

### Atom-, molekulafizika és kvantuminformatika

1. A Born-Oppenheimer és az adiabatikus közelítés.
2. Az elektron Schrödinger-egyenlet megoldására alkalmas közelítő módszerek. Variációs elv, variációs módszerek. Perturbációs módszerek.
3. Hullámfüggvények. Spinpályák. Antiszimmetrikus hullámfüggvények. Szinglett és tripllett állapotok. Slater-determináns.
4. Hartree-Fock módszer. Az önfenntartó (self-consistent- field, SCF) tér közelítés. Konfigurációs kölcsönhatás módszere. Elektronkorreláció. MRCI és MCSCF módszerek.
5. A maghullámfüggvény propagálása: az időfüggő Hartree és a multikonfigurációs időfüggő Hartree módszerek. A hullámfüggvény alakja, bázisfüggvények. Időfejlődés több elektronállapoton, nemadiabatikus folyamatok.
6. Két és három állapotú atomok. Spin mátrixok, tulajdonságaik és algebrájuk. Spin multiplettek. Léptető operátorok két és három állapotú atomokra.
7. A lineáris harmónikus oszcillátor. Léptető operátorok algebrája. Mátrix reprezentáció. A két és három dimenziós izotróp oszcillátorok. Clebsch-Gordan együtthatók.
8. Fény- atom kölcsönhatás. Dipól közelítés. Nem elfajult első- rendű perturbációs korrekció. Spontán emisszió. Stimulált emisszió.
9. Perturbált hidrogén atom. Hidrogén atom elektromos térben. Lineáris Stark-effektus. Hidrogén atom mágneses térben. Zeeman-effektus.
10. Kétállapotú atom kölcsönhatása elektromágneses térrel. Dipól közelítés. Rabi-model. Az RWA (rotating wave approximation) közelítés.
11. A Jaynes-Cummings Hamilton-operátor és megoldása.
12. Qbit fogalma, kvantum kapuk, összefonódás, klónozás lehetetlensége, kvantum teleportáció, szupersűrű tömörítés.
13. Grover algoritmus: mibenlét, fontosság, megjelölt elem előjelcseréje, átlagértékre vett tükrözési eljárás, Grover ciklus.
14. Shor algoritmus: mibenlét, fontosság, RSA eljárás, nagyszámok két prímszám szorzatára való felbontási stratégiája, Euklideszi algoritmus, kvantum Fourier transzformáció, sorrendcserélési eljárás.

### **Atommag és nukleáris asztrofizika**

1. Sugárzások kölcsönhatása az anyaggal (töltött részecskék fékeződése, gamma-sugárzás gyengülése, neutronok kondenzált anyagban).
2. Detektálás, spektrometria (észlelési módok, statisztika, hatások, érzékenység, idő- és energiafeloldás, gamma-spektrometria).
3. A neutronfizika alapjai (neutronforrások, a detektálás alapfolyamatai, spektrometria: repülési idő, protonmeglökés, fóliaaktiváció).
4. Nukleáris energetika (elvi lehetőségek, maghasadáson alapuló módszerek és megvalósításuk; biztonság, termonukleáris fúzió).
5. A nukleáris technika felhasználási területei (az alkalmazás szabályai, ipari, mezőgazdasági, orvosi biológiai alkalmazások).
6. Neutrínófizika (források, detektálási lehetőségek, tulajdonságok meghatározása, neutrínócsillagászat és eredményei).
7. Csillagászati alapok, észlelési módszerek, az elemek előfordulási arányai, izotóp-anomáliák.
8. A csillagfejlődés korai szakaszainak magfizikai aspektusai: hidrogénégés, héliumégés, pp-lánc, CNO-ciklus, napmodell.
9. Nukleoszintézis a csillagfejlődés késői szakaszai során: szupernóvák, neutroncsillagok, fekete lyukak.
10. A nehéz elemek szintézise: r-folyamat, s-folyamat, p-folyamat.
11. Az asztrofizikai S-faktor, és meghatározásának kísérleti módszerei.
12. A laboratóriumi háttér forrásai és a háttér csökkentésének módszerei.

### **Komplex rendszerek és statisztikus fizika**

1. Fázis fogalma, a termodinamikai potenciál fázisátalakulások leírásában játszott szerepe, Ehrenfest féle osztályozás, Gibbs féle fázisszabály, hosszútávú térbeli rendezettség, fázisátalakulás egy dimenzióban.
2. Fluktuációk szerepe, négyzetes lokális fluktuációk hatása, korrelációs függvények viselkedése, dimenzió szerinti függés, alsó és felső kritikus dimenzió, Mermin-Wagner tétel.
3. Folytonos szimmetria és mérték szimmetria együttes sérülése, Goldstone és mérték bozonok, vektorpotenciál viselkedése szupravezetőben, Meissner effektus, nyugalmi tömeges foton szupravezetőben, Higgs bozon, Higgs mechanizmus, szupravezetők esetében.
4. Folytonos fázisátalakulás, rendparaméter, Ginzburg-Landau termodinamikai potenciál, fázisátalakulások Landau elmélete.
5. Kadanoff blokkolás, kritikus tartomány fogalma, statikus skálatörvény, kritikus exponensek, skálatörvények első és második csoportja, szigorú értelemben vett kritikus exponensek és skálatörvények.
6. Renormálási csoport, folyási görbék, fixpontok, fázisátalakulásokkal vett kapcsolat, kritikus fixpont, kritikus felület, releváns irreleváns és marginális mennyiségek, linearizálás a fixpontok körül, renormálás az  $r$  és  $k$  térben.
7. Hálózatok osztályozása. Gráfelméleti alapok, egyszerű, multi, irányított és súlyozott gráfok. Irányított hálózatok, az együttlédzettségi és a bibliográfiái csatolás. Páros gráfok és egymódusú vetületeik. Hálózatok szerkezeti jellemzői.
8. A centralitás mértékei. A fokszám, közelségi, közöttségi, sajátvektor, Katz, és PageRank centralitás. Valódi hálózatok centralitási jellemzői.
9. Véletlen hálózatok, az Erdős-Rényi (ER) modell statisztikus és szerkezeti jellemzői. Véletlen hálózat szerkezeti fázisai, az óriáskomponens. A konfigurációs modell.
10. A kisvilág tulajdonság. Gyűrű gráf, klaszterezettségi együttható és átlagos távolság. A Watts-Strogatz modell, véletlen átkötések hatása a hálózatok szerkezeti jellemzőire.
11. Skálafüggetlen hálózatok generatív modelljei, a preferenciális kapcsolódás. A Price modell és a Barabási-Albert modell. Fokszámdinamika a Barabási-Albert modellben, a kritikus exponensek kapcsolata.
12. Véletlenszámok előállítás Neumann féle Hit&Miss módszerrel, a módszer optimalizálása. Gauss eloszlású véletlenszámok Box-Müller módszerrel, optimalizálás.
13. Monte Carlo (MC) integrálás egyszerű mintavétellel. Az MC integrálás hibája, a hiba csökkentésének módszerei. MC integrálás fontossági mintavétellel.
14. A Monte Carlo mérés módszere. Rögzített hőmérsékletű rendszer MC szimulációja Metropolis algoritmussal, az algoritmus konstrukciója. Véletlenszámok előállítás Metropolis algoritmussal.
15. Az Ising modell MC szimulációja Metropolis algoritmussal. Kezdeti és határfeltételek, termalizáció. Az energia, fajhő, mágnesezettség, és a mágneses szuszceptibilitás mérése. Fázisátalakulás az Ising modellben. A hisztogram módszer.
16. Az állandó rendparaméterű Ising modell, a fázisdiagram származtatása. Kawasaki dinamika. A Metropolis algoritmus korlátai. A Kinetikus Monte Carlo szimuláció általános algoritmus.

### **Kondenzáltanyag fizika**

1. Fick egyenletének megoldásai: pillanatforrás, állandó felületi koncentráció, lépcsőfüggvény, Boltzmann transzformáció.
2. Diffúzió multirétegekben.
3. Feszültség és diffúzió: Stephenson modell.
4. A diffúzió determinisztikus kinetikai leírása.
5. Szegregáció: alapvető okok, felvágott kötések modell (egy- és többréteg), izotermák.
6. A klasszikus molekuladinamika alapjai: alapötlet, Verlet és velocity Verlet algoritmus, potenciálok.
7. Kinetikus Monte Carlo modell: modell alapjai, véletlen bolyongás, Levy folyamatok, residence time algoritmus alapötlete.
8. Diamágneses és paramágneses anyagok szuszceptibilitása.
9. Mágneses domének: kialakulásának főbb energetikai okai, a domének szerkezete, a doménfal tulajdonságai (vastagság, energia).
10. Lágy- és keménymágneses anyagok: a lágy- és keménymágneses viselkedés okai, tulajdonságai, alkalmazási területei.
11. Spinüvegek, klaszterüvegek, amorf és nanokristályos anyagok.
12. A pásztázó elven működő berendezések (SEM SPM, AFM stb.) működése.
13. Az elektrondiffrakció kinetikus elmélete.
14. A transzmissziós elektronmikroszkóp felépítése, működési módjai.
15. Analitikai elektronmikroszkópia spektroszkópiás és diffrakciós módszerek.

## Környezetfizika

1. A Földi légkör kialakulása és fejlődéstörténete. (A légkör fejlődését befolyásoló folyamatok; a jelenlegi légkör alkotói. A naprendszer többi bolygójának és egyes holdak légköre.)
2. Termodinamikai alapok. (A barometrikus magasságformula, adiabatikus hőmérsékletgradiens; vertikális és horizontális áramlások; a víz körforgása, csapadékképződés fizikája.)
3. A légkör aeroszol szennyezettsége. (Természetes és antropogén források; az aeroszol detektálása; az aeroszol terjedése a légkörben; extrém aeroszol koncentrációk.)
4. Klímaváltozás. (A klíma fogalma; klímaváltozások a múltban; a szén körforgása, visszacsatolások; az üvegházhatás értelmezése, az emberi tevékenység szerepe a klímaváltozásban.)
5. Számítógépes modellezés a környezettudományban. (Modellek szerepe, megbízhatósága; paraméter-érzékenység; légköri és felszínalatti szennyeződések terjedésének modellezése.)
6. Felszínalatti áramlások. (Vízkeszletek és veszélyeztetettségük; hidrológiai- és szennyeződésterjedési modellek; kormeghatározás, stabilizotópok és nemesgázok szerepe.)
7. Atomenergia. (Atomerőművek normál és baleseti kibocsátásai; reaktorbalesetek környezeti hatásai; radioaktív hulladékok kezelése, tárolása.)
8. Ionizáló sugárzások. (Sugárzás és ionizáló sugárzás fogalmi; ionizáló sugárzások környezeti forrásai; radioaktivitás és fajtái; kozmikus sugárzás; röntgensugárzás.)
9. Az alfa-, béta- és gamma sugárzó izotópok mennyisége és elterjedése a környezetben. (Mérésének módszerek, környezetanalitikai alkalmazások.)
10. Ionizáló sugárzások kölcsönhatása az anyaggal. (Fizikai, kémiai, biokémiai hatások; szabadgyökök képződése; sugárkárosodás; energiaveszteség, szóródás, elnyelődés, hatótávolság.)
11. Ionizáló sugárzások biológiai hatásai. (Sugárterhelés fogalma; alapvető dózismennyiségek; sugárzási és testszöveti súlytényezők; determinisztikus és sztochasztikus sugárhatás.)
12. Alternatív energiaforrások. (Jólét és energia; a világ energiahelyzete; alternatív és megújuló energia-források: napenergia, biomassa, víz- és szélenergia, nukleáris energia.)

### Kvantummechanikai rendszerek

1. A kvázirészecske fogalma. Soktestproblémák kezelése térelméleti módszerekkel. Egy konkrét példa bemutatása (pl. fononok, vezetési elektron/lyuk, exciton, stb.).
2. Nívófelhasadás kölcsönható kvantummechanikai részecskék között. Nívófelhasadás periodikus rendszerekben. Sávszerkezet kristályokban (Bloch tétel).
3. Elektromos vezetőképesség sávszerkezeti magyarázata. Fémek elektromos vezetőképességének hőmérsékletfüggése. Bloch-Grünesien formula.
4. Félvezetők sávszerkezete. Sajátvezetés és szennyezési vezetés. Félvezető dióda és tranzisztor, részecskedetektor, fotodióda, napelem.
5. Szupravezetés alaptulajdonságai és magyarázata a BCS elmélet alapján.
6. A folyékony hélium tulajdonságai: folyadék fázis 0 K hőmérsékleten, szuperfolyékonyság (rotonok). A folyékony  $^3\text{He}$  és  $^4\text{He}$  tulajdonságainak összehasonlítása, oldhatóságuk, keverési hűtőgép működési elve.
7. Fémek szobahőmérséklet körüli jellemzése a klasszikus fizikában: Drude modell, kísérleti adatokkal vett összehasonlítás külső terek és hőgradiens jelenlétében, hibái és továbbfejlesztése.
8. Fémek ideális kvantum gáz leírása: Sommerfeld modell,  $T=0$  és  $T > 0$  leírás, Sommerfeld sorfejtés, kísérleti adatokkal vett összehasonlítás, kémiai potenciálra adott viselkedés, belső energia, alacsonyhőmérsékleti fajhő, Landau Fermi folyadék fogalma, hibái és továbbfejlesztése.
9. Rács, Voronoy konstrukció, reciprok rács, Wigner-Seitz cella, zónák fogalma, Brillouin zóna, rácsdiffrakciós jelenségek, Bragg és von Laue jellemzés.
10. Elektron rendszer gyenge periódikus potenciálban, Bloch elektron és viselkedése. Szemiklasszikus modell. Erős kötés közelítés és következményei.
11. Hall effektus, Landau nívók, kvantum Hall effektus, topologikus szigetelők, topologikus fázisátalakulás fogalma.
12. Rácsrezgések kvantummechanikai tárgyalása, fononok. 1D rács 1 atom per bázis és 2 atom per bázis esete, 3D rács fononspektruma, akusztikus és optikai ágak, rácsrezgések hőkapacitása, fekete test sugárzásával vett kapcsolat.

### Részecsefizika és alapvető kölcsönhatások

1. Mértékszimetriák és kölcsönhatások. Elektrodinamika, színdinamika, elektrogyengekölcsönhatás.
2. Eseményregisztrálás, számítógépes adatelemzés.
3. Fizikai mezők kvantálása. Kanonikus kvantálás, Feynman-féle pályaintegrálos kvantálás.
4. Szórásmátrix.
5. Szórás kísérletek. Rugalmas szórás, rugalmatlan szórás, polarizáció.
6. Feynman-gráfok.
7. A kvantum-elektrodinamika alapjai.
8. A standard modell felépítése, kísérleti ellenőrzése.
9. BEH-mechanizmus  $U(1)$  és  $SU(2) \times U(1)$  elméletben.
10. A Higgs-bozon keresése és felfedezése.
11. GIM mechanizmus és a fermionok tömege, CKM-mátrix.
12. Neutrínók. Fajtái, tömegei, ízrezgésük, neutrínókísérletek.