

**A Debreceni Egyetem  
FIZIKAI TUDOMÁNYOK  
doktori iskolája  
szigorlati tárgyainak  
tematikái**

**2018.**

---

Vezető: Dr. Trócsányi Zoltán, az MTA tagja,  
egyetemi tanár

---

Debreceni Egyetem Kísérleti Fizikai Tanszék  
Cím: 4026 Debrecen, Bem tér 18/a  
Postacím: 4010 Debrecen, Pf. 105.  
Telefon: +36-52-509-201, fax: +36-52-509-258  
Elektronikus levél: z.trocsanyi@atomki.hu  
URL: <http://dragon.unideb.hu/~physphd/>

---

Főtárgyak.....	3
1. Atom- és molekulafizika.....	4
2. Komplex rendszerek fizikája.....	5
3. Környezetfizika.....	7
4. Magfizika.....	9
5. Napfizika.....	11
6. Részecskefizika.....	12
7. Szilárdtestfizika és anyagtudomány.....	13
Melléktárgyak listája.....	14

Szerkesztette:  
Dr. Kunné Sohler Dorottya

Debrecen, 2018. április 12.

# Főtárgyak

(tematikák mellékelve)

1. Atom- és molekulafizika
2. Komplex rendszerek fizikája
3. Környezetfizika
4. Magfizika
5. Napfizika
6. Részecskefizika
7. Szilárdtestfizika és anyagtudomány

# 1. Atom- és molekulafizika

1. **Egyelektronos atomok:** a hidrogénatom Schrödinger-egyenlete, energianívök, kötött és folytonos állapotok várható értékek, hidrogénszerű ionok. Dirac-egyenlet, relativisztikus korrekciók.
2. **Többelektronos atomok:** többelektronos atomok Schrödinger-egyenlete, Pauli-elv, Slater-determinánsok, a független-részecske modell, gömbszimmetrikus közelítés, Thomas-Fermi modell, Hartree-Fock és önkonzisztens tér módszer, L-S és j-j csatolás, elektronkorreláció, konfigurációs kölcsönhatás, sűrűség-funkcionál módszerek. Kéteelektronos atomok alap és gerjesztett állapotai, kétszeresen gerjesztett állapotok, Auger-effektus. Az atomfizikai szerkezeti számítások kísérleti ellenőrzése, foton- és elektronspektroszkópia alapvető kísérleti módszerei.
3. **Atomok kölcsönhatása az elektromágneses térrel:** az elektromágneses tér és kölcsönhatása az egyelektronos atomokkal, átmeneti valószínűségek, dipólus közelítés, Einstein-együtthatók, kiválasztási szabályok, vonalszélességek és élettidők, Finomszerkezet, Zeeman-effektus, Stark-effektus, Lamb-eltolódás, többelektronos atomok kölcsönhatása az elektromágneses térrel.
4. **Atomi ütközések:** alapfogalmak, potenciálszórás, parciális hullámok, Born-közelítés. Rugalmatlan szórás, elektronok szóródása atomokon, gerjesztés, ionizáció, rezonanciák. Ion-atom és atom-atom ütközések, ionizáció, elektronbefogás. Ütközési folyamatok kísérleti azonosítása.
5. **Molekulafizika:** az elektronok és az atommagok mozgásának szétválasztása, kétatomos molekulák forgási, rezgési és elektron-állapotai, az elektronállapotok szimmetriatulajdonságai. A hidrogénmolekula. Alapvető molekulaszékezeti számítási módszerek, a molekulapálya módszer, a vegyértékkötés módszer. Sokatomos molekulák, forgási rezgési és elektronállapotai, az elektronállapotok szimmetriatulajdonságai. A molekulaszékezet kísérleti vizsgálatának alapvető módszerei.

## Ajánlott irodalom

- B. H. Bransden and C. J. Joachain: Physics of Atoms and Molecules, Longman Scientific & Technical, England 1988
- H. A. Bethe and E. E. Salpeter: Quantum Mechanics of One- and Two-Electron Atoms, Plenum Rosetta, New York, 1977.
- H. Friedrich: Theoretical Atomic Physics, Springer-Verlag, 1990.
- H. Haken and H. C. Wolf: Atomic and Quantum Physics, Springer-Verlag, 1991.
- M. Weissbluth: Atoms and Molecules, Academic Press, 1978.
- Kapuy E és Török F.: Az atomok és molekulák kvantumelmélete, Akadémiai Kiadó Budapest, 1975.
- M. R. C. McDowell and J. P. Coleman: Introduction to the Theory of Ion-Atom Collisions, Am. Elsevier, New York, 1970.
- B. H. Bransden and M. R. C. McDowell: Charge Exchange and the Theory of Ion-Atom Collisions, Oxford Univ. Press (Int. Series of Monographs on Physics No. 82). Clarendon Press, 1992.
- Válogatott fejezetek a C. Marton (Ed.): Methods of Experimental Physics, Academic Press, New York kötetéből

## 2. Komplex rendszerek fizikája

1. **Térbeli struktúrák**, fraktálok, fraktáldimenzió. Fraktálok osztályozása. A fraktáldimenzió meghatározásának numerikus módszerei. Fraktál felületek. Multifraktálok, dimenzió spektrum.
2. **Idősorok analízise**, átlagos fluktuációs függvény, simítás, szezonális és trendelemzés. regresszió. Korrelációs függvények. Diszkrét Fourier transzformáció. Becslés és előrejelzés. Több-dimenziós idősorok. Szintetikus idősorok előállítása.
3. **Fázisátalakulások és kritikus jelenségek**. Első és másodrendű fázisátalakulás. Kritikus exponensek. Átlagtér elmélet. Kadanoff blokk-transzformáció, renormálás. Fázisátalakulás az Ising modellben.
4. **Véges hőmérsékletű rendszerek** Monte Carlo (MC) szimulációja. Metropolis algoritmus, Glauber dinamika. Az Ising model MC szimulációja. Hisztogram módszerek. COP Ising modell, Kawasaki dinamika.
5. Monte Carlo szimuláció **a kritikus pont** közelében. Kritikus exponensek numerikus meghatározása. Kritikus lelassulás, a Swendsen-Wang algoritmus. Véges-méret skálázás. Kinetikus MC szimuláció.
6. **Molekuláris dinamikai szimuláció** (MD). Differenciálegyenletek numerikus megoldásának módszerei, Euler, Runge-Kutta, Verlet és Prediktor-Korrektor módszerek, hibanalízis, stabilitás. MD szimuláció felépítése, optimalizálása. Határfeltételek.
7. **Komplex hálózatok** és matematikai reprezentációjuk, gráfok, metrika. Hálózati modellek, véletlen, kisvilág és skála-független hálózatok, algoritmusaik. Perkoláció és terjedési jelenségek hálózatokon.
8. **Káosz**. Mozgásegyenlet fixpontja és határciklusa, stabilitási tulajdonságaik. Lyapunov exponens. Bifurkáció. Káosz kialakulásának szükséges feltételei. Lorentz modell. Diszkrét leképezések.
9. **Dinamikai instabilitás hajtott disszipatív rendszerekben**, lavina effektus, önszervezés. Az önszervezett kritikus állapot kialakulásának szükséges feltételei, a kritikus állapot jellemzői. Homokdomb, erdőtűz, és evolúciós modellek. Földrendések fenomenológiája.
10. **Komplex rendszerek sejtautomata modelljei**. Automaták Wolfram féle osztályozása, totalisztikus és konzervatív dinamikák. Sztochasztikus automaták és rács-gáz modellek. Ügynök alapú modellezés. Kollektív viselkedés.

### Ajánlott irodalom

- K. Christensen and N. R. Moloney, *Complexity And Criticality* (Imperial College Press Advanced Physics Texts, 2005).
- H. Jensen, *Self-Organized Criticality* (Oxford University Press, 1997).
- M. E. J. Newman and G. T. Barkema, *Monte Carlo Methods in Statistical Physics* (Oxford University Press, 1999).
- Denis Rapaport, *The art of molecular dynamics simulations* (Cambridge University Press, 2000).

- M. E. J. Newman, *Networks: An Introduction* (Oxford University Press, 2008).
- Gulácsi Zsolt, *Fázisátalakulások*, egyetemi jegyzet (Debreceni Egyetem).

### 3. Környezetfizika

1. **Jólét és energia;** Az energiafelhasználás és az energiaforrások felhasználásának, mennyiségének trendje, fogalmi. Az egyes energiaforrásokban tárolt energia fizikai leírása, és mennyisége. Az energiaforrások képződésének és felhasználásának fizikai folyamatai (az energia megmaradásának tükrében), környezeti hatásai, veszélyei. Kockázat természetes és antropogén folyamatokban.
2. A **klímát befolyásoló tényezők**, (üvegházhatású gázok, aeroszol, ózon, stb). A Föld sugárzási mérlege. Klímamodellek, klímaelméletek – IPCC modellek. Levegőszennyezők terjedésének távérzékelése. Az optikai mélység fogalma. Passzív és aktív távérzékelés. Paleoklíma és indikátorai.
3. **Légköri aeroszol:** forrásai, keletkezése, méreteloszlása, terjedése, fizikai és kémiai tulajdonságai, szerepe a Föld sugárzási egyensúlyának alakulásában. Egyézségügyi hatások. Aeroszolak detektálása és analízise. Aeroszol-koncentrációk hosszú távú megfigyelése.
4. **Üvegházhatású gázok:** Koncentrációjuk alakulása, mérés technikája; A légköri fosszilis CO<sub>2</sub> mennyiségének alakulása és mérés technikája (<sup>14</sup>C-módszer, CO-módszer, stb.); A CH<sub>4</sub> forrásai a környezetben (emberi- és természetes); A szén-ciklus változásainak detektálása globális megfigyelő hálózatokkal. Ózon: sztratoszférikus ózon, troposzférikus ózon.
5. **Radioaktivitás a légkörben** és környezeti hatásai: Dozimetriai alapfogalmak; Természetes légköri radioaktivitás; Radon; Kozmogén izotópok; Antropogén légköri aktivitás; Légköri nukleáris fegyverkísérletek, Atomerőművek normál üzemi emissziója; Reaktorbalesetek; Szénerőművek radioaktív emissziója.
6. A **radon**, mint természetes radioaktív nyomjelző; forrásai, radontranszport; a radon eljutása a tüdőbe. Tüdőmodellek. A radon és toron a levegőben, vízben mért koncentrációinak mérés technikája.
7. **Felszín alatti lég- és vízmozgások;** Barlangok mikroklímája, mint a környezet állapotának jelzése, terápiai lehetőségek; Felszín alatti vizek; Vizek kormeghatározása (C-14, H-3, Freon, SF<sub>6</sub>, Kr-85, Ar-39 mérés alapján). Átlagos tartózkodási idő hatása a szennyezők lebomlására. Nemesgáz-hőmérséklet.
8. Az atomenergia és a **radioaktív hulladéktárolók kérdésköre.** Atomerőművek generációi és környezeti hatásai. Izotóp-hidrológiai vizsgálatok. Radioaktív hulladékok osztályozása; Többszörös védelem elve; Radiometrikus kormeghatározási módszerek a geológiai védelem szempontjából; Radioaktív hulladéklerakók globális áttekintése.
9. **Megújuló energiák**, napenergia mérleg; Biomassza: környezeti hatások és perspektívák; Vízenenergia: környezeti hatások és perspektívák; Szélenenergia: környezeti hatások és perspektívák; Napenergia: perspektívák. Megújuló energiaforrások összevetése hatékonyság és környezeti hatások szempontjából.
10. **Atomi- és nukleáris kölcsönhatási folyamatok**, fontosabb környezetanalitikai módszerek és kísérleti feltételeik (IBA+XRF módszerek)
11. **A légkör és az óceánok** egyensúlyi rétegzettsége, állapotegyenlet, belső hullámok. Globális energia mérleg. Transzportfolyamatok, globális légkörzés, óceáni transzport, a légkör és óceánok csatolt folyamatai. Áramlások fizikájának alapjai.

12. A környezeti kutatásban használt **tömegspektrometriai módszerek**. Stabilizotóparány eltoldás mérése és alkalmazásai. Gyorsítós tömegspektrometriai módszerek ritka izotópok mérésére és alkalmazásuk a környezetkutatásban. Nemesgáz tömegspektrometria környezetfizikai alkalmazásai. ICP-MS és TIMS módszer és alkalmazásai.

### Ajánlott irodalom

- Boeker, E. and van Grondelle, R.: Environmental Physics, John Wiley & Sons, Chichester, 1995.
- ICCP 3<sup>rd</sup> Assesment Report.
- Protecting the Earth's Atmosphere, An International Challenge, Interim Report of the Study Commission of the 11<sup>th</sup> German Bundestag "Preventive Measures to Protect the Earth's Atmosphere" Publ. by the German Bundestag, Publ. Sect., 1989.
- Reid, S.J.: Ozone and Climate Change, A beginner's Guide, Gordon & Breach Science Publishers, Australia, 2000.
- Clark, I.D. and Fritz, P.: Environmental Isotopes in Hydrogeology, Boca Raton, CRC press, 1997.
- Ramsey, Charles B., Modarres, Mohammad: Commercial Nuclear Power: Assuring Safety for the Future, BookSurge Publishing 2006.
- Dunai T. 2010. COSMOGENIC NUCLIDES: Principles, Concepts and Applications in the Earth Surface Sciences. Cambridge: Cambridge University Press.
- Berger, A. and Loutre, M.F. 2007. Milankovitch theory and paleoclimate. In (Elias, S. ed) Encyclopedia of Quaternary Science. Amsterdam: Elsevier. Pp. 1017-1022.
- Hertelendi E. 1990. Environmental isotope methods and their applications. Cand. Sci Thesis, Debrecen, Institute of Nuclear Research.
- Radiocarbon after four decades: an interdisciplinary perspective. Eds. Taylor R.E., Long A. Kra R.S. Springer-Verlag 1992, New York, 1-596
- Tuniz, C. (1998). Accelerator Mass Spectrometry. CRC Press. ISBN 0-8493-4538-3.
- Hoefs J., 2004. Stable Isotope Geochemistry (Springer Verlag).
- Dickin A.P., 2005. Radiogenic Isotope Geology (Cambridge University Press).

## 4. Magfizika

1. **Az atommagok alapvető tulajdonságai:** méret, tömeg, kötési energia, paritás, spin, elektromos és mágneses nyomatékok, izospin. (legfontosabb kísérleti tények és értelmezésük)
2. **A magerők, a nukleon-nukleon kölcsönhatás:** magerők általános tulajdonságai, kétnukleon-rendszer, nukleon-nukleon-szóródás és potenciálok, mezontér-elmélet. Az erős kölcsönhatás térelmélete. Alapvető kölcsönhatások.
3. **Sugárzás és anyag kölcsönhatása, magsugárzások detektálása:** töltött részecskék, gamma-sugarak és neutronok kölcsönhatása az anyaggal, gáztöltésű ionizációs detektorok, szcintillációs és Cserenkov-detektorok, félvezető detektorok, nyomdetektorok.
4. **Magfizikai jellemzők mérése, spektrométerek, a dozimetria alapjai:** magtömegek, magsugarak, magnyomatékok és bomlásállandók mérése, alfa- és béta spektrométerek, gamma-spektrometria, a Penning-csapda és a Mössbauer-effektus és alkalmazásai, dozimetriai alapfogalmak.
5. **Gyorsítóberendezések:** ionforrások, elektrosztatikus gyorsítók, lineáris gyorsítók, ciklotronok, betatron, nagyenergiájú gyorsítók, tároló gyűrűk, nyalábjellemzők. Radioaktív nyalábok előállítása.
6. **Egyrészecskés állapotok az atommagokban:** mágikus számok, független részecske modell, a héjmodell és kiterjesztései: Nilsson-modell, nagyméretű és törzsnélküli héjmodellek. Ab initio módszerek. Átlagtérelmélet. Effektív kölcsönhatások.
7. **Kollektív állapotok az atommagokban:** Kötési energia, cseppmodell, rezgési és forgási állapotok. Dipólus kollektivitás: a magok fűrtösödése (klaszterizációja). Óriásrezonanciák. Szimmetriák a magokban, a magszerkezetmodellek kapcsolata, a kollektivitás mikroszkopikus magyarázata.
8. **Radioaktivitás, az atommagok alfa- és béta-bomlása:** a radioaktív bomlás törvénye, az alfa- és a béta-bomlás elméleti alapjai, Az alfa- és klaszterbomlás elméleti alapjai. Egzotikus radioaktivitás. Gyenge kölcsönhatás, paritásértés. Gamma-bomlás és elektronkonverzió.
9. **Az atommag-reakciók és modelljeik:** magreakciók típusai és főbb jellemzői (megmaradási törvények, hatáskeresztmetszetek, gerjesztési függvények), direkt reakciók, közbenső atommag képződésével járó magreakciók, nehézion-reakciók, relativisztikus nehézion reakciók. Magreakciók inverz kinematikában.
10. **Az atommaghasadás, a hasadási és a fúziós atommagreaktorok működési elve:** az atommaghasadás főbb jellemzői, termikus-, gyors- és szaporító reaktorok, a fúziós reaktorok elvei.
11. **A magfizika alkalmazásai:** röntgensugár-analízis, aktivációs analízis, Rutherford-visszaszórási spektrometria, mikroszonda. Földtani kormeghatározások, tömegspektrometria. Orvosi alkalmazások.
12. **Magfolyamatok a csillagokban:** a csillagok kialakulása, és fejlődése. Energiatermelési folyamatok. Az elemek szintézise a csillagok és az Univerzum fejlődése során. A Világegyetem evolúciója és talányai: sötét anyag és sötét energia.

## Ajánlott irodalom

- Fényes Tibor: Atommagfizika I. (Debrecen, Debreceni Egyetemi Kiadó, 2009)
- J. Lilley: Nuclear Physics, Principles and Applications (John Wiley & Sons, NY, 2001)
- S.S.M. Wong: Introductory Nuclear Physics, (Wiley & Sons, NY, 1998)
- W.S.C. Williams: Nuclear and Particle Physics (Oxford Science Publications, Oxford, 1991)
- K. Heyde: Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics (IoP, London, 1999)
- S.G. Nilsson and B. Ragnarsson: Shapes and shells in nuclear structure, (Cambridge University Press, 1995)
- W.R. Leo: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments (Springer, Berlin, 1994)
- Ch. Iliadis: Nuclear Physics of Stars (Wiley & Co., NY, 2007)

## 5. Napfizika

1. **A Nap belső szerkezete, helioseizmológia** (Standard napmodell, magreakciók, a Nap neutrínósugárzása. Energiatermelés, napneutrínó-kísérletek. A Nap 3 fő zónája, energia-transzport. Sajátmódusok, k-omega diagram. A hangsebesség és a differenciális rotáció meghatározása, eredmények.)
2. **A konvekció és a differenciális rotáció elmélete** (Konvektív instabilitás, keveredési-hossz-elmélet, statisztikai elméletek, túllövés. Granuláció észlelt jellemzői. A differenciális rotáció eredete és észlelt jellemzői. Tachoklína.)
3. **Magneto-hidrodinamika, MHD hullámok** (Alapegyenletek és levezetésük a Maxwell-Vlaszov-egyenletekből. Az egyenletek és a megmaradási tételek kapcsolata. Befagyás, mágneses erők. Alfvén-hullámok, magneto-akusztikus és magneto-nehézségi hullámok. Csőhullámok. MHD diszkontinuitások.)
4. **Dinamóelmélet** (Dinamó fogalma, antidinamó-tételek. Átlagtér-elmélet, alfa-effektus, alfa-omega dinamó. A Nap mágneses tere és ciklikus változásai. A szoláris dinamó modelljei. Dinamóhatás bolygókban.)
5. **Erőmentes mágneses tér** (Potenciáltér, lineáris és nem lineáris erőmentes tér jellemzői. A helicitás szerepek. Szabad mágneses energia. Eruptív jelenségek szerepe a napkorona energia- és helicitás-mérlegében.)
6. **Naptevékenységi jelenségek a fotoszférában és eredetük** (Napfoltok, napfáklyák észlelt jellemzői, eloszlásuk, statisztikáik, modelljeik. Mágneses fa-kép, fluxusfeltörési modellek.)
7. **Naptevékenység a kromoszférában és koronában** (Protuberanciák típusai, modelljei. Mágneses rekonnexió, napkitörések, koronakilövellések (CME-k). Kapcsolatuk a napfelszín más jelenségeivel. A Nap rádiósugárzása. A kromoszféra és korona fűtésének problémája.)
8. **A napfizika megfigyelési módszerei** (Naptávcsövek jellemzői, típusai. A legnagyobb naptávcsövek egyedi ismertetése. Szoláris űrobszervatóriumok. A fény polarizációja és napfizikai alkalmazásai.)
9. **A naptevékenység földi hatásai** (Napkitörések földi hatásai. Mágneses viharok: mechanizmus, hatások, előre jelezhetőség. Felsőléggörri hatások. Éghajlati hatások. Forbush-hatás, a naptevékenység rekonstrukciója. Koronakilövellések földi hatásai, űridőjárás. Mindezek kísérleti vizsgálata űreszközökkel és a Földön.)

## 6. Részecskefizika

1. **Szimmetriák és megmaradó mennyiségek**, Noether-tétel. Folytonos szimmetriák és kölcsönhatások. Diszkrét szimmetriák: CPT-szimmetria, paritás-sértés, CP-sértés.
2. **Ábeli és nem-ábeli mértékelméletek**, spontán szimmetriasértés és az ábeli Higgs-mechanizmus.
3. A **standard modell**: a lepton- és kvark-családok és kvantumszámok, kölcsönhatásaik.
4. **Brout-Englert-Higgs mechanizmus** a standard modellben, a mértékbozonok tömegei. A Higgs-részecske tulajdonságai.
5. Ízcserélő semleges áram, **GIM mechanizmus**. A fermionok tömegei, állapotkeveredés, a Cabibbo-Kobayashi-Maskawa mátrix; neutrínók keveredése, oszcillációja.
6. **Neutrínók** forrásai és kísérleti észlelése. A neutrínók tömege és ízrengése, az ízrengés felfedezése. A neutrínók a standard modellben.
7. A **parton-modell**; a hadronok kvark-összetétele és a kvark-kvark kölcsönhatás.
8. A **kvantum-színdinamika**, és kísérleti bizonyítékai. Aszimptotikus szabadság. Hatáskeresztmetszetek becslésének elemei, bizonytalanságai.
9. **Részecskegyorsítók**: Lineáris gyorsító, ciklotron, szinkrociklotron, szinkrotron; Részecskenyaláb irányítása, formálása és hűtése; tároló-gyűrűk és ütközőnyalábok.
10. **Részecskelassulás anyagban**: Foton és elektron energiavesztési mechanizmusai. Nehéz töltött részecskék lassulási folyamatai. A Bethe-Bloch egyenlet relativisztikus és nem-relativisztikus esetben; átlagos ionizációs potenciál és effektív töltés.
11. **Részecskeészlelés**: Ionizációs, proporcionális, sztrimer-, drift- és buborék-kamrák; plasztik-, kristály-, üveg-, folyadék- és gáz-szcintillációs detektorok, scintillációs szálak; félvezető és mikroszalagos (microstrip) detektorok; részecskeazonosítás Cserenkov-detektorokkal; szendvics- és zápor (shower)-detektorok, hodoszkópok, hadron- és müonkaloriméterek.
12. **Adatgyűjtés, -tárolás és -értékelés**: Eseményregisztrálás, trigger-logika, on-line és off-line analízis. Eseményválogatás, kinematikai feltételek (vágások). Szimuláció Monte-Carlo módszerrel, határfok és spektrumalak meghatározása. Függvényillesztés,  $\chi^2$ , statisztikus és szisztematikus hiba, kovariancia és korreláció.
13. **Egy történelmi kísérlet** leírása (pl. a proton szerkezetének feltárása, paritás-sértés felfedezése, CP-sértés kimutatása,  $W^+$  felfedezése, a Z-bozon bomlási szélességének mérése és abból a leptoncsaládok számának meghatározása a LEP-nél).

### Ajánlott irodalom

- D. Horváth, Z. Trócsányi: Introduction to Particle Physics, e-learning textbook <http://falcon.phys.unideb.hu/kisfiz/okts.html>
- F. Halzen, A. D. Martin: Quarks and Leptons, Wiley, New York, 1984.
- D. H. Perkins: Introduction to High Energy Physics, Addison-Wesley, Reading, MA, 1982
- M.E. Peskin, D.V. Schroeder: An Introduction to Quantum Field Theory, Perseus Books, 1995.
- D. Griffiths, Introduction to Elementary Particles, Wiley-VCH, 2009.

# 7. Szilárdtestfizika és anyagtudomány

1. **Kötéstípusok** (Madelung-állandó). Kristálytani alapok, reciprokrács.
2. A potenciálalak hasonlósága és következményei (**megfelelő állapotok**).
3. **Bloch-tétel**, ciklikus határfeltételek.
4. **Diffrakció**, Debye-Waller-faktor.
5. **Rácsrezgések**: fononok, rugalmatlan neutron-szórás.
6. **Elektron-állapotok**: kvázi-szabadelektron modell, Kronig-Penney-modell, Bloch függvények. Wannier függvények, Drude-modell, Sommerfeld-modell, Szemiklasszikus-modell.
7. **Elektromos vezetőképesség** értelmezése; Hőmérsékletfüggés vezetőkre, szigetelőkre, szennyezők hatása.
8. **Szupravezetés. Termoelektromosság. Szilárdtestek optikai tulajdonságai.**
9. **Mágneses tulajdonságok** (dia-, para- és ferromágnesség).
10. **Diszlokációk** és képlékenység.
11. **Ponthibák**: vakanciák, rácsközi atomok. Atomi transzport jelenségek: diffúzió, keresztteffektusok).
12. **Felületi energia**, szerkezet. Szemcsehatárok és fázishatárok szerkezete (DSL, DSC rácscok, relaxációk) és tulajdonságai.
13. **Reguláris szilárdoldat**: rendeződés és kiválás, oldékonyság. Fázis diagrammok.
14. **Felületi és szemcsehatár szegregáció.**

## Ajánlott irodalom

- C. Kittel: Introduction to Solid State Physics, Eighth Edition, John and Wiley, 2005
- J. M. Ziman: Principles of the Theory of Solids, Cambridge, University Press. Third Edition, 1972
- R. W. Cahn, P. Haasen: Physical Metallurgy, North-Holland, Amsterdam, 1983
- P. Haasen: Physical Metallurgy, Third Edition, Cambridge, University Press, 2003
- N.W. Ashcroft and N.D. Mermin: Solid State Physics, Brooks/Cole, 1976

# Melléktárgyak

(tematikák a jelentkezéskor alakítandók ki)

1. Alapvető kölcsönhatások
2. Alkalmazott magfizika
3. Analitikai módszerek a környezetkutatásban
4. Atomfizikai többtest-probléma
5. Atomi ütközési folyamatok leírása és kísérleti azonosítása
6. Atomi és nukleáris mikroanalitika
7. A részecskefizika kísérleti módszerei
8. Dozimetria és terápia
9. Elektromágneses sugárzás emissziója és abszorpciója, optikai spektroszkópia
10. Fázisátalakulások és kritikus jelenségek statisztikus fizikája
11. Felületfizika, vékony rétegek fizikája
12. Gyorsító berendezések fizikája
13. Hullámtan
14. Izotópanalitika
15. Kísérleti magfizikai eszközök
16. Környezeti sugárzás hatásai és dozimetria
17. Kvantumkémia
18. Magmodellek
19. Magreakciók
20. Magspektroszkópia és magszerkezet
21. Nem-egyensúlyi statisztikus fizika
22. Neutronfizika
23. Ötvözetek fizikája
24. Plazmafizika
25. Radioaktív sugárzás detektálása, jelfeldolgozás
26. Radiometrikus kormeghatározási módszerek
27. Rácshibák
28. Rácsdinamika
29. Röntgen- és Auger-elektron-spektroszkópia
30. Szilárdtestek elektromos és mágneses tulajdonságai
31. Szilárdtestfizikai többtest-probléma
32. Szilárdtestkutatás kísérleti módszerei
33. Szimmetriák a kvantumelméletben
34. Szoláris magneto-hidrodinamika