

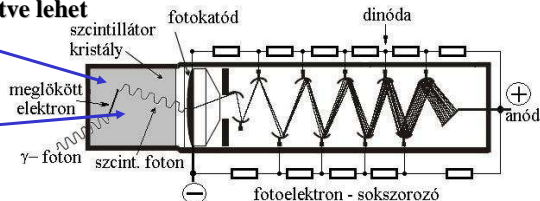
Mag- és neutronfizika 5. előadás

Szcintillációs detektorok (emlékeztető)

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

Anyagát tekintve lehet

- szilárd
- folyadék
- gáz
- szerves
- szervetlen



Folyadékszscintillátor

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

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

1/22

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

Folyadék szcintillátor (1)

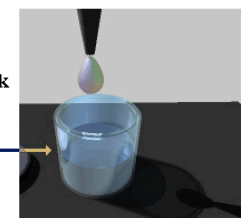
Folyadék szcintillátor koktél komponensek

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

Emulgáló: detergens típusú molekula, vizes oldatok keveredését segíti elő

"Fluor": szcintilláló (fluoreszkáló) folyadék

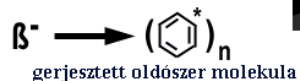
A radioaktív mintát a koktélhoz keverjük



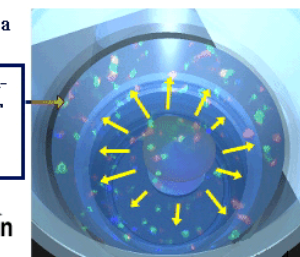
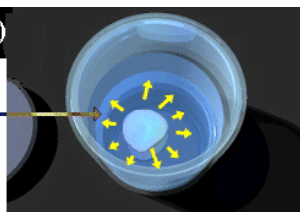
2/22

Folyadék szcintillátor (2)

A kibocsátott béta-részecskék gerjesztik az oldószer molekuláit



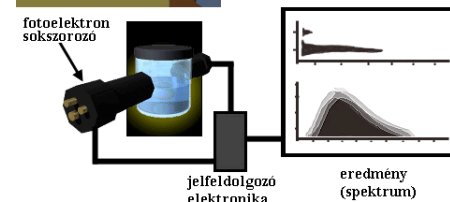
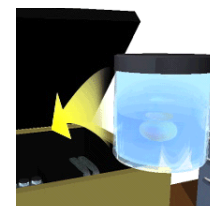
A gerjesztett oldószer-molekulák energiája átadódik a fluor molekulának, amely fényt bocsát ki



3/22

Folyadék szcintillátor (3)

A kívéttát 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

4/22

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

Folyadékszcintillációs 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

5/22

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



6/22

Félvezetőkben az elektron-gerjesztés alaptípusa: **részecske-lyuk gerjesztés**

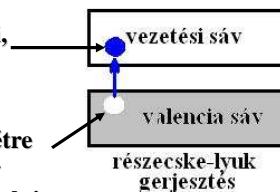
Az elektron el tud mozogni, mert vannak üres állapotok „mellette”.

A lyuk üres állapotot hoz létre a valencia sávban → a sáv elektronjai el tudnak mozogni

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”!)

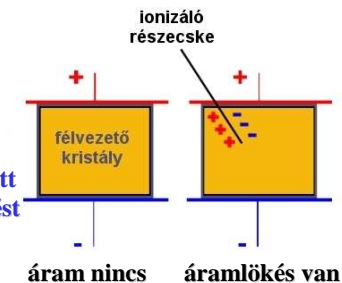
Ha nincs részecske-lyuk gerjesztés, a félvezető **szigetelőként** viselkedik, áram nem folyik.



7/22

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 !!!

8/22

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 ~ 1 – 10 eV	Elektron-lyuk pár keltéséhez szükséges energia ~ 0,1 – 0,5 eV
A térerősség a töltéshordozókat begyűjti → áramlökés	A térerősség a töltéshordozókat begyűjti → áramlökés
Gáz sűrűsége kicsi → kis belső hatások	Szilárd anyag sűrűsége nagy → nagy belső hatások

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 $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K

9/22

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



10/22

A jó szigetelőképeséget a következő feltételekkel lehet biztosítani:

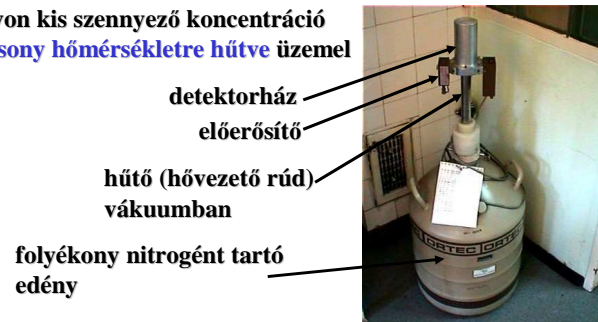
- **alacsony hőmérséklet** (folyékony nitrogén hóm. hűtött detektor)
- **nagy tisztaságú** anyag, vagy
- **kiürített réteg** létrehozása (nincsenek sem elektronok, sem lyukak)

Leggyakoribb félvezető anyagok: Ge, Si, GaAs

a) **Nagy tisztaságú germánium detektor**

(High purity germanium detector, HPGe)

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



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

(Lítiummal driftelt germánium, ill. szilícium detektorok)

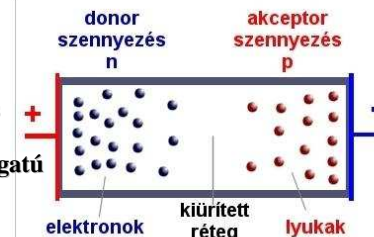
Lényegében nagy térfogatú **félvezető diódák**.

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

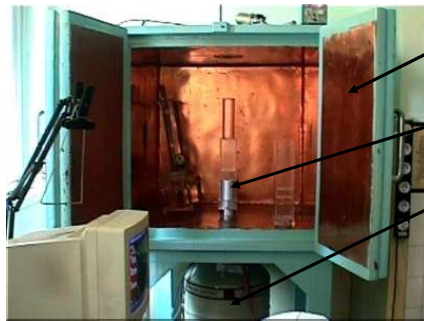
Záró irányban történő előfeszítés → a térerősség „kihúzza” a töltéshordozókat a határrétegből, → kiürített réteg jön létre

Ha a kiürített réteget ionizáló sugárzás éri → elektron-lyuk párok keletkeznek, → áramlökés

Nagy hatásfokhoz nagy térfogatú kiürített réteg kell
Nagy záróirányú feszültség !



A detektor visszaramának a csökkentése érdekében lítiumot visznek be **diffúzióval** a kristályba → „Li-drifted”.
 A lítiumnak a „helyén kell maradni”, ezért az ilyen detektorokat üzemem kívül is folyékony nitrogén hőmérsékleten kell tartani! **Ha felmelegszik, tönkremegy.** (Si(Li) kevésbé érzékeny, mint a Ge(Li))

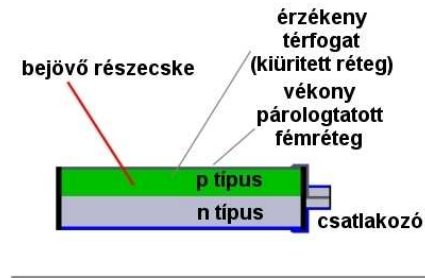


alacsony hátrterű kamra (árnyékolás)
 Ge(Li) detektor
 folyékony nitrogén tartó edény (Dewar)

13/22

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)

14/22

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
- energiefelbontás

Holtidő

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

A holtidő miatt „elveszítünk” részecskéket.



Holtidő korrekció:

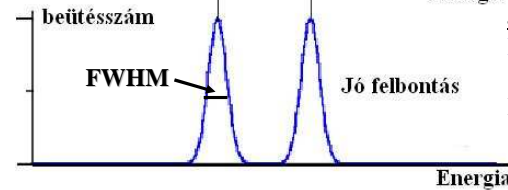
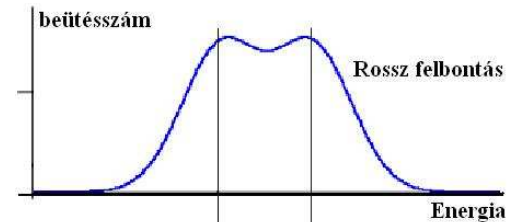
$$n_{igazi} = n_{mért} \cdot \frac{1}{1 - n_{mért} \cdot \tau}$$

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

15/22

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

Energiefelbontás (energiamérésre képes detektoroknál)



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

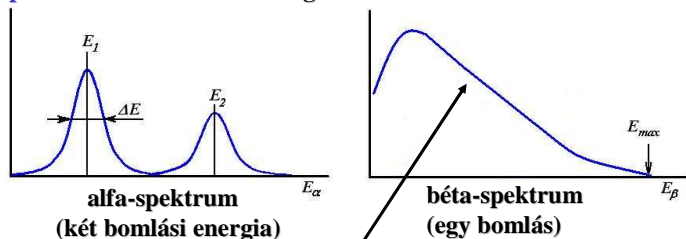
16/22

Energiamérés fontossága:

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

A részecskék energiájának mérésével a forrás azonosítható: **radioanalítika**

Spektrum: a részecskék energia szerinti eloszlása



Analitikai célokra NEM használható, a különböző izotópok spektrumai átfednek!

17/22

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)

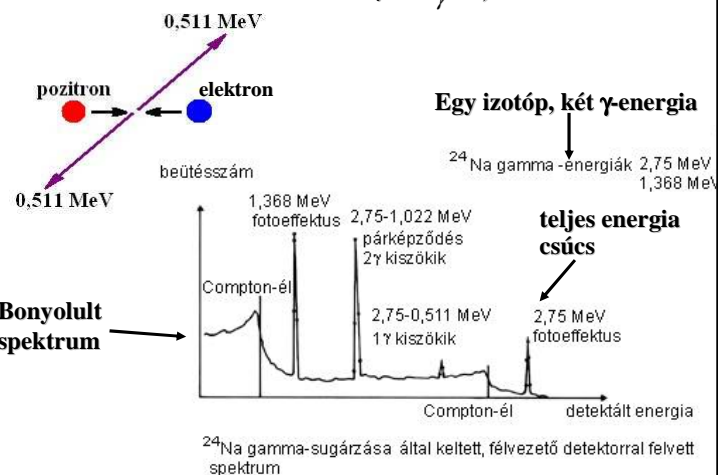
Másodlagos folyamatok:

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

párkeltés+pozitron annihiláció → „kiszökési” csúcsok stb...

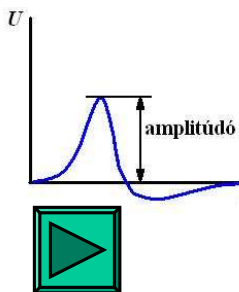
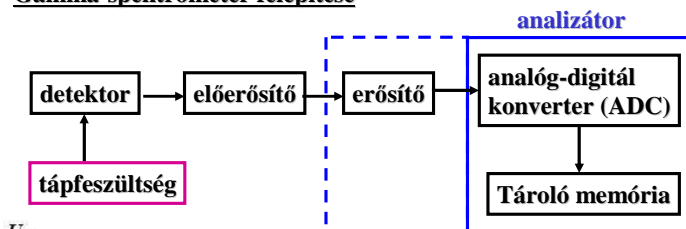
18/22

Pozitron annihiláció: $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$ $E_\gamma = 0,511$ MeV



19/22

Gamma-spektrométer felépítése



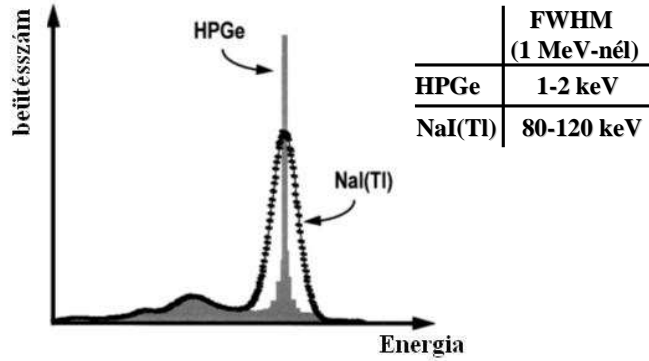
A detektorból jövő jelek amplitúdója (magassága) arányos a detektorban leadott energiával. $U_{max} = k \cdot E + U_0$

A k arányossági tényező és U_0 meghatározása: kalibrációval

Energia-kalibráció: ismert energiájú gamma-források (etalonok) mérése

20/22

Szintillációs detektor és félvezető detektor spektrumának összehasonlítása (1)

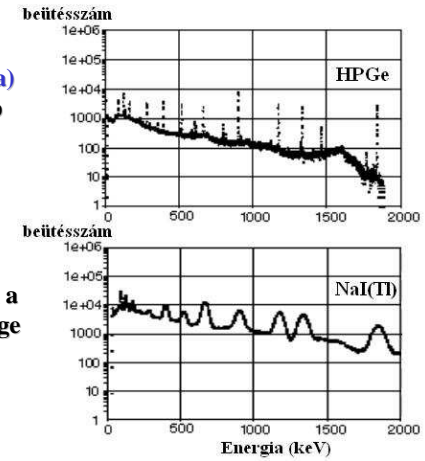


21/22

Szintillációs 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”)



22/22