

FIZIKA LABORATÓRIUM NT

Fizikus MSc, Nukleáris technika szakirány

SOKSZÁLAS PROPORCIONÁLIS GÁZDETEKTOR (MWPC) VIZSGÁLATA

Wigner Fizikai Kutatóközpont, REGARD kutatócsoport

Helyszín: 1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós u. 29-33. (KFKI), II.ép 1.em 110

Gyakorlatvezető: Nyitrai Gábor (nyitrai.gabor@wigner.mta.hu),

Hamar Gergő (hamar.gergo@wigner.mta.hu)

Mérés ajánlott időtartama: 4 óra

Mérési feladatok:

1. Ismerkedés az MWPC detektorral és a mérőberendezésekkel
2. Áthaladó töltött részecske spektrumának mérése Sr-90 béta forrással
3. Energiafelbontás mérése Fe-55 gamma forrással

Ajánlott irodalom:

- [1] F.Sauli: „Principles of Multiwire and Drift Chambers” 2.1, 2.2, 2.6, 5.1, 6.1, 7.1 fejezetek
- [2] Haladó BSc fizika labor: fizipedia.bme.hu/index.php/Gázionizációs_detektorok
- [3] D.Varga: „Cosmic Muon Detector Using Proportional Chambers” <https://arxiv.org/abs/1507.07686>
- [4] G.F.Knoll: „Radiation detection and measurement”
- [5] B.Dénes: „Atommagsugárzások mérés technikái”



Készítette: Nyitrai Gábor, Lucsányi Dávid
2019

BEVEZETÉS

A gyakorlat célja, hogy megismerkedjünk az MWPC (Multiwire Proportional Chamber, magyarul Sokszálas Proporciónális Kamra) [1] gáztöltésű részecskefizikai detektor működési elvével és használatával a Wigner Fizikai Kutatóközpont REGARD kutatócsoport¹ laboratóriumában. A méréshez lehet saját laptopot, pendrive-ot hozni, de lesz biztosítva egy PC is a helyszínen. A mérés elején három kérdést teszünk fel az 5. Ellenőrző kérdések közül, majd átbeszéljük a mérési feladatokat. Erősen ajánlott legalább a Haladó BSc fizika labor gázionizációs labormérésének átismétlése [2]. Bemutatjuk a mérőeszközök használatát, majd segítség és felügyelet mellett össze kell állítani és ellenőrizni kell önállóan a mérési rendszert (a sugárforrásokat csak a mérésvezető kezelheti). Ezek után elvégezhetőek a mérési feladatok, valamint ha marad még idő, akkor el lehet kezdeni a mérések kiértékelését. A mérés után a tárgykövetelményben meghatározott időn belül a mérésvezetőnek el kell küldeni a jegyzőkönyvet amit értékelni fogunk. A jegyzőkönyv nagyjából 5-6 oldal (törekedve a rövid tömör lényegretörő megfogalmazásra), amelyen a filozófiája, hogy az alapján a mérés megismételhető legyen. A jegyzőkönyv tartalma:

- rövid elméleti bevezető a mérés céljáról (a mérésleírás alapján, de értékeljük ha ki van egészítve a laboron hallottakkal, vagy az ajánlott irodalomból),
- használt eszközök bemutatása, mérési napló,
- kiértékelés az 5., 6., 7. és 8. ábrák alapján (hibaszámítással), ábra az eloszlások hasonlóságáról, valamint az alfa és béta amplitúdóátlagok arányának ábrázolása a feszültség függvényében.

MÉRÉSI FELADATOK

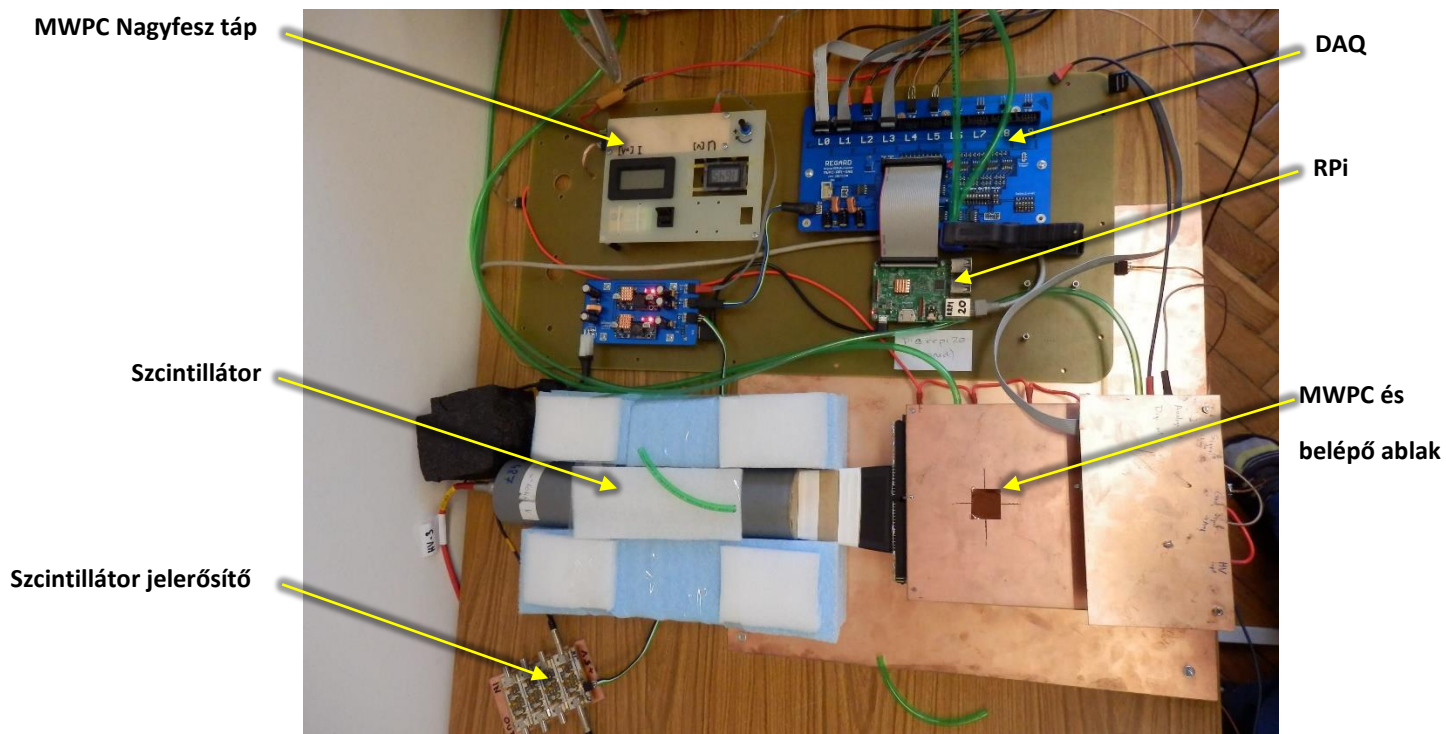
1. Ismerkedés a sokszálas proporciónális kamrával és a mérőberendezésekkel

A méréshez a REGARD csoport gázdetektor laborjában épített MWPC detektort használjuk (1. ábra), amely egy proporciónális tartományban működő gázionizációs detektor [2]. Össztérfogata körülbelül 400 cm³, így az oldalán be- és kilépő gázvezetékekben 5 l=h térfogatárammal áramoltatott gázkeverék viszonylag gyorsan lecseréli a detektorban található gázt és eltávolítja az esetlegesen beszivárgott oxigént. A mérés során 82:18 arányú Argon - CO₂ gázkeveréket használunk, ami kereskedelmi forgalomban (pl. hegesztéshez) is vásárolható. Az MWPC-n található egy kis, vékony fóliával borított ablak (ún. "vasablak"), amire a ⁹⁰Sr -forrást helyezve be tudnak hatolni az elektronok a kamra érzékeny térfogatába, sőt a detektor alatt elhelyezett szcintillátort is eléri egy részük.

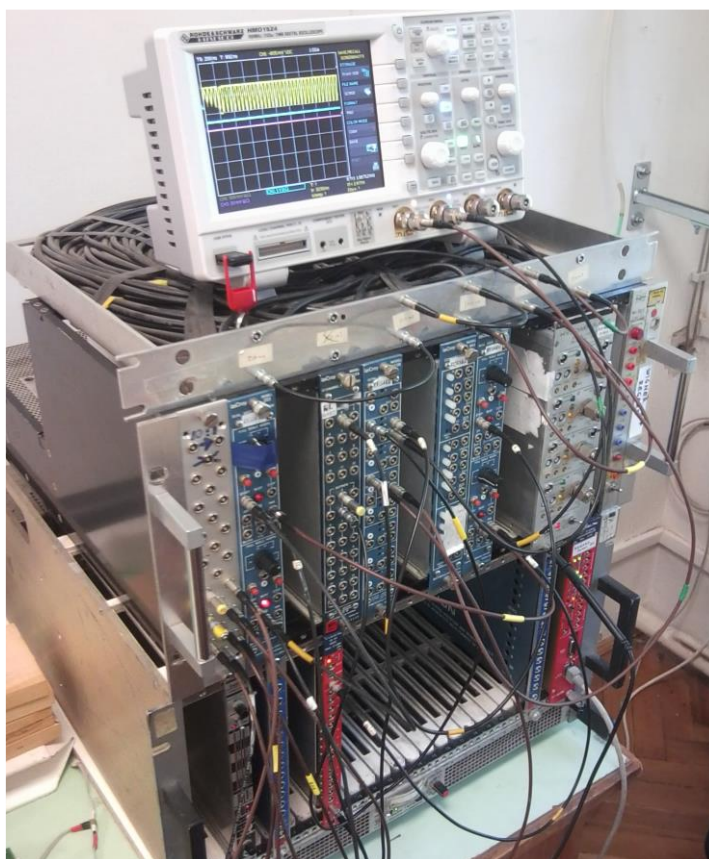
A szcintillációs detektort triggerelés céljából helyezzünk az MWPC alá. A szcintillációs detektorra nagyfeszültségű táppal 100 V-os feszültséget kapcsoltunk és mérjük az áramot, hogy ellenőrizzük nincs-e rövidzár. Ezután 1040 V tápfeszültséget kapcsolunk a szcintillátorra. Újra megmérve az áramot kiszámoltuk, a PMT belső ellenállását, ami dinódák feszültségosztójából származik.

A tápfeszültség beállításához, a jelformáláshoz, és a trigger jelek előállításához Nuclear Instrumentation Module (röviden NIM) egységeket használtunk (2. ábra). Minden berendezés 50 Ohm belső ellenállással rendelkezik, és a nem használt kimeneteket is mindig 50 Ohmmal kell lezárni, különben a jelakokat tranziens jelenségek torzítják. A jelalakokat oszcilloszkóppal ellenőrizzük, valamint egy számlálóval megnézzük a zaj/jel arányát bétaforrás esetén. A mért források beütésszámának hibája a beütésszám gyöke, mivel a bomlások Poisson-eloszlásúak, ahol a szórás a várható érték gyöke. A NIM egységekkel TTL jelet állítunk elő és küldünk a DAQ trigger bemenetére.

¹ <https://regard.wigner.mta.hu/>



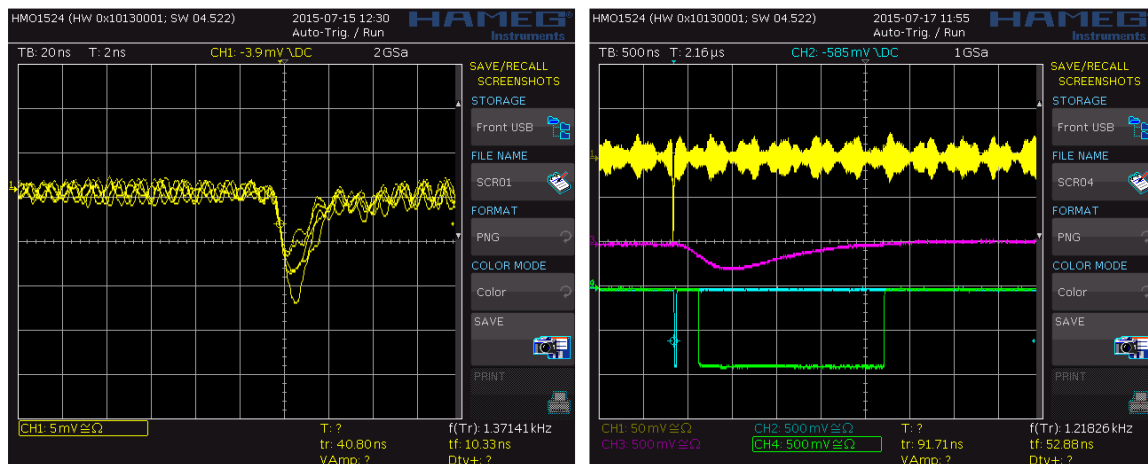
1. ábra: Mérési elrendezés: MWPC és alatta szcintillátor detektor, az adatfeldolgozó (DAQ) és tápellátó rendszer, valamint egy RaspberryPi miniszámítógép.



2. ábra: NIM eszközök: jelfeldolgozó, ellenőrző és trigger logika, felül digitális oszcilloszkóp.

2. Áthaladó töltött részecskék energialeadásának mérése ^{90}Sr forrással

Az erősített szcintillátor jeleket az oszcilloszkóppal vizsgálva megállapítunk egy olyan feszültség szintet a zaj fölött, ahol a béta részecskék nagy részét még detektáljuk. Az oszcilloszkópból egy diszkriminátorba vezetjük a jelet, amelynek beállítjuk az előbb megállapított feszültség szintet. A diszkriminátorból a jelet egy Dual-Gate generátorba küldjük, ami a bemenő jelre egy TTL kimenő négyszögjelet állít elő. Ezt a jelet küldjük tovább a DAQ trigger bemenetére.



3. ábra: Balra a szcintillátor erősítetlen jele; Jobbra a szcintillátor erősített jele (sárga) és az abból előállított trigger jel (kék), a késleltetett négyszögjel (zöld) és a rögzített MWPC jel (lila).

Az MWPC anódszállaira 1500 V nagyfeszültséget kötünk, a katódlemezeket leföldeljük. Az MWPC kamrából a digitalizált jeleket egy szalagkábelrel küldjük a DAQ jel-bemeneti csatornájára. A megfelelő késleltetés a DAQ-on állítható, hogy a kiolvasás akkor induljon, amikor a jelamplitúdó a csúcson van (ez be lesz állítva de ellenőrizhető). Erre azért van szükség, mert a szcintillátorból hamarabb érkezik a triggerjel, mint az MWPC-ből, mivel az elektronlavina keletkezése nagyságrendekkel lassabb folyamat, mint a szcintilláció detektálása.

Ezek után egy Linux operációs rendszerű számítógépen terminál ablakot nyitunk és SSH kapcsolatot létesítünk az DAQ RPi számítógépével. Az ehhez szükséges terminál parancsok összefoglalása:

Szövegszerkesztő indítása a SettFile.ini szerkesztéséhez: `geany`

Belépés az Rpi-re: `ssh -YC pi@rrpi20`

Belépés a mérést indító könyvtárba: `cd MwpcLaborDaq`

Mérés indítása: `./MtRpiDaq.run`

Új terminál ablak az automatikusan letöltött mérések kiértékeléséhez: `CTRL+SHIFT+T`

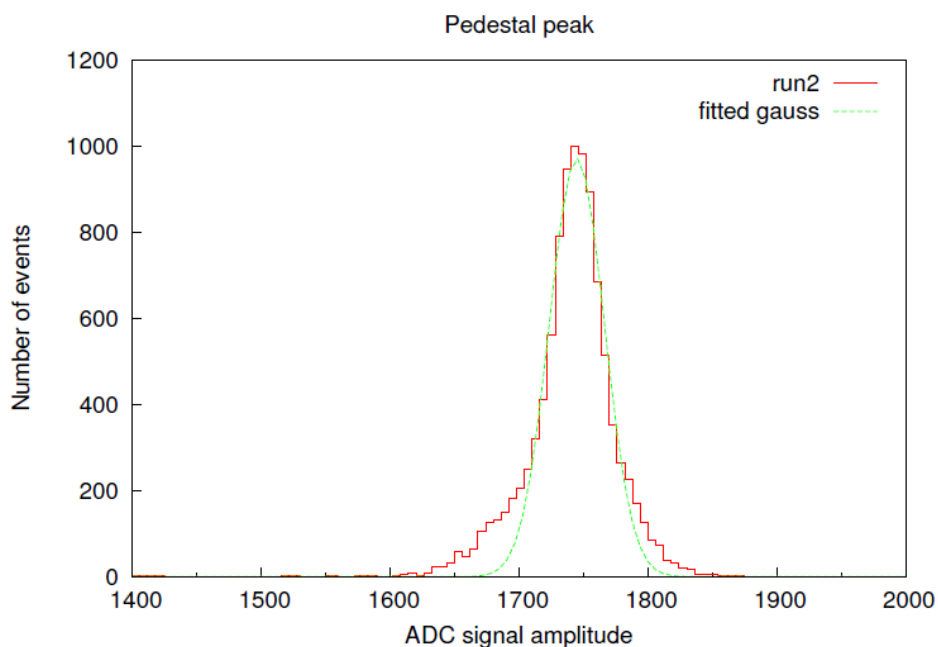
Letöltött mérések könyvtárába lépés: `cd ~/RPiDir/Measurements/`

Könyvtár tartalmának listázása: `ls -lh -tr`

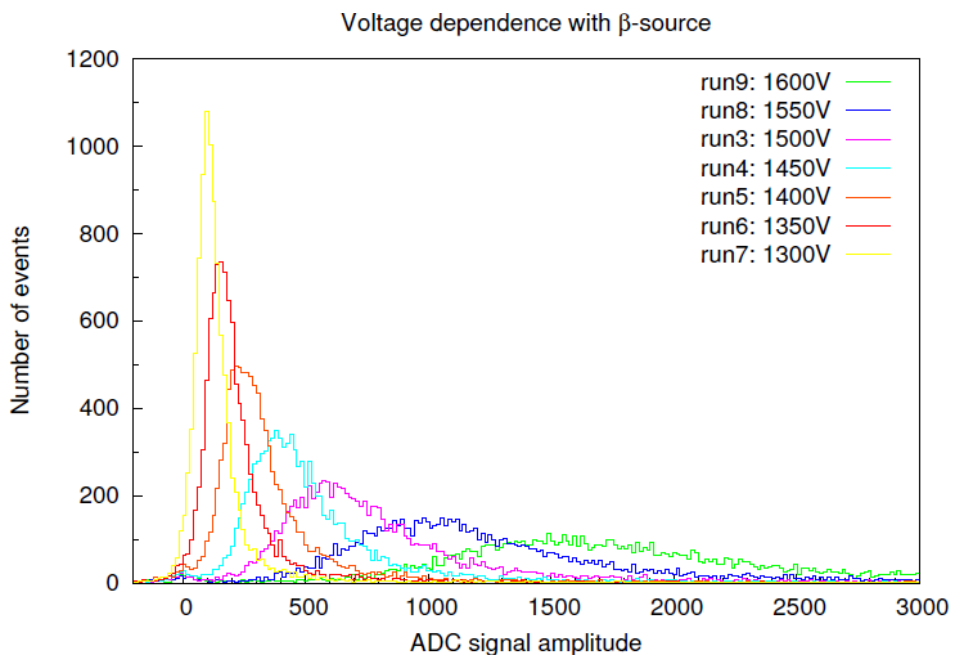
Gnuplot ábrázoló program indítása: `gnuplot`

Eredmények ábrázolása gyors ellenőrzés céljából: `plot "MwpcLabor201911_RunX.ebe" u 6:(1) s f w h i s`

Az ADC jelek amplitúdóiról hisztogramokat készítünk gnuplot segítségével. Forrás nélkül, 1500 V -os anódfeszültségen mindenféle zajt mérünk (főként Gauss-eloszlású elektronikus zaj és exponenciális eloszlású kozmikus sugárzás), ebből kapjuk a 4. ábrán látható ún. pedestal-csúcsot. Ezt az átlagértéket minden további forrással felvett ADC jelspektrumból kivontam (pedestal cut), mivel ehhez viszonyítunk és ez nem változik az anódfeszültség változtatásakor sem.



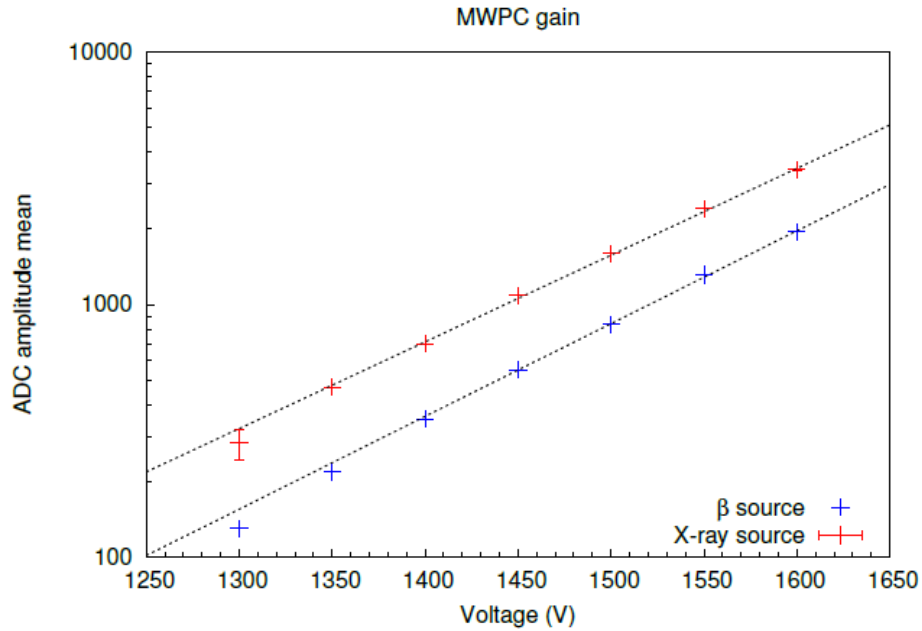
4. ábra: Pedestal run ^{90}Sr forrás nélkül, ami elektronikus zajból és háttérből áll, ennek átlagához igazítjuk a későbbi eloszlások 0 pontját, valamint le is vágható a spektrumokból.



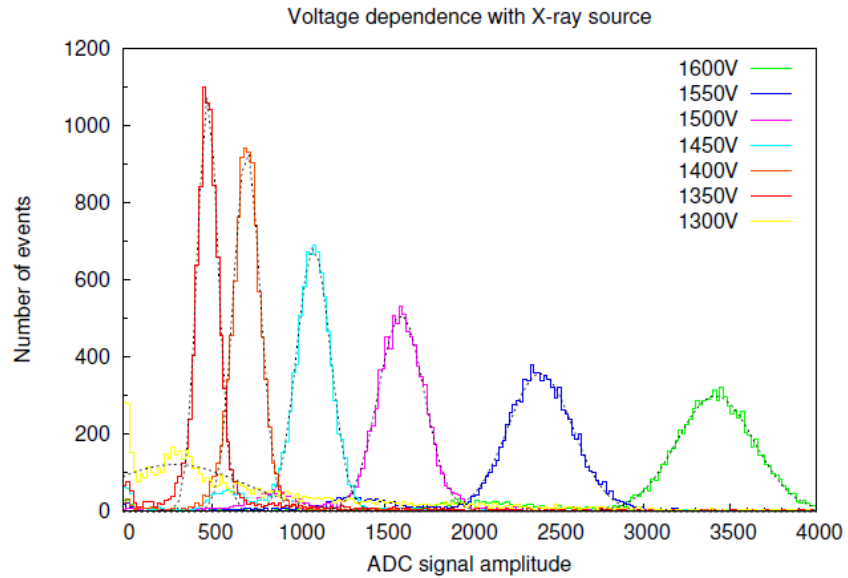
5. ábra: Jelspektrumok feszültségfüggésének és hasonlóságának vizsgálata ^{90}Sr forrás esetén.

Különböző anódfeszültség esetében az ADC spektrumok a 5. ábrán láthatók, melyek a vártak megfelelően Landau-eloszlások. Átlaguk a feszültség növelésével nő, és egyre jobban szétkénődik. Integráljuk megegyeznek, minden esetben 10000 eseményt rögzítünk. Ha a különböző eloszlásokat átlagaik arányában megnyújtjuk és eltoljuk (proporcionális tartományban vehetnénk akár a mediánt is), akkor fedésbe hozhatók, feltéve ha a gázöltésű detektor proporcionális tartományában vagyunk, erről is készítsünk ábrát. Ha a jelspektrumok már nem hozhatók fedésbe, akkor már nem proporcionális a detektorunk, így nem használható energiamérésre sem. A kamra erősítésével arányos az ADC jelamplitúdó átlaga, így ennek feszültségfüggése

látható a 6. ábrán. Ezen jól látszik, hogy az 5.9 keV-es röntgen fotonok nagyobb energiát adnak le az érzékeny gáztérfogóban fotoeffektussal (egyetlen fotoelektron keltésével), mint a nagyobb energiájú (2300 keV alatti, folytonos eloszlású) elektronok, mivel azok a kapton anyagú vasablakon történő áthaladáskor (ionizáció során) energiaájuk nagy részét elveszítik. Adott feszültségen fotonokra és elektronokra is ugyanakkora a gázerosítés, viszont az anódfeszültség növelésével arányosan nő, így két párhuzamos egyenest illeszthetünk a kapott ADC amplitúdó átlagokra. Készítsünk olyan ábrát is, ahol a különböző források arányát ábrázoljuk a feszültség függvényében, megmutatva, hogy a proporcionális tartományban az erősítés a forrás fajtájától független.



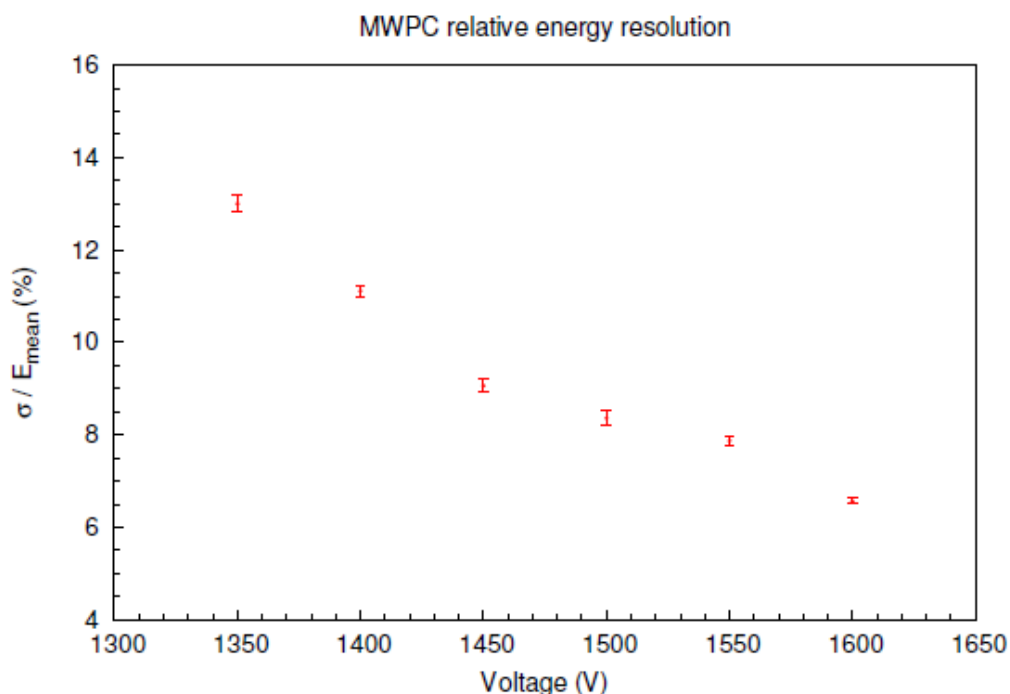
6. ábra: A kamra erősítésének feszültség-karakterisztikája béta és röntgen-forrással, az 1300 V-os érték már nincs benne a proporcionális tartományban (log skálán illesztett egyenes).



7. ábra: Jelspektrumok feszültségfüggésének és hasonlóságának vizsgálata ^{55}Fe forrás esetén, illesztett Gauss-görbékkel.

3. Energiafelbontás mérése ^{55}Fe röntgen-forrással

Az 5.9 keV-es ^{55}Fe röntgen-forrás segítségével pontszerű, adott töltésű ionizáció hozható létre fotoeffektus során (teljesenergia csúcs), így vizsgálható a kamra energiafelbontása. Ebben az esetben a trigger az MWPC saját jeléből állítjuk elő (self-trigger). Több különböző MWPC feszültségek esetén is felvettük a jel spektrumát (7. ábra), minden esetben 10000 eseményt rögzítve, melyekre Gauss-görbéket illesztünk az MWPC energiafelbontás és erősítés feszültségfüggésének vizsgálatához. A kamra erősítésének feszültségfüggését együtt ábrázolhatjuk a röntgen és gammaforrás esetén (6. ábrán). Ebben az esetben láthatóan az 1300 V-os feszültségérték már nincs benne a proporcionális tartományban, a csúcs szétkenődik és félig egybeolvadt a pedestal csúccsal. A kamra relatív energiafelbontását (illesztett Gauss szigmája osztva az átlagértékkel) a jelamplitúdó csúcs szórásának és átlagának hányadosaként definiáltuk, melynek feszültségfüggése a 8. ábrán látható.



8. ábra: A kamra relatív energiafelbontásának feszültségfüggése.

4. Összefoglalás az elvégzendő feladatokról

- Mérési rendszer összeállítása
- Szcintillátor áram ellenőrzése kiefeszültségen, ellenállás számolása nagyfeszültségen
- Oszilloszkóppal a jelalakok ellenőrzése erősített, diszkriminált és TTL jeleknél
- Számlálóval a zaj/jel arány ellenőrzése béta forrás esetén
- MWPC nagyfeszültség, föld, jel és trigger bekötés
- Számítógépen a mérés előkészítése
- Pedestal mérés és ábrázolás
- Béta mérés 1450 – 1750 V közt 50 V-onként, ábrázolás
- Átállás self-triggerre, Gamma mérés 1450 – 1750 V közt 50 V-onként, ábrázolás
- Adatok lementése és a műszerek lekapcsolása

5. Ellenőrző kérdések

- Milyen kölcsönhatásba lépnek a töltött részecskék (1-et elég megnevezni) és a fotonok (3 elég) a gázzal? [2]
- A részecskék kölcsönhatása a gázzal hogyan használható beütésszám és energia mérésére MWPC esetén? [2]
- Nagyjából milyen alakú a gáztöltésű detektorok $\log(\text{beütésszám})$ -feszültség karakterisztikája (a 3 fő tartomány megnevezésével), hol van a proporcionális detektor munkapontja? [2]
- Mire való a trigger jel, és miért kell késleltetni?
- Hogyan számolunk relatív energiafelbontást adott feszültségnél?
- Mennyi a hibája a mért beütésszámoknak és miért?