

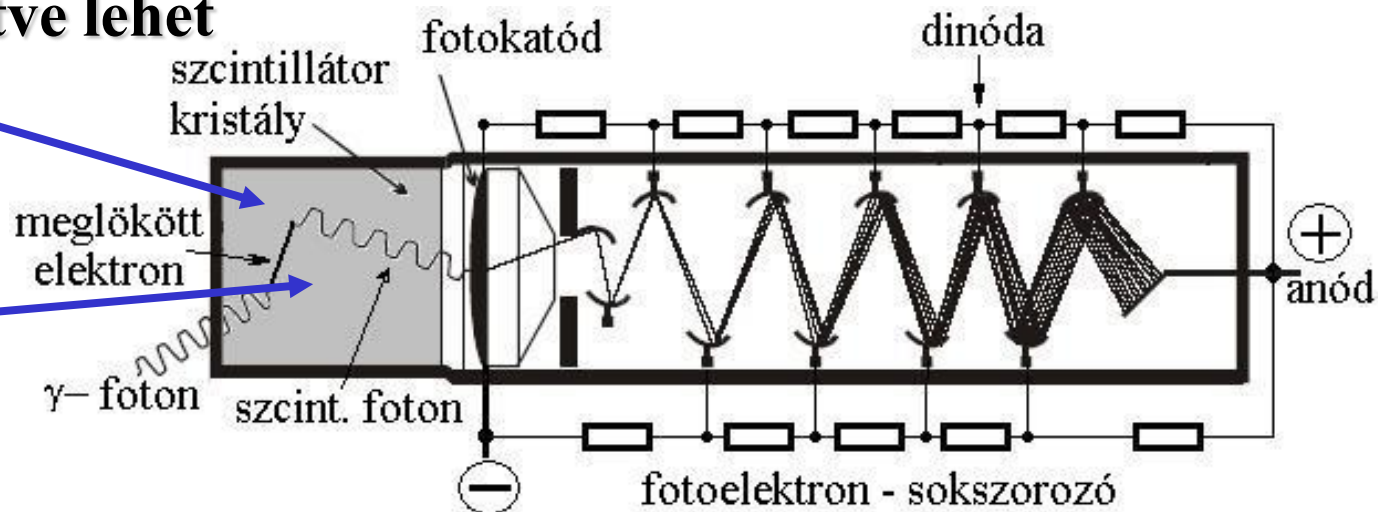
Kísérleti magfizika

Szcintillációs detektorok (emlékeztető)

Egyes anyagokban **fényfelvillanás** (szcintilláció) jön létre, ha energiát kapnak becsapódó részecskéktől.

Anyagát tekintve lehet

- **szilárd**
- **folyadék**
- **gáz**
- **szervetlen**
- **szerves**



Folyadékszcintillátor

Általában szerves folyadék (**koktél**), amelybe a vizsgálandó mintát belekeverjük. —————> Nagy geometriai hatásfok! (4π -detektor)

A koktél több komponensből áll: oldószer,
szcintilláló anyag („fluor”)
emulgáló szer, stb.

Előnye: kis energiájú és kis hatótávolságú radioaktív sugárzást is ki lehet vele mutatni nagy hatásfokkal!!

Folyadék szcintillátor (1)

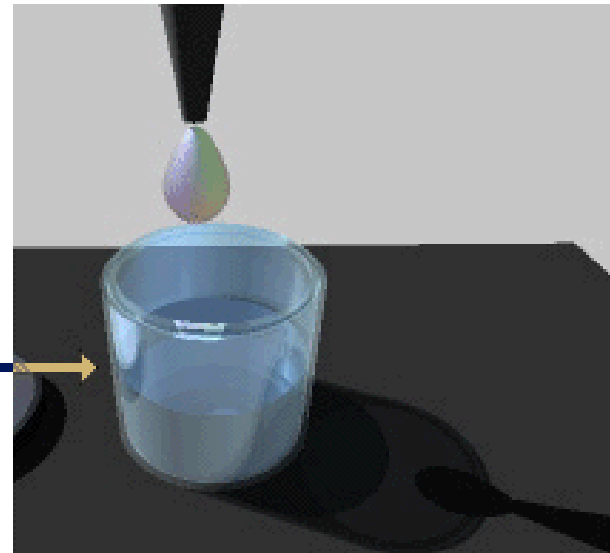
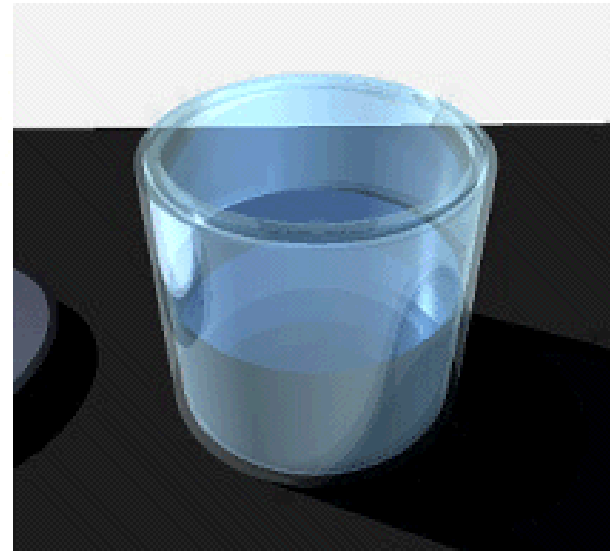
Folyadék szcintillátor koktél komponensek

Oldószer: tipikusan toluol, xilen, ill. alkilbenzol típusú oldószer

Emulgáló: detergens típusú molekula, vizes oldatok keveredését segíti elő

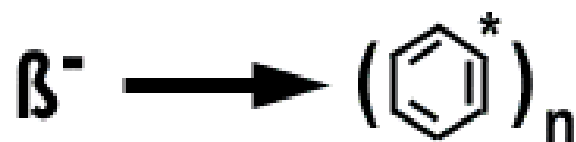
"Fluor": szcintilláló (fluoreszkáló) folyadék

A radioaktív mintát a koktélhoz keverjük



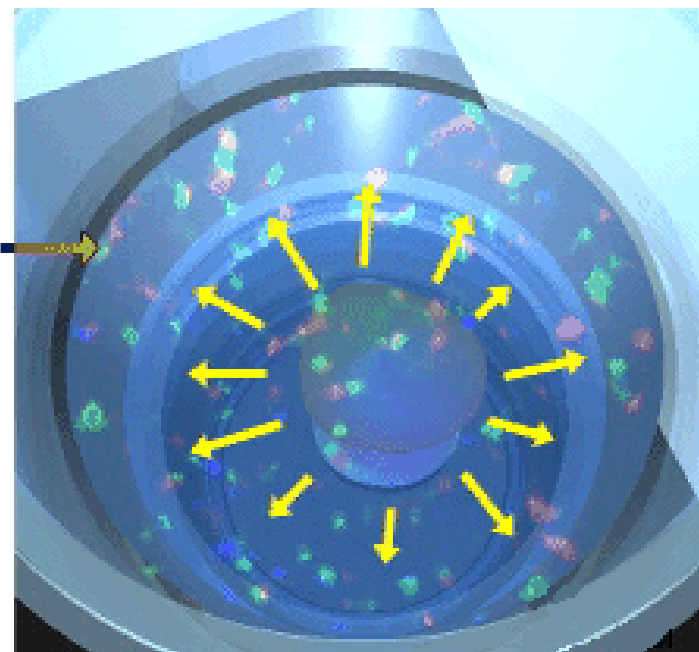
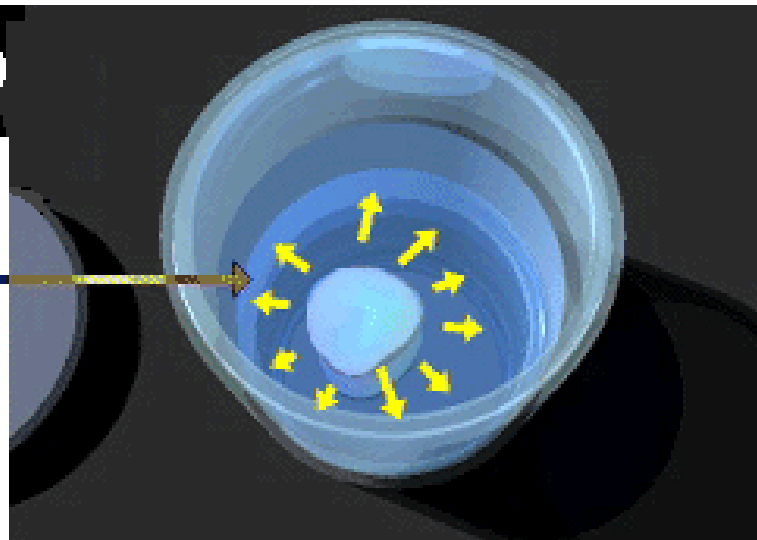
Folyadék szcintillátor (2)

A kibocsátott béta-részecskék gerjesztik az oldószer molekuláit



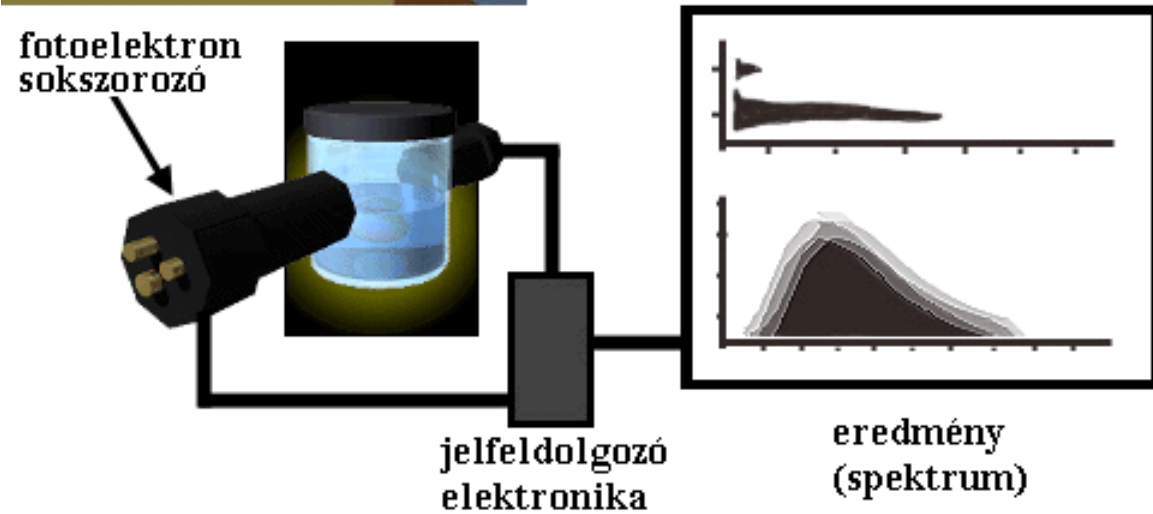
gerjesztett oldószer molekula

A gerjesztett oldószer-molekulák energiája átadódik a fluor molekulának, amely fényt bocsát ki



Folyadék szcintillátor (3)

A küvetát egy (vagy két) fotoelektron sokszorozó elé helyezzük, amely detektálja a felvillanásokat



A két fotoelektron-sokszorozó jelei közül csak azokat fogadjuk el, amikor mindkettő egyszerre szólal meg (**koincidencia**).
Ezzel a háttér csökkenthető, ami kis aktivitások mérésénél fontos

A folyadékszintillációs mérés technika környezeti minták mérésére használatos leginkább, **kis β -energiájú és kis aktivitású** radioizotópok kimutatására

Folyadékszintillációs technikával mérhető leggyakoribb radioizotópok:

Izotóp	Felezési idő	β -energia tartomány (keV)
^3H	12,3 év	6 – 19
^{14}C	5730 év	6 – 156
^{35}S	87,4 nap	49 – 167
^{32}P	14,3 nap	690 – 1709

Kereskedelmi berendezés neve:
TriCarb (trícium, és radiokarbon)

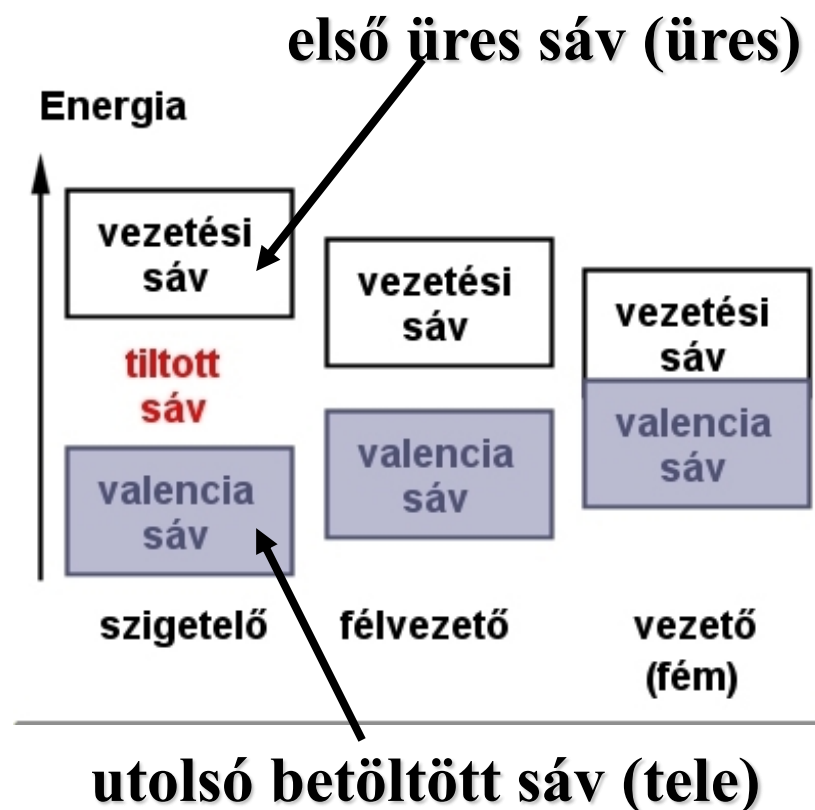


Tri-Carb 2900TR

Félvezető detektorok

Bevezető megjegyzések:

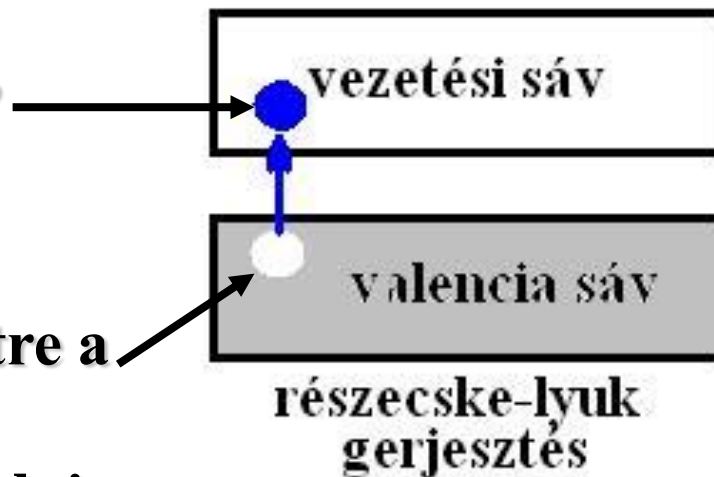
- Atomokban az elektronok csak diszkrét, jól meghatározott energiájú állapotokban lehetnek (pl. H-atom)
- Szilárd anyagokban a legkülső atomi állapotok energiája sávokká szélesedik ki (a „szomszédokkal” való kölcsönhatás miatt)
- **szigetelő:** az utolsó betöltött sáv, és az első üres sáv között nagy energiahézag („tiltott sáv”) van
→ az elektronok nem tudnak elmozdulni
- **fémes vezető:** az utolsó betöltött sáv és az első üres sáv „átfedi” egymást, nincs tiltott sáv → az elektronok könnyen mozognak
- **félvezető:** keskeny tiltott sáv



Félvezetőkben az elektron-gerjesztés alaptípusa:
részecske-lyuk gerjesztés

Az elektron el tud mozdulni,
mert vannak üres állapotok
„mellette”.

A lyuk üres állapotot hoz létre a
valencia sávban — a sáv
elektronjai el tudnak mozdulni



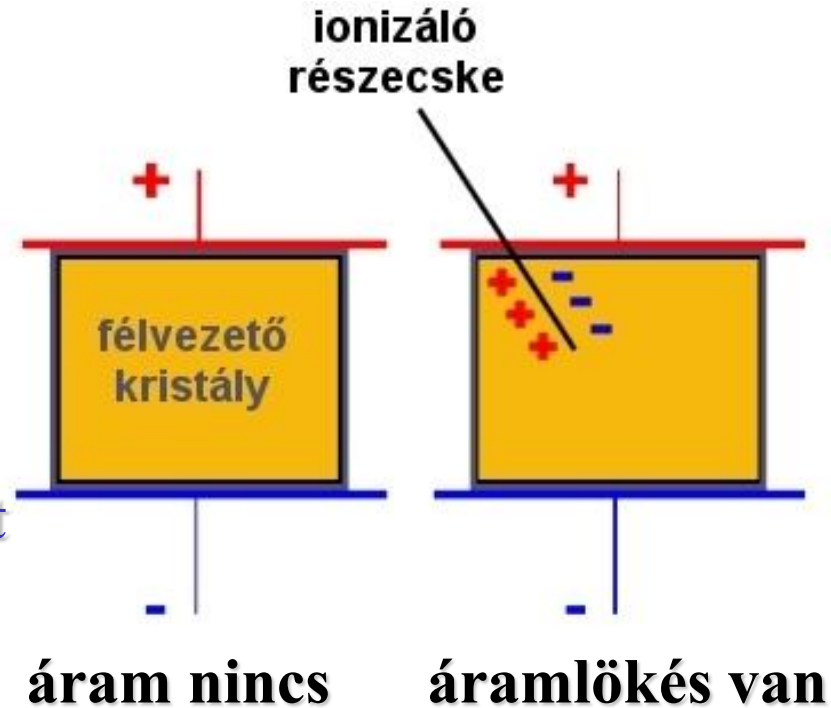
Az áramvezetésben a lyuk (elektronhiány) éppúgy részt vesz,
mint a részecske (elektron)

(„Lyukvezetésnél” is elektronok mozognak, még ha úgy is
látszik, hogy a lyuk „vándorol”!)

Ha nincs részecske-lyuk gerjesztés, a félvezető **szigetelőként**
viselkedik, áram nem folyik.

A detektálás elve:

- a félvezető kristályra feszültséget kapcsolunk
- mivel szigetel, áram nem folyik
- **a sugárzás részecske-lyuk gerjesztéseket hoz létre**
- a félvezetőre kapcsolt elektromos mező begyűjti a töltéseket
- **áramlökés mérhető**
- **az áramlökés nagysága a begyűjtött töltésekkel arányos → energiamérést tesz lehetővé!**



A sugárzás által létrehozott kis áramlökés észlelésének feltétele a nagyon kis nyugalmi áram → jó szigetelő legyen az anyag !!!

Összehasonlítás az ionizációs kamrával

Ionizációs kamra	Félvezető detektor
A gáz jó elektromos szigetelő	közepes elektromos szigetelő (szobahőmérsékleten)
Az ionizáló sugárzás elektron-ion párokat hoz létre	Az ionizáló sugárzás elektron-lyuk párokat hoz létre
Ionizációhoz szükséges energia $\sim 1 - 10 \text{ eV}$	Elektron-lyuk pár keltéséhez szükséges energia $\sim 0,1 - 0,5 \text{ eV}$
A térerősség a töltéshordozókat begyűjti $\longrightarrow$ áramlökés	A térerősség a töltéshordozókat begyűjti $\longrightarrow$ áramlökés
Gáz sűrűsége kicsi $\longrightarrow$ kis belső hatásfok	Szilárd anyag sűrűsége nagy $\longrightarrow$ nagy belső hatásfok

A detektálást **nehezíti a hőmérsékleti gerjesztés.**

A Boltzmann-eloszlás szerint:

$$n(E) \sim e^{-\frac{E}{kT}}$$

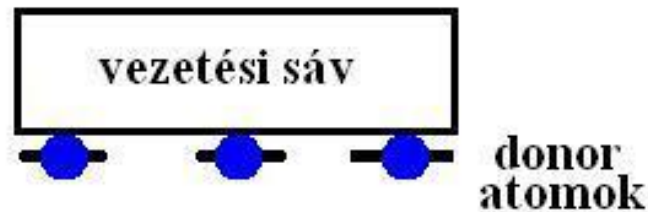
Itt $n(E)$ az E energiájú részecskék száma, T a hőmérséklet,
 k a Boltzmann állandó $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

Mivel a tiltott sáv keskeny, ezért csak alacsony hőmérsékleten lesz jó szigetelő a félvezető!!!

A detektálást nehezítik az anyagban lévő **szennyezések** is!

Kétféle szennyezés:

- „donor” atomok : elektronokat adnak a tiltott sáv tetején



A donor atomok energiája közel van a vezetési sávhoz, —————> elektronvezetés

- „akceptor atomok: lyukakat hoznak létre a tiltott sáv alján



Az akceptor atomok energiája közel van a valencia sávhoz, —————> lyukvezetés

A jó szigetelőképességet a következő feltételekkel lehet biztosítani:

- **alacsony hőmérséklet** (folyékony nitrogén hőm. hűtött detektor)
- **nagy tisztaságú** anyag, vagy
- **kiürített réteg** létrehozása (nincsenek sem elektronok, sem lyukak)

Leggyakoribb félvezető anyagok: Ge, Si, GaAs

a) Nagy tisztaságú germánium detektor

(High purity germanium detector, HPGe)

- Nagyon kis szennyező koncentráció
- **Alacsony hőmérsékletre hűtve** üzemel

detektorház

előerősítő

hűtő (hővezető rúd)

vákuumban

folyékony nitrogént tartó
edény



b) Ge(Li), ill. Si(Li) detektorok

(Lítiummal driftelt germánium, ill. szilícium detektorok)

Lényegében nagy térfogatú **félvezető diódák**.

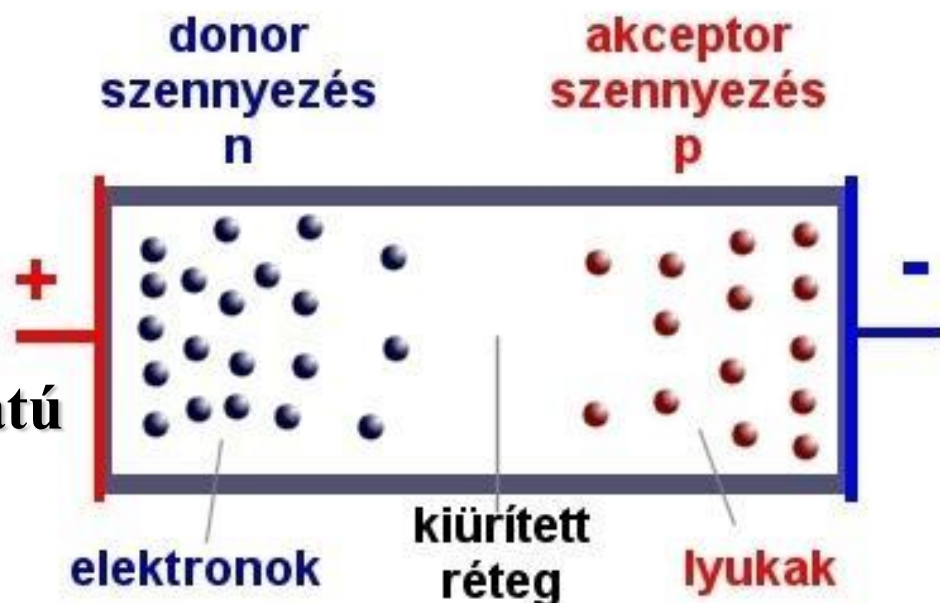
Félvezető dióda: két érintkező réteg, az egyik donor („n-típusú”), a másik akceptor („p-típusú”) szennyezés (adalékolás!)

Záró irányban történő előfeszítés $\longrightarrow$ a térerősség „kihúzza” a töltéshordozókat a határrétegből, $\longrightarrow$ kiürített réteg jön létre

Ha a kiürített réteget ionizáló sugárzás éri $\longrightarrow$ elektron-lyuk párok keletkeznek, $\longrightarrow$ áramlökés

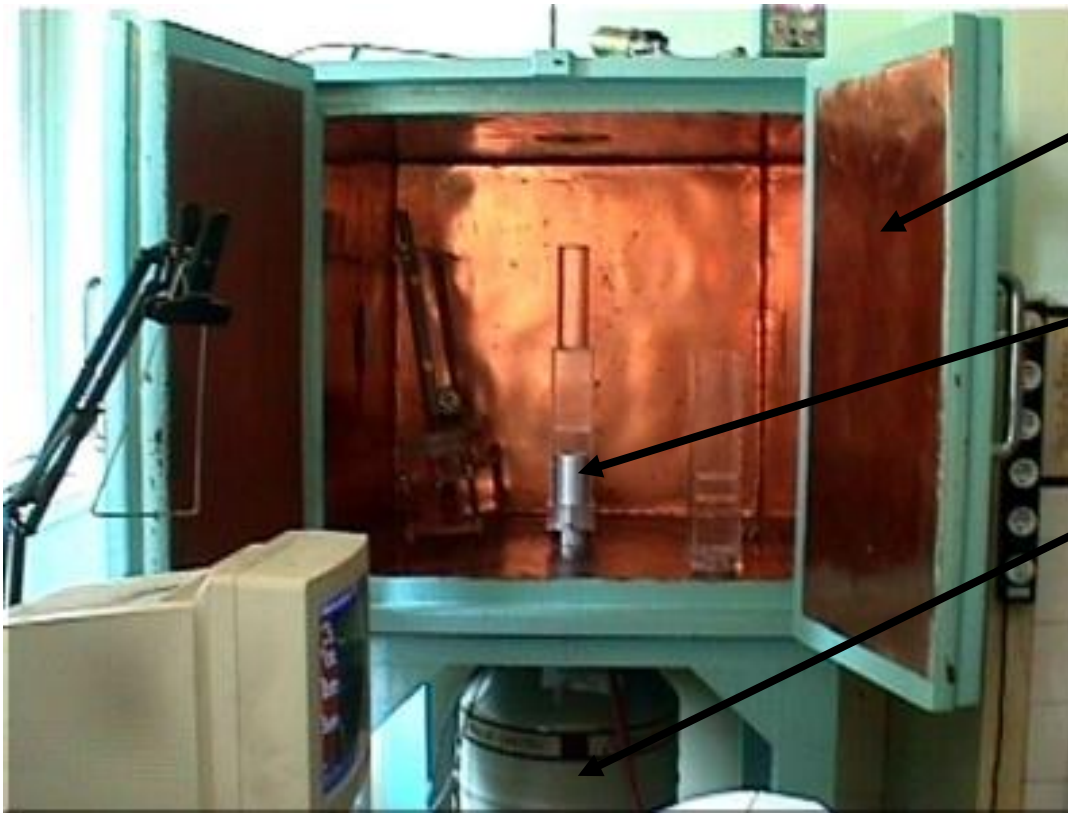
Nagy hatásfokhoz nagy térfogatú kiürített réteg kell

Nagy záróirányú feszültség !



A detektor visszáramának a csökkentése érdekében lítiumot visznek be **diffúzióval** a kristályba $\longrightarrow$ „Li-drifted”.

A lítiumnak a „helyén kell maradni”, ezért az ilyen detektorokat üzemén kívül is folyékony nitrogén hőmérsékleten kell tartani! **Ha felmelegszik, tönkremegy.** (Si(Li) kevésbé érzékeny, mint a Ge(Li))



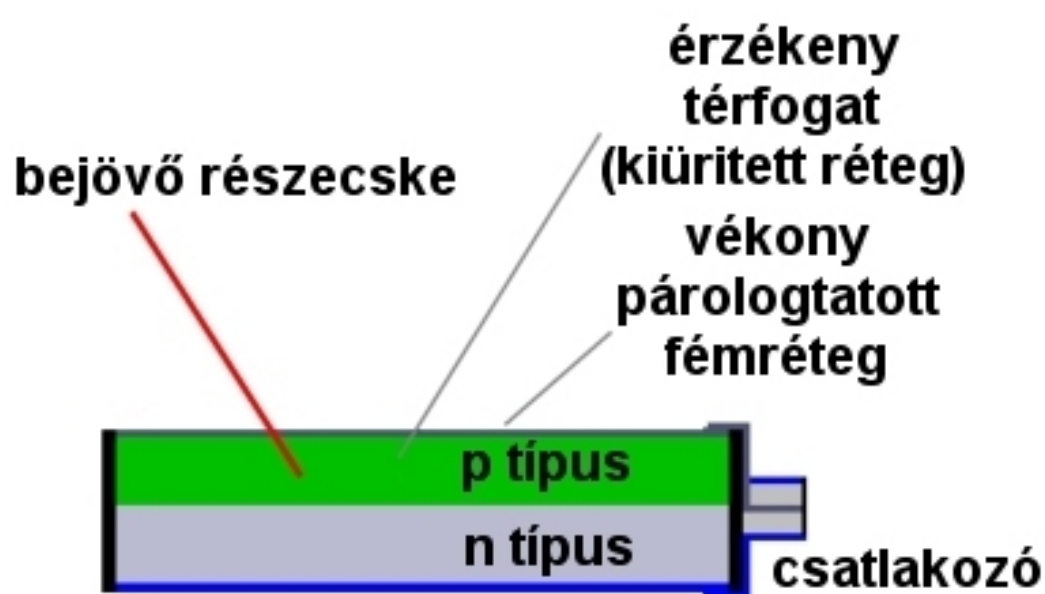
alacsony háttérű
kamra (árnyékolás)

Ge(Li) detektor

folyékony nitrogént
tartó edény (Dewar)

c) Felületi záróréteges detektorok (PIPS)

Kis hatótávolságú töltött részecskék detektálására alkalmas.
A detektor felületén alakítják ki a kiürített réteget.



α -részecskék
detektálására kiválóan
alkalmas

Kis térfogata előny:
Nem érzékeny a nagy
hatótávolságú
sugárzásokra (pl.
gamma-sugárzás)

Alfa- béta- és gamma-detektorok sajátosságai

A detektálás jellemző paraméterei:

- belső (intrinsic) hatásfok (erről már beszéltünk)
 α - és β -detektorok: kis térfogat (mivel rövid hatótáv),
gamma-detektorok: nagy térfogat
- holtidő
- energiafelbontás

Holtidő

Az az idő, amely alatt egy detektor **nem tud** új részecskét fogadni.



A holtidő miatt „elveszítünk” részecskéket.



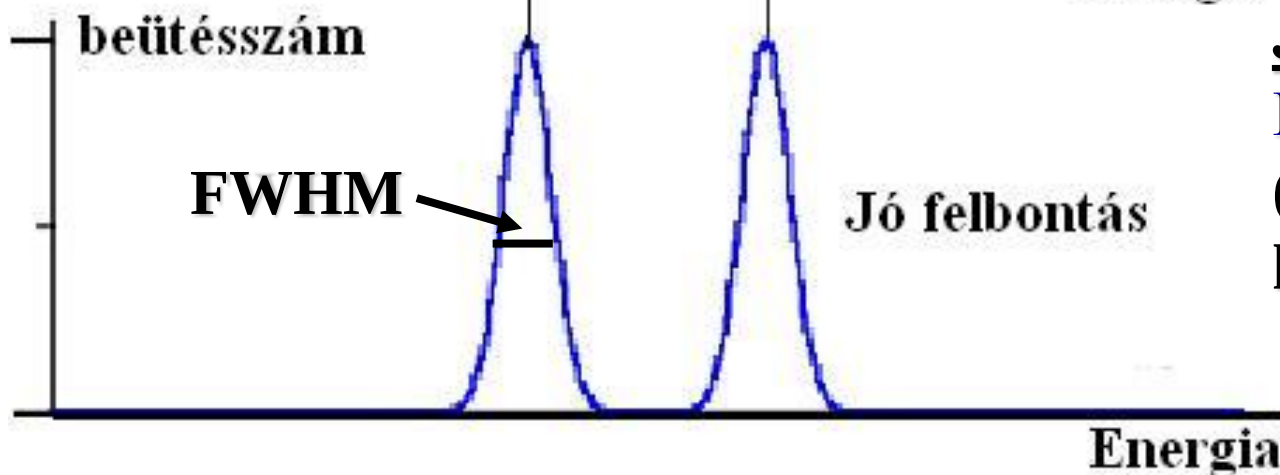
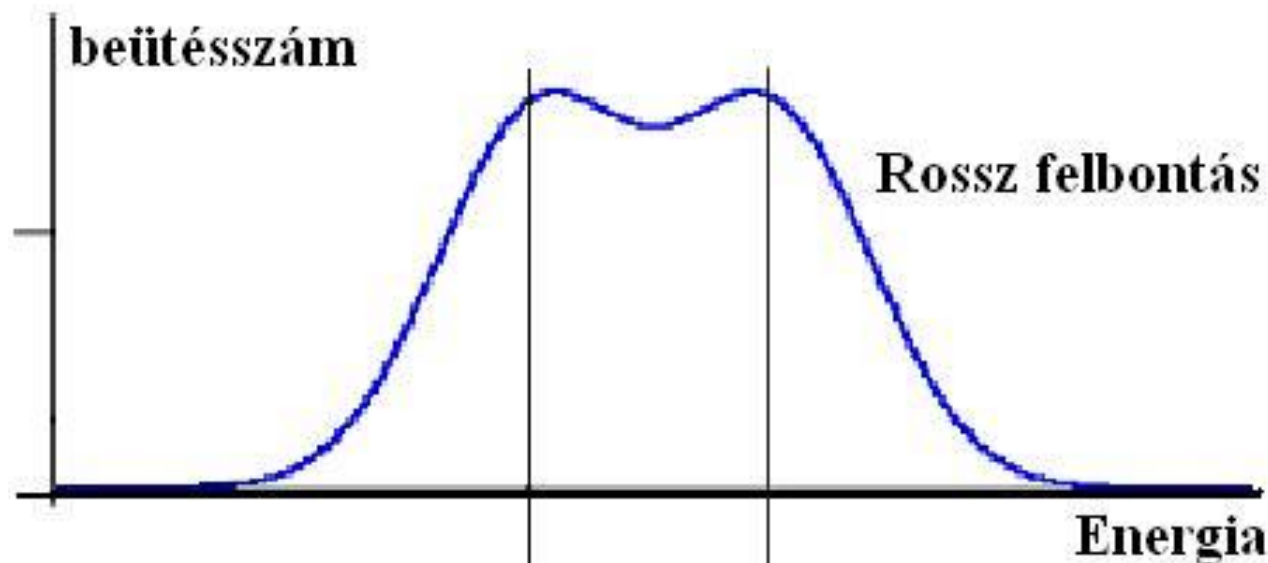
Holtidő korrekció:

$$n_{\text{igazi}} = n_{\text{mért}} \cdot \frac{1}{1 - n_{\text{mért}} \cdot \tau}$$

Itt τ a holtidő, $n_{\text{mért}}$ az időegységre eső, mért beütésszám

A gáztöltésű detektorok holtideje elég nagy (pl. GM-csőnél akár millisec is lehet !!). Veszélyes lehet az impulzus üzemmód!!

Energiafelbontás (energiamérésre képes detektoroknál)



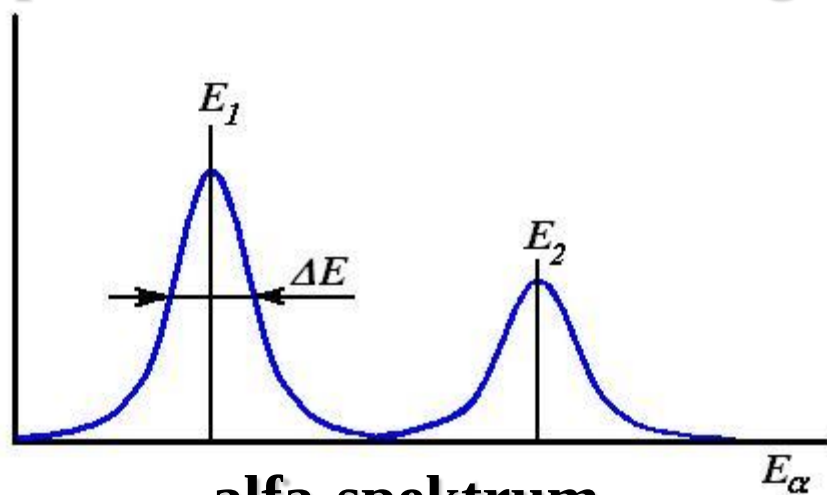
Jellemzője:
Félértékszélesség
(full width at
half maximum,
FWHM)

Energiamérés fontossága:

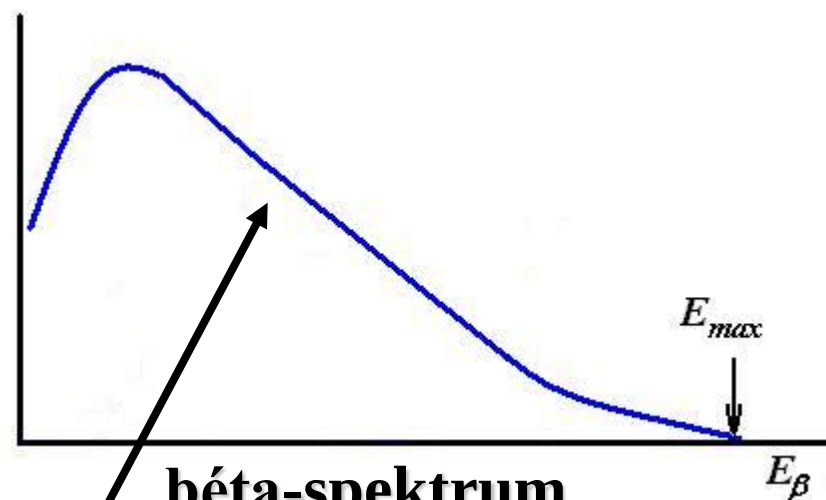
Különböző radioizotópok jól meghatározott, diszkrét energiájú sugárzást bocsátanak ki (kivétel a β -sugárzás)

A részecskék energiájának mérésével a forrás azonosítható:
radioanalítika

Spektrum: a részecskék energia szerinti eloszlása



alfa-spektrum
(két bomlási energia)



béta-spektrum
(egy bomlás)

**Analitikai célokra NEM használható,
a különböző izotópok spektrumai átfednek!**

Gamma-spektroszkópia

Jelentősége:

- a gamma-sugarak kijönnek a mintából, tehát „kívülről” is mérhető, a minta roncsolása nélkül (roncsolásmentes módszer)
- egyszerre több elem is meghatározható
- kvalitatív és kvantitatív meghatározás is!

Mindig a detektorban leadott energiát tudjuk csak detektálni!

Probléma: a detektorban bekövetkező elsődleges és másodlagos folyamatok miatt a spektrum meglehetősen bonyolult szerkezetű

Elsődleges folyamatok:

Fotoeffektus („vonalas” szerkezet, jó lenne, ha csak ez lenne!)

Compton-szórás („folytonos” eloszlás)

Párkeltés (másodlagos folyamatok kiindulópontja lehet)

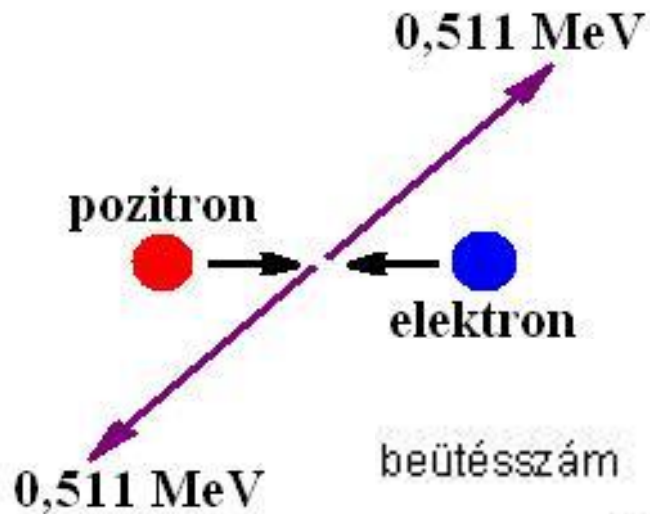
Másodlagos folyamatok:

Compton-szórás+fotoeffektus → teljes gamma energia (jó!)

párkeltés+pozitron annihilation → „kiszökési” csúcsok

stb...

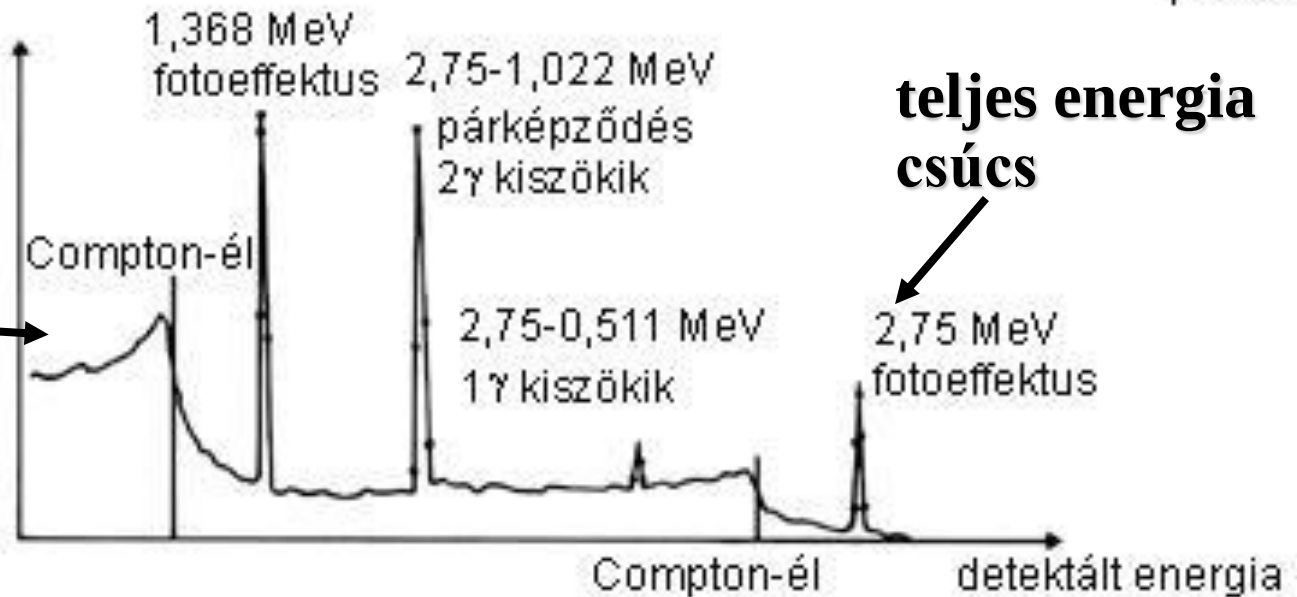
Pozitron annihíláció: $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$ $E_\gamma = 0,511 \text{ MeV}$



Egy izotóp, két γ -energia

^{24}Na gamma-energiák 2,75 MeV
1,368 MeV

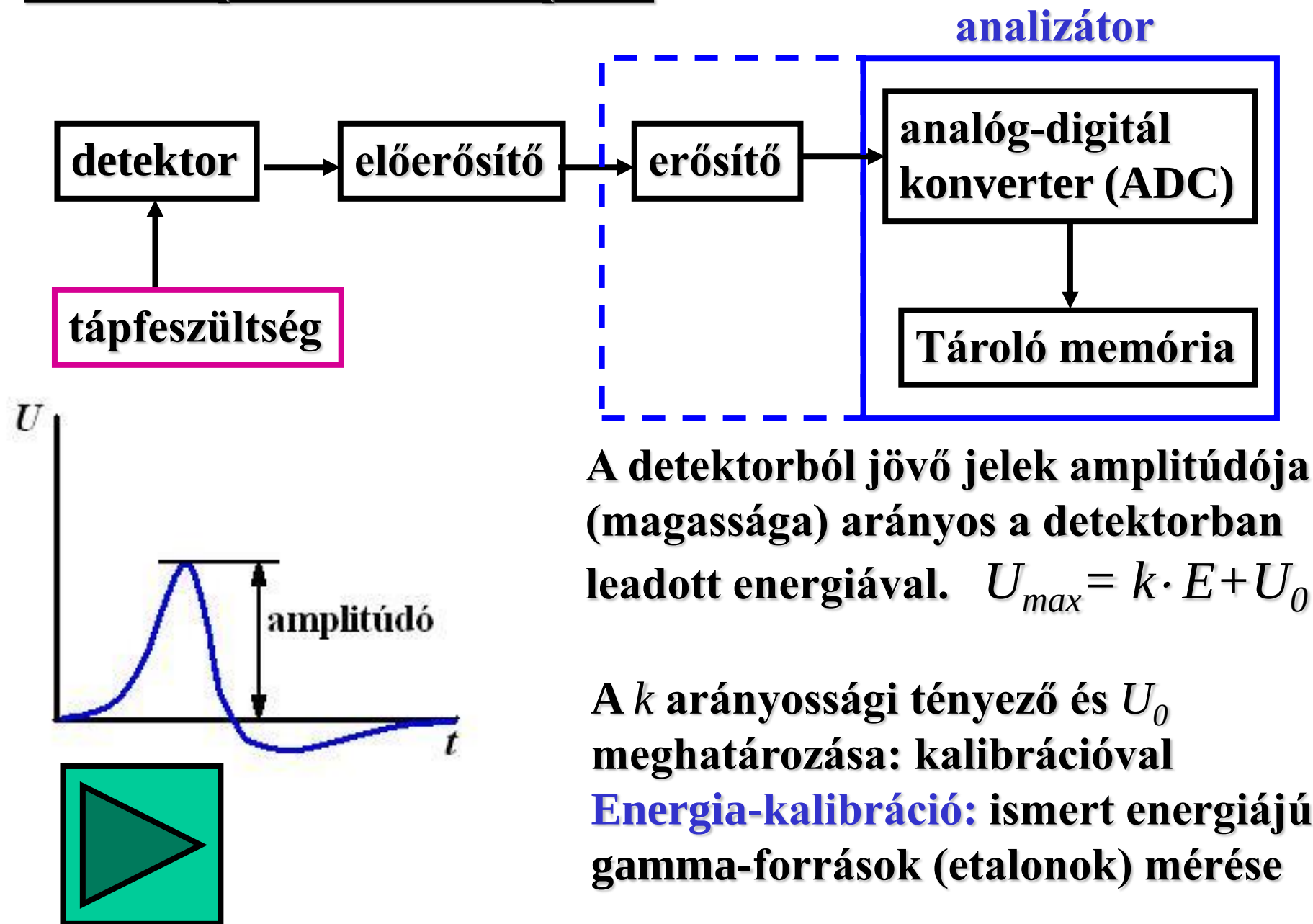
**Bonyolult
spektrum**



**teljes energia
csúcs**

^{24}Na gamma-sugárzása által keltett, félvezető detektorral felvett spektrum

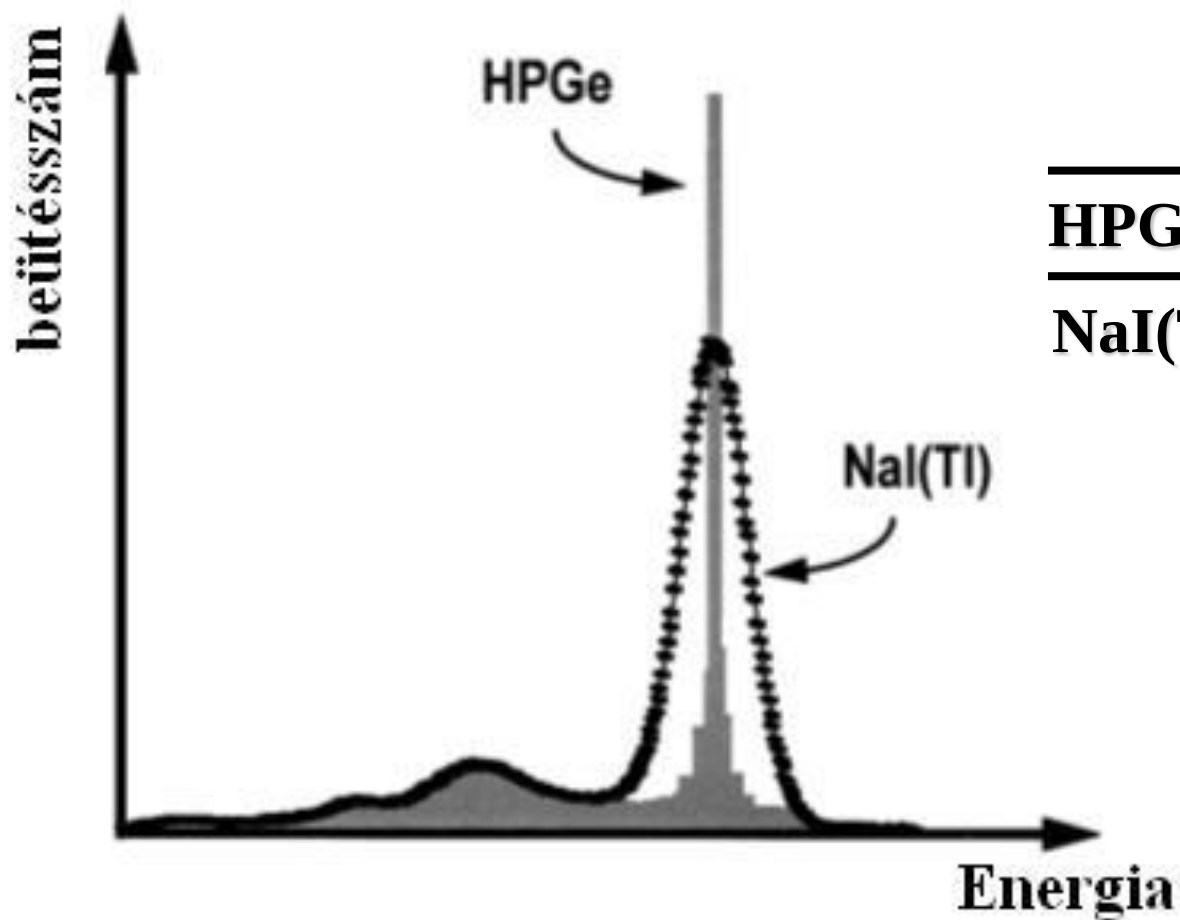
Gamma-spektrométer felépítése



A detektorból jövő jelek amplitúdója (magassága) arányos a detektorban leadott energiával. $U_{max} = k \cdot E + U_0$

A k arányossági tényező és U_0 meghatározása: kalibrációval
Energia-kalibráció: ismert energiájú gamma-források (etalonok) mérése

Szcintillációs detektor és félvezető detektor spektrumának összehasonlítása (1)



	FWHM (1 MeV-nél)
HPGe	1-2 keV
NaI(Tl)	80-120 keV

Szcintillációs detektor és félvezető detektor spektrumának összehasonlítása (2)

Kvalitatív analízis:

A csúcsok **helye (energiája)** alapján a kibocsátó izotóp meghatározható.

Energia-kalibráció szükséges! („X-tengely”)

Kvantitatív analízis:

A csúcsok **területe** alapján a kibocsátó izotóp mennyisége (koncentrációja) is meghatározható.

Hatásfok-kalibráció szükséges! („Y-tengely”)

