

A komplex vizsga mindkét melléktárgya a lent felsorolt tárgyak közül kettő-kettő (lehetőleg tematikus kapcsolatban levő) összevonásával választható.

A csillagászat és az űrkutatás aktuális eredményei

1. Napfizika; A Nap belső szerkezete: mag, sugárzási zóna, tachoklína, konvektív zóna, fotoszféra, kromoszféra, korona. A Nap változó jelenségei: granuláció, napfoltok, fáklyák, protuberanciák, stb. A Nap energiatermelése.
2. Planetológia; Föld-típusú bolygók: Merkúr, Vénusz, Föld (Hold), Mars. Jupiter-típusú bolygók és holdjaik: Jupiter (Io, Európa, Ganimedes, Kallisto), Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz. Törpebolygók (Plutó-Charon), a Kuiper-öv és az Oort-felhő, kisbolygók. Űstökösök, meteorok.
3. Csillagfejlődés; Csillagok állapotátározói: fényesség, hőmérséklet, szín (spektrum), tömeg. A Hertzsprung–Russell-diagram. Csillagok születése, fejlődés a fősorozaton és a fősorozat után. Változócsillagok. A csillagfejlődés végállapotai
4. Galaxisok; Tejútrendszer (méretei, típusa, szerkezete, csillagközi anyag), a Lokális Rendszer. Galaxisok osztályozása és fejlődése. Aktív galaxisok (rádiógalaxisok, kvazárok, stb.). Galaxishalmazok, galaktikus rostok, üregek, habszerű szuperszerkezet.
5. Exobolygó kutatás; Az akkréciós korong. Közvetlen megfigyelési módszer (fényképezés). Közvetett megfigyelési módszerek (fedési módszer, asztrometriai módszer, gravitációs mikrolencse hatás, radiális sebességmérés). Magyar eredmények, A Kepler-űrtávcső eredményei.
6. Űrkutatás; Kozmikus sebességek. Az első szputnyik, műholdak. Űrállomások (Szaljut, MIR, Skylab, ISS). Az emberes űrrepülés, a holdraszállás. Napkutató szondák. Bolygókutató szondák (Pioneer, Voyager-1,2, Mariner, Cassini). Jövőbeli tervek (New Horizons, Rosetta, Hold-utazás, Bioszféra-2-Mars-utazás).

Irodalom:

Freedman – Kaufmann: Universe. 8th ed. W.H. Freeman & Co., New York, 2008.
ISBN-13: 978-0-7167-8584-2 ISBN-10: 0-7167-8584-6

<https://www.universetoday.com/>

https://www.sciencedaily.com/news/space_time/astronomy/

<https://www.csillagaszat.hu/>

A fizika történelmi, nagy kísérletei

1. Égi- földi mechanika (Ókori, középkori tudomány és a kísérletei eredmények, Galilei mint a kísérleti természettudomány úttörője, a heliocentrikus világkép kísérleti alapjai, Newton gravitációs törvénye, Cavendish mérése, Eötvös Loránd gravitációs mérései.)
2. A termodinamika kísérleti megalapozása. (Torricelli, Guericke, Boyle-Mariotte kísérletei; hőerőgépek fejlődése, Joule kísérlete.)
3. A fénytan kísérleti alapjai (A fénysebesség mérése, a geometriai fénytan eszközei és jelenségei, Newton prizma-kísérletei, Young történelmi interferencia-kísérlete, Gábor Dénes hologramja, a Michelson—Morley-kísérlet, foto-effektus)
4. Az elektromágnesség történelmi kísérletei (Elektrosztatikai alapkísérletek, a Coulomb-törvény kimérése, alapkísérletek az elektromos árammal, Faraday kísérleti munkássága, elektrokémiai áramforrások, tüzelőanyag-elemek, Jedlik Ányos dinamója.)
5. A modern fizika kísérleti megalapozása (Katódsugarak vizsgálata, e/m mérése, kísérletek röntgen-sugárzással.)
6. Az anyag szerkezetének kísérleti vizsgálata (Az elektronburok energiaviszonyai, spekroszkópia, a Franck--Hertz- kísérlet, a Davisson--Germer-kísérlet, diffrakciós szerkezetvizsgálatok.)

Irodalom:

Simonyi Károly: *A fizika kultúrtörténete*, Gondolat, Bp., 1968

Henry S Lipson: *The Great Experiments in Physics*, Oliver & Boyd, Edinburgh, 1968

Fizikai kísérletek gyűjteménye I. II. III.

(Szerk: Juhász A.) Typotex - Arkhimédész Bt., 1994

<http://metal.elte.hu/~phexp/>

A mikrorészecskék fizikája

1. Az elemi részecskék standard modellje.

Kvarkok és leptonok kvantumszámai, kölcsönhatásaik. Elemi kölcsönhatások és közvetítő részecskéik, Kvarkanyag tulajdonságai a nehézionok ütközési kísérletekből

2. Mi van a protonban?

A kvarkok közötti kölcsönhatás szemléletes modellje, Kvarkbezárás, Kvarkfolyamatok a kozmikus sugárzásban és a béta-bomlásban. Kvarkok tanítási lehetőségei a középiskolában.

3. Elektronneutrínók.

Neutrínóhipotézishez vezető kísérletek, elektronneutrínók, a béta-bomlás három szintje, Napneutrínó-rejtély, neutrínók reakciói a kvarkképben. Természetes és mesterséges elektronneutrínó-források.

4. Müonneutrínók.

Müonneutrínó felfedezéséhez vezető kísérletek. Leptonszám-megmaradás. Gyorsító neutrínóforrások. Neutrínóoszilláció és az erre vonatkozó kísérleti tapasztalatok.

5. Neutrínódetektorok. Reines,- Cowan-, és Davis-féle detektorok működése és eredményeik, napneutrínó detektorok, Cserenkov-típusú neutrínódetektorok, szcintillációs neutrínódetektorok

6. Természetes radioaktivitás. A természetben található bomló izotópok, keletkezéseik, bomlásaik. Radioaktív családok. Radon a környezetben.

Irodalom:

Csanád Máté: Bevezetés a klasszikus és a modern fizikába, Eötvös Kiadó, 2018
ISBN 978-963-463-750-9

Marx György: Atommag-közelben, Mozaik Kiadó, 1996, ISBN 9636970270

A relativitáselmélet alapjai

1. Magyarozza meg a sajátidő és a koordinátaidő közötti különbséget a longitudinális és a tranzverzális Doppler-effektus példáján.
2. Vezesse le a Lorentz-kontrakció képletét az idődilatációból kiindulva.
3. Magyarozza el a gyorsulás-deficit fogalmát. Hogyan kapcsolódik ez a fogalom a tömeg állítólagos sebesség-függéséhez (a mozgási tömeghez)? Változik-e az elektron töltésének és tömegének aránya gyorsításakor?
4. Vezesse le a mozgási energia relativisztikus képletét és értelmezze azt a gyorsulás-deficit fogalmának segítségével.
5. Magyarozza el a tömeg-energia reláció korrekt fizikai jelentését és hasonlítsa össze a széles körben elterjedt hibás értelmezésével.
- 6.. Helyes-e mondani, hogy a relativisztikus jelenségek kétféle megközelítése – az Einstein féle és Lorentz féle – közt kísérletileg különbséget tenni nem lehet?

Irodalom:

Hraskó Péter: A relativitáselmélet alapjai, ELTE Doktori Iskola, 2017 (ld. a peter.hrasko.com honlapot)

Energiatermelés és környezet

1. Az energetika általános kérdései: emberi közösségek energiaigénye, a társadalmak energiaellátásának szükségessége, a modern társadalmak szervezési követelményeinek energetikája, az energiaigények szerkezete rugalmasságának, állandóságának kérdései, az energiatakarékosság lehetőségei és annak szerkezeti összetétele.
2. A jelenlegi energiaellátási rendszer áttekintése, fizikai és földtudományi vonatkozások, környezeti hatások: ásványi források elemzése, az ásványi források alkalmazásának korlátai, környezeti hatásaik, gazdasági gondok velük kapcsolatban, az ásványi források alkalmazásának jövője.
3. A megújuló energiaforrások alkalmazásának fizikai, gazdasági és társadalmi alapjai, környezeti hatásaik: a napenergia közvetlen felhasználása, vízenergia, szélenergia, biotömeg, hullámenergia, geotermikus energia, árapály energia alkalmazási lehetőségei, hosszútávú kilátások.
4. A nukleáris energiatermelés lehetősége és környezeti vonatkozásai: a hasadás fizikájának legfontosabb tényei, a hasadást alkalmazó atomreaktorok felépítése, elvi vázlatuk, a nukleáris fűtőanyag ciklus, a nukleáris energia hasznosításának környezeti vonatkozásai és az atomenergiával kapcsolatos aggályok áttekintése.

Irodalom:

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

http://etananyag.ttk.elte.hu/FiLeS/downloads/EJ-Kiss-Tasnadi_Kornyezetfizika.pdf

David JC MacKay: „Fenntartható energia mellébeszélés nélkül”, Typotex Elektronikus Kiadó Kft. (2011)

D. H. Meadows, D. L. J. Randers, D. Meadows: „A növekedés határai – Harminc év múltán”, Kossuth Kiadó, Budapest, 2005.

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

R. E. Harold, A. Geller: ”Renewable Energy, Second Edition, A First Course”, CRC Press, Taylor & Francis Boca Raton, USA, 2018

[http://karman1.elte.hu/transfer/Renewable_Energy-First_Course\(2018\).pdf](http://karman1.elte.hu/transfer/Renewable_Energy-First_Course(2018).pdf)

Fizika a biológiában

1. Biológiai méret-, idő- és energiaskálák; másodlagos kötések.
2. Az alacsony Reynolds-számok hidrodinamikája; diffúzió, Einstein-törvény, hőmérsékleti aktiváció.
3. Híg elektrolitok; membránpotenciál; ingerületterjedés; biológiai energiaátalakítás.
4. A négylábúak mozgásának biomechanikája.
5. Napsütötte vízcseppes levelek napégésének biooptikája; szárazföldi állatok víz alatti látóterének biooptikája.
6. Poláros fényszennyezés és polarizációs ökológiai csapdák; zebrák, lovak, tarka tehenek, böglyök, poláros bögölycsapdák.

Irodalom:

Derényi Imre: *A biofizika alapjai*, ELTE, 2013

http://derenyi.web.elte.hu/A_biofizika_alapjai.pdf

Horváth Gábor: *Biomechanika: A mechanika biológiai alkalmazásai*. Egyetemi tankönyv, 3. átdolgozott, bővített kiadás, 368 o., ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2009 ISBN 978-963-284-052-9

Egri Ádám, Horváth Gábor, Horváth Ákos, Kriska György: Beégethetik-e napsütésben a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek? Egy tévhitekkel terhes biooptikai probléma tisztázása. I. rész: Napfény forgásszimmetrikus vízcseppek általi fókuszálásának számítógépes vizsgálata. *Fizikai Szemle* 60: 1-10, 2010

Horváth Gábor, Egri Ádám, Horváth Ákos, Kriska György: Beégethetik-e napsütésben a leveleket a rájuk tapadt vízcseppek? Egy tévhitekkel terhes biooptikai probléma tisztázása. II. rész: Napfényes besugárzási kísérletek sima és szőrös leveleken ülő vízcseppekkel. *Fizikai Szemle* 60: 41-49, 2010

Horváth Gábor: *A geometriai optika biológiai alkalmazása: Biooptika*. Egyetemi tankönyv, 400 o., ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2004 ISBN 963-463-651-9

Horváth Gábor, Farkas Alexandra, Kriska György: *A poláros fény környezetoptikai és biológiai vonatkozásai*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2016 ISBN 978 963 312 253 2, p. 485

Fizika a kémiában

1. Kémiai termodinamika; Termokémiai reakciók, reakcióhő, entalpia, Hess-tétel, az égés. A kémiai folyamatok iránya és egyensúlya, potenciálfüggvények (entrópia, szabadentalpia, kémiai potenciál).
2. Kémiai reakciók; Sebességük, a reakciókinetika statisztikus fizikai háttere (Boltzmann-eloszlás), katalízis.
3. Elektrodinamika a kémiában; Ionvegyületek kristályos állapota és vizes oldata. Az áramvezetés mechanizmusa elektrolitokban. Elektrolízis, Faraday törvényei. Galvánelemek, elektródok, standard potenciál, az energia kémiai forrásai (galvánelemek, akkumulátorok, tüzelőanyag-cella működése).
4. Atom és molekulaszervezet; Ionizációs energia, elektron-affinitás, elektronegativitás. Az elemek periódusos rendszere. Elsődleges kémiai kötések, a molekulák alakja, polaritása.
5. Anyagszerkezet; Másodlagos kémiai kötések értelmezése, a kondenzált anyag szerkezete és fizikai tulajdonságok kapcsolata.
6. A kémiai analízis fizikai módszerei; Optikai spektroszkópia (UV-, látható és IR-spektroszkópia), NMR, diffrakciós szerkezet-vizsgálat, tömegspektroszkópia.

Irodalom:

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

Aktuális és régebbi középiskolai tankönyvek, tanári segédkönyvek

Kaotikus mechanika

1. Kaotikus mozgás; A kaotikus mozgás jellegzetességei. Egyszerű kísérletek (húzogató inga, mágneses inga, stb). az egyszerű és a kaotikus mozgás összehasonlítása. Kaotikus és nem kaotikus attraktorok. A káosz alaptípusai.
2. Mozgások számítógépes követése; Mozgásegyenletek szimulálása, A hiba fogalma, algoritmusok. A Runge--Kutta-módszer. Nyilvánosan numerikus programcsomagok. Kaotikus mozgások numerikus szimulációja. Stroboszkopikus és Poincaré-leképezések numerikus meghatározása.
3. Fraktálok; A fraktálok fogalma, a fraktáldimenzió. Egyszerű fraktálok (Koch-görbe, Sierpinski-háromszög, Cantor-halmaz). Összevetített fraktálok. Kövér fraktálok. Milyen fraktálok fordulhatnak elő a káosz egyes típusaiban?
4. Egyszerű mozgások dinamikai jellemzése; Az instabil állapot, hiperbolikus pont, stabil állapot, elliptikus fixpont. A fázistér általános használata. A hiperbolikus pont körüli exponenciális eltávolodás matematikai leírása. a hiperbolikus pont, mint a káosz építőeleme. Stabil és instabil sokaságok.
5. Gerjesztett mozgások; A mozgásegyenlet és fázistere, a stroboszkopikus leképezés. Határciklus. Az instabil határciklusnak megfelelő hiperbolikus pont sokaságai. Magasabb ciklusok. A kaotikus attraktor (végtelen sok instabil ciklus együttese, ill. egyetlen instabil határciklus instabil sokasága).
6. Káosz-jellemzők; Előrejelezhetetlenség, az előrejelzési idő, ill. az átlagos Ljapunov-exponens. A természetes eloszlás. Konzervatív rendszerek káosza. A Laplace-féle determinizmus kritikája. Káosz a társtudományokban (csillagászat, meteorológia, műszaki tudományok). A káosztudomány megjelenése a kultúrában, tipikus félreértések.

Irodalom:

Tél T., Gruiz M.: Kaotikus dinamika, Bevezetés a klasszikus mechanika jelenségein keresztül, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002

Kooperatív jelenségek, interdiszciplináris vonások

1. A ferromágneses anyagokban észlelhető rend-rendezetlenségi fázisátalakulás fenomenológiai bemutatása [1],[2],[3].
2. Az Ising-modell. Az Ising-modellben megjelenő mágneses rend leírására használt rendparaméter. A rendparaméter viselkedése a hőmérséklet függvényében [1],[2],[3].
3. Az Ising-modellben megjelenő rend-rendezetlenségi fázisátalakulás az átlagtér közelítésben [1],[3],[4].
4. A Kuramoto-modell és a fáziskapcsolt oszcillátorok. Rendparaméter, a szinkronizáció mértékének a leírására [5],[6].
5. Rend-rendezetlenség fázisátalakulás a Kuramoto-modellben. A rotátorok közti kapcsolási erősség és a sajátfrekvenciák szórásának a hatása [5],[7],[8].

Irodalom:

- [1] Néda Z., *Kollektív viselkedések* (I rész), előadás slidok.
http://www.phys.ubbcluj.ro/~zoltan.neda/fiztan1_compressed.pdf
- [2] Néda Z., Tyukodi B. és Kacsó Á., *A klasszikus Statisztikus Fizika Alapjai*,
<http://www.phys.ubbcluj.ro/~zoltan.neda/statfiz/stat-fiz.pdf>
- [3] H. Gould and J. Tobochnik, *Thermal and Statistical Physics, Chapter 5*
<http://www.phys.ubbcluj.ro/~zoltan.neda/statfiz/books/Thermal%20and%20Statistical%20Physics%20-%20H.%20Gould,%20J.%20Tobochnik.pdf>
- [4] I. Vilfan, *Statistical Mechanics, Chapter 2, Classical models*
<http://www.phys.ubbcluj.ro/~zoltan.neda/statfiz/books/basic-models.pdf>
- [5] Néda Z., *Kollektív viselkedések* (II. rész), előadás slidok.
http://www.phys.ubbcluj.ro/~zoltan.neda/fiztan-szinkron_compressed.pdf
- [6] Néda Z., Káptalan E., *A sokaság ritmusa*, Fizikai szemle
http://www.epa.oszk.hu/00300/00342/00231/pdf/FizSzem-200909_301-305.pdf
- [7] Néda Z., Ravasz E., Vicsek T. és Y. Brechet, *Vastaps*, Fizikai Szemle
http://real-j.mtak.hu/7117/1/FizikaiSzemle_2000.pdf (4. szám, 2000, 115. oldal)
- [8] The Kuramoto-model
<http://tutorials.siam.org/dsweb/cotutorial/index.php?s=1&p=1>

Környezeti áramlások fizikája

1. A légkör és az óceán összetétele, rétegzettsége (állapotegyenlet, hidrosztatikai egyensúly, a légkör egyensúlya, a Brunt--Väisälä-frekvencia, belső hullámok, hőmérsékleti inverzió, planetáris határréteg, az óceánok rétegzettsége).
2. Globális energiamérleg (napállandó, albedó, felszíni besugárzás, spektrális tulajdonságok, a globális mérleg részfolyamatai, az üvegházhatás elemi modelljei).
3. Globális légkörzés (a transzportfolyamatok hajtóereje, hőmérsékleti konvekció, globális légkörzés cellás szerkezete, a felszíni szélrendszer, szélenergia).
4. Óceáni transzportfolyamatok (szél hajtotta óceáni áramlások, a Nagy Óceáni Szállítószalag).
5. Csatolt óceáni-légköri folyamatok (az Atlanti-Óceán több évtizedes oszcillációi, El Nino- La Nina, part menti fel- és leáramlások, trópusi ciklonok).
6. Áramlások jellemzése (a sebességtér és inhomogenitás jellemzői, skalármezők, a hidrodinamikai időderivált, hőtágulás).
7. Mozgásegyenletek (a dinamikai egyenlet, gravitációs áramlatok, helyi frontok, a kontinuitási egyenlet, az összenyomhatatlan áramlás, a Coriolis-erő, görbületi hatások, a sekélység hatása, Rossby-hullámok).
8. Geosztrofikus áramlások (Rossby-szám, geosztrofikus áramlások homogén közegben, a felszíni alak geosztrofikus áramlásokban, rétegzett közegek, termikus szél, nagy léptékű frontok, kétrétegű közegek, a Rossby-sugár).

Irodalom:

Jánosi Imre, Tél Tamás:

[Bevezetés a környezeti áramlások fizikájába: Légköri, óceáni folyamatok és éghajlati hatásaik](#)

Typotex, Budapest, 2012

Számítógépek alkalmazása a fizika tanítása során

1. A számítógép és az Internet kialakulása, a fejlődés főbb állomásai; Programvezérelt számítógép, a Moore-törvény. Programnyelvek, az Internet kialakulása. Kép-, hang-, videó-feldolgozásban alkalmazott programok, Internet-keresők, -lexikonok, -adatbázisok. Fizikai tárgyú oktatási anyagok a világhálón.
2. Interaktív programok a fizika tanításában; Animáció, szimuláció, virtuális laboratórium. Nevezetes portálok az Interneten. Fájl-formátumok, editáló programok, keretrendszerek. Digitális tananyagok készítéséhez kapcsolódó általános szabályok. A megjelenítés lehetőségei, nehézségei. Intelligens megjelenítő eszközök az iskolai gyakorlatban. Távközlést segítő programok rövid jellemzése. Az online tanítás, számonkérés különböző lehetőségei, módszerei, problémái.
3. Fizikai kísérletek számítógéppel; Számítógép, mint mérőeszköz. Általános alapelvek, szenzorok és interfészek. Fénykapu, folyamatos érzékelők, U-f konverterek, A-D átalakítók. Az ultrahangos helymeghatározás módszere és eszközei. Iskolai kísérletekhez fejlesztett adatgyűjtő rendszerek rövid jellemzése. Hangkártyák általános jellemzői, alkalmazásuk fizikai kísérletekben.
4. Fotó- és videoprogramok; A digitális fényképezőgépek fontosabb paraméterei, felbontási méretek. Animáció-készítés sorozatfelvételekből. Szerkesztő programok. Stroboszkopikus fényképezés. Mikroszkópos fényképezés. A számítógépes vezérlés lehetősége. A VideoPoint, Tracker és a Webcam Laboratory programok általános jellemzése.
5. Infokommunikációs eszközök a fizika tanításában; Digitális tananyagok. A megjelenítés eszközei (Tablet PC, Smartphone). GPS és V-SCOPE működési elvének összehasonlítása. Alkalmazási lehetőségek a kinematika tanításában. Hétköznapi USB-eszközök fizikai kísérletezésben (mikroszkóp, hőmérséklet-szenzor, adatrögzítők, nyomkövetők). Mikrovezérlők, mikroszámítógépek (pl. Arduino, ESP8266, Raspberry Pi) által kínált lehetőségek.
6. Számítógépfizika; A „számítógépfizika” jelentése a tanításban. Feladatok, problémák a kinematika és dinamika köréből. CD-lemez, mint optikai rács. IC-k meghibásodása. Az elektromigráció jelensége. Kísérletek, amelyek háttérét a számítógépes környezet biztosítja. A feladatkészítés új lehetőségei. Feladatkészítés kísérleti eredményekből (illusztrált feladatok).

Irodalom:

- Bérces Gy: Számítógép, Internet a fizika tanításában
<https://dtk.tankonyvtar.hu/handle/123456789/3884>
- Kopasz K.: Számítógéppel segített mérőkísérletek a természettudományok tanításához
<http://doktori.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/1934/>
- Nagy P.: A számítógép felhasználása a modern fizika BSc szintű oktatásában
http://fiztan.phd.elte.hu/kozkinccs/doktorik/ertekezesek/nagy_peter.pdf
- Raffai M.: A hazai számítástechnika története
<http://www.sze.hu/~raffai/org/raffai-infotort.pdf>

Szemléletes kvantumelmélet

1. Az atom szerkezetének megismeréséhez vezető út legfontosabb állomásai (személyekhez kötve, munkájuk rövid értékelése: Stefan--Boltzmann-törvény; Wien-törvény; Stern--Gerlach-kísérlet).
2. Kvantumhipotézis (személyekhez kötve: Feketetest-sugárzás, Planck törvénye; Fotoelektromos hatás; Compton-szórás).
3. Atomi spektrumok jellemzése (személyekhez kötve: Balmer-formula; a hidrogénszerű atomok spektrumának értelmezése a Bohr-posztulátumok és a korrespondencia-elv segítségével; Franck--Hertz-kísérlet.)
4. A kvantumjelenségek matematikai modellje (A mikrovilágra vonatkozó mérések értelmezése. Stern—Gerlach-eszköz. Fizikai állapotok mint a Hilbert-tér vektorai, ket és bra vektorok, ábrázolásuk. Fizikai mennyiségek mint a Hilbert-téren értelmezett operátorok, ábrázolásuk.)
5. A kvantumelmélet alapjai (De Broglie anyaghullám elmélete és a Davisson—Germer-kísérlet, A Schrödinger-egyenlet származtatása és jelentése. A kvantumelmélet posztulátuma. Az állapotvektor időfüggése, spektrális felbontás, sajátértékfeladat. Helyreprezentáció és az állapotfüggvény. A lendület operátora.)
6. Egzaktnul megoldható egydimenziós sajátértékfeladatok (Szabad hullámcsomag. Határozatlansági elv. Dobozba zárt részecske.).
7. Egzaktnul megoldható többdimenziós sajátértékfeladatok (Részecske centrális potenciálban, a szögfüggő egyenlet. Radiális egyenlet, hidrogénszerű ionok. A perdület operátora, sajátértékei.).
8. Szimmetriák a kvantumelméletben (Tértükrözés. Több részecskes rendszerek, Pauli-elv. A periódusos rendszer kvantumelméleti értelmezése.)

Irodalom:

István Nándori, Zoltán Trócsányi: Atomic and Quantum Physics, egyetemi jegyzet

Trócsányi Zoltán: Kvantumelmélet, egyetemi jegyzet

J.J. Sakurai: Modern Quantum Mechanics, Addison Wesley Publishing, 1994