

## GM-CSŐ KARAKTERISZTIKÁJÁNAK VIZSGÁLATA, HOLTIDEJÉNEK MEGHATÁROZÁSA KÉTPREPARÁTUMOS MÓDSZERREL

A GM-cső a legelterjedtebben használt gázionizációs detektor az  $\alpha$ -,  $\beta$ - és  $\gamma$ -sugárzás mérésére. A gáz-ionizációs detektoroknak három típusát különböztetjük meg: az ionizációs kamrát, a proporcionális számlálót és a Geiger-Müller féle számláló csövet. A nemvezető gázt a radioaktív sugárzás ionizálja és ezáltal elektromosan vezetővé teszi. A detektorban kialakuló áramot nagymértékben befolyásolja a kamrában alkalmazott térerő. Túl kicsi térerőnél, ahol az elektron és az ion kicsi sebességgel mozog az elektróda felé, még egy részük rekombinálódni (semlegesítődni) is képes. Egy adott térerő tartományban minden keletkezett ion eljut a megfelelő elektródhoz, az áram független lesz a térerőtől – ezt nevezzük ionizációs kamra tartománynak. Az áram az ionizáló sugárzás intenzitásán kívül itt függ a sugárzás fajtájától és energiájától is.

A térerő további növelésével az ionok, elektronok olyan energiára gyorsulnak fel, hogy azok újabb ionizációt idéznek elő, a cső mintegy erősítő működik. Az áram a radioaktív részecskék intenzitása mellett arányos lesz a részecskék energiájával is. Ezt a térerő tartományt nevezzük a proporcionális számláló tartománynak. Ebben a tartományban már egyenként lehet számolni a detektort ért sugár-részecskéket, illetve az áramimpulzus nagyságából következtethetünk a részecske energiájára, a részecske fajtájára.

A gáz-ionizációs detektorok akkor kerülnek az úgynevezett GM-tartományba, amikor a csőben olyan nagyra válik a térerő, hogy a molekulák szabad úthosszán belül az elsődleges ionizáció során képződött elektronok az adott gáz ionizációs energiáját meghaladó energiára gyorsulnak fel. A gázmolekulák szabad úthosszára vonatkozó kifejezést:

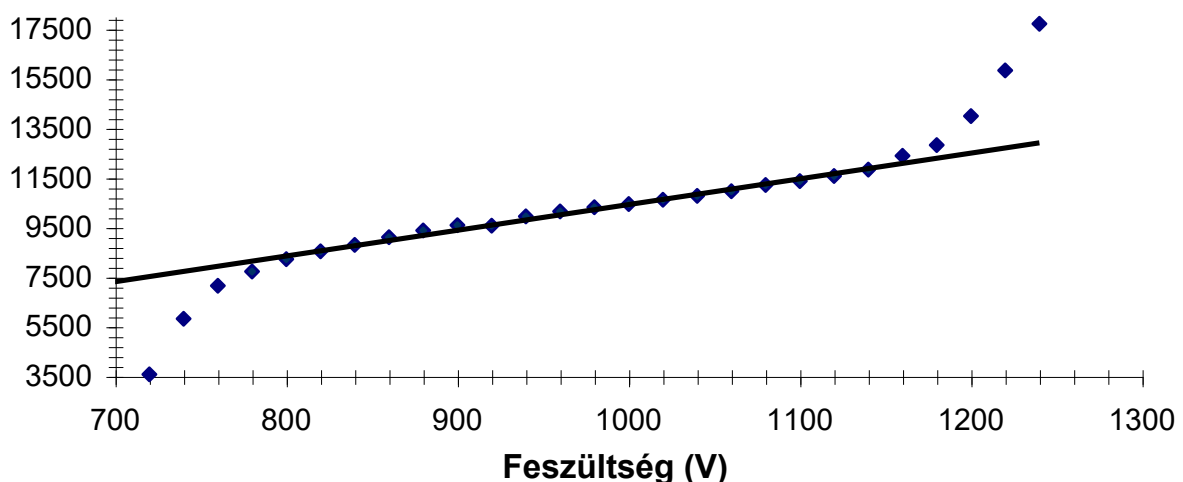
$$\lambda_k = \frac{RT}{\sqrt{2}d^2 N_A p} \quad (1)$$

,ahol  $d$  a molekula átmérője,  $p$  a gáz nyomása,  $N_A$  az Avogadro féle szám figyelembe véve 0,1 MPa nyomású argonban  $10^4$  V/cm térerő szükséges az ionlavina kialakulásához. A gyakorlatban kisebb nyomású töltőgázt használnak, s így 1000 V/cm körüli feszültségesésnél fog működni a cső. A sorozatos másodlagos ionizációk

miatt a gáztér egészére kiterjed az ionizáció, és így nagy áramimpulzus keletkezik. Az áramimpulzus nagysága nem függ sem az ionizáló részecske fajtájától, sem annak energiájától. Ezen nagy impulzus következménye, hogy a csőben a térerő lecsökken a GM-tartomány alatti értékre, ami nem elégséges az ionlavina fenntartásához és újabb részecske által kiváltott ionizáció erősítésére sem. A GM-cső  $M\Omega$  nagyságrendű ellenálláson keresztül kapja a tápfeszültséget, s ez késlelteti a normális üzemi feszültség visszaállítását. Azt az időt, amely alatt a cső eléri az eredeti feszültséget regenerálódási időnek nevezzük ( $\approx 450 \mu\text{s}$ ). A cső már a regenerálódási idő letelte előtt valamennyivel már ad áramimpulzust, de kisebbet. A mérő berendezés ezeket a kisebb impulzusokat is képes észlelni. Azt az időt, ami ahhoz szükséges, hogy az első ionlavina után a következő ionizáló részecske észlelhető nagyságú jelet szolgáltatson, holtidőnek nevezzük. Nagysága  $100 \mu\text{s}$  körüli az adott GM-csőre jellemző érték, ismerete nagyon fontos, mivel ez szabja meg az elérhető maximális számlálási sebességet. Igényesebb munkánál és nagyobb számlálási sebességeknél a kapott eredményt a holtidő miatti veszteséggel korrigálni kell.

A GM-cső üzemi feszültségét a karakterisztika méréssel határozzuk meg, azaz egy adott radioaktív preparátum számlálási sebességét megmérjük a csőre adott különböző feszültségnél. A számlálási sebesség (egyszerűbben maga a mérési idő alatt regisztrált beütések száma) a feszültség függvényében ábrázolva adja a cső karakterisztikáját.

**I ( cpm )**



Egy GM-cső karakterisztikája.

Mint az ábrából látható 800 és 1140 V között helyezkedik el egy lineárisan emelkedő szakasz, ezt nevezzük platónak. Hossza esetünkben 320 V. A munkafeszültséget a plató első 1/3-ába célszerű megválasztani, azaz  $670+(200/3)=740$  V (kerekítve). A plató meredeksége is jellemző a cső minőségére. A meredekséget ebben az esetben nem abszolút értékben (cpm/V) adjuk meg, hanem relatív egységben: %/100V-ban. Esetünkben ez a következő lesz:

$$\text{meredekség} = \frac{I_{870} - I_{670}}{200I_{670}} * 100 * 100 = 8,15 \text{ \%/100 V.}$$

A meredekség 5 –15 %/100 V között szokott lenni, az alacsonyabb (400-900 V) munkapontú halogén-gáz töltésű csövekben nagyobb, míg a szerves kioltó adalékot tartalmazó nemesgázokkal töltött csöveknél kisebb. A plató hossza fordítva változik, a halogénes csöveké rövidebb (100-200 V). A sokat használt csöveknél a plató hossza rövidül, a meredekség nő. Egy cső általában  $10^8$ - $10^9$  impulzus regisztrálására képes, ennyi az élettartama. Vigyázat a cső akkor is dolgozik, amikor az impulzusok számlálása éppen nem működik! **A karakterisztika kimérése után a nagyfeszültséget csökkentsük le, akár a preparátumot is vegyük ki a számláló cső alól annak kímélése céljából!**

#### *Karakterisztika felvétele*

Ismerkedjen meg a számláló-berendezés kezelőszerveivel! Keresse meg a nagyfeszültség állítására szolgáló potenciométert! Ez általában 10 fordulatot tartalmazó potenciométer, egy kis ablakban az egész fordulatot, a tárcsán a 1/100 fordulatot olvashatja le. A legtöbb berendezésen ezzel a potenciométerrel 0 – 2000 V között állíthatja a feszültséget úgy, hogy például az 5,00 érték 1000 V-ot jelent! Keresse meg a mérési idő beállítására szolgáló kapcsoló(ka)t. Állítsa be a kívánt mérési időt – 1-10 percet. A készülék jel nagyság analizátorát (diszkriminátort) állítsuk integrális üzemmódra és a vágási szintet minimum 0,5 V-ra vegyük az elektronikus zaj kiszűrése céljából.

A radioaktív mintát helyezze be a GM-cső alá a védő toronyba, a magasságot úgy kell megválasztani, hogy a mért számlálási sebesség 10000 és 20000 impulzus/perc között legyen a GM-cső munkapontján.

A Laboratóriumban az a szokás, hogy minden mérőberendezést az optimális üzemi paraméterekre állítva hagyunk ott. Így a gyakorlat elején jól tudja ellenőrizni a minta helyes magasságát.

A karakterisztika felvételéhez a nagyfeszültséget csökkentse olyan kicsire, ahol a számlálás már megszűnik, és erről az értékről növelje akkorára, hogy már éppen számláljon a műszer, de 10 Voltra kerek érték legyen. Egy-egy feszültségen háromszor mérje meg a számlálási sebességet. Majd növelje a feszültséget 20 – 40 V-tal, és ismét mérjen három párhuzamosat. A feszültség növelés lépését úgy célszerű megválasztani, hogy 15 –20 pont megadja a teljes karakterisztikát. Ha nagy lépéseket választ, nem lesz szép a görbéje, ha túl kicsiket, akkor a mérése fog túl hosszúvá nyúlni. A feszültség növelését addig kell folytatni, míg a platóban tapasztalható viszonylag egyenletes növekedés után egy gyorsabb növekedést mutató szakaszhoz nem ér. Ebben a tartományban nem szabad sokáig folytatni a feszültség növelését, mert ez nagyon árt a GM-csőnek, élettartamát jelentősen csökkenti. Ha úgy dönt, hogy a karakterisztika felvételét befejezte, a nagyfeszültséget állítsa kisebbre, a becsült munkapont körülire, s az adatok feldolgozásának, a görbe megrajzolásának idejére a preparátumot vegye ki a toronyból!

A számlálási sebességek átlagait ábrázolja a csőre adott feszültség függvényében. Állapítsa meg a plató hosszát, a munkapont feszültségét és a plató meredekségét. Értékelje a cső minőségét, elhasználtságát!

### *A holtidő meghatározása*

Ha egységnyi idő alatt  $I$  a mért számlálási sebesség, s minden impulzus után  $\tau$  ideig észlelésre képtelen állapotban volt a GM-cső, akkor  $I\tau$  ideig nem működött a cső, illetve a mérés valós ideje  $1-\tau I$  volt. Ezért a valós  $I^*$  számlálási sebesség:

$$I^* = \frac{I}{1 - I\tau} . \quad (2)$$

A feloldási vagy holtidőt leggyakrabban az úgynevezett kétpreparátumos módszerrel határozzák meg. Olyan speciális preparátum tartót és preparátumot választanak a méréshez, amelyek biztosítják, hogy a preparátumok jól

reprodukálható módon legyenek elhelyezhetőek a mérőberendezésben. Meg kell mérni a háttér, az egyik és a másik, illetve a két preparátum együttes számlálási sebességét ( $I_h, I_1, I_2, I_{1,2}$ ). A preparátumok számlálási sebességén itt a preparátum és a háttér együttes számlálási sebességét kell érteni, ellentétben a szokásos szóhasználattal, amikor egy preparátum számlálási-sebességén a háttérrel korrigált értéket értjük. A holtidő okozta veszteség miatt az  $I_1 + I_2 = I_{1,2} + I_h$  egyenlőség nem áll fent. A holtidőre korrigált számlálási sebességekre igaznak kell lennie az előbbihez hasonló egyenlőségnek:

$$I_1^* + I_2^* = I_{1,2}^* + I_h^* . \quad (3)$$

Helyettesítsük be a fenti kifejezésbe minden tagra a (2) korrekciós formulát:

$$\frac{I_1}{1 - \tau I_1} + \frac{I_2}{1 - \tau I_2} = \frac{I_{1,2}}{1 - \tau I_{1,2}} + \frac{I_h}{1 - \tau I_h} . \quad (4)$$

A (4) egyenletből  $\tau$  kifejezhető, de eléggé bonyolult képletet ad. Ha kicsi a számlálási sebesség, azaz a korrekció csak 1-2%, a nagyobb hatványon szereplő tagok elhanyagolásával az alábbi közelítő formulát kapjuk:

$$\tau = \frac{I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_h}{I_{1,2}^2 + I_1^2 + I_2^2} . \quad (5)$$

Az elhanyagolás nélküli pontos megoldás a következő:

$$\tau = \frac{I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_h}{2(I_1 - I_h)(I_2 - I_h)} \left[ 1 + \frac{I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_h}{4(I_1 - I_h)(I_2 - I_h)} (I_{1,2} - 3I_h) \right] . \quad (6)$$

A számolást egyszerűsítheti, ha a számlálóban szereplő kifejezést és a nevezőben szereplő különbségek szorzatát új változóknak veszi.

A mai nemzetközi gyakorlat megkívánja, hogy egy kísérletileg meghatározott mennyiségnek a hibáját is megadjuk. Egy számlálási sebesség hibáját a mért ismételt adatok alapján statisztikai módszerrel számíthatjuk. Az ismételt mérésekből a mérés szórása:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\bar{I} - I_j)^2}{n}} . \quad (7)$$

Az átlag hibája pedig:  $\Delta I_i = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ . A  $\sigma$  értékét legegyszerűbben a zsebszámoló statisztikus programjával lehet kiszámítani. Ezek általában kétféle szórást adnak,  $s$  és  $\sigma$  jelöléssel, melyek csak abban különböznek, hogy a négyzetgyök alatt  $n-1$ , illetve  $n$  szerepel osztóként.

A hibával terhelt adatokból számolással kapott holtidő hibája a részeredmények hibájából számolható. A holtidő hibája a következő kifejezéssel kapható meg:

$$\Delta \tau = \left| \frac{I_{1,2}^2 - I_1^2 - I_2^2 + (I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_h)2I_1}{(I_{1,2}^2 - I_1^2 - I_2^2)^2} \right| \Delta I_1 + \left| \frac{I_{1,2}^2 - I_1^2 - I_2^2 + (I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_h)2I_2}{(I_{1,2}^2 - I_1^2 - I_2^2)^2} \right| \Delta I_2 +$$

$$+ \left| \frac{-(I_{1,2}^2 - I_1^2 - I_2^2) - (I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_h)2I_{1,2}}{(I_{1,2}^2 - I_1^2 - I_2^2)^2} \right| \Delta I_{1,2} + \left| \frac{-1}{I_{1,2}^2 - I_1^2 - I_2^2} \right| \Delta I_h$$

Ez a képlet egyszerűbben számolhatóvá tehető a következő átalakítással: Legyen

$$A = I_{1,2}^2 - I_1^2 - I_2^2,$$

$$B = I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_h.$$

Ezen segédváltozókkal a holtidő hibája:

$$\Delta \tau = \left| \frac{A + 2BI_1}{A^2} \right| \Delta I_1 + \left| \frac{A + 2BI_2}{A^2} \right| \Delta I_2 + \left| \frac{A + 2BI_{1,2}}{A^2} \right| \Delta I_{1,2} + \left| \frac{-1}{A} \right| \Delta I_h \quad (8)$$

(A kifejezésekben  $I_i$  az  $i$  sorszámú minta átlagos számlálási sebességét,  $\Delta I_i$  átlagának hibáját jelenti.

Állítsa a GM-cső karakterisztika mérés alapján kiválasztott munkapontra a detektor nagyfeszültségét. Helyezze a toronyba a detektor alá megfelelő távolságra a speciális kettős mintatartót.

Az egyik helyre tegye be az egyik aktív mintát, a másikra egy inaktív tálkát. Ez utóbbi azt a célt szolgálja, hogy a visszaszórási feltételeket azonosan tudjuk tartani. Mérjük meg a számlálási sebességet 3 – 10-szer az aktivitástól és a kívánt pontosságtól függően.

Ez után az inaktív tálka helyére tegye be a másik preparátumot úgy, hogy a bent maradó minta változatlan helyzetben maradjon. Mérje meg a két minta együttes számlálási sebességét.

Vegye ki az elsőnek mért mintát, s helyére tegye be az inaktív tálkát és mérje meg a második preparátum számlálásebességét. Ennek mérése után csak az inaktív tálkával mérje meg a készülék háttérét. A zsebszámoló gép statisztikus programjának használatával számolja ki az átlagokat, a szórásokat és az átlagok hibáit. Ezek felhasználásával határozza meg a holtidőt a (6) és annak hibáját a (8) kifejezés alapján. A (4) kifejezés azonosságát ellenőrizze a kapott holtidő figyelembe vételével.

A mérőberendezés adatlapjára jegyezze fel a megállapított munkafeszültséget, a plató meredekségét és a holtidőt annak hibájával együtt. A kapott adatok alapján próbálja meg eldönteni, hogy halogénes vagy szerves kioltógázzal töltött GM-csővel van-e dolga, s az mennyire van elhasználva?