

A RADIOAKTÍV SUGÁRZÁS DETEKTÁLÁSA

A radioaktív sugárzások detektálása az egyik legérzékenyebb detektálási módszer, mert már az egyes atommagok bomlása is kimutatható. Számos detektálási módszer ismert. A megfelelő detektálási módszert meghatározza:

- a sugárzás típusa
- a radioaktív minta jellege
- a szükséges detektálási érzékenység.

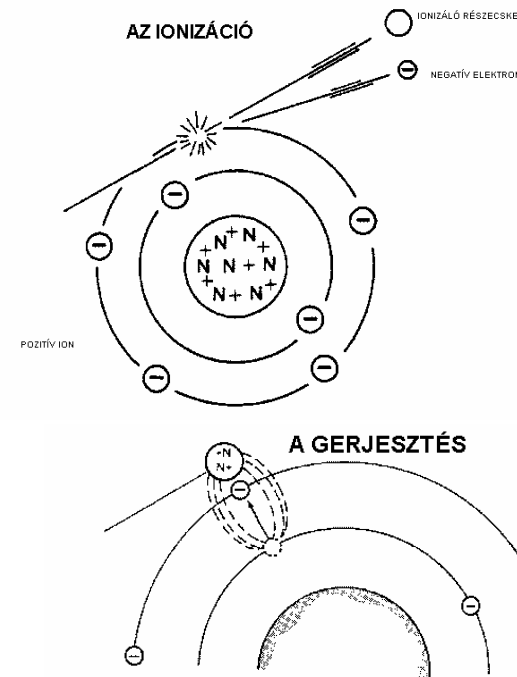
A detektálás alapja: a sugárzás és a detektor anyagának kölcsönhatása

A kölcsönhatás lehet:

- ionizáció
- gerjesztés

Gáztöltésű detektorok

Ezek általában argontöltésű detektorok. Az anód a detektor középpontjában helyezkedik el és a számláló teste általában a katód. Az alkalmazott egyenfeszültség függvényében alkalmazzuk az ionizációs kamrákat, a proporcionális számlálókat és a Geiger-Müller (GM) számlálókat.



Mérőrendszer:

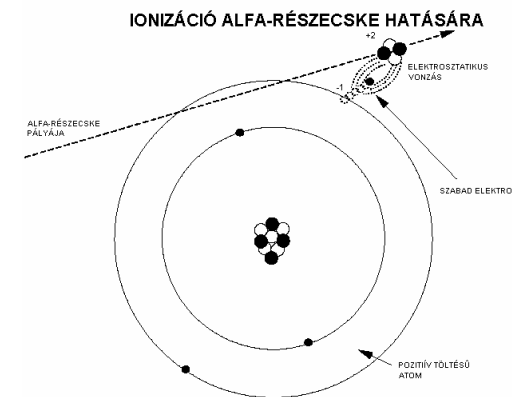
- Detektor
- Mérőberendezés

A detektálás a detektor és a sugárzás kölcsönhatása alapján történik. Ez lehet ionizáció és gerjesztés. Előbbire példa az ionizációs kamra, proporcionális kamra és a Geiger-Müller számlálócső, utóbbira a részben a szcintillációs számláló.

A kölcsönhatás eredménye lehet elektromos tulajdonság megváltozása (pl. elektromos vezetőképesség), kémiai átalakulás, melegedés, magreakció. A sugárzás és a detektor kölcsönhatása általában igen bonyolult.

α -sugárzás kölcsönhatása a detektor anyagával

- Ionizáció
- Gerjesztés
- Szóródás



Ionizáció: az α részecskék nagy tömegük következtében alig térülnek el. A fajlagos ionizáció (egységnyi úthosszra eső ionizált atomok száma) csökkenő energiával nő.

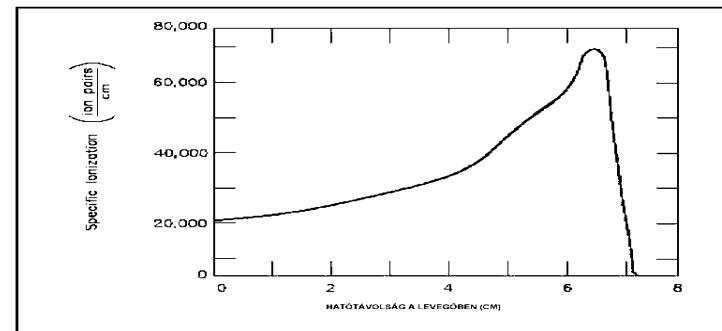
Pl. 5 MeV-os α -részecske hatótávolsága levegőben 3,7 cm.

Szóródás: ha az α -részecske a mag közelébe jut, nehéz atommagok esetén eléri a 2%-ot. Nagy energiájú α -részecske magreakciót is kiválthat.

β -sugárzás kölcsönhatása a detektor anyagával

Fajlagos ionizációja kisebb, mint az α -sugárzásé. Kis energiáknál nő a fajlagos ionizáció. A kölcsönhatás lehet:

- Ionizáció
- Gerjsztés
- Szóródás
- Annihiláció (β^+ -sugárzás esetén)



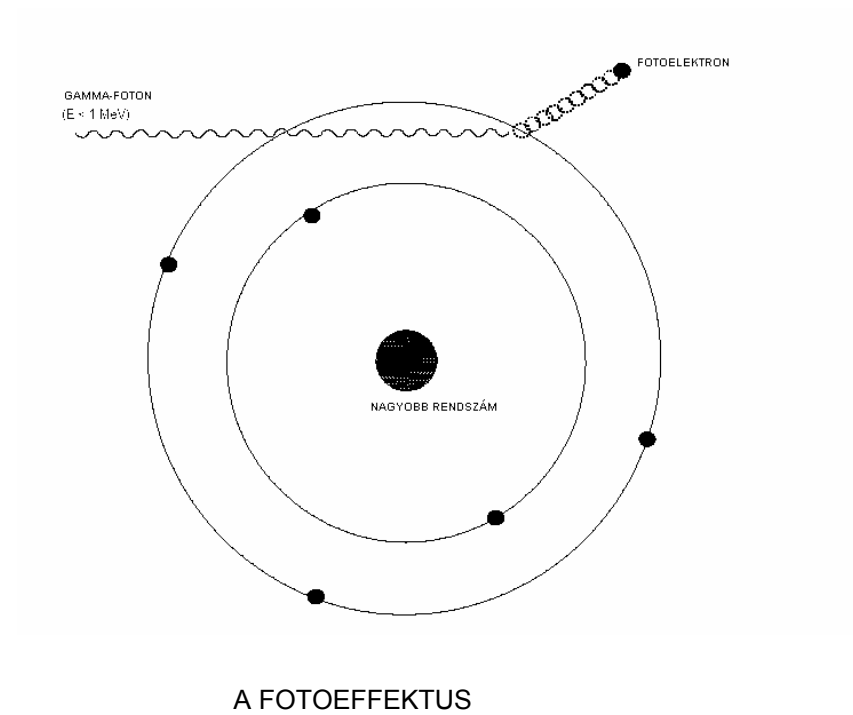
A szóródás erőteljesebb mint az α -sugárzásé. Jelentős az ún. visszaszóródás. Fellép ezenkívül a fékezési röntgen sugárzás, melynek energiája (hatótávolsága) a fékező anyag rendszámával nő. 2,2 MeV-os β -sugárzás hatótávolsága levegőben 9 m.

A röntgen és γ -sugárzás kölcsönhatása a detektor anyagával

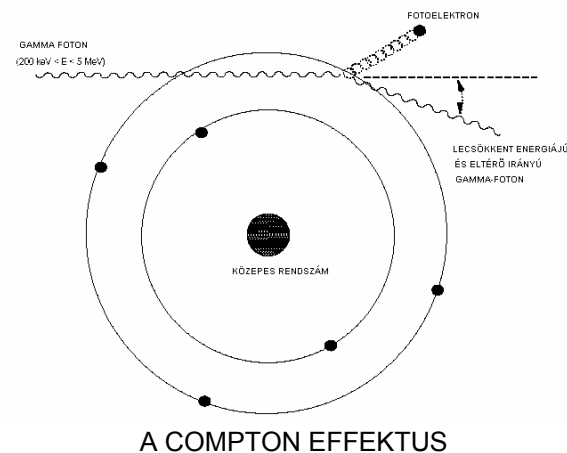
A kölcsönhatás a γ -sugárzás energiájától függ:

- Fotoeffektus ($<1\text{MeV}$)
- Compton-effektus ($>1\text{MeV}$)
- Párképzés ($>1,02\text{ MeV}$)
- Magreakció (magfotoeffektus)

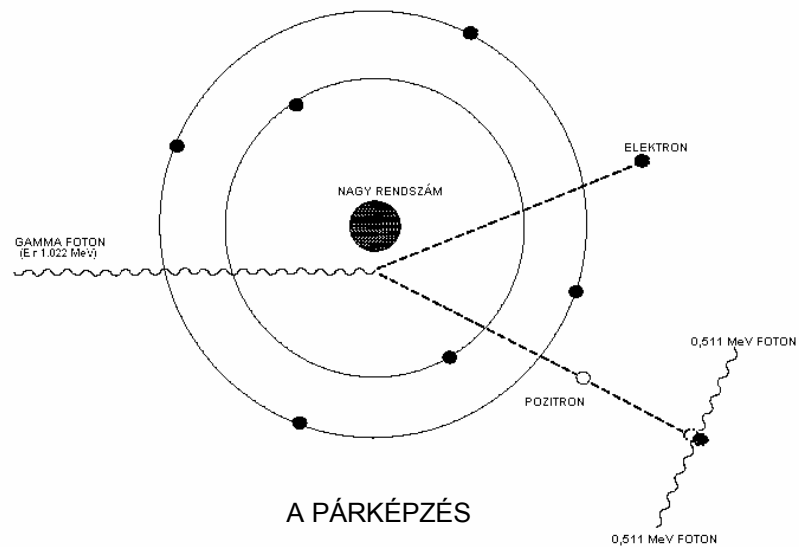
Fotoeffektus \rightarrow ionizáció



Compton-effektus $\rightarrow \gamma$ kvantum nem semmisül meg, hanem eltérült irányban (szóródás), lecsökkent energiával halad tovább, miközben egy ún. Compton-elektron hagyja el az atomot. A foton energiája a 180° -os szórás esetén csökken a legnagyobb mértékben. Ha a számos Compton-szórás révén a szórt foton energiája elegendően lecsökkent egy fotoeffektus során a kvantum megsemmisül. Ha az összes Compton-elektron és fotoelektron elnyelődik a detektorban a teljesenergia detektálásra kerül, ha a Compton-elektronok egy része kiszökik a detektorból az energiának csak egy része detektálódik.



Párkeltés esetén \rightarrow a nagyenergiájú γ kvantum a mag közelében megsemmisül és átalakul 1 db negatronná és 1 db pozitronná. Ha mindkét elektron elnyelődik a detektorban a teljesenergiát, ha az egyik kiszökik a teljesenergiánál 0,51 MeV-al kevesebbet, ha mindkettő kiszökik 1,02 MeV-al kevesebb energiát detektálunk. A kiszökő pozitron elektronnal találkozáskor annihilation során 2 db 0,51 MeV-os γ kvantum keletkezik.

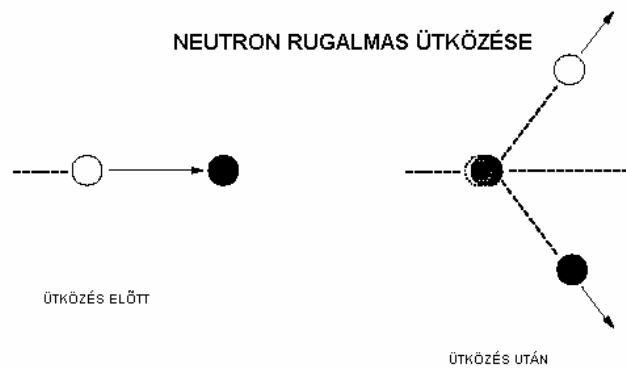


Magreakció → nagyenergiájú γ kvantumok magreakciókat indukálhatnak 8 MeV felett (γ, n), (γ, p), ez a magfotoeffektus.

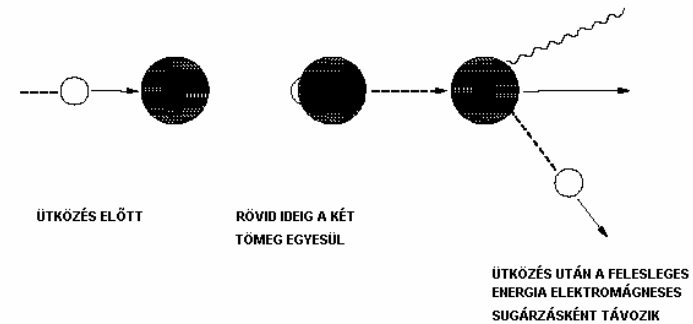
Neutron-sugárzás kölcsönhatása a detektor anyagával

Mivel a neutronnak nincs töltése a maggal lép kölcsönhatásba, mely lehet:

- Rugalmas szóródás
- Rugalmatlan szóródás
- Magreakció



NEUTRON RUGALMAS ÜTKÖZÉSE



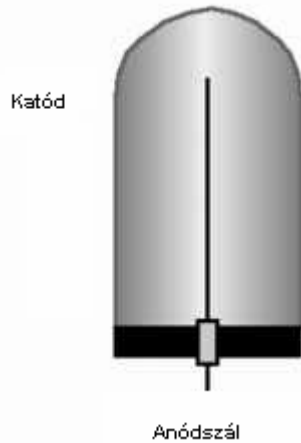
NEUTRON RUGALMATLAN ÜTKÖZÉSE

Rugalmas szóródás → a meglökött mag nem gerjesztődik, a neutron energiavesztesége a legkönnyebb maggal, a hidrogénnel való ütközés során a legnagyobb.

Rugalmatlan szóródás → a meglökött mag gerjesztődik és a mag energiafelelegét γ -sugárzás formájában adja le.

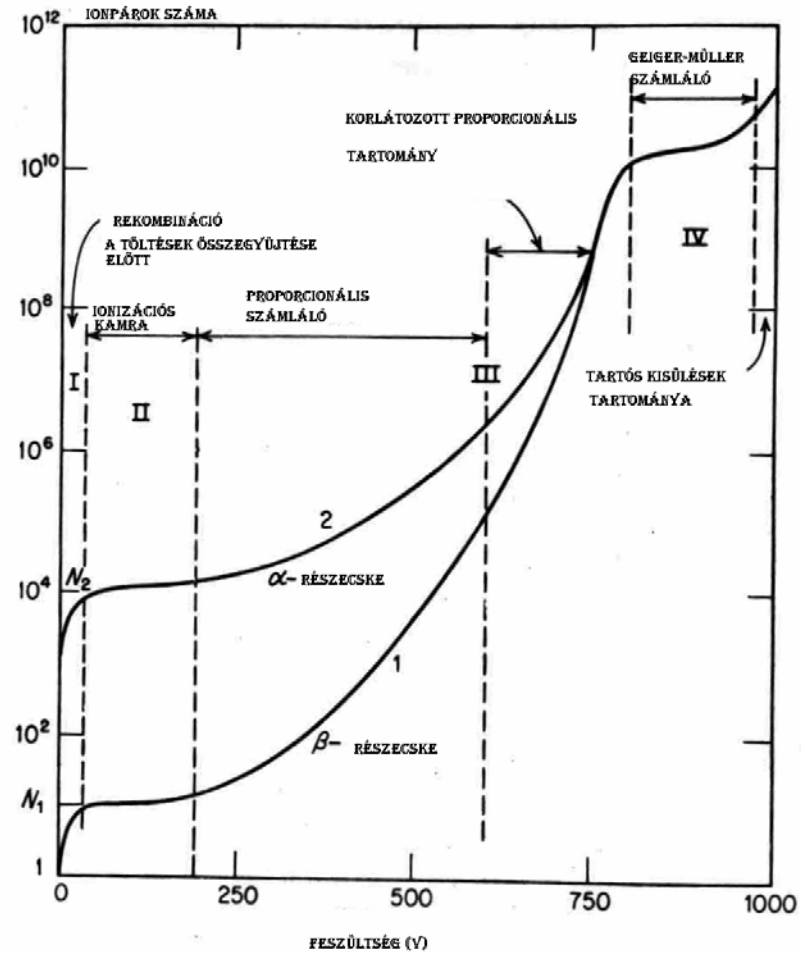
Magreakció → a neutron összeolvad a célmaggal, magreakció játszódik le (n, γ) és a mag az energiafelesleget γ -sugárzás, vagy vegyes sugárzás formájában adja le.

GÁZIONIZÁCIÓS FESZÜLTÉS-IMPULZUS GÖRBE



Egy gázionizációs detektor

Általában Ar gázt használnak, mert az elvisel nagy feszültséget ionizáció nélkül, csak gerjesztődik.



1. Az ionizációs számláló tartománya

Az alkalmazott feszültség kicsi (100-300V). Ezen a feszültségen csak az ionizáló sugárzás hatására keletkezett ionpárok (elektronok és pozitív ionok) érik el az elektródákat. Az alfa-sugárzás fajlagos ionizációja magasabb, mint a béta- és gamma-sugárzásé, ezért több töltést produkál.

Alkalmaznak integrális és impulzus üzemű ionizációs kamrák.

Integrális kamra:

- Áramot mérünk, mely α -sugárzás esetén elérheti a μA áramerősséget. Mérése galvanométerrel, 10^{-8} a esetén elektrométerrel vagy nagy ellenálláson eső feszültség mérésével történik.

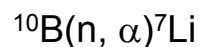
Impulzus kamra:

- Feszültségimpulzusokat mérünk.

2. A proporcionális számláló tartománya

Az alkalmazott feszültség magasabb (300-3000V). Ezen a feszültségen a megfelelő töltésű elektród felé gyorsulva repülő ionok ütközve más semleges gáztomokkal vagy molekulákkal másodlagos ionizáció révén újabb töltéspárokat hoznak létre. A gázerősítés 10-1000-szeres. A keletkezett összes töltés száma arányos a primer töltések számával, így egy alfa- részecske nagyobb töltésszámot generál, mint a béta-, illetve gamma- "részecskék". Nehéz részek detektálására alkalmas, mert azok teljesen lefékeződnek a detektor térfogatban.

Pl. BF_3 termikus neutronok hatására a következő magreakcióban α -sugárzást generál, mely jelet generál.



3. Geiger-Müller (GM) számláló

Az alkalmazott feszültség argontöltés esetén 1000 V fölött van. Ezen a feszültségen a keletkezett elsődleges ionizált töltéspárok gyorsulása olyan nagy, hogy az elsődleges (primer) töltések számától függetlenül azonos nagyságrendű ionizációs “lavina” keletkezik. A gázerősítés 1000000 nagyságrendű. Ez a legérzékenyebb gáztöltésű detektor, de nem képes külön számlálni az alfa-, béta-, vagy gamma-sugárzást. A GM csőnek legnagyobb a holtideje (50-500 μs). Ezalatt az időtartam alatt nem képes a számláló újabb beérkező részecskét számlálni. Különböző GM cső típusokat fejlesztettek ki. Az alapgáz Xe, Ar, a kioltó gáz alkohol vagy Br_2 lehet.

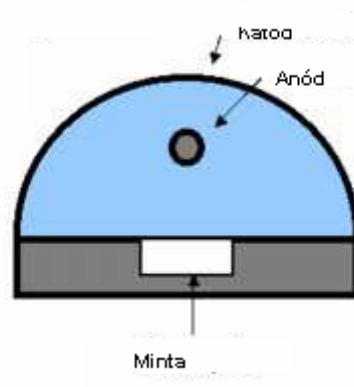
A gamma-sugárzás detektálásához, a kis számlálási hatásfok (kb. 1%) miatt fémből készült teljesen zárt fémhengereket alkalmaznak.

A béta-sugárzás detektálásához az ún. Végablakos GM csövet alkalmazzák. Itt az anódszálat a fémből készült katódhenger veszi körül és a cső végét kis felületi sűrűségű végablakkal zárják le. A végablak csillámlemezéből, vagy vékony műanyag fóliából készült. Az anódszál Ni, Fe, Pt lehet. A béta-sugárzás be tud hatolni a vékony végablakon és a gáztérben ionizációt okoz. Az ilyen csövek hatásfoka béta-sugárzásra közel 100%.

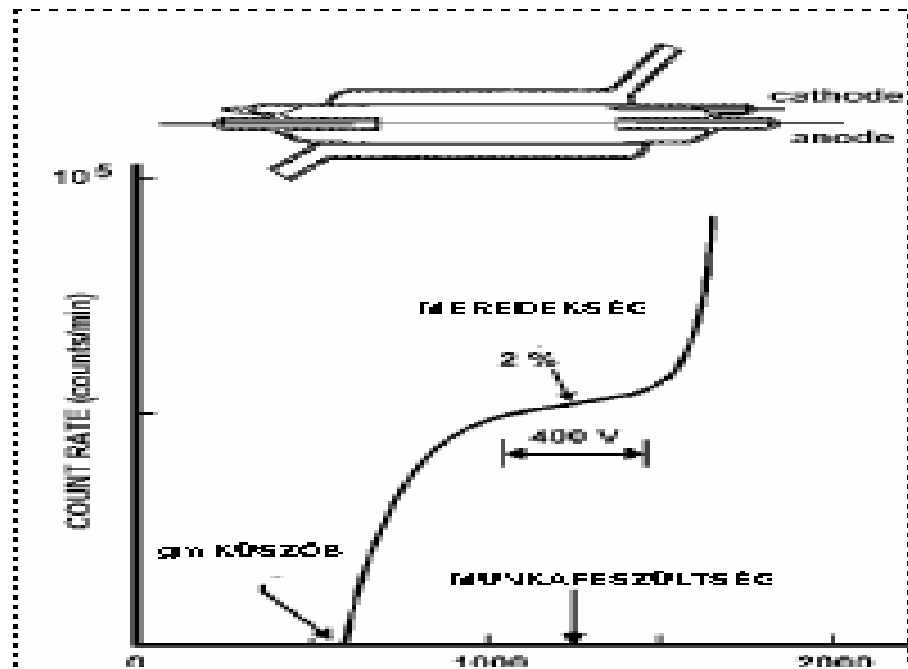


Az alfa-sugárzás detektálásához még a legvékonyabb végablakos cső sem alkalmas, mert az a nagyenergiás részecskék kivételével alfa-részecskék már a végablakban elnyelődnek. A számlálás megvalósítható, ha a sugárforrást a GM cső belsejében a gáztérben helyezük el. Gáz halmazállapotú alfa-sugárforrás esetén a radioaktív gázt (pl. CO_2 , CH_4 stb.) összekeverjük az argon töltőgázzal és így áramoltatjuk keresztül a csövön. Ez az öblítőgázos megoldás.

Folyékony, vagy szilárd halmazállapotú alfa-sugárzók mérésénél az ún 2π szimmetrikus detektort alkalmazhatjuk. Itt a sugárzó mintát egy vastag falban kialakított üregben helyezük el és erre borítunk egy félgömb alakú burkolatot, melyet lezárás után argon gázzal töltünk meg és az egyen-feszültség bekapcsolása után mérjük az ionizáció mértékét jelző beütésszámot.

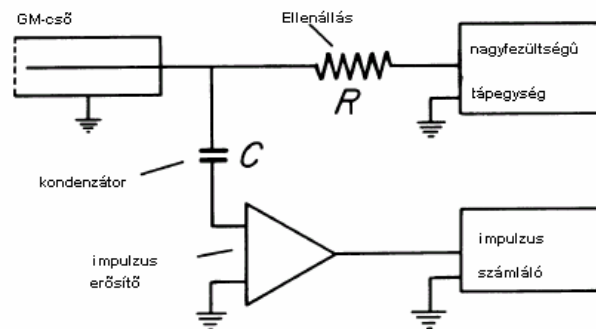


A GM cső minősítését és mérési beállítását az ún. karakterisztika görbe alapján végzik el. Ez a feszültség-impulzusszám görbe, melyet egy hosszú élettartamú radionuklid segítségével mérnek meg.



A GM-cső jóságát a plató hosszával és relatív meredekségével(2-10%) jellemezzük. A GM-cső kvantumhatásfoka β -sugárzásra közel 100%, γ -sugárzás esetén $\sim 1\%$.

Holtidő és feloldási idő korlátozza számlálási képességét.

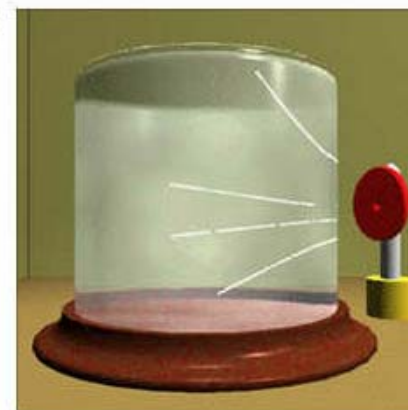


GM-cső kapcsolása

Ködkamra 1911 C.T.R.Wilson

A gázon áthaladó nyomvonal láthatóvá tehető, ha a folyadékcseppek kondenzálódnak az ionizáció során keletkezett ionokon. CO_2 , H_2O és metanol gőzöket használnak. Az α -részecske sűrű ködcseppekből álló ($>1000/\text{cm}$) egyenes vonalakat hoz létre. A β -részecske által létrehozott nyom kevésbé sűrű, néhány csepp/cm. A γ -kvantum nem detektálható.

A kamrát gyakran elektromos, vagy mágneses térbe helyezik a részecskék mozgásmennyiségének a görbület alapján történő meghatározására

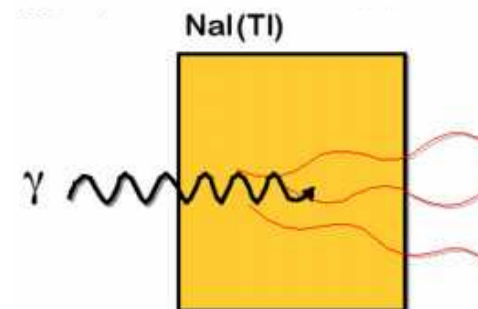


Szcintillációs detektorok

A detektor anyagával kölcsönhatásba lépő sugárzás az elektronok gerjesztése révén fény kibocsátását idézi elő.

Előnyei:

- A belépő energiát jó hatásokkal alakítja fénykvantummmá
- Kicsi a holtideje
- Jó a γ -kvantumtra vonatkoztatott hatásfoka
- A beérkező fotonokat energia szerint képes számlálni

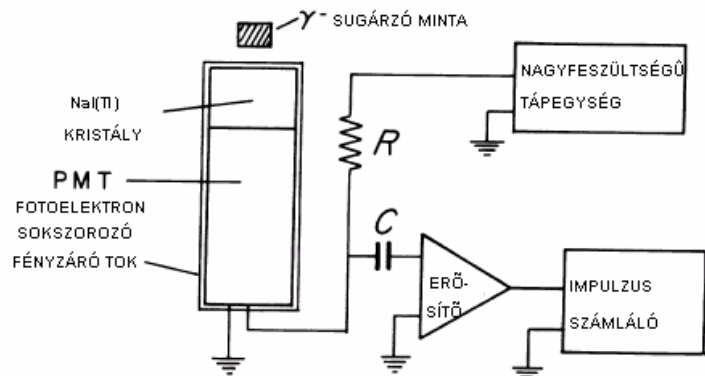


SZERVETLEN SZCINTILLÁTOROK (γ , n, α , p)

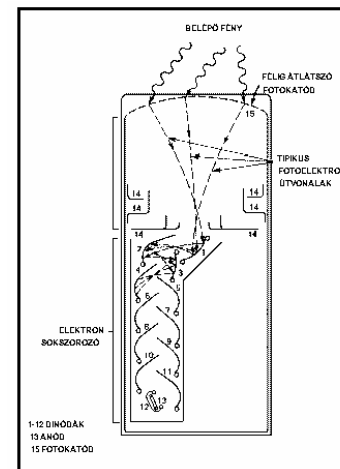
- ZnS(Ag) α, β sugárzás hatására látható fényfelvillanás keletkezik
- NaI(Tl) γ -sugárzás detektálására használják, a jó elektronjainak gerjesztése révén sugároz ki fényt, 200 eV energia kell egy foton keltéséhez, A FOTONOK SZÁMA ARÁNYOS A γ -KVANTUM ENERGIÁJÁVAL
- CsI, LiI(Eu), α és β szerves foszforok

SZERVES SZCINTILLÁTOROK (α , β , n, p)

- Antracén
- PPO, POPOP (1,4-feniloxazol-benzol)



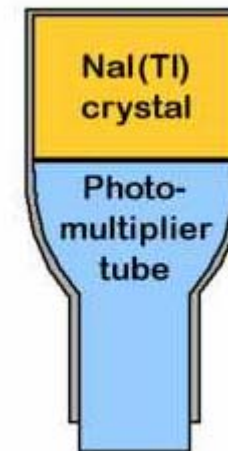
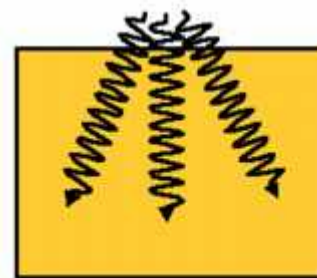
A SZINTILLÁCIÓS MÉRÉS



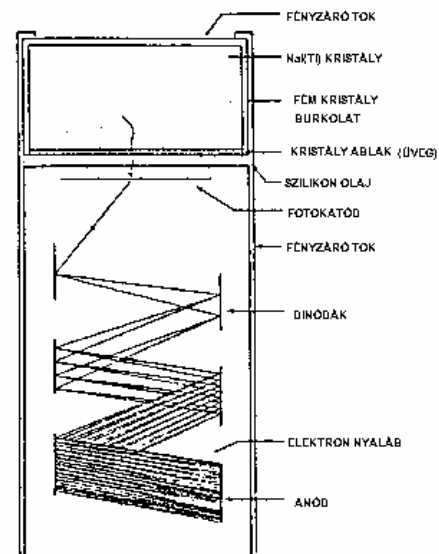
FOTOELEKTRON SOKSZOROZÓ

A szcintillációs kristályt és a fotoelektron sokszorozót optikailag illesztik. A kristályt alumínium tokban helyezik el a nedvesség, a fény és a szennyeződés kizárására. Az alumínium burkolat belül fényvisszaverő. A kristályokat méreteik szerint (vastagság x átmérő) osztályozzák (2x2-től 5x5-ig).

Nagyobb kristályba több foton nyelődik el.



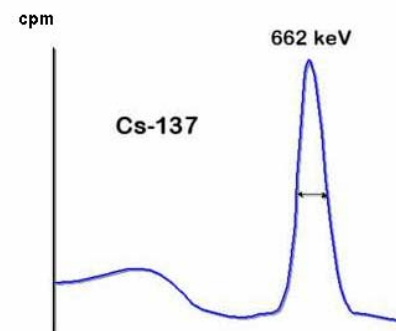
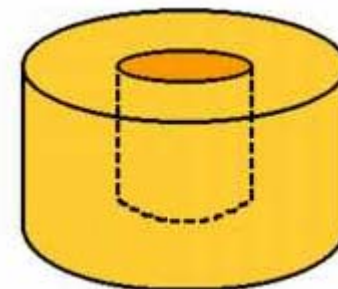
Fotokatód: SbCsO, SbNaKCs tartalmú katódok. A szcintillációs kristályt és a fotoelektron sokszorozót optikailag illesztik (szilikon olaj).



Az ún. lyukkristályok nagyobb érzékenységűek, de kisebb a felbontásuk.

A NaI(Tl) szcintillációs kristályok felbontóképességét a ^{137}Cs izotóppal mért γ -spektrum teljesenergia csúcsának félérték szélességével (FWHM) jellemzik.

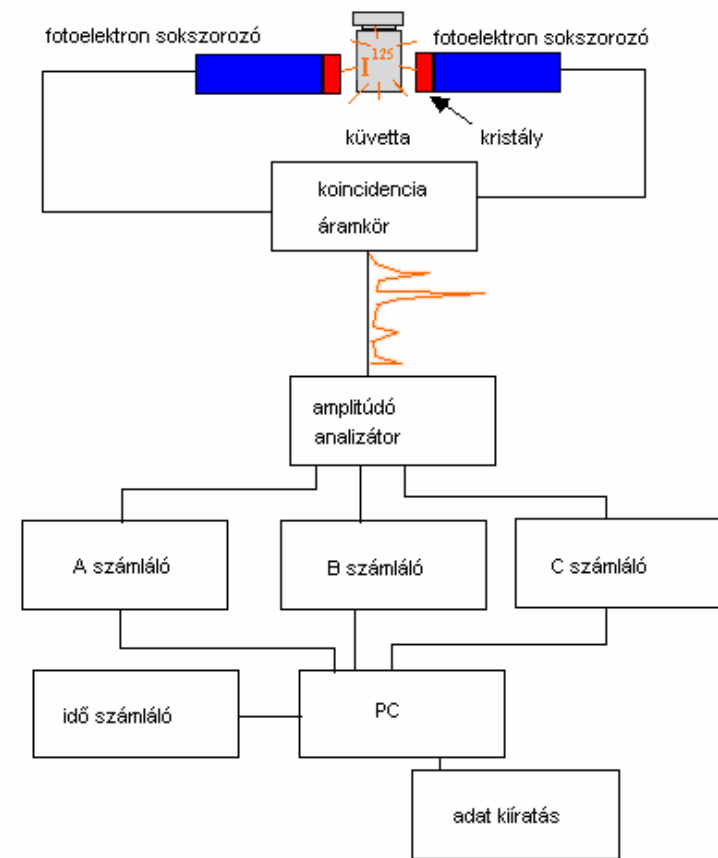
A NaI(Tl) detektorok teljesenergia jele mellett számos zavaró jel jelentkezik: a Compton tartomány, a párképzési csúcsok, a röntgen tartomány, kiszökési és visszaszórási csúcsok.



FOLYADÉKSZCINTILLÁCIÓ

Alapja, hogy policiklusos vegyületek α , β , vagy neutron sugárzás hatására fényt bocsátanak ki. A lágysz (kisenergiájú) β -sugárzás (^{14}C , ^3H) detektálható, ha egy a szcintillációs vegyületet tartalmazó oldatban a sugárforrás is oldottan van jelen (kicsi adszorpció, 4π geometriájú mérés). Számos folyadék alkalmas poláris és apoláris minták oldására. Az átlátszó folyadékot nagyméretű fotoelektron sokszorozókkal körbevéve a fényjelek elektromos jelekké alakíthatók és így 90-100%-os számlálási határfok érhető el. Kisaktivitású minták is mérhetők, pl. biológiai anyagokban szén- és hidrogén-tartalmú vegyületek mennyisége. A ^{14}C és a ^3H különböző energiájú fényfotonokat gerjeszt, így bizonyos megkülönböztetés is megvalósítható.

Kioltás jelensége \rightarrow a színes vegyületek elnyelik a fény egy részét.



Egyes kémiai analitikai módszerek érzékenysége

ANALÍZIS	DETEKTÁLÁSI KÜSZÖB	MEGJEGYZÉS
IR Spektroszkópia	10^{15} molekula	roncsolásmentes
UV Spektroszkópia	10^{15} molekula	roncsolásmentes
Atomadszorpció	10^{13} atom	roncsolásos
Láng emissziós anal.	10^{13} atoms	roncsolásos
Gázkromatográfia	10^{13} atoms	roncsolásos
Radioizotópos		roncsolásmentes
^{14}C	10^{11} atom	(5770 yr felezési idő)
^3H	10^9 atom	(12.26 yr felezési idő)
^{32}P	6×10^6 atom	(14.3 yr felezési idő)

Leggyakrabban β -sugárzó nuklidokat alkalmaznak a folyadékszintillációs mérésekben: ^3H (0.018 MeV), ^{14}C (0.156 MeV), ^{35}S (0.168 MeV), ^{45}Ca (0.250 MeV), ^{32}P (1.710 MeV), ^{131}I (0.610 MeV).

Az oldószerhez fluoreszkáló anyagot adnak, mely eltolja a gerjesztéskor keletkezett fény hullámhosszát a magasabb hullámhosszak felé.

Oldószer: dioxán, toluol, p-xylol szcintilláló anyag: PPO, dimetil - popopbutil PBO, PBBO

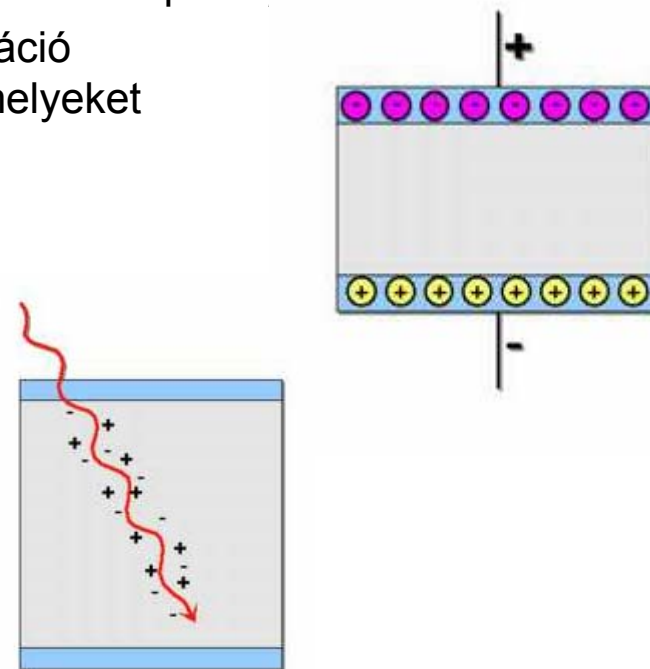
Félvezető detektorok

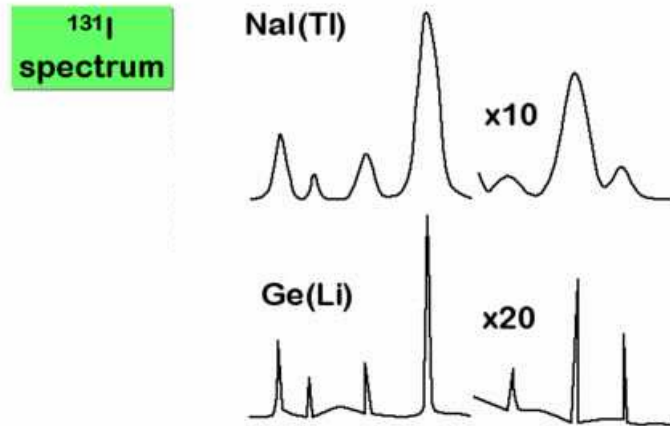
Egy szilárd-test ionizációs detektor. Si(Li)-detektort röntgen detektáláshoz, Ge(Li)-detektort γ -sugárzás detektálásához alkalmazzák. A lítiumot a félvezetők szennyezőinek ellensúlyozására, a töltések mobilitásának növelésére driftelik be a dataktor anyagába. Lényegében egy olyan ionizációs kamra, melyben a gázt szilárd félvezető réteg helyettesíti.

Ha a kristályra kis feszültség különbséget kapcsolunk pozitív, negatív és töltésszegény zónák jönnek létre. Ez hasonló az np-típusú tranzisztorokhoz. Ge 5 értékű P, As vagy Sb atomokkal szennyezve szabad elektronnal rendelkező n-Ge, 3 értékű B, Ga vagy In atomokkal szennyezve szabad pozitív töltésű lyukkal rendelkező p-Ge ^{ion létre}

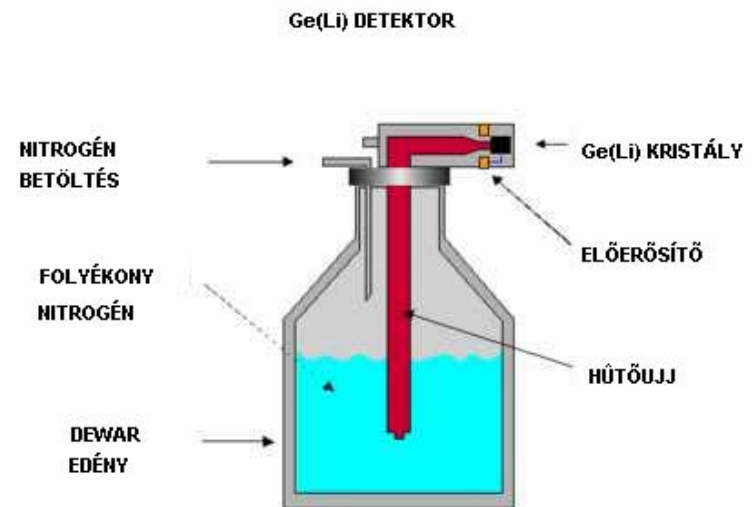
Ha a detektoron ionizáló részecske halad keresztül ionizáció következtében pozitív és negatív töltések keletkeznek, melyeket a megfelelő elektródon összegyűjtünk.

A Ge detektoroknál egy töltés létrehozásához csak ~ 2 eV kell, ezért nagyon **nagy felbontás** érhető el. Drága detektorok, térfogatuk nem túl nagy, ezért **érzékenységük kicsi**.





A Ge(Li) detektort hűteni kell folyékony nitrogénnel, mert a Li szobahőfokon visszadiffundál. A HPGE detektorok (nincs Li) nem igényelnek folyamatos hűtést.



Egyéb detektorok

- **Filmdetektorok:** dozimetriai méréseknél és autoradiográfiás méréseknél alkalmazzák.
- **Buborékkamra detektor:** hasonló a ködkamrához csak folyadékkal töltik, a sugárzás buborék nyomvonalakt hoz létre.
- **Szikrakamra:** gáztöltésű detektor töltött lemezekkel, ionizáció esetén szikra keletkezik.

Detektorok összehasonlítása

Típus	Detektál	% hatásfok	Felbontás	Háttér (cpm)	Relatív költség
Ionizációs kamra	α , β	30-100	n/a	Alacsony	-
Proporcionális kamra	α , β	20-50	Kicsi	0-100	-
GM-cső	β	<1-30	n/a	10-100	-
	γ	<1	n/a	10-20	-
Nal(Tl)	γ	10-30	200 eV	100-600	+
Ge(Li)/HPGE	γ	Max.10	2 eV	10-100	++
Folyadék szcintilláció	β	50-100	Változó	10-30	+/-

Nukleáris elektronika

- Tápfeszültség biztosítása
- Jelfeldolgozás
- Számlálás
- Kiértékelés
- Kijelzés

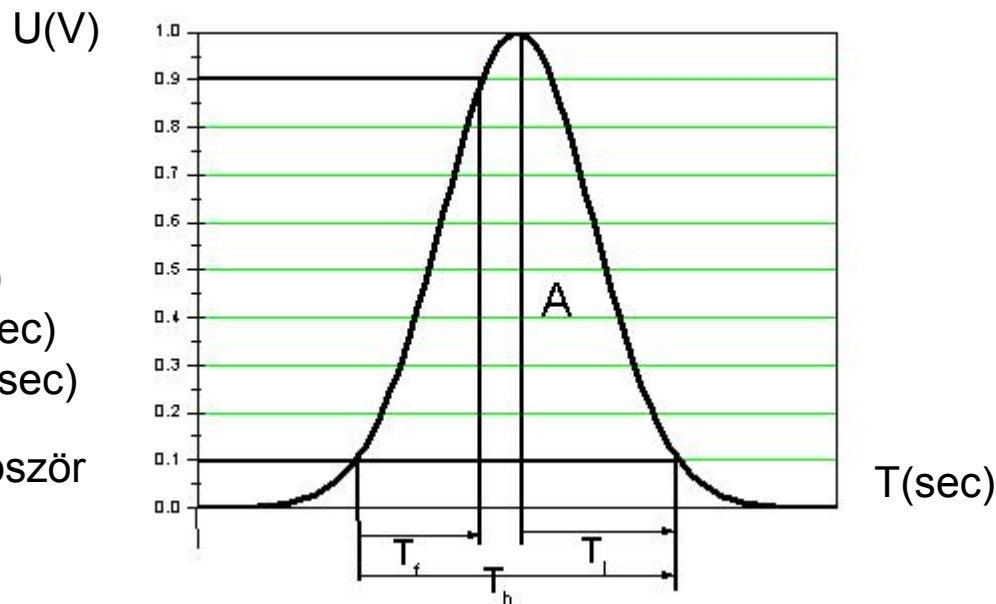
Gyakran a kialakult töltésimpulzust feszültségimpulzussá alakítják át.

A amplitúdó (V)
 T_f felfutási idő (sec)
 T_l lecsengési idő (sec)
 T_h impulzus hossz (sec)

A feszültségimpulzus polaritása legtöbbször negatív.

Detektorok jellemzői

Detektor	Amplitúdó	T_f	T_l
GM-cső	0,1-5 V	μs	50-300 μs
NaI(Tl)	1 mV-10 V	10^{-3} -1 μs	10
Ge(Li)	0,1-2 mV	0,1 μs	1-2 μs



Erősítők

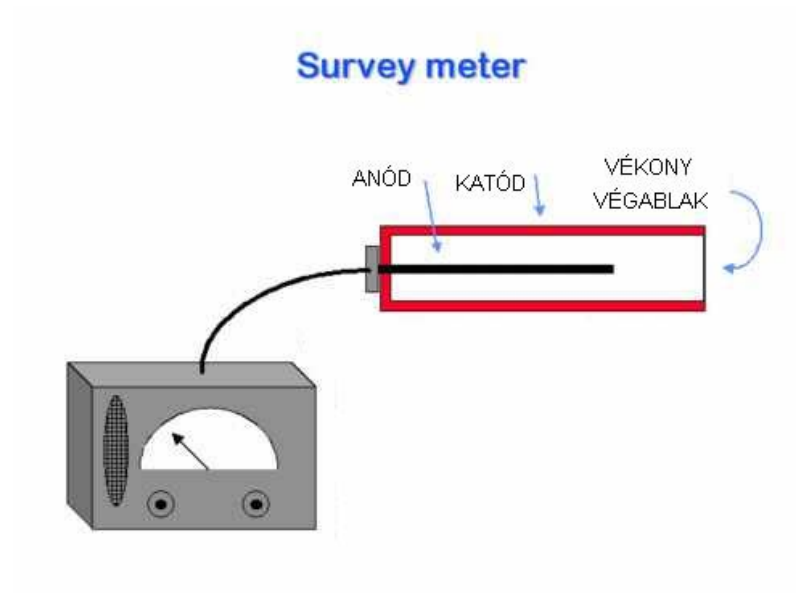
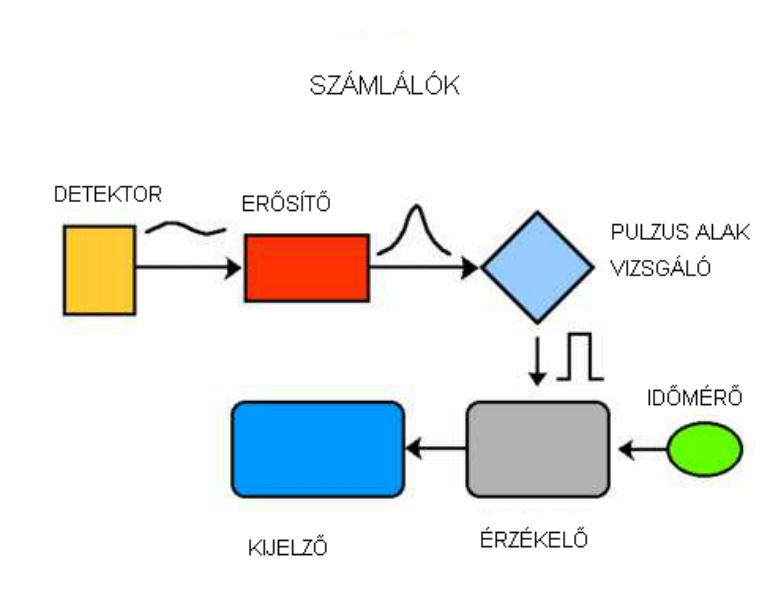
Lineáris erősítés szükséges, a torzítás < 1% kell hogy legyen. A szükséges jel/zaj viszony 2-20 között kell hogy legyen.

Tápegységek

100-5000 V egyenfeszültség.

Mérőberendezések

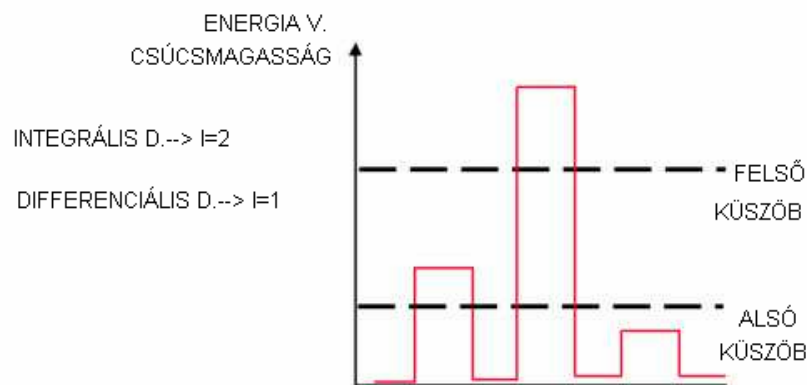
- Impulzus számlálók
számok tárolása kettes számrendszerben. Egy 8-dekádos számláló 10^8-1 impulzus számlálására alkalmas. BCD-kódolás (111 011 110 = 948).
- Rataméterek (szintmérők)
Az időegység alatt átlagosan kapott jelek számát folyamatosan detektálják és kijelzik. Minden impulzus Q töltést visz egy kondenzátorra és egyensúly áll be, ha R ellenálláson ugyanannyi áram folyik el, mint amennyit a bejövő impulzusok szolgáltatnak. Dozimetriában alkalmazzák. GM-cső rataméterrel –survey meter.



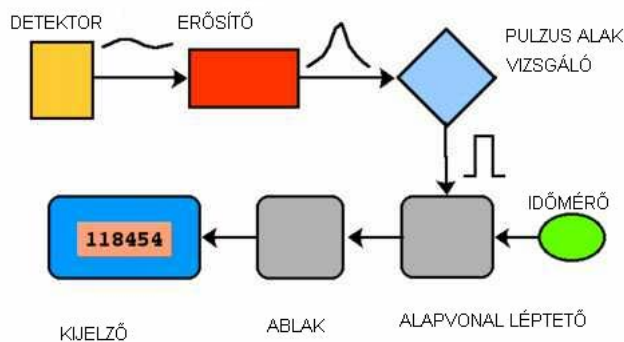
Számlálók: 500 cps-ig érzékenyek, az összes detektorhoz alkalmazhatók, mérsékelt az áruk, de nem képesek diszkriminációra, túl magas beütésszámot veszteséggel számolnak.

- Amplitúdó diszkriminátorok
 Jelalak diszkrimináció – ha a jel felfutási és lefutási meredeksége eltérő.
 Idődiszkrimináció.
 Amplitúdó diszkrimináció: integrális - differenciális

INTEGRÁLIS ÉS DIFFERENCIÁLIS AMPLITÚDÓ DISZKRIMINÁLÁS



SCA



•Analizátorok

Egycsatornás (SCA) – sokcsatornás (MCA). Amplitúdó → frekvencia átalakítás ADC. Az alapvonal (base line) és a hozzá rögzített felső küszöb együtt egy ablakot képez, melyet a növekvő amplitúdók irányában mozgatunk és minden pozícióban beütésszámot mérünk. Alkalmazható NaI(Tl) detektorral, 200 eV-os felbontás, vagy Ge(Li) detektorral, 2 eV-os felbontás.

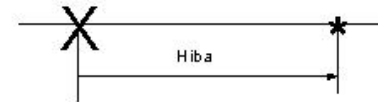
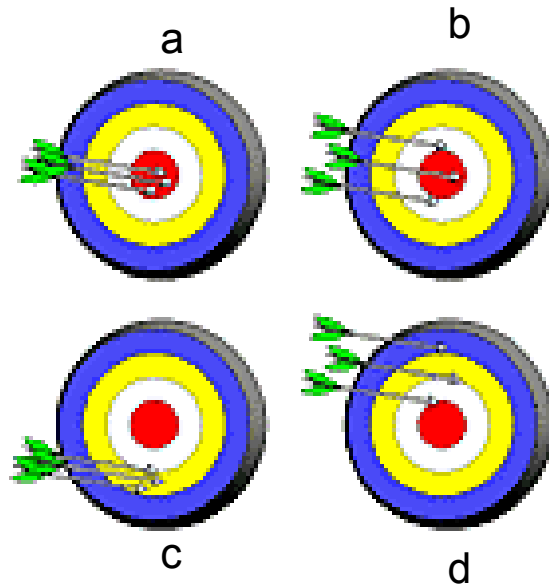
MCA → 1024-8192 csatorna, egyidejű mérés, egy méréssel a teljes γ -spektrum felvehető. Rögzítés mágneses memóriában, kijelzés képernyőn, kiértékelés számítógépes programokkal. Alkalmos radionuklidok mennyiségi és minőségi mérésére (környezeti minták, aktivációs analízis).

Nukleáris mérések hibái

A radioaktív bomlás statisztikus jellegű. Az $N_t = N_{t_0} e^{-\lambda t}$ összefüggés csak egy valószínűséget ad meg.

Mérési hiba: a mért és a tényleges (leggyakrabban nem ismert) érték közötti eltérés.

A mérés reprodukálhatósága (precizitás) jellemzésére az egyes mérések közötti átlagos eltérést a szórást alkalmazzuk.



x-tényleges érték

* - mért érték

Analógia: céllövés egy céltáblába.

a) Pontos és precíz; b) pontos de nem precíz;

c) pontatlan de precíz; d) pontatlan és nem precíz

Hibák: durva hibák, szisztematikus hibák, véletlenszerű (statisztikus) hibák

A nukleáris mérés technikában figyelembe kell venni a vizsgált jelenség (bomlás) statisztikus jellegét, mely Poisson eloszlással jellemezhető. A számlálási hibák számos forrásból származnak:

Bomlási statisztikai

Háttéringadozás

Detektor felbontás

Számláló felbontás

Számlálási határfok

Abszorpció

Geometria

Háttér

Ugyancsak ingadozik az időben, ezért külön célszerű mérni és az átlagértékét levonni a mért (bruttó) beütésszámból.

$$I_{\text{nettó}} = I_{\text{mért}} - I_{\text{háttér}}$$
$$\sigma_{\text{mért}} = \pm \sqrt{(\sigma_{\text{nettó}}^2 + \sigma_{\text{háttér}}^2)}$$

Ha a háttér átlaga kisebb mint a mért beütésszám átlagának 10%-a, a háttér levonása elhanyagolható! A háttér beütésszám mérés hibája csökkenthető: hosszabb háttérmérési idő választásával, nagyobb aktivitású minta mérésével, diszkriminátor alkalmazásával.

Felbontási hibák:

Az erősen radioaktív mintákból kilépő nagyszámú részecskét a berendezés nem képes mind megszámolni. A GM-cső feloldási ideje ~ 200 μ s, a NaI(Tl) detektoré ~ 2 μ s beütésenként. Az egyszerű számlálók maximum 10^6 cpm számlálási sebességet bírnak el, az analizátorok lassabbak.

Detektor felbontási hibák:

A legtöbb mérésnél elégséges, ha relatív aktivitásokat határozunk meg, így a hatásfok nem probléma. Hatásfok meghatározás szükséges az abszolút aktivitás meghatározásához. A detektor hatásfok időben és az energia függvényében változhat, ezért rendszeresen ellenőrizni kell. Ezt legegyszerűbben lehetőleg a mért radionukliddal és a mérési geometriával megegyező, kalibrált, ismert aktivitású standarddal végezhetjük el.

DETEKTOR HATÁSFOKOK

DETEKTOR	SUGÁRZÁS	% HATÁSFOK
2PI-PRORCIONÁLIS D.	α, β	10-50
GM	β	<1-30
	γ	<1
NaI(Tl)	γ	10-30
FOLYADÉK SZCINTIL.	β	50-100
Ge(Li)	γ	≤ 10

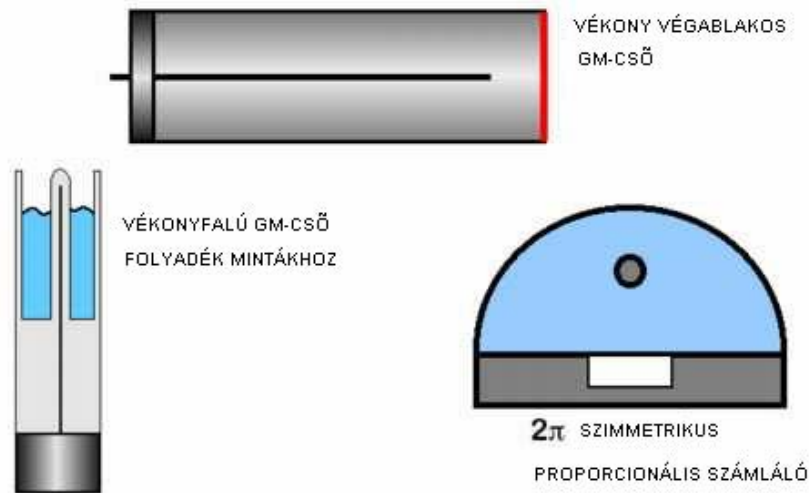
$$\% \text{ hatásfok} = \frac{\text{mért} - \text{beütésszám}}{\text{várt} - \text{bomlások} - \text{száma}}$$

Statisztikus hibák

A radioaktív bomlás statisztikus hibával terhelt véletlen jellegű jelenség. Nem lehet pontosan megmondani, adott nuklid mikor fog elbomolni. Ezért: nagyszámú bomlást kell mérni és a valószínűség törvényeit kell alkalmazni.

Sugárzás abszorpciója: α abszorpció $>$ β abszorpció $>$ γ abszorpció. Az α és β sugárzás már a mintában is elnyelődhet és abszorbálódik a levegőben, a detektor ablakában, falában stb. Ez csökkenthető vékony végablakos detektor alkalmazásával, vagy a mintának a detektor belsejében (gázterében) való elhelyezésével, vékony rétegű minta készítésével..

Sugárabszorpciót csökkentő detektorok



Geometriából adódó hibák:

A mérések során a mintát mindig a detektor közepére kell elhelyezni és mérés közben a minta nem mozdulhat el. Folyadékba merített detektornál ez nem probléma. Célszerű mintatartót alkalmazni.

A statisztikus hibák figyelembe vétele



Mindig több (páratlan számú) mérést végzünk és az eredményt az ismételt mérések átlagértékeként adjuk meg.

Nem alkalmazható, ha: a nuklid rövid felezési idejű, vagy ha kis aktivitások mérésénél hosszú mérési időt alkalmazunk.

$$\bar{X} = \frac{\sum_i X_i}{n}$$

Az átlagérték mellett meg kell adnunk egy az egyes mérések szórására jellemző értéket. Ezt kétféleképpen számíthatjuk:

$$s = \pm \sqrt{\bar{N}} \approx \sqrt{N}$$

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum_i (N_i - \bar{N})^2}{n-1}}$$

Az első szórás érték csak a radioaktív bomlás statisztikus hibáját (Poisson eloszlás) veszi figyelembe, míg a második eloszlástól független, és tartalmazza a bomlás statisztikus hibáját+a mérő berendezés hibáit is. Ha a kétféle módon számított szórás egyezik, ez azt jelenti, hogy a mérőkészülékünk hibája elhanyagolható, azaz jó a berendezésünk.

Relatív hiba: ha csak a bomlási ingadozással számolunk

Így 10000 cpm esetén $V(\%) = 1\%$

$$V(\%) = \frac{\sqrt{\bar{N}}}{\bar{N}} \cdot 100 = \frac{1}{\sqrt{\bar{N}}} \cdot 100$$

Ha m db n mérésből álló mérést végzünk a mérésátlagok is szórnak. Ekkor az átlagok szórása:

$$s_x = \frac{\sqrt{\sum_{i=1,n} (N_i - \bar{N})^2}}{m(n-1)}$$

Ha m db sorozatot mérünk és az n -szer megismételt t mérési idő alatt mért impulzusok (N_i) átlagát kiszámítjuk:

$$\bar{N} = \sum_{i=1, n} \bar{N}_i \quad \bar{I} = \frac{\bar{N}}{t} \quad s_I = \frac{\sqrt{\bar{N}}}{t} = \sqrt{\frac{\bar{N}}{t^2}} = \sqrt{\frac{\bar{I}}{t}} \quad s_{\bar{I}} = \sqrt{\frac{\bar{I}}{t \cdot m}}$$

Ha a háttér t_h ideig mérjük és N_h impulzust, a mintát t ideig mérjük és N impulzust mérünk, akkor a nettó beütésszám hibája::

$$s_I = \sqrt{\frac{I}{t} + \frac{I_h}{t_h}}$$

Ha a minta és a háttér mérésére rendelkezésre álló idő adott, ezt a mérésekre rendelkezésre álló idő a minta és a háttérmérés között az alábbiak szerint kell megosztani:

$$\frac{t_h}{t} = \sqrt{\frac{I_h}{I}}$$

A háttértől még eltérő szignifikáns beütésszám: $I_{\min} = \bar{I} - I_h \geq 3\sqrt{\bar{I}_h}$

