statisztikus fizika, az atommagfizika, a héjfizika, a kvantummechanika, a szilárdtestfizika és anyagtudomány, valamint a csillagászat és asztrofizika elemei)
- A nehezen tanítható anyagrészek diszkussziója (pl. statisztikus entrópia, hidrogén atom, molekulák, spin)
- Modell és absztrakció a modern fizika tanítása során
- Mérési módszerek
- A modern fizika úttörői, jelentős alakjai, hazai vonatkozások
- A modern fizika szerepe világképünk formálásában
- A számítógép szerepe mérésekben, szimulációkban, ismeretszerzésben

##### *Ajánlott irodalom:*

Juhász András, Tasnádi Péter, Wiener Csilla, Gócz Éva, A fizika tanítása a középiskolában III. (modern fizika ) az ELTE Fizika DI jegyzete

#### 3.4.3 A fizika fogalom és törvényrendszere (Pálfalvi László)

- Hétköznapi fogalmakból fizikai fogalmak, definíciók
- A fizikai fogalmak alakulása az iskolázottsággal
- Axiómák, axiómarendszerek, posztulátumok, törvények, tételek
- Elvek a fizikában
- Induktív és deduktív szemlélet

##### *Ajánlott irodalom:*

Juhász András, Tasnádi Péter, Jenei Péter, Illy Judit, Wiener Csilla, Főzy István, A fizika tanítása a középiskolában I. (mechanika I., hőtan ) az ELTE Fizika DI jegyzete

Juhász András, Tasnádi Péter, Wiener Csilla, Gócz Éva, A fizika tanítása a középiskolában II. (mechanika II., elektromágnesség ) az ELTE Fizika DI jegyzete

Juhász András, Tasnádi Péter, Wiener Csilla, Gócz Éva, A fizika tanítása a középiskolában III. (modern fizika ) az ELTE Fizika DI jegyzete

### 3.4.4 Válogatott fejezetek a klasszikus fizikából (Pálfalvi László)

- A bolygómozgásról
- Az adiabatikus kettős inga
- A változó tömegű rendszerek mechanikája
- Adiabatikus és politróp folyamatok
- Elméleti háttér Eötvös híres kísérleteihez
- Reciprocitási összefüggések a klasszikus fizikában
- A rejtett impulzus

#### *Ajánlott irodalom:*

Horváthy P.: A bolygómozgásról egy régi versenyfeladat kapcsán, Fizikai Szemle 2003/11  
Horváthy P.: A bolygómozgás és geometria I., Fizikai Szemle 2005/2  
Horváthy P.: A bolygómozgás és geometria II., Fizikai Szemle 2005/8  
Pálfalvi L.: A 2004. évi Eötvös-verseny feladata: a Kepler-probléma mágneses térben, Fizikai Szemle 2005/2  
Pálfalvi L.: Ismét földközélen a Mars, Fizikai Szemle 2005/9 Cserti J., Dávid Gy.: Az Eötvös-inga képletei, Fizikai Szemle 2019/7-8  
Groma I.: Az Eötvös-mérleg, Fizikai Szemle 2019/12  
Pálfalvi L.-Kovács V.: A  $pV \kappa = \text{állandó}$  törvény alkalmazhatóságáról egy versenyfeladat tükrében, Fizikai Szemle 2021/11  
Siposs A.: A gázok politropikus állapotváltozásairól, Fizikai Szemle 2022/1-2  
Pálfalvi L.-Kovács V.: A Green-féle reciprocitási tétel I, Fizikai Szemle 2021/7-8  
Pálfalvi L.-Kovács V.: A Green-féle reciprocitási tétel II, Fizikai Szemle 2021/9  
Gnadig P.: Lehet-e impulzusa valaminek, ami nem mozog?, Fizikai Szemle 2022/1-2

### 3.4.5 Válogatott fejezetek a modern fizikából (Gál Tamás)

- Szuperszimmetriák
- Húrelmélet
- Szuperfolyékonyság
- Kvantum-Hall (tört-Hall) effektus
- Magas hőmérsékletű szupravezetés

#### *Ajánlott irodalom:*

John Dirk Walecka, Introduction to Modern Physics: Theoretical Foundations, 1st Edition, World Scientific; illustrated edition (July 10, 2008)

### 3.4.6 A feladatmegoldás módszertana (Pálfalvi László)

- Egyszerű feladatok megoldási módszerei
- Haladószintű (érettségi/ egyszerűbb versenyfeladatok), egyszerűbb matematikai apparátussal megoldható feladatok
- Trigonometrikus összefüggések ismeretét igénylő feladatok
- Komplex számok ismeretét igénylő feladatok
- Határérték-, differenciál-, és integrálszámítás ismeretét igénylő feladatok. Szélsőérték problémák.
- Véges elemekre bontással, felösszegzéssel megoldható feladatok
- Differenciálegyenletekre épülő feladatok
- Fizikai/matematikai analógiákra épülő feladatok
- Szimmetria megfontolásokra épülő feladatok
- Elméleti fizikai ismeretek szintézise feladatokban

*Ajánlott irodalom:*

A Középiskolai Matematikai Lapok feladatai, megoldásai  
Holics László, A fizika OKTV feladatai és megoldásai 1961–2003, Typotex  
Holics László, A fizika OKTV feladatai és megoldásai 2004–2016, Typotex

### **3.4.7 A fizika szintézise (Gál Tamás)**

- A fizika axiomatikus felépítése
- A fizika empirikus megközelítése
- A fizika elvei (hatáselv, Fermat-elv, a legkisebb kényszer elve, a virtuális munka elve, energia minimum elv). Közoktatási vonatkozások
- Inercia rendszer – gyorsuló rendszerek (koordináta erők, tehetetlenségi erők). Galilei- és Einstein-féle relativitás
- Az okság
- Megmaradási tételek és szimmetriák
- A fizika diszciplínáinak találkozási pontjai (mechanika-hőtan, elektromágnesség-hullámtan-optika, hullámoptika-geometriai optika)

*Ajánlott irodalom:*

R. Feynmann Mai Fizika soroztai

Juhász András, Tasnádi Péter, Jenei Péter, Illy Judit, Wiener Csilla, Főzy István, A fizika tanítása a középiskolában I. (mechanika I., hőtan ) az ELTE Fizika DI jegyzete

Juhász András, Tasnádi Péter, Wiener Csilla, Gócz Éva, A fizika tanítása a középiskolában II. (mechanika II., elektromágnesség ) az ELTE Fizika DI jegyzete

Juhász András, Tasnádi Péter, Wiener Csilla, Gócz Éva, A fizika tanítása a középiskolában III. (modern fizika ) az ELTE Fizika DI jegyzete

### **3.4.8 A fizika és a természettudományok kapcsolata (Pálfalvi László)**

- Fizika a kémiában
- Fizika a biológiában, élettanban
- Fizika a földrajzban
- Fizika és csillagászat
- Fizika és a műszaki tudományok

*Ajánlott irodalom:*

Juhász András, Tasnádi Péter, Jenei Péter, Illy Judit, Wiener Csilla, Főzy István, A fizika tanítása a középiskolában I. (mechanika I., hőtan ) az ELTE Fizika DI jegyzete

Juhász András, Tasnádi Péter, Wiener Csilla, Gócz Éva, A fizika tanítása a középiskolában II. (mechanika II., elektromágnesség ) az ELTE Fizika DI jegyzete

Juhász András, Tasnádi Péter, Wiener Csilla, Gócz Éva, A fizika tanítása a középiskolában III. (modern fizika ) az ELTE Fizika DI jegyzete

P. W. Atkins, Fizikai kémia I–III, 6. kiadás, Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.

### **3.4.9 Fizikai alkalmazások és kutatások (Pálfalvi László)**

- Csillagászat és kozmológia
- Globális problémák, energetika, gazdaság
- Orvosi és ipari alkalmazások Fizika és csillagászat
- Környezet és egészség

- Fizika és élettan, fizika a sportban
- A fizikai kutatások jelenlegi főbb irányai
- Kitekintés a fizika új eredményeire
- 

*Ajánlott irodalom:*

Kiss Ádám, Tasnádi Péter: „Környezetfizika”, Typotex Typotex Elektronikus Kiadó Kft. (2012)

[http://etananyag.ttk.elte.hu/FiLeS/downloads/EJ-Kiss-Tasnadi\\_Kornyezetfizika.pdf](http://etananyag.ttk.elte.hu/FiLeS/downloads/EJ-Kiss-Tasnadi_Kornyezetfizika.pdf)

Vajda György: „Energia és társadalom”, megjelent a „Magyarország az ezredfordulón” sorozatban, MTA Társadalomtudományi Központ, 2009, ISBN 9789635085705

### **3.4.10 E-Learning a fizika oktatásban (Várnai Ágnes)**

- Tanulás-elméleti modellek (kognitív terhelés elmélet, multimédiás tanulás elmélete, kizorítás elmélete, problémamegoldás)
- Konkrét alkalmazási formák (szimulációk, oktatóvideók, modelling systems, videóelemző programok)

*Ajánlott irodalom:*

Tamara Phillips Fudge – Susan Shepherd Ferebee (2021): Curriculum Development and Online Instruction for the 21st Century. Information Science Reference, Hershey (PA).

Linda Daniela (2020): Pedagogies of Digital Learning in Higher Education. Routledge, London.

### **3.4.11 Elektronika a demonstrációs- és mérőkísérletekben (Szász János)**

- Demonstrációs mérések tervezése
- Elektronikus mérőeszközök felhasználása a demonstrációs mérésekben
- Tápegységek, segédáramkörök
- Mérésvezérlés a demonstrációs méréseknél
- Elektronikus adatgyűjtés
- Adatfeldolgozás, eredmények megjelenítése
- Interaktivitás lehetőségei a demonstrációs méréseknél

*Ajánlott irodalom:*

Kemény Sándor, Deák András, Lakné Komka Kinga, Kunovszki Péter

Kísérletek tervezése és értékelése, Typotex Kiadó 2016

Lambert Miklós: Szenzorok - elmélet és gyakorlat, IM Kiadó és Mérnöki Iroda Kft. 2009