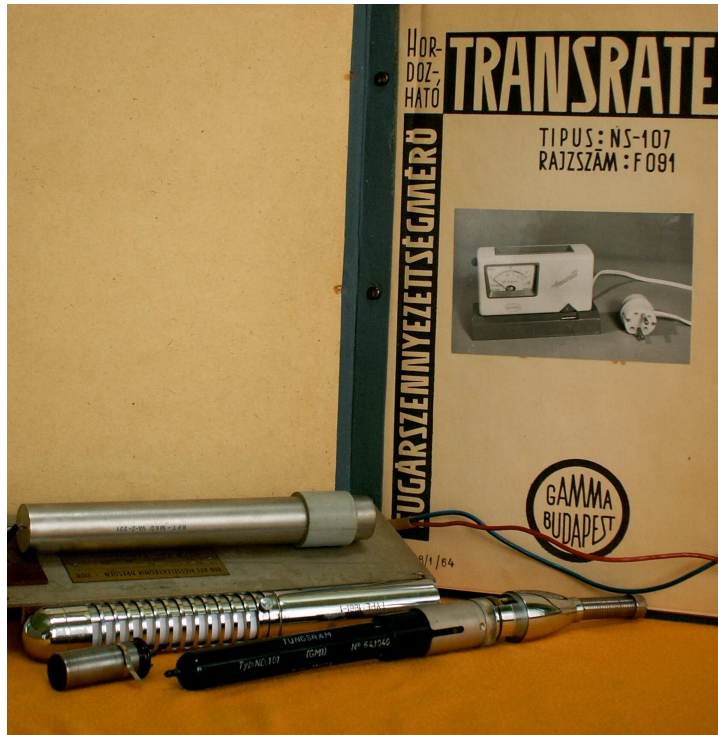


# A Geiger-Müller számlálócső és alkalmazásai

Engárd Ferenc okl.villamosmérnök - blackbox@engard.hu

A pár évtizeddel ezelőtti gyakorlattal ellentétben, mérőműszereink gépkönyveiben csak a legkritikább esetben szerepelnek a mérendő mennyiség alapvető jellegzetességei, a műszer működési elve, a mérés kivitelezésének módjai és korlátjai. Tapasztalom, hogy a háttértudás hiánya egyre több hibát és gondot okoz. Úgy vélem, hogy a kapcsolódó gyakorlati és elméleti háttérismeretek összefoglalása időszerű feladat.

## Ionizáló sugárzások mérése GM csővel



1. ábra

Az 1. ábrán általánosan használt Geiger-Müller számlálócsövek jellemző kivitelű példányai, a háttérben pedig a 30-40 évvel ezelőtt használt "TRANSRATE", a legnépszerűbb GM csöves kézi sugármérő gépkönyvének előlapja.

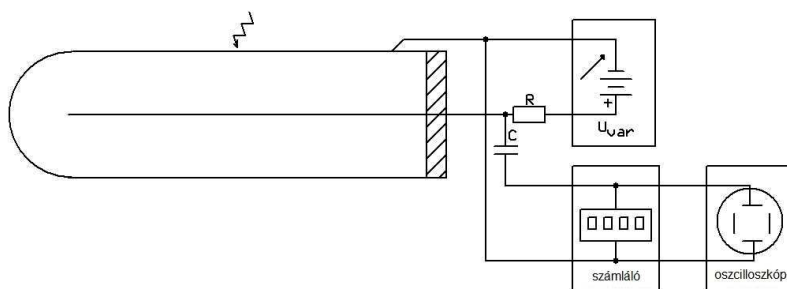
### Felépítés, ellenőrzés, főbb jellemzők:

A GM csövek a gáz-ionizációs detektorok családjába tartoznak és többnyire ionizáló ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) sugárzás intenzitásmérésére szolgálnak. Általában zárt koaxiális kivitelűek. Többségük néhányszor tíz milliméter átmérőjű és pár centiméter hosszú. Az anód rendszerint egy 0,1-0,2 mm átmérőjű fémszál, a katód pedig egy fémhenger. A két elektród egymástól jól elszigetelt. A csöveket általában 100-300 hPa nyomású, adalékolt argon gázzal töltik meg. Az "adalék" 10% körüli szerves gőz vagy halogén gőz.

A GM csövek felhasználás szempontjából szokásos felosztása:

- Vastagfalú (1. ábrán hátul) csak  $\gamma$  sugárzás mérésére)
- Végablakos (1. ábrán balra elöl,  $\alpha$ ,  $\beta$  és/vagy  $\gamma$  sugárzás mérésekhez)
- Univerzális (1. ábrán az elöl fekvő fekete,  $\beta$  és/vagy  $\gamma$  sugárzás mérésére. Mögötte látható a csillogó fém védőburkolat, amelynek oldalablakát egy beforgatható lemezzel elzárhatjuk. Nyitott ablakkal a cső  $\beta + \gamma$  sugárzást, zárt ablakkal pedig csak  $\gamma$  sugárzást tud érzékelni.)

Ha kezünkbe kerül egy ismeretlen cső, el kell tudnunk dönteni, hogy alkalmas e még mérésre vagy sem. Tipikus üzemi feszültségük 300 és 1500 V között várható. (Kisebb csövek 300-600 V, a régebbi gyártmányok és nagyobb csövek 1000-1800 voltal működnek.) A 2. ábrán láthatjuk a mérési összeállítást. Az "R" anódeenállás értékét 1~10 Mohm közötti értékre válasszuk. A "C" csatoló kondenzátor szokásos értéke 47~100 pF. Számlálóként alkalmazhatunk digitális frekvenciamérőt is. (A számlálónak negatív polaritású impulzusokat kell fogadnia, érzékenysége legyen legalább 50 mV és bemeneti ellenállása  $\geq 1$  Mohm.) A működőképesség megállapításához nem szükséges oszcilloszkóp, sőt még radioaktív sugárforrás sem. Persze egy néhány  $\mu\text{Ci}$  aktivitású zárt sugárforrással sokkal gyorsabb és egyszerűbb a mérés.

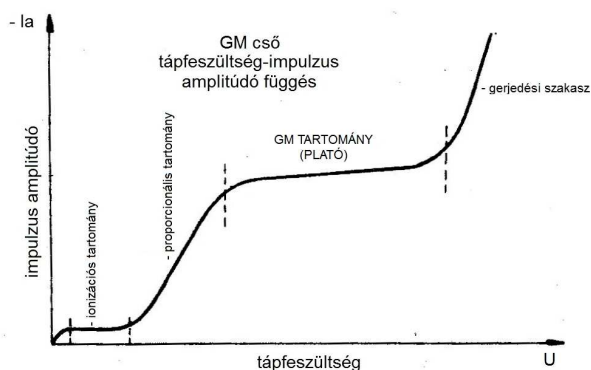


2. ábra

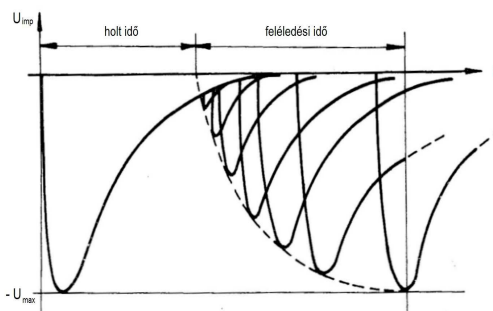
Használjunk például zárt, szabadforgalmi aktivitású  $^{60}\text{Co}_{27}$  (60-as tömegszámú, 27-es rendszámú<sup>1</sup> kobalt) radioaktív izotópot, amely egyidejűleg  $\beta$  és  $\gamma$  sugárzó. Oszcilloszkópunk legyen 10  $\mu\text{V}$  maximális érzékenységű, 1 MHz sávzélességű.

A tápfeszültséget nulláról 50 V-ra emelve, az oszcilloszkópon  $\mu\text{V}$ ~mV tartományban, gyors felfutású, eltérő amplitúdójú negatív impulzusokat látunk. Ahogy ezek az impulzusok egymásra rajzolódnak, a felső harmad táján egy fényes sáv lesz, azaz az amplitúdó eloszlásban van egy gyakorisági maximum. A sugárforrás - detektor távolság változtatásával és az oszcilloszkóp segítségével állítsunk be 50 ~ 100 impulzus/s értéket.

A tápfeszültséget 10 V-os lépésekben növelve, jó darabig változatlan marad a kép. Egy küszöb feszültség túllépése után azonban, az impulzus amplitúdó rohamosan növekedni kezd, de struktúrája alig módosul. Ez viszonylag kis tápfeszültség tartományon belül marad így. A feszültséget tovább növelve, egyszer csak kezd csökkenni az amplitúdó különbség, végül már csak azonos amplitúdójú, gyors fel- és lassú lefutású impulzusokat látunk. Ezeket már a számláló is méri. A tápfeszültséget tovább növelve, a következő párszáz voltos tartományban az időegység alatt mért impulzusszám alig változik a feszültséggel – ez a cső normál működési tartománya. Az amplitúdó több száz voltot is elérhet. (Csőtípus és munkaellenállás függvénye.) Tovább növelve a tápfeszültséget, megint elérünk egy küszöböt, amit átlépve, az impulzusszám rohamosan nőni kezd. Azonnal vegyük lejjebb a tápot, mert ebben az úgynevezett gerjedési tartományban a GM cső hamar tönkremegy.



3. ábra



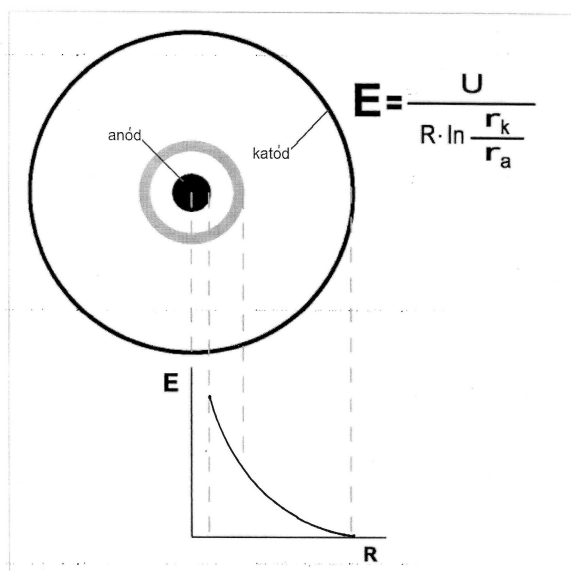
4. ábra

<sup>1</sup> A rendszámot is az elem jelének baloldalára szokás írni, de szövegszerkesztőm erre képtelen!

A teljes karakterisztika és az egyes tartományok elnevezése, valamint a GM tartomány jelalakjai a 3. és a 4. ábrán láthatók. A GM tartomány fontos adata a plató hossza V-ban és a meredekség %-ban. (A meredekség a 100 V tápfeszültség-változásra eső impulzusszám változás, a kisebb feszültségnél - azonos időtartam alatt mért - impulzusszám százalékában.) Az üzemi tápfeszültséget a plató közepére kell állítani. Ha a sugárforrást közelebb tesszük és körülbelül 1000 impulzus/s értéket állítunk be, valamint az oszcilloszkópot a maximális amplitúdó közelében indítjuk, a 4. ábrán bemutatott képhez hasonló tapasztalunk: a cső egy ideig nem produkál újabb impulzust és jelentős idő kell ahhoz, hogy a maximális közeli amplitúdó kialakuljon. Azt az időtartamot, amíg a cső inaktív, holt időnek, azt pedig, amely a holt időt követően a maximális amplitúdó kialakulásához szükséges, feléledési időnek nevezzük. A holt idő és a feléledési idő is tipikusan 100-100 µs körüli érték.

Amennyiben nincs izotópunk, amellyel a cső működőképességét ellenőrizzük, a természetes háttérsugárzásra kell hagyatkoznunk. Az általános körben használt GM csövek esetében ez 5~30 beütés/perc értékű. A radioaktív bomlás statisztikus jelenség, tehát a háttér érték ingadozni fog. Ahhoz, hogy karakterisztikát mérjünk, egy-egy ponthoz órák időtartamra lenne szükség. Ha ezt sokalljuk, elég a plató elejének (a számláló mutatni kezd) és végének (az impulzusszám hirtelen megugrik) megkeresése. Ehhez kétperces pontonkénti időtartam biztosan elég. Nem részletezem, az előzőek elegendő segítséget adnak. Ha a plató legalább 100 V széles, a cső mérésre alkalmas.

### A működés elvi alapjai:



**5. ábra**

U - az anód és katód közé kapcsolt tápfeszültség (az anód a pozitív elektród)

R - a cső tengelyvonalától mért radiális távolság

$r_k$  - a katódhenger belső sugarának a hossza

$r_a$  - az anódszál sugarának a hossza

Az 5. ábrán látható az elektromos térerősség (E) alakulása a GM csőben. A katódtól az anód felé haladva, a térerősség nemlineárisan növekszik. Az ionizáló sugárzás vagy közvetlenül a töltőgáz atomjaival kölcsönhatva hoz létre elektron-ion párokat, vagy a katód anyagát ionizálva, abból elektronokat lök a gáztérbe. A keletkezett szabad elektronok az anód felé haladnak, a pozitív ionok pedig a katód felé.

Amíg a cső tápfeszültsége alacsony, egyetlen elektron sem képes további elektron-ion pár keltésére, az anódra érkező elektronok által keltett áramimpulzus a kezdeti elektronokból alakul ki, azaz a GM cső ionizációs kamraként működik.

A tápfeszültséget tovább növelve, a kezdeti elektronok szert tehetnek akkora mozgási energiára, hogy újabb ionizációval, újabb elektronokat hozzanak létre, azaz a kezdeti elektronszám többszöröződik. Amint az a térerősség függvényből is kitűnik, az energia-növekedés elsősorban az anód körüli térben következik be. E

térfogat a cső egészéhez képest csekély, a primer elektron-ion párok többsége ezen kívül keletkezik. A GM cső ebben a tápfeszültség tartományban arányosan erősíti az áramimpulzusokat: proporcionális kamraként működik.

A tápfeszültséget még tovább növelve, az anód közelében már annyi elektron-ion pár jön létre, hogy valószínűvé válik a rekombináció. Amikor egy ionizált atom semlegessé válik (elektront fog be), fotonot bocsát ki. Ezek a fotonok ismét ionizálhatnak, illetve a katódból újabb elektronokat lökhetnek ki. A fotonok minden irányban terjednek, ezért a GM tartományban az anód egy pontján létrejövő gázkiszülés nagyon gyorsan a szál teljes hosszában szétterjed: elektron-ion lavina alakul ki, a cső "begyűjt". Az anódon nagy áramimpulzus jelenik meg. Természetesen a pozitív ionok száma is lavinaszerűen nő. Tekintve, hogy egy argon atom tömege majdnem öt nagyságrenddel nagyobb egy elektron tömegénél, a pozitív argon ionok az elektronokhoz képest csak cammognak. Egy pozitív ion-hengergyűrű (4. ábrán szürke körsáv) alakul ki az anód körül, amely egyre tágul, hiszen az ionok a katód felé mozognak. Az iongyűrű hatása olyan, mintha az anód sugara ( $r_a$ ) megnőne: az elektromos térerősség mértéke a szekunder ionizációhoz szükséges érték alá csökken. Ez a hatás okozza a "holt időt". Ahogy az iongyűrű tágul, úgy "hígul" is. Árnyékoló hatása csökken, az anódszál egyes szakaszainál ismét kialakulhat az elektron-ion lavina. Miután e lavinák nem terjedhetnek ki a szál teljes hosszára, az áramimpulzusok amplitúdója kisebb lesz. Ez a hatás okozza a "feléledési időt". A feléledési idő akkor telik le, amikor az iongyűrű eléri a katódot. Ha a GM cső csak argonnal lenne töltve, a katódra csapódó nagy energiájú argon ionok fotonokat és elektronokat keltenének, hamis impulzusok követnék egymást a végtelenségig. A hamis gázkiszületeket tehát szükséges kioltani.

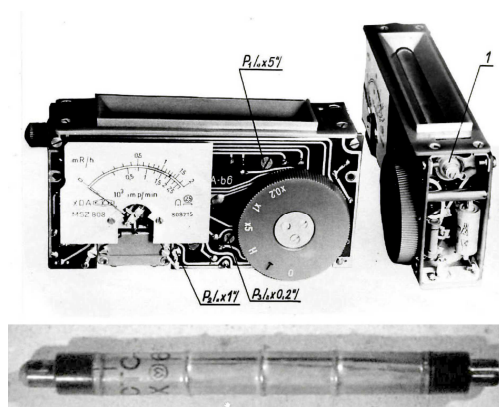
A kioltási mechanizmus alapja, hogy a "kioltó" gőzmolekula ionizációs energiája legyen kisebb, mint az argoné. (Egy példa: az argon ionizációs energiája 15,7 eV, az alkoholé pedig 11,5 eV) Ha egy argonion gőzmolekulával ütközik, a gőzmolekula lesz ionizált és a pozitív argon ion pedig semleges. A cél az, hogy a katódhoz már csak ionizált gőzmolekulák érkezenek, és mozgási energiájuk csak a szétesésükre (disszociációra), ne pedig elektron-, illetve foton-emisszióra fordítódjék. Számos gőz megfelel e célra, köztük az etilalkohol is.

A disszociáció miatt, a kioltógőz folyamatosan fogy: az alkoholgőzzel adalékolt GM csövek  $10^8 \sim 10^9$  impulzus után használhatatlanná válnak. Manapság szinte csak halogéngőz adalékolású csöveket készítenek, ezek várható élettartama - a szerves gőzzel töltött csövekhez képest - mintegy két nagyságrenddel nagyobb.

## GM csöves sugázmérők (hardware)

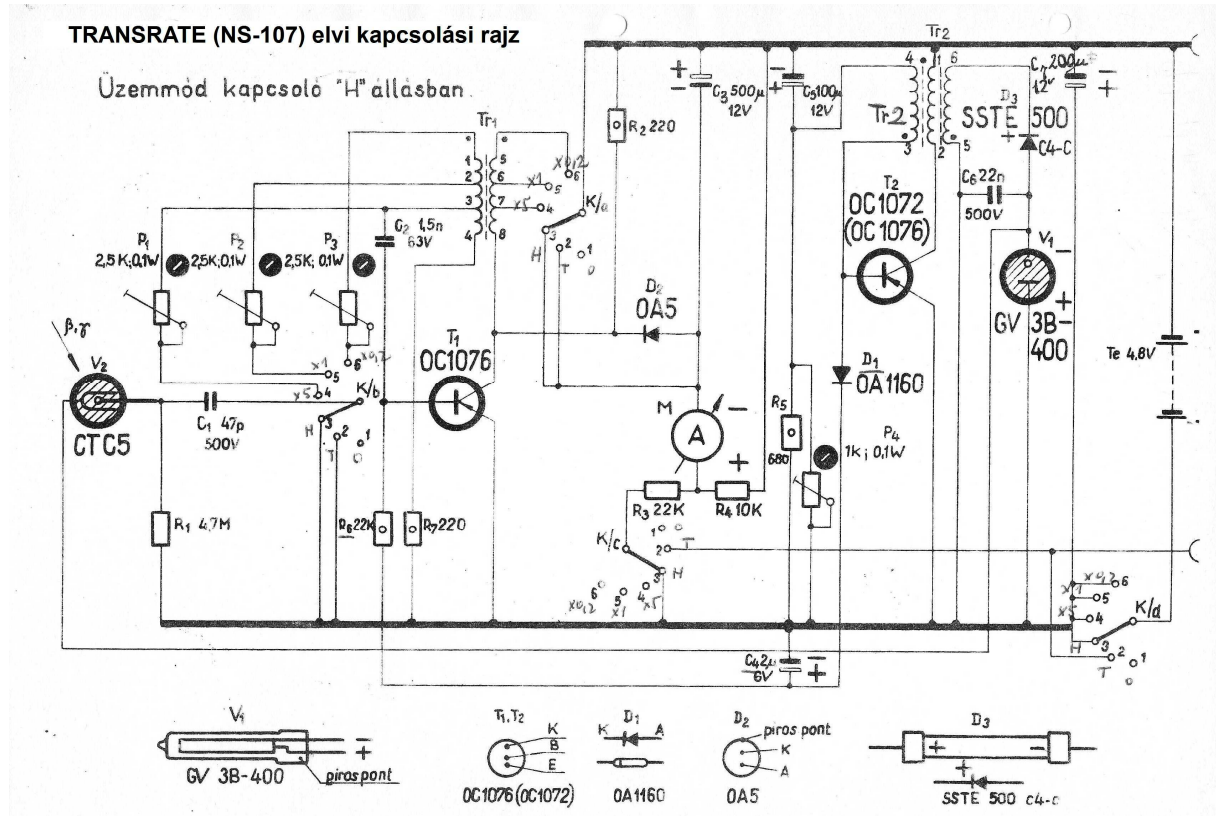
Céлом szerint, csak az alapvető áramköri és konstrukciós sémákat kívánom bemutatni. Ez legegyszerűbb egy régi gyári műszeren keresztül, amiben még minden jól látszik és szemügyre vehető. Ehhez a TRANSRATE gépkönyvét használtam. Akik GM csöves műszer építési leírására vágynak, azoknak a Rádiótechnika 1984. májusi számában megjelent Rózsa Sándor cikket ajánlom: "A Geiger-Müller számlálócső és alkalmazásai".

A "TRANSRATE" sugázmérőt a GAMMA Művek 1963-ban fejlesztette ki. Az 1. ábrán látszik az akkutöltőre helyezett, zsebrádió méretű kis műszer. Nem csak töltő járt hozzá, hanem egy bőrtok is. (Örökéletűnek tervezték: 1964-től, a BME Atomfizika Tanszékén hallgatói mérésekben folyamatosan használtuk ugyanazt a darabot. 1987-ben amikor eljöttem a Tanszékről, akkumulátor csere és javítás nélkül még mindig működött.) A kidobozolt műszer a 6. ábrán látható. A GM cső a műszeren belül, a felső részen helyezkedik el és a baloldali felső forgatógombbal egy sárgaréz takaró lemezzel (vastagsága  $670 \text{ mg/cm}^2$ ) leárnyékolható. Kijelzője egy  $250 \mu\text{A}$  érzékenyséű Deprez műszer. Az ábrán alul, a patronszerűen kiemelhető GM cső látszik.



6. ábra

A műszer kapcsolása (7. ábra) rendkívül egyszerű, és szellemesen megoldott:



A CTC-5 típusú GM cső univerzális típus és szovjet gyártmány.

Főbb jellemzői:

Mérete: Ø 12x113 mm, Üzemi feszültség: 400 V, Mérhető sugárzás:  $\beta$  és  $\gamma$ ,  $P_{max}(\gamma)$ : 300 mR/h

A TR1~T1 komplexum egy impulzus formálást végző blocking oszcillátor. A műszer a kimeneti átlagáramot mutatja. A műszer mR/h és  $10^3$  impulzus/min egységben skálázott. A GM cső 400 V-os tápfeszültségét a TR2~T2 oszcillátor szolgáltatja, melynek kimenő jele egyenirányítás és szűrés után, a V1 korona-stabilizátor csőre jut. A hatállású tárcsás kapcsoló három állása méréshatár váltásra (0,2x; 2x; 5x); (0,4-2-10 mR/h); (500-2500-12500 imp/min), "H" állása tápfeszültség ellenőrzésre, "T" állása az akkumulátorok töltésére és ellenőrzésre, a "O" állás pedig a műszer kikapcsolására szolgál. A mR/h skála csak beforgatott árnyékoló lemez és  $^{60}\text{Co}_{27}$  izotóp gamma sugárzásának mérésekor tekinthető hitelesnek.

Mérés közben a műszer áramfelvétele 5 mA, feltöltött akkumulátorral az üzemidő-tartam 24 óra.

A műszer mérési pontossága:  $\pm 20\%$

Működési hőmérséklettartomány: - 10 és + 50 °C között.

Súly: 460 g.

Mint láttuk, a GM cső digitális szenzor. A mért impulzusszámból csak akkor következtethetünk a kiváltó sugárzás jellemzőire, ha azok jellemzőit többé-kevésbé ismerjük:

## Magsugárzási alapismeretek GM csöves mérésekhez

### A radioaktív sugárzás elnyelődése:

Egy atommag radioaktív bomlásakor fellépő ionizáló sugárzás tipikusan háromféle lehet: alfa ( $\alpha$ ), béta ( $\beta$ ) és gamma ( $\gamma$ ).



Az **alfa sugárzás** hélium ( ${}^4\text{He}_2$ ) atommagokból áll: tömege az elektron tömegének kereken nyolcezerszerese, elektromos töltése az elektronénak kétszerese és pozitív. A bomló atommagra jellemző, diszkrét energiával keletkezik. A fékező anyagban az elektronokkal elektromos, az atomokkal pedig mechanikai kölcsönhatás is fellép. Nagyon rövid úthosszon lefékeződik, mozgási energiáját elveszti. Néhány centiméteres levegőrétegben, egy vékony cigarettapapírban, bőrünk felső rétegében teljesen elnyelődik. Kivételesen ritka eset, ha egy végablakos GM csővel detektáljuk. Alfa sugárzásakor az atommag rendszáma kettővel csökken.

A negatív **béta sugárzás** elektronokból áll. Az atommagok bomlásakor keletkező elektronok energiaspektruma folytonos eloszlást mutat a nulla mozgási energia és egy konkrét maximális energiaérték között. (A fékező anyagban az atomok elektronjaival és az atommag elektromos terével lép kölcsönhatásba. Viszonylag gyorsan lefékeződik és mozgási energiáját elveszti. Vékony alumínium fólián még jól áthatol, de a testünkbe egy-két centiméternél mélyebbre nem jut. Ha mérünk, jusson eszünkbe, hogy a nagyenergiájú elektronok ún. fékezési röntgensugárzást is képesek gerjeszteni (ezen alapszik a Röntgen cső).  $\beta^-$  bomlásakor a rendszám eggyel nő.

**Gamma sugárzásnak** azokat az elektromágneses hullámcsomagokat nevezzük, amelyek hullámhossza  $10^{-11}$  m-nél rövidebb. A kozmikus sugárzás is  $\gamma$  sugárzás. Számos atommag bomlásakor diszkrét energiájú  $\gamma$  fotonok (is) keletkeznek. E fotonok az anyagban haladva, többféle jellegű kölcsönhatásba is kerülhetnek az elektronokkal és az atommaggal. Se tömegük, se töltésük, sokkal messzebb eljuthatnak, mint egy azonos mozgási energiával rendelkező elektron ( $\beta$  részecske).  $\gamma$  sugárzás kilépése nem okoz rendszámváltozást

A  $\beta$  és  $\gamma$  sugárzás energiavesztése (elnyelődése) dominánsan a sugárzás energiájától, az anyag sűrűségétől és a megtett út hosszától függ. Kismértékben függ még az elnyelő anyag rendszámától, de ha 20-30 %-os mérési pontossággal megelégszünk, akkor a rendszám figyelmen kívül hagyható.

A  $\beta$  és  $\gamma$  sugárzás anyagban történő elnyelődését a következő formula írja le:

$$N = N_0 \cdot e^{-\mu' \cdot d}$$

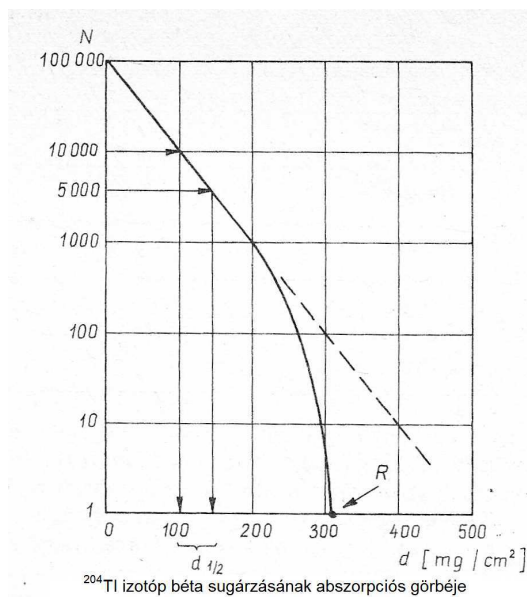
$N$  - abszorbens anyaggal időegység alatt mért beütésszám [db/min]

$N_0$  - abszorbens anyag nélkül időegység alatt mért beütésszám [db/min]

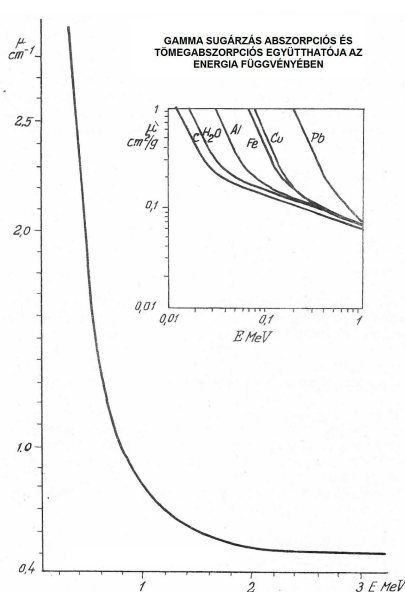
$\mu'$  - tömegabszorpciós együttható [ $\text{cm}^2/\text{g}$ ] (energiafüggő, a sugárzásra jellemző konstans)

$d$  - abszorbens anyag (nyalábra merőleges) felületi sűrűsége [ $\text{g}/\text{cm}^2$ ]

A fenti formula -  $\beta$  sugárzásra - csak az elektronokkal történő kölcsönhatás következtében fellépő elnyelődést írja le. Tekintve, hogy a magokon fékezési röntgensugárzás is fellép, a formula csak az abszorpciós görbe kezdeti szakaszán érvényes, az elnyelődés a valóságban nagyobb mértékű.



8. ábra



9. ábra

Minden méréshez kell nagyságrendi érzék. Ha ezzel nem rendelkezünk, még kirívó hibák esetén is (például amikor hibás műszerrel mérünk) elhisszük a mutatott értéket. Érdekes tehát tudnunk, hogy közel azonos energiájú  $\beta$  és  $\gamma$  részecskék áthatoló képessége milyen arányban áll egymással:

A 8. ábrán láthatjuk a  $^{204}\text{Tl}$  által kibocsátott  $\beta$  sugárzás elnyelődését. A sugárzás maximális energiája 764 keV. A felezési rétegvastagságot ( $N/N_0 = 0,5$ ) is feltüntettem. Ennek értéke  $40 \text{ mg/cm}^2$ . Fenti formulánkat d-re átrendezve és az  $N/N_0 = 0,5$  értéket behelyettesítve azt kapjuk, hogy  $d_{1/2} = \ln 2 / \mu'$ . A 9. ábrán megkeresve a 0,764 MeV  $\gamma$  energiához tartozó tömegabszorpciós együttható értékét,  $\mu' = 0,065$  értéket kapunk. Ezt behelyettesítve, az azonos energiájú  $\gamma$  sugárzás felezési rétegvastagsága  $\approx 10,7 \text{ g/cm}^2$  értéknek adódik. Summa summárum, esetünkben, a gamma sugárzás áthatoló képessége kereken 270-szerese a béta sugárzásénak.

A GM csővel azt a sugárzás hányadot detektáljuk, amely a csőn belül legalább egy elektron-ion párt kelt. Ha a  $\beta$  sugárzás a cső belsejébe jut, a kölcsönhatás sokkal valószínűbb, mint  $\gamma$  esetében. A gammasugárzás detektálási valószínűségét úgy növelik meg, hogy a cső falát viszonylag vastagra készítik és a falban lejátszódó  $\gamma \rightarrow \beta$  konverziókból a gázterbe jutó  $\beta$  részecske ionizál. Univerzális GM csövek esetén, a  $\beta$  sugárzás detektálási határfoka 50%,  $\gamma$  esetében pedig 1-2% körüli.

Sok esetben egészségünk védelme érdekében mérjük a radioaktivitást. A sugárzás mennyiségi és minőségi értékeléséhez ismernünk kell néhány radiológiai alapfogalmat!

### Radiológiai fogalmak és mértékegységek (GM csöves mérésekhez):

**Aktivitás:** a mért anyagmennyiségben, az időegység alatt elbomló atomok száma.

SI egysége:  $\text{s}^{-1}$  (Bq - Becquerel), még használatos egysége: Ci (Curie).  $\{1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}\}$

A radioaktív bomlás véletlenszerű és Poisson valószínűség-eloszlást követ. A számítások egyszerűsítése okán, tíznél nagyobb beütésszámok esetén, többnyire a Gauss féle normál eloszlással számolunk, ahol a várható szórás<sup>2</sup> értéke:

$$\sigma = \sqrt{\bar{N}}$$

$\bar{N}$  – beütésszám átlaga

A valószínűség-eloszlás függvényből kiszámítható, mekkora valószínűséggel fogunk kapni az  $\bar{N}$  környezetébe eső mérési eredményt. Az alábbi táblázat annak valószínűségét mutatja, hogy mérési eredményünk mekkora valószínűséggel korrekt.

<b>n</b>	<b>Annak valószínűsége %-ban, hogy mérési eredményünk az (<math>\bar{N} \pm n\sigma</math>) értéktartományon belülre essen</b>
1	50
2	95,45
3	99,73
4	99,99
5	99,9999

Ha méréseink szórása ettől lényegesen eltérő, akkor valahol hiba van!

### Bomlásállandó, felezési idő:

A bomlás miatt fogy a radioaktív magok száma, az aktivitás exponenciálisan csökken:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Ahol:

$N(t)$  - radioaktív magok darabszáma a  $t$  időpillanatban

$N_0$  - radioaktív magok száma a nulladik pillanatban

$\lambda$  - bomlásállandó

$t$  - eltelt időtartam

<sup>2</sup> Angolul standard deviancia, gyakran "SD"-vel jelölik.

A fenti formulából könnyen kiszámolható az az időtartam, amely alatt az aktív magok száma a felére csökken. Ezt az időtartamot nevezzük felezési időnek

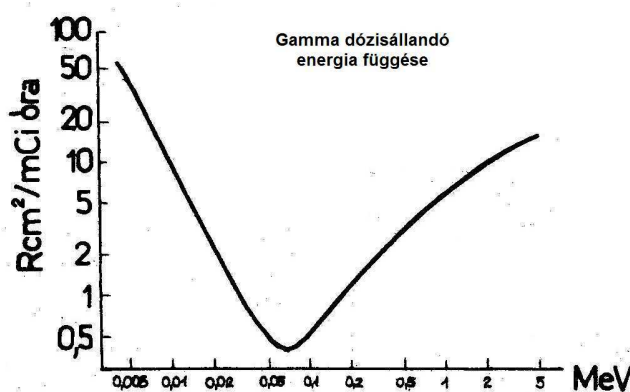
$$t_{1/2} = 0,693/\lambda$$

**Besugárzási dózis:** (Csak Röntgen és gamma sugárzásra értelmezhető.) SI egysége nincs.

Egysége a Röntgen (R) : egy cm<sup>3</sup> normálállapotú levegőben egy elektrosztatikus töltésegységnyi pozitív, illetve negatív iont egy Röntgen energiamennyiség termel. (Egy Röntgen besugárzás egy gramm levegőben 1,61•10<sup>12</sup> ionpárt hoz létre.)

Egészségkárosítást alapvetően a sugárzás testszövetben létrehozott ionizációja okoz: ezért használatos régóta az R egység. Nem véletlen, hogy levegő volt az ionizációs alapanyag. Remekül lehet mérni levegős ionizációs kamrákkal. Ráadásul testszövetünk fajlagos rendszáma és a levegő fajlagos rendszáma közel azonos. Azonos rendszám esetén, a térfogat-egységre vonatkoztatott ionizáció a fajsúllyal arányos.

**Dózisállandó:** Gamma sugárzó izotópok esetében, az egységnyi gamma aktivitású pontforrástól, egységnyi távolságban fellépő dózisintenzitás. Energiafüggő mennyiség, a függvényt a 10. ábrán láthatjuk:



10. ábra

**Elnyelt sugárdózis:** azzal az energiamennyiséggel egyenlő, amelyet a sugárzás egységnyi tömegű anyagban, ionizáció révén okoz.

SI egysége: J/kg (Gy - Gray), még használatos egysége a rad. {1Gy = 100 rad}

(Jó tudni, hogy vízre, illetve lágy testszövetre vonatkoztatva 1 rad ≈ 1 R)

**Sugárdózis-egyenérték:** Az egyes sugárzástípusok károsító hatására, valamint az egyes biológiai szövetfajták károsodására jellemző mértékegység.

SI egysége J/kg(Sv - Sievert)

$$H = Q \cdot N \cdot D$$

Ahol:

H - sugárdózis-egyenérték

Q - sugárzás fajtára jellemző súlytényező (dimenziótlan szám)

N - biológiai szövetfajtára jellemző súlytényező (dimenziótlan szám)

D - elnyelt sugárdózis Gray-ben

A sugárzás fajtájára jellemző súlytényezőket az 1. táblázat, a biológiai szövetfajtákra jellemző súlytényezőket pedig a 2. táblázat mutatja be.

Sugárzás	Súlytényező Q
Gamma, röntgen, elektron (β-), pozitron (β+), müon	1
Proton	2
Neutron E < 10 keV vagy E > 20 MeV	5
Neutron E = (10 ~ 100 keV) vagy E = (2 ~ 20 MeV)	10
Neutron E = (100 ~ 2 MeV)	20
Alfa részecskék, maghasadási töredékek, nem relativisztikus nehéz magok	20

1. táblázat



Szövet típus	Súlytényező N
Csonthártya, bőr	0,01
Hólyag, mell, máj, nyelőcső, pajzsmirigy, egyéb	0,05
Csontvelő, vastagbél, tüdő, gyomor	0,12
Ivarmirigyek	0,20

## 2. táblázat

Radioaktív bomlás során többféle sugárzás is felléphet. A  $\beta^-$  és  $\gamma$  sugárzókra nézzünk meg néhány jellegzetes példát. Az izotópok adatait számos kézikönyv és internetes forrás tartalmazza. Az érdeklődők számára különösen ajánlom a [ie.lbl.gov/toi/](http://ie.lbl.gov/toi/) címen elérhető weboldalt.

### Néhány izotóp főbb jellemzői:

#### $^{60}\text{Co}_{27}$ (Kobalt 60)

Felezési idő ( $t_{1/2}$ ): 5,27 év

$\beta^-$  sugárzás max. energia (MeV) és bomlásonkénti gyakoriság ( $\delta$ ): 0,312MeV ~100%  
1,478MeV ~0,01%

$\gamma$  sugárzás energia (MeV) és bomlásonkénti gyakoriság ( $\delta$ ): 1,173MeV ~100%  
1,333MeV 100%

Besugárzási  $\gamma$  dózisteljesítmény ( $\Gamma$ ): 12,93 R·cm<sup>2</sup> / h·mC

#### $^{131}\text{I}_{53}$ (Jód 131)

Felezési idő ( $t_{1/2}$ ): 8,08 nap

$\beta^-$  sugárzás max. energia (MeV) és bomlásonkénti gyakoriság ( $\delta$ ): 0,250MeV 2,8%  
0,335MeV 9,3%  
0,608MeV 87,2%  
0,312MeV 0,7%

$\gamma$  sugárzás energia (MeV) és bomlásonkénti gyakoriság ( $\delta$ ): 0,080MeV 0,7%  
0,284MeV 5,0%  
0,364MeV 78,4%  
0,637MeV 9,0%  
0,722MeV 3,0%

Besugárzási  $\gamma$  dózisteljesítmény ( $\Gamma$ ): 2,15 R·cm<sup>2</sup> / h·mC

Leányelem:  $^{131\text{m}}\text{Xe}_{54}$  (gerjesztett állapotú Xenon 131) (alacsony energiájú gamma fotonok)

Felezési idő ( $t_{1/2}$ ): 2,3 nap

Besugárzási  $\gamma$  dózisteljesítmény ( $\Gamma$ ): 0,02 R·cm<sup>2</sup> / h·mC

#### $^{137}\text{Cs}_{55}$ (Cézium 137)

Felezési idő ( $t_{1/2}$ ): 26,6 év

$\beta^-$  sugárzás max. energia (MeV) és bomlásonkénti gyakoriság ( $\delta$ ): 0,514MeV 92,4%  
1,18 MeV 7,6%

Leányelem:  $^{137\text{m}}\text{Ba}_{56}$  (gerjesztett állapotú Bárium 137)

Felezési idő ( $t_{1/2}$ ): 2,6 perc

$\gamma$  sugárzás energia (MeV) és bomlásonkénti gyakoriság( $\delta$ ): 0,661MeV 98,2%

Besugárzási  $\gamma$  dózisteljesítmény ( $\Gamma$ ): 3,34 R·cm<sup>2</sup> / h·mC

A Kobalt 60 és a Cézium 137 a leggyakrabban használt  $\gamma$  sugárforrás.  
Jód 131 izotópot a gyógyászati diagnosztikában gyakran használnak.  
Nukleáris reaktorbalesetek következtében jelentős mennyiségű jód és cézium izotóp (mindkettő az urán hasadási termékei közé tartozik) kerülhet a környezetbe. Háttér-, illetve sugárszennyezettség mérés esetén a valószínű szennyező anyagok tulajdonságait a méréseknél illik figyelembe venni.

### Tipikus GM csöves mérések:

#### - Sugárzási háttér-mérés:

Egy GM csöves műszerrel érdemben semmit sem tudunk mondani a keverten detektált  $\beta$  és  $\gamma$  sugárzás energiájáról és arányáról. Tekintve, hogy a háttérsugárzás okozta percnkénti beütésszám mindössze néhány darab, a maximális érzékenységre törekszünk. Nyitott árnyékoló ablak beállítással szokás mérni és a percnkénti beütésszámból óras átlagértékeket célszerű számítani. Ne feledjük, hogy a bomlás statisztikus jellege miatt, kis beütésszámnál a várható szórás relatív értéke nagy!

Ha a mért sugárzás többszörösen meghaladja az átlagos háttérértéket, elsősorban arra kell ügyelnünk, hogy elkerüljük az inkontaminációt (a sugárzó anyagok szervezetünkbe jutását). A veszélyes anyagok elsősorban a belélegzett porral, szennyezett étellel vagy itallal kerülhetnek a szervezetünkbe. Az a legjobb, ha azt tesszük, amit régen pestisjárvány esetén tanácsoltak: "Messzire fuss és soká maradj!"

#### - Dózisteljesítmény mérés:

Mindig zárt árnyékoló-ablakkal mérjük! Minden GM csöves kézi dózismérőre megadják a dózisteljesítmény skála kalibrálásához használt  $\gamma$  sugárzó izotóp típusát. A TRANSRATE esetében a mR/h skála KOBALT 60 izotóp gamma sugárzásának mérésekor érvényes. Nézzük meg a Kobalt 60 adatait: láthatjuk, hogy egy atommag bomláshoz két gamma foton kilépése tartozik. A Kobalt 60-hoz tartozó  $\Gamma = 12,93 \text{ R}\cdot\text{cm}^2 / \text{h}\cdot\text{mC}$  érték tehát két gamma foton egyidejű kilépéséhez tartozik. A  $\gamma$  aktivitás tehát éppen a fele az atommag bomlási aktivitásnak, azaz a **Kobalt 60  $\gamma$  sugárzásának dózisállandója** =  $12,93 / 2 = 6,465 \text{ R}\cdot\text{cm}^2 / \text{h}\cdot\text{mC}$

A 10. ábrán látható az energia - dózisállandó függvény: közelítőleg azt mondhatjuk, hogy 0,1 MeV feletti  $\gamma$  sugárzás esetében a dózisállandó egyenesen arányos az energiával. Ha ismert számunkra a mért gammasugárzás energiájának gyakoriság-eloszlás függvénye, az egyes energiavonalakra meghatározhatjuk a dózisállandót. Az így meghatározott dózisállandókat a gyakoriság súlyával megszorozva és összegezve, megkapjuk a sugárzás átlagos dózisállandóját és ezt hasonlítjuk a Kobalt 60  $\gamma$  sugárzás dózisállandójához.

Ha nem ismerjük a gamma sugárzás jellemzőit, két különböző, ismert felületi sűrűségű árnyékolást alkalmazva mérjük meg a beütésszámokat és az

$$N = N_0 \cdot e^{-\mu' \cdot d}$$

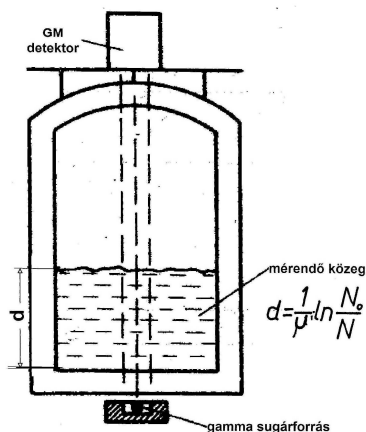
formulát alkalmazva, számítsuk ki  $\mu'$  értékét. Ennek ismeretében meghatározhatjuk az átlagos  $\gamma$  energiát és az ehhez tartozó dózisállandót (9. és 10. ábra).

#### - Néhány ipari alkalmazás:

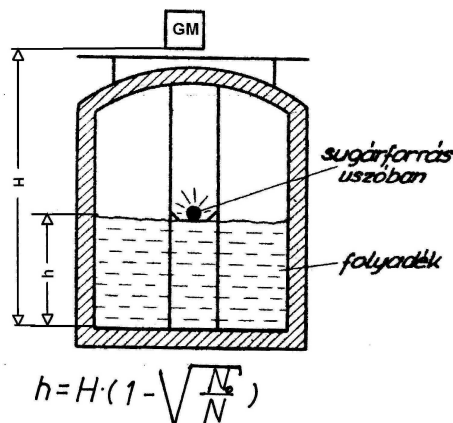
Az ipari alkalmazások általában a sugárzás intenzitásváltozásának mérésén keresztül határozzák meg a mérendő mennyiség értékét.

Jellegzetes alkalmazás a tűz- és robbanásveszélyes anyagok, erős savak és lúgok, esetleg magas hőmérsékletű olvadékok tartályainak szint-mérése. Két módszer használatos:

- Amennyiben a tartályban lévő anyag sűrűsége állandó, a sugárforrás és a detektor a tartályon kívül helyezhető el (11.a. ábra) és a mérendő anyag szintje egyenesen arányos lesz a mért felületi rétegvastagsággal.
- Ha a sűrűség változik, a sugárforrást egy úszóra helyezve (11.b ábra) azt használjuk ki, hogy a sugárzás intenzitása a sugárforrás és a detektor távolságának négyzetével fordítottan arányos

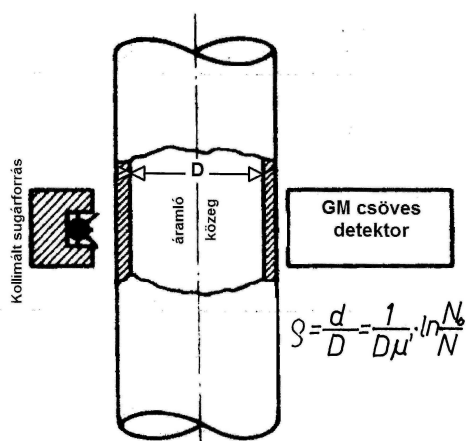


11 a. ábra



11 b. ábra

Folyamatos sűrűségmérés: elsősorban inhomogén áramló anyagok, például csővezetéken továbbított zagy (víz, homok és kavics keverék) sűrűségét folyamatosan mérhetjük gamma-izotópos módszerrel (12 a. ábra). Nagy folyóparti építkezéseknél gyakori, hogy a szükséges homokot és kavicsot nem távolról hozzák, hanem a folyóból kotróhajókkal, zagy formában emelik ki. (12 b. ábra) Az áramlási sebesség és a sűrűség folyamatos mérésével a kitermelt szárazanyag tömege meghatározható. Néhány hét alatt a kitermelt zagyból a víz elszivárog és a sóder felhasználható.



12 a. ábra



12 b. ábra

Az izotópos sűrűségmérés széleskörűen elterjedt módszer: például sok automata cigarettatöltő gépen ilyen módon ellenőrzik a hüvely megfelelő töltöttségét. Ehhez persze nem gammasugárzó, hanem lágy béta-sugárzó izotópot, detektorként pedig végeablakos GM csövet használnak.

Felhasznált irodalom:

- Gyönyör Béla: Nukleáris technika (BME Villamosmérnöki Kar jegyzet) Tankönyvkiadó 1975.
- Dési Sándor: Nukleáris detektorok (Országos Atomenergia Bizottság, Nukleáris Elektronika Szakmérnöki Tagozat jegyzet) Tankönyvkiadó 1966.
- Pacher Pál és társai: Atomfizika mérések (BME Villamosmérnöki Kar jegyzet) Tankönyvkiadó 1976.
- Haidekker Tamás: TRANSRATE (NS-107) sugárszennyezettség-mérő műszerkönyve GAMMA 1964.
- Lengyel – Jász: Izotóplaboratóriumi zsebkönyv Műszaki Könyvkiadó 1966.
- Deme Sándor: A sugárvédelem alapjai és mérőműszerei (Országos Atomenergia Bizottság Nukleáris Elektronikai Szakmérnöki Tagozat jegyzet) Tankönyvkiadó 1966.
- Magkémiai és izotóptechnikai gyakorlatok (BME Vegyészmérnöki Kar jegyzet) Tankönyvkiadó 1973.

- Dr. Kovács István Az izotóptechnika – fizikai alapok (BME Villamosmérnöki Kar jegyzet) Tankönyvkiadó 1966.
- Csengeri Pintér Péter: Mennyiségek – Mértékegységek – Számok SI Műszaki Könyvkiadó 1981.
- Jánossy Lajos és társai: ATOMMAGLEXIKON Akadémiai Kiadó 1963.