

A Pécsi Tudományegyetem Fizika Doktori Iskola

Képzési Terve¹

Pécs, 2025.

1 Tanulmányi követelmények a PTE TTK Fizika Doktori Iskolájában

A tanulmányi követelményrendszert és az adminisztráció rendjét a PTE TTK Fizika Doktori Iskola Szervezeti és Működési 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 képzési programonként:

Kvantumoptika és kvantuminformatika képzési program programvezető: Dr. Ádám Péter	Lézerfizika, nemlineáris optika és alkalmazott fizika képzési program programvezető: Dr. Almási Gábor	Tudóstanár képzés képzési program programvezető: Dr. Pálfalvi László
Tudományos kommunikáció (Tibai Zoltán)		
Kvantumoptika I. (Dr. Ádám Péter)	Modern Optika (Dr. Erőstyák János)	A fizika tanítása I. (klasszikus fizika) (Dr. Pálfalvi László)
Kvantuminformatika I. (Dr. Ádám Péter)	Lézerfizika (Dr. Hebling János)	A fizika tanítása II. (modern fizika) (Dr. Pálfalvi László)

A **Kvantumoptika és kvantuminformatika**, illetve a **Lézerfizika, nemlineáris optika és alkalmazott fizika** programok hallgatói a 3.2 és 3.3 fejezet tárgyai közül választhatnak a kötelező kreditteljesítéshez. A **Tudóstanár képzés** program hallgatói alapvetően a 3.4 fejezet tárgyai közül választhatnak a kötelező kreditteljesítéshez. A kreditek legfeljebb 30%-a teljesíthető a 3.2 és 3.3 fejezet tárgyai közül is.

- 6) A komplex vizsga vizsgatárgyai:

¹ Készült a Magyar Képesítési Keretrendszer 8. szintjének megfelelően

- A **Kvantumoptika és kvantuminformatika** programhoz: a 3.2 fejezet tárgyai közül kerül kiválasztásra a fő- és melléktárgy a témavezető és a Doktori Iskola vezetőjének konszenzusa alapján.
- A **Lézerfizika, nemlineáris optika és alkalmazott fizika** programhoz: a 3.3 fejezet tárgyai közül kerül kiválasztásra a fő- és melléktárgy a témavezető és a Doktori Iskola vezetőjének konszenzusa alapján.
- A **Tudóstanár képzés** programhoz: a 3.4 fejezet tárgyai közül kerül kiválasztásra a fő- és melléktárgy a témavezető és a Doktori Iskola vezetőjének konszenzusa alapján.

7) Az egyes tevékenységi formákkal szerezhető kreditekre vonatkozó előírások:

i) Az 1-4. félévben:

Összes megszerzendő kredit: 120

	Kreditszám		Megjegyzés	Igazolás módja
	Minimum	Maximum		
Tanulmány	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.
Oktatás	8	32	Heti 1 tanóra egy szemeszterben 2 kreditet ér	Az oktatási tevékenységet a Fizikai Intézet oktatási felelőse igazolja.
Szakirodalom feldolgozás	0	24	A feldolgozandó szakirodalmat a témavezető jelöli ki. Szemeszterenként 0, 2, 4, vagy 6 kredit adható.	Témavezető igazolja.
Kutatás	6	32	Szemeszterenként 0, 2, 4, 6, vagy 8 kredit.	Témavezető igazolja.
Első két szemesztert záró beszámoló	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		
Oktatás	0	24	Heti 1 tanóra egy szemeszterben 2 kreditet ér	Az oktatási tevékenységet a Fizikai Intézet oktatási felelőse igazolja.
Szakirodalom feldolgozás	0	12	A feldolgozandó szakirodalmat a témavezető jelöli ki. Szemeszterenként 0, 2, 4, vagy 6 kredit adható.	Témavezető igazolja.
Kutatás	0	16	Szemeszterenként 0, 2, 4, 6, vagy 8 kredit.	Témavezető igazolja.
Publikáció	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 DI vezetője 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 találhatók. A Fizika Doktori Iskola Tanácsának (FizDIT) feladata a témakiírások minőségének ellenőrzése, fejlesztése és bővítése.

2.1 Kvantumoptika és kvantuminformatika program

Vezetője: *Dr. Ádám Péter*, egyetemi docens

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.
- Biomolekuláris rendszerek számítógépes modellezése a molekulamechanikai megközelítéstől a kvantumos tárgyalásmódig

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

2.2 Lézerfizika, nemlineáris optika és alkalmazott fizika program

Vezetője: *Prof. Almási Gábor*, egyetemi tanár

- Molekuladinamikai vizsgálatok időbontásos spektroszkópiai módszerekkel a fs-ns időtartományon.
- Integráló gömbök fejlesztése és alkalmazása kis hatáskeresztmetszetű átmenetek tanulmányozására.
- Nemlineáris karakterizálás Z-scan módszerrel.
- 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 LiNbO₃ 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 LiNbO₃-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 kavitandók gazda-vendég komplexekben
- Felületminősítés interferometrikus módszerekkel.
- Részecskeszámlálók modellezése és tervezése.
- Lézeres módszerek alkalmazása a légköri paraméterek meghatározásában.
- Ferroelektromos kristályok fizikai paramétereinek kutatása

2.3 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 valószínűség számítás 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
- Tehetség gondozás 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 (lásd 1. fejezet 5. pont) más programban felkínált tárgyat is felvehetnek. A Fizika Doktori Iskola Szervezeti és Működési Szabályzata 13. szakasza szerint más egyetemen szervezett kurzusok áthallgatásával is szerezhhetnek tanulmányi kreditet.

Kreditértékek:

A DI kötelezően elvégzendő kurzusainak kreditértéke: 6 kredit. Ezeken felüli kurzusok kreditértéke egységesen 4 kredit.

Hallgatói munka értékelés:

Minden kurzus szóbeli vizsgával zárul.

Értékelés:

Az értékelés 1-5 érdemjegyekkel történik.

3.1 Tudományos kommunikáció (Tibai Zoltán)

- A tudományos kommunikáció szerepe: publikációs kényszer, impakt faktor, hivatkozási rendszerek
- A tudományos cikkek szerkezete: bevezetés, módszerek, eredmények, következtetések
- Hatékony absztrakt és cím készítése
- Szakirodalmi keresés, forráskezelés és hivatkozási módszerek
- Tudományos konferenciák: absztrakt beadás, előadás és poszterkészítés
- Hatékony PowerPoint-prezentáció és előadástechnikák
- Disszertációírás: szerkezeti és stilisztikai alapelvek
- A tudományos peer review folyamata: bírálatok kezelése és válaszok megfogalmazása
- Szellemi tulajdon védelme: szabadalmi bejelentés és kutatási eredmények hasznosítása
- Etikai kérdések a tudományos publikációkban: plágium, szerzőség, adatkezelés

Ajánlott irodalom:

Day, R. A., & Gastel, B. "How to Write and Publish a Scientific Paper" (Cambridge University Press, 2016)
Alley, M. "The Craft of Scientific Presentations: Critical Steps to Succeed and Critical Errors to Avoid" (Springer, 2013)
Peat, J., Elliott, E., Baur, L., & Keena, V. "Scientific Writing: Easy When You Know How" (BMJ Books, 2002)

3.2 Kvantumoptika és kvantuminformatika program

3.2.1 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)

3.2.2 Kvantumoptika II. (Ádám Péter)

- Passzív optikai elemek: nyalábosztó, fázistoló, multiportok

- A fotodetektálás elmélete, fotonszámlálás
- 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)

3.2.3 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"

3.2.4 Kvantuminformatika I: Elmélet (Ádám Péter)

- Klasszikus és kvantumos 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 mértékek, összefonódottsági tanúk általában és speciális állapotosztályokon. Többrészü 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)

3.2.5 Kvantuminformatika II.: Kísérleti vonatkozások, alkalmazások (Koniorczyk Máttyás)

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

Ajánlott irodalom:

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

3.2.6 Számítási módszerek a kvantuminformatikában (Koniorczyk Máttyás)

- Kvantumbitek, kvantumdítek tiszta és kevert állapotai
- Unitér időfejlődés, projektív mérés
- Többrészü 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
- Kétrészű 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>)

3.2.7 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"

3.2.8 A kvantumelektrodinamika alapjai (Varró Sándor)

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

Ajánlott irodalom:

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)

3.2.9 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

3.2.10 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)

3.2.11 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)

3.2.12 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-Pitaevszkij 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)

3.2.13 Koherens kontroll (Kis 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 hullámcsomag 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)

3.2.14 A Sűrűségfunkcionál Elmélet legújabb eredményei és alkalmazásai (Paragi Gábor)

- Az időfüggetlen alapállapotú DFT összefoglaló áttekintése (Hohenberg Kohn tételek, Kohn-Sham kép, alap kicserélődési és korrelációs funkcionálok)
- Új kicserélődési és korrelációs funkcionálok a DFT-ben.
- Az alap DFT elmélet kiterjesztése időfüggő esetre (TD-DFT). A Runge-Gross és a van Leeuwen elmélet.
- Az időfüggő Kohn-Sham kép. Az ALDA módszer és további kicserélődési és korrelációs funkcionálok a TD-DFT-ben.
- Lineáris válasz elmélet a TD-DFT-ben; Gerjesztett állapotok számítása az időfüggő DFT segítségével.
- Sűrűségmátrix funkcionál elmélet.
- Semiempirikus DFT: Density Functional Based Tight Binding (DFTB)
- Erősen kölcsönható elektronok és DFT.

Ajánlott irodalom:

1. Carsten A. Ulrich: Time-Dependent Density Functional theorem. Oxford University Press (2012), ISBN 978-0-19-956302-9

2. Topics in Current Chemistry (368): Density-Functional Methods for Excited States (ed.: N. Ferré, M. Filatov, M. Huix-Rotllant) Springer (2016) ISBN 978-3-319-22080-2, doi 10.1007/978-3-319-22081-9

3. P. Gori-Giorgi „Density-Functional Theory for Strongly Interacting Electrons” Phys.Rev.Lett. 103, 166402 (2009), doi: 10.1103/PhysRevLett.103.166402

4. Elstner, M.; Porezag, D.; Jungnickel, G.; Elsner, J.; Haugk, M.; Frauenheim, Th.; Suhai, S.; Seifert, G. (1998). "Self-consistent-charge density-functional tight-binding method for simulations of complex materials properties". Physical Review B. 58 (11): 7260–7268. doi:10.1103/PhysRevB.58.7260

5. Yang; Yu, Haibo; York, Darrin; Cui, Qiang; Elstner, Marcus (2007). "Extension of the Self-Consistent-Charge Density-Functional Tight-Binding Method: Third-Order Expansion of the Density Functional Theory Total Energy and Introduction of a Modified Effective Coulomb Interaction". The Journal of Physical Chemistry A. 111 (42): 10861–10873. doi:10.1021/jp074167r

3.2.15 Haladó Módszerek a Molekulák Modellezésében (Advanced Methods in Molecular Modelling) (Paragi Gábor)

- Molekulák kvantummechanikai (QM) és molekulamechanikai (MM) vizsgálatának főbb különbségei. Biológiai érdekes molekuláris rendszerek szerveződési szintjei.
- Molekulák QM vizsgálatának alapjai: Born-Oppenheimer közelítés, Potenciális Energia Felületek, Hartree-Fock és Poszt Hartree-Fock módszerek.

- Sűrűségfukcionál Elmélet alapjai, Energia Dekompozíciós Eljárások, Implicit oldószeres modellek, Töltésanalízis módszerek
- Az MM szimuláció elméleti háttere. Hagyományos és polarizálható erőkterek. Molekuladinamikai (MD) szimulációk. Az MD-ben használt numerikus megoldások elméleti háttere: Verlet algoritmus és annak főbb változatai.
- Ligandum-Target vizsgálata I: Szabadenergia számolási módszerek. MMGBSA módszer, Umbrella sampling módszer, Termodinamikai Integrálási módszer.
- Ligandum-Target vizsgálata II: QM/MM eljárások
- Ab Initio MD számítás.
- A legfontosabb programcsomagok használatának megismerése (AMBER, GROMACS, DESMOND, Gaussian, Orka, Octopus)

Ajánlott irodalom:

1. A R Leach: Molecular modelling Principles and applications, 2.ed.
2. Computational Biochemistry. Szerk.: Tamás Körtvélyesi Szeged, Magyarország: Digitális Tankönyvtár (2013)
3. AMBER, GROMACS, Desmond, Gaussian stb. felhasználói kézikönyvek

3.2.16 Válogatott fejezetek a kvantuminformatikából I. (Bergou János)

- Bevezetés és motiváció: az információ reprezentálása kvantum rendszerek állapotaival, a qubit és a Bloch reprezentáció, kvantum kapuk, kvantum áramkörök, Deutsch algoritmus.
- A sűrűségmátrix, qubit kevert állapotai és a Bloch vektoros reprezentáció, Schmidt-féle felbontás, állapot tisztítás.
- Összefonódás (entanglement), a kvantummechanika nemlokális jellege, Bell és Wigner egyenlőtlenségek, az összefonódás mértékei és tesztelése. Az összefonódás mint forrás kvantum informatikai protokollok számára: teleportáció és sűrű kódolás.
- Általánosított kvantum dinamika: kvantum operációk, kvantum leképezések, Kraus-reprezentáció. Kvantum csatornák. Lehetetlen leképezések: a kvantum klónozás és a fényjelnél gyorsabb kvantum kommunikáció lehetetlensége.
- A mérések kvantumelmélete: projektív és általánosított mérések, Pozitív Operátor Értékű Mérések (Positive Operator Valued Measure, POVM), Neumark tétel. Kvantum állapotok megkülönböztetésére szolgáló stratégiák.
- Kvantum kommunikáció: titkosítási kód (kulcs) kvantumos szétosztására szolgáló protokollok, kvantum titkosítás, a kvantum kódok feltörhetetlenségének bizonyítása.

Ajánlott irodalom:

1. J. A. Bergou, M. Hillery, and M. Saffman: Theory of Quantum Information Processing: Theory and Implementation (2nd Edition, Graduate Texts in Physics, Springer, 2021).
2. Preskill jegyzetek a www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229 weboldalon
3. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge University Press, 2000).
4. G. Benenti, G. Casati and G. Strini, Principles of Quantum Computation and Quantum Information, (World Scientific, Singapore, 2004)

3.2.17 Válogatott fejezetek a kvantuminformatikából II. (Bergou János)

- Kvantum algoritmusok: Deutsch-Jozsa algoritmus, Grover-féle kereső algoritmus, periódus meghatározása, Shor-féle faktorizációs algoritmus.
- Kvantum gépek: kvantum másoló, véges valószínűséggel működő eszközök, programozható eszközök.
- Dekoherencia: a környezet hatása, dekoherencia-mentes alterek.
- Hibajavítás: a stabilizátoros formalizmus és a Gottesman-Knill tétel.
- Amennyiben az idő engedi, illetve, ha a kurzus két félévet ölel át, akkor az alábbi témakörök tárgyalása is ajánlott:
- Az információ elmélet alkalmazása a kvantuminformatikában: az információ entrópikus mértékei (Shannon és Neumann), a Schumacher-féle zajmentes kódolási tétel, kölcsönös információ, a hozzáférhető információ és a Holevo-féle korlát.

- Kvantum információs protokollok megvalósítására szolgáló fizikai rendszerek

Ajánlott irodalom:

1. J. A. Bergou, M. Hillery, and M. Saffman: Theory of Quantum Information Processing: Theory and Implementation (2nd Edition, Graduate Texts in Physics, Springer, 2021).
2. Preskill jegyzetek a www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229 weboldalon
3. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge University Press, 2000).
4. G. Benenti, G. Casati and G. Strini, Principles of Quantum Computation and Quantum Information, (World Scientific, Singapore, 2004)

3.2.18 Approximációelmélet, speciális függvények és alkalmazásaik a fizikában (Pap Margit)

- Bevezetés az approximációelméletbe, Legjobb közelítés normák és metrikák szerint, Hilbert terek. Polinomiális approximáció, Racionális approximáció
- Ortogonális polinomok és spektrális approximáció Ortogonális polinomok: Legendre-, Chebyshev-, Laguerre- és Hermite-polinomok. Ortogonális bázisok és Gram-Schmidt eljárás
- Speciális függvények és fizikában való alkalmazásaik, Bessel-függvények, Legendre-polinomok és gömbi harmonikusok, Hermite-függvények, Laguerre-függvények, Zernike függvények
- Approximáció a komplex analízisben és a fizikai rendszerekben Malmquist-Takenaka rendszerek és racionális approximáció
- Approximáció módszerek alkalmazása kvantummechanikában és hullámoptikában

Ajánlott irodalom:

- Szegő, G. (1975). Orthogonal Polynomials (4th ed.). American Mathematical Society.
- Schipp Ferenc, Approximációelmélet, Egyetemi jegyzet, ELTE, Budapest, 2006
<https://numanal-old.inf.elte.hu/~schipp/Jegyzetek/AprxElm.pdf>
- Andrews, G. E., Askey, R., & Roy, R. (1999). Special Functions. Cambridge University Press. ISBN-13: 978-0521576046.
- Chant, R. F., & Cooke, T. P. (2016). Mathematical Methods for Physicists: A Concise Introduction. Cambridge University Press.

3.2.19 Wavelet analízis és alkalmazásaik (Pap Margit)

- Wavelet alapok: Diszkrét és folytonos affin wavelet transzformációk, ortogonális és biortogonális waveletek.
- Haar wavelet, Daubechies waveletek, Morlet és Coiflet waveletek
- Multireszoluális elemzés: Adatkompresszió, denoising, jelfeldolgozás és képfeldolgozás.
- Gábor waveletek, Gábor transzformált (Short Time Fourier transform) és alkalmazásaik
- Az affin és Gábor transzformáltak kapcsolata a csoportreprezentációkkal és közös általánosításuk a voice transzformált
- Hyperbolikus wavletek és hyperbolikus wavelet transzformált
- Alkalmazások a fizikában: Waveletek alkalmazása kvantummechanikai rendszerekben, jelfeldolgozás, zajszűrési technikák a fizikai mérésekben.

Ajánlott irodalom

- Mallat, S. (2009). A Wavelet Tour of Signal Processing (3rd ed.). Academic Press.
- Daubechies, I. (1992). Ten Lectures on Wavelets. SIAM.
- Schipp Ferenc, Waveletek, Egyetemi Jegyzet, ELTE, Budapest, 2003 <https://numanal-old.inf.elte.hu/~schipp/Jegyzetek/Waveletek.pdf>
- Pap Margit, Hyperbolic Wavelet Transforms and Applications MTA Doktora (Disszertáció)134 p. 2022 MTMT: 36043865 https://real-d.mtak.hu/1356/7/Pap%20Margit_doktori_mu.pdf

3.3 Lézerfizika, nemlineáris optika és alkalmazott fizika

3.3.1 Fluoreszcencia spektroszkópia (Erostyák János)

- A fluoreszcencia spektroszkópia alapfogalmai
- Mérési módszerek és mérőberendezések: direkt módszerek, mintavételezéses technika, időkorrelált egyfoton számlálás, tranziens jel mérések, fázisfluorimetria
- Konvolúció, dekonvolúció, lecsengési függvények, élettartam függvények
- Fluoreszcencia polarizáció, steady-state és időbontott anizotrópia
- Fluoreszcencia-kioltás
- Energia-transzfer típusai
- Reverzibilis kétállapot-reakciók
- Oldószer relaxáció
- Steady-state és időbontott mérési eredmények kiértékelési módszerei

Ajánlott irodalom:

J. R. Lakowicz (ed.): "Principles of Fluorescence Spectroscopy" (Springer, Singapore, 2006)

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)

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

3.3.2 Modern optika (Erostyák János)

- Geometriai optika (tükrök, lencsék, prizma, lencserendszerek)
- Optikai eszközök (nagyító, mikroszkópok, távcsövek, vetítők, emberi szem)
- Mátroxoptika
- Elektromágneses hullámok, hullámegyenletek. Abszorpció. Diszperzió és csoportsebesség
- Interferenciajelenségek. Koherencia. Interferométerek.
- Hullámvezetők. Optikai szálak
- Gauss-nyalábok
- Fraunhofer- és Fresnel-diffrakció. Fourier-optika
- Polarizáció. Kettős törés.
- Nemlineáris optika. Elektrooptika. Akusztóoptika.

Ajánlott irodalom:

E. Hecht: Optics. Pearson Education Limited, 2017.

B.E.A. Saleh, M.C. Teich: Fundamentals of Photonics. John Wiley and Sons, 2019.

R.Guenter: Modern Optics, John Wiley and Sons, 1990.

A.Nussbaumm, R.A. Phillips: Modern Optika, Műszaki Könyvkiadó, 1982.

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

- A fényterjedés leírása a mátrioxoptika 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 LiNbO₃ 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)

3.3.4 Plazmafizika (Kuhlevszkij Szergej)

- A plazmák alapvető paraméterei. Különböző típusú plazmák
- Az atomok, ionok és nukleáris magok energia-szintjének gerjesztése és ionizációja a kémiai, elektromos, elektromágneses (fény) és nukleáris energia felhasználásával. Elektron-ion rekombináció
- Alapvető optikai folyamatok a plazmákban. A plazma spektrumának modellezése.
- A plazma előállítása kémiai, elektromos, elektromágneses (fény) és nukleáris energiák felhasználásával
- A plazma 0-ik (legegyszerűbb) modellje (plazma mint forró ideális gáz)
- A plazma 1-ső (Mikroszkópos) modellje
- A plazma 2-ik (Kinetikus) modellje
- A plazma 3-ik (MHD) modellje
- Plazmahullámok. EM hullámok plazmában. Plazma alapú hullámvezetők
- A plazmák tudományos és ipari alkalmazásai

Ajánlott irodalom:

Kuhlevszkij Szergej (S.V. Kukhlevsky), "Plazmafizika (on-line előadások)" PTE TTK, Fizikai Intézet, 2025

F.F. Chen, Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion (3rd ed.). Switzerland: Springer International Publishing (2016)

U.S. Inan, M. Golkowski: Principles of Plasma Physics for Engineers and Scientists. Cambridge University Press, 2011

Paul M. Bellan: Fundamentals of Plasma Physics. Cambridge University Press, 2006.

J. A. Bittencourt: Fundamentals of Plasma Physics. Springer, 2004.

L.A. Arcimovics, R.Z. Szaggyejev, Plazmafizika fizikusoknak, Akadémiai kiadó, Bp. (1985)

Abonyi Iván, A negyedik halmazállapot. Bevezető a plazmafizikába, Gondolat kiadó, Budapest (1971).

W. B. Thompson, Bevezetés a plazmafizikába, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970

3.3.5 Röntgen lézerek (Kuhlevszkij Szergej)

- A lézerfizika alapdefiníciói és fizikai alapfogalmai.
- Az elektromágneses spektrum röntgentartománya
- Alapvető optikai folyamatok a röntgen spektrális régióban
- A röntgenlézerek fizikai alapjai
- Röntgenlézerek többszörösen ionizált ionjainak gerjesztése
- A plazmák, mint többszörösen ionizált ionok forrásai
- A röntgenlézer jellemzői
- Lágy röntgen Ar+8 lézer a Pécsi Tudományegyetemen. Kísérletek és elméletek
- Alternatív koherens röntgenforrások
- Tudományos, technológiai alkalmazások. Biológiai és orvosi alkalmazások

Ajánlott irodalom:

Kuhlevszkij Szergej (S.V. Kukhlevsky), "Röntgen lézerek (on-line előadások)" PTE TTK, Fizikai Intézet, 2025

D. Attwood, Soft x-rays and extreme ultraviolet radiation. Principles and applications. Cambridge University Press, London, 1999

R. Elton, X-ray lasers, Academic Press, London, 1990

W. J. Sarjeant, R.E. Dollinger, High-power electronics, TAB Professional and Reference Books, Blue

3.3.6 Hullámvezető optika (Kuhlevszkij Szergej)

- Optikai hullámvezetők a geometriai (sugár) optika keretében
- Optikai hullámvezetők a hullámoptika keretében
- Optikai hullámvezetők leírása a differenciális hullámegyenlet megoldásával
- Optikai hullámvezetők leírása az integrális hullámegyenlet megoldásával (Kuhlevszkij-féle modell,)
- Optikai hullámvezetők leírása a Faraday és Ampere egyenletek közvetlen megoldásával
- Hullámvezetők TE és TM modulusai. Lineárisan polarizált (LP) modulusai: TE, TM, hibrid EH és hibrid HE modulusok.
- Egy hullámcsomag (fényimpulzus) csoportsebesség-diszperzió által okozott torzításának általános modellje
- A késleltetési idő diszperzió négy fajtája (mechanizmusa): Multimódusú diszperzió Polarizációs diszperzió. Anyag diszperzió. Hullámvezető diszperzió.
- Folytonos-indexű indexű hullámvezetők. Plazma alapú hullámvezetők. TE, TM, hibrid EH és hibrid HE modulusok
- A folytonos indexű szálak diszperziós jellemzői által okozott késleltetési idő. Multimódusú diszperzió. A diszperzió és a transzmissziós kapacitás kapcsolata. Példák: Multimódusú és egymódusú hullámvezetők.
- Hullámvezetők alkalmazásai.

Ajánlott irodalom:

Kuhlevszkij Szergej (S.V. Kukhlevsky), "Hullámvezető optika (on-line előadások)" PTE TTK, Fizikai Intézet, 2025

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

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

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

J.D. Jackson, Classical electrodynamics (Wiley, New York, 1999)

S. V. Kuhlevsky, "Optical waveguide fields as free-space waves, " Europhysics Letters, 54, 461 (2001)

3.3.7 Optikai spektroszkópia (Hebling János)

A spektroszkópia rövid története

A spektroszkópiai eszközök legfontosabb értékmérői

A Fourier-transzformáció alapvető összefüggései

Konvolúció, kereszt- és autokorreláció, energiaspektrum, teljesítményspektrum

Lineáris, eltolás invariáns rendszer leírása. Impulzus válaszfüggvény. Átviteli függvény.

Diffrakció. A Fourier optika alapjai.

Szögdiszperzióval rendelkező spektroszkópiai eszközök

Interferométerek

Fourier-transzformációs spektrométerek

Többrétegű dielektrikum bevonatok. Kettős-törésen alapuló spektroszkópiai eszközök.

Spektroszkópiai eszközök általános elmélete

Detektor típusok, detektorok jellemzői

Ajánlott irodalom:

F. A. Jenkins, and H. E White: "Fundamentals of optics" (McGraw-Hill, 1976)

W. Demtröder: "Laser Spectroscopy: Basic Concepts" (Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2008)

J. Hebling, and Zs. Márton: "Theory of spectroscopic devices" JOSA A 23, 966-972 (2006)

3.3.8 Lézerfizika (Hebling János)

- Bevezetés. Lézerek tulajdonságai, felépítése, működésük alapjai, főbb típusai.
- Foton – anyag kölcsönhatás.
- Lézer erősítők.
- Mátrix-optika. Rezonátorok.

- Gauss-nyaláb.
- Rövid lézerimpulzusok előállítása 1. Relaxációs oszcilláció. Hosszú rezonátorú lézer.
- Rövid lézerimpulzusok előállítása 2. Q-kapcsolt lézerek. Módus-szinkronizálás.
- Nemlineáris optika.
- Szabadelektron lézer.
- Lézerek alkalmazásai.

Ajánlott irodalom:

J.T. Verdeyen: Laser Electronics, Prentice-Hall Inc. ISBN: 0-13-706666-X

K.F. Renk: Basics of Laser Physics, Springer, ISBN: 978-3-642-23564-1

3.3.9 Bevezetés a terahertzes tudományba és technikába (Hebling János)

- Bevezetés
- Folytonosan sugárzó terahertzes (THz-es) források
- THz-es detektorok. Terahertzes képalkotás. Biztonságtechnikai, orvosi és egyéb alkalmazások
- Egyciklusú (szélessávú) THz-es impulzus források I. Fotovezető antenna.
- THz-es terek időbeli mérése fotovezető antennával. Időtartománybeli THz-es spektroszkópia (TDS).
- Egyciklusú (szélessávú) THz-es impulzus források II. Optikai egyenirányítás. Elektro-optikai mintavételezés.
- Sebességillesztés impulzusfront döntéssel.
- Egyciklusú (szélessávú) THz-es impulzus források III. Lézerrel keltett gáz-plazma.
- THz-es optika: fókuszáló lencsék és tükrök, polarizátorok, etc. Anyagok dielektromos tulajdonságai a THz-es tartományon.
- Nagyintenzitású THz-es tudomány és technika. Nemlineáris THz-es optika. Nemlineáris THz-es spektroszkópia. Keldysh-parameter. Nagyintenzitású THz-es impulzusok egyéb alkalmazásai.
- Extrém nagy energiájú és térerősségű THz-es impulzusok előállítása és alkalmazása.
- Szilárd testek THz-es spektroszkópiája.
- Folyadékok THz-es spektroszkópiája.

Ajánlott irodalom:

Yun-Shik Li, Principles of Terahertz Science and Technology, Springer, New York, ISBN: 978-0-387-09539-4 978-0-387-09540-0

3.3.10 Ultrarövid fényimpulzusok fizikája (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
- Ultrarövid impulzusú lézerek

Ajánlott irodalom:

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

Jean-Claude Diels: Ultrashort Laser Pulse Phenomena, Academic Press, 2006.

B. E. Saleh, M. C. Teich: Fundamentals of Photonics. Wiley&Sons, 1991.

R. D. Guenther, Modern Optics, Wiley&Sons, 1990

3.3.11 Nemlineáris optika (Tóth György)

- Nemlineáris szuszceptibilitás

- Nemlineáris hullámegyenlet.
- Összeg- különbségfrekvencia és másodharmonikus keltés.
- Fázisillesztés. Kvázi fázisillesztés.
- Parametrikus erősítés. Optikai parametrikus erősítő és oszcillátor.
- Optikai egyenirányítás
- 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.

R. D. Guenther, Modern Optics, Wiley&Sons, 1990

R. Trebino: Frequency-Resolved Optical Gating: The Measurement of Ultrashort Laser Pulses

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

3.3.12 Szabadelektron lézerek (Tibai Zoltán)

- Szabadelektron lézerek típusai
- Undulátorok és wigglerok
- Magimpulzust erősítő szabadelektron lézerek
- Röntgen szabadelektron lézerek
- Inverz szabadelektron lézerek
- Vivő-burkoló fázis kontrollált attoszekundumos impulzus generálás
- Szabadelektron lézerekhez használt szoftverek bemutatása
- Elektron manipulálás numerikus szoftverekkel
- General Particle Tracer, Elegant, CSRTrack, Genesis

Ajánlott irodalom:

Peter Schmüser, Martin Dohlus, Jörg Rossbach: Ultraviolet and Soft X-Ray Free-Electron Lasers, Springer, ISBN 978-3-540-79571-1

3.3.13 Elektromos Gázkisülések Fizikája és alkalmazásai (Hartmann Péter)

- Természetes és technológiai plazmák.
- Termikus és nemegyensúlyi plazmák. Plazmafizikai alapok.
- Töltött részecskék transzportja gázokban. Ütközési hatáskeresztmetszetek.
- Kétrészecske-ütközések kinematikája.
- Transzportegyenletek: Boltzmann egyenlet. Folyadék egyenletek származtatása.
- Monte Carlo részecskeszimulációs módszer. A sebességeloszlás függvény meghatározása és relaxációja homogén elektromos térben.
- Jelenségek egyenáramú gázkisülésekben: átütés, önfenntartási folyamatok, működési módok, szerkezet.
- Kapacitív csatolású rádiófrekvenciás gázkisülések működése és technológiai relevanciája.
- Plazmadiagnosztika: elektromos szondák, optikai spektroszkópia.
- Erősen csatolt plazmák / Poros plazmák.
- Alacsony hőmérsékletű plazmák alkalmazásai.

Ajánlott irodalom:

Abonyi Iván: " A negyedik halmazállapot, Bevezetés a plazmafizikába" (Gondolat, Budapest, 1971)

Alexander Piel: " Plasma Physics: An Introduction to Laboratory, Space, and Fusion Plasmas" (Springer, 2017)

N St J Braithwaite: " Introduction to Gas Discharges" (Plasma Sources Sci. Technol. 9 (2000) 517–527, https://home.sandiego.edu/~severn/intro_gas_discharges.pdf)

3.3.14 Nagyintenzitású lézer-atom kölcsönhatások (Aladi Márk)

- Nagy intenzitású lézerfény előállítása
- Ultrarövid lézerimpulzusok tulajdonságai
- Attoszekundum időtartamú impulzusok létrehozása, alkalmazásuk
- Optikai és optomechanikai rendszerek építése
- Vákuumrendszerek építése
- A plazmafizika alapjai
- Töltött és semleges részecskék detektálása
- Részecskegyorsítás lézerrel, alkalmazások
- Lézerrel indukált magreakciók, alkalmazások
- „Egzotikus” folyamatok extrém nagy elektromos- és mágneses terekben

Ajánlott irodalom:

B. E. A. Saleh and M. C Teich: FUNDAMENTALS OF PHOTONICS (2019 by John Wiley & Sons, Inc.)
Shalom Eliezer: The Interaction of High-Power Lasers with Plasmas (IOP Publishing Ltd 2002)
Leonida Antonio Gizzi, Ralph Assmann, Petra Koester, Antonio Giulietti: Laser-Driven Sources of High Energy Particles and Radiation (Springer Nature Switzerland AG 2019)

3.3.15 Klasszikus és nemlineáris rezgési spektroszkópia (Veres Miklós)

- Molekularezgések, normálrezgések, csoportelmélet
- A rezgési spektroszkópia alapjai
- Raman-szórás és Raman-spektroszkópia (mérési elv, eszközök, adatfeldolgozás)
- Felületerősített Raman-szórás (SERS)
- Infravörös spektroszkópia (mérési elv, eszközök, adatfeldolgozás)
- Nemlineáris rezgési spektroszkópia (stimulált Raman-szórás (SRS), koherens anti-Stokes Raman-szórás (CARS))
- Rezgési képalkotás SRS és CARS módszerekkel
- Időfelbontásos technikák
- Fototermális infravörös spektroszkópia

Ajánlott irodalom:

D. N. Sathyanarayana: „Vibrational Spectroscopy: Theory and Applications” (New Age International, 2004)
J. M. Chalmers, P. R. Griffiths (Editors): „Handbook of Vibrational Spectroscopy” (John Wiley and Sons, 2006)
E. Smith, G. Dent: „Modern Raman Spectroscopy: A Practical Approach” (John Wiley and Sons, 2019)
J.-X. Cheng, W. Min, Y. Ozeki, D. Polli (Editors): „Stimulated Raman Scattering Microscopy: Techniques and Applications” (Elsevier, 2022)

3.3.16 Laborgyakorlat: Lézeres mérések (Polónyi Gyula)

- Munkavédelem, kísérletek előkészítése, megtervezése, jegyzőkönyv készítés, a kiértékelés alapvető részei, szükséges Matlab-ismeretek
- teljesítménymérés, spektrummérés, mérés fotodiódával és digitális oszcilloszkóppal, nyalábprofil mérés CCD kamerával
- a mért adatok kiolvasása és értékelése Matlab segítségével
- Mérésvezérlés és automatizálás Matlab segítségével
- Elsajátított ismeretek alkalmazása összetettebb kísérletben: Zink-blende típusú félvezető orientációjának meghatározása másodharmonikus-keltés segítségével

Ajánlott irodalom:

Yun-Shik Li, Principles of Terahertz Science and Technology, Springer, New York, ISBN: 978-0-387-09539-4 978-0-387-09540-0

3.3.17 Laborgyakorlat: Ultrarövid impulzusú lézernyalábok karakterizálása (Krizsán Gergő)

- mérési módszerek elméletének áttekintése
- spektrum mérése spektrométerrel
- impulzushossz mérése autokorrelátorral és FROG-gal
- nyalábméret meghatározása késéles mérési módszerrel
- transzverzális intenzitáseloszlás mérése CCD kamerával
- nyaláb M2 paraméterének mérése

Ajánlott irodalom:

Rulhière, Claude (Ed.). Femtosecond Laser Pulses: Principles and Experiments. Springer, 2005.

2. Diels, Jean-Claude, and Wolfgang Rudolph. Ultrashort Laser Pulse Phenomena. Academic Press, 2006.

3. Trebino, R. Frequency-Resolved Optical Gating: The Measurement of Ultrashort Laser Pulses. Springer, 2002.

4. Siegman, A.E. Lasers. University Science Books, 1986.

3.3.18 Laborgyakorlat: Terahertzes impulzusforrások építése, optimalizálása és karakterizálása (Krizsán Gergő)

- Félvezető alapú források
- Forrás építése kollineáris- és döntött impulzusfrontú- pumpálással
- Terahertzes energia meghatározása az impulzusfront dőlési szögének függvényében
- Keltett terahertzes energia és keltési hatások mérése a pumpáló energia és intenzitás függvényében
- Keltett terahertzes impulzus elektromos térerősségének mérése elektro-optikai mintavételezéssel
- Lítium-niobát alapú forrás:
- Konvencionális, és mikrostruktúrált döntött impulzusfronttal pumpált források megépítése
- Terahertzes energia meghatározása az impulzusfront dőlési szögének függvényében
- Keltett terahertzes energia és keltési hatások mérése a pumpáló energia és intenzitás függvényében
- Keltett terahertzes impulzus elektromos térerősségének mérése elektro-optikai mintavételezéssel
- A források által keltett terahertzes impulzusok paramétereinek összehasonlítása.

Ajánlott irodalom:

1. Y. S. Lee (2009). Principles of terahertz science and technology (Vol. 170). Springer Science & Business Media.

2. J. A. Fülöp, S. Tzortzakis and T. Kampfrath (2020). Laser-driven strong-field terahertz sources. Advanced Optical Materials, 8(3), 1900681.

3.3.19 A femtoszekundumos lézerektől az attofizikáig (Dombi Péter)

- Nemlineáris optika bevezető
- Lézerimpulzusok előállítása, a módusszinkronizáció idő- és frekvenciatartománybeli képe.
- Módusszinkronizáció és alapvető módszerei (aktív vs. passzív). A Kerr-lencsés módusszinkronizáció.
- Szélessávú lézerek és módusszinkronizált lézerek. Oszcillátorarchitektúra, diszperziókompenzálás, csőrpölt tükrök.
- Femtoszekundumos impulzusok erősítése. Regeneratív ill. többutas erősítők, fázismodulált impulzuserősítés (chirped pulse amplification, CPA). Optikai parametrikus erősítés.
- A módusszinkronizált oszcillátor, mint frekvenciafésű, a vivő-burkoló fázis fogalma. Lézeres frekvenciametrológia.
- A femtoszekundumos lézerek egyéb alkalmazásai: femtokémia, koherens kontroll, anyagmegmunkálás, spektroszkópia.
- Az attoszekundumos időtartomány, tipikus elektronfolyamatok.
- Magasrendű felharmonikusok keltése.

- Attoszekundumos impulzusvonulatok és egyesimpulzusok előállítása, a harmonikusok fázisa, annak mérése.
- Attoszekundumos metrológia és spektroszkópia

Ajánlott irodalom:

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

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

3.3.20 Fourier-analízis és alkalmazása a jelfeldolgozásban és fizikában (Tóth László)

- Fourier-sorok és Fourier-transzformáció
- Fourier-sorok: periodikus függvények sorfejtése ortogonális trigonometrikus bázisfüggvényekkel.
- Fourier-koefficiensek és konvergenciakérdések (Dirichlet- és Fejér-tétel).
- Fourier-transzformáció: nem periodikus jelek frekvenciaspektrumának meghatározása.
- Diszkrét Fourier-transzformáció (DFT) és gyors Fourier-transzformáció (FFT)
- Mintavételezési tétel (Shannon-Nyquist tétel).
- DFT és periodikus jelek spektrális analízise.
- FFT algoritmus és hatékonysága a numerikus számításokban.
- Fourier-analízis alkalmazása fizikában és jelfeldolgozásban

Ajánlott irodalom:

Elias M. Stein és Rami Shakarchi – Fourier Analysis: An Introduction

Kiadó: Princeton University Press, 2003.

Ronald N. Bracewell – The Fourier Transform and Its Applications

Kiadó: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1999.

Gerald B. Folland – Fourier Analysis and Its Applications

Kiadó: American Mathematical Society, 1992.

M. D. Adams, Lecture Slides for Continuous-Time Signals and Systems (Ver-

sion 2013-09-11), University of Victoria, Victoria, BC, Canada, Dec. 2013,

286 slides, ISBN 978-1-55058-517-9 (paperback), ISBN 978-1-55058-518-6

https://www.ece.uvic.ca/~frodo/sigsysbook/downloads/lecture_slides_for_continuous_time_signals_and_systems-2013-09-11-uvic-v2.pdf

Schipp Ferenc, Fourier Analízis, Egyetemi jegyzet, ELTE, BUDAPEST, 2006S

A jegyzet az MKM 367/94 szám, https://numanal-old.inf.elte.hu/~schipp/FourierAnal/Fourier_Anal.pdf

3.3.21 Ultragyors optikák és lézer oszcillátorok. Konfokális és nemlineáris 3D mikroszkópia. (Szipőcs Róbert)

- Ultragyors optikák: a diszperzió fogalma, alapjelenségek és alapvető összefüggések. Az ultragyors lézerimpulzusok leírása az idő illetve a frekvencia tartományban.
- Ultragyors optikák (akromát lencsék, prizmák, rácsok) és ultragyors optikai bevonatok.
- Ultragyors impulzusok terjedése optikai szálakban, a split-step Fourier módszer.
- A csoportkésleltetés és tárolt energia közötti kapcsolat 1D és 2D dielektrikum szerkezetekben.
- Diszperziókompenzáló optikai szálak tervezése. A véges elem módszer (FEM).
- Fotonikus kristály optikai szálak, optikai szálátviteli rendszerek ultragyors lézerekhez.
- Ultragyors szilárdtestlézerek (fontosabb típusai, felépítésük és működésük).
- Ultragyors optikai szállítók (fontosabb típusai, felépítésük és működésük).
- Ultragyors optikai parametrikus oszcillátorok (OPO).
- Konfokális és nemlineáris (2P, SHG, CARS, stb) 3D mikroszkópok felépítése, működésük.
- Nemlineáris mikroszkópok néhány jellemző alkalmazása az agykutatásban, a bőrgyógyászatban és a farmakológiában.
- Fluoreszcencia élettartam mérésen alapuló képalkotó rendszerek (FLIM) felépítése és néhány fontosabb alkalmazása az élettudományok területén.

Ajánlott irodalom:

U. Keller: Ultrafast Lasers (Springer Nature, 2021)
H.A.Macleod: Thin Film Optical Filters (Taylor&Francis, 2001)
G.P. Agrawal: Nonlinear Fiber Optics (Academic Press, 2001)
A. Diaspro: Confocal and two-photon microscopy (Wiley-Liss, 2002)

3.4 Tudóstanár képzés program

3.4.1 Optikai tervezőprogramok használata az oktatásban (Turnár Szabolcs)

- Ismerkedés a felhasználói felülettel (TracePro és GeoGebra)
- Objektumdefiníció és szerkesztés
- Felületek és közegek tulajdonságai, Boolean műveletek
- A mátrixoptika elemei, elméleti alapok
- Sugárkövetés (egyszerű és komplex optikai pályák szimulációja, hibaellenőrzés, követési pontosság beállítása)
- Fénytörés és visszaverődés sík és görbült felületekről, többszörös visszaverődés és szóródás
- Lencsék és lencsehibák
- Fényterjedés változó törésmutatójú közegben, a gradiens törésmutató
- Rezonátorok modellezése
- Kausztikák
- Kitekintés más optikai tervezőprogramokra (OSLO, Beam4, Zemax)

Ajánlott irodalom:

https://lambdare.com/hubfs/TracePro_User_Manual.pdf

Warren J. Smith: "Modern Optical Engineering – The Design of Optical Systems" (McGraw-Hill, 4th ed., 2007)

J. E. Greivenkamp: "Field Guide to Geometrical Optics" (SPIE Press, 2004)

3.4.2 A fizikatanítás története Magyarországon és világszerte (Pálfalvi László)

- A fizikaoktatás fejlődése Magyarországon és világszerte az elmúlt 50 évben
- A magyar fizikaoktatás főbb központjai és műhelyei az elmúlt 50 évben
- A fizika népszerűsítése régen és ma, a társulatok szerepe, média
- A felvételi rendszer alakulása
- Híres magyar kísérletezők és módszertani újítók
- A fizikatanítás korszerűsítése
- Fizika versenyek és a tehetséggondozás profiljának alakulása hazánkban és világszerte
- A tantervi változások és oktatáspolitikai döntések hatása: a Nemzeti Alaptantervek (1995, 2003, 2020) fizika tantárgyra gyakorolt hatásai
- Gyakorlati kihívások

Ajánlott irodalom:

P. Tibor: A magyar fizikaoktatás története a 20–21. században (Budapest: Akadémiai Kiadó, 2020)

B. Varga: Öveges József és a magyar fizikaoktatás megújítása (Typotex, Budapest, 2018)

Sas Elemér: Fizika az iskolatévében és a képernyőn (Műszaki Könyvkiadó, 1995)

3.4.3 Analógiák a fizikában (Pálfalvi László)

- Az analógiák szerepe a gondolkodásban és problémamegoldásban
- Fogalmi és strukturális analógiák a fizikában
- Matematikai leírásban alkalmazott analógiák
- Haladómozgás és tengely körüli forgás közti analógiák
- A harmonikus rezgés analógiái (optika, elektromágnesség)
- Csillapított és kényszerrezgések és analógiák (elektromágnesség)
- Analógiák a Fermat-elvre
- Radioaktív bomlás és analógiák
- Az elektrosztatikus és gravitációs mezők analógiái
- Sebességgel és annak különböző hatványaival arányos közegeellenállási erő és a lineáris és többfotonos abszorpció analógiái
- Az inga anharmonicitása és a nemlineáris optika
- A Schrödinger-egyenlet és a paraxiális Gauss-nyaláb

Ajánlott irodalom:

G. B. Arfken, H. J. Weber, *Mathematical Methods for Physicists*, 7th Edition, Academic Press, 2013.
D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentals of Physics*, 10th Edition, Wiley, 2013.
Feynman, R. P., *The Feynman Lectures on Physics*, Volume 1-3, Basic Books, 2011.

3.4.4 A fizika tanítása I. (Pálfalvi László)

- A fizika központi szerepe a természettudományos műveltség és gondolkodás formálásában; a fizika mint integráló diszciplína a STEM oktatásban.
- A fizikatanítás pedagógiai alapjai: tanuláselméleti háttér, tanári szerepek, motivációs és aktivizáló stratégiák a fizikaórán.
- A fizikai fogalmi rendszer szerkezete és építkezése: kulcsfogalmak (pl. tömeg, erő, energia, hőmérséklet) pontos definiálása és tanulási nehézségei.
- Induktív és deduktív gondolkodásmód a fizikai ismeretek közvetítésében; a tudásépítés logikai modelljei a tanítás szolgálatában.
- A szemléltetés módszertana a 21. században: digitális vizualizáció, szimulációk, interaktív demonstrációk szerepe a megértésben.
- A matematika mint a fizika nyelve: a matematikai formalizmus közvetítése, és ennek nehézségei a tanulók számára.
- Az axiomatikus és strukturális megközelítés beemelése a közoktatási tartalmakba: mikor, hogyan, milyen mélységben?

Ajánlott irodalom:

Arons, A. B. (1997). *Teaching Introductory Physics*. Wiley.

Füzfa Balázs (2019): *A fizika tanításának pedagógiája*. ELTE Eötvös Kiadó.

Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688.

3.4.5 A fizika tanítása II. (Pálfalvi László)

- A fizika tantárgy sajátosságai: komplexitás, elvontság, reprezentációs rétegek. A tanítási stratégiák kiválasztása és adaptálása különféle tanulói csoportokhoz.
- A megmaradási törvények mint a fizikai gondolkodás rendszerszintű szervező elvei: impulzus-, energia- és töltésmegmaradás, ezek tanításának módszertani elvei.
- Kifejezetten nehezen tanítható és absztrakt fogalmak: inerciarendszer, hullámok, a termodinamika II. főtétele, entrópia, speciális relativitáselmélet – didaktikai kihívások és kezelési stratégiák.
- A tanulói félreértések és alternatív koncepciók kezelése: kutatási eredmények és beavatkozási lehetőségek.
- A fizika nyelve és reprezentációs készlete: grafikus megjelenítés, matematikai szimbolika, analógiák és metaforák használata az oktatásban.
- A tudománytörténet és tudományfilozófia szerepe a fizika tanításában: kontextus és reflektivitás erősítése.
- Korszerű értékelési módszerek: formatív értékelés, alternatív értékelés, konceptuális diagnosztika, portfólió.
- Nemzetközi trendek és keretrendszer (pl. IB, NGSS) – tanulságok a hazai gyakorlat számára.
- A tanári fejlesztő munka lehetőségei doktori szinten: tananyagfejlesztés, tanítási kísérletek, oktatáskutatói eredmények hasznosítása.
- A fizika tanítása a digitális és multimodális tanulási környezetekben.

Ajánlott irodalom:

Knight, R. D. (2004). *Five Easy Lessons: Strategies for Successful Physics Teaching*. Addison-Wesley.

Varga Péter (szerk.) (2020): *Fizikaoktatás a 21. században – Elméletek, trendek, gyakorlatok*. Typotex.

McDermott, L. C., & Redish, E. F. (1999). Resource Letter: PER-1: Physics Education Research. *American Journal of Physics*, 67(9), 755–767.

3.4.6 Fizikaversenyek és tehetséggondozás (Pálfalvi László)

- A tehetség fogalma, összetevői, fejlesztésének lehetőségei
- A tehetséggondozás szervezeti keretei, tehetséggondozó műhelyek
- Tehetséggondozás az általános iskolától az egyetemig
- Hazai fizikaversenyek régen és ma (a regionálisaktól a legrangosabbakig)
- A versenyek mögött álló szervezetek
- A Középiskolai Matematikai Lapok
- A Nemzetközi Fizikai Diákolimpia és története
- Nemzetközi Fizikaversenyek, versenyek és tehetséggondozás világszerte
- Az Európai Fizikai Diákolimpia
- Diákolimpiai Felkészítő szakkörök, válogatóversenyek
- Mérés a versenyeken

Ajánlott irodalom:

<http://www.leowypecs.hu/mikola/fordulok.html>

<http://eik.bme.hu/~vanko/fizika/eotvos.htm>

<http://eik.bme.hu/~vanko/fizika/ipho.htm>

3.4.7 A problémaközpontú fizikatanítás (Pálfalvi László)

- A problémamegoldás elmélete és modelljei
- Feladatok didaktikai szerepe a fizika oktatásában
- Matematikai eszközhasználat a fizikai problémák megoldásában
- A dimenzióanalízis
- Kreatív gondolkodás és intuícia a fizikai feladatmegoldásban
- Analógiákra épülő problémák
- Speciális fogások a problémamegoldásban (koordináta-transzformációk, szimmetriaelvek, elemekre bontás, konform leképezés)
- Valós életből vett problémák
- Szimulációk és numerikus modellek szerepe a feladatmegoldásban
- Kooperatív problémamegoldás
- Feladatmegoldás és tudományos érvelés

Ajánlott irodalom:

Polya, G. (1945). How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method. Princeton University Press.

Heller, P., Keith, R., & Anderson, S. (1992). "Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving." American Journal of Physics, 60(7), 627-636.

Radnóti K. (2014). Gondolkodtató feladatok a fizikatanításban. ELTE Eötvös Kiadó.

3.4.8 Cselekvésközpontú fizikatanítás I. (Schnider Dorottya)

- Cselekvésközpontú fizikaoktatás – általános pedagógiai és módszertani alapok
- Cselekvésközpontú tehetséggondozás (IYPT, adatelemző verseny stb.)
- Kompetenciafejlesztő fizikatanítás
- Gondolkodásfejlesztő elméleti, játékos fizikafeladatok
- Fizika szabadulósobák
- Projektalapú fizikaoktatás
- Fordított osztályterem
- Számonkérés és értékelés – természettudományos operátorok

Ajánlott irodalom

Schnider, D. (2022). Változatos munkaformák, gondolkodást fejlesztő játékos feladatok a fizikaórán. Új Pedagógiai Szemle. 72(9-10), 98-115.

Schnider, D. és Hömőstrei, M. (2021). Kompetenciafejlesztő fizikatanítás. Fizikai Szemle. 71(12), 421-429.

Hunya, M. (2009). Projekt módszer a 21. században I. Új Pedagógiai Szemle, 11. sz. 75-96.

Larmer, J. & Mergendoller, J. R. (2010). The Main Course, Not Dessert. How Are Students Reaching 21st Century Goals? With 21st Century Project Based Learning. Buck Institute for Education. <https://files.ascd.org/pdfs/onlinelearning/webinars/webinar-handout1-10-8-2012.pdf>
Faletic, S. et al. (2021). YPT Toolkit – A guide for implementing YPT-inspired activities in class and prepare teams for YPT competitions. <https://fiztan.phd.elte.hu/files/kiadvanyok/Projektfeladatok.pdf>

3.4.9 Cselekvésközpontú fizikatanítás II. (Hömöstre Mihály)

- Tanulói mérések, a megismerés módszerei, adatelemzés és értékelés
- Képek és videók a fizikaórán. Kép-és videóelemző feladatok
- Hangelemzés
- Szimulációk alkalmazása a fogalomalkotás és a gyakorlás során (Phet, Vascak, stb.)
- Okostelefon a fizikaórán (tanulói videótól a Phyphoxig)
- Differenciálegyenletek Excelben
- Python
- Kompetenciafejlesztés Arduinóval

Ajánlott irodalom

Schnider, D. és Hömöstre, M. (2021). Kompetenciafejlesztő fizikatanítás. Fizikai Szemle. 71(12), 421-429.
Schnider, D. & Hömöstre, M. (2024). Arduino-supported kinematics measurements. Physics Education. 59(5). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ad672a>
Banda, H. J. & Nzabahimana, J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. Physical Review Physics Education Research. DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108
Carroll, R. & Lincoln, J. (2020). Phyphox app in the physics classroom. Phys. Teach. 58. <https://doi.org/10.1119/10.0002393>
Fauzi, A. (2017). Integrating numerical computation into the undergraduate education physics curriculum using spreadsheet excel. J. Phys.: Conf. Ser. DOI 10.1088/1742-6596/909/1/012056
Srnc, M. N., Upadhyay, S. & Madura, J. D. (2017). A Python Program for Solving Schrödinger's Equation in Undergraduate Physical Chemistry. Journal of Chemical Education. 94(6). <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.7b00003>

3.4.10 Differenciálegyenletek és alkalmazásaik a fizikában (Pap Margit)

- Bevezetés a differenciálegyenletekbe: Egyszerű differenciálegyenletek és fizikai példák. Lineáris és PTE Minőségpolitika referenciák: nemlineáris differenciálegyenletek Kezdeti és peremérték-feladatok.
- Első, másodrendű, magasabb rendű differenciálegyenletek.
- Lineáris differenciálegyenletrendszerek.
- Sajátértékproblémák és operátorok
- Parciális differenciálegyenletek (PDE-k)
- Speciális függvények és transzformációs módszerek differenciálegyenletek megoldásánál
- Fizikai alkalmazások és numerikus módszerek

Ajánlott szakirodalom

Boyce, W. E., DiPrima, R. C.: Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems, Wiley, 2017.
Strauss, W. A.: Partial Differential Equations: An Introduction, Cambridge University Press, 2008.
Arfken, G. B., Weber, H. J.: Mathematical Methods for Physicists, Elsevier, 2012.
Eisner Tímea, Differenciálegyenletek, Jegyzet, Pécsi Tudományegyetem, 2011 https://tamop412a.ttk.pte.hu/files/diffeqyenletek_vegleges_2011_06_28.pdf
D. Curran, A. Sövegjártó, L. Szili and M. Vicsek, Numerical Solutions of Ordinary Differential Equations, (Initial Value Problems) 1997, 167 oldal https://numanal-old.inf.elte.hu/~szili/Okt_anyag/Num_Sol_ODE.pdf

3.4.11 Valószínűségi számítás és statisztikai elemzések és alkalmazásaik a fizikában (Hetesi Zsolt)

- Valószínűségszámítás alapjai. Különböző típusú valószínűségi eloszlások (normál, Poisson, binomiális stb.) Feltételes valószínűségek, Bayes-tétel és alkalmazásai.
- Statisztikai módszerek Deskriptív statisztika: átlag, szórás, variancia, korreláció. Mintavétel, szóródás és megbízhatósági intervallumok.
- Becslés: pontbecslés, intervallumbecslés. Hipotézisvizsgálat: nullhipotézis és alternatív hipotézis, p-érték, statisztikai szignifikancia.
- Statisztikai modellezés a fizikában Legkisebb négyzetek módszere és alkalmazása fizikai kísérleti adatok modellezésére. A Monte Carlo szimulációk alkalmazása fizikai rendszerekben. Sztochasztikus folyamatok és azok alkalmazása a fizikai és kvantummechanikai rendszerekben.
- Alkalmazások a fizikába

Ajánlott irodalom:

Keller, E. L., & Roberts, T. W. (2013). Statistics for Physicists. Springer.
 Rice, J. A. (2007). Mathematical Statistics and Data Analysis (3rd ed.). Duxbury Press.
 Bovenschen, T. F. (2014). Principles of Statistical Physics. Springer.
 Schulz, W. (2020). Statistical Methods in Quantum Physics. Springer.