

Gajger Milerov (GM) brojač

GM brojač (je gasni detektor za detekciju jonizujućeg zračenja (alfa, beta, gama ili X zraka). Njime se ne može odrediti vrsta radioaktivnog zračenja, ali se može izmeriti aktivnost radioaktivnog izotopa. Sastoji se iz hermetički zatvorenog, šupljeg metalnog cilindra (GM komora) ispunjenog plemenitim gasom (Ar, He) (90%) i malom količinom (10%) para organskih (etil alkohol) ili halogenih (hlor, brom) molekula pod sniženim pritiskom (0,1 atm), [slika 1](#). Radni gas je neki od plemenitih gasova. Služe za detekciju radioaktivnog zračenja. Organske i halogene pare služe za ‘gašenje’ lažnih pulseva, koji ne potiču od radioaktivnog zračenja. Zid metalnog cilindra povezan je za negativan pol izvora napona i predstavlja katodu. Duž centra cilindra proteže se volfram žica, pričvršćena jednim krajem za osnovu cilindra i povezana je za pozitivan pol izvora napona odnosno predstavlja anodu, [slika 1](#). Na suprotnoj osnovi cilindra se nalazi prozor za prolaz radioaktivnog zračenja. Materijal od koga je izrađen prozor zavisi od vrste zračenja za čiju detekciju je namenjena GM cev. Za alfa i beta zračenje niskih energija (mala moć prodiranja), prozor se izrađuje od liskuna (mala gustina). Deblji slojevi materijala ili materijali većih gustina (staklo ili tanak list metala) koriste se za detekciju beta zračenja velikih energija. Za detekciju gama zračenja GM cev se izrađuje bez prozora, [slika 2](#). Između anode i katode vlada visoki napon (oko 1000 V), proizvodeći jako električno polje.

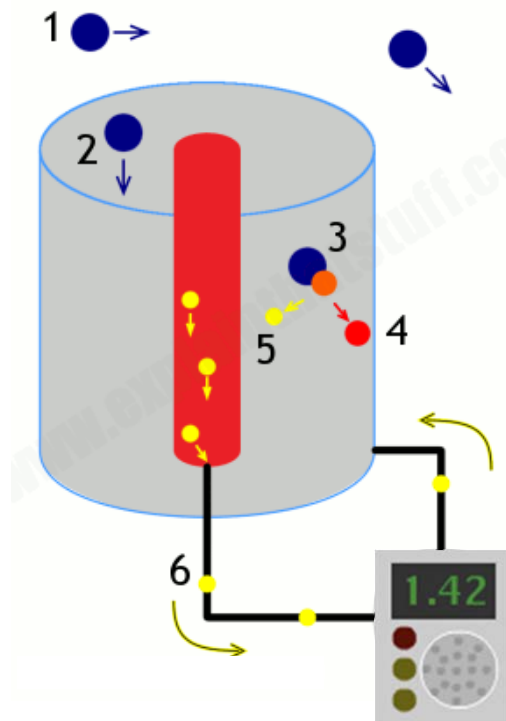


Slika 1. Gajger Milerov brojač

Električni puls iz GM cevi odlazi do pojačivača [slika 2](#), a zatim se registruje kao otklon kazaljke [slika 1](#), zvuk iz zvučnika [slika 1](#) ili broj na digitalnom displeju [slika 2](#).

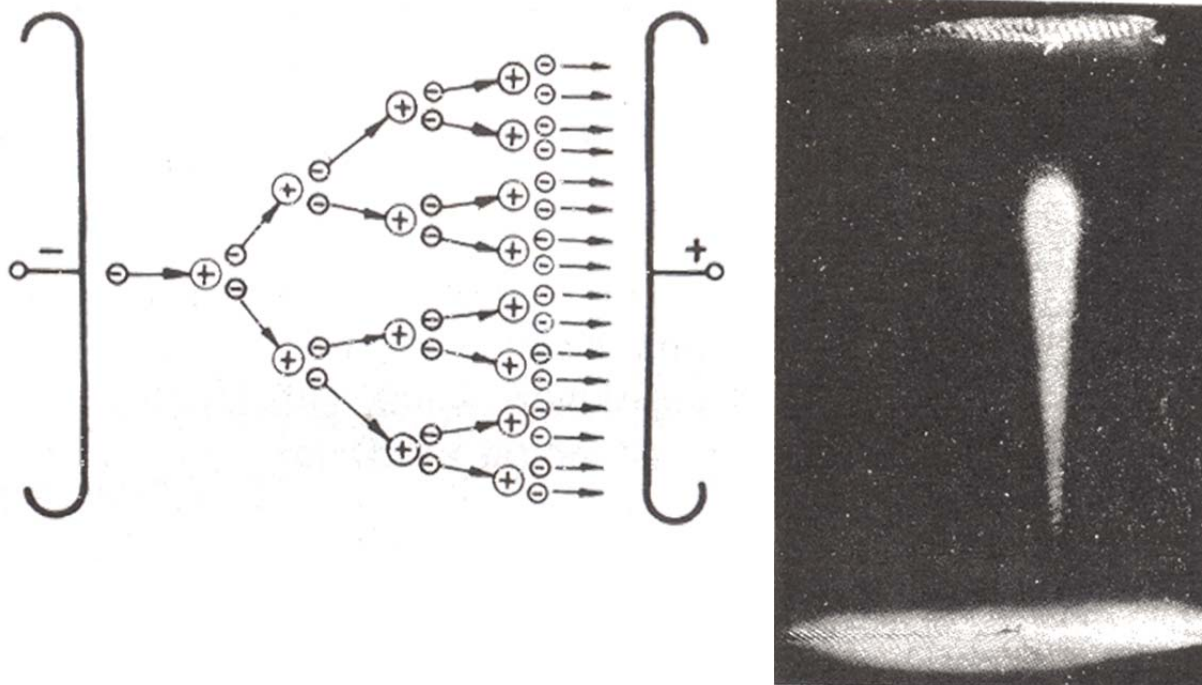
Slika 2. Šematski prikaz Gajger Milerove brojačke cevi i principa detekcije radioaktivnog zračenja

Tamnoplavi kružići – radioaktivno uzračenje
Narandžasti kružić – molekuli gasa u GM komori
Crveni kružić – katjon
Žuti kružić – elektron
Crveni štap – anoda
Svetlo plava kontura valjka – katoda u obliku metalnog cilindra
Siva oblast predstavlja GM cev



Na slici 2 je prikazan princip rada GM cevi:

1. Radioaktivno zračenje van GM komore se kreće nasumično
2. Neka količina zračenja prolazi kroz prozor u GM cev
3. Kada se zračenje sudari sa atomima gasa u GM cevi, nastaju parovi katjona i elektrona (primarna jonizacija).
4. Zahvaljujući električnom polju pozitivni joni putuju ka zidu GM cevi (katoda)
5. Elektroni ubrzavaju ka anodi. Na tom putu oni dobijaju dovoljno ubrzanja da izazovu jonizaciju drugih atoma gasa (sekundarna jonizacija), novostvoreni elektroni izazivaju ponovo jonizaciju i tako redom. Na taj način nastaje lavina elektrona, slika 3, koja stvara elektronski oblak oko anode. Jonizacija jednog atoma gasa može izazvati pojavu lavine od oko $10^6 - 10^8$ elektrona. Na taj način se signal značajno pojačava i biva lako detektovan.
6. Kada lavina elektrona stigne do anode, izaziva naponski puls u spoljašnjem električnom kolu. Naponski puls se pojačava u pojačivaču i prijazuje na ekranu brojača. Kada nema radioaktivnog zračenja, nema ni struje između metalnog cilindra i žice u spoljašnjem električnom kolu.



Slika 3. Nastanak lavine elektrona u uniformnom električnom polju: šematski prikaz levo i fotografija desno.

Katjoni argona bi se mogli neutralisati na katodi u ekscitovanom stanju ili bi mogli izbiti elektrone sa katode. Jonizacija gasa nastala dejstvom izbijenih elektrona sa katode ili interakcijom elektromagnetnog zračenja nastalih nakon deekscitacije neutralisanih katjona nije poželjna. Pare organskih molekula služe da neutrališu Ar katjone pre nego što stignu do katode. Katjoni organskih molekula se neutrališu na katodi u osnovnom elektronskom stanju.

Film sa detaljnim objašnjenjem kako radi GM brojač se može pogledati na linkovima:

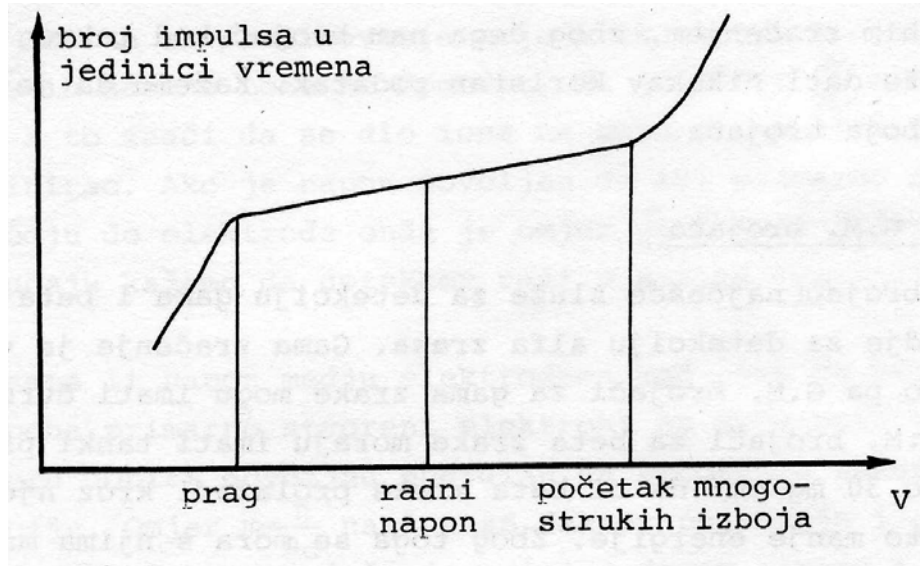
Prvi deo: <https://www.youtube.com/watch?v=bcjMOr-qiWA>

Drugi deo: <https://www.youtube.com/watch?v=1qRjSLqM4zg>

Karakteristike GM brojača

Plato brojača

Oblast napona u kome nema značajne promene broja registrovanih impulsa sa promenom napona u brojačkoj cevi se naziva plato brojača. Radni napon se bira u oblasti platoa brojača.



Slika 4. Plato GM brojača

Mrtvo vreme brojača (τ) je vreme za koje brojač nije u stanju da registruje novi impuls. Jedinica mere su sekunde. Lavina elektrona nastaje u blizini anode, jer je u toj oblasti električno polje najjače. Elektroni, zbog svoje male mase, brzo stižu do anode (10^{-6} s). Katjoni, zbog svoje značajno veće mase, sporije putuju ka katodi (oko 300 μ s). Oblak pozitivnog naelektrisanja smanjuje jačinu električnog polja oko anode. Čestice koje prođu kroz GM brojač u tom vremenskom periodu ne mogu biti registrovane.

Osnovna aktivnost (R_0)

GM brojač u odsustvu izvora radioaktivnog zračenja meri određeni broj impulsa koji, po jedinici vremena, predstavljaju osnovnu aktivnost, R_0 . Ovi impulsi potiču od kosmičkog zračenja i radioaktivnih izotopa iz zemljine kore. Jedinica mere su impulsi u minuti.

Efikasnost brojača (E) predstavlja odnos broja detektovanih čestica i broja emitovanih čestica u radioaktivnom raspadu. Računa se kao odnos korigovane aktivnosti (R_{cor}) uzorka na mrtvo vreme i osnovnu aktivnost i izračunate aktivnosti uzorka (A), jednačina (1). Jedinica mere su procenti.

$$E = \frac{R_{cor}}{A} \cdot 100\% \quad (1)$$

Korigovana aktivnost radioaktivnog uzorka R_{cor} računa se na osnovu broja izmerenih impulsa (R), osnovne aktivnosti R_0 i mrtvog vremena τ brojača, na osnovu izraza (2) :

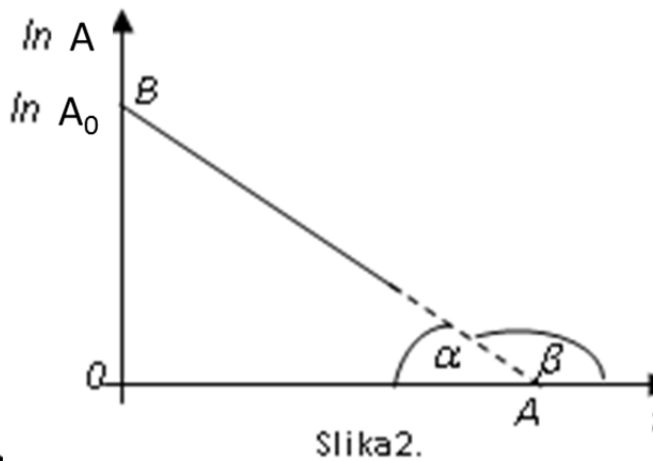
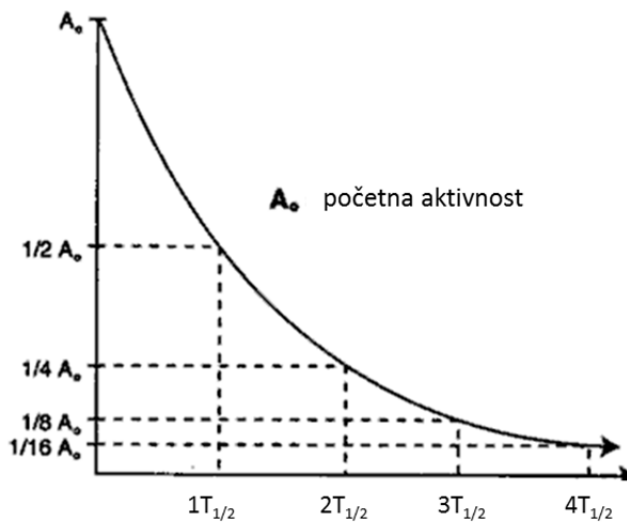
$$R_{cor} = R + R^2\tau - R_0 \quad (2)$$

Trenutna aktivnost (A) se može izračunati na osnovu početne aktivnosti (A_0), vremena koje je proteklo (t) i konstante radioaktivnog raspada (λ), odnosno vremena poluraspada, na osnovu zakona radioaktivnog raspada:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Vreme poluraspada

Za određivanje vremena poluraspada polazi se od izraza za zakon radioaktivnog raspada. Eksponecijalni oblik zakona radioaktivnog raspada je prikazan na slici 5 levo.



Slika 5.

Eksponecijalni oblik zakona radioaktivnog raspada

Logaritamski oblik zakona radioaktivnog raspada.

Logaritamski oblik zakona radioaktivnog raspada (slika 5 desno, jednačina 4) je linearna zavisnost logaritma aktivnosti od vremena iz čijeg nagiba se može izračunati vreme poluraspada $T_{1/2}$.

$$\ln A = \ln A_0 - \frac{\ln 2}{T_{1/2}} t \quad (4)$$

$$\text{nagib} = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

$$T_{1/2} = -\frac{\ln 2}{\text{nagib}}$$

$$\text{nagib} = \frac{BO}{AO}$$

gde je BO dužina odsečka na y osi, dok je AO dužina odsečka prave na x osi, slika 5 desno.

Opisanom grafičkom metodom se može odrediti vreme poluraspada kratkoživećih radioizotopa.

Vreme poluraspada dugoživećih radioizotopa se ne može odrediti grafičkom metodom. U ovom slučaju vreme poluraspada se računa na osnovu izmerene aktivnosti određene količine radioaktivnog izotopa u određenom vremenskom periodu.

Broj atoma radioaktivnog izotopa ($N_{izotopa}$) se računa na osnovu ukupnog broja atoma elementa u uzorku ($N_{elementa}$) i masenog udela određenog radioaktivnog izotopa (ω) u normalnom izotopskom sastavu elementa, jednačina (5)

$$N_{izotopa} = N_{elementa} \cdot \omega \quad (5)$$

Na osnovu relacije (6) koja povezuje aktivnost A sa brojem atoma datog izotopa $N_{izotopa}$

$$A = \lambda N_{izotop} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m \cdot \omega \cdot N_A}{M} \quad (6)$$

može se izračunati $T_{1/2}$:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{A} \cdot \frac{m \cdot \omega}{M} N_A \quad (7)$$

gde je m – masa elementa u uzorku, M – molarna masa radionuklida, N_A – Avogadrov broj