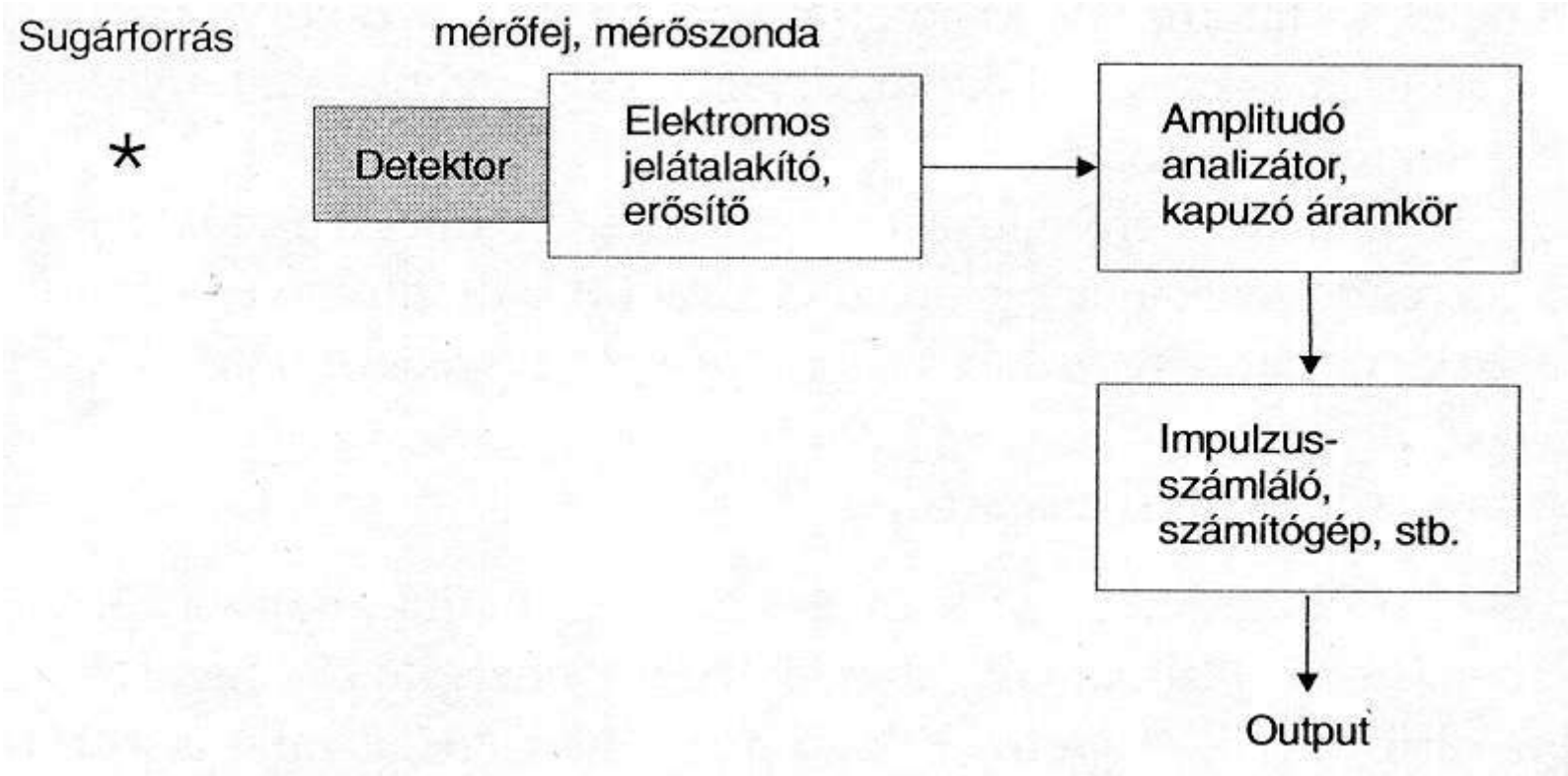
Radioaktív sugárzások mérése

- A sugárzások detektálása kölcsönhatásuk alapján lehetséges
- Meg kell tudni határozni a(z)
  - sugárzás fajtáját (α, β, γ, stb.)
  - sugárzás intenzitását (időegység alatt kibocsátott részecskék számát)
  - sugárzás fluxusát (a felületegységre eső intenzitást)
  - energiáját
  - Intenzitás időbeli csökkenését (felezési idő)

Alapvető kölcsönhatások összefoglalása

- Ionizáció (fotoeffektus γ sugárzásnál)
- Kinetikus energia átadás (Compton szórás, neutronok rugalmas és rugalmatlan ütközései)
- Molekuláris és atomi szintű gerjesztés
- Magreakciók
- Radiatív (kisugárzási) folyamat (pl. Cserenkov és Röntgen sugárzás)

A mérőberendezés blokksémája



A mérés hatásfoka

- A mérőrendszer által időegység alatt észlelt jelek száma (I):

$$I = \Psi_{forr} \cdot \Psi_{geom} \cdot \Psi_{absz} \cdot \Psi_{der} \cdot \Psi_{műűsze} \cdot \eta \cdot A$$

Ψ_{forr}: önabszorpció

Ψ_{geom}: a detektor látómezeje a 4π-hez képest

Ψ_{abs}: a közeg sugárgyengítése

Ψ_{der}: a detektor hatásfoka

$\Psi_{műszer}$: a mérőrendszer csökkentési együthatója

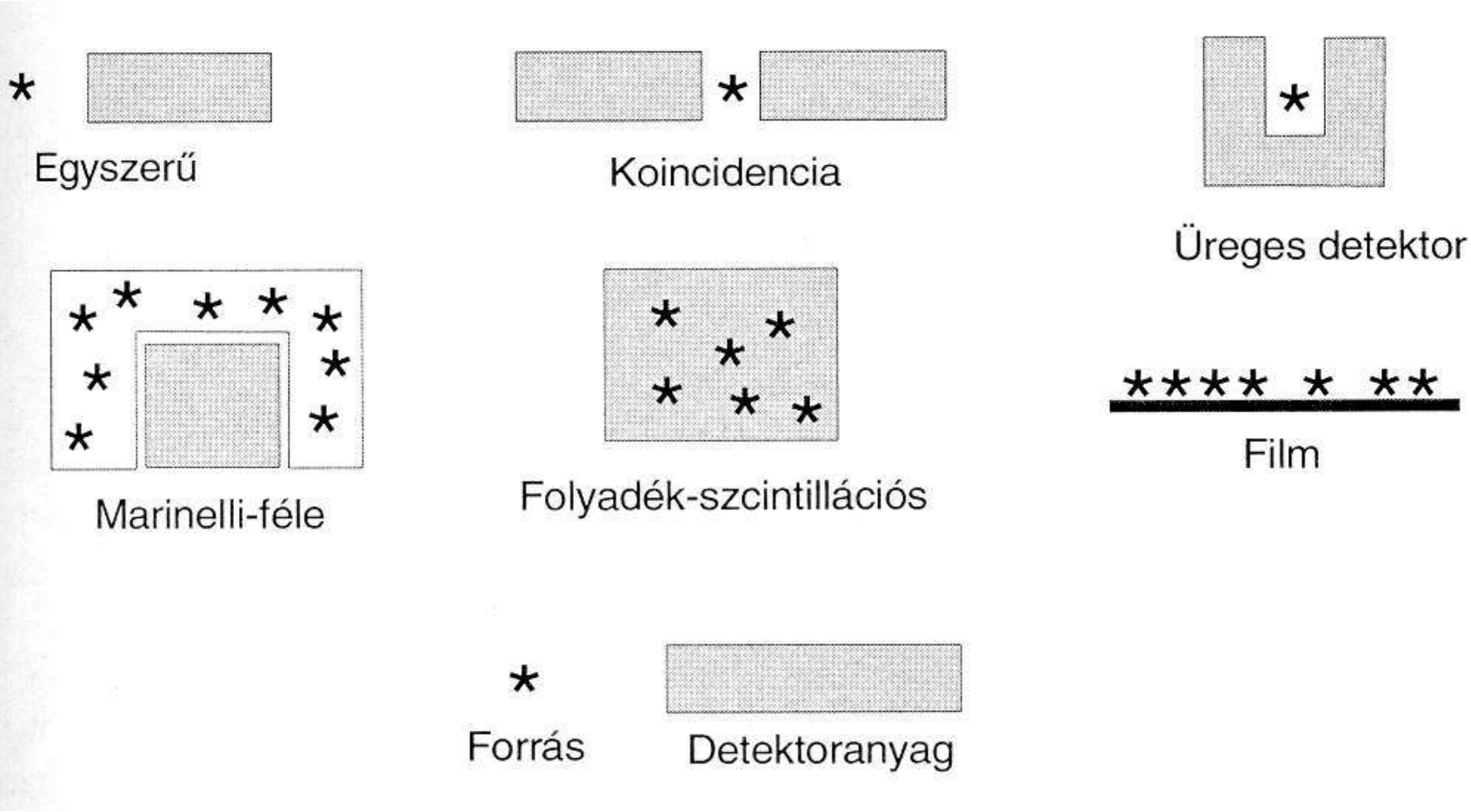
η. A sugárzás hozama

A: a forrás aktivitása

A hatásfokot befolyásoló tényezők

- Ψ_{forr}
  - ~1: normál körülmények közt
  - <1: nagy sűrűségű (2-3) vagy nagy kiterjedésű minták (pl. talaj)
  - 0,1–0,15: α- β- sugárzás
- Ψ_{geom}
  - A detektor felület/$4 \cdot r^2 \cdot \pi$; rendszerint kicsi, kis aktivitású mintáknál speciális elrendezéssel jelentősen javítható.

Mérési geometriák



A hatásfokot befolyásoló tényezők

- Ψ_{absz} : Néhány cm-es levegő a γ sugárzást nem nyeli el, de kis energiájú β sugárzást jelentősen, az α sugárzást nagymértékben elnyeli.
- Ψ_{der} : A detektor anyagot úgy kell megválasztani, hogy értéke közel 1 legyen
- $\Psi_{műsze}$: A feldolgozó elektronika holtidejéből származó veszteség 5%-nál kisebb legyen
- η : a mérés tervezésekor figyelembe kell venni, hogy egy bomlás során hány részecske keletkezik

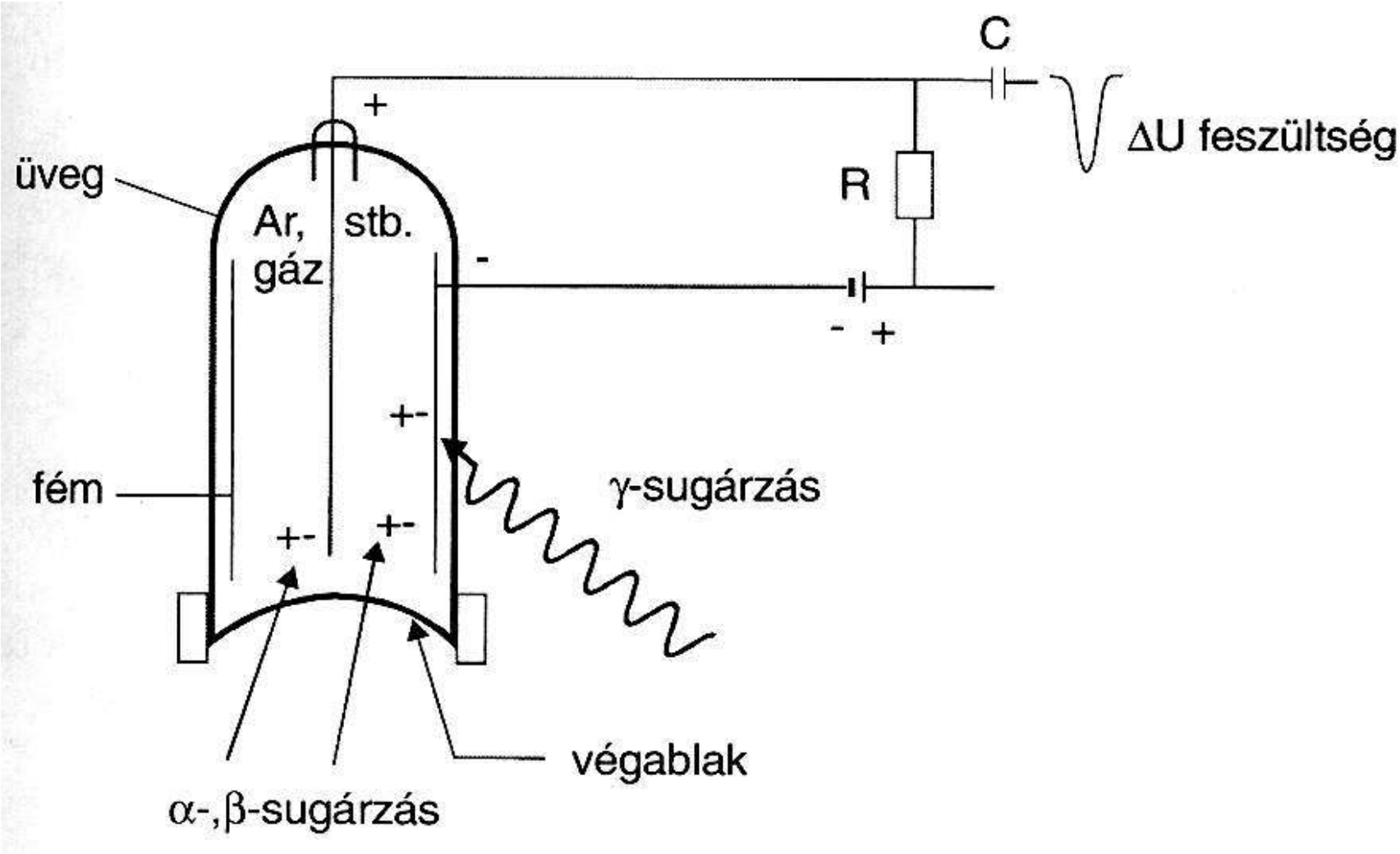
Detektorok

- Gázionizációs detektorok
- Szcintillációs detektorok
- Félvezető detektorok
- Egyéb
  - Nyomdetektorok (pl. ködkamra)
  - Fotográfiai hatáson alapuló detektorok
  - Termolumineszcens detektorok

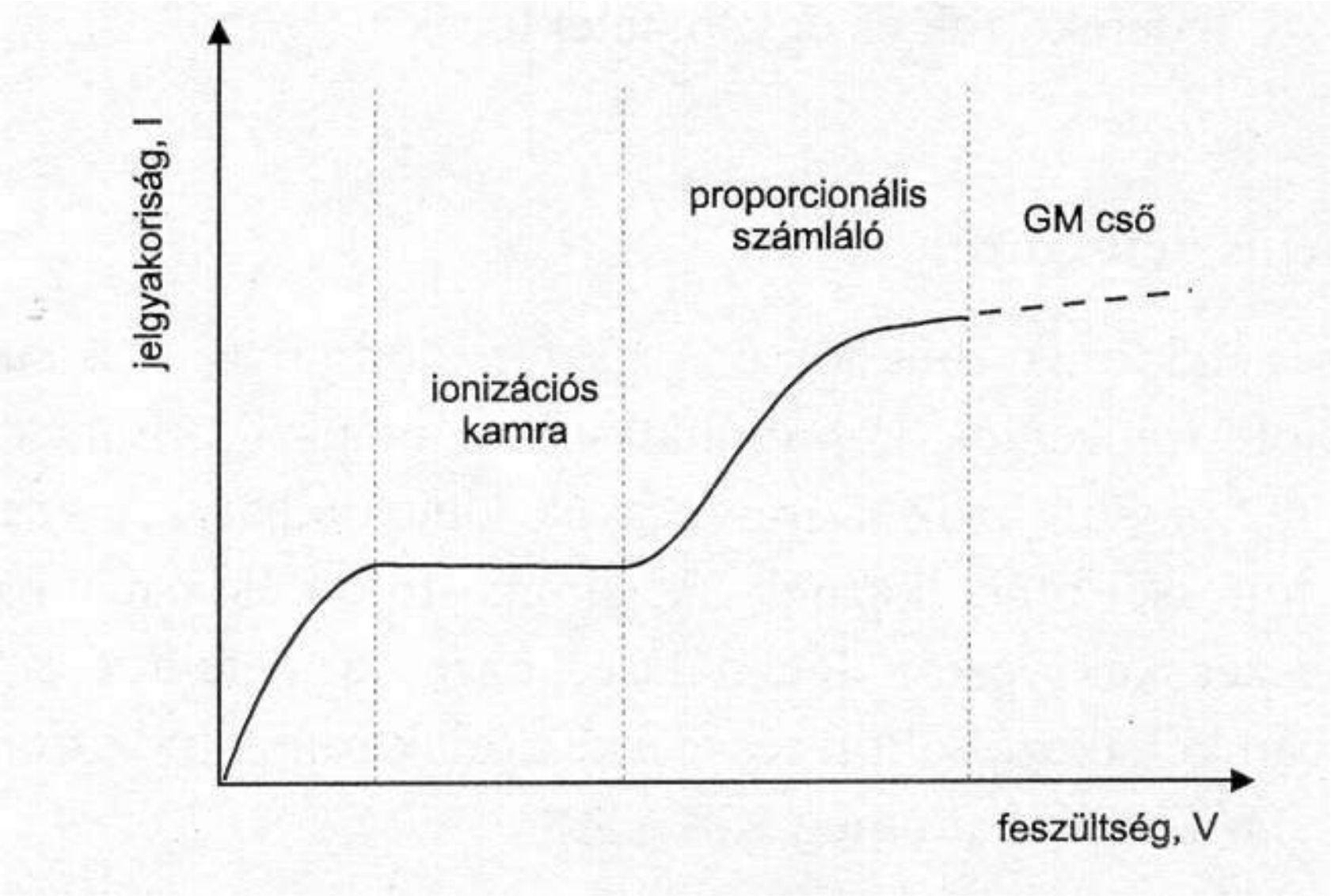
Gázionizációs detektorok

- Ionizációs kamra
- Proporcionális számláló
- Geiger-Müller (GM) számlálók

Gázionizációs detektor



Karakterisztika



Ionizációs kamra

- Minden sugárzás detektálására alkalmasak,
- Egyszerűek, különböző geometriák alakíthatók ki, stabilan működnek, viszonylag olcsók,
- Integrális (átlagos ionizációs áram mérése) és impulzus üzemben is működhetnek (az egyes impulzusokat külön-külön mérjük), az impulzus amplitúdója alapján az energiára is következtethetünk,
- Töltőgáz lehet akár levegő is.

Ionizációs kamra (folytatás)

- α – kamrák: töltőgáz nitrogén vagy nemesgáz
  - töltőgáz N_2 vagy nemesgáz
  - külső forrás esetén belépőablak biztosítása
  - nyitott kamrák pl. gázátáramlásos kamrák aktivitás koncentráció mérésére
- β – kamrák: lágy komponensek a gázban, keményebbek a kamra falában nyelődnek el,
- γ – kamrák: a kamra falában nyelődik el, az onnan kilépő szekunder elektronokat detektáljuk. Kis aktivitások esetén a mintát a kamrába helyezzük.

Proporcionális számláló

- Gázerősítés. A sokszorozás 1000-10000 szeres is lehet. Az ionlavina képződés a primer ionizáció helye és az anódszál közti térrészre korlátozódik.
- Végablakos kiképzés
- A minta a mérőtérben van pl. folyamatos gázátáramlás mellett
- A keletkező negatív ionok torzíthatják a jelet, ezért a töltőgáz nagy tisztaságú nemesgáz (He, Ar, Xe). Általánosan használt töltőgáz a „P-10” (90% Ar, 10% metán)
- Elterjedten használt kis energiájú Röntgen, neutron és α-β keverék források sugárzásának mérésére

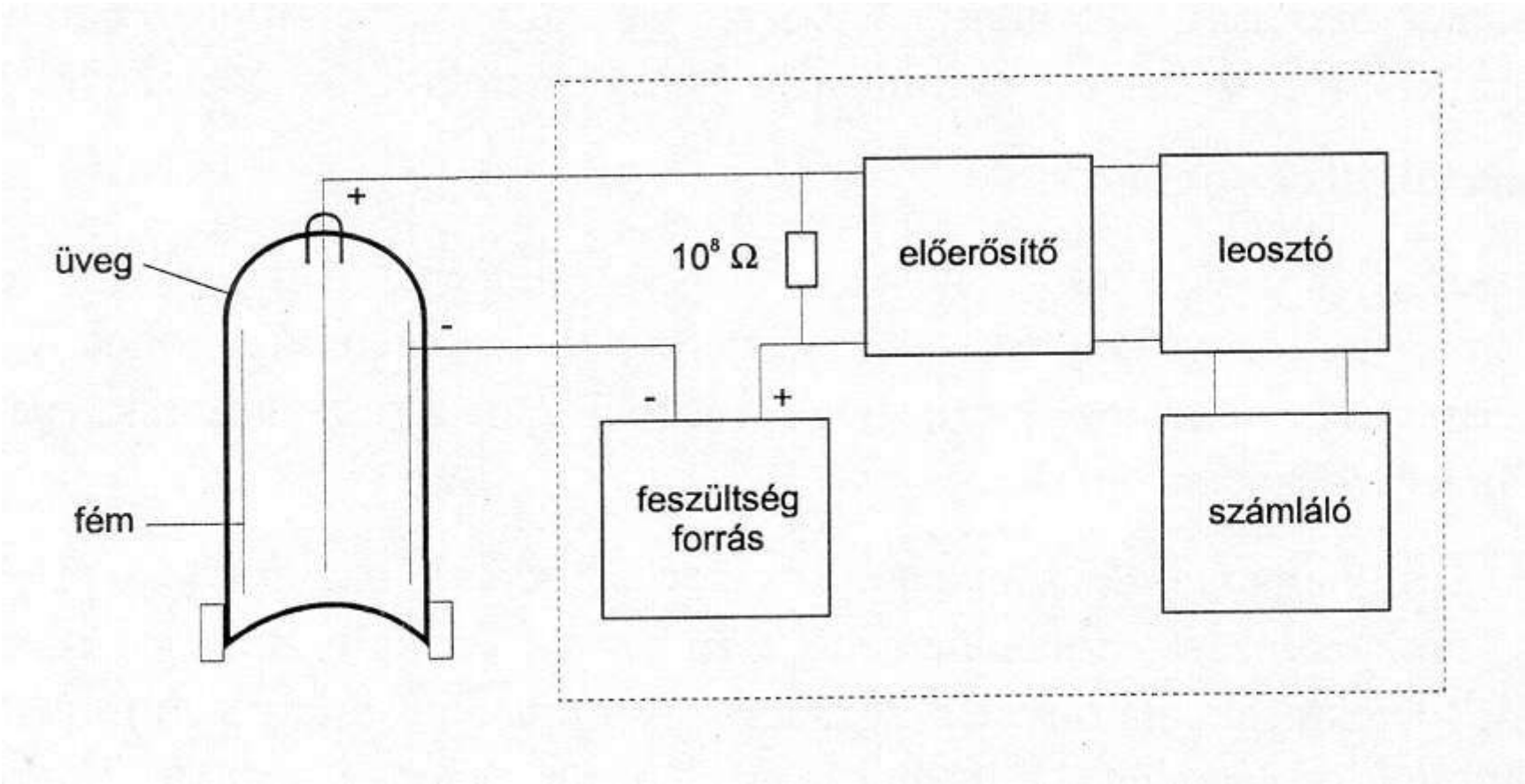
Geiger-Müller (GM) számlálók

- A feszültség növelésével az ionlavinák oldalirányba is kiterjednek, s végül az anódszál teljes hosszában kialakulnak.
- Az impulzus nagyságát a sugárzás fajtája, energiája nem befolyásolja, ez kizárólag az alkalmazott feszültség és a csőgeometria függvénye.
- A több folyamat (gerjesztett atomok sugárzása, rekombináció során keletkező fotonok) lejátszódása a kisülés nem áll le, ezért kioltó gázra is szükség van
- Töltőgáz: He vagy Ar, Kioltógáz: szerves molekulák (etilalkohol, izobután) vagy halogének (Br_2, vagy Cl_2)
- Az alkoholos csövek élettartama 10^8-10^9 impulzus, a halogénes csövek élettartama elvileg végtelen.

GM számlálók

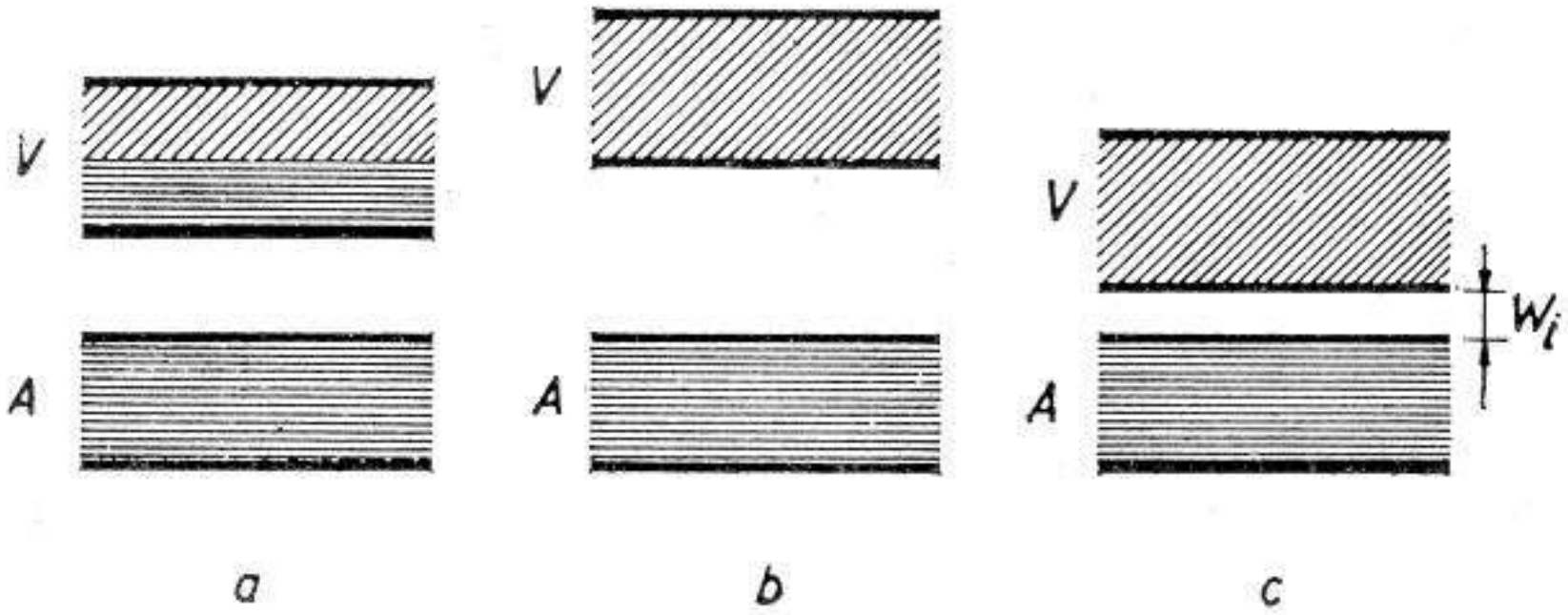
- Fontos jellemző a feloldási- vagy holtidő. A holtidőben érkező részecskét a GM cső nem detektálja. A holtidő 100 μs-nál nagyobb nem lehet.
- A GM cső karakterisztikája:
  - A plató hossza > 200 V, a munkafeszültséget ennek első 1/3-ában választják meg.
  - A plató meredeksége 5-15% közt kell legyen
- A halogénes csövek működési tartománya 300-700 V
- A szerves kioltógőzzel működő csöveké 1200-1700 V
- Csak impulzus számlálásra használható
- γ-sugárzásra a hatásfok csak 1-5%

GM-cső és a jelfeldolgozás



Szcintillációs detektorok

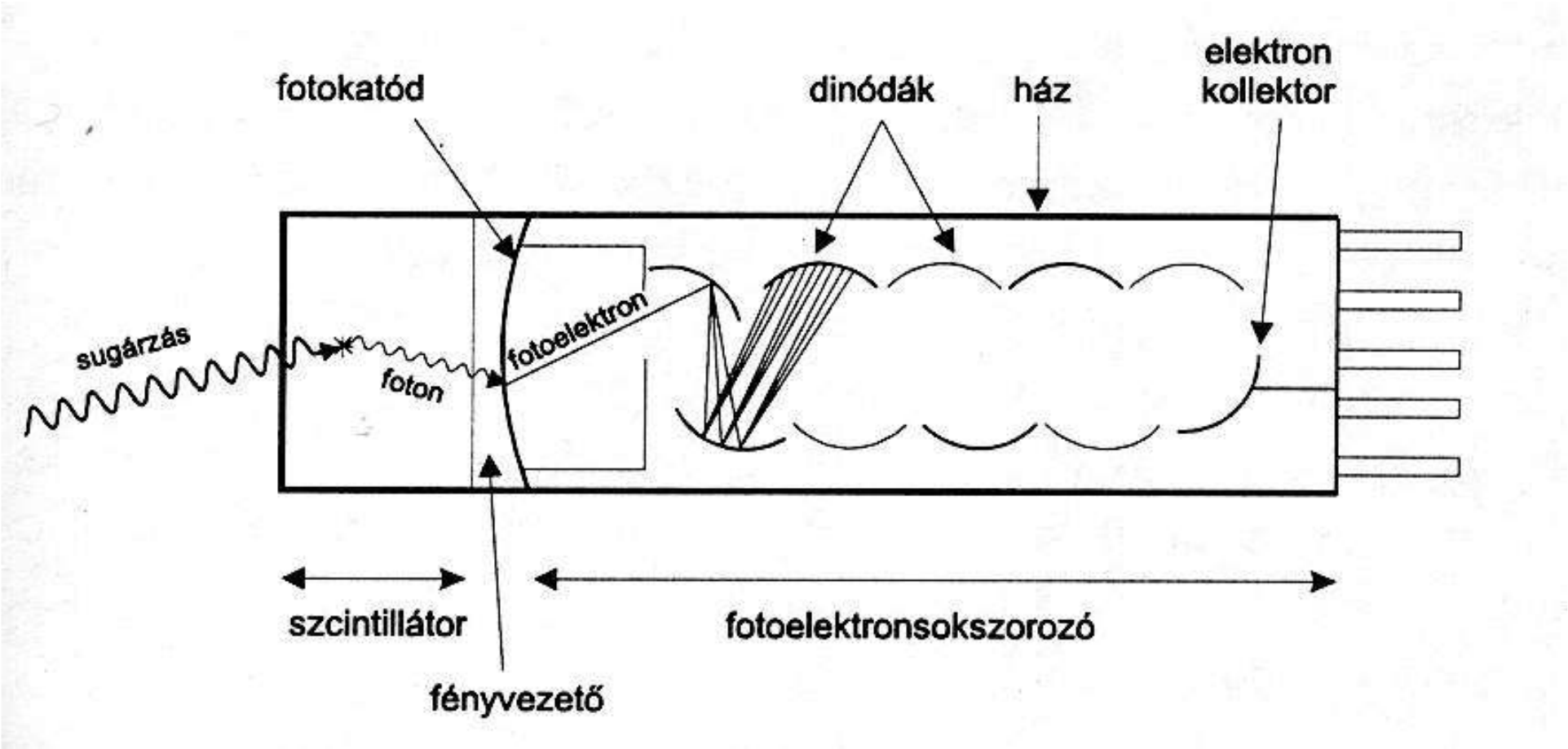
- Kristályos szilárd testek (szilárdtestek) sávszerkezete
- a: vezetők; b: szigetelők (W≈2-10 eV); c: saját (intrinsic) félvezetők (W≈1 eV)



A detektoranyag működése

- A detektoranyagba jutó sugárzás gerjeszti az elektronokat
- Ezek a vegyérték sávba visszajutva energiájukat fény formájában adják le. Tiszta anyag esetén a fény az UV tartományba esik.
- Megfelelő szennyezőanyag adagolásával a tiltott sávban is keletkeznek energianívók. Az innen történő visszatéréskor kisugárzott fény a látható tartományba esik.
- A szcintillátorban keletkező fotonok száma arányos a sugárzás energiájával.

Fotoelektronsokszorozó (multiplier)



Szcintillációs detektorok I.

- Transzformációs hatásfok (η): energia átalakítása fénnyé
- Fénykibocsátás időtartama 100-1000 ns (lecsengési idő)
- Karakterisztika a GM cső karakterisztikájához hasonló

- Szervetlen kristályok
  - **ZnS(Ag): $\eta \approx$ 25-28 %**
  - Csak por alakban
  - **NaI(Tl): $\eta \approx$ 8-10 %**
  - 1 foton 30-35 eV
  - Nedvszívó, légmentesen le kell zárni. A burkolat az α és β sugárzást elnyeli.
  - **CsI(Tl): $\eta \approx$ 4-5 %**
  - Levegőn is tartható

Szcintillációs detektorok II.

- Szerves szcintillátorok
  - **Antracén ($C_{14}H_{10}$): η = 4 %**
  - **Stilbén ($C_{14}H_{12}$): η = 2 %**
- Folyadék szcintillátorok
  - **Toluolban vagy xilolban oldott terfenil, vagy difenil-oxazol: η = 2 - 4 %. Lecsengési idő 1 ns.**
  - **A mérendő anyagot a folyadékban oldják.**
- Plasztik szcintillátorok
  - **Szintillátoranyag oldása polimerizációra hajlamos oldószerekben (pl. sztirol): η = 2 – 3%**
  - **Lecsengési idő: $\approx$ 1 ns**

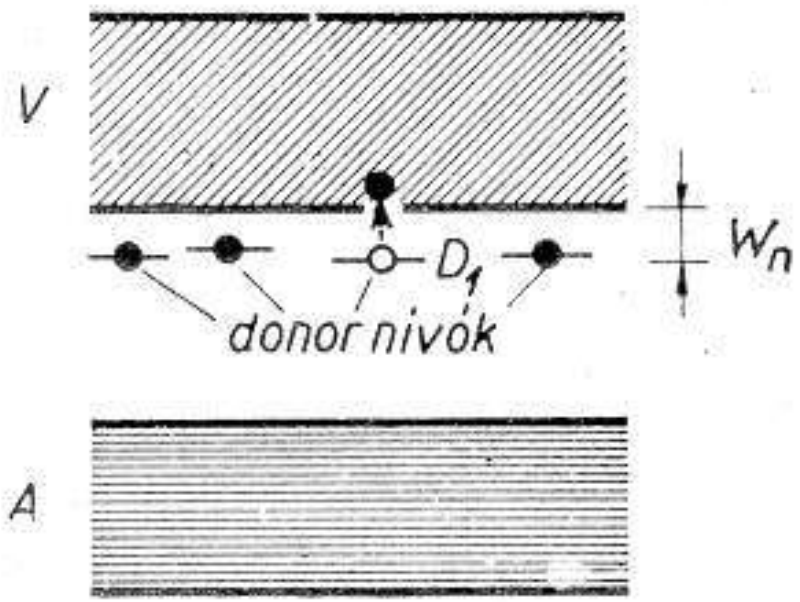
Szcintillációs detektorok használata I.

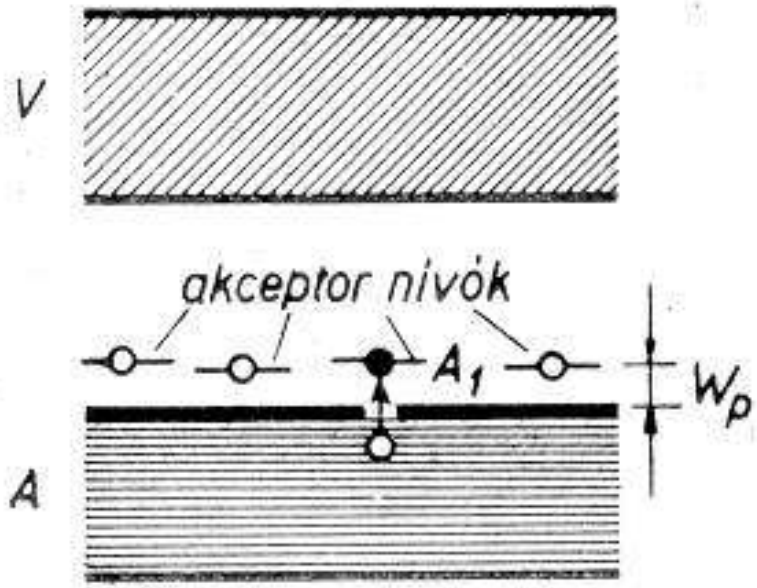
- α sugárzás:
  - ZnS(Ag): energiamérésre nem alkalmas.
  - ScI(Tl): energiamérésre.
- β sugárzás:
  - Szerves, plasztik és folyadék szcintillátorok
- γ sugárzás:
  - Legelterjedtebb a NaI(Tl), de a CsI(Tl) is használatos

Szcintillációs detektorok használata II.

- Fényvédő burkolat
  - α, β sugárzás: 0,8-1,2 mg/cm^2 Al fólia
  - kis energiájú γ: 0,15-0,3 mm Be lemez
  - Nagy energiájú γ: 0,5-1 mm Al lemez
- A FES fotokatódja Cs
- A dinódák száma 10-15
- A sokszorozás milliószoros is lehet

Szennyezéses félvezetők

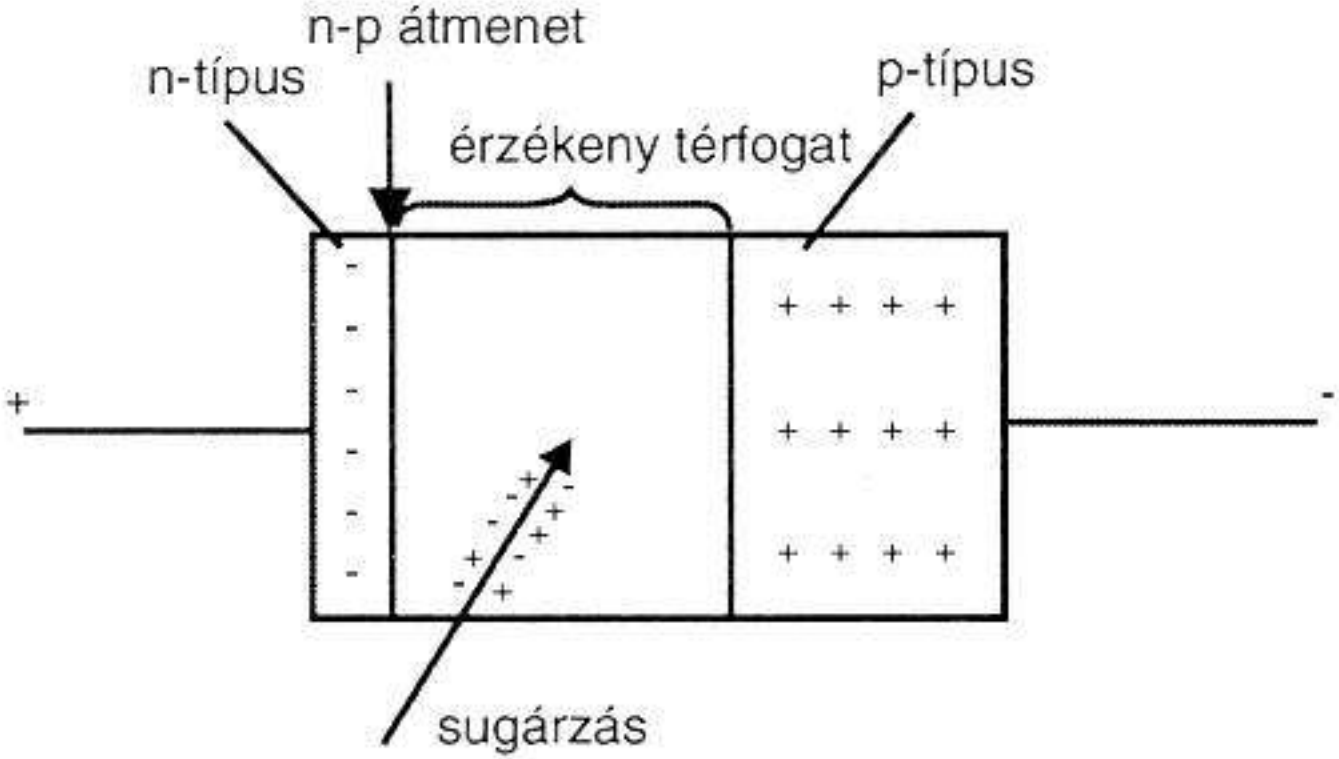




A tiltott sáv szélessége Si-ra 1,12 eV,

Ge-ra 0,67 eV

Felületi záróréteges típusok



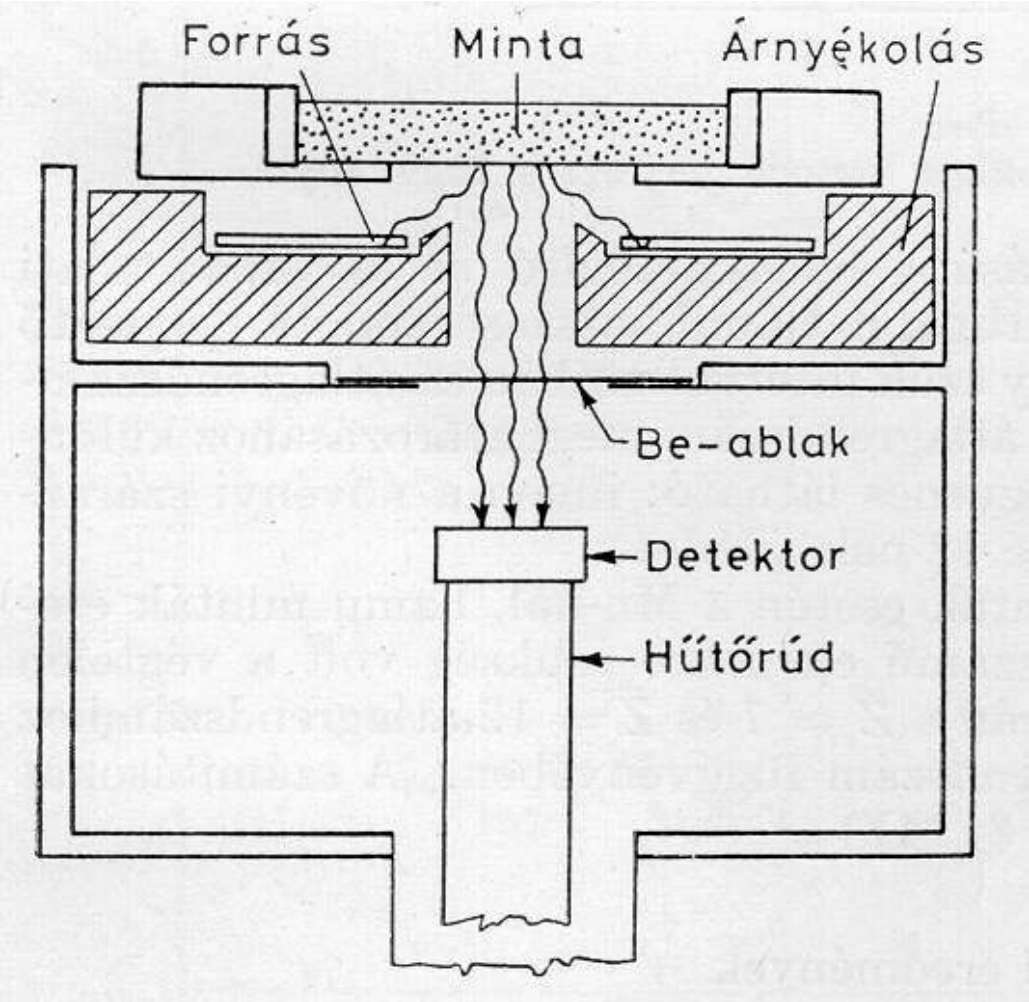
A tértöltési vagy kiürítési tartomány szélessége mintegy 10 pm, ami záróirányú feszültség rákapcsolásával szélesíthető.

Nagy ionizáló képességű, kis áthatoló képességű α mérése

Intrinsic detektorok

- Nagy tisztaságú (10^{10} szennyező atom/cm^3) Si vagy Ge kristály; a teljes térfogatban leadott energia hasznosul.
- Egy töltéshordozó pár keltéséhez
  - Ge-ban 2,8 eV
  - Si-ban 3,6 eV szükséges
- A termikus zaj csökkentése érdekében cseppfolyós N hőmérsékletére hűtve használják

Si(Li) detektor geometriai elrendezés



Félvezető detektor típusok

- Felületi záróréteges detektorok
  - kb. 0,01 nm vastag kiürítési tartomány; potenciál-különbség alakul ki
  - nagy ionizációs képességű, kis áthatoló sugárzás, pl. α mérésére
- Sajátvezetésű (intrinsic) detektorok
  - Si, Ge

Egyéb detektor típusok I. Nyomdetektorok

- Ködkamra

Egyéb detektor típusok II. Nyomdetektorok

- Szilárdtest nyomdetektorok
  - Egyes szigetelő anyagokban nehéz ionizáló részecskék nyomot hagynak, amely megfelelő kezelés (maratás) után mikroszkóp alatt kiértékelhető (videokamera, képanalizátor)
  - Lehetnek:
    - szervetlen anyagok: különböző üvegek, kvarc
      - » maratás HF-al
    - szerves anyagok: polikarbonát, cellulóznitrát
      - » maratás NaOH vagy KOH oldattal

Egyéb detektor típusok III.

- Fotográfiai hatáson alapuló detektorok
  - Az érzékeny réteg zselatinba ágyazott ezüstbromid, amelyet a hordozó mindkét oldalára felvisznek, a rétegek vastagsága nagyobb, mint a fotofilmek esetében.

Egyéb detektor típusok IV.

- Termolumineszcens detektorok
  - Egyes szigetelők esetén a gerjesztett elektronok a tiltott sáv ún. energia csapda nívójára kerülnek
  - Szokásos viszonyok közt az elektronok évekig is itt maradhatnak
  - Kifűtéssel visszajuttathatók a vegyérték sávba, s onnan fénykibocsátással az alapsávba
  - A kibocsátott fény fotoelektron sokszorozóval mérhető

Dózismérő eszközök

- Nem azonnal szolgáltatnak információt, hosszabb időtartam (expozíciós idő) alatti integrális mérést tesznek lehetővé.
- A detektor anyagban hosszú ideig megmaradó változás jön létre, amely megfelelő eljárással kiértékelhető.

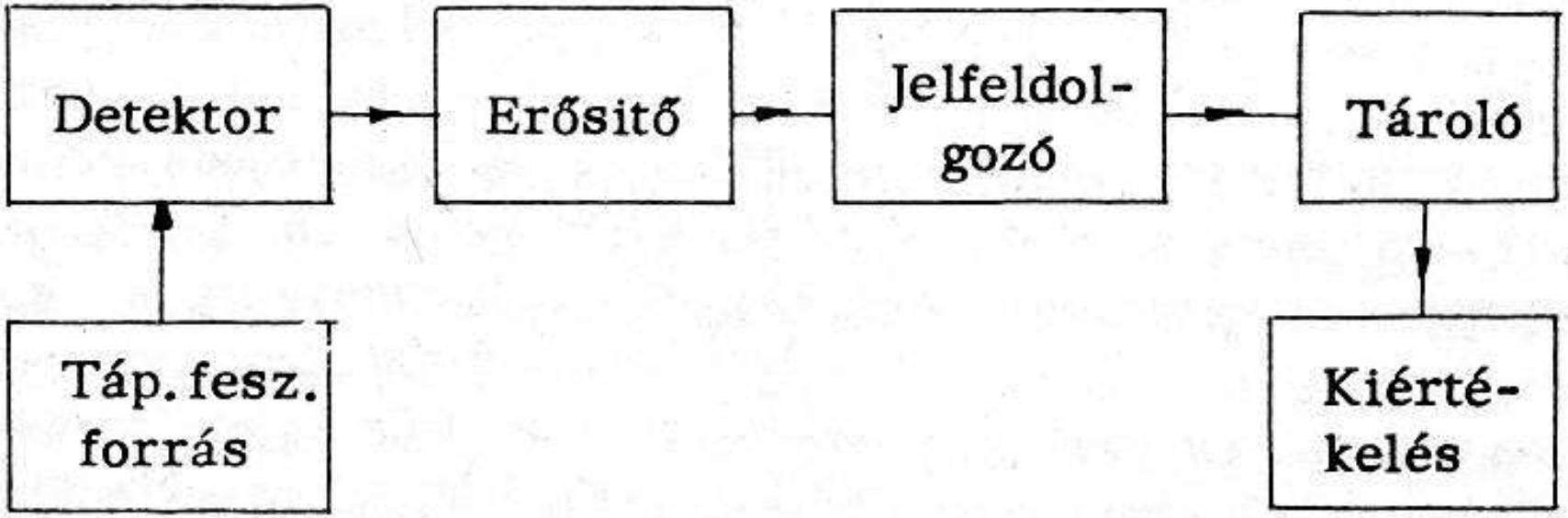
Típusok

- Tolldoziméterek: tartomány: néhány mSv
- Filmdoziméterek: megfelelő szűrőt alkalmazva különböző sugárzásból elnyelt dózisok mérésére alkalmas. Tartomány 50 μSv-1 Sv
- Termolumineszcens doziméterek
  - Gerjesztés hatására az elektronok a tiltott sáv energia csapdáiba kerülnek.
  - Kifűtés hatására a vegyérték sávba kerülnek, majd fénykibocsátás mellett az alapsávba
  - A fény szcintillációs detektorral mérhető

Nukleáris mérőműszerek

- Impulzus detektorok: minden részecske detektálása során áramimpulzust adnak
- A leggyakoribb feladatok:
  - Időpont meghatározás,
  - Amplitudó mérés,
  - Jelalakok egymástól való megkülönböztetése
  - Jellegzetes áramimpulzus alakok
    - Négyszög
    - Exponenciális lecsengésű
- Két alaptípus:
  - Információ a beérkezésről (GM cső)
  - Energiára következtethetünk (prop. száml. szcint. det. ...)

Nukleáris mérőműszerek



Nukleáris erősítők

- A detektorhoz illeszkedő zajszegény előerősítő
- A főerősítő a jelek erősítésének zömét és a jelformálást végzi
- Az ún. ablakerősítő a jelek bizonyos tartományának további erősítését végzi

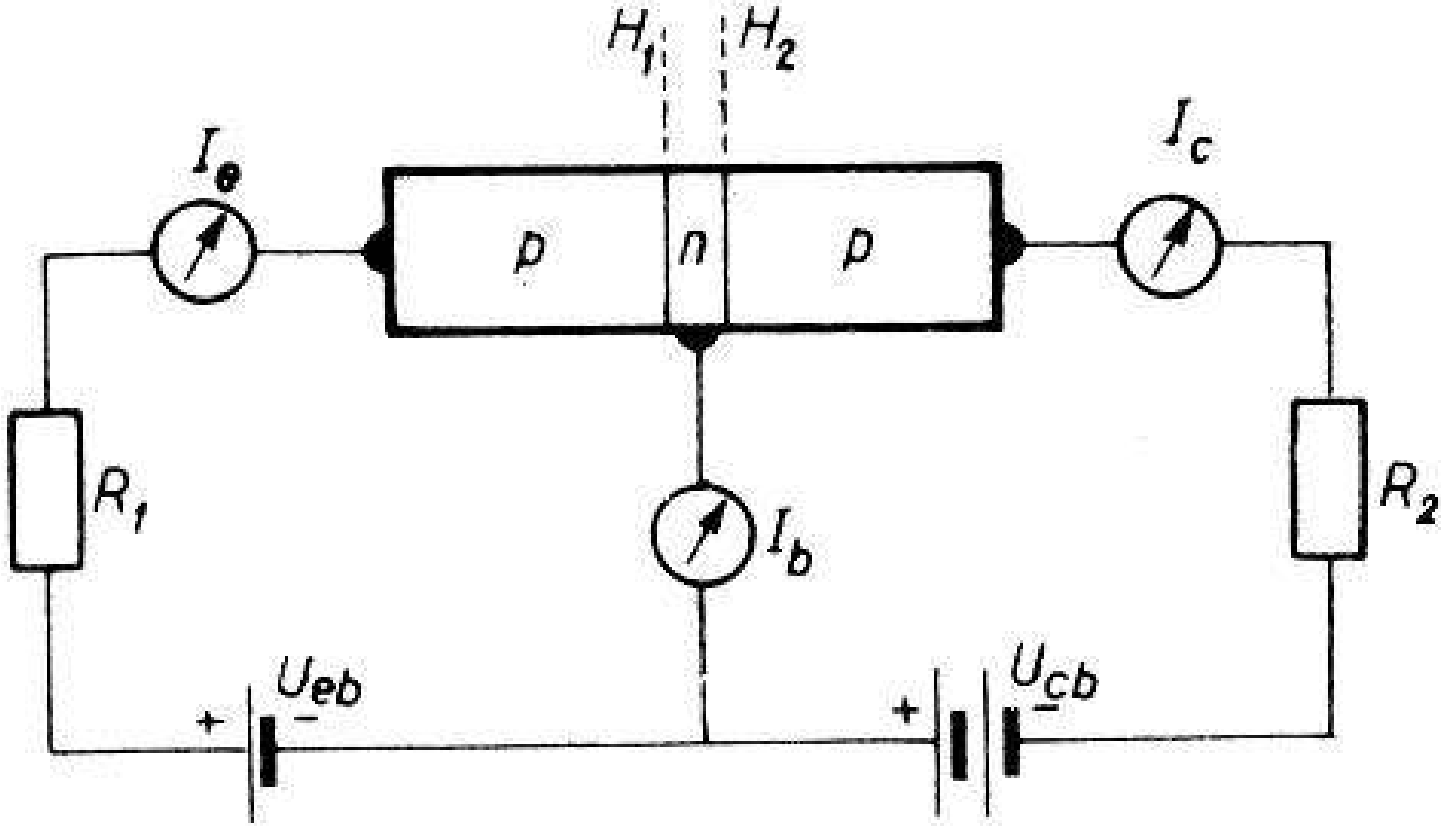
Az erősítés mértéke

Detektor típus	Detektor kapacitás [pF]	Töltés-mennyiség [C]	Imp. Idő [μs]	Imp Amplitudó [A]	$U_{ki} = Q/C$ [V]	$U_{ki} = I \cdot R$ [v]
Ionizációs kamra	50	10^{-16}-10^{-14}	0,4-5	10^{-11}-10^{-7}	10^{-6}-10^{-4}	10^{-9}-10^{-5}
Prop. számláló	50	10^{-14}-10^{-12}	0,4-5	10^{-7}-10^{-5}	10^{-4}-10^{-2}	10^{-5}-10^{-3}
GM cső	20	10^{-12}-10^{-10}	0,5-5	10^{-7}-10^{-4}	0,1-10	10^{-5}-10^{-2}
Szcint. számláló (NaJ(Tl)	20	10^{-11}	0,25	10^{-4}	0,5	10^{-2}
Felvezető detektor	20-200	10^{-13}	0,01	10^{-5}	10^{-4}-10^{-3}	10^{-3}

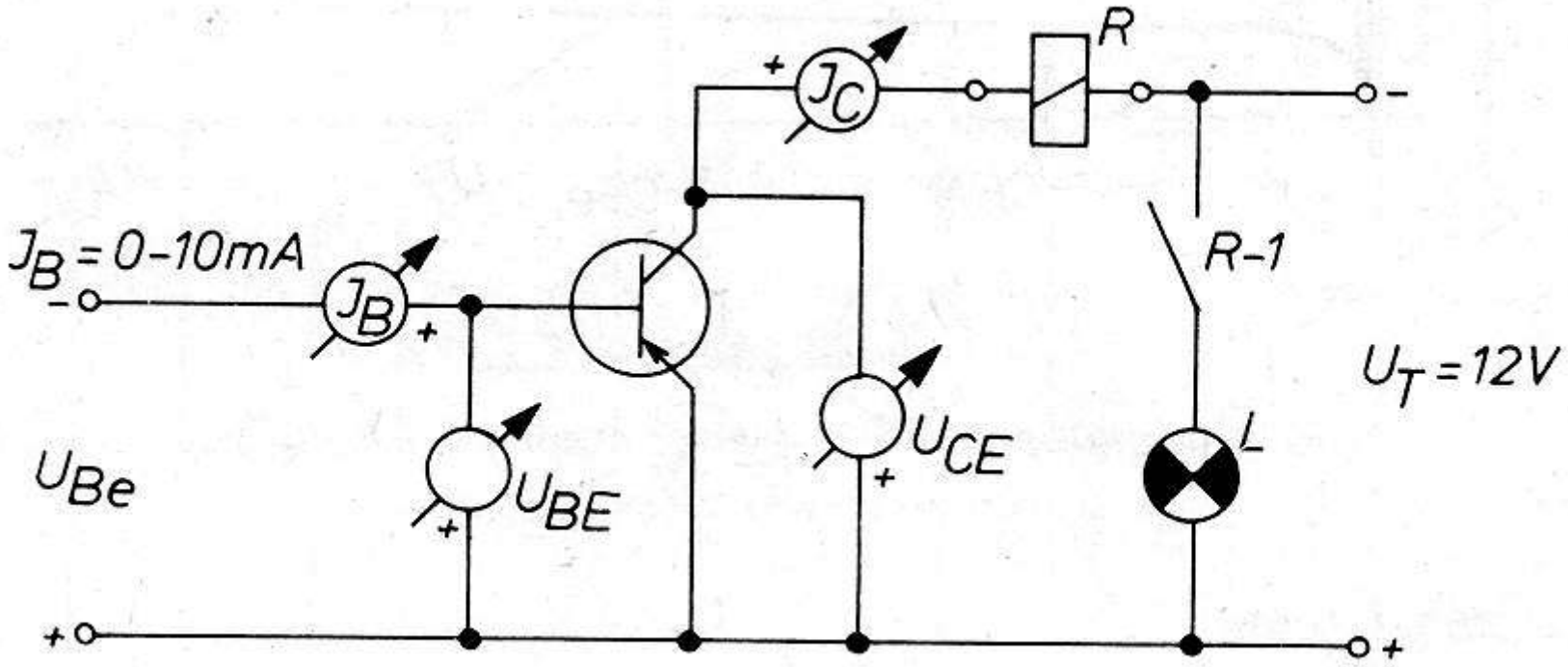
Követelmények

- A kimenőjel 1-10 V kell, hogy legyen
- Jelformálás
  - Elkerülhetetlen
  - Tudatos
- A jel/zaj viszonyt maximálni kell

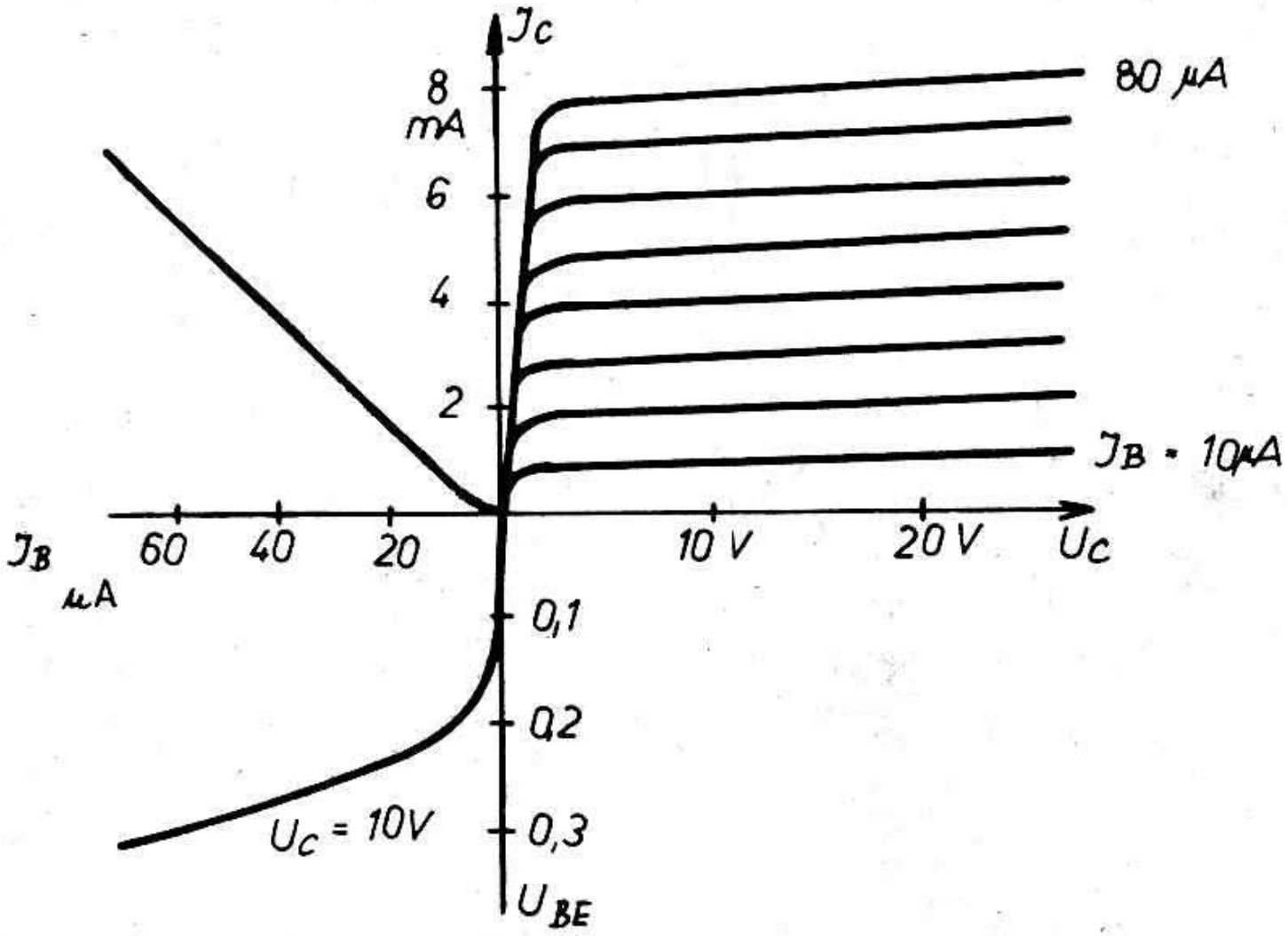
Erősítők



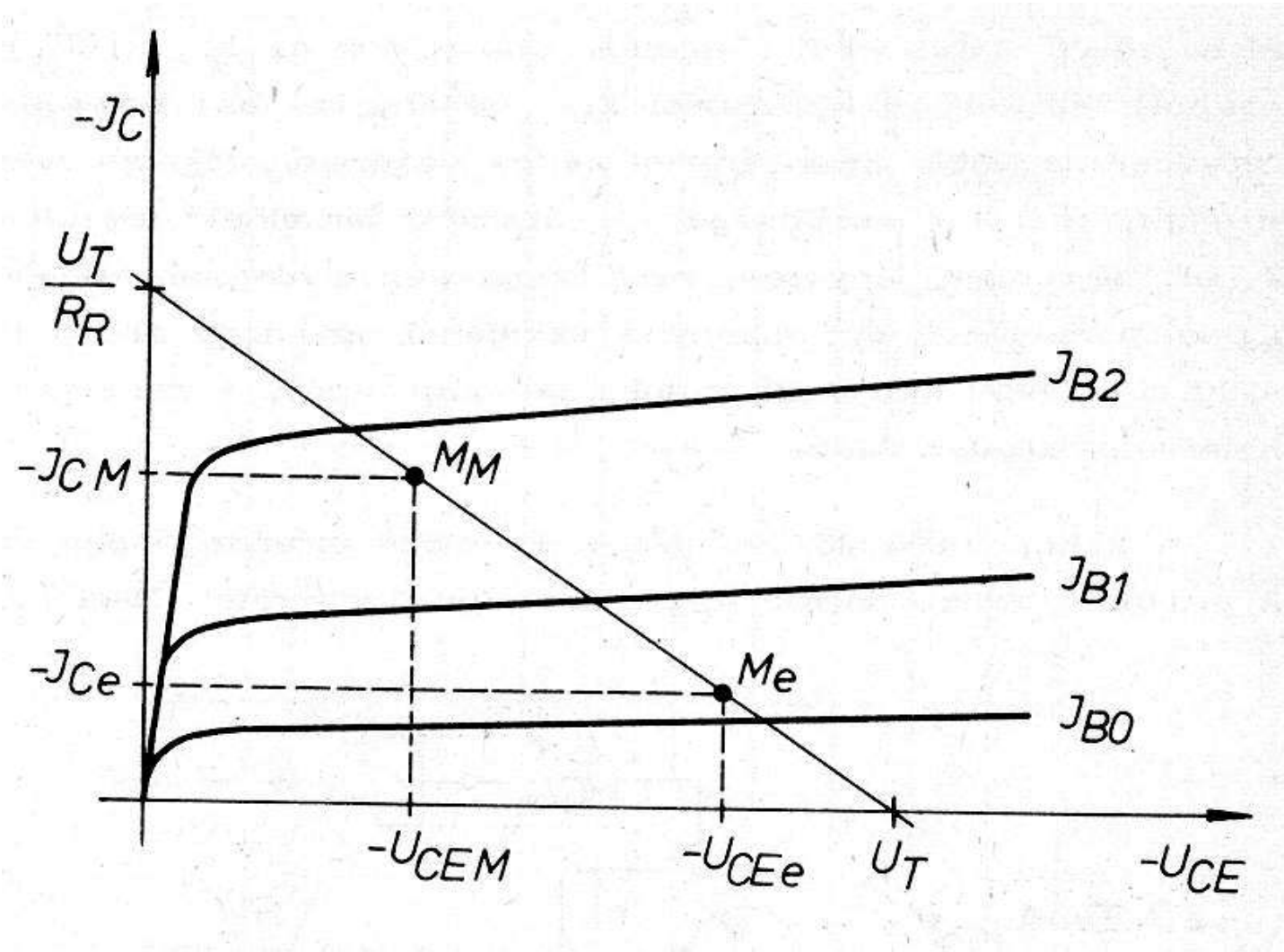
Erősítők



Karakterisztika



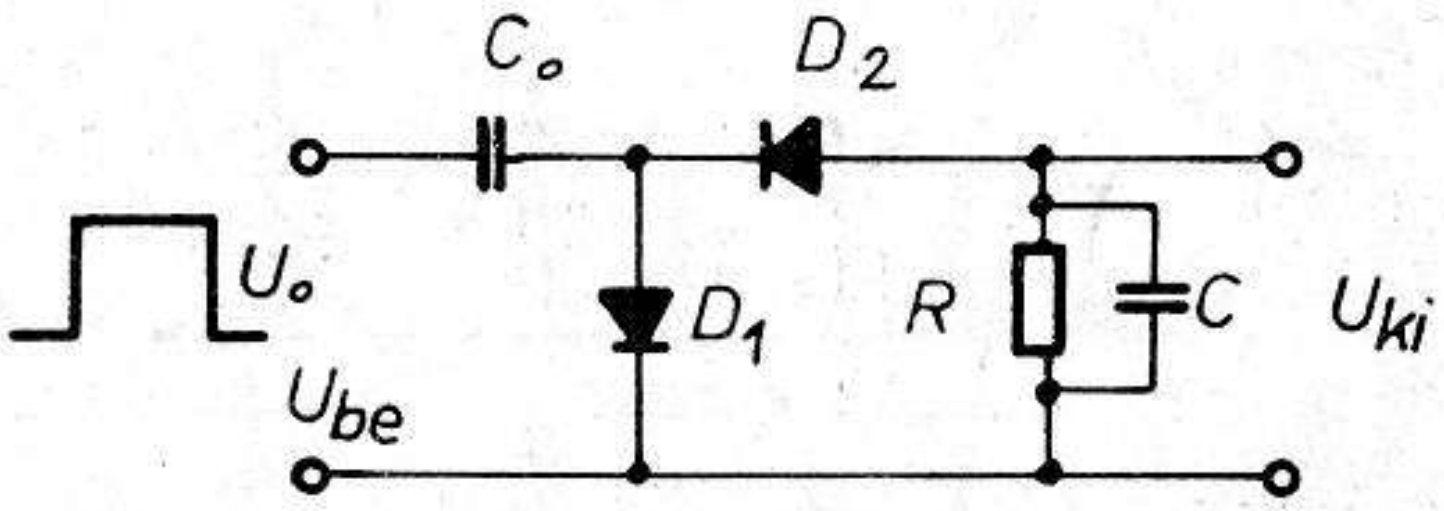
Munkapont beállítás



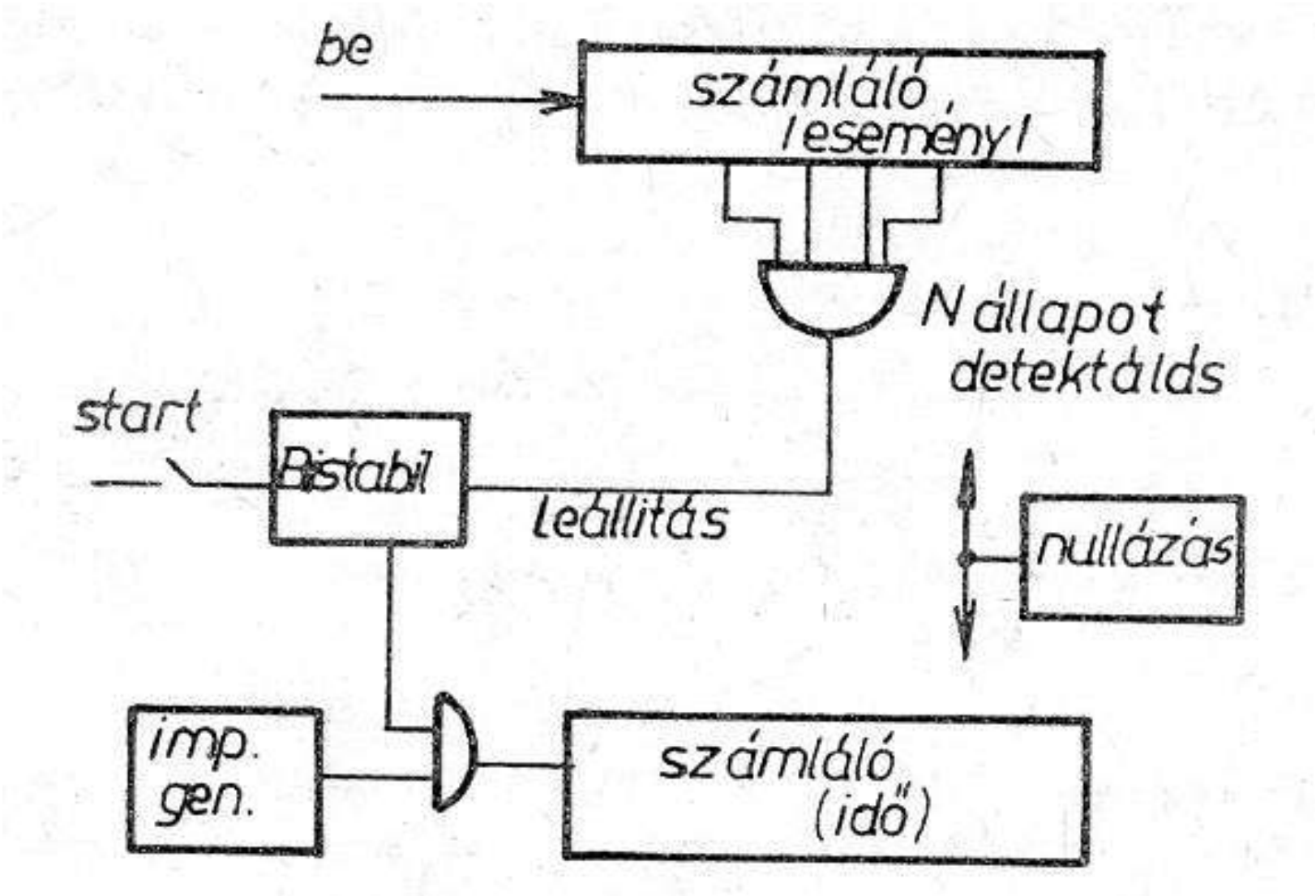
Alap áramkörök a nukleáris technikában

- Multivibrátorok
  - Astabil: meghatározott jelalak (pl. négyszög) előállítása
  - Monostabil: a bejövő jelalaktól független kimenőjel előállítása
  - Bistabil: számláló – tároló áramkör
  - Emitter csatol bistabil multivibrátor, vagy Schmitt trigger

Beütésszám-átlag mérők (ratemeter)

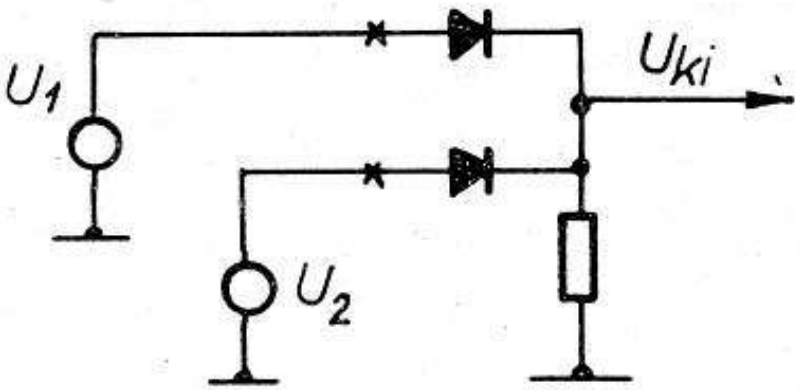


Impulzus számlálók (scaler)

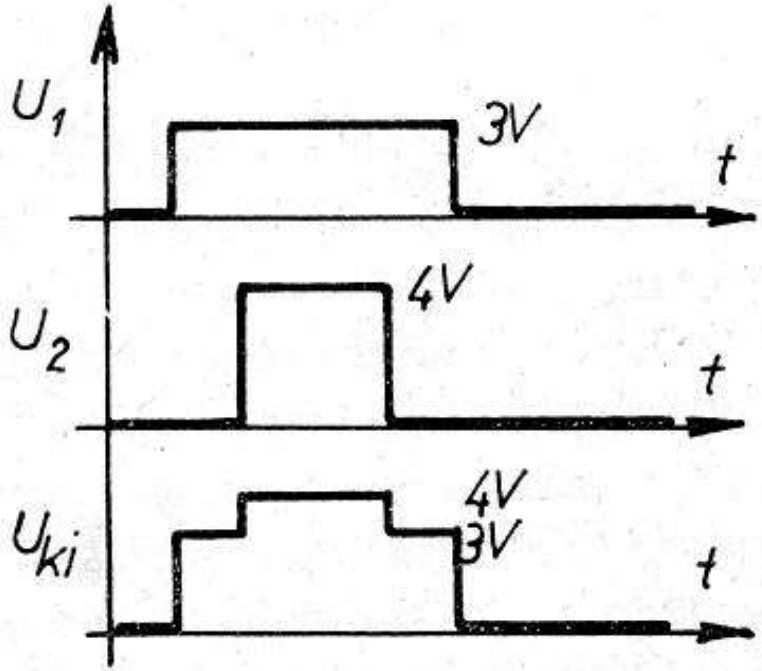


Jelfeldolgozó áramkörök: koincidencia áramkörök

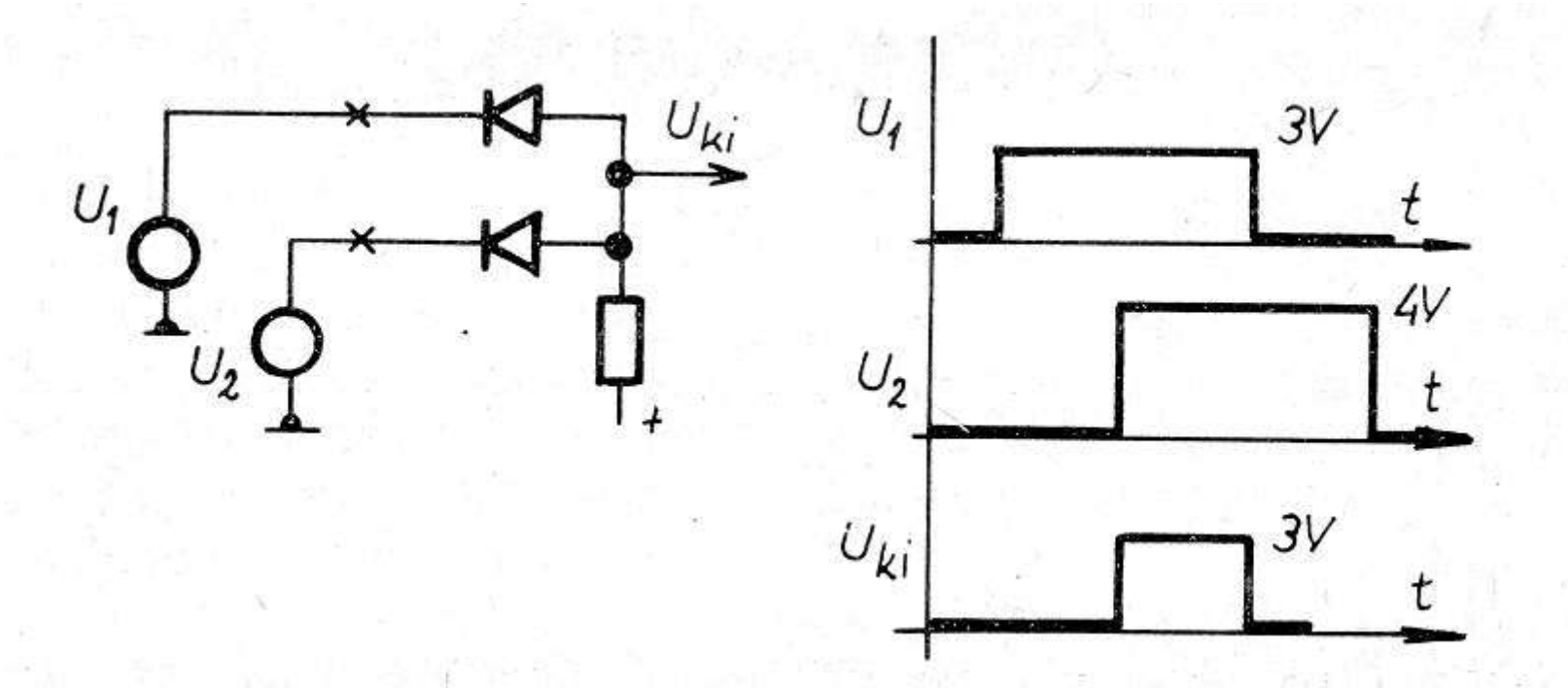
- Logikai vagy



- Kimenő jel: ha bármely bemeneten van jel



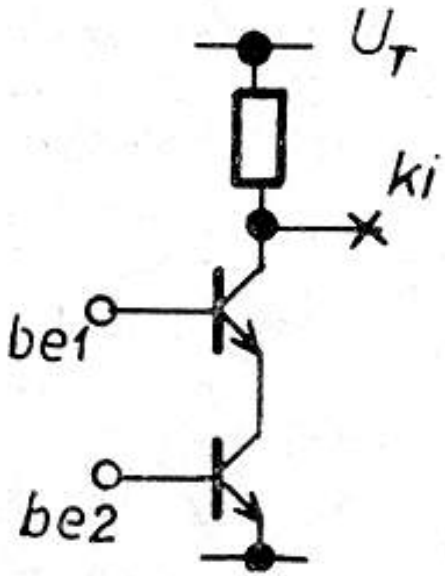
Antikoincidencia áramkörök



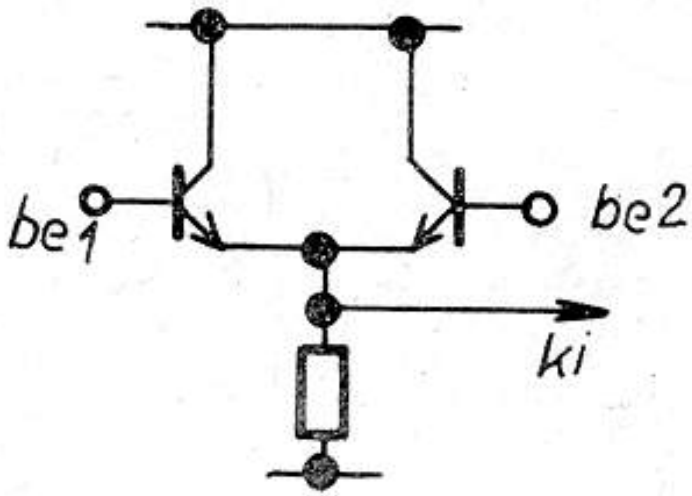
- Logikai és kör: kimenő jel: ha mindkét bemeneten van jel

Koincidencia- antikoincidencia tranzisztorokkal

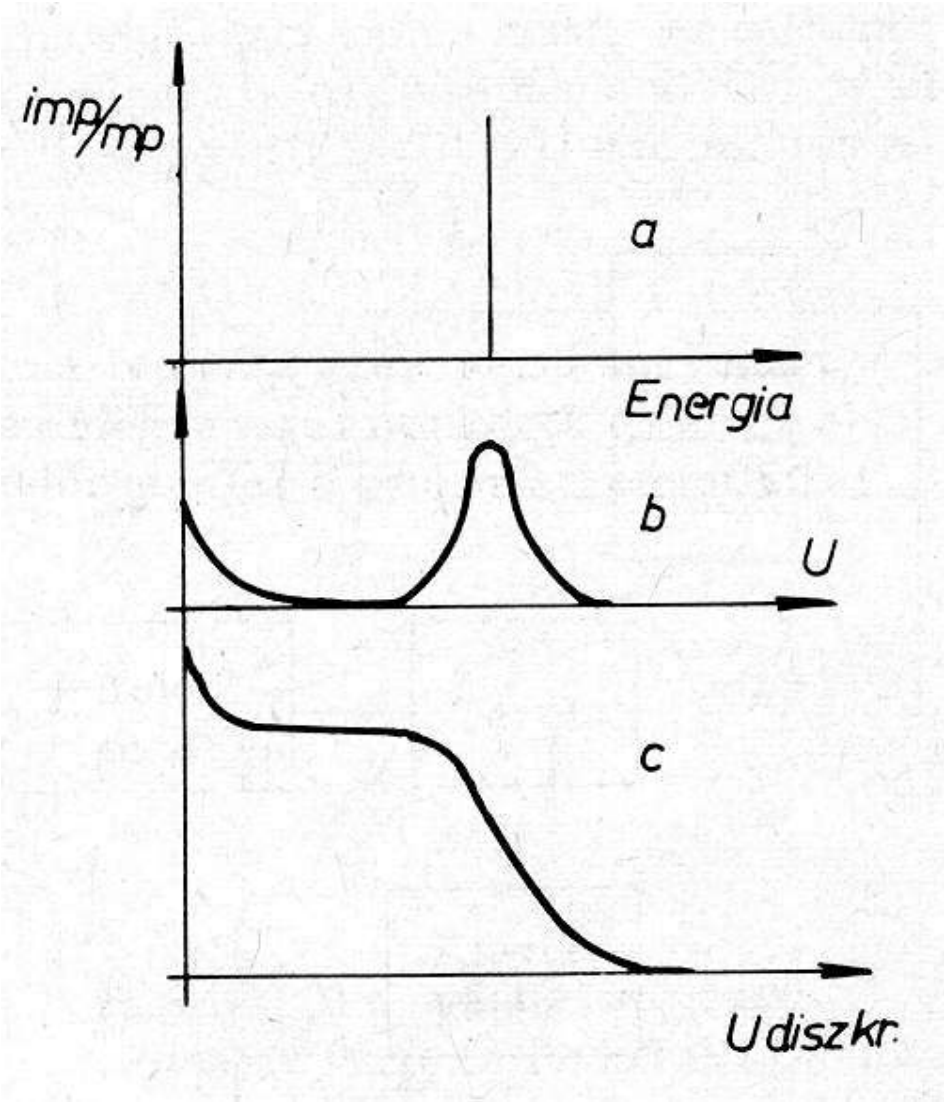
- Logikai vagy kör tranzisztorral



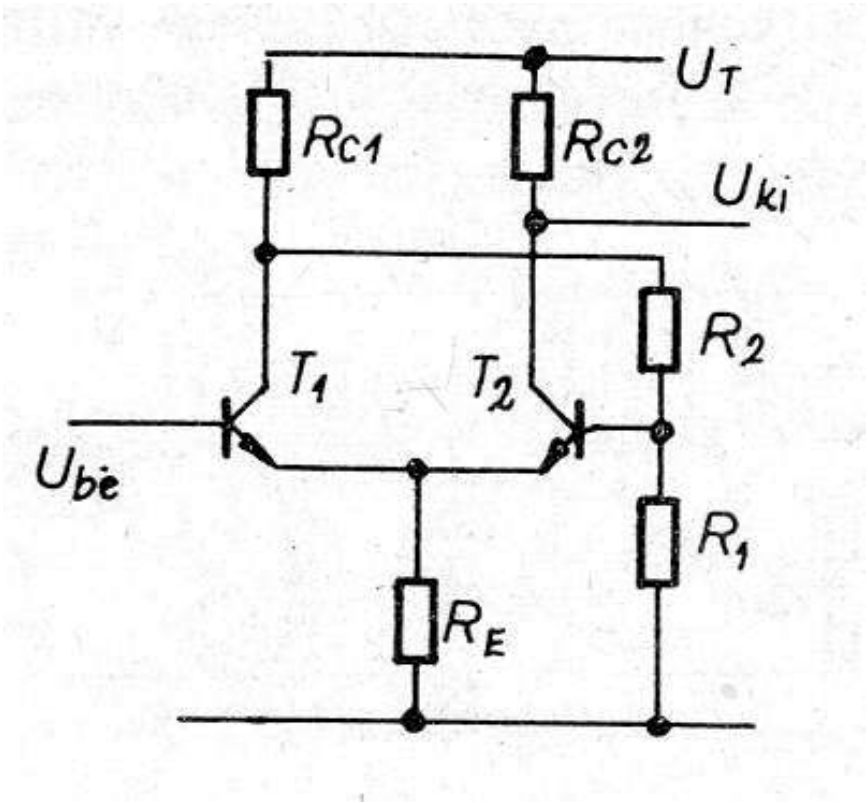
- Logikai és kör tranzisztorral

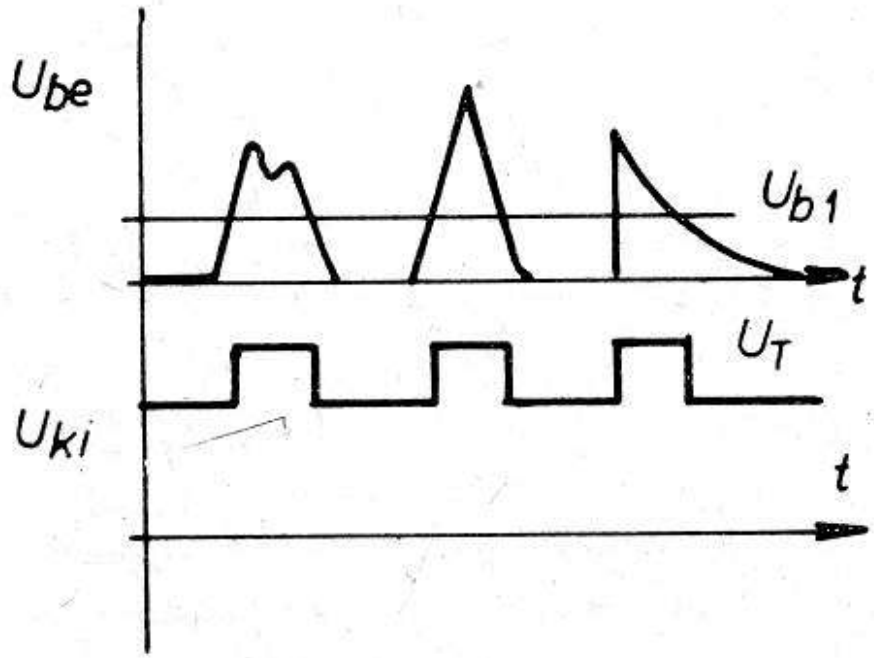


Jelfeldolgozás

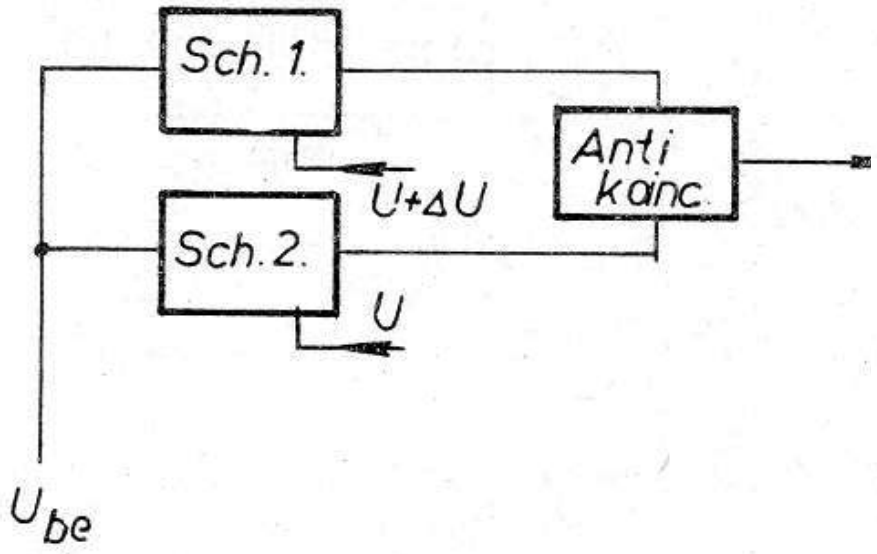


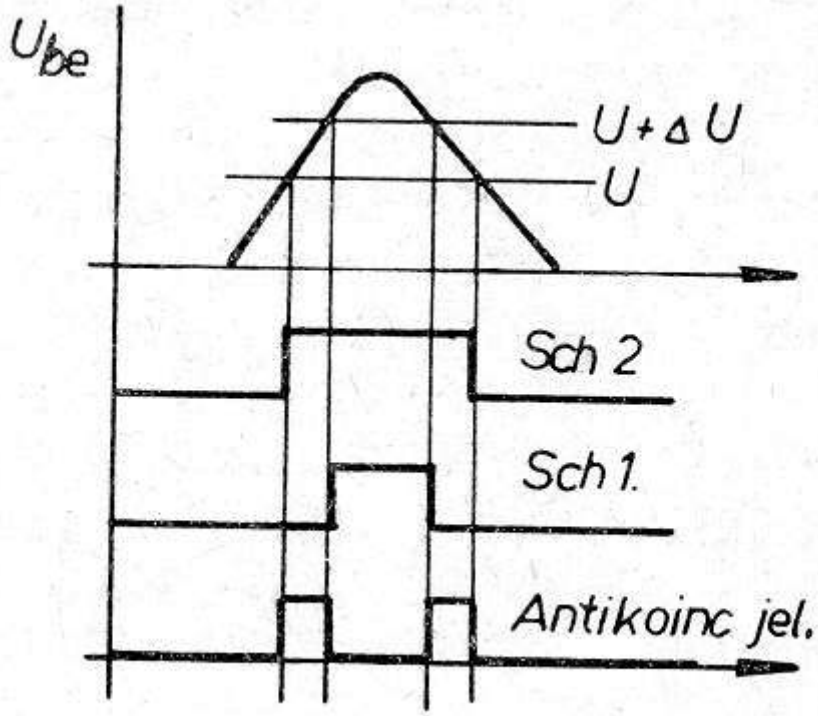
Jelfeldolgozó áramkörök: integrális diszkriminátor



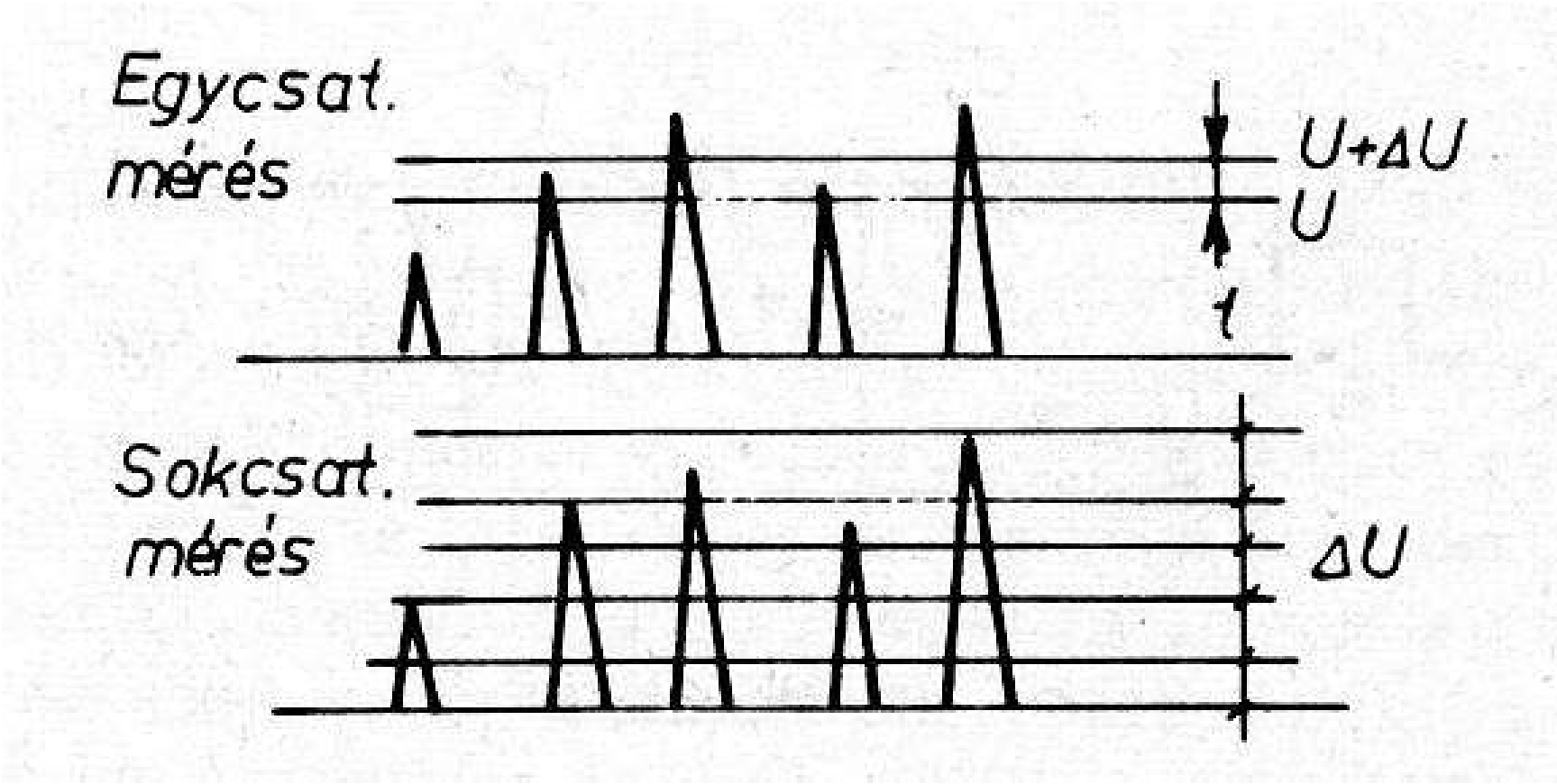


Differenciál diszkriminátorok





Sokcsatornás analizátorok

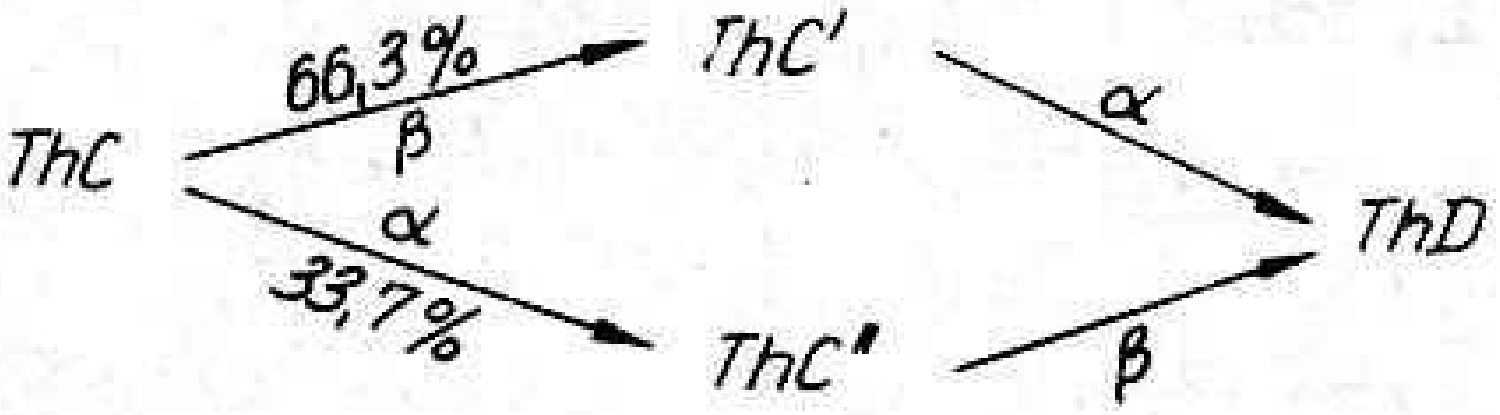


α-spektrometria

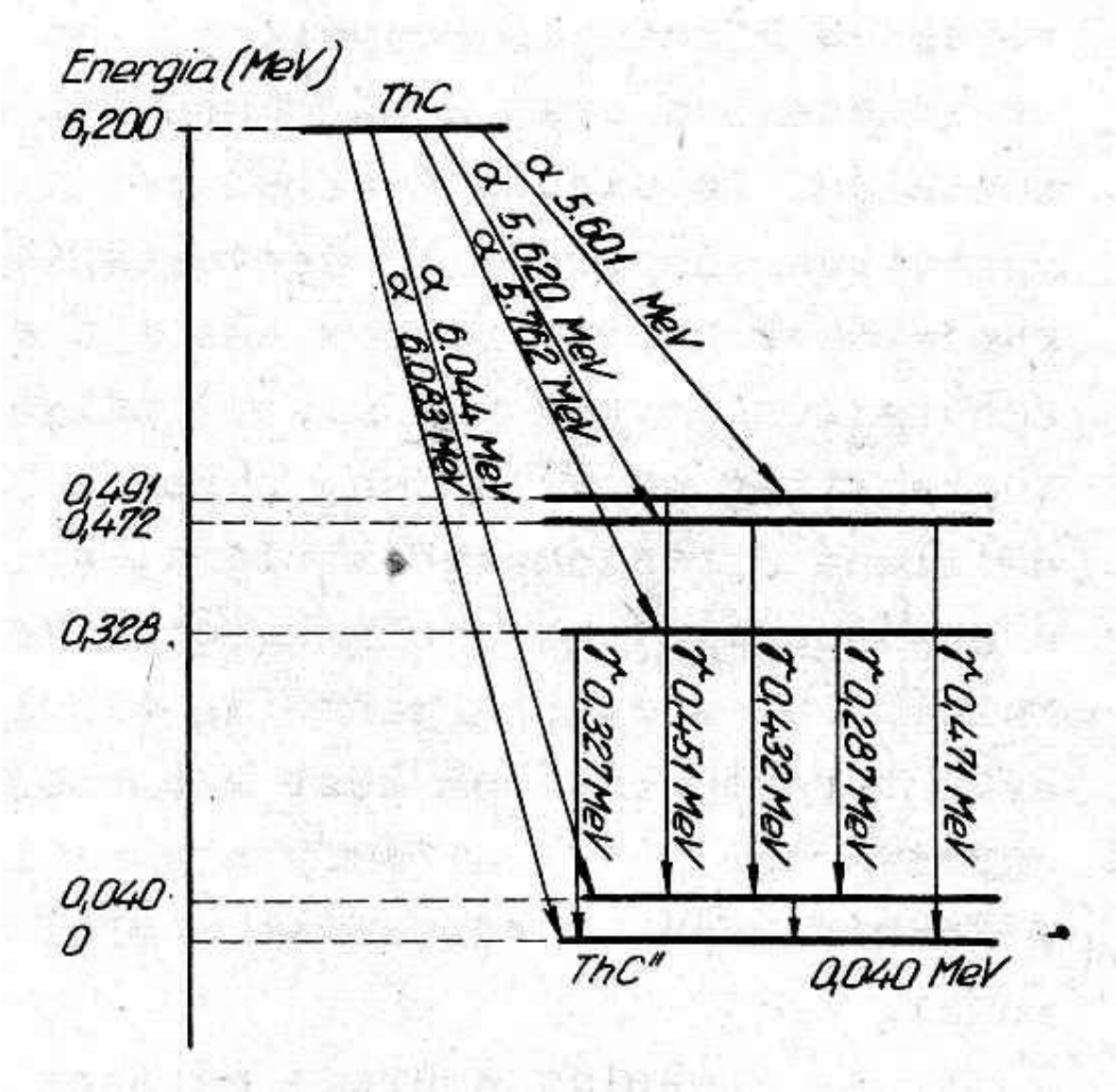
- Inkorporáció utján jelentős belső sugárterhelést okozhatnak
- Az spektrum finomszerkezettel rendelkezik (az α-sugárzó izotóp megállapítása)
- Lehetőségek
  - Ionizációs kamrás spektrométer
  - Szcintillációs spektrométer
    - CsI(Tl) detektor; $\eta \approx 100\%$; alacsony háttér, gyenge energiafelbontás
  - Félvezető detektoros spektrométer
    - Jó energiafelbontás, problémás mintaelőkészítés

A ^{212}Bi bomlása

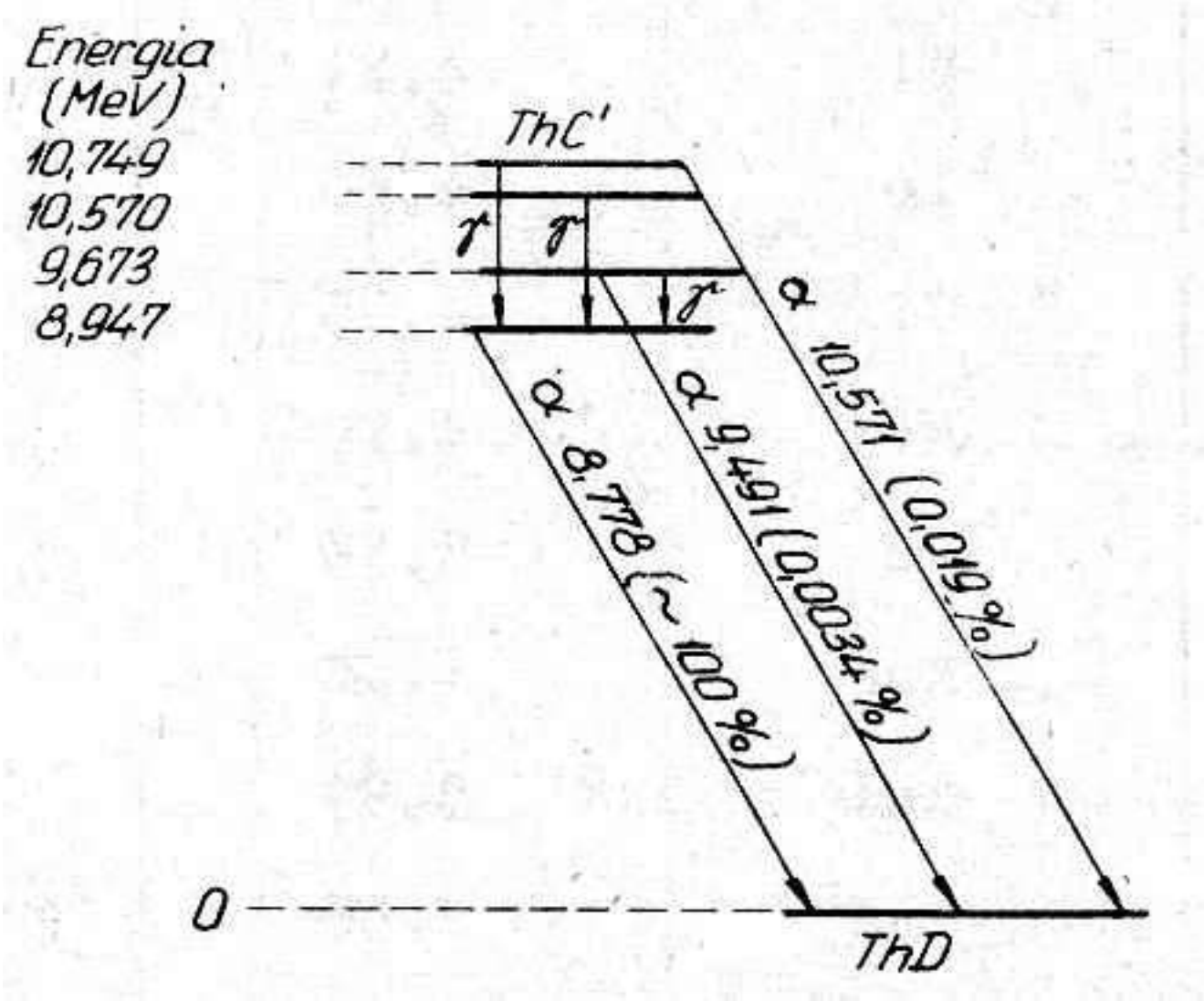
ThC=^{212}Bi; ThC'=^{212}Po; ThC''=^{208}Tl; ThD=^{208}Pb



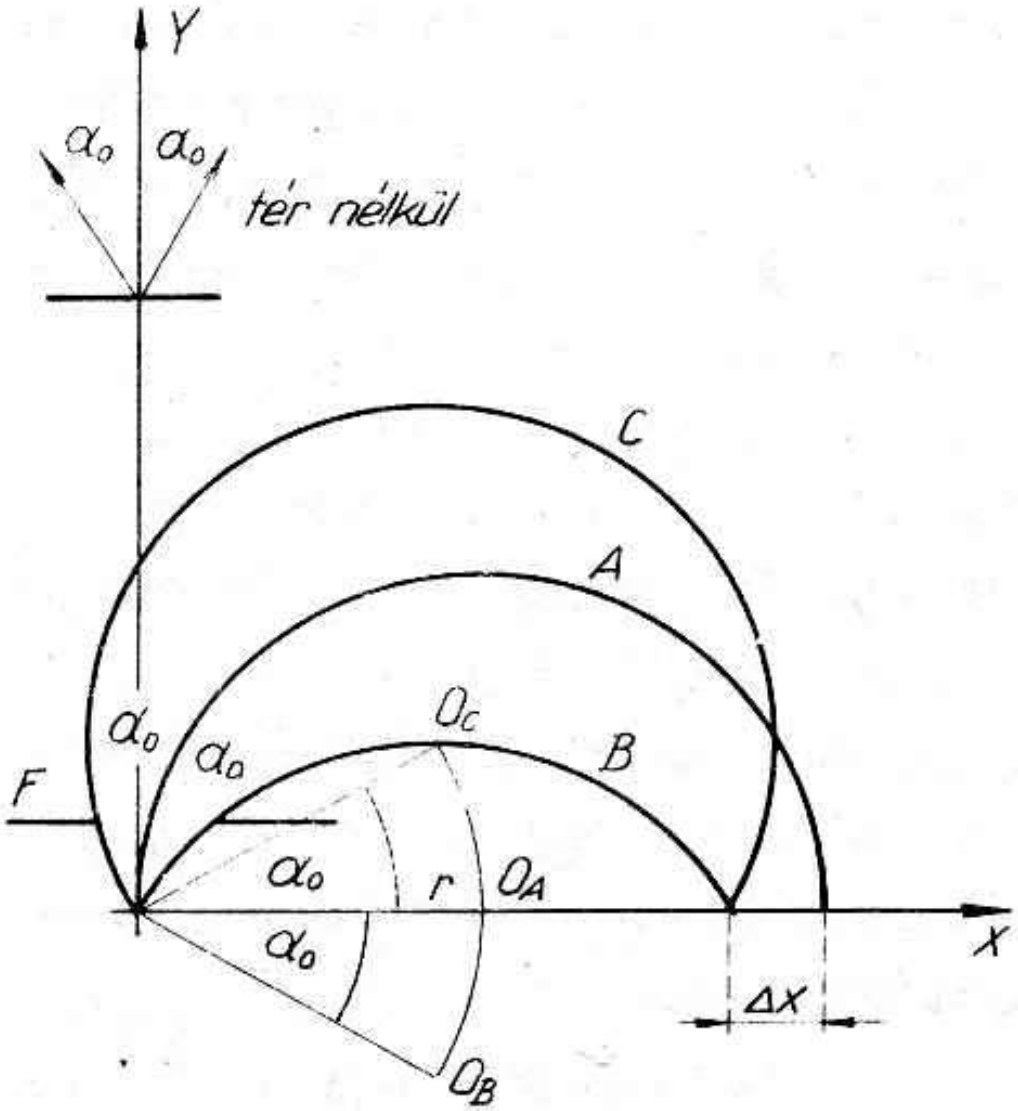
A ^{212}Bi α-bomlásakor megfigyelhető nívóséma

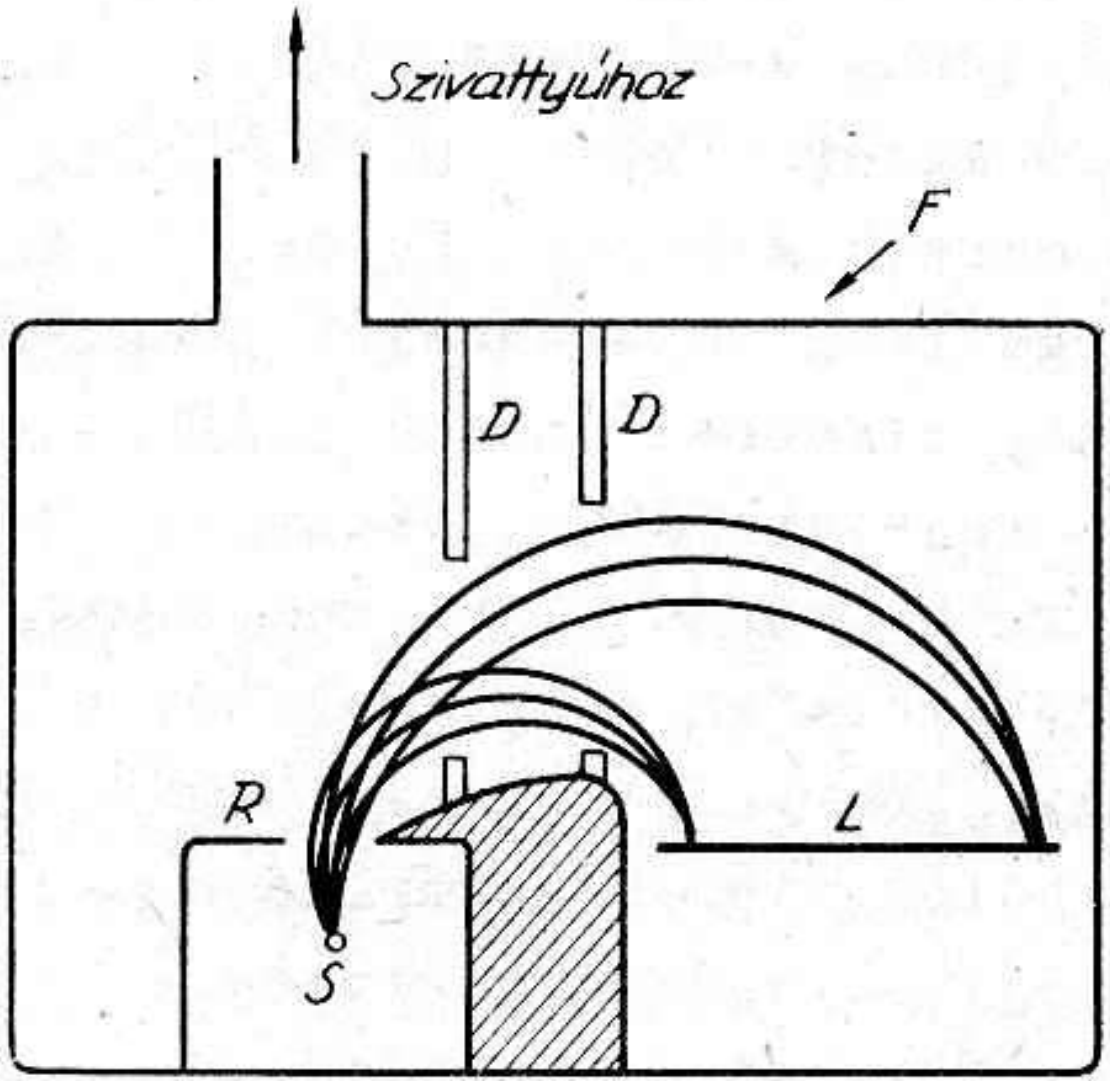


A ^{212}Po α-bomlásakor megfigyelhető nívóséma

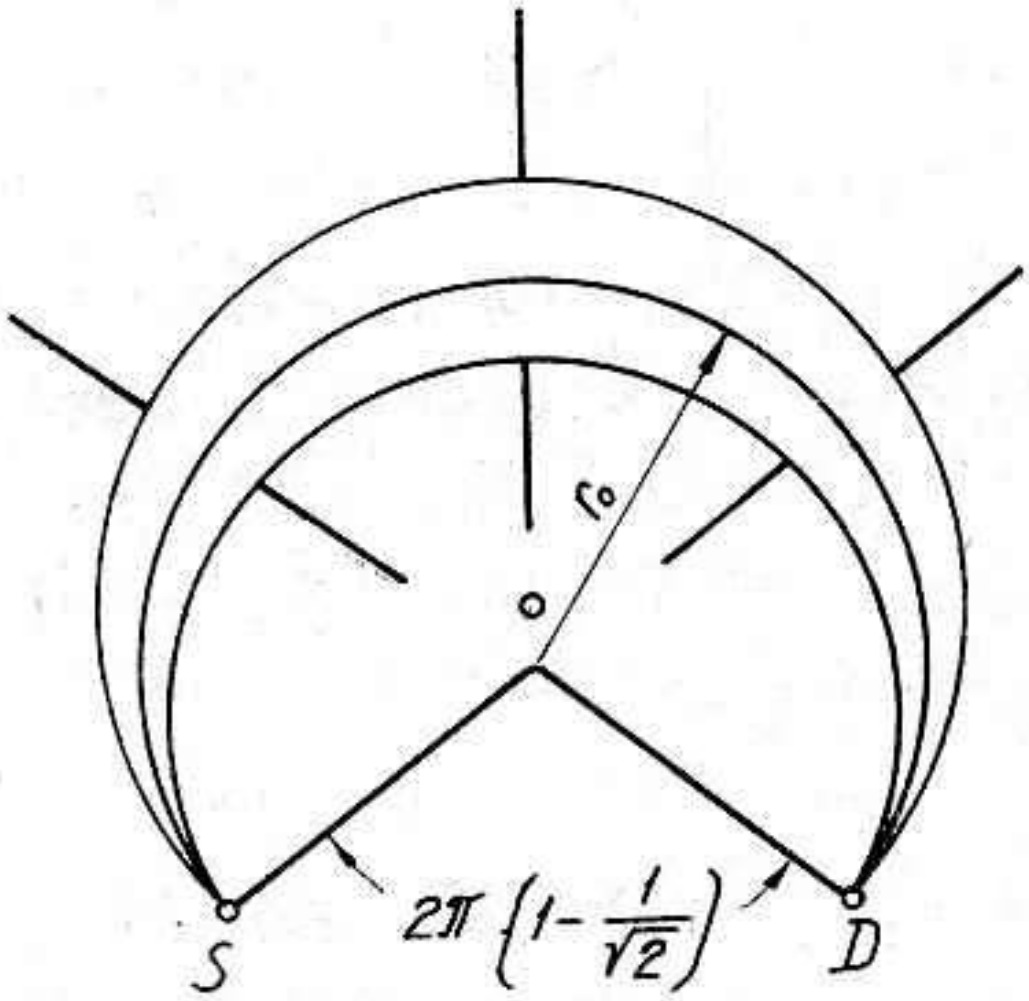


Mágneses spektrométerek

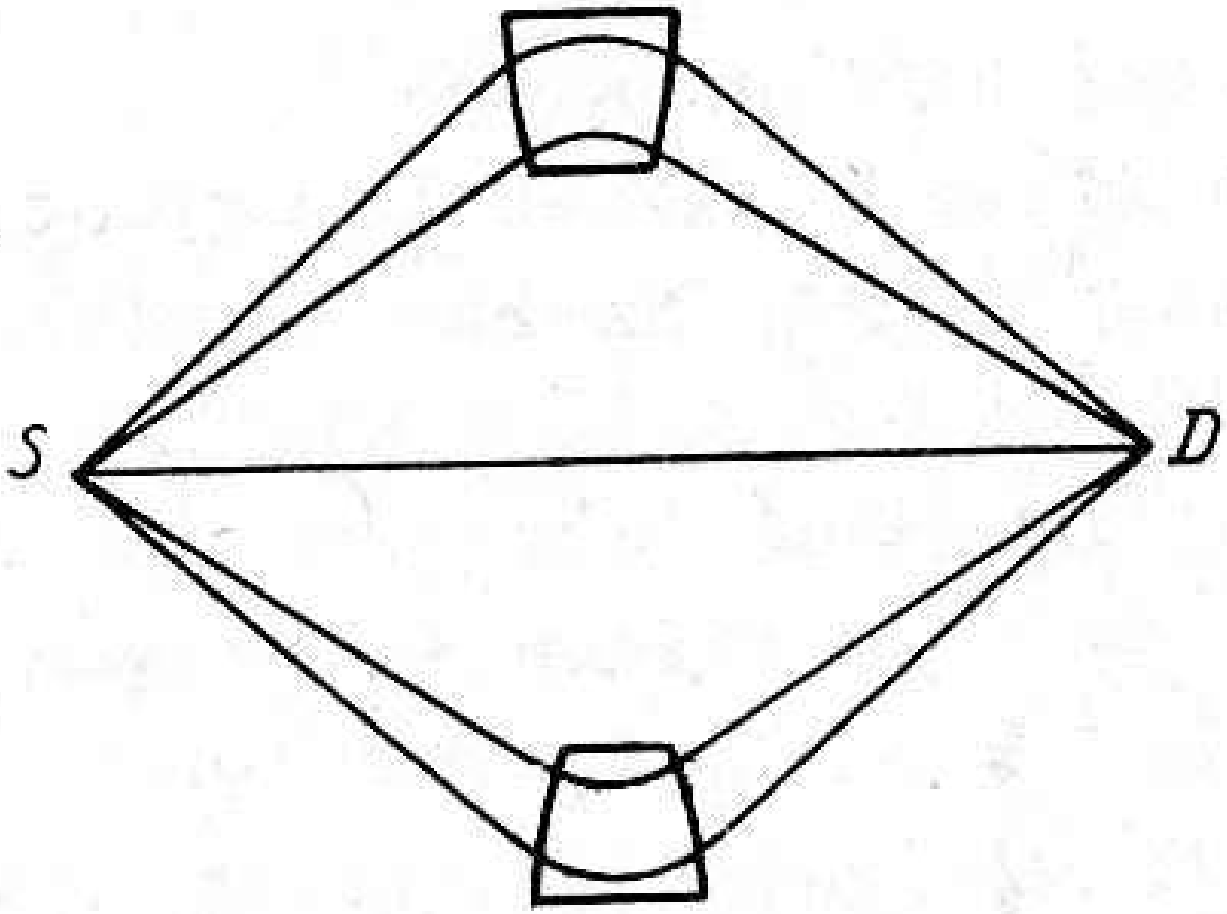



Szivattyúhoz
F
D
D
R
L
S

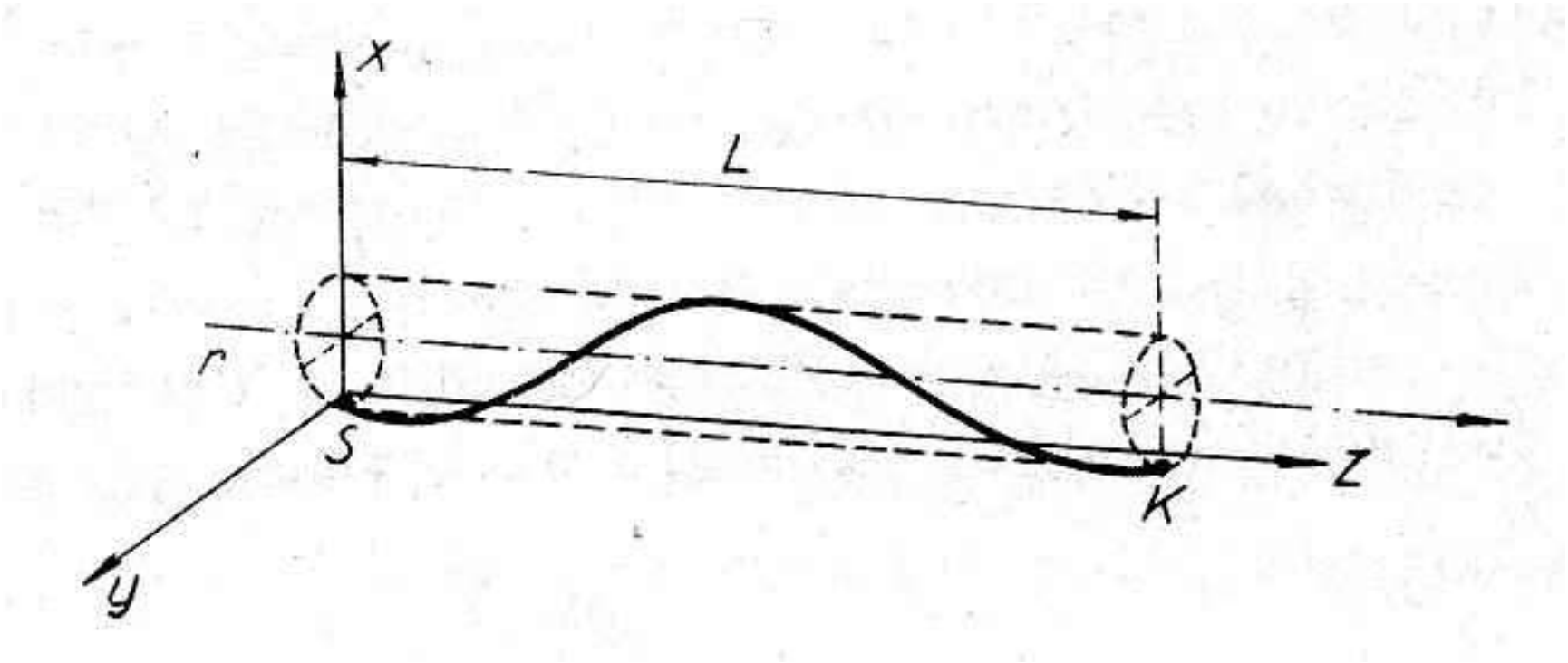
β-spektrometria



Toroidszektror típusú spektrométer



Longitudinális tér felhasználása fókuszálásra

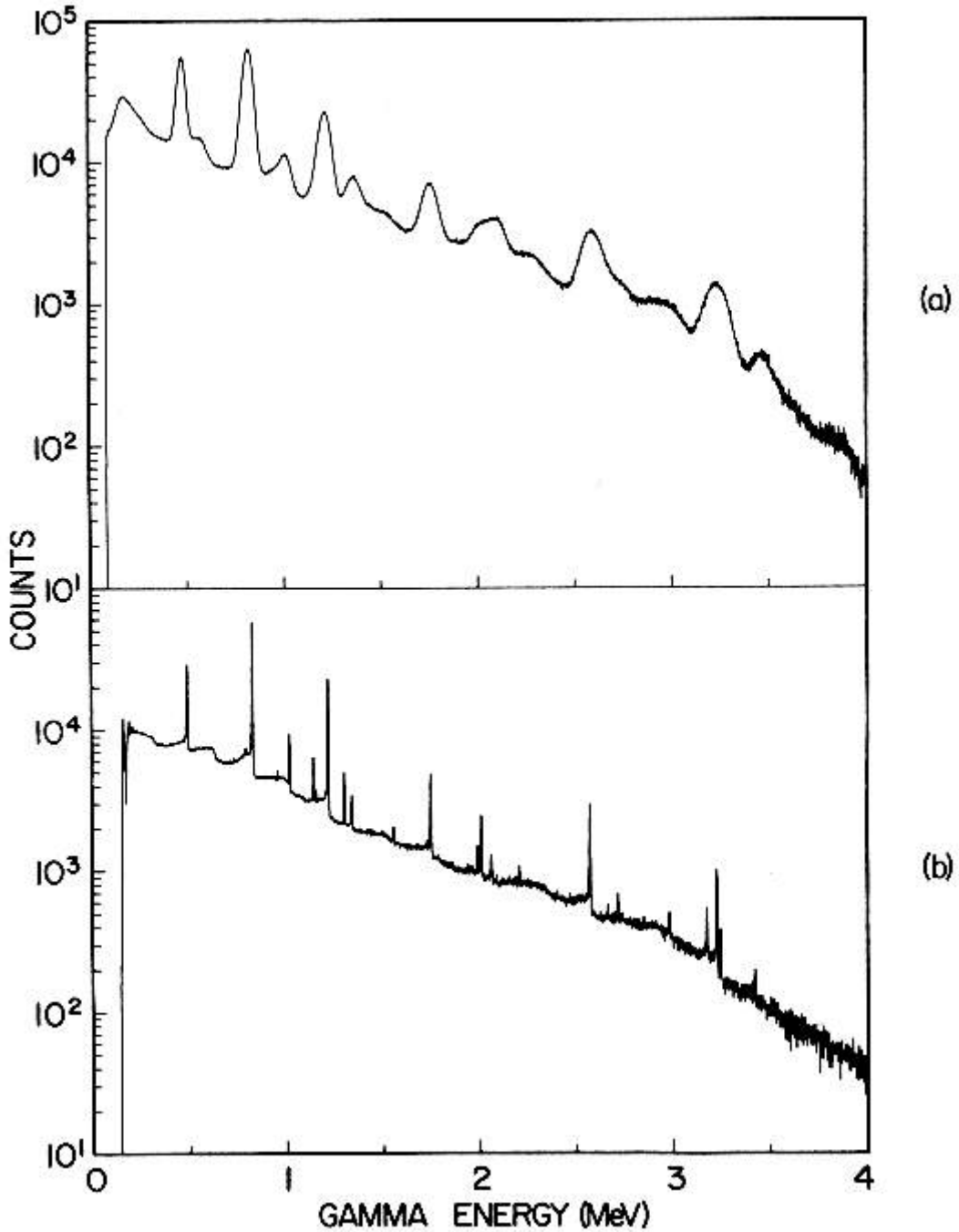


γ-spektrometria

- A detektálás a kiváltott foto-, Compton és párképzési elektronok útján lehetséges
- A fotoeffektus hatáskeresztmetszete: $\tau_0 \propto Z^4$
- A Compton effektus hatáskeresztmetszete: $\sigma \propto Z$
- A párképzés hatáskeresztmetszete: $K \propto Z^2$
- Az abszorpció a három folyamat eredménye
- $I=I_0 \cdot e^{-\mu x}$ vagy $I=I_0 \cdot e^{-\mu' x}$

γ-spektrometria

- A μ teljes abszorpciós együttható mérésével, amely az energiától függ
- A γ-spektrométerek felépítése
  - Detektor - előerősítő – erősítő – analizátor
- Az alkalmazott detektortól függően
  - Szcintillációs spektrumok
  - Félvezető detektoros spektrumok


COUNTS
10^5
10^4
10^3
10^2
10^1
(a)
(b)
0
1
2
3
4
GAMMA ENERGY (MeV)

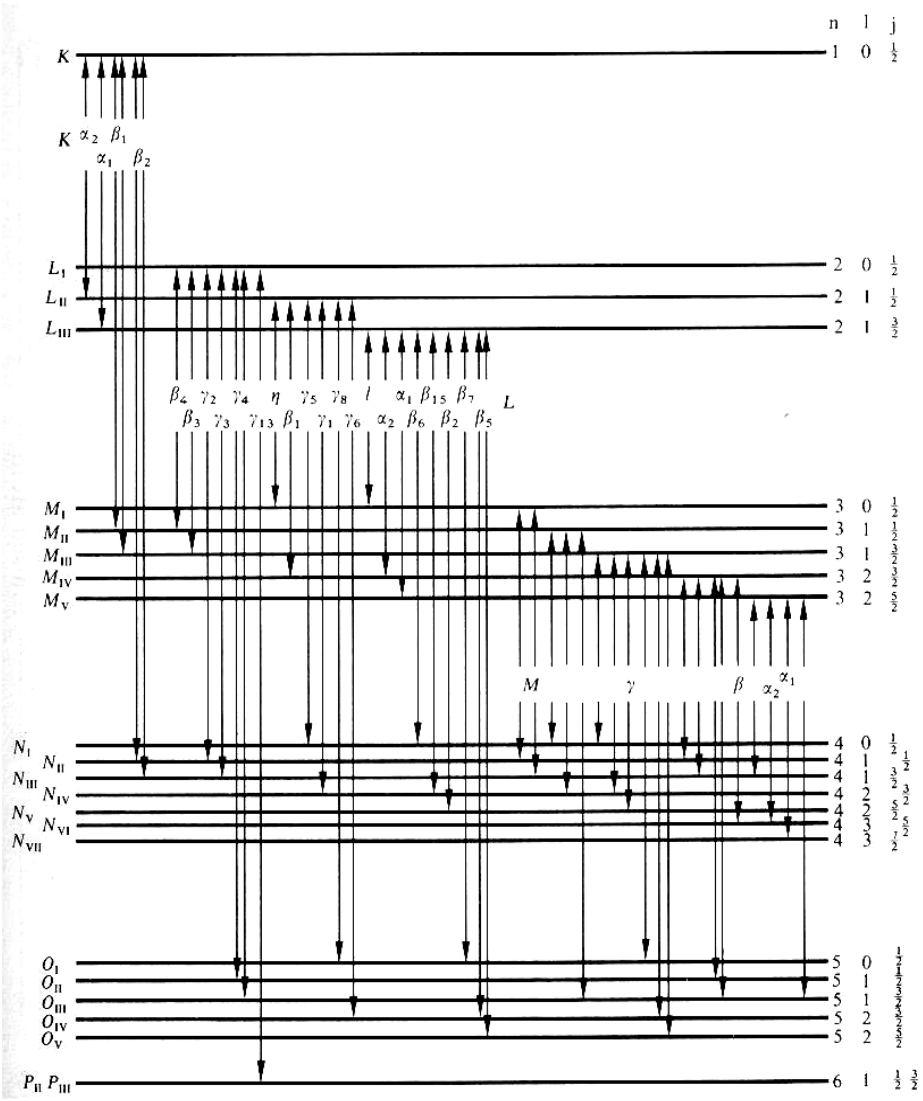
Összetett γ-spektrumok vizsgálata

- Simító eljárás (futó átlag)
- A maximum keresésben használhatjuk az első és második deriváltakat
- Intenzitás: csúcsmagasság; csúcs alatti terület-háttér terület
- Összetett γ-spektrumok kiértékelése
  - Spektrumlehámozás kevés γ-vonalból álló spekt.
  - Dekomponálás a legkisebb négyzetek módszere alapján

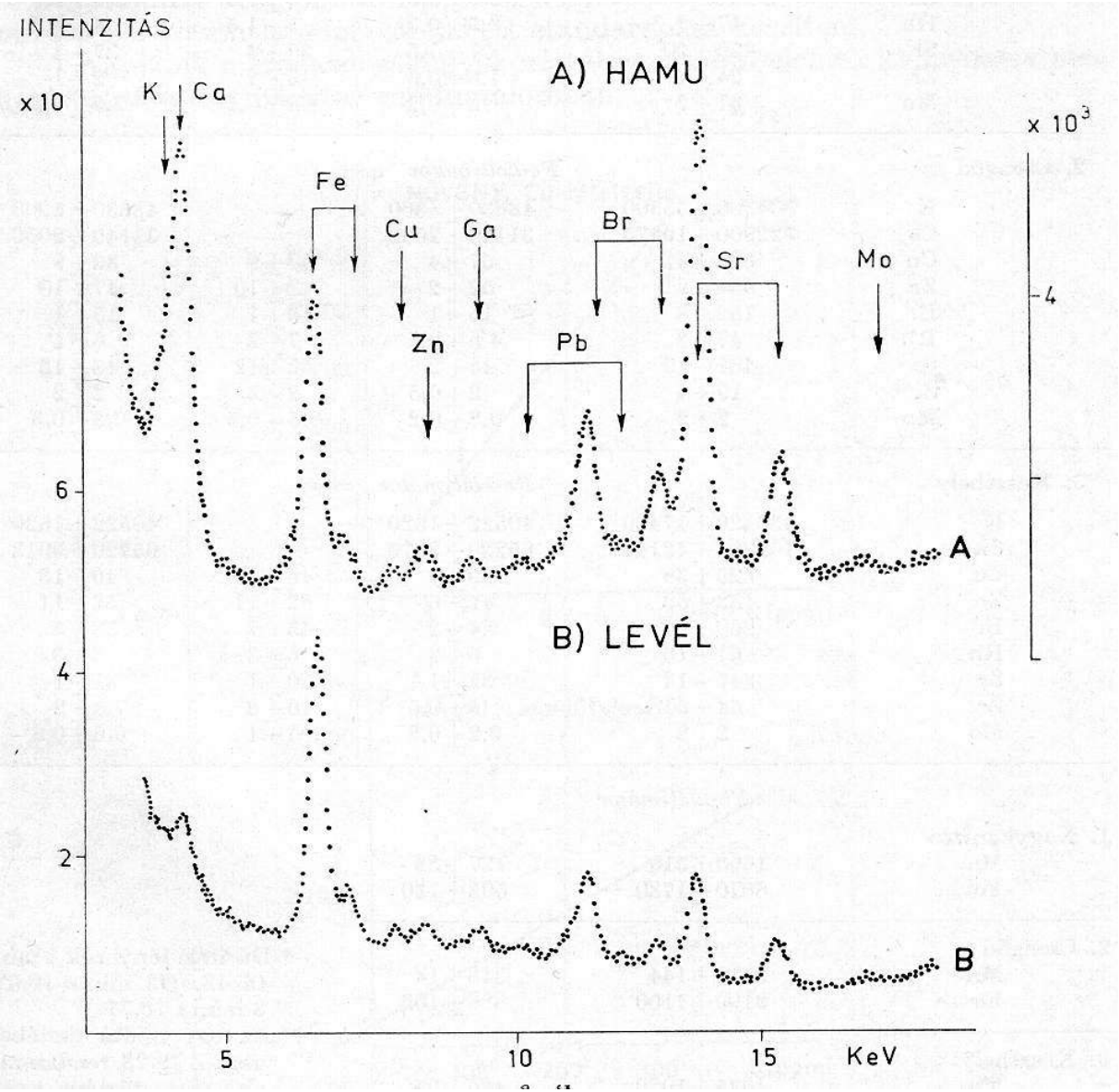
Karakterisztikus röntgen spektrumok

- Moseley törvény a K_α sugárzásra
  - $E=3/4\cdot R\cdot(Z-\sigma)^2$ $(3/4=1/1^2-1/2^2)$ a Bohr elméletből
- $K_{\beta 1}$ és $K_{\beta 2}$ sugárzásokra a konstans
  - 1-1/9=8/9 és 1-1/16=15/16
- L_α sugárzásra
  - $1/2^2-1/3^2=5/36$

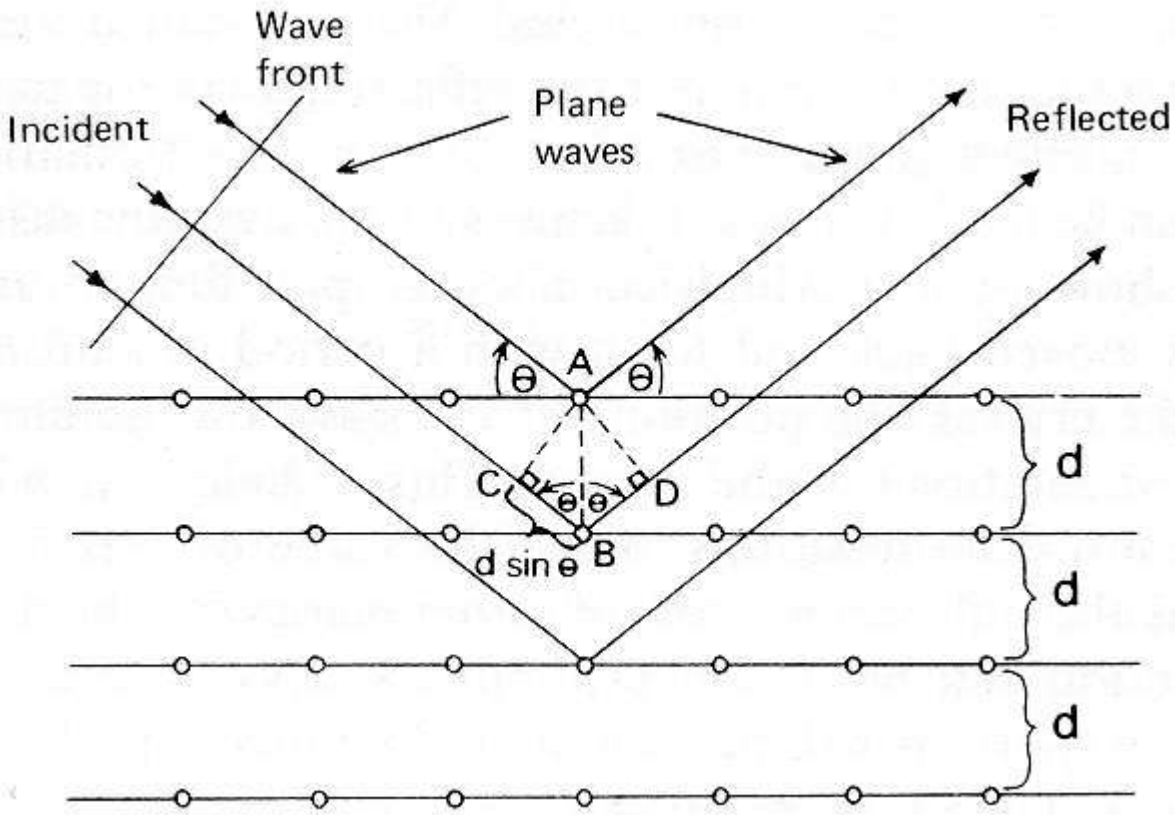
Nívóséma


n l j
K
1 0 1/2
K α2 β1
α1 β2
L1
L II
L III
2 0 1/2
2 1 1/2
2 1 3/2
β4 γ2 γ4 η γ5 γ8 l α1 β15 β7 L
β3 γ3 γ13 β1 γ1 γ6 α2 β6 β2 β5
M I
M II
M III
M IV
M V
3 0 1/2
3 1 1/2
3 1 3/2
3 2 3/2
3 2 5/2
M γ β α2 α1
N I N II
N III N IV
N V N VI
N VII
4 0 1/2
4 1 1/2
4 1 3/2
4 2 3/2
4 2 5/2
4 3 5/2
4 3 7/2
O I
O II
O III
O IV
O V
5 0 1/2
5 1 1/2
5 1 3/2
5 2 3/2
5 2 5/2
P II P III
6 1 1/2 3/2

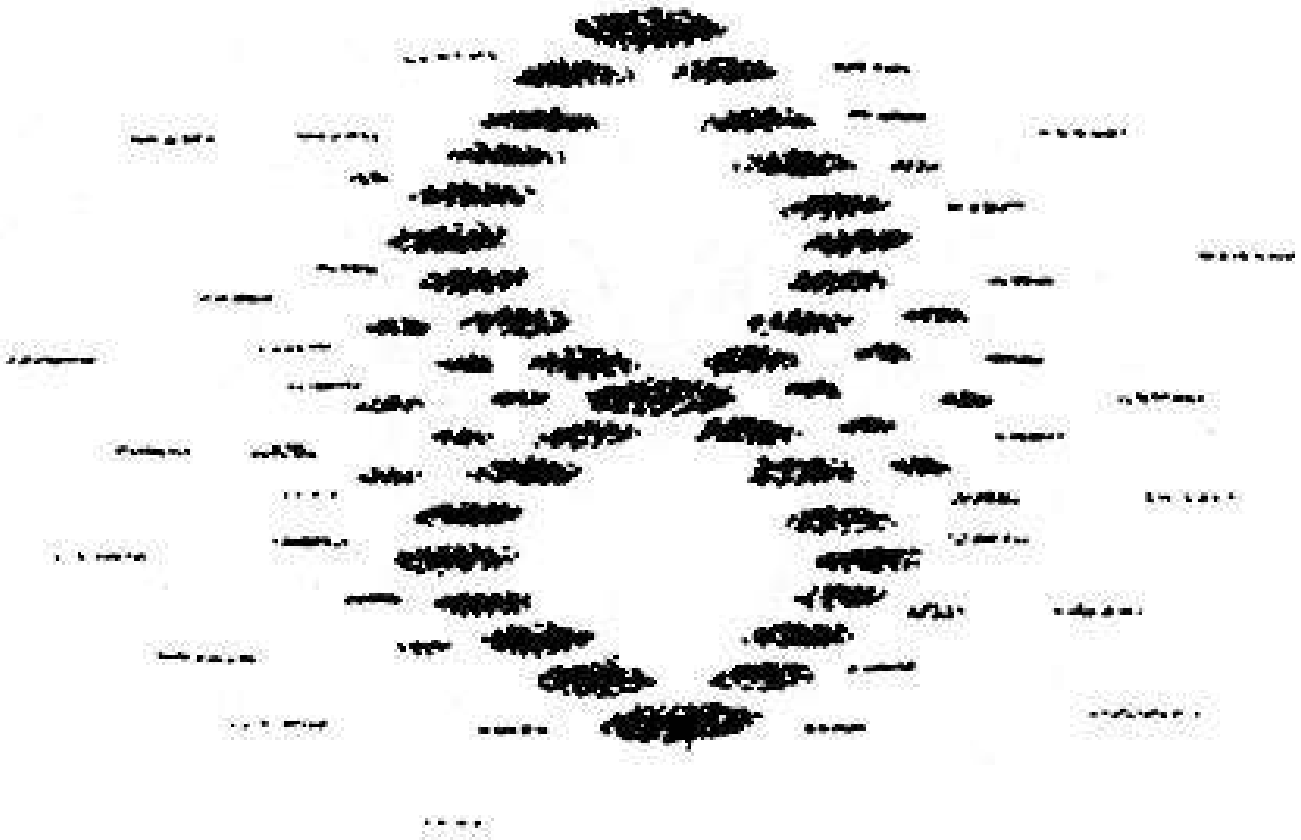
Karakterisztikus röntgen spektrumok



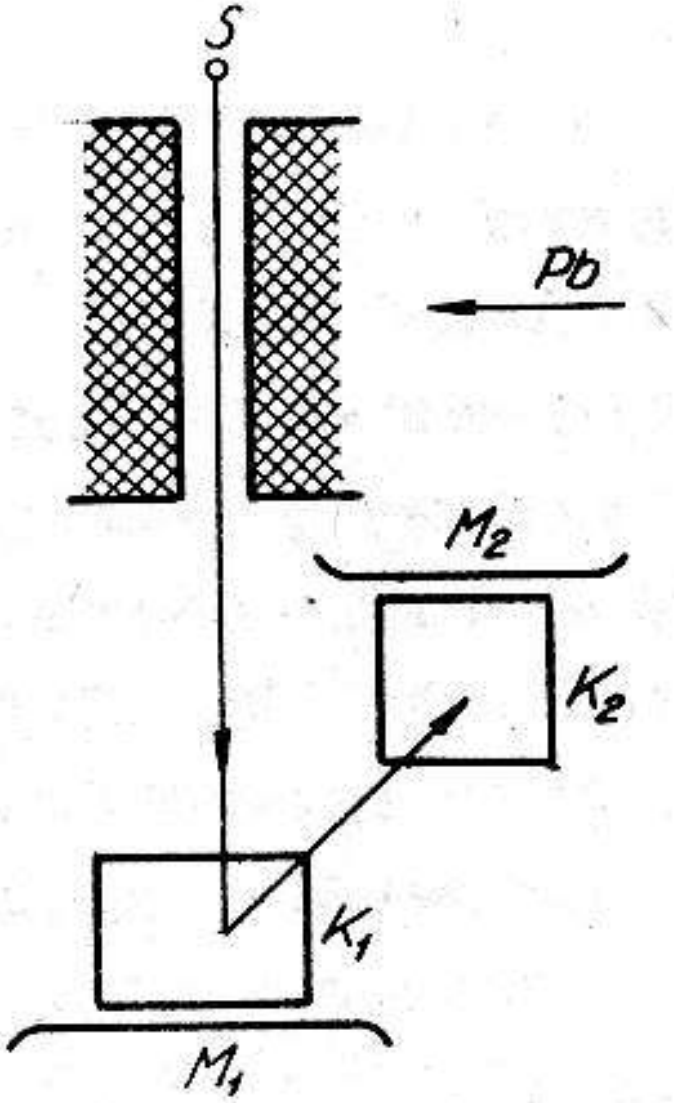
Diffrakciós módszer



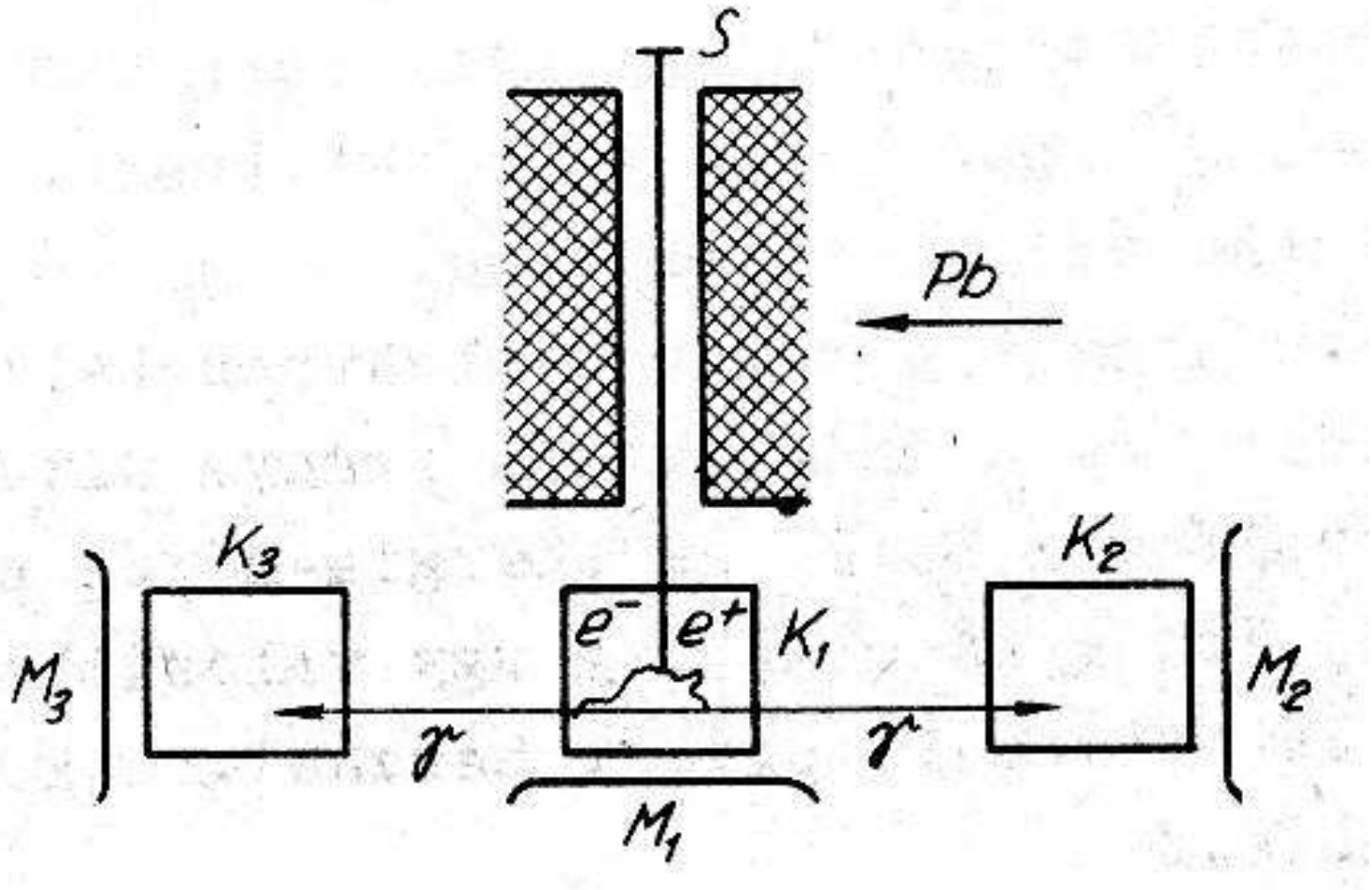
Példa a röntgen diffrakció alkalmazása: kristályos DNS röntgen diffrakciós képe



Speciális lehetőségek: két kristályos szcint. detektor



Három kristályos szcint. detektor



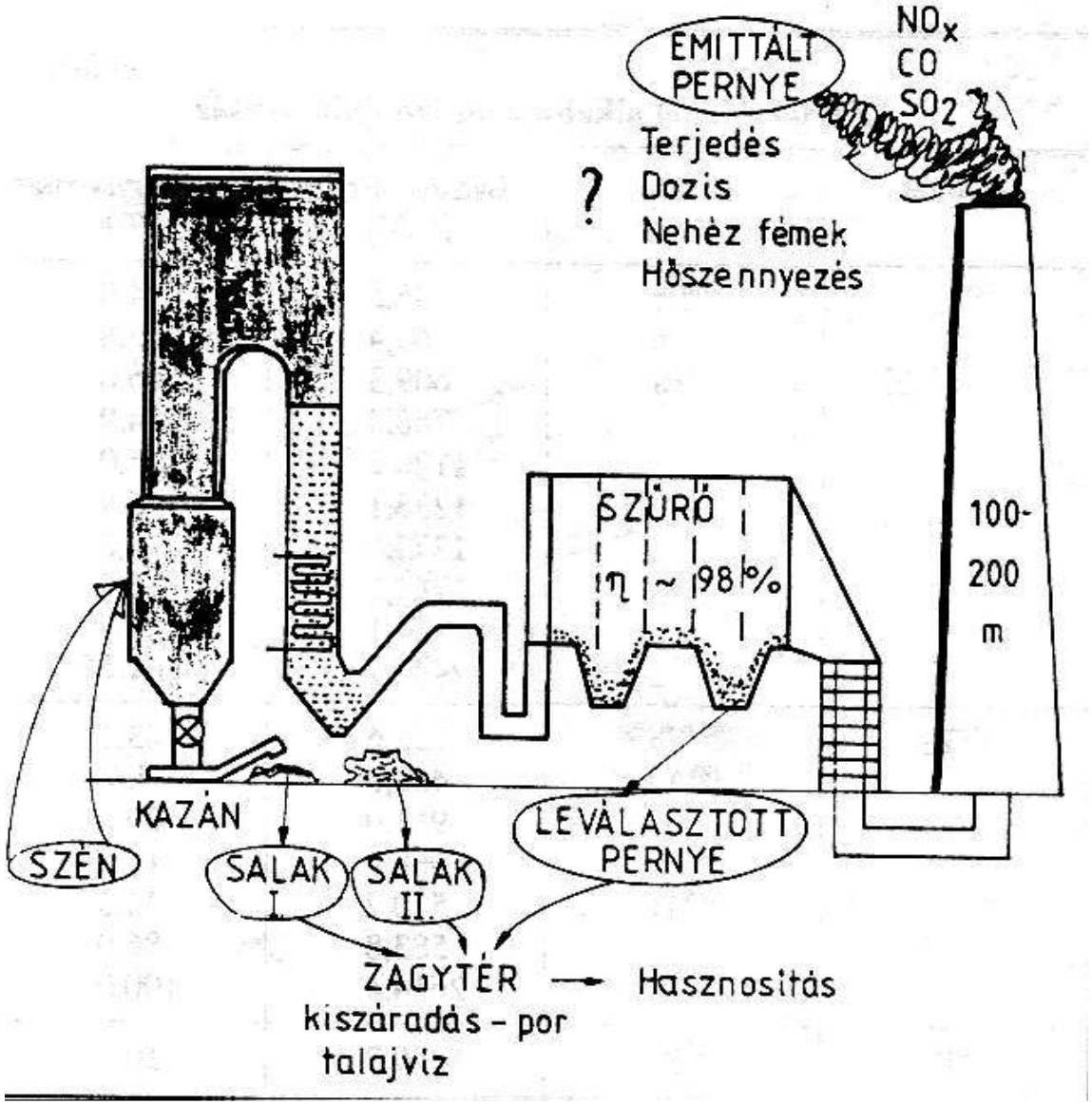
Mérésadatok kiértékelése

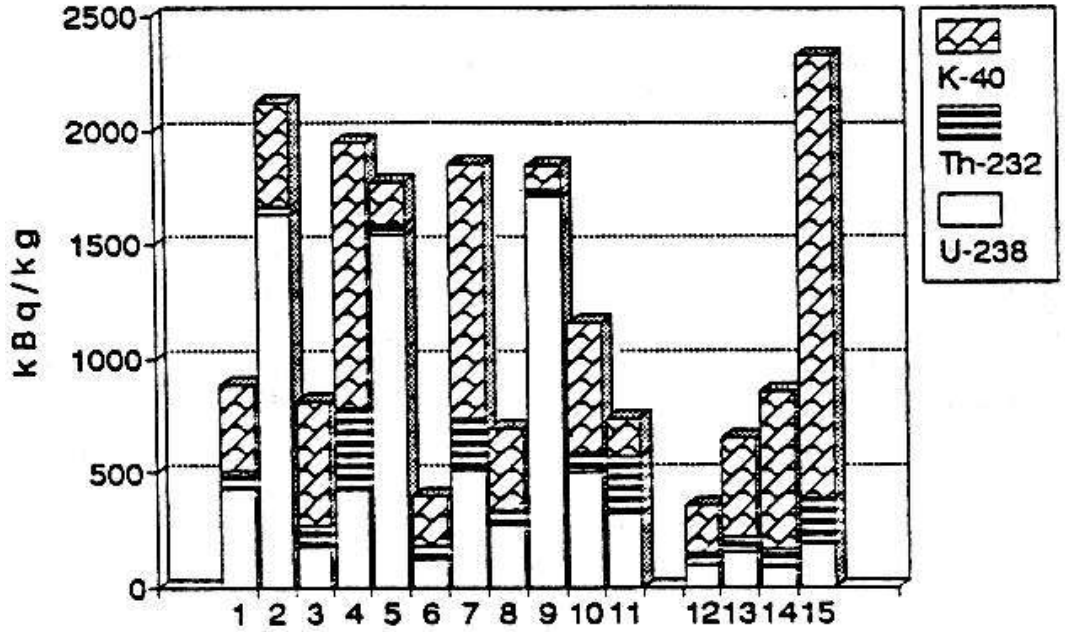
- A radioaktivitás jelenség természetében rejlik bizonyos véletlenszerűség
- A radioaktív magok egymástól függetlenül bomlanak, így az időegység alatt elbomló magok száma a Poisson eloszlást követi
- Ha középérték N, akkor a szórás $\sqrt{N}$ lesz
- A hiba csökkentés a beütésszám növelésével lehetséges (növelni kell az intenzitást, vagy a forrás detektor távolságot csökkenteni)

Számláló optimális működési paraméterei

- Háttér: $I_b=N_b/T_b$
- Érzékenység: $e=N'/T'-I_b$
  - Az érzékenység növelésével növekszik a háttér is
  - Optimális beállítás: e^2/I_b maximális
  - Ha $T_b=T'$, és $N'>>N_b$, akkor $e^2/I_b \approx N'^2/N_b$

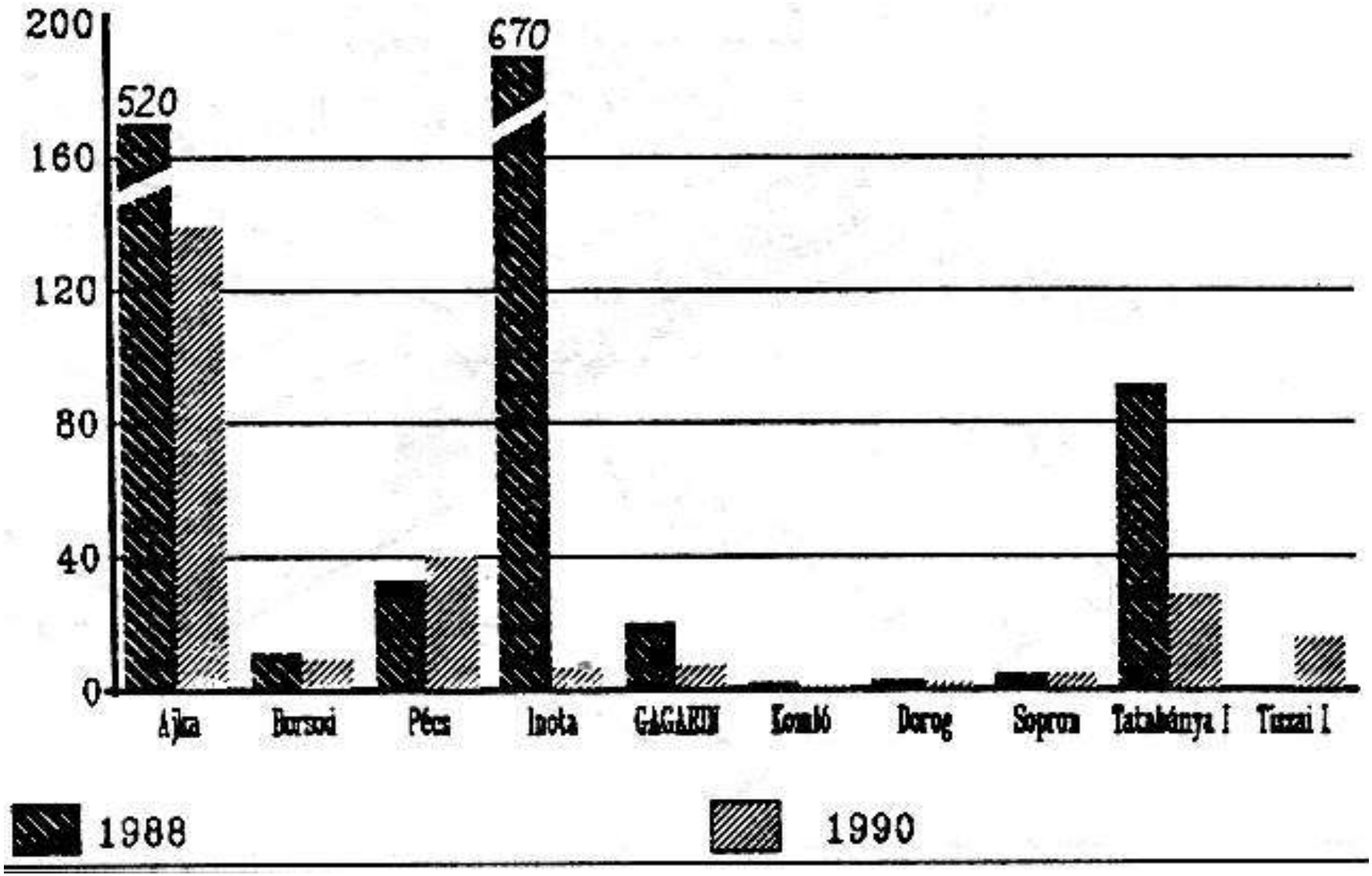
Széntüzelésű erőmű környezeti hatásai



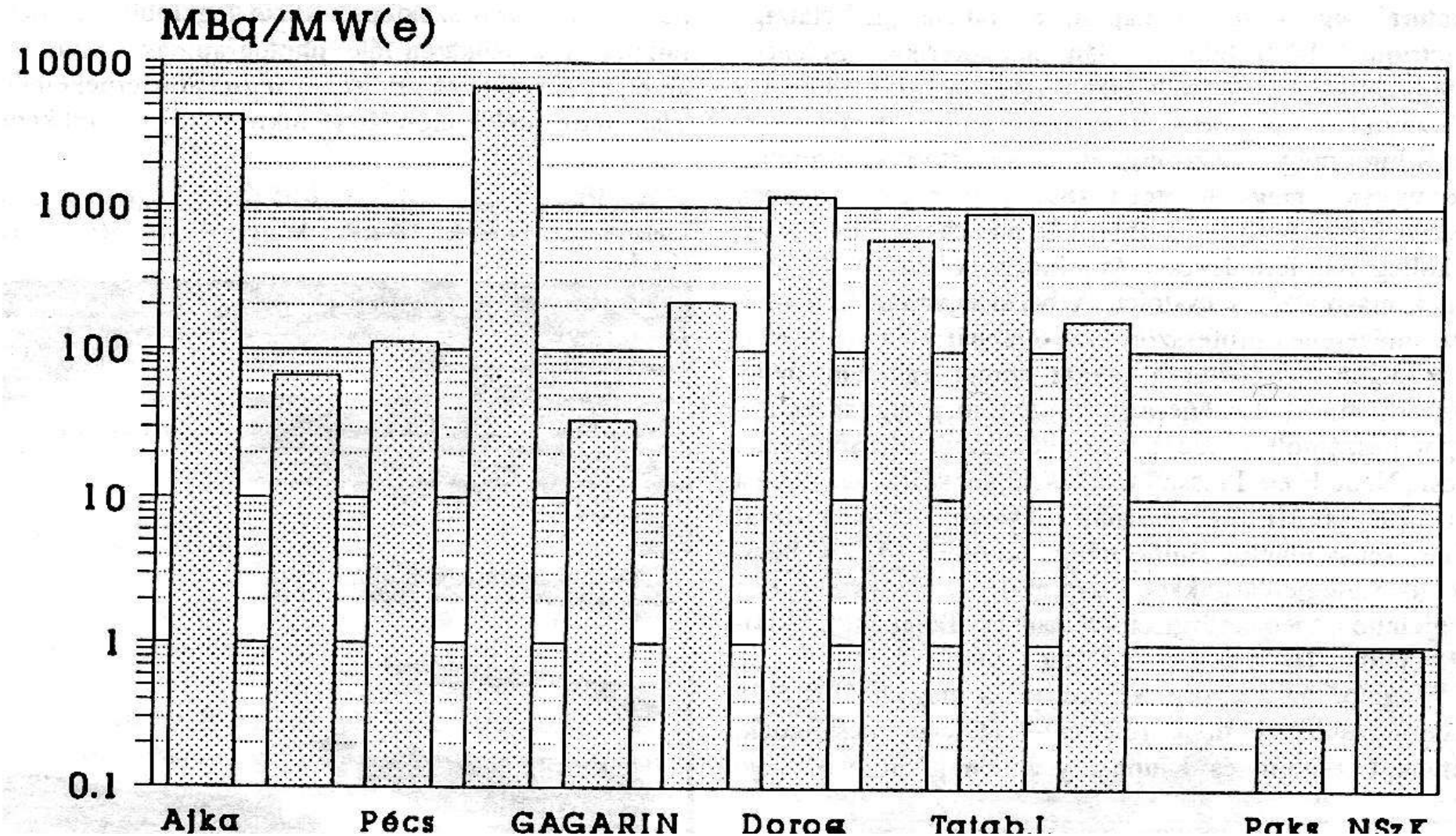


JELÖLÉS	ERŐMŰ	SZÉNFAJTA
1	Ajka	oroszlányi
2	Ajka	ajkai
3	Borsod	borsodi
4	Pécs	pécsi
5	Inota	várpalotai
6	Gagarin	visontai
7	Komló	komlói
8	Dorog	dorogi
9	Sopron	ajkai
10	Tatabánya	tatai
11	Tisza I.	
12	Kanada	
13	NSzK	
14	USA	pennsylvaniai
15	Szovjetunió	doni

Erőművek radioaktív emissziói [GBq/év]



Egységnyi elektromos teljesítményre jutó radioaktív emisszió 1988



- Egészségügyi szempontból fontos radioaktív elemek sokévi átlagos aktivitás koncentrációja (AK):

	Ajka Bq/kg	Világátlag
238-U	1600	25
232-Th	25	25
40-K	170	370

^{238}U bomlási sor (részlet)

- 238U(α)➔234Th(β)➔234Pa(β) ➔234U
- (α) ➔230Th(α) ➔226Ra(α) ➔222Rn
- (α) ➔218Po(α) ➔214Pb

- Az Ajkai Hőerőmű fennállása óta kb. 1 millió tonna pernyét →1,6 x 10^{12} Bq aktivitást képviselő ^{238}U-at emittált a levegőbe
- Ennek a pernyének a nagy része a hőerőmű 10-15 km-es sugarú környezetében hullott ki a talajra.

214-Pb mélység szerint átlagolt aktivitáskoncentrációi az ajkai talajmintákra				
Mintavétel helye	Mélysége (cm)	AK 0-5cm Bq/kg	AK 5- ∞cm Bq/kg	Ak 0-∞cm Bq/kg
Polgármesteri Hivatal	12,5	97,3	81	86,3
Vegyesbolt	12,5	211,4	265,6	246,9
Óvoda	10,5	58,2	46,5	51,9
Kórház	14	58,6	37,9	44,9
Lakótelep	13,5	119,3	30	57,2
Átlag±szórás	12,6	85±55	72±68	76±62

A Mérési eredményekből levont következtetések

1. Feltehetően a város egész lakott területén a talaj felső (átl. 12,6cm-es rétegében) a radioaktivitás koncentráció 4,7-szer nagyobbak
2. 0-2cm-es rétegben ^{238}U-sor tagjainak konc. 5,8-szoros
3. Maximális és minimális szennyezettség hányadosa 77
4. 0-5cm-es felső réteg szennyezettebb mint az alatta levő részek

Az Ajka környékén szedett mohák

- A mohanövénykék és –párnák morfológiája olyan, hogy a szárazon kihullt aeroszol-részecskékre a mohák nagy hatásfokú csapdát jelentenek
- A nedves kihullás a mohapárnában levő részecskék zömét tömöríti, kisebb részét kiveri és kimossa, ugyanakkor jelentős mennyiségű új részecskét juttat a párnába.

Minta preparálás

- A preparálás során a moha-anyagból 1,4mm lyukméretű szitán való mechanikus átdörzsölés, majd egy szitasorozaton való átszitálás után 3 frakciót különíthetünk el:

1. Moha-frakció: 0,5mm< d ≤ 1,4mm
2. Homok-frakció: 0,1mm< d ≤ 0,5mm
3. Por-frakció: d ≤ 0,1mm

Az Ajkán és környékén szedett mohák por-frakciója radioaktivitásának vizsgálatára végzett mérések legfontosabb eredményei				
Mintavétel helye	Irány	Távolság az erőműtől (km)	AK(214Pb) Bq/kg	AK(214Pb)x / AK(214Pb)A
Ajka	-	1	485	100%
Úrkút	K-DK	6,3	236	48,7
Kislőd	K-ÉK	6,9	67	13,8
Öcs	D-DK	12,3	567	116,9
Nyírád	DNY	13,2	77	15,9
Devecser	NY	9,3	172	35,5
Tapolca	D-DNY	26	58	12
Sümeg	NY-DNY	25	44	9,1

A Nap energiájának hasznosítása

- A Nap által kisugárzott energia 1,2 10^{34} J
- Ebből a Föld által elnyelt energia 3,6 10^{25} J
- A felszínre 8,7 10^{23} J energia jut
- Ebből hasznosul 1,7 10^{14} J
- A Föld utolsó 300 millió évében felhalmozódott fosszilis energiahordozók energiája 4,3 10^{22} J

A megújuló energia tárolási lehetőségei

- Egyszerű, bárhol megvalósítható technológia
  - A növényekben megkötött szén elégetése
  - Feladat a hatásfok növelése
- Bonyolult technológia
  - Metántermelés és elégetés
  - Fotoszintetikus H_2 termelés és elégetés
  - Feladat a rendszerek stabilitásának növelése
- Nagyon bonyolult ipari technológia
  - Klorofillos fényelemmel víz elektrolizálás és H_2 égetés
  - Feladat a rendszer stabilitásának növelése

A napenergia hasznosításának lehetőségei

- Biológiailag nem megvalósítható, de hasznosítható a hőenergia gyűjtése
  - Épületek kondicionálása
  - Elektromos energia termelés
    - Szélerőmű
    - Vizierőmű
    - Hőenergia biomasszából
    - Óceánok hőkészletének hasznosítása
- Biológiailag megvalósítható
  - Fotoszintézis
    - Élelem
    - Nyersanyag
    - Üzemanyag
  - Fotoelektromosság
    - Elektromos energia

A növényekben megkötött szén elégetése illetve ebből biogáz előállítása

- Nagy zöldtömeget termelő növények
  - Cukornád: 60-90 t/ha; ez 1,2-1,6 %-os hatásfok
  - Vizinövényekkel 250 t/ha is elérhető; 3,5-4 %
- A szén redukciójának becsült max hatásfoka a fotoszintézis során 7 % lehet. Növelésére további lehetőség a CO_2-ben dúsított atmoszféra. A megkötött CO_2 2-3-szorosára emelkedik, ha a koncentrációt a 0,032 %-ról 0,13 %-ra növeljük

Hidrogéntermelő folyamatok hasznosítása

- A víz fotolízise:
- $2H_2O + hf \Rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$; $4H^+ + 4e^- \Rightarrow 2H_2$
- Ez a folyamat megvalósítható
  - Biokatalítikus kloroplasztisz rendszerekben
  - Mikrobiológiai biomasszában
  - Szerves félvezető anyagokkal
  - Hidrogéntermelő algákkal

Biokatalítikus kloroplasztisz rendszer

- Alkotórészek:
  - Kloroplasztisz membrán
  - Sejtekből izolált hidrogenáz enzim
- A fotoszintézisben is részt vevő A anyag jelenlétében
- $2H_2O+2A \Rightarrow O_2+2AH_2$
- A hidrogenáz jelenlétében
- $AH_2 \Rightarrow A+H_2$

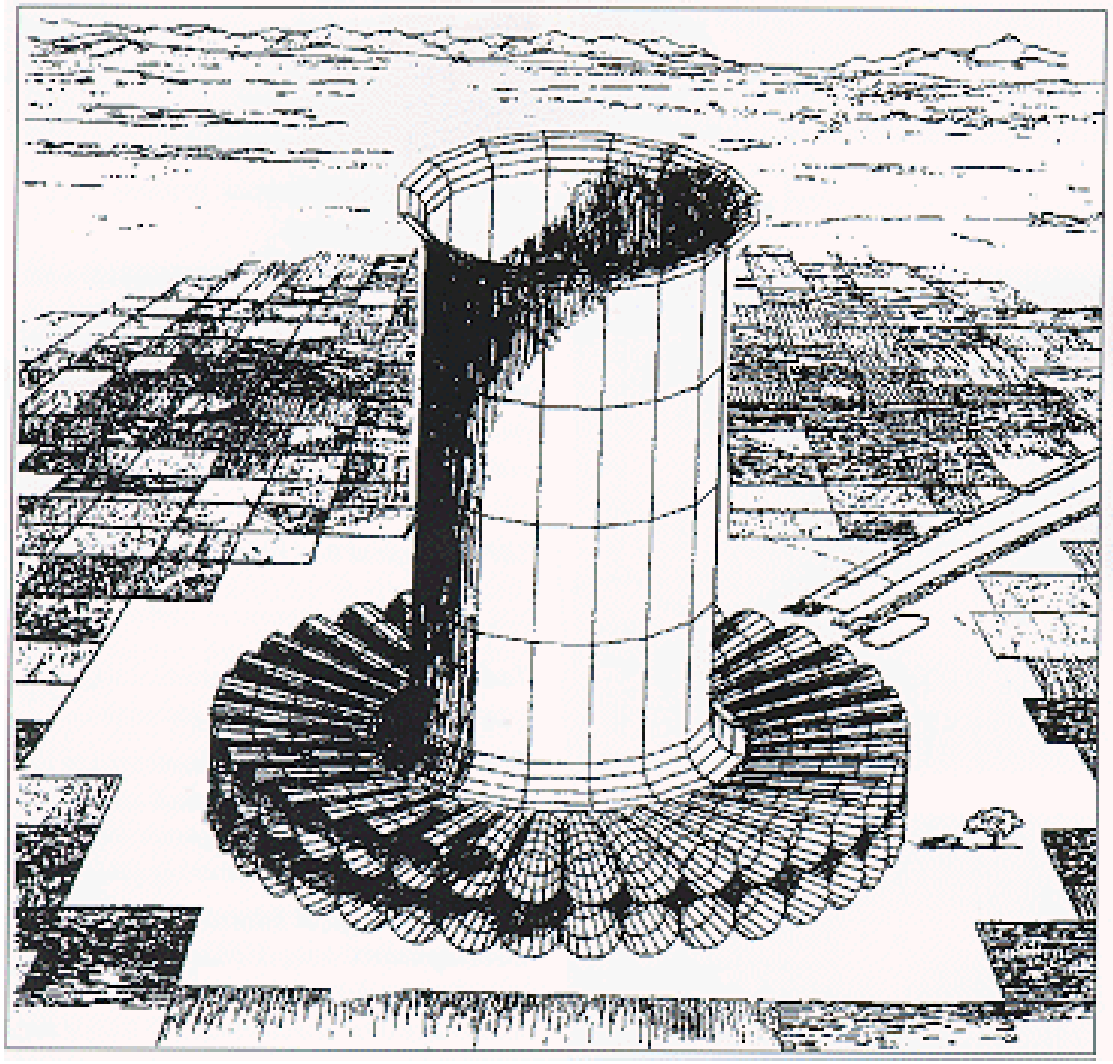
Mikrobiológiai biomassza

- Lényegében az előző rendszerrel azonos, csak itt olyan mikroorganizmust tartalmaz a rendszer, amelyek hidrogenázt termel, így azt nem kell kívülről a rendszerhez juttatni

Napkollektorok

- Egyszerű síkkollektor
  - Passzív napenergia hasznosítás
- Vonalfókusz rendszer
- Heliosztát

Heliosztát



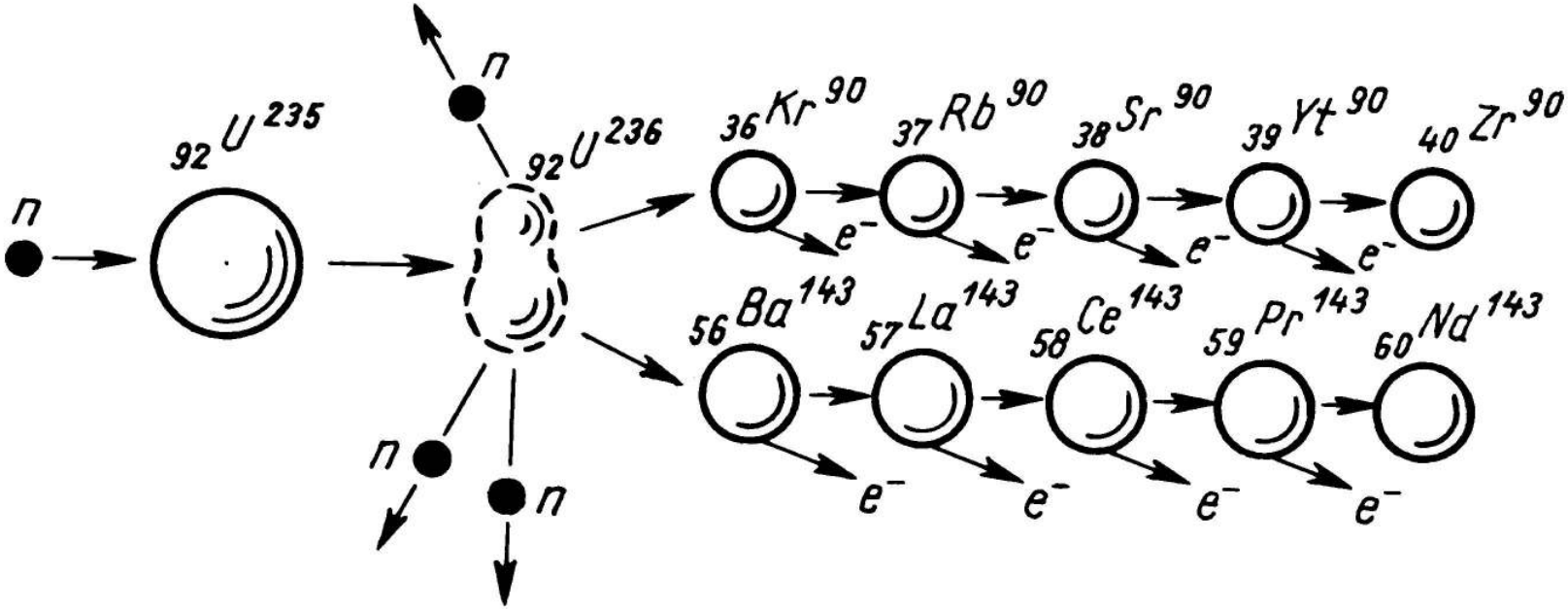
Szél, víz, óceánok hője

- A háromlapátos szélgenerátor legnagyobb hatásfokkal az 5-12 m/s szélsebesség tartományban működik
- Magyarországon az átlagos szélsebesség 3 m/s
- A víz potenciális és mozgási energiájának elektromos energiává alakítása
- A felszín és a mélyebb rétegek közti 20-25 °C hőmérséklet különbséget használják ki

Problémák

- 1000 MW teljesítményhez szükséges terület
  - Nukleáris erőmű 0,7 km^2
  - Napkollektor 22 km^2
  - Szélgenerátor 46 km^2
  - Energiaerdő 512 km^2
- Tartalék erőművek problémája
- Az energia szükséglet mekkora hányada állítható elő megújuló energiaforrásból?

Energia felszabadulás U^{235} atommagok hasadásakor



A hasadás energiamérlege

- A hasadási termékek kinetikus energiája: 167 MeV
- A β bomlás energiája: 5 MeV
- A γ bomlás energiája: 5 MeV
- A neutrínókkal távozott energia: 11 MeV
- A keletkezett neutronok energiája: 5 MeV
- A hasadás pillanatában keletkező sugárzás: 5 MeV
- Szumma: 198 MeV

A chicagoi reaktor építése

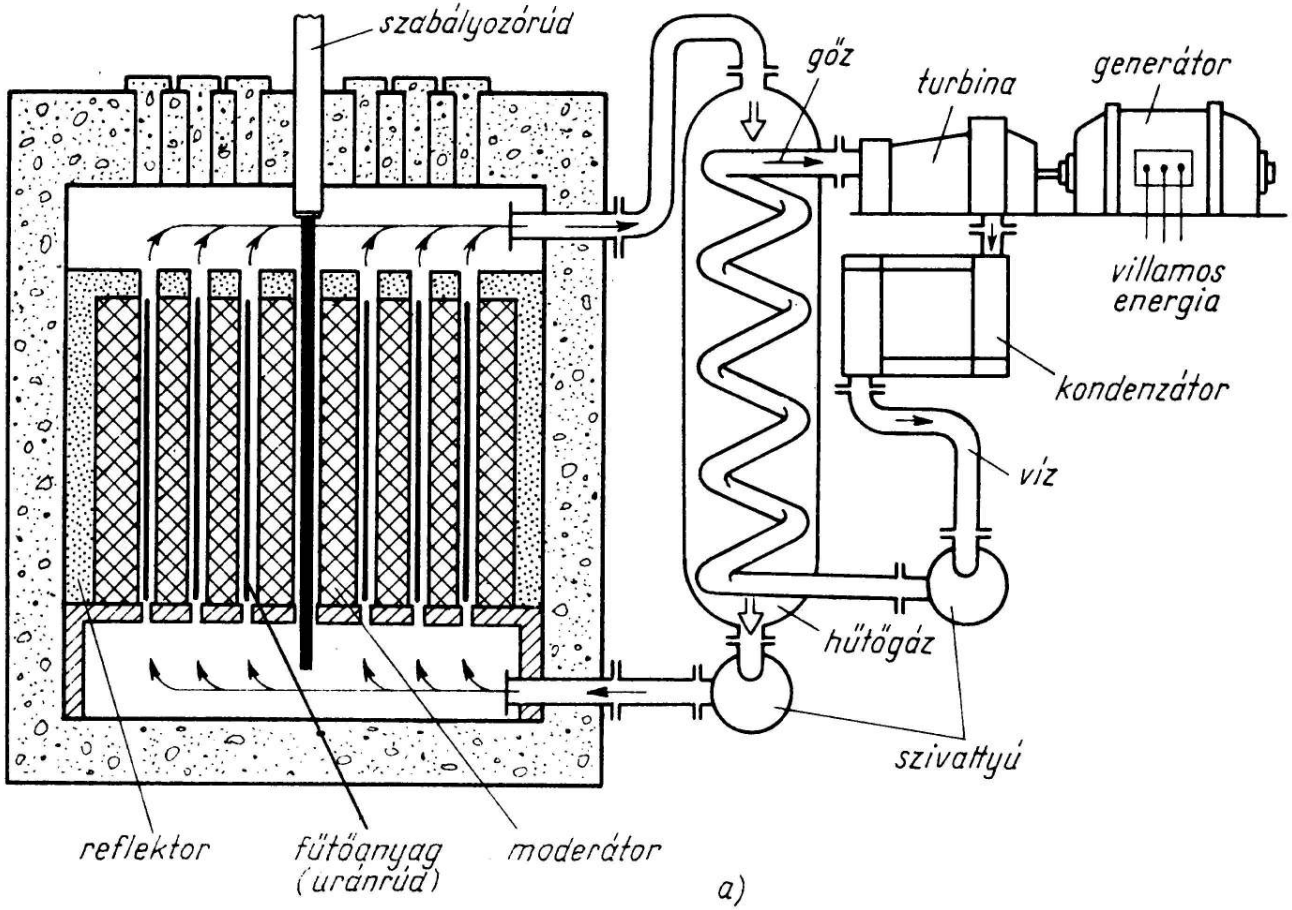
Rövid kezdeti történet

- 1942: A láncreakció beindul
- 1951: 250 kW villamos teljesítmény az EBR (Experimental Breeding Reactor) épületének világítása
- 1954: 5 MW teljesítmény villamos hálózatra a SzU-ban
- 1956 60 MW villamos teljesítmény Calder Hall-ban

Reaktortípusok feladat szerint:

- Energiatermelő,
- hasadóanyag-szaporító,
- kísérleti,
- tanreaktor.

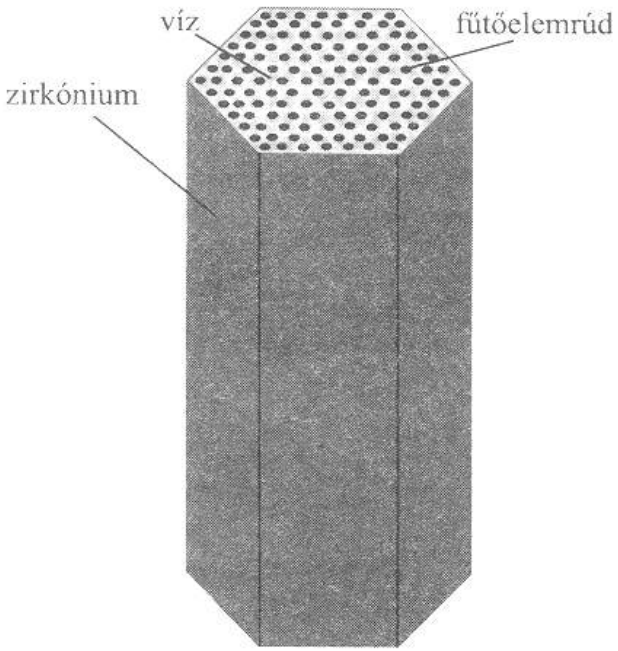
Az energiatermelés blokk diagrammja



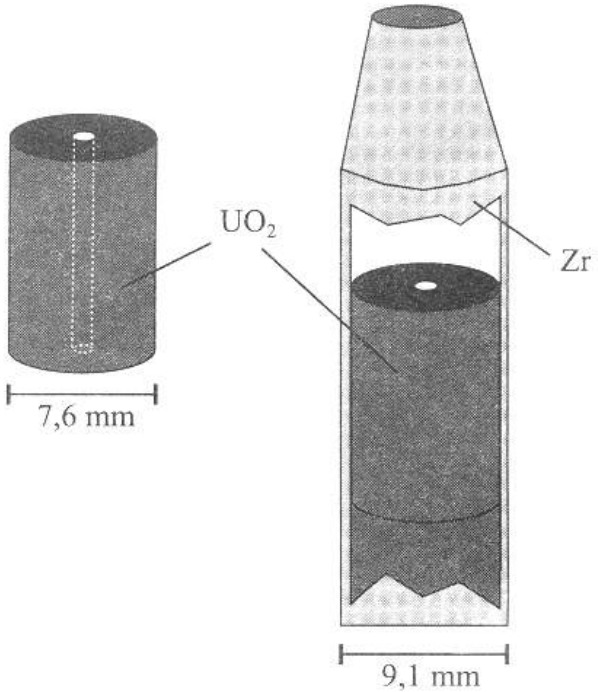
A reaktorok három fő szerkezeti eleme

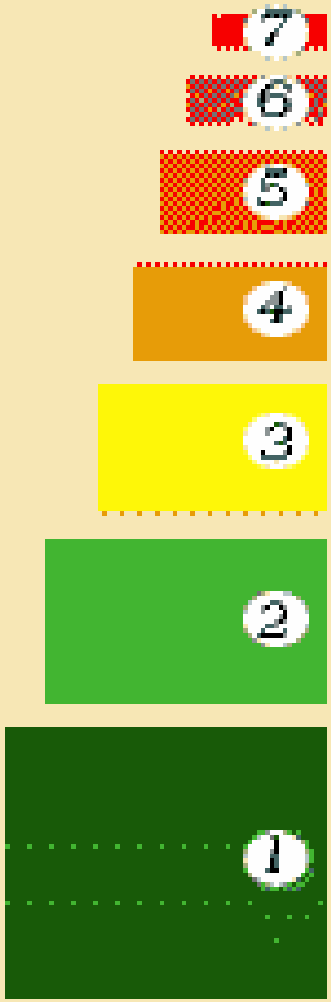
- Üzemanyag: ^{235}U; hasadás csak termikus neutronokkal
- Moderátor:
  - könnyűvíz (**L**ight **W**ater **R**eactor)
    - Nyomottvizes (**P**ressurized **W**ater **R**eactor); kétkörös
    - Vízforraló (**B**oiling **W**ater **R**eactor); egykörös
  - Nehézvíz
  - Grafit (**R**eaktor Bolsoj **M**oscsnoszty **K**ipjascsij); egykörös
- Hűtőközeg: a grafitmoderátoros reaktorokban víz, vagy gáz
- +Szabályozó és biztonsági elemek

Fűtőelem és fűtőelem köteg



4. ábra. A nyomottvizes reaktor üzemanyagkötege.





Nagyon súlyos baleset

Súlyos baleset

Telephelyen kívüli kockázattal járó baleset

Elsősorban létesítményen belüli hatású baleset

Baleset

Súlyos üzemzavar

Üzemzavar

Rendellenesség

Üzemzavar

0 skála alatti (nincs biztonsági jelentősége)

Üzemzavar

- **1. szintű esemény:** rendellenesség, valamely működési vagy üzemviteli szabálytalanság kapcsán a biztonsági intézkedések bizonyos hiányosságot mutatnak, leggyakrabban emberi tévedésből adódik. A dolgozókra és a lakosságra nézve semmilyen kockázatot nem jelent.

- **2. szintű esemény:** üzemzavar, melynek már lehetnek biztonsági következményei, de a dolgozók a megállapított dóziskorláton felüli terhelést nem kapnak.

- **3. szintű esemény:** súlyos üzemzavar, amikor a dolgozók sugárterhelése meghaladja a dóziskorlátozást, de az üzem közelében élő lakosság maximum 0.1 mSv dózist kaphat.

Baleset

4. szintű esemény: elsősorban létesítményen belüli hatású baleset, a részleges zónaolvadás következménye. A közelben élőket legfeljebb néhány mSv sugárterhelés érheti, de a dolgozók egy kis részén már akut hatások is jelentkezhetnek.

5. szintű esemény: telephelyen kívüli kockázattal járó esemény, ebben az esetben a kibocsátott radioaktív anyagok mennyisége akkora, hogy a lakosság egészségét is veszélyezteti.

6. szintű esemény: súlyos baleset, jelentős mennyiségű radioaktív anyag kerül a környezetbe. A helyi balesetelhárítási terv teljes körű alkalmazása szükséges. Eddig ilyen baleset nem fordult elő.

7. szintű esemény: nagyon súlyos baleset, a reaktortartályban lévő anyagok nagy része kijut a környezetbe. Fennáll az akut egészségkárosodás veszélye a dolgozók és a közelben tartózkodó személyeknél. A késői hatások nagy területen jelentkezhetnek

Jelentősebb balesetek

1957. Windscale (ma Sellafield) - Nagy-Britannia a reaktor kiég, 500 km^2 földterület válik sugárszennyezetté.

1957. Kistim - Ukrajna radioaktív hulladéktároló a szabálytalan tárolás miatt felrobban

1975. november 30. Leningrád (ma Szentpétervár)

1979. Three Mile Island - aktív zóna megolvadt és radioaktív szivárgás lépett fel

1981. La Hague - Franciaország műszaki hiba

1984. Kozloduj - Bulgária baleset

1986. Csernobil - Ukrajna az atomtörténelem legsúlyosabb balesete

1987. Biblis - Németország súlyos üzemzavar

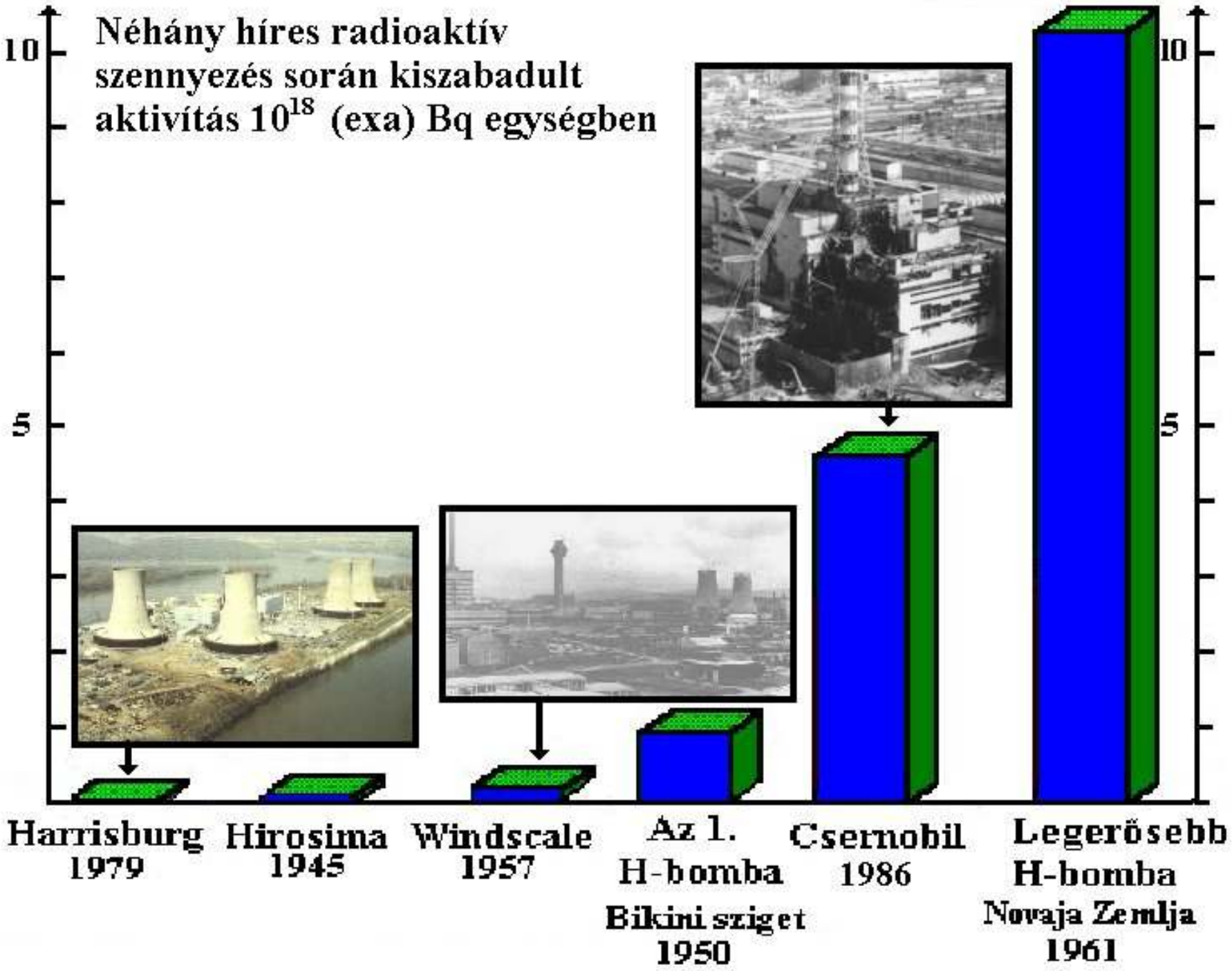
1990. Kozloduj - Bulgária földrengés miatt leáll

1993. január 13. Csernobil - Ukrajna tűz üt ki

1993. Paks - Magyarország baleset a fűtőelem-csere során

1997. április 8. La Hague - Franciaország 3900-szor nagyobb háttérsugárzás

2004. augusztus 9. Japán - Mihamai atomerőmű reaktorblokjában radioaktív gőz szabadult ki.


Néhány híres radioaktív szennyezés során kiszabadult aktivítás 10^{18} (exa) Bq egységben
10
5
10
5
Harrisburg 1979
Hirosima 1945
Windscale 1957
Az 1. H-bomba Bikini sziget 1950
Csernobil 1986
Legerősebb H-bomba Novaja Zemlja 1961

Idő diszkrimináció

- Két jel egyidejűségének megállapítása
- Két jel beérkezése közti idő megmérése