

A tantárgy tartalma:

A tantárgy három párhuzamos kurzusban folyik, melyek törzstematikája azonos (l. alább). A részletes tematikák ellenben különböznek, más-más területre helyezve a hangsúlyt. A kurzustematikákat a tantárgyleírás végén közöljük az előadók nevével együtt.

Az előadás tárgyalja az atommag fontosabb tulajdonságait, a radioaktív bomlást (kinetika és bomlástípus) és a magreakciók típusait. Az anyag és a magsugárzás kölcsönhatását az alfasugárzás, az elektronsugárzás és a gammasugárzás okozta kölcsönhatásokon keresztül mutatja be. A nukleáris szerkezetvizsgáló módszerek közül a Mössbauer-spektroszkópiát és a pozitronannihilációs spektroszkópiát tárgyalja. A szorosabb értelmezés szerinti magkémiai fejezetek közül a nyomjelzéstechika, az izotópeffektusok, a forrátoomkémia, sugárkémia és az atomreaktorok kémiája kerül tárgyalásra.

Részletes kurzustematikák:

1. kurzus. Előadók: Dr. Nagy Sándor egyetemi docens és Dr. Vértes Attila egyetemi tanár

Az alábbi tematikában a fizikai alapok hangsúlyozása mellett teret kapnak azok a nukleáris szerkezetvizsgáló módszerek is, amelyek művelése évtizedek óta magas szinten folyik nálunk, nevezetesen a Mössbauer-spektroszkópiáé és a pozitronannihilációs spektroszkópiáé (PAS). Természetesen az olyan nagy horderejű témák is terítékre kerülnek, mint az atomreaktorok és azok környezetvédelmi vonatkozásai. Minden főcím után megadjuk az illető téma előadóját/számonekérőjét is (NS vagy VA). A címek egy részét megelőző F betűvel kezdődő kódok a megfelelő főlíamásokat azonosítják, melyekből egy példányt az évfolyam rendelkezésére bocsátunk további másolás céljából.

1. Az oktató teamek bemutatkozása, kurzustematikák kiosztása, tudománytörténeti bevezető
2. F1–F11: Fundamentális részecskék – magrádiusz – egzotikus atomok (NS) • fundamentális részecskék • az atommag összetétele • eV vs. mec2 • nuklid vs. izotóp • kémia vs. magfizika vs. magkémia • a magrádiusz és meghatározása • egzotikus atomok
3. F12–F25: Magspin – elektrosztatikus & magnetosztatikus trükkök (NS) • a mag elektromos potenciálja • az “ösrégi magmodell” ellentmondásai • a magspin • mágneses momentumok • Zeeman effektus & Paschen-Back effektus • a magspin meghatározása atomi energiadiagramok hiperfinom szerkezetéből • töltött részecskék energia- & tömegmérése • lineáris gyorsító (ET1) • energiaszűrő (ET2) • impulzusszűrő (MT) • tömegspektrométer • ciklikus rezonanciagyorsítók: ciklotron, szinkrotron
4. F25–F38: Gyorsítók – multipólusmomentumok (NS) • relativitáselméleti kitérő; a foton impulzusa • az elektron mint relativisztikus részecske • szinkrociklotron • lineáris rezonanciagyorsítók • multipólusmomentumok (a potenciál sorfejtése) • töltérendszer koordináta-rendszerének megadása • a töltés, a dipólusmomentum és a kvadrupólusmomentum kiszámítási formulája • a kvadrupólusmomentum szimmetriája és nyomának nulla volta • forgási ellipszoid és gömb kvadrupólusmomentuma • centrális szimmetriájú töltérendszer dipólusmomentuma • az elektromos térgradiens (EFG, ill. ETG) • a magenergia elektrosztatikus részének függése az elektronhéjtól, ill. a környező ligandumoktól
5. F39–F52: Fundamentális kölcsönhatások – magreakciók (NS) • erőfajták – kölcsönhatások • a hatótávolság illusztrációja gravitációs és Yukawa-potenciál esetén • magreakciók szimbolikája • Q-érték kiszámítása nyugalmi tömegekből és kinetikus energiákból • a Q-értékre vonatkozó előjel-convenció • Q-érték megadása laboratóriumi és tömegközépponti rendszerben • egyesülési reakciók Q-értéke; a Q-érték invarianciája (ti. a kinetikus energiától eltérően nem függ a vonatkoztatási rendszertől) • kinetikai gátak: visszalövedési gát – a Q-érték meghatározása egyesülési reakciók esetén • Coulomb-gát • centrifugális gát
6. F53–F65: Magmodellek – radioaktív bomlás (NS) • a-részecske modell; a-elemek; az egy nukleonra eső kötési energia alakulása a könnyű stabil magok esetében • a héjmodell és az azt alátámasztó tények: a magspin függése N & Z párosv. páratlan voltától; a magikus számokkal összefüggő tények • a stabil magok N–Z diagramjai; ezek metszete izotón, izotóp és izobár egyenesekkel • a cseppmodell és a Weizsäcker-egyenlet; térfogati, felületi, Coulomb-, aszimmetria- és párkölcsönhatási energiájárulék • a tömegparabolák és a b-stabilitás; az izobáron található stabil nuklidok számának értelmezése • bomlási módok: a, b, b+, EC, p, n, f, 2b; g, IT, IC • radioaktivitás; röntgen- vs. g-sugárzás • az a- és a b-bomlás energetikája; b+ vs. EC • a b+ és az EC kimutatása • az elemek gyakoriságának értelmezése
7. F66–F78: Radioaktív bomlás (NS) • a- és b-részecskék energiaeloszlása; a részecskeenergia és a Q-érték viszonya • bomláskísérő jelenségek: visszalökődés; belső konverzió vs. fotoeffektus és a kettő kísérleti megkülönböztetése; Auger-effektus vs. röntgenemisszió; fékezési sugárzás (belső és külső, azaz közös) • az aktivitás definíciója és SI egysége; az aktivitással kapcsolatos három alapösszefüggés; az exponenciális bomlástörvény; λ , t és $T_{1/2}$ • párhuzamos bomlások (genetikai kapcsolattal és anélkül); sorozatos bomlások (egyensúlyal és anélkül) • természetes bomlási sorok (mért pont négy van, és ha igen mért három?) • a l bomlási állandó meghatározási módjai a felezési időtől függően
8. F79–F90: Sugár–anyag kölcsönhatás (NS) • a- és b-sugárzás hatásának összevetése: elektronnak maximálisan átadható energia, közegben hagyott nyomkép, abszorpció mértéke és az abszorpció görbe profilja, a Bragg-görbe és értelmezése, a lineáris energiaátadás (-dE/dx) kifejezése, fékezési sugárzás, a- és b-visszaszórás • Cserenkov-sugárzás • pozitron–anyag kölcsönhatás, pozitroniumképződés • neutronok fékezése • g–anyag kölcsönhatás: Compton-effektus, fotoeffektus és párképződés és ezek hatáskeresztmetszetének összevetése; g-rezonancia abszorpció; g-magreakció • nagyobb energiájú fotonok szelektív kiszűrése kisebbek mellől • b- és g-abszorpció összevetése • g-spektrumok értelmezése g–anyag kölcsönhatás alapján
9. Sugárkémia (VA) • a sugárkémia szakaszai • a víz radiolízise • a dozimetria alapfogalmai • a dózismérés • az alkalmazott sugárkémia.
10. Atomreaktorok (VA) • az atomreaktorok működésének fizikai alapjai • az atomreaktorok típusai • az atomreaktorok felhasználási lehetőségei.
11. Nyomjelzéstechika (VA) • a radioaktív nyomjelzés általános jellemzése • alkalmazások a kémia, a földtudomány és az orvostudomány területén.
12. Forrátoom-kémia (VA) • a forrátoom keletkezése • a visszalökődési energia eredete és számítása • a visszalökődés kémiai hatásai.
13. Mössbauer-spektroszkópia (VA) • a Mössbauer-effektus • a Mössbauer-spektroszkópia • a Mössbauer-spektrum jellemzői • a módszer alkalmazási lehetőségei.
14. Pozitronannihilációs spektroszkópia, PAS (VA) • a pozitronannihiláció mechanizmusa • a pozitronannihilációs spektroszkópia mérésttechnikái • a PAS alkalmazásai.

2. kurzus. Előadók: Dr. Süvegh Károly egyetemi docens és Dr. Homonnay Zoltán egy. docens

Az alábbi tematikában a fizikai alapok hangsúlyozása mellett teret kapnak azok a nukleáris szerkezetvizsgálati módszerek is, amelyek művelése évtizedek óta magas szinten folyik nálunk, nevezetesen a Mössbauer-spektroszkópiáé és a pozitronannihilációs spektroszkópiáé. A sugár-anyag kölcsönhatás tárgyalásánál kitérünk a detektálási módszerekre és a detektorok működésére is. Természetesen az olyan nagy horderejű témák is terítékre kerülnek, mint az atomreaktorok és azok környezetvédelmi vonatkozásai.

Az előadás nyelve értelemszerűen angol, de válaszolunk a magyarul feltett kérdésekre is. A tematika -az angol nyelvből eredő félreértéseket elkerülendő- többé-kevésbé követi a könnyen hozzáférhető könyvek és jegyzetek tematikáját. Természetesen az előadás részleteiben jelentősen eltér minden írott anyagtól az előadók ízlésének jobban megfelelő irányokba.

1. Az oktató teamek bemutatkozása, kurzustematikák kiosztása, tudománytörténeti bevezető
2. The nucleus • nuclear theories • the radius of a nucleus (+ How to measure?) • charge distribution • composition of a nucleus • spin and magnetic moment (+ How to measure?) • multi-pole moments
3. Nuclear forces • bonding energy • nuclear models • What is the nuclear force like? • meson theory of the nuclear force • basic interactions in the Universe • elementary particles
4. Nuclear reactions • experiments • reaction energies • reaction barriers • types of reactions
5. Radioactivity • an outline (examples) • determination of age • particle emission
6. Interaction of radioactive particles with matter • ionization • bremsstrahlung • collisions • detection of charged particles • b-reflection • Cherenkov-radiation • g-rays • g-ray detection • detectors (construction, principles, examples)
7. Nuclear reactors • classification of the nuclear reactors, principles of operation • reactor dynamics (reactivity, 4-factor formula, the significance of the prompt and late neutrons) • Xe-poisoning, and the problematics of safe reactor control
8. Mössbauer-spectroscopy • Mössbauer effect, Mössbauer spectroscopy • Isomer shift • Quadrupole splitting • Magnetic splitting
9. Positron annihilation spectroscopy • What is a positron? • measurable quantities • equipments • examples
10. Hot-atom chemistry • Szilard-Chalmers effect • recoil energy in relativistic and non-relativistic case • disruption of chemical bonds as a consequence of the recoil event • production of hot atoms by chemical accelerators • types of hot atom reactions
11. Radiochemistry • LET values • radiochemical yield • the dose concept (exposure, absorbed dose, equivalent dose) • Bragg-Gray principle • radiochemical processes (classification) • the radiolysis of water (Fricke- and other chemical dosimeters)
12. Isotope effects • classification (mechanical and indirect) • types as: rotational, vibrational, electron transition, chemical equilibrium, reaction kinetics, biological) • distribution of the isotopes in the Earth's crust • isotope enrichment
13. Radiotracing • How to select a radiotracer isotope? • radiotracers in industry • radioimmunoassay • positron emission tomography

3. kurzus. Előadó: Dr. Lévay Béla egyetemi tanár

Az alábbi tematikában a fizikai alapok hangsúlyozása mellett teret kapnak azok a nukleáris szerkezetvizsgálati módszerek is, amelyek **A magfizika alapjaiból csak a magkémia megértéséhez nélkülözhetetlen alapfogalmakat ismertetem.** A fő hangsúlyt – a tárgy címének megfelelően – a magkémia és a radiokémia elméleti alapjainak a bemutatása mellett a gyakorlati alkalmazások minél szélesebb körű megismertetésére helyezem. Ezzel az a nem titkolt célom, hogy felhívjam a figyelmet arra, hogy a modern magkémiai ismeretek birtokában milyen széleskörű lehetőségei lehetnek egy vegyésznek jövőendő munkahelye kiválasztásakor.

A “tanszékspecifikus” témaköröket – például a saját szűkebb kutatási területemet jelentő pozitroniumkémia – **nem kívánom** a magkémia belüli tényleges jelentőségénél hangsúlyosabban, tehát **törzsanyagként tárgyalni**, mert erre speciálkollégiumok keretében lesz mód.

A szűk órakeret ellenére is fontosnak tartottam belevenni a tematikába a **sugárbiológiai alapfogalmak** tárgyalását, más veszélyforrásokkal való összehasonlításban a nukleáris energetikával kapcsolatos **kockázatbecslést, a kémiai elemek kialakulása nukleáris-kozmológiai elméletének alapjait** (a “nukleogenezist”). Tárgyalásra kerülnek még a **nukleáris medicina** alapjai, különös tekintettel az **in vivo orvosi izotópalkalmazás** diagnosztikai és terápiás lehetőségeire. Ezek ma a nukleáris kémia gyakorlati alkalmazásának a legsikeresebb és leggyorsabban fejlődő területei, ahol alapvető és közvetlen szerephez jutnak a kémikusok.

Vázlatos tematika

Bevezetés: az előadás tárgya, történeti kronológia

1. Alapfogalmak

atomszerkezet, atommag, nukleon, izotóp, izotóparány, izotópeffektus (fizikai, kémiai, kinetikai), izotópelválasztás, nuklid (izobár, izoton, izomer)

2. Atommagok

tömeg és energia; magsugár; magspinek és momentumok; statisztika; paritás kötésienergia-egyenlet (Weizsäcker, ill. Myers és Swiatecki); nukleáris energiafelület;

β -stabilitási völgy; izobárparabolák; magszerkezet; cseppmodell; héjszerkezet (mágikus számok); a magerők mezonelmélete (Yukawa)

3. A radioaktív bomlások

α -bomlás; diszkrét energiaspektrum; visszalökődés; bomlási energia és bomlási állandó kapcsolata; Gamow-elmélet (alagúteffektus)

β -bomlások (+, -, elektronbefogás); folytonos energiaspektrum; maximális energia;

neutrínóhipotézis

bonyolult β -bomlások (késő n- vagy p-kibocsátás, kettős β -bomlás); fermiontöltés

az elektronbefogás szekunder folyamatai (karakterisztikus röntgenfotonok, Auger-elektronok, belső fékezési röntgenfotonok)

a pozitron (Dirac hipotézise)

protonbomlás; kettős protonbomlás

spontán hasadás (hasadási gát, dinamika, alakizomerek); szupernehéz elemek (stabilitási sziget)

gamma-átmenetek; α - és β -bomlásokat követő γ -fotonok; belső konverzió; elektron-pozitron pár kibocsátása; izomer átmenetek

4. A radioaktív bomlás egyenletei

statisztikus jelleg; exponenciális bomlástörvény (bomlási állandó, felezési idő, átlagos élettartam); aktivitás; izotópegyek bomlása;

elágazó bomlások; természetes bomlási sorok; anyaelem - leányelem; radioaktív **egyensúlyok** (tranzien, szekuláris)

geológiai és történelmi **kormeghatározás** radioaktív “homokórával”

5. Magreakciók

formalizmus; megmaradó mennyiségek; reakcióhő; küszöbenergia; hatáskeresztmetszet; gerjesztési függvény

magreakció-mechanizmusok; átmenetimag-modell (befogás, párolgás, fűggetlenségi hipotézis);

közvetlen kölcsönhatás-modell (transzferreakciók, “stripping”, “pick-up”, deuteronreakciók Oppenheimer-Phillips mechanizmusa)

n, γ reakciók (1/v törvény, rezonanciacsúcsok, izotópterelés); **fotonukleáris reakciók;**

maghasadás (lassú és gyors neutronokkal, egyéb részecskével); hasadási termékek (tömeg- és töltéssel, kinetikus energia);

prompt és késő neutronok, láncreakció;

nehézion-magreakciók; termonukleáris magreakciók

6. Nukleáris asztrofizika

a kémiai elemek gyakorisági eloszlása; csillagok energiatermelése; a galaxisok távolsággal arányos sebességű távolodása (Hubble-konstans, az Univerzum életkora);

Gamow ősrobbanás-elmélete (“big-bang”, az Univerzum születése, a kémiai elemek szintézise); Penzias és Wilson felfedezése (izotrop

mikrohullámú háttérsugárzás a világűrben); a korai Univerzum standard modellje (a ^4He képződése);

galaxisok és csillagok képződése; hidrogént égető csillagok (szén-nitrogén ciklus);

héliumot égető csillagok (^{12}C képződése az un. 3a-reakcióban, a ^{16}O és a ^{20}Ne szintézise); töltött részecske-reakciók legnehezebb

terméke a vas (a nukleononkénti kötési energia maximális); a lassú vagy S-folyamat (elemek szintézise a bizmutig n, γ reakciókkal); a

gyors vagy R-folyamat a szupernóvákban (elemszintézis az uránig, szukcesszív neutronbefogással); könnyű nuklidok képződése;

spallációs reakciók a csillagközi térben

7. Sugárzások és az anyag kölcsönhatása

nehéz pozitív ionok (a, p, stb.); primer kölcsönhatás az elektronokkal (ionizáció Coulomb-kölcsönhatással); hatótávolság; fékezőerő;

Bragg-görbe; hatótávolság - energia összefüggés

elektronok (β -részecskék); kölcsönhatás az elektronburokkal (ionizáció); kölcsönhatás a mag Coulomb-terével (fékeződési

röntgensugárzás); szinkrotronsugárzás; visszaszóródás (rendszámfüggés, analitika); abszorpció; preparátumok γ -abszorpciója;

Cserenkov-sugárzás; Cserenkov-detektorok; **pozitronok** (fékeződés után annihiláció, pozitroniumképződés)

γ -sugárzás; fotoeffektus (szekunder folyamatok, karakterisztikus röntgen, Auger-elektronok); Compton-effektus; párképződés

(küszöbenergia, vákuumban nem mehet végbe); energia- és rendszámfüggés; abszorpció (exponenciális törvény, abszorpció

egyíthető, ill. hatáskeresztmetszet, felezési rétegvastagság, a hatótávolság nem értelmezhető); magrezonancia-abszorpció

(visszalökődés mentes magrezonancia-abszorpció, a Mössbauer-spektroszkópia elve)

neutronok; rugalmas vagy rugalmatlan szóródás az atommagokon; magreakciók; saját bomlás; fékeződés kis rendszámú magokon

(jelentősége atomreaktorokban)

8. Sugárkémia (sugárhatás-kémia)

sugárforrások; dóziszfogalmak és dóziségységek; sugárzási hozam (G-érték)

sugárkémiai folyamatok szakaszai (fizikai, fizikai-kémiai, kémiai, biológiai); a víz és híg vizes oldatok radiolízise: **a hidratált**

elektron; szerves anyagok, biopolimerek sugárkémiaja;

sugárzások biológiai hatásai; biológiai dóziségyenérték; biológiai variabilitás;

sugárkárosodások (determinisztikus, sztohasztikus); dózishatás sejtszinten;
igen kis "kondicionáló" dózisok védőhatása

9. Radiokémiai alkalmazások

nyomjeléstechnika (elv, korlátok); alkalmazások (öndiffúzió, migrációs problémák, kémiai reakciók mechanizmusa, elektroncsere-reakciók)

nukleáris medicina (in vivo orvosi izotópalkalmazás: radioaktív nyomjelzés az élő szervezetben): diagnosztika, terápia; Positron Emission Tomography (PET)

analitikai alkalmazások; aktivációs analízis (termikus neutronokkal, töltöttreszezske-nyalábbal: PIXE-módszer, prompt gamma aktivációs analízis: PGAA); izotóphígítási analízis; radioimmunassay (RIA)

ipari alkalmazások (autoradiográfia, abszorpciós módszerek, vastagságmérés, bevonatvastagság-mérés, szintmérés, γ -relék, radioaktív fény- és feszültségforrások)

10. Forróatom-kémia

Forró-e a forróatom?; **Szilárd-Chalmers-effektus** (magvisszalökődés, kötésahadás, retenció); alkalmazások (hordozómentes izotópok előállítása, jelzett vegyületek előállítása)

11. Atomenergetika

szabályozott maghasadás; önfenn tartó láncreakció; energiamérleg; hasadási faktor; sokszorozási tényező; kritikus térfogat és tömeg; a "négyfaktor-formula"; reaktorkinetika (a késleltetett neutronok szerepe); a termikus reaktorok szerkezete (primer és szekunder rendszer); reaktorok osztályozása; **ősreaktor a természetben**

12. Kockázatbecslés

a kockázat matematikai értelmezése; a kollektív kockázat; a kockázat egysége (mikrorizikó); az elfogadható kockázat (zérus kockázat nincs); a mindennapi élet kockázata; foglalkozási kockázatok; kémiai kockázat; a radioaktív sugárhatás kockázata; kockázat/dózis linearitása; az atomenergetika alkalmazásának kockázata