

# Magkémia: Tematika & tételjegyzék

Az alábbi tematika esetében a sorszámok (01. ... 12.) optimális esetben (ha nincs csúszás/óraelmaradás – de volt :) egyszerűen utalnak az egymást követő kétórás **előadásokra** (tehát az órák hetére), az előadások **prezentációira** (melyek pdf-verziója folyamatosan elérhető lesz), valamint a vizsgán húzható **tételekre** (tételsorszám). Az **A.** és a **B.** pontban felsorolt dolgok a tematika részleteit jelentik. Ami **a vizsgára** való felkészülést illeti, **lényegében elég az A. részre** koncentrálni. Pontosítok: **Aki 4-essel is beéri, az a B. részt nyugodtan figyelmen kívül hagyhatja.** (Ha véletlenül eltérek ettől, nyugodtan figyelmeztethetek erre az ígéretemre.) Az órán bele szoktam menni ugyan a B. részbe is, de a vizsgán csak a lehetséges jeles irányában „tapogatózó” kérdések formájában kerülnek bele az ide tartozó tematikai részletek, vagy pedig akkor, ha a vizsgázó maga hozakodik elő velük. **Az A. részben aláhúzott fogalmak** senki előtt nem rejtőzhetnek teljes homályban. Az ilyeneket akármelyik tétel esetében bevonhatom a beszélgetésbe, ha a helyzet úgy kívánja.

## 01. Standard modell, szubatomi részecskék, fundamentális & nukleáris kölcsönhatások, spontaneitás & tömeg

- A. Elemi, fundamentális, szubatomi és összetett. Az u és a d kvark. Antirészecskék. Néhány „fontosabb” részecske – nevezetesen: elektron, elektronneutrínó, müon, pion, foton, proton és neutron – a Standard Modell szempontjából, továbbá a fontosabb jellemzőik beleértve a tömegeik közelítő értékét a vizsgázó által választott „egységben”. Barionok és mezonok általános összetétele. A fermion és bozon fogalma és kapcsolata a spinnel és a Pauli-elvvel. Méretarányok az elemitől az atomig. Fundamentális kölcsönhatások hatótávolsága és ezek kvalitatív kapcsolata a közvetítő részecskék tömegével. A leptonok könnyűsége. Erős kölcsönhatás vs. nukleáris kölcsönhatás. Szigorúan megmaradó mennyiségek. A spontaneitás kritériumának illusztrációja a neutron  $\beta$ -bomlásával.
- B. A fermion és bozon fogalmak kapcsolata a hullámfüggvénnyel. A Fermi–Dirac- és a Bose–Einstein-statisztika illusztrációja egy egyszerű kombinatorikai modellel. A kvarkbezártság és a színek. A napneutrínó-probléma és a neutrínóoszilláció. Általában (de nem mindig) megmaradó mennyiségek. Bizonyos megmaradó mennyiségek (barionszám, leptonszám) jelentősége a „ténylegesen” végbemenő folyamatok szempontjából a neutron  $\beta$ -bomlásával illusztrálva.

## 02. Elektronvolt & kémia, atommag & nuklid, nuklidtérkép, a mag mérete & alakja, egzotikus atomok

- A. Elektronvolt: (kémiai) energia–tömeg–hőmérséklet (példák és adatok). Az atommag összetétele. A nuklid fogalma és a nuklidjelölés (indexek jelentése). Fő nuklidosztályok (izotóp, izobár, izotón) és ezek elhelyezkedése a nuklidtérképeken. A magizomer és jelölése, továbbá az izomerek elhelyezkedése a nuklidtérképen. A magrádiusz meghatározásának lényege neutronabszorpcióval. A Rutherford-kísérlet lényege. Geometriai keresztmetszet vs. hatáskeresztmetszet. A magsugár tömegszámfüggése. A maganyag „csillagászati” tömegsűrűsége. A kvadrupólusmomentum és az ellipticitás mint a mag geometriai jellemzője. Elektromos monopólus, dipólus, kvadrupólus, ... egyszerű ponttöltéspéldákkal szemléltetve. Közönséges magok és a bolygók gömbtől való eltérésének összevetése. Az egzotikus atom fogalma. A Ps mérete a H atomhoz képest.

- B. A magerők töltésfüggetlenségének ellenőrizhetősége a magrádiusz-formula és a tükrömákok jellemző átalakulása alapján. Egzotikus magalakok. Rendhagyó sűrűségű magok. Magok rezgése, forgása. Alakizoméria. A  $\mu$  és a müonatomok közti különbség. Redukált tömeg. Az első Bohr-rádiusz függése a rendszámtól és a redukált tömegtől. Müonatomok relatív mérete (első Bohr-rádiusza) és az atommag mérete (szemléltetés a H és a Pb példáján). Mi köze a müonatomoknak a magrádiusz meghatározásához (természetesen csak kvali magyarázatot kérek).

### 03. Magpotenciálok, magspin, mágneses momentumok & kölcsönhatások

- A. Ponttöltés, homogén töltött gömbhéj, valamint tömör gömb (amilyenek a magot 0. közelítésben elképzeljük) potenciáljának grafikonja és annak értelmezése. A homogén, tömör töltött gömb töltésseloszlásának grafikus összevetése egy olyan töltésseloszlással, mely reálisabban tükrözi az atommagét. Az atommag egy  $e^+$ , egy  $n$  és egy  $p$  „szemével” (potenciálgörbék értelmezése taszítás, vonzás, erőhatótávolság szempontjából). A Coulomb-gát. A visszalökődés jelensége: Milyen arányban oszlik meg a felszabaduló energia, ha egy atom kettébomlik? Jellemzően mekkora az elektromos potenciál egy mag felszínén? Ehhez képest mekkora a közepében? Mi köze ennek ahhoz, hogy a magot el tudjuk-e találni egy adott energiájú pozitív részecskével? Mi a magspin, és mért hívják így? A  $^{14}\text{N}$  sztorija a magspin szempontjából. Bohr-magneton és magmagneton. Az impulzusmomentum és a mágneses momentum kapcsolata az elektron és a nukleonok esetében különös tekintettel a pályamomentum és a spinmomentum közötti markáns eltérésre. Zeeman-effektus.
- B. Az elektromos potenciál kapcsolata az elektromos tér ellenében végzett munkával (pl. eV egységben), valamint a térerősséggel. „Igazi” magtöltésseloszlások grafikus összevetése. Miért gát a Coulomb-gát a  $p$  és  $\alpha$  esetében kívülről-belülről egyaránt? Miért nincs Coulomb-gát a pozitronra? Grafikus magyarázat arra, hogy mért „kell” a magnak kicsinek és nehéznek lennie ahhoz, hogy néhány MeV-es (tehát nagy energiájú)  $\alpha$ -kat el tudjon téríteni. Miért van szükség az alagúthatásra az  $\alpha$ -bomlás magyarázatához? Energetikai szempontból miért nem létezhetnek mini H atomok a magban? (Mért nem kellett tudnia Rutherfordnak a választ 1920-ban?) A magspin(kvantumszám) meghatározásának „dallamvezetése” „mantrák” kreatív alkalmazásával. Paschen–Back-effektus. A nukleonok anomális saját mágneses momentumának kvalitatív magyarázata. Mért csak az elektronok kerülnek szóba a makroszkopikus mágnes tulajdonságok (pl. paramágnesesség) magyarázatánál? Kvantumosan hogy értendő az, hogy a részecske mágneses momentuma beáll a mágneses tér irányába?

### 04. Elektromos & mágneses trükkök, gyorsítók, relativitáselméleti kitérő

- A. ET1: az egyszerű lineáris gyorsító működési alapelve (beleértve az „elektronágyút”). Az elektrosztatikus energiaszűrő működésének alapelve kvalitatív magyarázattal. Az  $r$  pályasugár és az  $E_k$  kinetikus energia közti kapcsolat jellege. A homogén mágneses térrel működő impulzusszűrő működésének alapelve kvalitatív magyarázattal. A Lorentz-erő. Az  $r$  pályasugár és a  $p$  impulzus, ill. az  $E_k$  kinetikus energia közti kapcsolat jellege. Az  $r$  pályasugár és a  $v$  sebesség közti kapcsolat jellege. Az impulzus és a kinetikus energia közötti pontos függvénykapcsolat nemrelativisztikus részecskék esetében. A tömegspektrométer, a mágneses spektrométer és a ciklotron működésének alapja. Mi a ciklotronegyenlet legfőbb mondandója a

nemrelativisztikus esetben? Mért nem lehet folyamatos részecskenyalábot előállítani a ciklotronnal? LINAC: lineáris rezonanciagyorsító (rajz, működési elv). Mekkora az elektron nyugalmi energiája MeV-ben? A nyugalmi energia, az összes energia és a kinetikus energia legegyszerűbb kifejezései a relativisztikus esetben. A foton energiája és impulzusa közti pontos összefüggés. Relativisztikus viselkedés szempontjából milyen különbség van 100 keV – 5 MeV közti energiájú elektronok (pl.  $\beta$ -részecskék) és nehezebb részecskék (pl.  $\alpha$ -részecskék) között?

- B. Az elektrosztatikus energiaszűrő működésének fizikai leírása, a körpályán való mozgás képletének levezetése. A homogén mágneses térrel működő impulzusszűrő működésének fizikai leírása, a körpályán való mozgás képletének levezetése. A Lorentz-erő szemléltetése a párképződésről készült buborékkamra-felvétel sematikus rajzán (beleértve a részecskepályák sajátos rajzolatának okát). A ciklotronegyenlet nemrelativisztikus levezetése. Mi változik a kapott formulában a relativisztikus esetben? Az órán tárgyalt relativisztikus formulák (impulzus, energia). A kétfajta tömegértelmezés összevetése a formulákon és a szóhasználaton keresztül. A foton impulzusa és energiája közötti összefüggés „levezetése”.

## 05. Multipólusmomentumok, hiperfinom kölcsönhatások a magban

- A. Töltésrendszer össztöltését és dipólusmomentumát leíró formulák. A (forgási ellipszoidnak tekintett) mag dipólusmomentuma (magyarázattal) és  $Q$  kvadrupólusmomentuma (formula megadásával). Az utóbbi mint a mag alakjának jellemzője (a formula segítségével alátámasztani a jellemzést). A bolygók és a mag alakjának összevetése. Az  $^{57}\text{Fe}$  Mössbauer-spektroszkópiájában szerepet játszik a mag két legalsó energianívójának esetleges felhasadása: A három legfontosabb eset energiadiagramjának felvázolása. Grafikusan szemléltetni, hogyan tükröződnek ezek egy transzmissziós Mössbauer-spektrumban, mely lényegében a Doppler-sebesség ( $\sim\gamma$ -energia) függvényében mutatja az abszorber által átbocsátott  $\gamma$ -sugárzás intenzitását.
- B. Tetszőleges töltésrendszer potenciáljának sorfejtése multipólusmomentumok segítségével (elég az első három tag távolságfüggése). Töltésrendszer kvadrupólusmomentum-tenzorát leíró formula. A legegyszerűbb  $\square$  kvadrupóluselrendezés (négyzet csúcsain felváltva elhelyezett  $+e/-e$  ponttöltések) töltésének, dipólusmomentumának és kvadrupólusmomentumának kiszámítása a megfelelő formulákkal. A kvadrupólusmomentum-mátrix két jellemző tulajdonságának megmutatása egy konkrét esetben ( $\square$ ) és igazolása az általános esetben. Mért lehet egyetlen  $Q$  skalárral jellemezni a  $\mathbf{Q}$  tenzort a forgási ellipszoidnak tekintett mag esetében? A mag saját kvadrupólusmomentuma és a spektroszkópiai kvadrupólusmomentum közötti különbség érzékeltetése. A mag és a héjelektronok közötti kölcsönhatás tükröződése a mag potenciális energiájában. (Levezetést nem kérek, de a leglényegesebb pontokat tudni kell: Mért kell elmenni a potenciál sorfejtésében a második tagig? A  $W_3$  energiateg két komponensének lényeges elemei és értelmezésük a dián feltett ①, ② és ③ kérdés tükrében.) A hiperfinom kölcsönhatás (izomereltolódás) szempontjából mért lényeges, hogy a gerjesztett mag rádiusza eltér az alapállapotútétól? Az  $^{57}\text{Fe}$  példáján érzékeltetni, mért nem hasad fel annyi alszintre a gerjesztett és az alapállapotú mag energianívója a kvadrupólus kölcsönhatásban, mint a Zeeman-effektusban.

## 06. Magreakciók

- A. A magreakciók szimbolikája. A jelölés mögötti sztori és az anyagmérleg, A reakció  $Q$ -értékének kiszámítása tömegekből és kinetikus energiákból.  $Q$ -érték vs.  $\Delta H$ . Laboratóriumi rendszer vs. tömegközépponti rendszer. Független-e a kinetikus energia, az impulzus, ill. a  $Q$ -érték a vonatkoztatási rendszertől? Mi köze a nuklidtömegnek (*nuclidic mass*) a relatív atomtömeghez (*relative atomic mass*, *atomic weight*)? A  $Q$ -érték kiszámítása nuklidtömegekből. Egy egyszerű egyesülési reakció (összeragadás)  $Q$ -értékének „levezetése” laboratóriumi rendszerben. Az összeragadás „termiája” (endoterm vagy exoterm?), valamint a kinetikus energiák és a tömegek viszonya. Sebességek és kinetikus energiák tömegfüggése egy egyszerű (kétrészecskés) bomlásban. A visszalökődési gát létezésének egyszerű értelmezése. A Coulomb-gát. A kinetikus gátak jellemző energia-nagyságrendje. Magreakciók osztályozása mechanizmus szerint (átmeneti magon keresztül, ill. direkt). A neutronok és a pozitív ionok által keltett magreakciók gerjesztési függvényének összehasonlítása. Indukált hasadás, láncreakció, tenyésztési reakció, magfúzió. A  $^{235}\text{U}(n, f)$  energiahozama egyetlen atomra, ill. egyetlen nukleonra vonatkoztatva. A hasadványok részesedése a  $Q$ -értékből. Mi lesz a többi energiával? A „hidrogénégés” és energiahozama (egy nukleonra vonatkoztatva is).
- B. Triton, deuteron, helion (mik ezek, és mivel keverhető össze némelyik jelölése?). Hogyan becsülhető meg az  $^5\text{He}$ -hez hasonlóan rövid élettartamú (átmeneti) magok élettartama? A centrifugális gát. Az  $1/v$  törvény magyarázata. A  $^{235}\text{U}$  és a  $^{238}\text{U}$  neutrongerjesztési függvényének összevetése. Részecskeátadási reakciók (stripping, pick-up), spalláció. A maghasadványok  $\beta^-$ -aktivitásának értelmezése. A „hidrogénégés” PP és CNO mechanizmusa (az egyes lépések bemagolása nélkül) különös tekintettel a Naprendszerre.

## 07. Stabilitás & instabilitás, magmodellek, tömegparabolák

- A. Az egy nukleonra eső kötési energia alakulása a könnyű stabil magok esetében,  $\alpha$ -elemek. Héliumégés és a  $^8\text{Be}$ . A  $3\alpha$  reakció. Nukleáris mágikus számok és értelmezésük. A héjmodell és az azt alátámasztó tények. A mágikus számokkal összefüggő tények. A nukleonok párosodási hajlamának bizonyítékai (és a földi lények kozmikus/nukleáris szerencséje). A cseppmodell kvalitatív lényege. A tömegparabolák és a  $\beta$ -stabilitás. Tömegetöbblet. Szeparációs (nukleonleválasztási) energia vs.  $B/A$ . A „stabilitás völgye” és a „stabilitási kontinens” metaforák összefüggése. A fúzió és a maghasadás előnyének értelmezése.
- B. A  $B/A$  érték mint stabilitási jellemző illusztrálása a  $^8\text{Be}-^4\text{He}$  páros példájával. A nukleáris héjmodell és az atom kvantummechanikai modellje közötti hasonlóságok és különbségek. A cseppmodell és a Weizsäcker-egyenlet. Az aszimmetria tag jelentősége. Az izobáron található stabil nuklidok számának értelmezése a tömegparabolák alapján. A  $2\beta$ -bomlás és a tömegparabolák.  $\beta^-$  és  $\beta^+$  mint együttes lehetőségek bizonyos nuklidok esetében. Az aláhúzott esetek milyen nuklidok esetében fordulhatnak elő? A stabilitási völgy/hegy topológiája (hegy és vízrajza) a Weizsäcker-egyenlet és a héjmodell tükrében. Összevetés a kozmikus/naprendszeri izobárgyakoriságokkal. Izotópgyakoriság vs. stabilitás a Ni példáján és az összevetés eredményének értelmezése.

## 08. Bomlásmódok, radioaktivitás, sugárzások, bomláskísérő jelenségek

- A. A fő bomlási módok ( $\alpha$ ,  $\beta^-$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$ ,  $f$ ) és ezek elhelyezkedése a nuklidtérképen. Mért segíti az  $\alpha$ -bomlás a protonarány csökkenését? Radioaktivitás. Röntgensugárzás,

fékezési sugárzás, gamma-sugárzás összevetése/megkülönböztethetősége. Az  $\alpha$ - és a  $\beta$ -bomlás spontaneitásvizsgálata.  $\beta^+$  vs. EC mint versengő folyamatok. A  $\beta^+$ -bomlás egyértelmű kimutatása. Az  $\alpha$ - és a  $\beta$ -részecskék energiaeloszlása közti különbség és ennek oka. Bomlássémák (egy-egy szimpla példa  $\alpha$ - és  $\beta$ -bomlásra konkrét radionuklidok megadása nélkül, de a nyílirány-konvenció tükrözésével). Forrátoatomok (az  $\alpha$ - és a  $\gamma$ -bomlás visszalökődési formulája levezetés nélkül). Belső konverzió (mi az?). Auger-effektus (mi az?). Belső fékezési sugárzás.

- B. Elhullatási vonal (*dripline*). A kötött bétabomlás ( $\beta_b$ ) elemzése a  $Dy^{66+}$  esetében. Magreakciók és bomlások összevetése (nézzétek meg a jegyzet vonatkozó fejezetét is). A spontán hasadás és a hasadási paraméter. Az aszimmetrikus hasadás értelmezése. A hasadási termékek eloszlásának jellemzői (független hozam, izobár hozam). Alagúthatás és a Geiger–Nuttal-szabály. Az EC kimutathatósága és a keletkező neutrínó energiaeloszlása. Neutrínók energiaeloszlása  $\beta^\pm$ -bomlás esetében.  $\beta^\pm$ -részecskék impulzuseloszlása közti különbség. A sugár részecske ( $\alpha$ -részecske, ill.  $e^\pm$ ) energiájának összevetése a  $Q$ -értékkel  $\alpha$ - és  $\beta$ -bomlás esetében. A  $\gamma$ -bomlás visszalökődési formulájának levezetése (matt két lépésben, csak könnyebb :-). Belső konverzió (hogyan tükröződik egy mágneses spektrométerrel felvett spektrumban) és konverziós koefficiens. Auger-effektus (a folyamat elemzése).

## 09. A bomlás kinetikája, aktivitás és dozimetriai egységek, bomlássorok

- A. Megfigyelt aktivitás, (abszolút) aktivitás és a bomlatlan radionuklid atomszáma közötti alapösszefüggések. A radioaktív bomlás exponenciális törvénye  $N$ -re,  $A$ -ra és  $A'$ -re. Az aktivitás definíciója és SI egysége. Az aktivitással kapcsolatos gyakorlati mennyiségek és egységek (fajlagos aktivitás, aktivitáskoncentráció, izotóphordozó, hordozómentes preparátum, zárt sugárforrás, beütésszám, számlálási sebesség). Dozimetriai alapfogalmak és egységek (fizikai: elnyelt dózis; biológiai: egyenérték dózis, effektív dózis). A LET érték és kvalitatív kapcsolata a sugárzási súlyfaktoral. A  $\lambda$ ,  $\tau$  és  $T_{1/2}$  mint az exponenciális törvény alternatív paraméterei. Párhuzamos; elágazó és sorozatos bomlások. Radioaktív egyensúly feltétele bomlássor tagjai között. Miről vehető észre az egyensúly jelenléte a bomlás féllogaritmikus ábráján? Mért pont négy fő bomlási sor létezik? Ebből hány fordul elő a természetben és miért? Ha egy bomlássor  $n$  tagja szekuláris egyensúlyban van, és az egyik aktivitása  $A$ , mennyi lesz az összaktivitásuk? Mi kell ahhoz, hogy idővel egy bomlássor minden tagja egyensúlyba kerüljön egymással?
- B. A bomlási állandó meghatározási módjai. Exponenciális törvény binomiális úton. A  $\lambda$  bomlási állandó valószínűségi értelmezése. Melyik paraméter mutatja közvetlenül a radionuklidok „örökifjú” (de nem örökéletű) tulajdonságát? Egy bomlási sor első két tagjának atomszáma az idő függvényében (levezetés nem kell, de az összefüggések tagjait értelmezni kell, és ki kell tudni hámozni az egyensúly hiányára, a tranziens és a szekuláris egyensúlyra vonatkozó formulákat). A fő bomlási sorok finomságai (kinetikailag nem sorok, nem teljesen függetlenek, rövidítések vannak bennük stb.)

## 10. Sugár–anyag kölcsönhatás

- A. Közvetlenül ionizáló sugár részecskék által a közeg egy kölcsönható elektronjának átlagosan átadott energia. Az ionizációs energia nagyságrendje (alkálifémeket és nemesgázokat belevéve). Az  $\alpha$ - és a  $\beta$ -sugárzás sugár–anyag kölcsönhatásának összevetése (a fékezőközeg egyetlen elektronjának maximálisan átadható energia, a közegben hagyott nyomkép, hatótávolság, az

abszorpciós görbe profilja). Mire vonatkozik a Bragg-görbe és mit fejez ki a görbe alakja. A LET-érték (ill. az S fékezőképesség) kapcsolata a külső és belső sugárzás veszélyességével. Milyen sugárzás esetében lép fel fékezési sugárzás és mi az? Az  $\alpha$ - és  $\beta$ -visszaszórás mechanizmusa közötti alapvető különbség. Cserenkov-sugárzás (mi az, és mi a feltétele). Pozitron–anyag kölcsönhatás. Neutronok fékezése (moderátorok).  $\gamma$ -anyag kölcsönhatás: Compton-effektus, fotoeffektus és párképződés és ezek hatáskeresztmetszetének kvalitatív összevetése a  $\gamma$ -energia és a rendszám függvényében.  $\gamma$ -spektrumok értelmezése  $\gamma$ -anyag kölcsönhatás alapján

- B. A Bete–Bloch-formula értelmezése. Ha feltételezzük, hogy a formula nagyon könnyű részecskékre is alkalmazható (mint a  $\beta$ -részecskék), milyen következtetésre jutunk, ha azonos energiájú, de eltérő tömegű részecskék hatótávolságát kell összevetnünk? A Bragg-görbe menetének magyarázata a Bete–Bloch-formula alapján, figyelembe véve, hogy kémiai szempontból mi is az  $\alpha$ -részecske. Megfelelő képlet alapján magyarázatot adni arra, hogy az  $\alpha$ - és  $\beta$ -sugárzás közül csak az egyiknél fordul elő fékezési (röntgen)sugárzás. Pozitroniumképződés és a pozitronium annihilációja. A párképződés lehetséges módjai. Mért nincs párképződés vákuumban? (Vagy fordítva: mért nincs  $1\gamma$  annihiláció vákuumban? Egyikből következik a másik a szimmetria miatt.) Megmutatni, hogy a fotoeffektus nem lehet a Compton határeset. Mi az a K-él és mitől van? Hogy viszonylik egymáshoz a Compton-él és a szórási él és miért?

## 11. Nukleáris detektorok, gamma-spektroszkópia, jelanalízis

- A. Lehetséges detektorfunkciók: energiameghatározás, jelszámlálás, intenzitásmérés, részecske tartózkodási helyének, ill. útvonalának, esetleg „személyazonosságának” megállapítása. Gázionizáción alapuló detektorok. Mit és hogyan mér az ionizációs kamra? Miben különbözik tőle a G–M-cső és a proporcionális kamra? A G–M-cső és a proporcionális kamra összevetése felhasználás/funkció szempontjából. Holtidő. Félvezető detektorok működésének érzékeltetése a diódamoddellen (szilárd ionizációs kamra). Fényemisszió alapuló detektálási módszerek (szcinti, TLD, Cserenkov). PMT.  $\gamma$ -spektrum. Diszkriminátor. Koincidenckiör. Nyomdetektálás (ködkamra, buborékkamra). Radiográfia. Szilárdtest nyomdetektorok. A neutrondetektálás lényege.
- B. A koaxiális felépítés előnye energiameghatározás szempontjából gázionizációs detektorokban (milyenben is?). A G–M-cső és a proporcionális kamra összevetése és magyarázata a közös karakterisztikán. Compton-elnyomás (mi az, és miért jó nekünk?) Implantált részecske helyének meghatározására alkalmas detektorok. Napneutrínók detektálása (Super-Kamiokande vs. SNO). Szcintillátorjel értelmezése. Nyomdetektálás geológiai kormeghatározásban.

## 12. Vedd úgy, hogy 10-est dobtál

- A. Mert volt egy kis csúszás mindjárt az elején, és Homonnay tanár úrnak úgyis van egy köt. vál. előadása a nukleáris alkalmazásokról.
- B. Mert a „Sugár–anyag kölcsönhatás” fontos témakör.