

Dozimetria

<http://ion.elte.hu/~pappboti/radioaktivitas/cimlap/tematika/radioakt/dozimetria/index.htm>

A sugárvédelem egyik fontos feladata, hogy rendszeres mérésekkel ellenőrizze a dolgozókat ért sugárterhelést, a [munkahelyen belüli](#) és a [környezetbe kikerülő](#) radioaktív szennyeződések mértékét.

Személyi dozimetria

A személyi sugárvédelem feladata, hogy a radioaktív sugárforrásokkal dolgozó személyek részére olyan munkafeltételeket biztosítson, hogy ne érje őket károsodás. Tökéletes védelem elvileg sincs, ezért arra kell törekedni, hogy a besugárzás a dóziskorlát alatt maradjon. Ehhez azonban mérni kell az egyes személyek által kapott dózist. **A különféle sugárzások által az élő testben elnyelt energiamennyiség mérési módszereivel a dozimetria foglalkozik.** Mivel a szervezet károsodását közvetlenül nem tudjuk kimutatni, ezért olyan **fizikai vagy kémiai elven működő dózismérőket** kell létrehozni, melyek hasonlítanak a biológiai anyagra. Azonban a szervezetet ért sugárzás sokféle komponensből áll és a komponensek energiája széles határok közt mozoghat, az emberi szövetekben ez a sokféle sugárzás különböző valószínűséggel adja le energiáját, és a különböző szövetek máshogy reagálnak a különböző típusú sugárzásokra. Ezért olyan detektor, amely minden szempontból úgy viselkedik, mint az emberi szövetek, nem létezik. Megoldást jelenthet, ha a különböző dózismérőket együtt, egymást kiegészítve alkalmazzuk. A sugárveszélyes munkahelyeken dolgozók külső és belső sugárterhelését is mérik.

Külső sugárterhelés mérésére alkalmas eszközök

[Az ionizációs kamra elvén működő dózismérők](#)

Töltőtoll doziméter

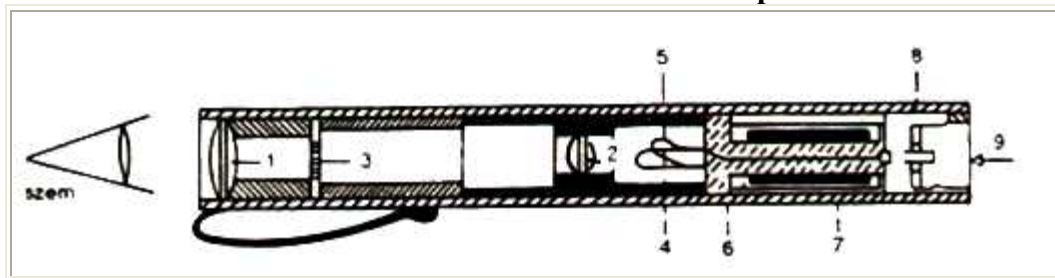


A töltőtoll doziméter a személyi dozimetriában legrégebben használt dózismérők egyike. **Általában gamma-sugárzás mérésére használják. A töltőtoll doziméter normálállapotú levegőt tartalmazó ionizációs kamra.** Miért alkalmas a levegővel töltött ionizációs kamra az emberi testben elnyelt dózis mérésére? Az emberi test szöveteit nagyrészt kis rendszámú elemek építik fel. A kis rendszámú elemek és a gamma sugárzás kölcsönhatásában a [Compton-szórás](#) a legvalószínűbb. A meglökött elektronok száma az anyagban lévő elektronok koncentrációjával arányos, ami a rendszámtól függ. A Compton-szórás szempontjából az azonos átlagrendszámú anyagok ekvivalensek egymással. A levegő átlagrendszáma 7.22, az izomszöveté 7.08, az emberi testé átlagosan 7.1. A levegő átlagrendszámával azonos átlagrendszámú anyagokat levegőekvivalens anyagoknak nevezzük. Mivel a testszövet anyaga levegőekvivalens, ezért a levegőben elnyelt dózis jó közelítéssel azonos a szövetekben elnyelt dózissal.

A töltőtoll dózismérő működési elve a következő: mérés előtt az ionizációs kamra kondenzátorát meghatározott feszültségre töltik fel. A feltöltött kondenzátor az ionizáló sugárzás hatására lassan kisül, mert a keletkezett ionok az elektródákra vándorolnak. A kondenzátor feltöltöttségének mérésével a levegőben keltett ionok száma és ezen keresztül a levegőben elnyelt dózis meghatározható. A mérést meghamisíthatja, hogy a gázban Compton-szórással meglökött elektronok beléphetnek a kamra falába, és a falból szintén Compton-szórás hatására elektronok léphetnek be a kamra érzékeny tartományába. Ez a probléma könnyen megoldható, ha a kamra fala is levegőekvivalens anyagból készül, mert ekkor ugyanannyi elektron lép a gázból a falba, mint a falból a gázba. Ezt nevezzük elektronegyensúlynak.

A kondenzátor kisülésének mértéke beépített (önleolvasós), vagy külső elektrométerrel mérhető. Az önleolvasós dózismérők előnye, a gyors információszolgáltatás, hátránya a mechanikai hatásokra való nagy érzékenység és hogy a dózisnak nem marad dokumentálható nyoma. Általában film-dózismérővel együtt alkalmazzák.

A töltőtoll dózismérő felépítése

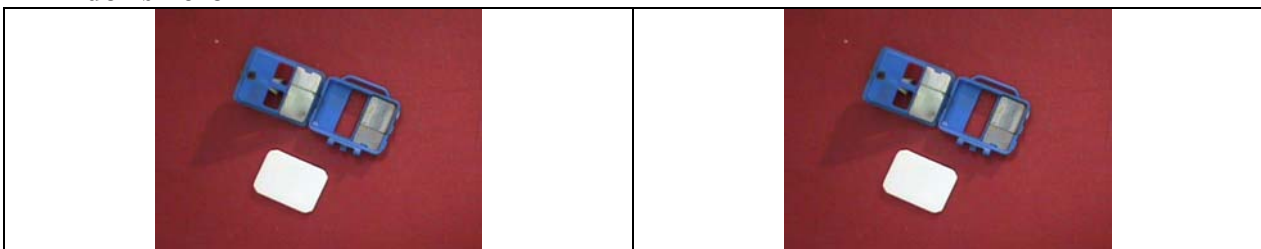


- | | | |
|------------------|---------------------|----------------|
| 1. okulár | 4. ionizációs kamra | 7. kondenzátor |
| 2. objektív | 5. elektroszkóp | 8. rugó |
| 3. skálabeosztás | 6. szigetelő | 9. beeső fény |

Gyűszű ionizációs kamra

Ionizációs kamrát használnak a neutron-dozimetriában is. Ha a kamra gáztérfogata nagyon kicsi, akkor a benne lévő gáz hatása a kamra falának hatásához képest elhanyagolható lesz. Ezeket a dózismérőket gyűszű ionizációs kamrának nevezik. Ha a kamra fala elemi összetételű és átlagszámában is követi az emberi test összetételét, akkor a mért dózis arányos lesz az emberi testben elnyelt dózissal, mert a neutronok a kamra falában ugyanolyan arányban hoznak létre magreakciót, mint az emberi szövetekben. A neutronok esetén azonban biológiai károsodás leírására az egyenértékű dózis alkalmas, mert a neutronok sugárzási faktora egynél nagyobb, ezért a neutronsugárzás dózisa helyett az egyenértékű dózist kell mérni. Erre alkalmas eszköz az Anderson-Braun detektor.

Film dózismérő



A fényképeszeti filmek érzékenyek az ionizáló sugárzásra. Ezt a tulajdonságukat használjuk fel személyi dozimetriai célokra. **A film-dózismérőket gamma- és béta-sugárzás dózisének mérésére használják.** Ezeket a dózismérőket általában havonta központilag értékelik ki. A kiértékelés alapja, hogy a besugárzott filmen áthaladó fény intenzitása más, mint a besugárzatlan filmen áthaladó fényé. A megfeketedés a következő összefüggéssel határozható meg:

$$S = \lg \frac{I_e}{I}$$

S: feketedés

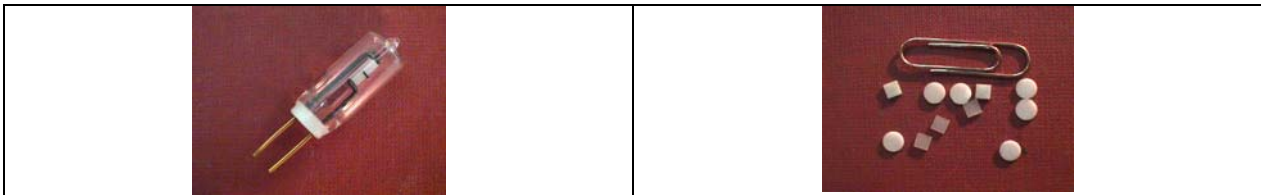
I_e : besugárzatlan, de előhívott filmen áthaladó fényintenzitás

I: a besugárzott filmen áthaladó fényintenzitás.

A kiértékelendő film feketedését az ismert dózisok alkalmazásával előállított kalibráló filmsorozattal vetik össze.

A dozimetriai filmek alapanyaga ezüst-bromid, melynek átlagrendszáma nagy, így a levegőtől és a testszövetből nagyon eltérő energiafüggést mutat. A feketedés energiafüggését különböző fémből készült szűrők alkalmazásával lehet csökkenteni.

Termolumineszcens dózismérők



Napjainkban egyre inkább kezdenek elterjedni a szilárdtest dózismérők. A legjelentősebb ezek közül a termolumineszcens dózismérő (TLD), mert kis méretű, energiafüggetlen és jól felhasználható a legtöbb ionizáló sugárzás mérésére. A TLD működési elve a következő: a kristályokban a besugárzás hatására szabaddá váló elektronok a kristály hibahelyein befogódnak, s onnan csak melegítés hatására lépnek ki. A melegítés hatására az elektronok fénykibocsátás kíséretében kerülnek vissza alapállapotba. A kibocsátott fény intenzitása arányos az elnyelt dózissal. A kilépő fényt fotoelektron-sokszorozó méri. Ilyen termolumineszcens tulajdonságot mutat például a kalcit, a gipsz, a kvarc, a LiF, CaF₂, BeO, Al₂O₃.

Belső sugárterhelés mérése

Nyitott izotópokkal dolgozó laboratóriumokban a szervezetbe került radioaktív anyagok által létrehozott dózisterhelést is mérni kell. A belső terhelést a szervezetben lévő radioaktivitás méréséből lehet meghatározni. A testbe jutott gamma-sugárzást kibocsátó izotópok aktivitását egésztest és résztest-számlálóval mérik. Ezek az eszközök a testből kilépő sugárzás energiáját mérik, többnyire NaI kristályok, **folyadék és plasztikszcintillátorok**. Az alfa- és béta sugárzó izotópok kimutatására legjobban használható módszer, ha a mérjük a vizelet- és székletaktivitást, ezekből az aktivitásértékekből következtethetünk a testben lévő radioaktív anyag mennyiségére (exkréciós analízis).

A munkahelyek sugárvédelmi ellenőrzése

A sugárvédelem feladata nemcsak a személyi dózismérésre terjed ki, vizsgálnia kell a sugárveszélyes munkahelyen fellépő külső veszélyt jelentő sugárzási szinteket (dózisteljesítményt), az inkorporációs veszélyt jelentő aktív anyag jelenlétét a levegőben és különböző felületeken is.

Dózisszintek mérése

Dózisszintek mérésére leginkább azokon a munkahelyeken van szükség, ahol a sugárzás intenzitása nem megfelelő kezelés esetén jelentősen, akár több nagyságrenddel is megnövekedhet. Ilyenek az atomreaktorok, gyorsítók. A következő táblázat az egyes sugárzások dózisteljesítményének mérésére használt detektorokat foglalja össze:

sugárfajta	detektor
gamma-sugárzás	ionizációs kamra GM-cső
neutron-sugárzás	BF₃-cső LiF szcintillációs számláló

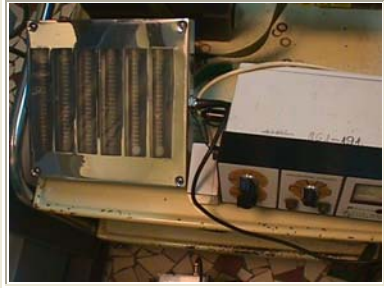
Gyakorlati szempontból csak a gamma és neutron dózisszintek mérése jelentős, mert az elektromosan töltött részecskékből álló sugárzást könnyű árnyékolni.

Felületi szennyezettség mérése

Azokon a munkahelyeken, ahol nyitott radioaktív készítményekkel dolgoznak, rendszeresen kell ellenőrizni a

**Felületi szennyezettség mérő
G-M számláló**

felületek szennyezettségét. A felületi szennyezettség mérésére leginkább [G-M-csőves](#) műszereket használnak. Olyan helyeken, ahol a sugárzási szint magas volta miatt nem lehet közvetlen műszeres ellenőrzést végezni, dörzsmintavételes eljárást alkalmaznak. Ennek során megnedvesített szűrőpapírral dörzsölik le a felületet, s az így nyert minta aktivitását mérik. A módszer csak nagyságrendi tájékoztatást ad.



Felületi szennyezettség mérő, G-M számláló



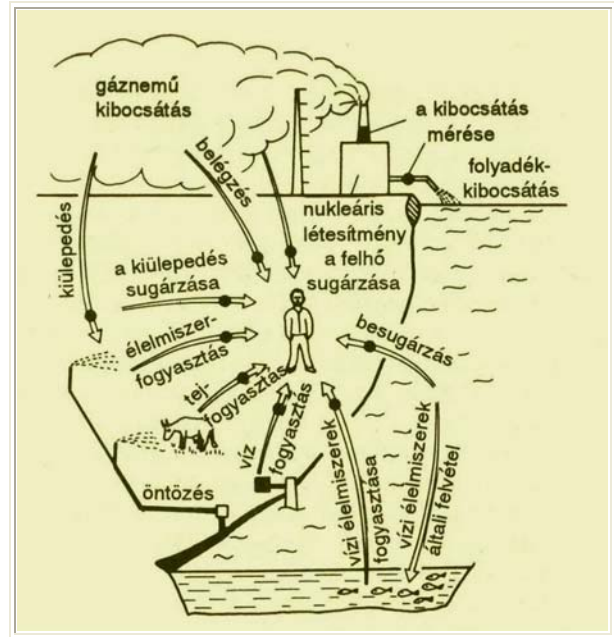
A baloldali kép egy sugárkaput ábrázol, mely a dolgozók ruháján lévő szennyezettséget méri. A sugárveszélyes munkahelyeken végzett munka után minden személynek át kell haladnia a kapun, hogy a ruháján ne vihessen ki radioaktív anyagokat. Ha a sugárkapu radioaktív szennyeződést jelez, a ruhát le kell cserélni.

Levegő szennyezettségének mérése

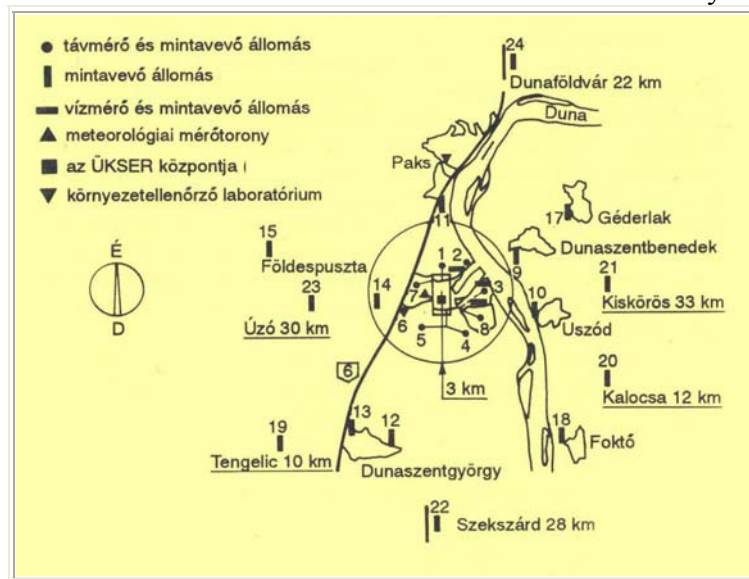
A munkahelyek légtérébe is kerülhet radioaktív anyag. A levegőben a radioaktív anyagok vagy gáz formájában, vagy a levegőben lebegő porhoz (aeroszolok) tapadva fordulhatnak elő. A gáz halmazállapotú radioaktív anyagok aktivitását a levegő [ionizációs kamrán](#) történő átáramoltatásával határozzák meg. Az aeroszolokhoz tapadt anyag aktivitásának méréséhez a port a levegőből szűrők segítségével leválasztják, majd a por aktivitását határozzák meg.

A környezet radioaktivitásának ellenőrzése

A környezetbe kerülő radioaktív anyagok az ott élő emberek sugárterhelésének növekedését okozzák, ezért az atomtechnikai létesítményekből történő kibocsátást korlátozni és rendszeresen ellenőrizni kell. A radioaktív izotópok ráakódhatnak a növényekre, s ezáltal bekerülhetnek a táplálékláncba, ezért ellenőrizni kell a levegő, a talaj, a vizek szennyezettségén kívül a növények, az állati tetemek radioaktív szennyezettségét is. A környezetvédelmi mérések aktivitásméréseken alapulnak. A környezeti mintákban elsősorban alfa-és béta aktivitásokkal illetve az ezeket kísérő gamma-sugárzással találkozunk. A mérések során a detektorok jelzéséből következtetünk az aktivitásra. Az aktivitásmérő műszerek detektorai általában [ionizációs kamrák](#) és [szcintillációs számlálók](#).

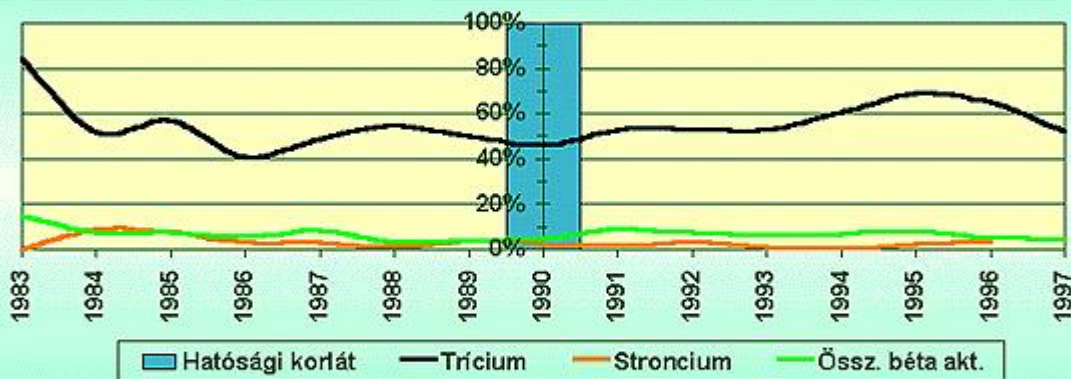


Táv mérő és mintavevő állomások a Paksi Atomerőmű környezetében



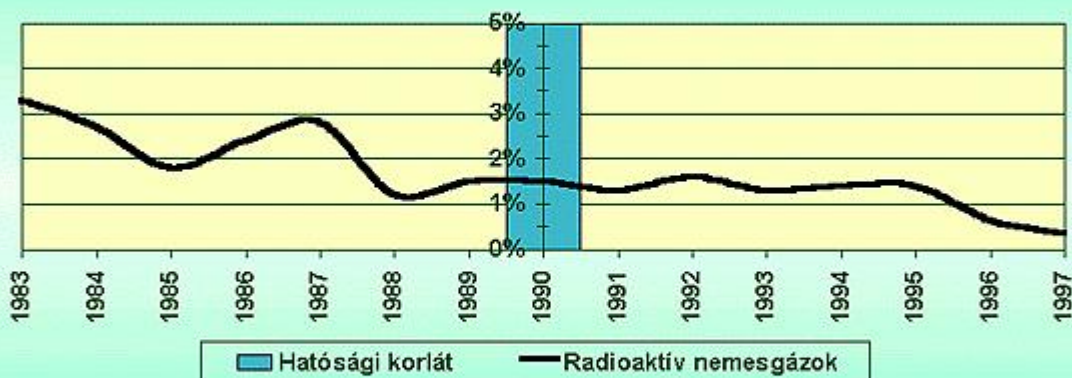
A következő grafikonok a Paksi Atomerőmű radioaktív kibocsátásait mutatják.

Folyékony radioaktív kibocsátások



Ellenőrzött kibocsátási formák	1997	Hatósági korlát
^3H , $1\text{E}+12$ Bq/év	15,61	30
^{90}Sr , $1\text{E}+6$ Bq/év	—	148
Össz. béta aktivitás, $1\text{E}+9$ Bq/év	0,67	14,8

Légnemű radioaktív kibocsátások



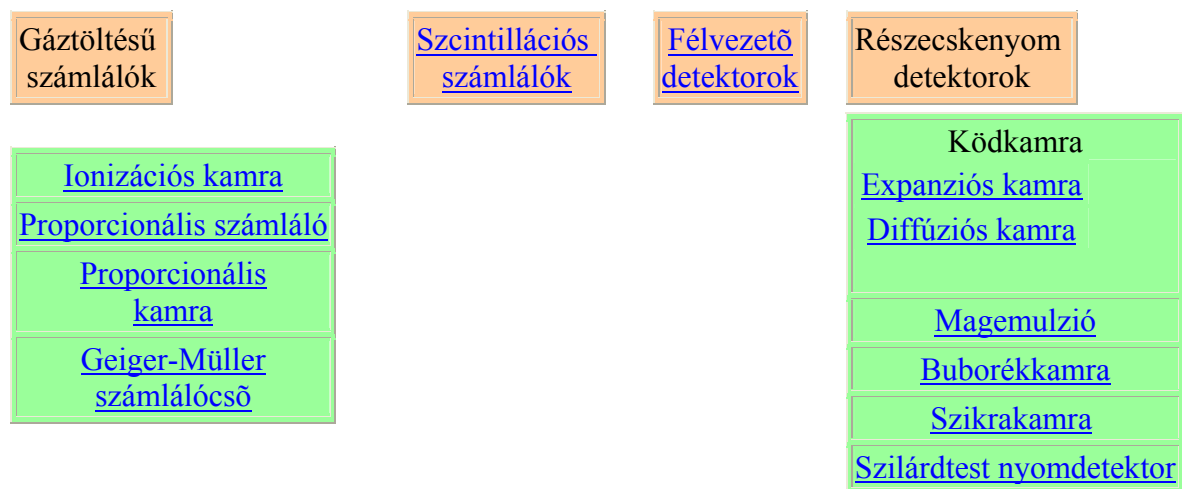
Ellenőrzött kibocsátási formák	1997	Hatósági korlát
Rad. nemesgázok, $1\text{E}+14$ Bq/év	5,9	127,6
^{131}I , $1\text{E}+9$ Bq/év	0,35	738,8
Radioaeroszolok, $1\text{E}+9$ Bq/év	1,3	738,8

Az ionizáló sugárzások detektálására alkalmas eszközök

<http://ion.elte.hu/~pappboti/radioaktivitas/cimlap/tematika/radioakt/ionizalosugarzas/detektorok.htm#Magemulzio>

Az ionizáló sugárzások detektálásának alapja a részecskék és a detektor anyagának kölcsönhatása, mely legtöbbször elektromágneses kölcsönhatás. Semleges részecskéket közvetlenül nem lehet detektálni, csak azon töltéssel rendelkező részecskéken keresztül, amelyeket létrehoznak.

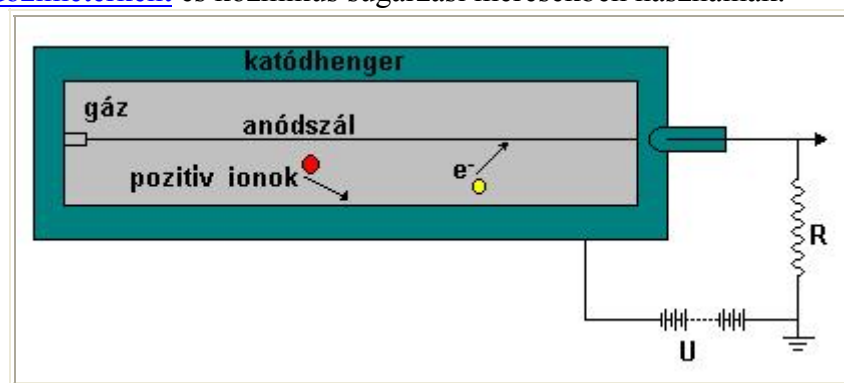
Az egyszerűbb detektorok feladata, hogy jelezzék a részecskék jelenlétét adott helyen és adott időben. Bonyolultabb detektorok segítségével meghatározható a megfigyelt részecske töltése, tömege, kinetikus energiája és impulzusa is.



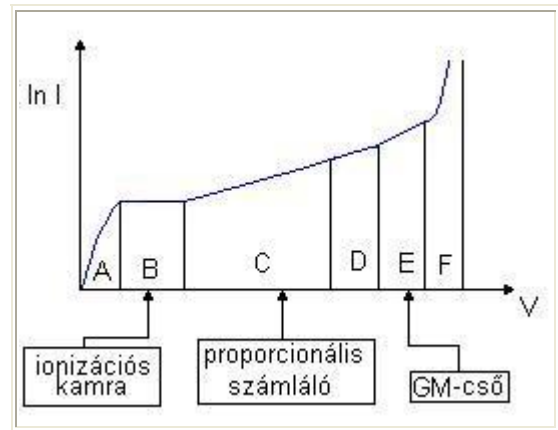
Gáztöltésű számlálók

Ionizációs kamra

Az ionizációs kamrán áthaladó töltött részecskék a gázrészecskékkel ütközve ionizálják a gáz atomjait (primer ionizáció). Ha az elektródákra feszültséget kapcsolunk az elektronok az anódhoz, míg a pozitív ionok a katódhengerhez vándorolnak. Ionizációs kamrákat főleg reaktorokban [doziméterként](#) és kozmikus sugárzási mérésekben használnak.



Ha megvizsgáljuk az állandó részecskefluxussal besugárzott kamrában keltett áramerősséget az elektródákra kapcsolt feszültség függvényében az ábrán látható görbét kapjuk.



A: Ha a feszültség nem elég nagy, a töltéshordozók lassan mozognak, így nagy a rekombináció valószínűsége, nem mindegyik jut el az elektródákig.

B: Az áram független a feszültségtől, a keletkezett ionpárok gyakorlatilag mind eljutnak az elektródákra.

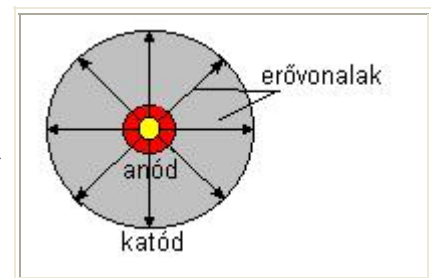
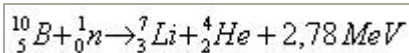
Proporcionális számlálók

C: Tovább növelve a feszültséget az ionizáció során keletkezett elektronok akkora energiára tesznek szert, hogy a gáz atomjaival ütközve ionizálni képesek azokat. Az így keletkezett ionpárok elektronjai is felgyorsulnak, és ismét ionizálnak (szekunder ionizáció), elektronlavina alakul ki. A kialakuló lavina arányos a primer elektronok számával. Az ebben a tartományban működő eszközök a proporcionális számlálók.

A proporcionális számlálóban kialakuló elektromos tér inhomogén, az anódszál közelében nagyobb.

A lavinaképződés nem a cső egész térfogatában, csak az anódszálhoz közel tud megindulni.

A proporcionális számlálók egyik legfontosabb felhasználása a neutronfluxus mérése. Ha a számlálóban lévő gáz BF_3 , a lassú neutronok nagy valószínűséggel váltják ki a következő reakciót:

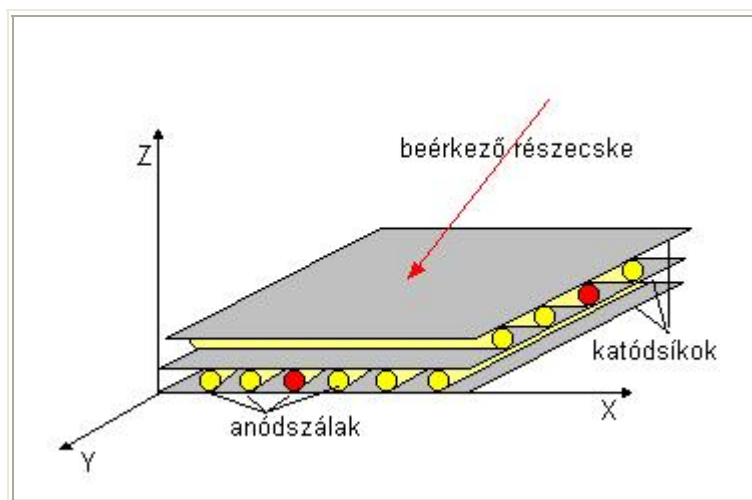


Proporcionális kamra

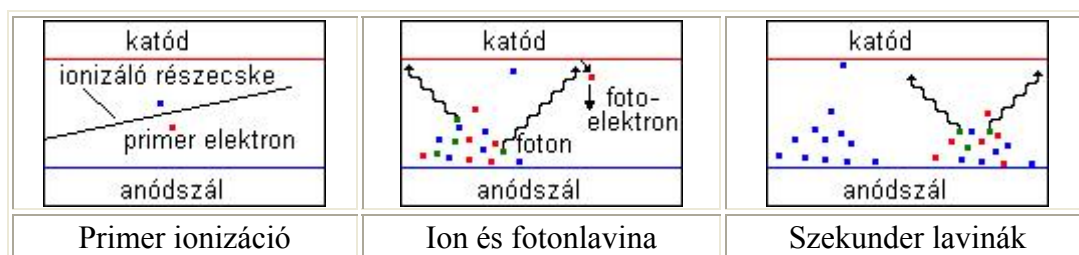
A proporcionális kamrában a katódok nagyméretű síklapok, az anódok a katódsíkokkal és egymással is párhuzamos fémszálak. Ezek a szálak egymástól független proporcionális számlálóként működnek, bár az egyes számlálók gáztere azonos. Ha az különböző síkok közti szálakat egymásra merőlegesen helyezzük el, mm nagyságrendű pontossággal megkapjuk a részecske áthaladásának helyét.

Geiger-Müller-számláló (GM-cső)

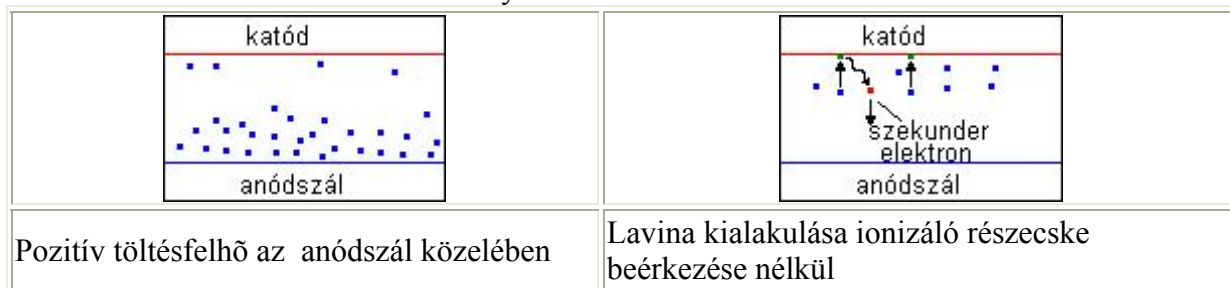
E: Tovább növelve a feszültséget eljuthatunk egy olyan értékre (Geiger-küszöb), amelynél az egy elektron által elindított kisülés önfenntartóvá válik. Ekkor az anódra jutó elektronok száma csak a csőre kapcsolt feszültségtől és a cső adataitól függ, független az áthaladó részecske energiájától.



Ebben az üzemmódban nagyon gyenge ionizációt (akár egyetlen ionpárt) is ki lehet mutatni. A G-M tartományban a primer ionizáció során keletkezett elektronok (az ábrán pirossal jelölve) az elektromos tér hatására akkora energiára tehetnek szert, amely elegendő a gáztomok ionizálásához, ionizációs lavina alakul ki, mely ionpárokat és gerjesztett atomokat eredményez. Ezek a gerjesztett atomok (zölddel jelölve) fotonok kibocsátásával kerülnek újra alapállapotba, így az ionlavinát fotonlaviná követi. Ezek a fotonok fotoeffektus révén a gáztomokból és a katódból újabb elektronokat keltnek melyek az anód közelében újabb lavinát indíthatnak el, s így a lavina a szál egész hosszára kiterjed.



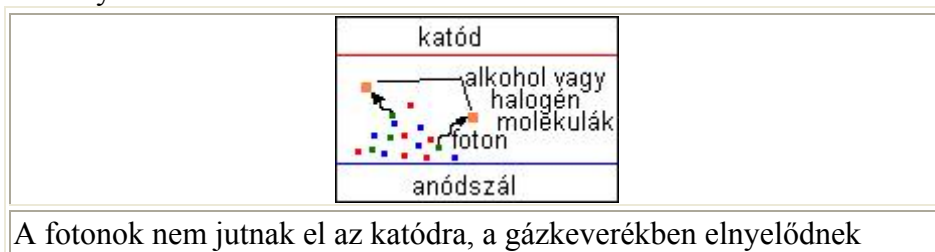
Az anód mentén ionfelhő alakul ki, melyből az elektronok nagyobb mozgékonyaságuk miatt hamarabb jutnak el az anódra mint az ionok a katódra. Így az anódszál körül pozitív ionfelhő (az ábrán kék színnel jelölve) marad, mely megakadályozza az újabb lavina kialakulását. A pozitív ionokból a katódon való semlegesítődésekor keletkező atomok gerjesztett állapotban vannak, s ez ismét fotonok kibocsátását eredményezi.



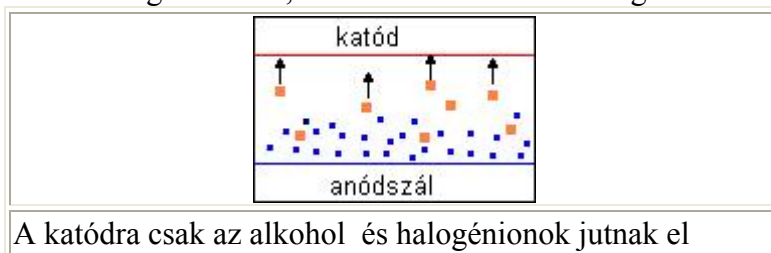
Ezek a fotonok újra elektronokat váltanak ki és újabb lavina tud megindulni, anélkül, hogy újabb részecske érkezett volna a detektorba. A lavina megismétlődésének megakadályozása a kioltás. Kioltás vagy az anódszálra kapcsolt nagy ellenállással, vagy minden regisztrált impulzus után a feszültség rövid ideig tartó csökkentésével lehetséges, úgy, hogy a cső feszültsége a Geiger-tartomány alá essen. Az első esetben az impulzus nagyon hosszú lesz, a másodikban viszont a cső a pozitív ionok begyűjtése alatt kikapcsolt állapotban van. Az ilyen kioltást

alkalmazó berendezések a **nem önkioltó számláló**k. Ezek töltése egy vagy kétatomos gáz (argon, hidrogén).

Az **önkioltó számláló**kban a töltőgáz többatomos gőzöket (etilalkohol, éter) vagy halogéngőzt (bróm, klór) is tartalmaz. Ezekben a számlálósövekben a primer elektronok ugyanúgy ionlavinát indítanak el, mint a nem önkioltó csövekben. A gerjesztett atomok alapállapotba jutásával fotonlavina alakul ki, de a keletkező fotonok nem tudnak eljutni a katódra, mert még a gázkeverékben elnyelődnek.



Az anódszál közelében ezekben a számlálósövekben is kialakul a pozitív töltésfelhő. A pozitív gázionok a katód felé haladva ütköznek az alkohol vagy halogénmolekulákkal és mert ezek ionizációs energiája kisebb mint a gázé a gázionok semlegesítődnek és az alkohol, halogénmolekulák ionizálódnak. A katódra csak ezek az ionok érkezik, és a katódon fotonkibocsátás nélkül semlegesítődnek, ezért a lavina nem tud megisméltődni.



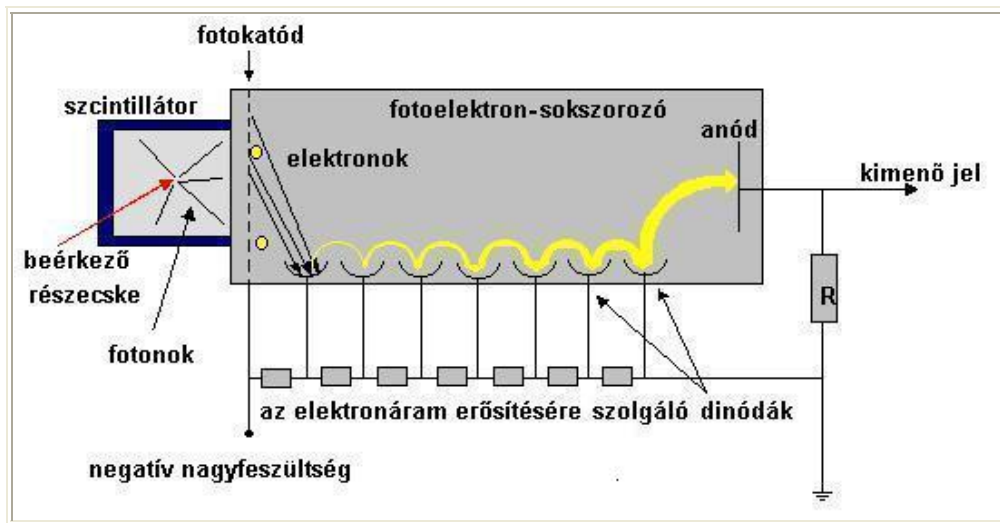
Amíg a pozitív ionfelhő el nem távozik az anódszál közeléből a cső érzéketlen, ez eredményezi a műszer holtidejét.

F: Elérve GM tartomány felső határát a gázkiszülés ionizáló részecske bejutása nélkül is fennmarad.

Szcintillációs számláló

A sugárzás bizonyos kristályokban fényvillanásokat hoz létre. Az 1930-as évekig ez az eszköz volt az egyetlen sugárzás-detektor. Méréskor a felvillanásokat számolták meg. Ez az eljárás rendkívül fárasztó és szubjektív volt. Ma már a vizuális megfigyelések helyett fotoelektron-sokszorozót alkalmaznak. Ez olyan szerkezet, amely a fényfelvillanásokat elektromos impulzussá alakítja át.

A szcintilláló anyagokban a számlálandó részecskék, illetve gamma-kvantumok energiájának egy része fényenergiává alakul át. Az energiaátadás során először a szcintillátor atomjai gerjesztett állapotba kerülnek. Az atomok a gerjesztett állapotból fotonok (fluoreszcenciafény) kibocsátásával jutnak újra alapállapotba. A kijövő fényjeleket a fotoelektron-sokszorozó alakítja át elektromos jelekké. A szcintillátorok anyaga lehet: szervetlen kristály (ZnS, NaI, LiI, CsI), szerves egykristály (naftalin), szcintilláló oldat (toluol). A fotokatód fényérzékeny, a rá érkező fotonok elektronokat keltnek. Az elektronok áramát a dinódák felerősítik, ez a felerősített jel jut el az anódra.

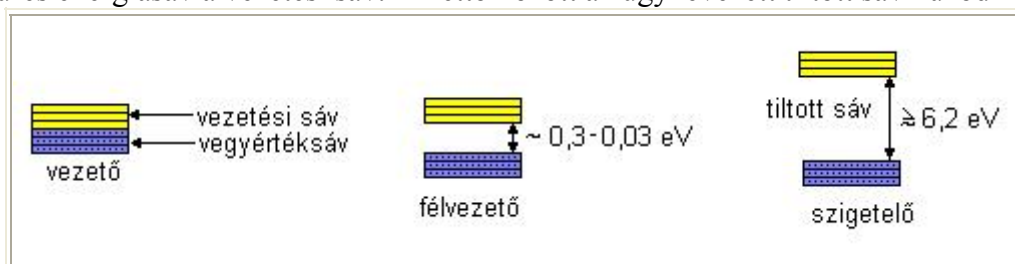


A félvezető detektorok

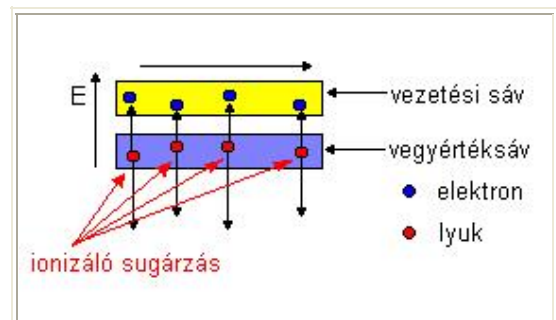
A félvezető detektorok elvben ugyanúgy működnek, mint az ionizációs kamrák, azaz egy töltött részecske hatására a félvezetőben töltéshordozók szabadulnak fel, melyek az elektromos tér hatására az elektródákhoz áramlanak, és ott feszültségimpulzust keltenek. A félvezetők nagy előnye, hogy egy elektron szabaddá válásához a gáztöltésű számlálóban 30 eV, míg a félvezetőkben átlagosan 3,6 eV szükséges.

Így azonos részecskék esetén a szabaddá váló töltéshordozók száma a félvezető számlálóban lényegesen nagyobb, mint más számlálótípusoknál. Mivel a töltött részecskék hatótávolsága kicsi, kisméretű számlálóokban nagy energiákat is ki lehet mutatni, miközben a részecskék helye a detektor méreteinél fogva jól definiált. A félvezető detektorok anyaga legtöbbször germánium vagy szilícium.

A félvezető detektorok működését a sávmodell alapján lehet megmagyarázni. A sávmodell szerint az elektronok csak bizonyos energiasávokban tartózkodhatnak, míg a közbenső energiákat az elektron nem veheti fel. A legfelső betöltött sáv a vegyérték (valencia) sáv, a legalsó üres energiasáv a vezetési sáv. A kettő között az úgynevezett tiltott sáv húzódik.



Félvezetőknél gerjesztés nélküli állapotban a vegyérték sáv teljesen betöltött és a vezetési sáv teljesen üres. Hőmozgás, fény, radioaktív sugárzás vagy egyéb energiát közlő hatásra a vegyértéksáv egyes elektronjai átkerülhetnek a vezetési sávba, és így részt vehetnek a vezetésben. A vegyértéksávban az elektron helyén keletkezett elektronhiány "lyuk" is részt tud venni a vezetésben, mert a lyukba a szomszédos atomból kis energia hatására át tud kerülni egy elektron. A lyuk elmozdulása az elektronnal ellentétes irányú, így pozitív töltésként is felfogható.



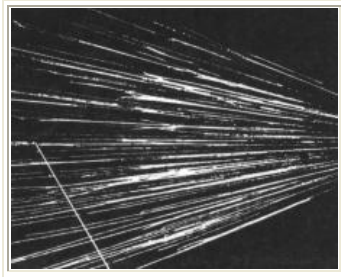
Részecskenyom detektorok

A gyors töltött részecskék az anyagban pályájuk mentén ionokból és elektronokból álló nyomot hagynak. A részecskenyom detektorokban az ilyen mikroszkopikusan finom nyomokat alkalmas eljárással láthatóvá lehet tenni.

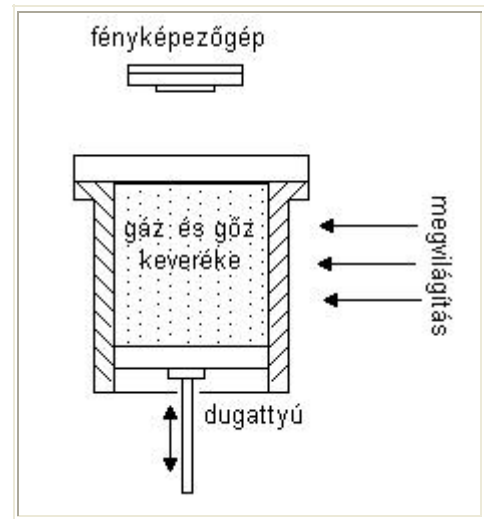
Ködkamra

Expanziós ködkamra (Wilson-kamra): Ha egy gáz és gőz keverékkel töltött edényben túltelítettséget hozunk létre a gőz kicsapódik a gázionokra, majd a kicsapódott ködcseppek tovább növekednek, és láthatóvá válnak. Ha a kamrában töltött részecske halad át, a pályája mentén létrejött ionokon indul meg a ködképződés.

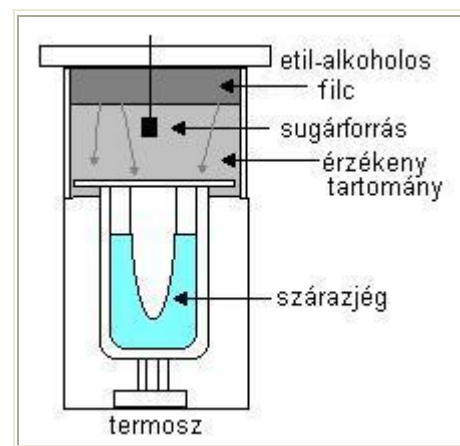
A ködkamrában a levegőt környezete hőmérsékletén alkalmas folyadék gőzével telítik. Méréskor a levegőt egy dugattyú segítségével hirtelen adiabatikusan kitágítják, minek hatására az lehűl. Az áthaladó részecske pályája mentén kialakuló ködcseppeket fényképeken rögzítik.



Wilson-kamra felvétele



Diffúziós ködkamra: A nyomok itt is gőz és gázkeveréken alakulnak ki. A túltelített állapot eléréséhez a kamrában nagy hőmérsékletkülönbséget tartanak fenn. A párologtatás a felső meleg zónában történik. A meleg alkohol gőz (etil-alkohol, metil-alkohol) lefelé, a hideg (szárjéggel hűtött) térrészbe áramlik és a kamra érzékeny tartományába jut (1-2 cm), ahol a részecskenyomon kicsapódik. A kamrában olyan zóna alakul ki, amely a részecskenyomok jelzésére mindig készen áll.

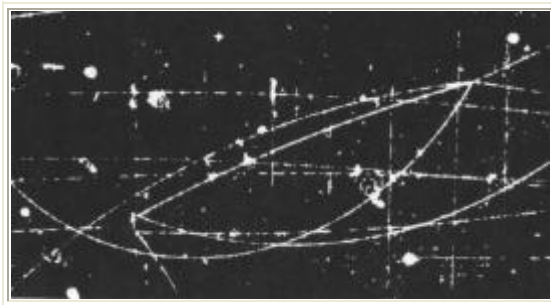
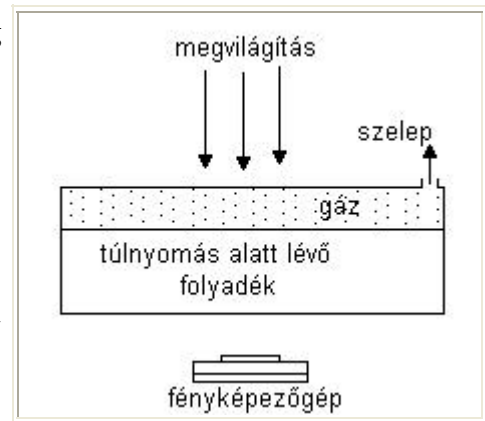


Magemulzió

A magemulzió zselatinban oldott kristályos ezüst-bromid vagy ezüst-jodid. Az emulzió áthaladó töltött részecskék ionizációs hatásuk révén elektronokat tesznek szabaddá a kristályokban. A szabaddá vált elektronok a kristály szélére áramlanak és ott az ezüst-jodid (ezüst-bromid) által befogódnak, mely így negatív töltésűvé válik. Az ezüst-jodid (ezüst-bromid) kristályban jelenlevő pozitív ezüstionok ezeken a negatív fényérzékeny központokon semlegesítődnak, és fémes ezüst válik ki. Az előhíváskor a részecskepálya mentén ezüstatomokból álló fekete nyom látható. A magemulzió hátránya, hogy nem ad számot a nyom keletkezésének időpontjáról.

Buborékkamra

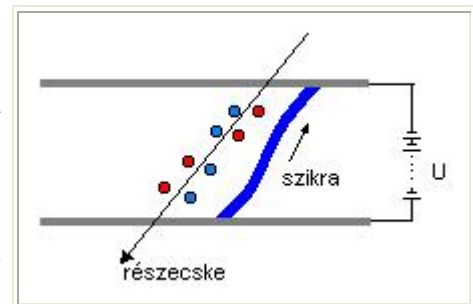
A buborékkamra olyan folyadékkal van töltve, amelyet normál nyomáson könnyű a forráspont fölé hevíteni. Amíg a kamra nem üzemel, a folyadék túlnyomás alatt van, így nem jöhet forrásba. Ha egy részecskenyomot kell regisztrálni a nyomást rövid időre hirtelen lecsökkentik. A forrás a részecskenyom mentén keletkezett ionoknál indul meg. A részecske áthaladása után a nyomást ismét növelik, hogy az egész térfogatra kiterjedő forrást megakadályozzák. A részecskenyom mentén keletkezett buborékokat lefényképezik. A buborékkamra előnye, hogy nagyszámú eseményt detektál és megfelelő mágneses tér alkalmazásával a részecskék impulzusa is meghatározható.



Buborékkamra felvétele

Szikrakamra

A szikrakamrák olyan elektromos detektorok, melyek segítségével a részecske pályája és áthaladásának ideje egyidejűleg mérhető. Ha két párhuzamos síklap közé elég nagy feszültséget kapcsolunk, a két lap közt szikra üt át. Ha a spontán szikrázáshoz szükségesnél valamivel kisebb feszültséget alkalmazunk és részecske halad át a lemezek között, a részecske után visszamaradt ionizált nyom kedvező helyzetet teremt a szikra kialakulásához. A szikrák a nyom mentén fognak átütni. Az áthaladás helyét vagy fényképkészítéssel, vagy elektronikus úton lehet megállapítani.



Szilárdtest-nyomdetektorok

Szilárd szigetelőkben (egykristályok, üvegszerű anyagok, szerves polimerek) a nehéz töltött részecskék áthaladása maradandó változásokat hoz létre. Ezek az elváltozások alkalmas módszerekkel (kémiai marás) mikroszkóppal láthatóvá tehetők.