



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Nukleáris Technikai Intézet

BME-NTI-LAB00...../2007

ALFA-SPEKTROSZKÓPIA FÉLVEZETŐ (Si)
DETEKTORRAL

Hallgatói gyakorlat mérési útmutatója

Budapest, 2007. január

ALFA-SPEKTROSKÓPIA FÉLVEZETŐ DETEKTORRAL

Hallgatói gyakorlat mérési útmutatója

Tartalomjegyzék

Dokumentum-leírás	2
Bevezetés.....	3
1. A laboratóriumi gyakorlat célja.....	3
2. Elméleti összefoglalás	3
2.1. Felületi záróréteges detektorok	3
2.2. Mérőberendezés (alfa-spektrométer) blokkvázlata	5
2.3. Alfa-spektrométer főbb jellemzői	6
3. Mérési feladatok.....	7
3.1. Energiakalibráció	7
3.2. Energiafelbontó-képesség mérése.....	8
3.3. Ismeretlen alfa-sugárzó izotóp azonosítása.....	8
3.4. Hatásfok meghatározása.....	9
3.5. Ismeretlen izotóp aktivitásának meghatározása	9
4. A méréshez szükséges eszközök és anyagok	10
5. IRODALOM	11

Bevezetés

Az útmutató a Nukleáris mérés technika c. tantárgy laboratóriumi gyakorlatához készült.

A hallgató az alábbi ismereteket sajátítja el a gyakorlat során:

- alfa-spektrometriás módszer gyakorlati alkalmazása
- alfa-spektrométer felépítése, az egyes részek feladata, jellemzői
- felületi záróréteges Si detektorok fajtái, jellemzői
- alfa-forrás formájának jelentősége
- alfa-spektrumok kiértékelése
- mérési adatok feldolgozása (bizonytalanságbecsléssel)
- a mérési módszer összehasonlítása más (pl. gamma-spektrometriás) módszerekkel

1. A laboratóriumi gyakorlat célja

A gyakorlat elvégzésével az elméleti előadásokon hallott ismeretek elmélyítése és gyakorlatban való megismerése történik. A félvezető detektorok tulajdonságainak összehasonlítása, a felületi záróréteges Si detektor alkalmazása alfa-sugárzó minták azonosítására, aktivitásának és aktivitáskoncentrációjának meghatározására. A mérési eljárás alkalmazhatósága, előnyei, korlátai.

2. Elméleti összefoglalás

A Si vagy Ge alapanyagú félvezető detektorokat - amelyeket szilárd ionizációs kamráknak is neveznek - széles körben alkalmazják a nukleáris mérés technikában. Használhatók kb. 20 keV-es elektronenergiától 200 MeV-es nehéz ion (pl. alfa-részek) energiáig, valamint gamma-spektrometriai célokra.

Alfa-sugárzás mérésére a félvezető detektorok számos típusát fejlesztették ki. Egyik fajtájuk az ún. felületi záróréteges Si detektor. Ez igen jó energia felbontással, gyors felvételű impulzus alakú (kb. 1 ns) rendelkezik, ezért jól alkalmazható pl. spektrometriában, valamint koincidenca mérésekben.

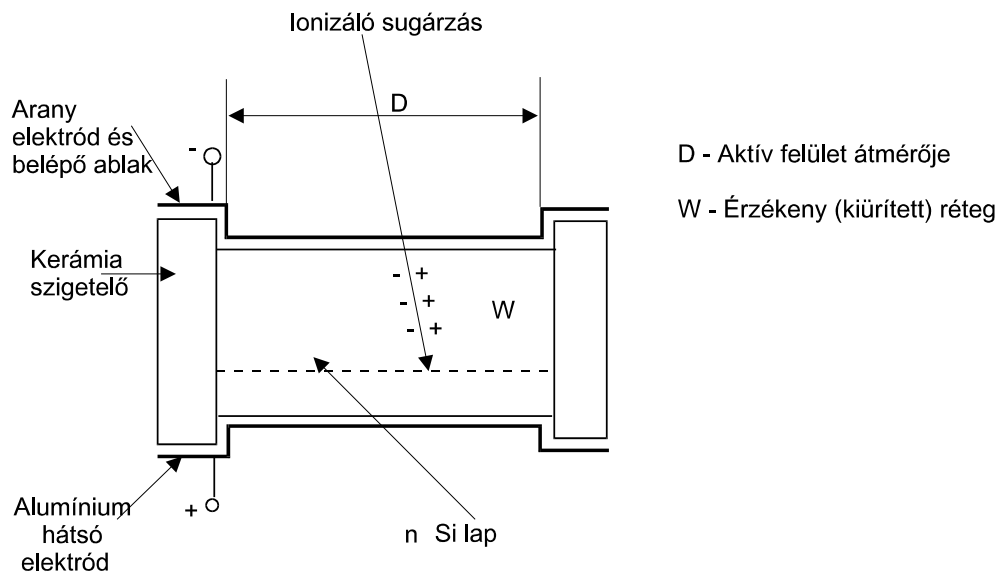
Ezen detektorok megszólalási valószínűsége (azaz elektromos jel kiadása) azokra a töltött részecskékre, amelyek bejutottak a detektor érzékeny térfogatába, 100%, energiafelbontásuk széles tartományban állandó. Kis méretük miatt, jól illeszthetők különböző mérési geometriákhoz, külső elektromos és mágneses terekre alig érzékenyek.

2.1. Felületi záróréteges detektorok

Alfa-spektrometriai célokra leggyakrabban az ún. *felületi záróréteges detektorokat* alkalmazzák (1.ábra). Ezek alapanyaga nagy tisztaságú, **n** típusú Si egykristályból készült lap. Ezt savas maratás után oxidációnak vetik alá. A felületen kialakuló nagyon vékony oxid réteg **p** típusként szerepel. Így jön létre a *p - n átmenet*. Ezt követően a kristály egyik oldali sík felületére nagyon vékony (kb. 50 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) arany réteget visznek fel vákuumpárolgatással. Az arany réteg egyrészt elektromos kontaktusul szolgál, másrészt fényzáróként szerepel. Ez a detektor belépő ablaka. Az arany rétegnek azért kell minél vékonyabbnak lenni, hogy a kis hatótávolságú (nagy fajlagos ionizációval rendelkező) alfa-részecskék minél kisebb energiavesztéssel léphessenek be a detektorba. A Si lap másik síkoldalára - rendszerint

Al-ból készült elektród kerül. Az arany és alumínium elektródák közé *záróirányú feszültséget* kapcsolnak, mely tovább szélesíti a p - n átmenetnél kialakult kiürített réteget. Ez a detektor *érzékeny térfogata*. Ennek olyan vastagságúnak kell lenni, hogy a mérendő alfa-részecskék teljes energiájukat leadják azaz elnyelődjenek benne, (mivel az egyik feladat energiájuk meghatározása) létrehozva elektron – pozitívlyuk töltéshordozó párokat. Az így keletkezett töltéshordozókat a detektorra kapcsolt feszültség összegyűjti és a kimeneten elektromos impulzusok jelennek meg. Az impulzus amplitúdója arányos az abszorbeált alfa részecske energiájával (energiamérés).

Az újabb technológiával készült detektorokat PIPS (**P**assivated **I**mplanted **P**lanar **S**ilicon) típusúaknak nevezik. Az ilyen detektor belépő ablaka implantált réteggel van ellátva és ezért sokkal ellenállóbb mechanikus behatásokkal (pl. dekontaminálás) szemben, mint az előző típus.

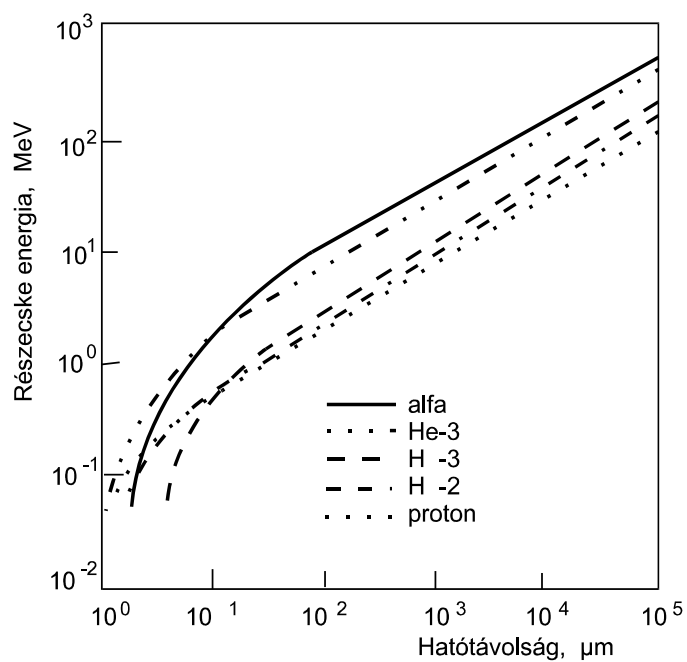


1. ábra Felületi záróréteges detektor szerkezete.

A felületi záróréteges detektorokat három - a mérés technika szempontjából fontos - paraméterrel szokás jellemezni:

- energiafelbontó képesség;
- belépő ablak felület nagysága és
- kiürített réteg vastagság.

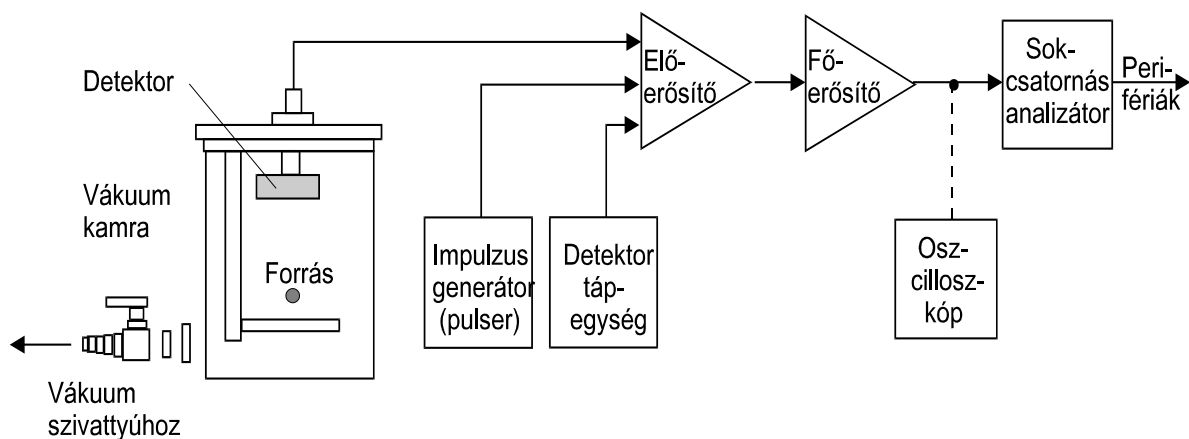
Általában az *energiafelbontás* 20 keV körüli érték (5,5 MeV-es alfa-részecskékre). Adott detektor esetén elsősorban a sugárforrás vastagságától, valamint a detektor és sugárforrás közötti távolságtól függ. A *belépő ablak felület* általában 100 - 1000 mm² közötti. Ennek nagysága egyrészt a detektor határfokát szabja meg, de kihatással van az energia felbontásra is (elektronikus okokból: nagyobb térfogatból a kigyűjtött töltések mennyiségének statisztikus ingadozása nagyobb, mint kisebb térfogat esetén). A *kiürített réteg vastagsága* 100 - 5000 μm szokott lenni. Mint fentebb említettük, ez utóbbinak elégnek kell lenni a detektálni kívánt töltött részecskék teljes lefékezéséhez, ami nyilván részecskefajta és energiafüggő. Erről ad tájékoztatást a 2. ábra.



2. ábra. Energia - hatótávolság görbék különböző töltött részecskékre Si-ban.

2.2 MÉRŐBERENDEZÉS (ALFA-SPEKTROMÉTER) BLOKKVÁZLATA

Egy alfa-spektrométer blokkvázlatát szemlélteti a 3. ábra.



3. ábra. Alfa-spektrométer blokkvázlata.

Tekintettel az alfa-részecskék nagy fajlagos ionizáló képességére (kis hatótávolságára), a detektort és a sugárforrást közös vákuum térbe kell helyezni, továbbá, a sugárforrásnak minél vékonyabbnak kell lenni, hogy benne az alfa-részecskék abszorpciója - így energia szórásuk - minél kisebb legyen.

Figyelmeztetések:

- Az alfa-sugárforrások aktív oldalát (de bármilyen más radioaktív sugárforrást sem) soha ne érintsük kézzel. Mindig a forrás tartó lemez szélét fogjuk meg csipesszel.
- A félvezető detektorok érzékeny felületét óvjuk a mechanikus hatásoktól, mert a felület megsérülhet, elszennyeződhet és a detektor tönkremehet.

A detektor által szolgáltatott elektromos impulzusok jelformálás és erősítés céljából *erősítő* rendszerre kerülnek. Az erősítőkkel kapcsolatos szigorú kívánalom az igen *jó jel/zaj* viszony és a nagyfokú *linearitás*. Az erősítőkből kilépő elektromos jelsorozatot sokcsatornás analizátor (MCA: multichannel analyzer) dolgozza fel. A félvezető-detektoros alfa-spektrométerek MCA - ja - a detektor jó energia felbontása miatt - 1 - 2 ezer csatornás.

A *spektrum kiértékelés* általában számítógéppel (PC) és megfelelő software felhasználásával történik. A kiértékelés főbb lépései: csúskeresés, az energia kalibráció alapján energia meghatározás, izotópozonosítás, hatásfok alapján aktivitás, vagy aktivitáskoncentráció meghatározás.

Az impulzus generátor (pulser) és az oszcilloszkóp nem szoros tartozékai a spektrométernek, elsősorban a rendszer elektronikus vizsgálatához használatosak.

2.3. Alfa-spektrométer főbb jellemzői

Mint említettük, az alfa-spektrométerek legfontosabb jellemzői: az energiefelbontó-képesség és a hatásfok.

Az *energiefelbontó-képesség* szemléletesen, az a két legközelebbi energia, amit a berendezés még szét tud választani. Ennek mérőszáma az ún. félértékszélesség (ld. később). Ezt egyrészt a detektor tulajdonságai, másrészt az erősítő zaja határozza meg, de mint fentebb említettük, alfa-spektrometriában függ még a detektor - sugárforrás távolságtól is, valamint nagyban befolyásolja a sugárforrás "vékonysága". Megfelelő vékonyságú alfa-sugárforrás készítése általában igen bonyolult feladat és az alfa-spektrometria igen fontos lépése.

A *hatásfok* azt adja meg, hogy a sugárforrásból a 4π térszögbe emittált alfa-részecskékből mennyi ad impulzust a spektrum energia csúcsaiba. Ezt a detektor belépő ablakának mérete, másrészt mérési geometria (sugárforrás detektor távolság, forrás alak) határozzák meg.

3. MÉRÉSI FELADATOK

3.1. Energiakalibráció

Ellenőrizze a spektrométer összeállítását és írja fel az egyes egységek típusát. A gyakorlatvezető útmutatása szerint állítsa be az egyes egységeken a mérési paramétereket és jegyezze fel azokat.

Ismert energiájú alfa-részecskéket kibocsátó sugárforrást (etalon) helyezzen a detektor elé. A vákuumszivattyú bekapcsolása és a szükséges vákuum (néhány Pa) elérése után kapcsolja rá a detektorra az üzemi feszültséget (30-100 V - a gyakorlatvezető utasítása szerint). Vegyen fel alfa-spektrumot a sokcsatornás analizátorral. Az etalonhoz megadott energiák és az analizátorból a marker segítségével kiolvasott, a csúcsok maximum helyeihez tartozó csatornaszámok ismeretében végezze el az energia kalibrációt az adott erősítő beállítás mellett (4. ábra), azaz határozza meg az energiakalibrációs egyenes paramétereit: meredekség, tengelymetszet, más szóval írja fel egyenletét:

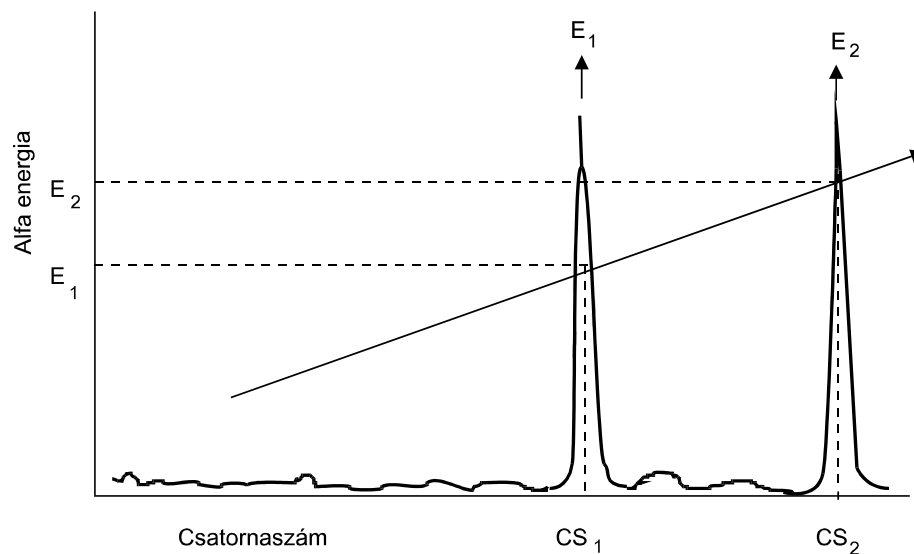
$$E = mCS + b \quad (1)$$

ahol E = az alfa energia [keV],

m = az energiakalibrációs egyenes meredeksége [keV/csatorna],

b = a tengelymetszet [keV],

CS = csatornaszám.



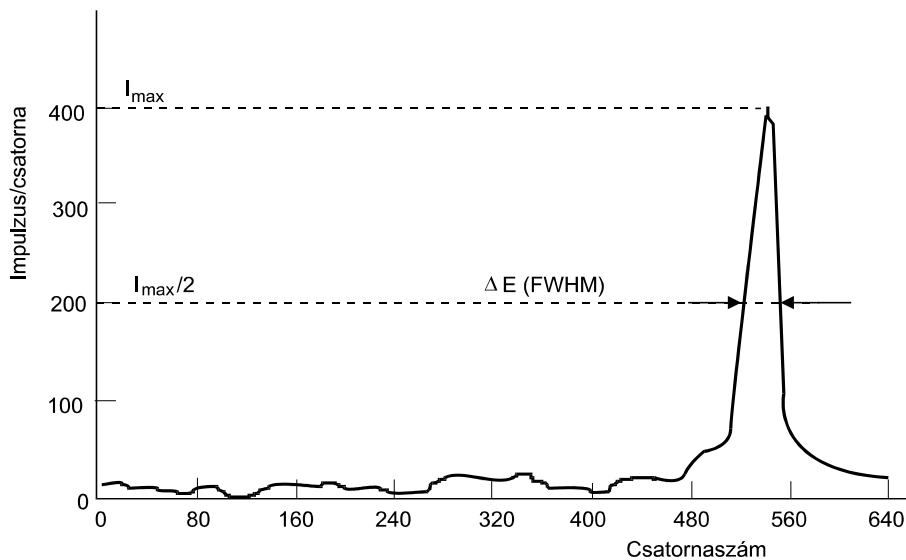
4. ábra. Energia kalibráció.

3.2. Energiafelbontó-képesség meghatározása

Helyezzen el ismert energiájú alfa-részecskéket kibocsátó sugárforrást(okat) a detektor elé, egy közelebbi (kb. 5 mm) távolságra és vegyen fel spektrumot. A mérési idő megválasztásánál vegye figyelembe a statisztikus hibát! Határozza meg a spektrumban található energia csúcsok félértékszélességeit ($\Delta E = \text{FWHM} = \text{full width at half maximum}$) az 5. ábrának megfelelően.

A berendezés energia felbontására jellemző félértékszélesség:

$$\text{FWHM [keV]} = \Delta CS [\text{csatornaszám}] * m [\text{keV/csatornaszám}] \text{ alapon számítható.}$$



5. ábra. Az energiafelbontás definíciójához

Végezze el a fenti mérést és számítást úgy is, hogy a sugárforrás a detektortól távolabb (kb. 40 mm) van. Hasonlítsa össze a két mérésből kapott eredményeket és magyarázza meg az azok közötti eltérést.

3.3. Ismeretlen alfa-sugárzó izotóp(ok) azonosítása

Ismeretlen összetételű alfa-sugárzó preparátummal vegyen fel spektrumot. Az energiacsúcsok maximum helyeinek (csatornaszám) kiolvasása és az energia kalibráció alapján számítsa ki az alfa-energiákat. Izotóp táblázat segítségével a kapott energia értékek ismeretében állapítsa meg a minta izotóp összetételét és jegyezze fel az izotópok főbb nukleáris adatát (pl. felezési idő, "valódi" alfa-energiák és alfa-gyakoriságok). A mérési időt úgy kell megválasztani – tekintettel a statisztikus szórásra - hogy a csúcs maximumban az impulzusszám ne legyen kevesebb, mint kb. 5000.

3.4. Hatásfok meghatározása

Határozza meg a spektrométer hatásfokát abban a mérési geometriában, amelyben az ismeretlen mintát mérte. A hatásfok kétféle módon nyerhető:

- az egyik egy durvább közelítés, amely olyan esetben is alkalmazható, amikor nem áll rendelkezésre (drága etalon) kalibráló sugárforrás. Ez a módszer azon a feltételezésen alapszik, hogy minden a detektorba jutó alfa-részecske regisztrálásra kerül a csúcs területben. Ekkor a sugárforrás - detektor távolság (H), valamint a detektor belépő ablak felszínének (F) ismeretében a hatásfok a következő módon becsülhető:

$$\eta = \frac{F}{4H^2\pi} \quad (2).$$

Ennek a számításnak a hibája kb. 10 %-nak vehető.

- a másik, lényegesen pontosabb eljárás, ismert aktivitású standard (etalon) alfa-sugárforrás alkalmazásával végezhető el. Ekkor a standard forrást ugyan abba a mérési pozícióba kell helyezni, amelyben az ismeretlen minta volt és felvenni az alfa-spektrumot. Ebből a spektrumból az energia csúcs területe (N_{st}) alapján:

$$\eta = \frac{N}{k_\alpha t_m A_{st}} \quad (3)$$

ahol t_m = a mérési idő [s] és

A_{st} = a standard izotóp aktivitása [Bq] a mérés időpontjában,

(előfordulhat, hogy ehhez bomláskorrekciónak kell alkalmazni, mert a standard aktivitása más időpontban adott!)

k_α = az adott energiájú alfa-sugárzás gyakorisága (nukleáris állandó).

$$\sigma_\eta \approx \sigma_N = \sqrt{N_{st}} \quad (4)$$

3.5. Ismeretlen izotóp(ok) aktivitásának meghatározása

Vegyen fel alfa-spektrumot valamely ismeretlen radioaktív mintáról. A forrást olyan pozícióba helyezze a detektor elé, ahol ismert a hatásfok (akár előzetes meghatározásból, akár a gyakorlatvezetőtől). A spektrumban észlelt csúcsterület(ek) meghatározása után számítsa ki a minta alfa sugárzó izotópjának (izotópjainak) aktivitását (A_x) és annak relatív statisztikus szórását ($\frac{\sigma_{A_x}}{A_x}$) az (5) és (6) összefüggések alapján:

$$A_x[Bq] = \frac{N_x}{k_\alpha t_m \eta} \quad (5) \text{ és}$$

$$\sigma_{A_x} = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_\eta^2} \quad (6)$$

ahol N_x = az ismeretlen forrástól származó valamelyik alfa-csúcs területe [imp],

t_m = a mérés időtartama [s],

η = a hatásfok az adott mérési elrendezésben,

σ_N = a csúcsterület statisztikus szórása és

σ_η = a hatásfok hibája.

σ_A = az aktivitás statisztikus hibája.

Az aktivitást számítsa ki mindkét, a 4. pontban ismertetett hatásfok meghatározás alapján.

Disszkutálja a kapott eredményeket és az azok közötti eltérést.

4. A méréshez szükséges eszközök és anyagok

- félvezető-detektorral ellátott alfa-spektrométer,
- standard sugárforrás,
- ismeretlen összetételű alfa-sugárforrás,
- csipesz, tolómérő, stb.

5. IRODALOM

- 5.1 Bódizs D.: Atommagsugárzások mérés technikái
Typotex Kiadó Budapest, 2006
- 5.2. Deme S.: Félvezető detektorok magsugárzás mérésére
Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1968
- 5.3. Nagy L.Gy.: Radiokémia és izotóptechnika (bizonyos fejezetei)
Tankönyvkiadó Budapest, 1983
- 5.4. Applied Radiation and Isotopes Vol. 35 No. 4, 1984
Alpha - Particle - Spectrometry Techniques and Applications

Amiről beszélni kell (útmutató a gyakorlatvezetőnek):

- az alfa-sugárzás tulajdonságai (alfa-bomlás, alagút effektus, fajlagos ionizáció, hatótávolság);
- az alfa spektrum alakjának magyarázata;
- az alfa- és gamma-spektrumok alakjának összehasonlítása;
- mire használható az alfa-spektrometria;
- érzékenység összehasonlítása az alfa- és gamma-spektrometria között;
- milyen detektorok alkalmasak alfa-sugárzás intenzitásának mérésére és spektrometriájára;
- milyen információk nyerhetők egy alfa-spektrumból;
- az alfa-sugárforrás készíttéssel szemben támasztott követelmények;
- alfa-sugárforrás (spektrometriai célra) készítésének módszerei;
- az alfa-sugárzás dozimetriai szempontból.

Milyen legyen egy jó jegyzőkönyv ?