

**A Debreceni Egyetem
FIZIKAI TUDOMÁNYOK
doktori iskolája
komplex vizsga és szigorlat
elméleti részének tematikái**

2026.

Vezető: Dr. Kun Ferenc,
egyetemi tanár

Debreceni Egyetem Elméleti Fizikai Tanszék
Cím: 4026 Debrecen, Bem tér 18/6
Postacím: 4010 Debrecen, Pf. 105.
Telefon: +36-52-509-201, fax: +36-52-509-258
Elektronikus levél: ferenc.kun@science.unideb.hu
URL: <https://physphd.unideb.hu/>

Főtárgyak.....	3
1. Atom- és molekulafizika.....	4
2. Komplex rendszerek fizikája.....	6
3. Környezetfizika.....	8
4. Magfizika.....	10
5. Napfizika.....	12
6. Részecskefizika.....	13
7. Szilárdtestfizika és anyagtudomány.....	15
8. Asztrofizika	17
9. Űrkutatás és űrtechnológia	19
Melléktárgyak listája.....	21

Szerkesztette:
Dr. Oláh László, Kunné Dr. Sohler Dorottya

Debrecen, 2026. február 14.

Főtárgyak

(tematikák mellékelve)

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

1. Atom- és molekulafizika

1. **Egyelektronos atomok:** a hidrogénatom Schrödinger-egyenlete, energianívok, 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. Kételektronos 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 életidők, 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 molekulaszerkezeti számítási módszerek, a molekulapálya módszer, a vegyértékkötés módszer. Sokatomos molekulák, forgási rezgési és elektronállapotai, az elektronállapotok szimmetria-tulajdonságai. A molekulaszerkezet kísérleti vizsgálatának alapvető módszerei.

Ajánlott irodalom

- B. H. Brandsden 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. Brandsden 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 köteteiből

2. Komplex rendszerek fizikája

1. **Térbeli struktúrák**, fraktálok, fraktáldimenzió. Fraktálok osztályozása. A fraktáldimenzió meghatározásának módszerei. Multifraktálok, dimenzió spektrum. Perkoláció, a perkolációs fázisátalakulás, az átkötő klaszter fraktáldimenziója.
2. **Nemegyensúlyi univerzalitási osztályok**, részletes egyensúly feltétele, kritikus dinamikus exponensek, modell-A,B dinamikák, relaxáló és egyensúlytól távoli rendszerek, fizikai öregedés és a fluktuáció-disszipáció tétel, Griffiths effektusok és aktivált skálázás, hajtott rácsgáz rendszerek és felületnövekedés kapcsoltata, nemtriviális reakció-diffúziós osztályok, multi-komponenses rendszerek.
3. **Véges hőmérsékletű rendszerek** Monte Carlo (MC) szimulációja. Metropolis algoritmus, Glauber dinamika. Az Ising model MC szimulációja. Hisztogram módszerek. COP Ising modell, Kawasaki dinamika. Kinetikus MC szimuláció.
4. Monte Carlo szimuláció **a kritikus pont** közelében. Kritikus exponensek numerikus meghatározása. Kritikus lelassulás, a Swendsen-Wang algoritmus. Véges-méret skálázás.
5. **Molekuláris dinamikai szimuláció** (MD). Differenciálegyenletek numerikus megoldásának módszerei, Euler, Runge-Kutta, Verlet és Prediktor-Korrektor módszerek, hibaanalízis. MD szimuláció felépítése, optimalizálása. Határfeltételek.
6. **Komplex hálózatok** és matematikai reprezentációjuk, a gráfelmélet alapjai. Hálózati metrika, összefüggőség, centralitási mértékek. Hálózati modellek, véletlen és kisvilág hálózatok, a konfigurációs modell. Skála-független hálózatok, a preferenciális kapcsolódás. Hálózatok vizsgálatának legfontosabb algoritmusai. Perkoláció és terjedési jelenségek hálózatokon.
7. **Káosz**. Mozgásegyenlet fixpontja és határciklusa, stabilitási tulajdonságai. Lyapunov exponens. Bifurkáció. Káosz kialakulásának szükséges feltételei. Lorentz modell. Diszkrét leképezések.
8. **Fázisátalakulások és kritikus jelenségek**. Első és másodrendű fázisátalakulás. Kritikus exponensek. Átlagtér elmélet. Kadanoff blokk-transzformáció, renormálás. Fázisátalakulás az Ising modellben. Nemegyensúlyi fázisátalakulások. nemegyensúlyi dinamikus osztályok. Harris kritérium. Reakció-diffúziós modellek, irányított perkoláció.
9. **Dinamikai instabilitás hajtott disszipatív rendszerekben**, lavina effektus, önszervezés. Az önszervezett kritikus állapot kialakulásának szükséges feltételei, a kritikus állapot jellemzői. Homokdomb, erdőtüz, és evolúciós modellek. Földrengések fenomenológiája.

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).
- Ódor Géza, *Universality in Nonequilibrium Lattice Systems* (World Scientific, 2008).

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. Egységügyi hatások. Aeroszolok detektálása és analízise. Aeroszol-koncentrációk hosszú távú megfigyelése.
4. **Üvegházhatású gázok:** Koncentrációjuk alakulása, mérés technikája; A légköri fosszilis CO₂ mennyiségének alakulása és mérés technikája (¹⁴C-módszer, CO-módszer, stb.); A CH₄ 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 fegyver kísérletek, Atomerőművek normál üzemi emissziója; Reaktorbalesetek; Szén-erőművek 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, SF₆, 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; Vízenergia: környezeti hatások és perspektívák; Szélenergia: 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 mérése 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, Chicester, 1995.
- ICCP 3rd Assesment Report.
- Protecting the Earth's Atmosphere, An International Challenge, Interim Report of the Study Commission of the 11th 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, helioszeizmológia** (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, keveredéshossz-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 szerepe. 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. Felsőléggöri 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 kvantumszámaik, 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 ízrezgése, az ízrezgés 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, sztrímer-, drift- és buborék-kamrák; plasztik-, kristály-, üveg-, folyadék- és gáz-szcintillációs detektorok, szcintillációs 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, hatásfok és spektrumalak meghatározása. Függvényillesztés, χ^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, rácsközti 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

8. Asztrofizika

Csillagok asztrofizikája / Stellar Astrophysics

1. **A csillagok állapothatározói** (csillagok állapothatározói és összefüggéseik, csillagok belső szerkezete, egyszerűbb csillagmodellek, tömeg-luminozitás reláció, Hertzsprung-Russel diagram) / **Stellar parameters** (stellar parameters and their interrelations, internal structure of stars, simple stellar models, mass–luminosity relation, Hertzsprung–Russell diagram)
2. **Csillagfejlődés és energiatermelés csillagokban** (csillagfejlődés a korai fősorozatig, fősorozati és fősorozat utáni csillagfejlődés) / **Stellar evolution and energy production in stars** (stellar evolution up to the early main sequence, main-sequence and post-main-sequence stellar evolution)
3. **Változócsillagok** (kettősök, foltos-rotálók, pulzálók, instabilitási sáv, eruptív és kataklizmikus változók, gamma-kitörések) / **Variable stars** (binary systems, spotted rotators, pulsating stars, instability strip, eruptive and cataclysmic variables, gamma-ray bursts)
4. **A Nap** (a Nap mint csillag, a napaktívítás, Nap-Föld kölcsönhatások) / **The Sun** (the Sun as a star, solar activity, Sun-Earth interactions)

Csillagközi anyag asztrofizikája / Interstellar Medium Astrophysics

5. **Diffúz anyag az Univerzumban** (galaxisokban, galaxisok körül és között, galaxis halmazokban, összetétel, eloszlás, asztrofizikai jelentőség) / **Diffuse matter in the Universe** (in galaxies, around and between galaxies, in galaxy clusters, composition, distribution, astrophysical significance)
6. **A csillagközi anyag összetevői, fázisai, megfigyelése és eloszlása** (gáz és por, hideg, meleg és forró csillagközi anyag, a hideg csillagközi anyag hierarchikus szerkezete, nevezetes csillagközi felhők és HII zónák) / **Components, phases, observation, and distribution of the interstellar medium** (gas and dust, cold, warm, and hot interstellar medium, hierarchical structure of the cold interstellar medium, prominent interstellar clouds and H II regions)
7. **Dinamikai és kémiai folyamatok a csillagközi anyagban** (hűtés, fűtés, lökéshullámok, turbulencia, csillagkeletkezés, csillagközi kémia sajátosságai) / **Dynamical and chemical processes in the interstellar medium** (cooling and heating processes, shock waves, turbulence, star formation, peculiarities of interstellar chemistry)

Galaxisok / Galaxies

8. **Galaktikus és extragalaktikus környezetünk** (Lokális Csillagközi Felhő, Lokális Buborék, Lokális Spirál Kar, Lokális Univerzum) / **Our Galactic and extragalactic environment** (Local Interstellar Cloud, Local Bubble, Local Spiral Arm, Local Universe)

9. **Csillaghalmazok és asszociációk** (csillagtársulások tulajdonságai, kezdeti tömeg függvény) / **Stellar clusters and associations** (properties, initial mass function)
10. **A Tejútrendszer szerkezete, kémiai összetétele és dinamikája** (a Tejútrendszer fő szerkezeti egységeinek jellemzői és fő folyamatai) / **Structure Chemical Composition and Dynamics of the Milky Way** (properties and processes of the main structural elements of the Milky Way)
11. **A galaxisok típusai és átalakulásaik az Univerzumban** (galaxis morfológia, galaxisok kölcsönhatása és fejlődése, a csillagkeletkezés története, a galaxisok csillagkeletkezési fősorozata) / **Types and processes of galaxies** (Morphological types of galaxies, interactions and evolution of galaxies, the history of star formation, star formation main sequence of galaxies)

Csillagászati méréstechnika / Astronomical measurement technology

12. **A csillagászati megfigyelések típusai és sajátosságai** (EM és részecske sugárzás detektálása, kőzetminták elemzése, gravitációs hullám detektálás, földi mérések korlátai és az űrcsillagászat előnyei) / **Types and peculiarities of astronomical observations** (detecting EM and particle radiation, analysis of samples, detecting gravitational waves, limitations of ground-based observations and advantages of space astronomy)
13. **Csillagászati méréstechnika** (fotometria, spektroszkópia, interferometria, polarimetria) / **Measurement technologies in astronomy** (photometry, spectroscopy, interferometry, polarimetry)
14. **Csillagászati koordinátarendszerek és időmérés** / **Stellar systems of coordinates astronomical methods of time measurement**

9. Űrkutatás és űrtechnológia

A vizsgatárgy az alábbi három tantárgy integrált tudásanyagára épül: Űrtechnológia , Sugárvédelem, Űrszillagászat

A tételek több tárgy ismeretanyagát egyesítik az űrkutatásban alkalmazott űreszközök a misszióknak megfelelő tervezésének és technikai megvalósításának témaköreiben.

- 1. Az űrkörnyezet fizikája és hatása az űreszközök tervezésére**
 - Vákuum és gázkibocsátás (outgassing), Sugárzási környezet, Töltött részecskék és plazma, Mikrometeoritok és űrszemét, Atomos oxigén
- 2. Égi mechanika és pályatervezés**
 - Az űreszközök mozgásának tipikus pályái
 - A felbocsátáshoz, pályamódosításhoz használt eszközök, módszerek.
 - Misszióprofilok, Bolygóközi pályák, Kéttest-probléma
- 3. Hordozórakéták és a rakétameghajtás elmélete**
 - Rakétamozgás alapjai, Folyékony/ szilárd hajtóanyagú rakéták, Többfokozatú rakéták, Indítóhelyek
- 4. Űreszköz-alrendszerek**
 - Villamosenergia-ellátó rendszer (EPS), napelemek, egyéb energiaforrások, tárolás, energiamenedzsment
 - Távközlési rendszer (COM), frekvenciasávok
 - Fedélzeti adatkezelés (OBDH), vezérlés, adatgyűjtés, adattárolás, redundanciák
 - Hőszabályozó alrendszer (TCS)
 - Orientáció- és pályaszabályozó rendszer (AOCS)
- 5. Űreszközök szerkezete, mechanizmusai és anyagtechnológiája**
 - Szerkezeti felépítés, Mechanikai terhelések, Anyagválasztási szempontok, Kompozit anyagok
 - Sugárzásvédelmi megoldások
 - NASA és ESA szabványok, előírások
- 6. Az emberes űrrepülés szempontjai**
 - Történeti visszatekintés, az emberes űrrepülések múltja és jelene
 - A mikrogravitáció hatása az emberi testre, Sugárzási kockázatok, Az űrhajó belső légköre, Hőmérséklet-szabályozás és páratartalom-kezelés, Vízgazdálkodás
- 7. Űrépítészet és űrmezőgazdaság**
 - Kihívások, Holdi és marsi bázisok koncepciói, ISRU (In-Situ Resource Utilization)
 - Növénytermesztés az űrben
- 8. Űrprojekt-menedzsment és a tervezési ciklus fázisai**
 - Űrprojektek fázisai, a kapcsolódó logisztikai és műszaki alapok

- Szabványos projektfázisok, Kulcsfontosságú felülvizsgálatok (Reviews)
- Az űrprogramokat támogató földi műszaki és humán infrastruktúra elemei

9. Távcsovek és csillagászati megfigyelések az űrből

- A légkör hatása a csillagászati megfigyelésekre, Elektromágneses spektrum
- Csillagászat megfigyelések feladatai és eszközei
- Híres űrtávcsövek és missziók

10. Naprendszer-kutatás és bolygóközi missziók

- Hold, Kőzetbolygók, Gázóriások, Külső Naprendszer
- Jelentősebb műszerek és mérési elvek

Ajánlott irodalom:

- W. Ley, K. Wittmann, W. Hallmann: Handbook of Space Technology, Wiley, 2009.
- Spacecraft Systems Engineering by Fortescue, Stark and Swinerd
- Almár I., Horváth A., Both Előd: Űrtan. Springer Hungarica, Budapest, 1996., ISBN: 9638455829
- Ferencz Csaba: Űrtan - Az űrkutatás és gyakorlati alkalmazásai, ELTE Eötvös kiadó 2009. ISBN: 9789 6328 4022 2
- P.R.K. Chetty: Satellite Technology and its Applications, McGraw-Hill 1991. ISBN: 0830696881
- How to live in Space by Colin Stuart; ISBN-13: 978-0-233-00566-9I
- ESA Space Standards: www.ecss.nl

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. Nukleáris asztrofizika
24. Ötvözetek fizikája
25. Plazmafizika
26. Radioaktív sugárzás detektálása, jelfeldolgozás
27. Radiometrikus kormeghatározási módszerek
28. Rácshibák
29. Rácsdinamika
30. Röntgen- és Auger-elektron-spektroszkópia
31. Szilárdtestek elektromos és mágneses tulajdonságai
32. Szilárdtestfizikai többtest-probléma
33. Szilárdtestkutatás kísérleti módszerei
34. Szimmetriák a kvantumelméletben
35. Szoláris magneto-hidrodinamika
36. Mikrotechnológiai eljárások
37. Űrcsillagászat