

Nukleáris Fizika

GEFIT762 MFTL – 2024/2025 tanév, II. félév

Az ionizáló sugárzások mérése

Ismétlő kérdések

A Compton-szórás során a röntgensugárzás hullámhossz változása a szóróközeg anyagi minőségének a függvénye, mert a Compton-szórás az atommagon történik.

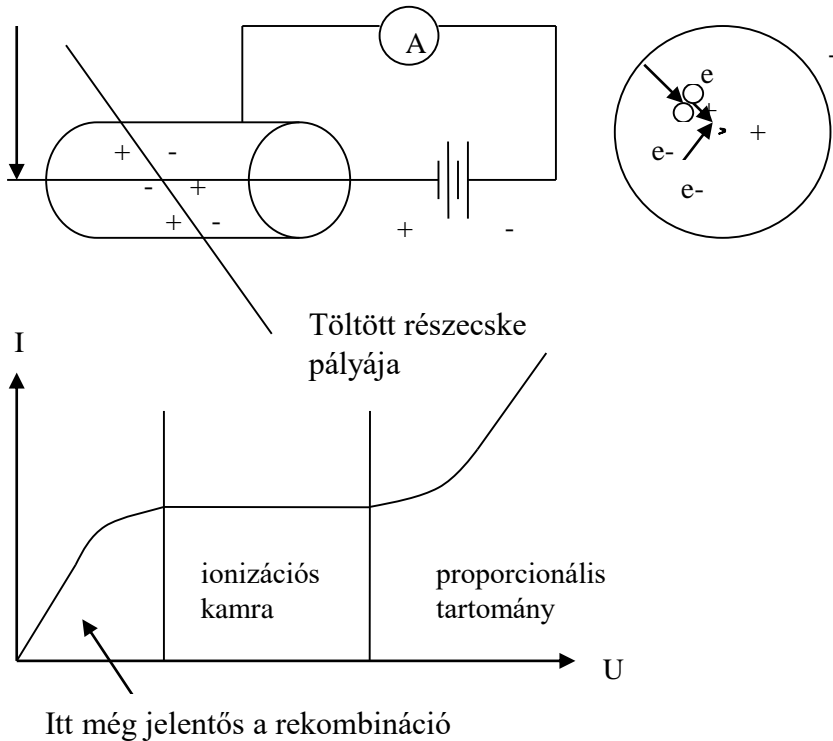
- a) Az állítás hamis, de az indoklás önmagában helyes
- b) Sem az állítás, sem az indoklás nem igaz
- c) Az állítás igaz, de az indoklás nem
- d) Az állítás és az indoklás is helyes, közöttük oki kapcsolat van

Mint tudjuk a gamma sugárzás az anyaggal az alábbi három folyamaton keresztül történhet. Állítsuk a folyamatokat energetikai sorrendbe aszerint, hogy milyen energián dominálnak! Kezdjük a legkisebb gamma energián domináns folyamattal!

- a) Compton-szórás, párkeltés, fotoeffektus
- b) fotoeffektus, Compton-szórás, párkeltés
- c) párkeltés, fotoeffektus, Compton-szórás
- d) Compton-szórás, fotoeffektus, párkeltés

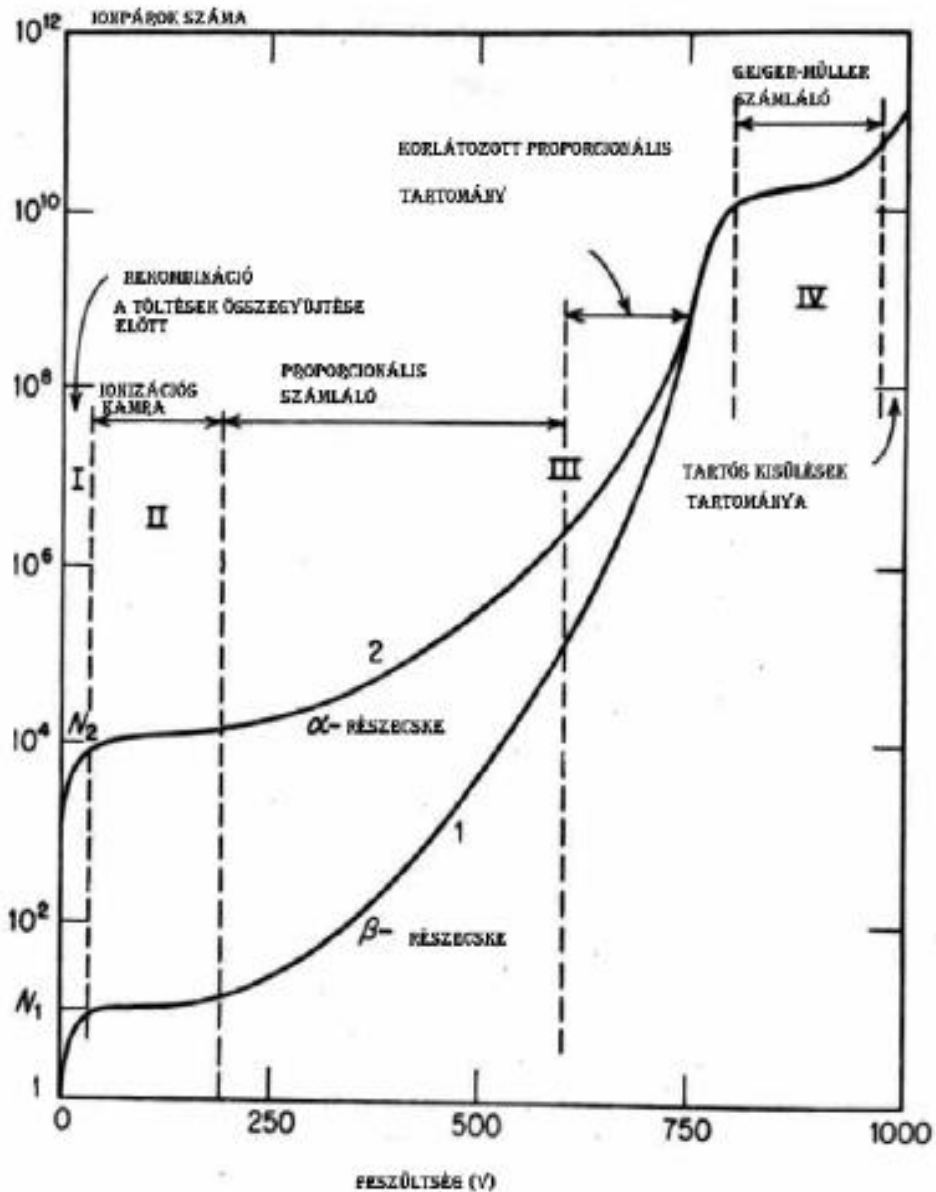
Gáztöltésű detektorok

Felépítése: ezek az eszközök tipikusan hengeres elrendezésűek: középen a vékony szál pozitív potenciálon, a hengeralást pedig negatív potenciálon.



- A rákapcsolt feszültség hatására az elektronok a középső szál felé indulnak el, a pozitív ionok meg kifelé, csak sokkal lassabban.
- Kis feszültség esetén van esélye annak, hogy egy elektron találkozik egy pozitív ionnal és rekombinálódik (ez az ionizáció fordítottja). Nagyobb feszültségnél az elektronok olyan gyorsan felfutnak a szálra, hogy a rekombinációnak nem lesz esélye.
- Az **ionizációs kamra tartományban** az összes keletkezett iont begyűjtjük. Az igen kicsi ($I = 10^{-12} - 10^{-15} \text{A}$) áramerősséget azonban nagyon nehéz pontosan mérni.
- A hengeres elektródák közötti feszültséget tovább növelve a **proporcionális tartományba** érünk. Ekkor a szál közelében már olyan nagy a térerősség, hogy az elektronok két ütközés között annyira fel tudnak gyorsulni, hogy ionizációra is képesek lesznek. Az ionizáció során keltett elektron újra ionizál, tehát **elektron-lavinák** indulnak meg. A keletkezett pozitív ionok az elektronokhoz képest igen lassúak, lényegében tértöltést képeznek a keletkezési helyükön. Ez lerontja a teret a szál közelében, ami mindenképpen megszakítja a lavinát.
- Tehát már több elektront detektálunk, mint amennyit a sugárzás keltett. De a sokszorozódás még korlátok között marad, az áram még arányos az eredeti részecske által keltett ionpárok számával (proporcionális = arányos).

Gáztöltésű detektorok/2



- A feszültséget tovább növelve a **Geiger-Müller tartományba** (GM cső-tartomány) jutunk, ahol az elektron sokszorozódás ennél is nagyobb és a jel már nem függ az eredeti részecske által keltett ionpárok számától.
- Olyan nagy a jel hogy közönséges elektronikával is detektálható.
- Nemcsak ionizáció, hanem **gerjesztés is** végbemegy => UV fotonokat termel=> a fotonok újabb elektronokat váltanak ki. A fotonok révén **a kisülés átterjed a szál teljes hosszára**, a lavina tehát nem marad lokalizált, mint a proporcionális esetben.
- A pozitív ionok által létrehozott tértöltés azonban előbb utóbb megszakítja a kisülést.
- A kisülés során áthaladt töltés azonban sokkal nagyobb lesz és a cső adataitól függ és nem a az eredeti részecske által keltett ionpárok számától.
- Egy idő elteltével a pozitív ionok megérkeznek a külső falhoz, ahonnan újabb elektronokat tudnak kiváltani. Ezek pedig újraindítják a kisülést. Ez lehetetlenné tenné további részecskék detektálását, tehát ezt mindenképpen meg kell akadályozni. Erre szolgálnak a **kicoltógázok**.

Gáztöltésű detektorok/3

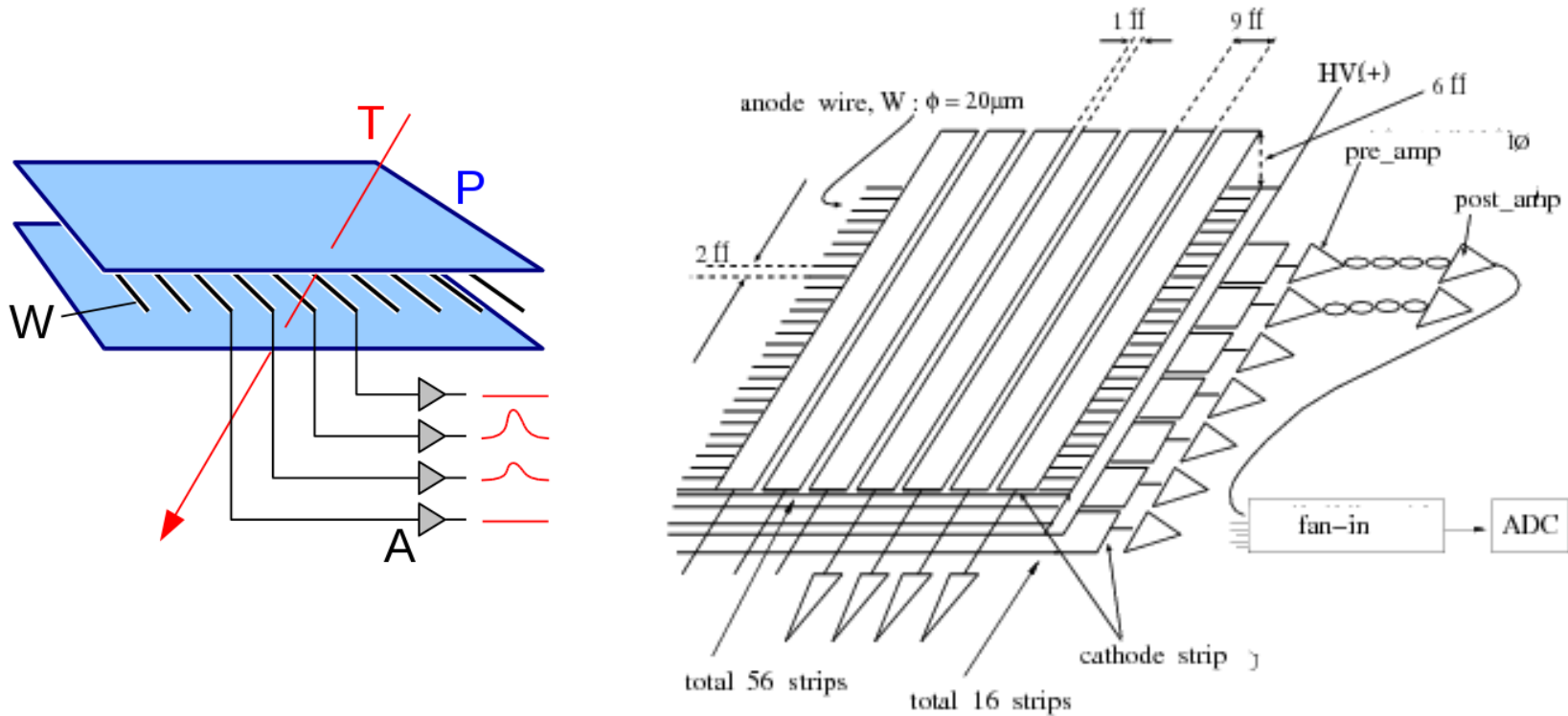


Ez a dózismérő proporcionális számlálót tartalmaz. A processzor egy jel nagyságtól függő értékkel növeli az elnyelt dózis értékét és kiszámítja a mozgó átlagot is. Csak gamma sugárzást tud mérni.

Ez az eszköz egy végablakos GM-csövet tartalmaz. Az ablakot fedő fólián a béta sugárzás is át tud menni, tehát a gamma mellett ezt is méri. Különböző rétegvastagságú anyagokon át haladó sugárzás gyengülését tanulmányozzuk vele.

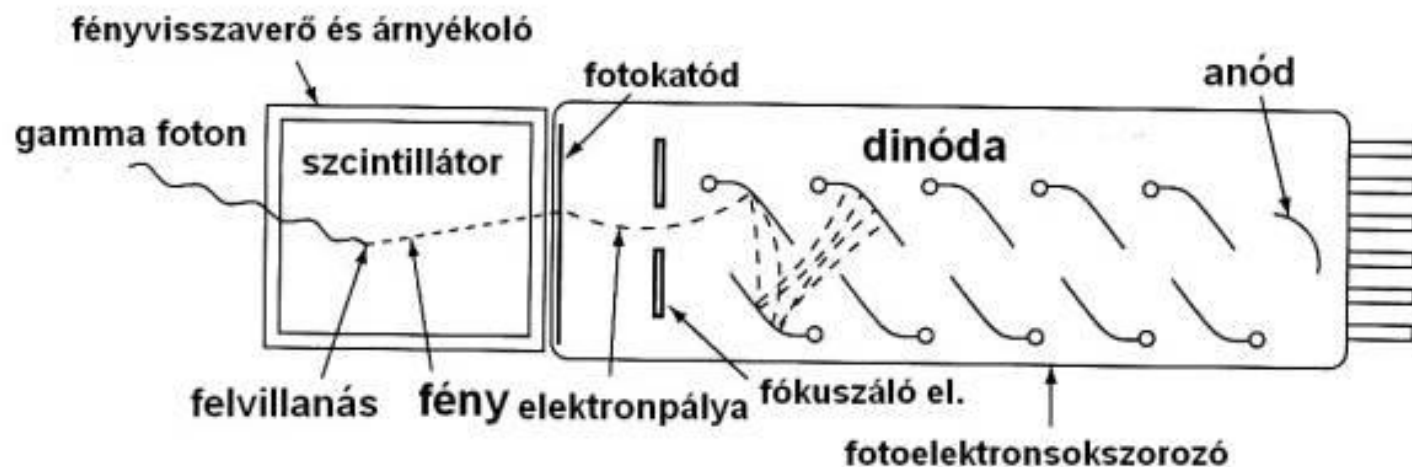


Sokszálas proporcionális kamrák (MWPC)



Meghatározható velük a detektálás helye és a detektorban leadott energia is. A CERN nagy detektor rendszereibe ilyenek is beépülnek.

Szcintillációs detektorok



A szcintilláció bizonyos szilárd anyagok sugárzás hatására történő világítását jelenti. Ez mikroszkópiusan inkább villódzás, a részecske detektálódása helyén egy szabad szemmel alig látható felvillanás.

Ezek milliói rajzolják ki a katódsugar-csöves tv (CRT) képernyőjén a képet

Történelmi előzmények: C. Röntgen, rádiumos óraszámplap

A korszerű szcintillációs detektorok három részből állnak:

- 1, Szcintillátor anyag: ebben keletkezik az ionizáló részecske hatására a fényfelvillanás. Ennek anyaga a történelmi ZnS (cink-szulfid) helyett lehet pl. NaI(Tl) kristály. Ma gyakran használnak szerves, folyadék és műanyag szcintillátorokat is. A keletkezett, tipikusan néhány ezer fotont a fényvisszaverő burkolatnak a fotokatódra kell vezetnie.
- 2, Fotokatód: az üvegbúra belső oldalára felvitt vékony réteg fotoeffektussal (fényelektromos jelenséggel) a fotonokból elektronokat „gyárt”. Egy foton max. egy elektront kelthet, de veszteségek mindig vannak. Tehát a fotokatódot (a kristállyal átellenes oldalon) néhány ezer primer elektron hagyja el, számuk a kezdeti fotonok számánál mindenképpen kisebb.
- 3, Elektronsokszorozó: szekunder elektronokat emittáló dinódák rendszere. Egy becsapódó elektron több szekunder elektront kelt. Ezek a következő dinóda felé gyorsulnak, mivel azt pozitívabb potenciálra kapcsoljuk. Ott a becsapódó elektronok mindegyike többszöröződik ismét, tehát az anód felé haladó elektronok száma exponenciálisan nő. Az anódra végül több milliárd elektron érkezik, ami már jól mérhető elektromos impulzusnak felel meg

Szcintillációs detektorok/2

A Fizikai Tanszék szcintillációs mérőfeje

Az alsó kisélesedő részben van a NaI(Tl) kristály

A fotokatód valahol az elkeskenyedésnél lehet, fölötte a fényes részben van az elektronsokszorozó. Két dinóda között $\sim 100\text{-}200\text{V}$ feszültség van, tehát az elektronsokszorozóra kapcsolt feszültség kV nagyságrendű.

Ez az egész fém házban van, ahová kívülről fény (és vízpára) semmiképpen sem juthat be.

Fölötte a szürke részben van az elektronika, amely előállítja a dinódákra jutó feszültséget, másrészt erősíti az anódról jövő impulzust



Félvezető detektorok

A félvezető detektorok olyan ionizációs kamráknak tekinthetők, amelyekben az ionizáció szilárd félvezető anyagban jön létre.

A legjelentősebb előnyei a szilárd anyag nagy sűrűsége (gázokhoz képest), az egy töltéshordozó pár keltéséhez szükséges energia kicsinysége (~ 1 eV), ezáltal a keltett töltéshordozók nagy száma.

A félvezető kristályon áthaladó töltött részecske által keltett elektron-lyuk párok (a gázokban keletkező elektron-ion párokhoz hasonlóan) rákapcsolt elektromos mezővel összegyűjthetők.

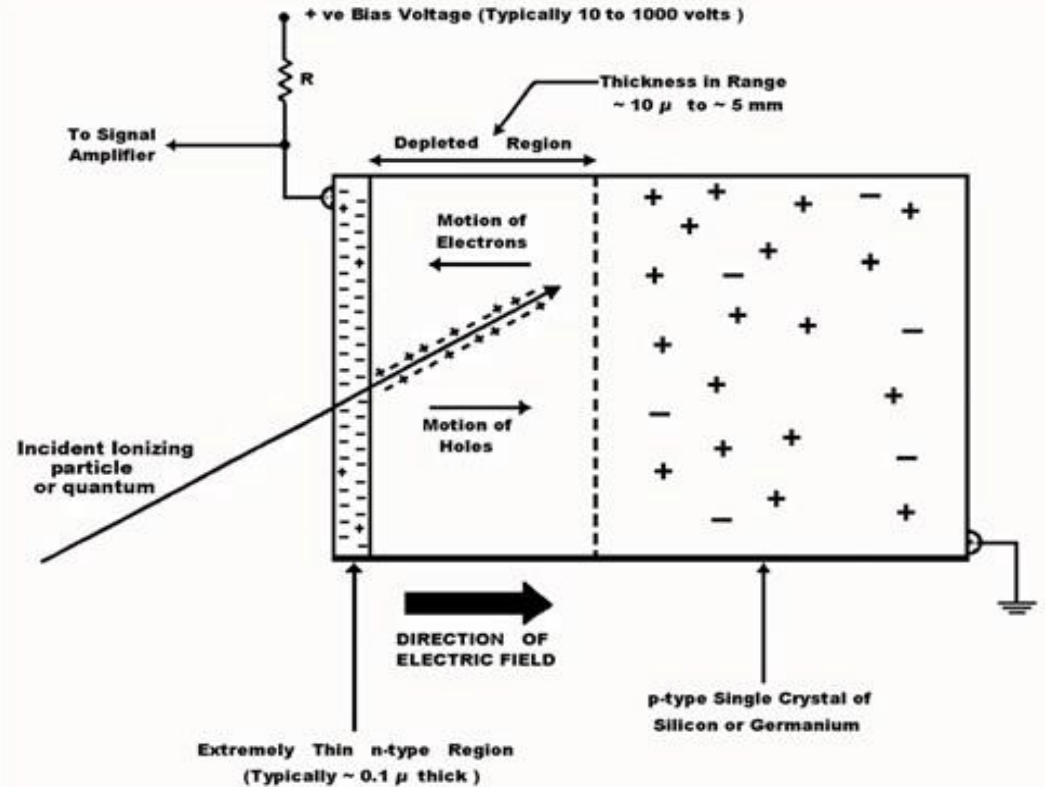
Legnagyobb probléma az, hogy szobahőmérsékleten nagy a félvezetők fajlagos vezetőképessége, ezért működés közben mindenképpen hűtésre szorulnak. Ha ezt nem tesszük, akkor a hőmozgás által keltett töltéshordozók árama elnyomja a töltött részecske által keltett töltéshordozók áramát.

Legfontosabb típusaik:

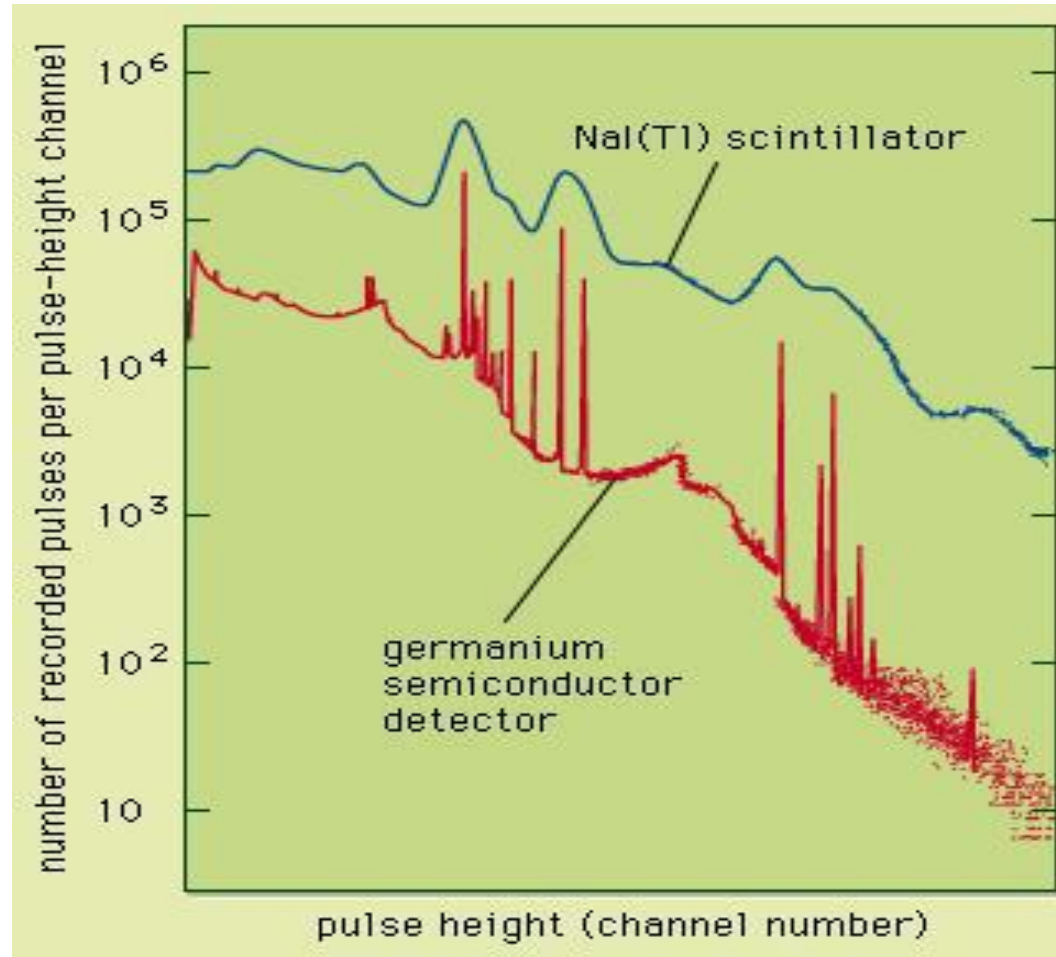
- Si(Li) Li-mal driftelt Si
- Ge(Li) Li-mal driftelt Ge
- HP Ge nagy tisztaságú Ge

A Ge(Li) detektorokat üzemben kívül is folyékony nitrogénben kell tárolni, anélkül tönkremennek. Előnyük hogy egy töltéshordozó pár keltéséhez igen kis energia szükséges (~ 1 eV), az energia feloldás sokkal jobb.

A Si(Li) detektoroknak előnye az, hogy nem kötelező állandóan hűteni.



A szcintillációs és a félvezető detektorok összehasonlítása



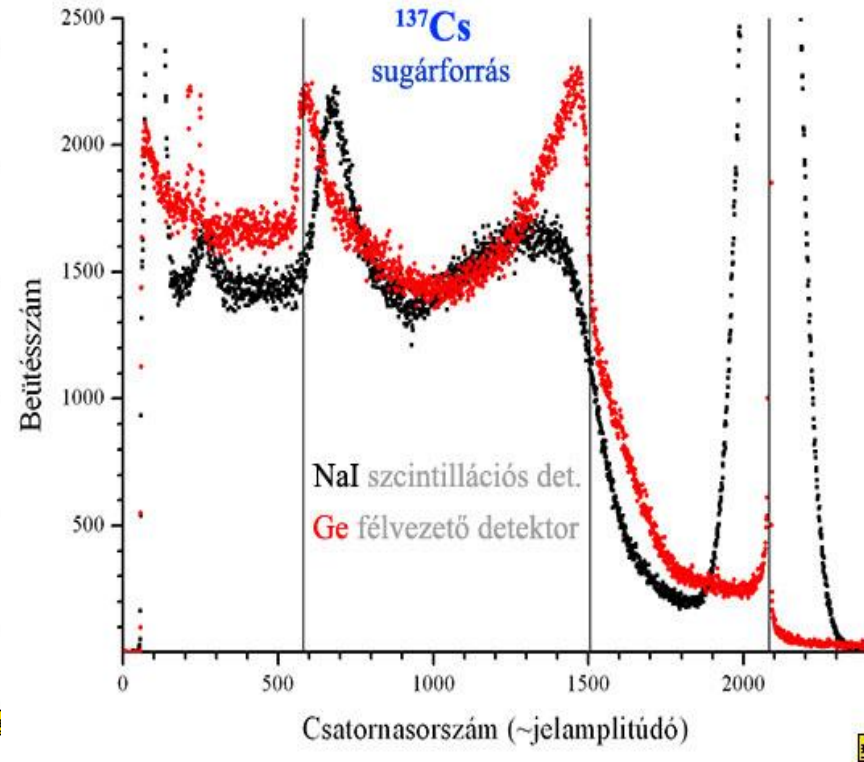
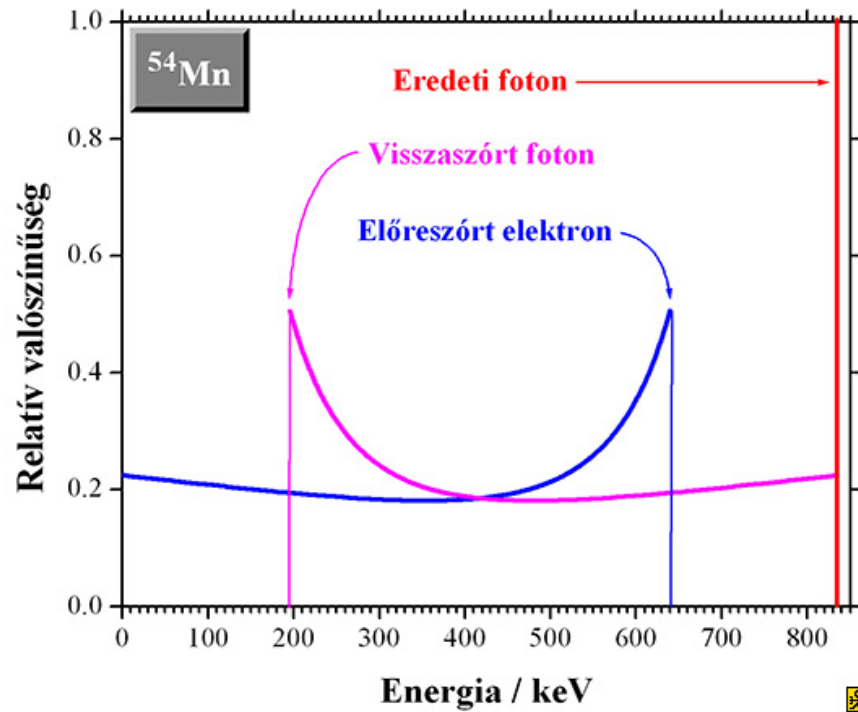
A félvezető detektornak összehasonlíthatatlanul jobb az energia felbontása...

DE: a szcintillációs detektornak jobb a hatásfoka

...és sokkal olcsóbb

A gamma spektrumok szerkezete

A görbék a Klein-Nishina formula (Leo 2.109) alapján számítottam.



A fotoeffektus és a Compton-szórás
nyomai a spektrumban



Ezt az **expanziós** ködkamrát használta *Szalay Sándor* és *Csikai Gyula* a neutrínó kimutatására

A ködkamrák

Az els ködkamrát *Charles Thomas Rees Wilson* (1869-1959), skót fizikus fejlesztette ki.

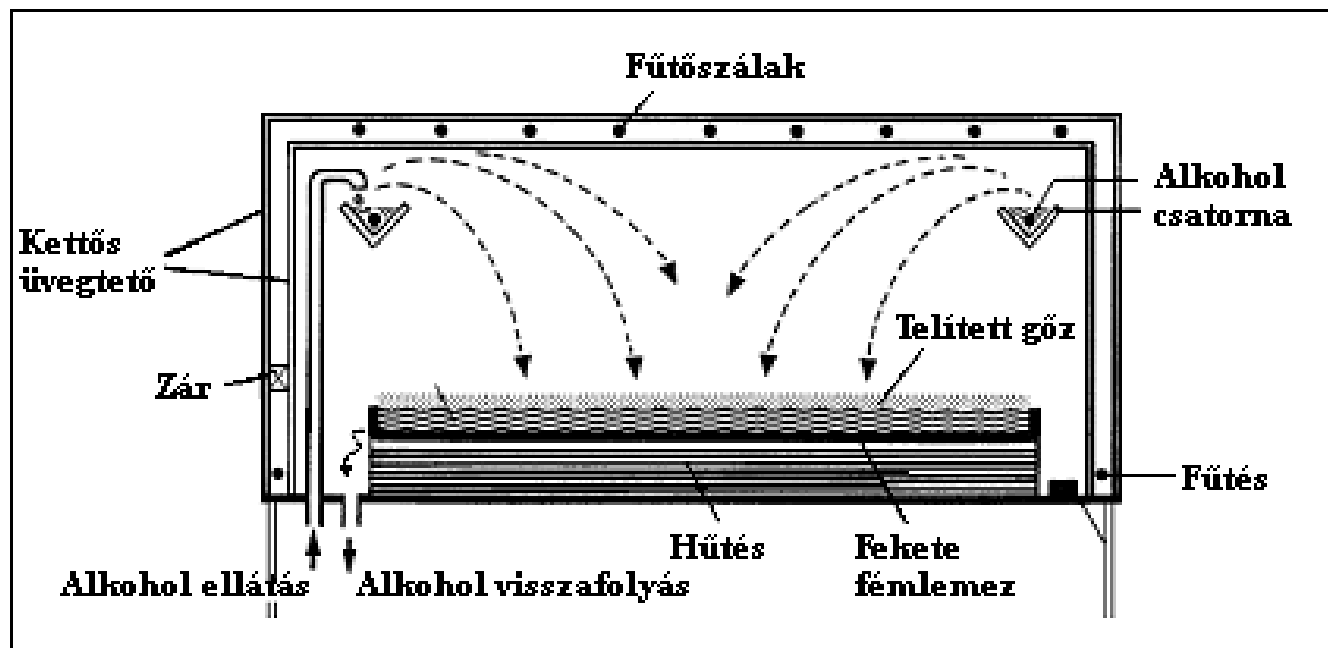
Wilson (*Arthur Comptonnal* megosztva) kapott fizikai Nobel-díjat 1927-ben a ködkamrával kapcsolatos munkájáért.



Neutrínó visszalökődési kísérlet.

A hosszabb nyom a béta-részecskének, a rövid vastag nyom pedig a visszalökött ${}^6\text{Li}$ magnak felel meg.

Diffúziós ködkamra



Az ionizáló sugárzás pályája mentén a keletkezett ionok **ködmag**ként szolgálnak és megindul rajtuk a ködképződés.

A keletkezett apró folyadékcseppek kirajzolják a **töltött ionizáló részecske pályáját**.

Ehhez túltelített gőz szükséges, amelyet például nagy hőmérsékletkülönbségben fellépő **diffúzió**val hozhatunk létre.

Az eszköz két fő egységből áll: a szerkezeti elemeket (hűtőelem, áramellátó, alkoholtartály, alkoholpumpa, programozható időkapcsoló) tartalmazó részből és a megfigyelő részből.

A megfigyelő kamrarész alja fekete fémlemezről (45cm × 45cm) készült, amelyet egy hűtő -30 °C-ra, vagy az alá hűt le. A megfigyelő rész kettős üvegtetőből áll, melyek között fűtőszálak helyezkednek el. Ezek melegítik a kamra felső üveglapját, és ezáltal megakadályozzák a lecsapódást. A fűtőszálak nagyfeszültségen vannak, hogy elektromos mezőt hozzanak létre, ami az ionok kivonását (vonzását) eredményezi.

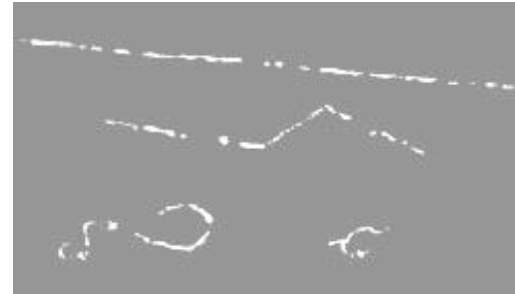
Felül, az üveg oldala mentén helyezkedik el az elektromosan melegített alkohol csatorna. Izopropil-alkohol (propanol) kering a csövekben, ami belecsepeg a csatornába. Az alkohol elpárolog, majd szétterjed a kamra felsőbb, melegebb részéből a hidegebb rész felé. Ott az alkohol apróbb cseppekben lecsapódik, és a fölösleg visszafolyik a tartályba. A diffúziós ködkamrában a részecskék különböző nyomokat (ún. „ködfonalakat”) hoznak létre, melyek már az emberi szem számára is láthatók.



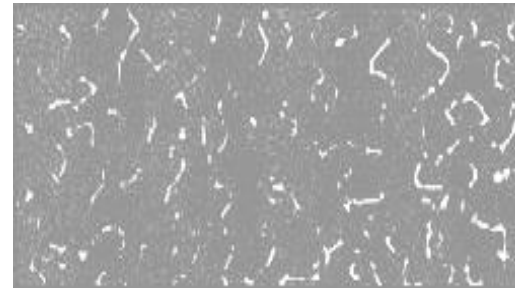
Az **alfa-részecskék** rövid, vastag, egyenes nyomot hagynak a ködkamrában. A teljes energiájukat (5-7 MeV) néhány cm-en adják le, eltérülésük ritka jelenség.



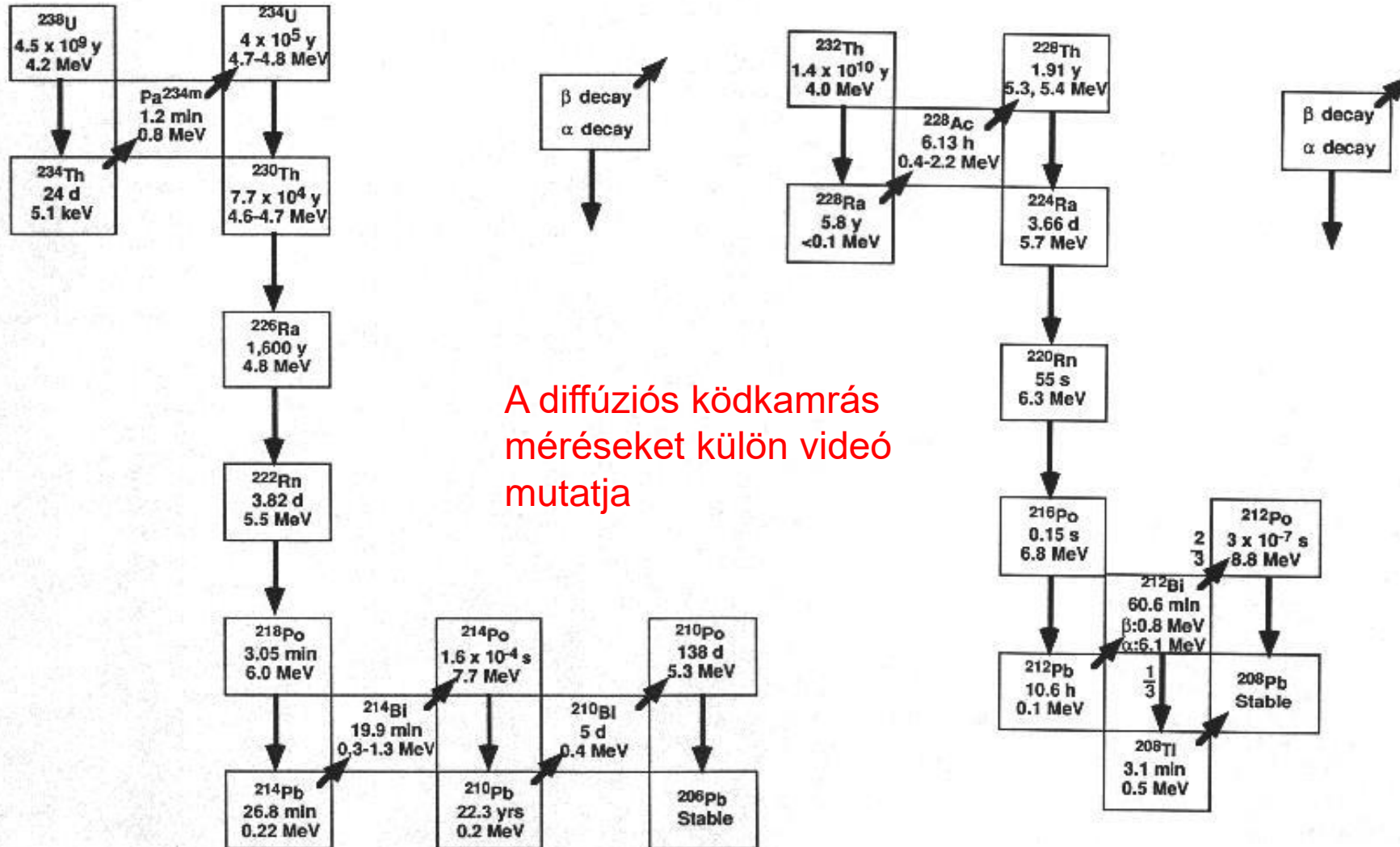
A **béta-részecskék** (elektronok) nyoma vékonyabb és hosszabb. A kis elektronok a lefékezésük során gyakran el is térülnek.



A **gamma-fotonok** nyoma közvetlenül nem látható. Azonban bármelyik atommal kölcsönhatnak a kamrában. A keletkezett foto- és Compton-elektronok a béta-részecskékhez hasonló nyomot hagynak.



Az urán-sor és a tórium-sor



Ellenőrző kérdések

Párosítsuk össze a sugárvédelemben használt műszereket és a velük végzett méréseket!

- | | |
|----------------------------|--|
| a) proporcionális számláló | 1) ionizáló részecskék pályavonalának láthatóvá tétele |
| b) szcintillációs számláló | 2) sugárzás gyengülése anyagon történő áthaladás során |
| c) diffúziós ködkamra | 3) dózismérés |
| d) GM-cső | 4) gamma spektrum felvétele |

Megoldás: a3, b4, c1, d2

Mi nem jellemzi a gáztöltésű detektorok Geiger-Müller számláló tartományát?

- a) A csőfeszültség nagyobb, mint a proporcionális tartományban
- b) Az elektron lavinák a cső teljes hosszában beindulnak
- c) Az áramimpulzus nagysága arányos a kezdeti ionok számával
- d) A pozitív ionok által létrehozott tértöltés megszakítja a kisülést