Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Mérési gyakorlat

A Magyar Nukleáris Társaság által szervezett tanártovábbképzésen 2024 tavasz

Dr. Sükösd Csaba (BME NTI)
Gulyás Attila (EK-CER)
Dr. Borbély Venczel (Szentendre)

Tartalomjegyzék

- Mérési feladat
- Méréssel kapcsolatos fogalmak (hatásfok, háttér, kalibráció)
- Mérőprogram kezelése
- Mérési adatok kiértékelése
- A beütésszámok statisztikus jellege.
  Poisson eloszlás várható értéke és szórása
- A GM-cső működése
- Radioaktív mérések az iskolában. Hogyan és miért?

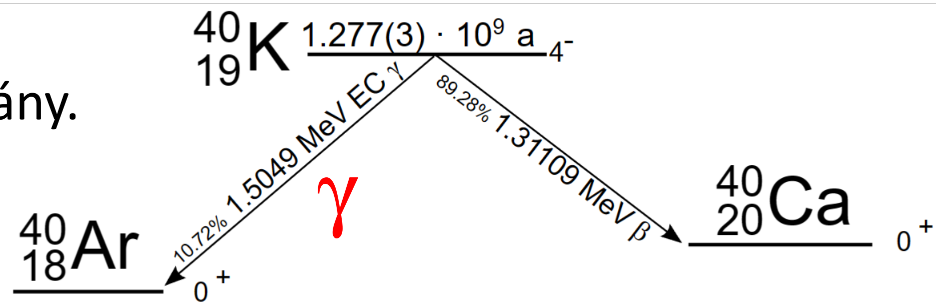
Mérési feladat

Határozzuk meg egy műtrágya K_2O ekvivalens kálium-tartalmát GM-csővel!
Adjuk meg a meghatározott ismeretlen koncentráció bizonytalanságát is!

Mi teszi lehetővé, hogy GM-csővel kálium-tartalmat mérjünk?

A $^{40}_{19}\mathrm{K}$ izotóp **radioaktív**, felezési ideje $1{,}28 \cdot 10^9$ év.
A természetes kálium $^{40}_{19}\mathrm{K}$ tartalma: $1{,}2 \cdot 10^{-4}$ atomarány.
Egy mólnyi (kb. 39 g) természetes K aktivitása:

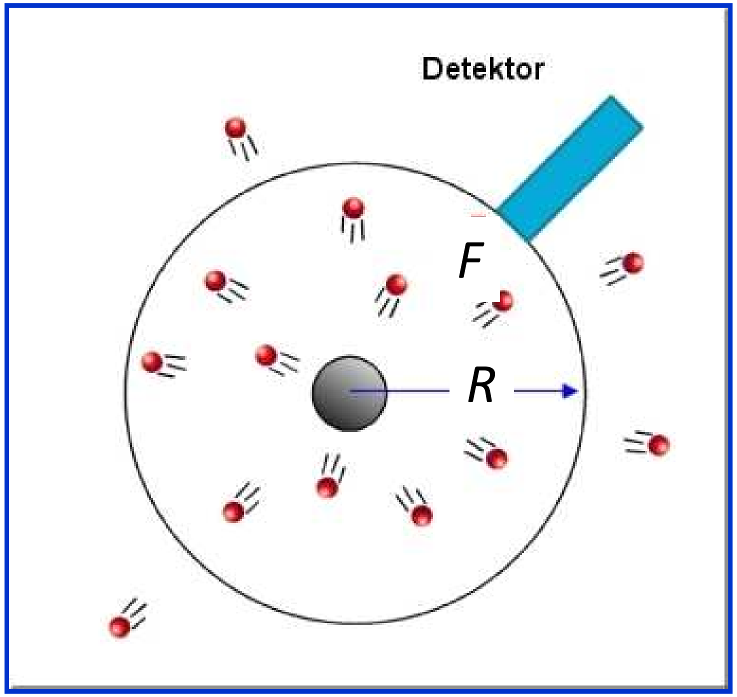
$$A = \frac{N \cdot \ln 2}{T_{1/2}} = \frac{6{,}02 \cdot 10^{23} \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}693}{1{,}28 \cdot 10^{9} \cdot 365{,}24 \cdot 86400} \approx 1240 \frac{1}{\mathrm{s}}$$



De csak a bomlások 10,72%-a vezet γ-kibocsátáshoz, így egy mólnyi káliumból másodpercenként átlagosan csak kb. 133 γ-foton kibocsátása várható.

Ezeket a gammákat tudjuk detektálni GM-csővel!

Detektálási hatásfok



Teljes detektálási hatásfok:

$$\varepsilon_{teljes} = \frac{(\textbf{detektált}\ \text{részecskeszám})}{(\textbf{kibocsátott}\ \text{részecskeszám})}$$

A teljes detektálási hatásfok két részből áll:
Geometriai hatásfok:
Azt fejezi ki, hogy a forrásból kibocsátott részecskék hányad része **éri el** a detektort.

$$\varepsilon_G = \frac{(\text{detektort}\ \textbf{elérő}\ \text{részecskeszám})}{(\textbf{kibocsátott}\ \text{részecskeszám})}$$

Pontszerű forrás és kis méretű, távoli detektor esetén egyszerűen meghatározható:

$$\varepsilon_G = \frac{F}{4\pi R^2}$$

Itt *R* a forrás-detektor távolság, *F* pedig a detektor érzékeny felülete (a forráshoz húzott egyenesre merőlegesen)

Detektálási hatásfok

Bonyolultabb geometria (kiterjedt forrás és/vagy detektor) esetén a geometriai hatásfok csak bonyolultabb számítással határozható meg. (Pl. Monte-Carlo szimuláció).

Belső (intrinsic) hatásfok

A detektor általában nem detektál minden ráeső részecskét (a nagy hatótávolságú részecskék egy része áthalad a detektoron)

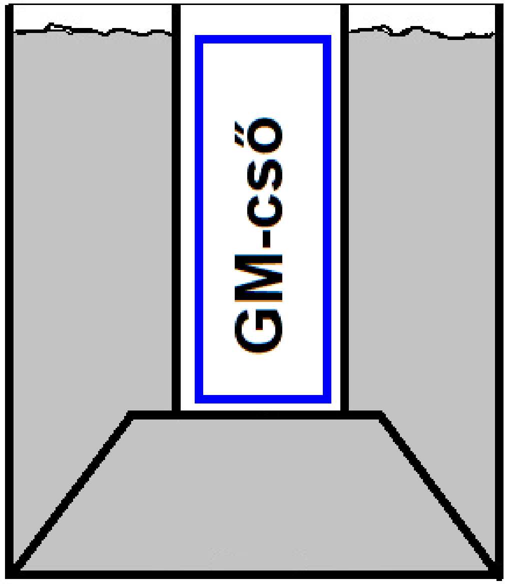
$$\varepsilon_{int} = \frac{(\textbf{detektált}\ \text{részecskeszám})}{(\text{detektort}\ \textbf{elérő}\ \text{részecskék száma})}$$

A teljes hatásfok tehát: $\boxed{\varepsilon_{teljes} = \varepsilon_G \cdot \varepsilon_{int}}$

Probléma!

A mi geometriánknál nem ismerjük a geometriai hatásfokot!

A GM-cső intrinsic hatásfokát sem ismerjük a ^{40}K-ból jövő gamma-fotonokra!



Sugárzási háttér, kalibráció

Egy mérés általános sémája:

Mérendő objektum ⟷ Mérőeszköz ⟶ **Adat**

Zavarok: háttér, zaj stb.

A mérőeszközből kijövő adat gyakran csak „közvetve" tartalmazza a kívánt információt

Például: ha mérni akarjuk egy műtrágya K_2O ekvivalens kálium-koncentrációját, a GM-cső csak beütésszámot ad (bizonyos idő alatt).

A koncentráció meghatározásához ismerni kellene:

- A GM-cső teljes detektálási hatásfokát (geometriai + intrinsic) **?**
- A káliumtartalom és az aktivitás összefüggését (kiszámítottuk) ✓
- A minta „önabszorpcióját" (hát ez mi?) **?**
- A sugárzási hátteret (mérhető)

Megoldás: Összehasonlítás etalonokkal (kalibráció)

Sugárzási háttér, kalibráció

Kalibrációs mérésnél fontos:

Minden, közvetlenül nem ismert (és nem mérhető) paraméter legyen azonos a mérendő objektum és az etalonok között.

Legyen ugyanaz:

- A detektálási összeállítás geometriája (geometriai hatásfok azonossága)
- A GM-cső (intrinsic hatásfok azonossága)
- A káliumtartalom és az aktivitás összefüggése (fizikailag azonos)
- A minta átlagos „sűrűsége” (önabszorpció azonossága)
- A sugárzási háttér (mérhető)

Feltételezés: Ha a fenti feltételek teljesülnek, akkor

az időegységre eső beütésszám a káliumtartalom lineáris függvénye

Mérési feladat lépései

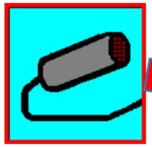
Rendelkezésre álló eszközök:

- 0% és 60% K_2O ekvivalens koncentrációt tartalmazó műtrágyák (etalonok)
- A GM-cső + kezelőprogram
- Mintatartó edény („Marinelli”-edény)
- Munkavédelmi maszk és szemüveg (a műtrágya az öntés során porlik)

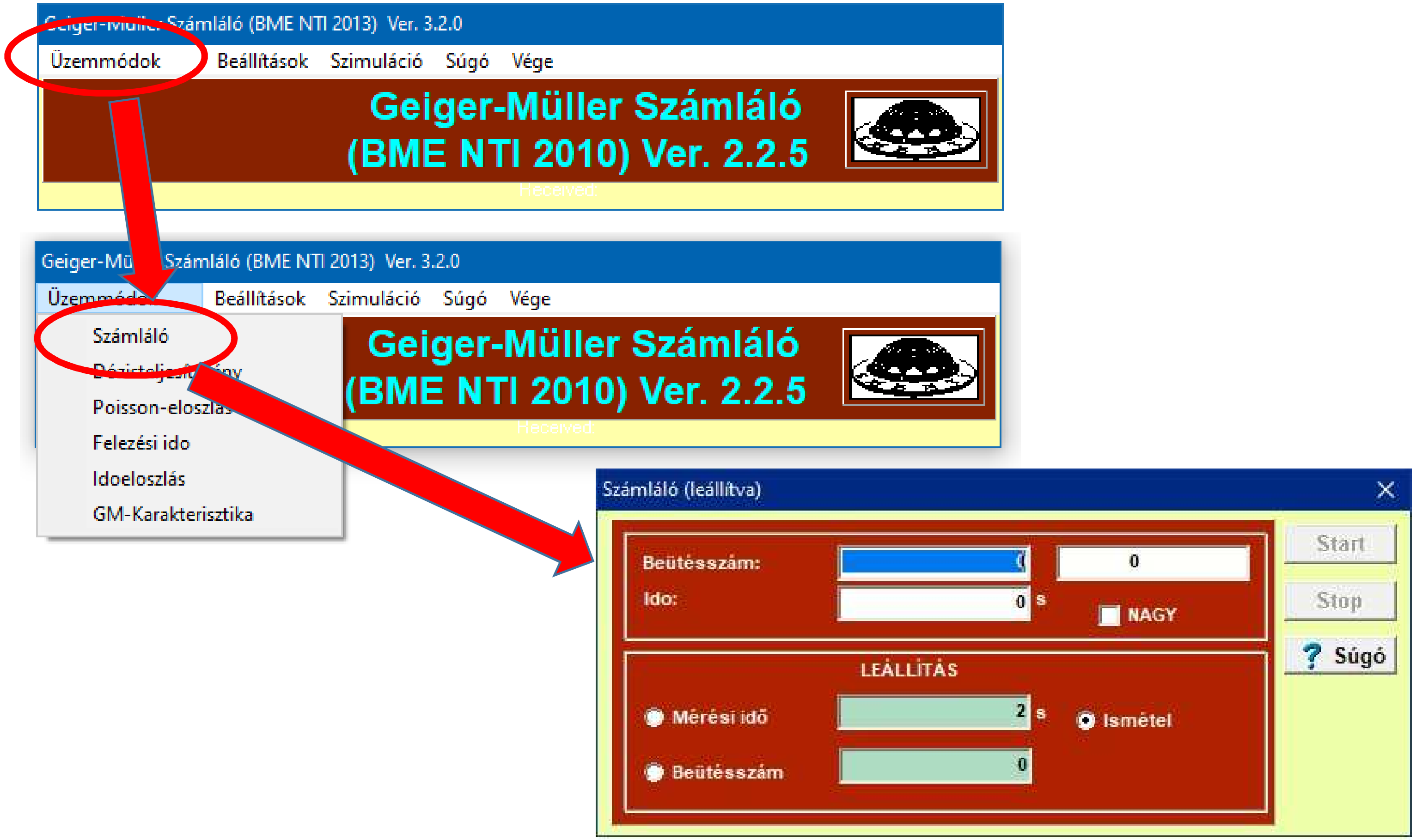
A mérés javasolt lépései:

- Mérjünk egy „tájékozódási” hátteret a 0% koncentrációval (miért nem anélkül?)
- Határozzuk meg, hogy mennyi ideig kell mérjünk, hogy a 0%-nak megfelelő beütésszámot 5% bizonytalansággal meg tudjuk határozni (hogyan?)
- Mérjük meg a másik „etalonnak” – a 60% koncentrációjú anyagnak – megfelelő (időegységre eső) beütésszámot is legfeljebb 5%-os bizonytalansággal!
- Mérjük meg a beütésszámokat az ismeretlen mintával!
- A mért értékek alapján határozzuk meg az ismeretlen koncentrációt és a bizonytalanságát!

A mérőprogram kezelése



GM_Tube



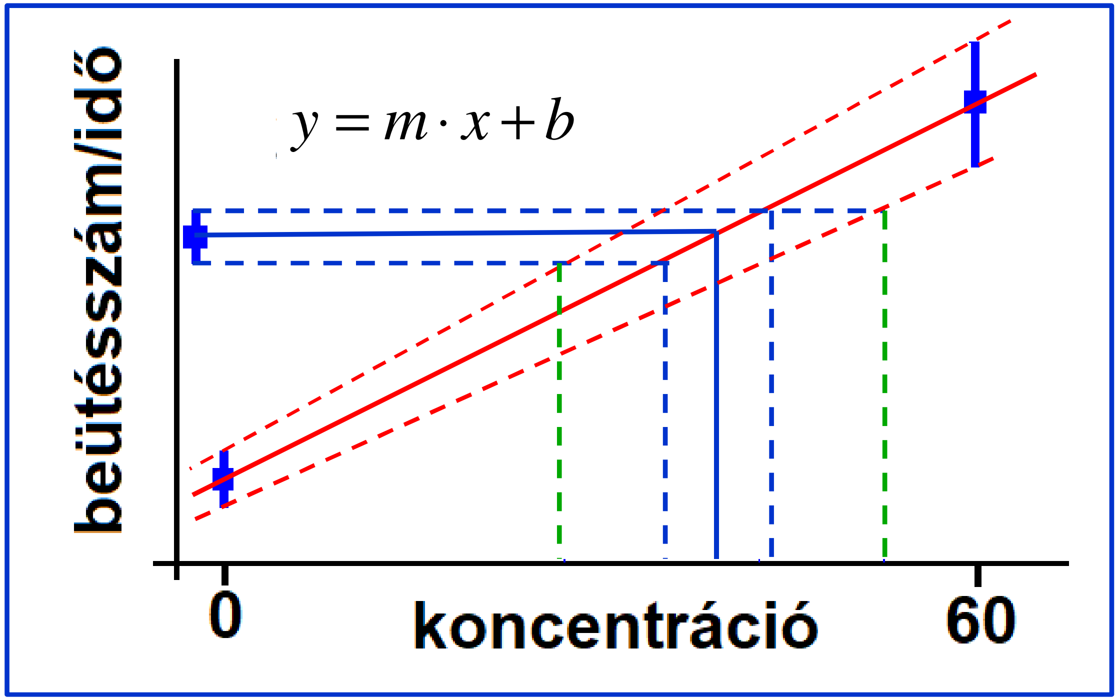
Mérési feladat kiértékelése

Statisztikai számításokkal:

- Mérési bizonytalanságok,
- hibaterjedések figyelembe vételével
- Konfidencia megadásával

Iskolában:

- Grafikusan (nem annyira korrekt, mint a fenti, de a gyerekek jobban megértik a lényegét)



Radioaktív mérések az iskolában

Alapeset az, hogy mesterséges izotópokat lehetőleg ne vigyünk be az iskolába. (EU-ban eléggé szigorú szabályozás van)

Következmény: csak „természetes” radioaktivitással szabad kísérletezni. Ezek viszont nagyon kis aktivitásúak – nehéz velük mérni.

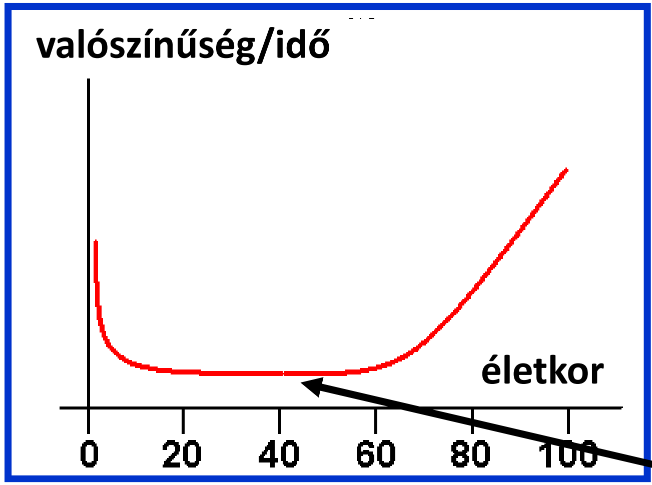
<u>Miért érdemes</u>?

- Segít leküzdeni az ismeretlentől való **félelmet** a diákokban
- Kiváló példa a mikrofizikai folyamatok **valószínűségi** jellegére
- Jól lehet vele **tanítani** mérésekkel kapcsolatos fogalmakat (várható érték, szórás, bizonytalanság, hiba…)

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

Email: **sukosd@reak.bme.hu**

A radioaktív bomlás statisztikus jellege



Embereknél a $\dfrac{\text{bomlási valószínűség}}{\text{idő}}$

függ az időtől (az egyén életkorától)

Meghalási valószínűség bizonyos idő alatt:

$$\Delta p \cong -\Delta N / N(t)$$

(itt $N(t)$= egy adott korcsoportba tartozó populáció számossága)

Fiatal emberekre ez nagyjából konstans

(> 0, mert véletlen balesetek, stb. is vannak)

Az atommagok örökifjak!

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\text{bomlási valószínűség}}{\text{idő}} = \lambda = \text{konstans } [1/\text{s}]$$

Bomlási állandó

$$\frac{dp}{dt} \cong -\frac{(dN/N)}{dt} = \lambda \quad \Rightarrow \quad \frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N(t) \quad \Rightarrow \quad \boxed{N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}}$$

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A radioaktív bomlás statisztikus jellege

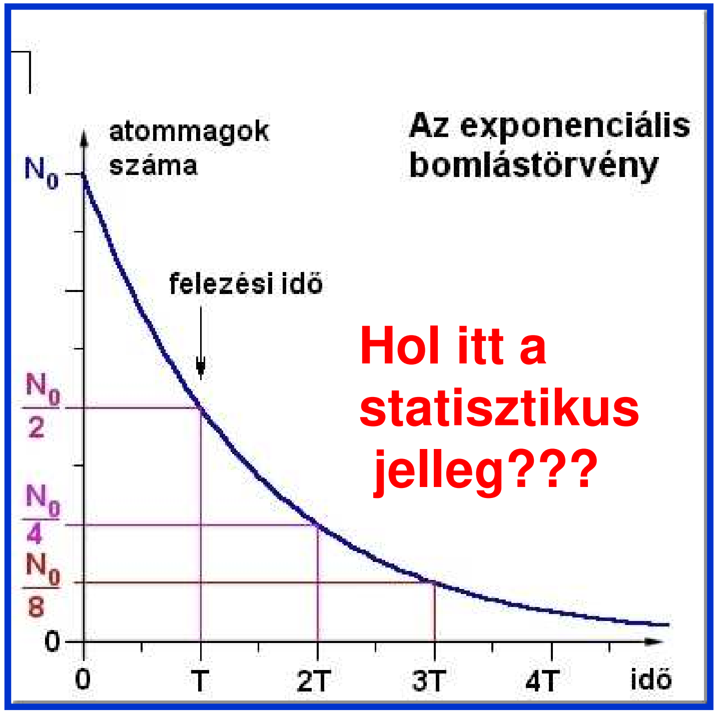
Felezési idő:

Az a T idő, amely alatt az atommagok fele elbomlik.

$$N(T) = N_0 \cdot e^{-\lambda T} = \frac{N_0}{2}$$

A második egyenletből: $e^{\lambda T} = 2$

Logaritmálva: $\boxed{T = \frac{\ln 2}{\lambda}}$



Aktivitás:

A bomlások száma időegység alatt: $A = -\frac{dN}{dt}$

Az aktivitás egysége: 1 Bq = 1/s (Becquerel)

$$\boxed{A(t) = \lambda \cdot N(t)}$$

Poisson eloszlás

A radioaktív bomlás sztochasztikus (valószínűségi) folyamat!

(leírható a bomlási állandó = bomlási valószínűség/idő: (λ) fogalmával)

- Egyetlen atom bomlásának pontos időpontja nem megmondható!
- Az exponenciális bomlástörvény csak nagy számú részecske esetén érvényes!

A **Poisson-eloszlás** megadja annak a valószínűségét, hogy

- pontosan k bomlás történjen
- egy a aktivitású forrásban
- t idő alatt.

$$\boxed{P(k, at) = \frac{(at)^k}{k!} e^{-at}}$$

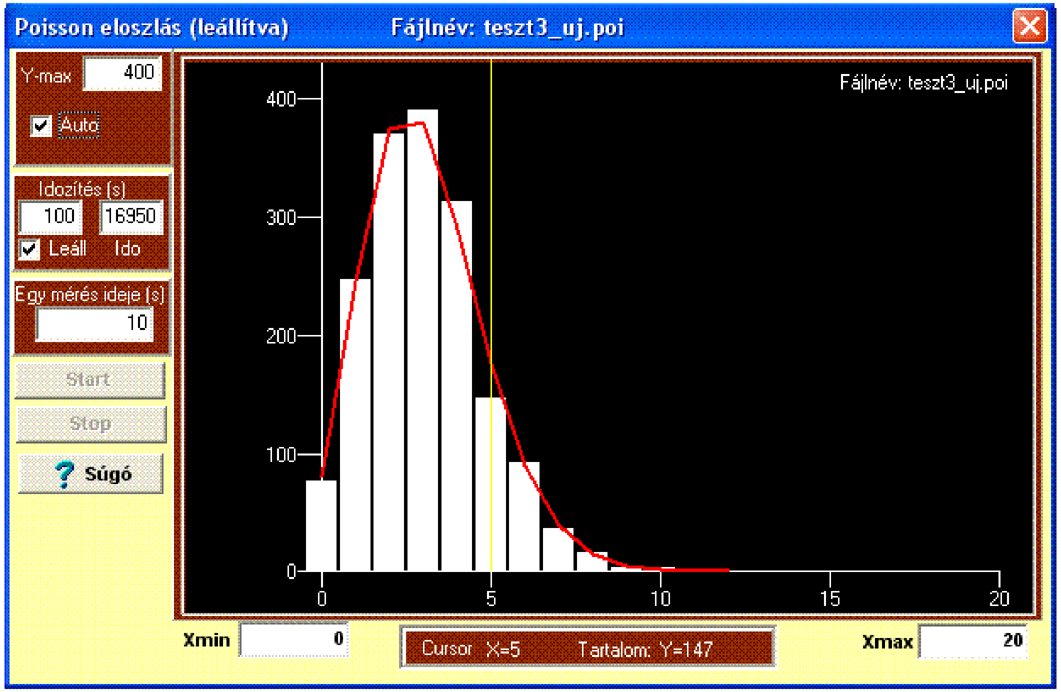
Akkor érvényes, ha az a aktivitás állandónak tekinthető $\left(t \ll T_{1/2}\right)$

A beütésszámok várható értéke és szórása

$$P(k,at)=\frac{(at)^k}{k!}e^{-at}$$

A k **várható értéke**: $\boxed{<k> \; = a \cdot t}$

És a k **szórása**: $\boxed{\sigma_k = \sqrt{a \cdot t}}$



Jegyezzük meg!! $\sigma_k = \sqrt{<k>}$

A szórás a várható érték négyzetgyöke!

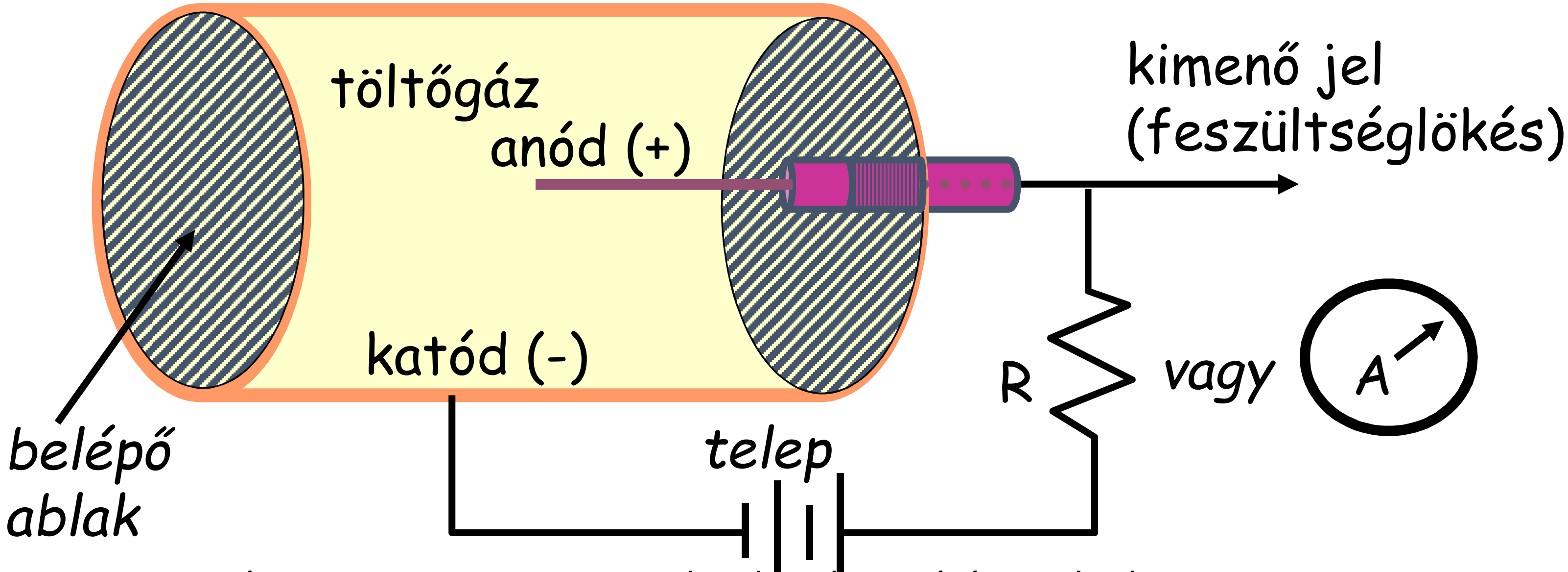
Példa: Ha (bizonyos idő alatt) a bomlások számának várható értéke N = 100, akkor a megfigyelt bomlások száma nagy valószínűséggel (~67%) 90 és 110 között lesz

https://sukjaro.hu/SCsaba/Radioaktivitas/Radioaktivitas.htm

A GM-cső működése

- A GM-cső a gáztöltésű detektorok egyik fajtája.
- Az ionizáló részecskék a gázban elektron-ion párokat keltenek
- A gázban lévő elektródok elektromos tere ezeket szétválasztja és begyűjti

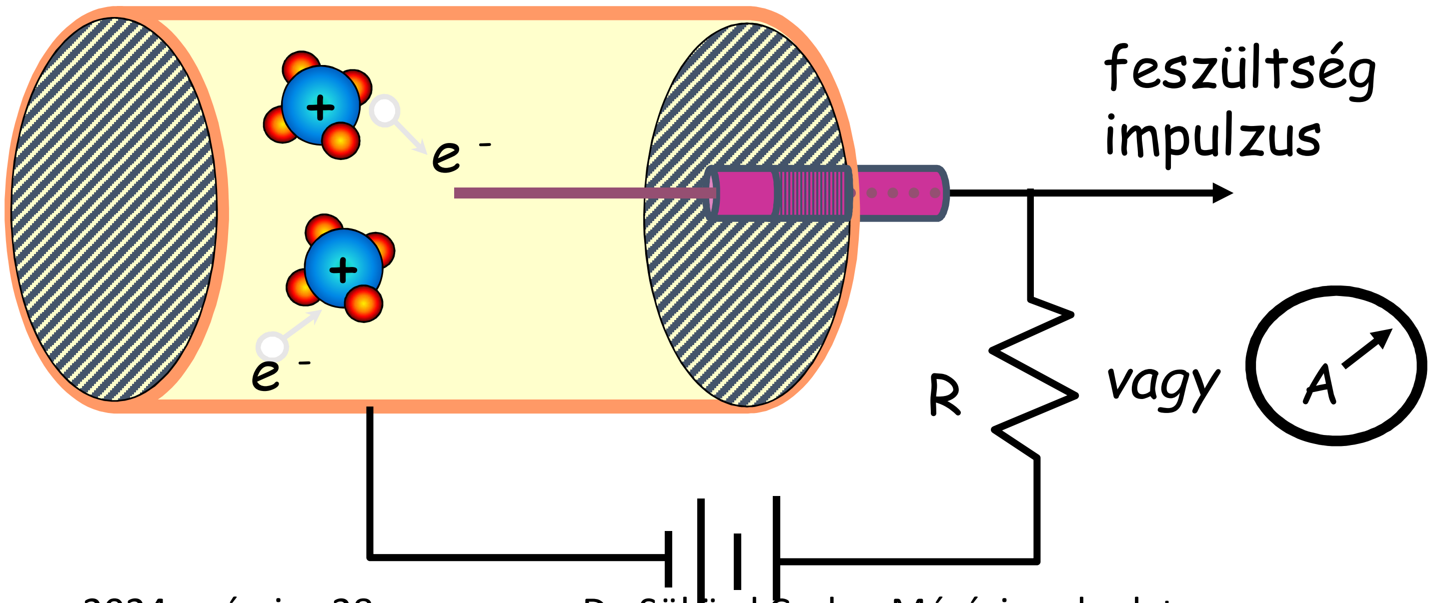
  ⇨ elektromos áramlökés keletkezik
- Az elektromos áramlökést elektronikusan erősítjük
- Az erősített impulzusokat feldolgozzuk (megszámláljuk)



A GM-cső működése

<u>Néhány fontos folyamat a gázban</u>

1) A begyűjtés ellen dolgozik a **rekombináció**
(ionok ismét találkoznak elektronokkal, és a már szétvált töltések újra egyesülnek)
Emiatt elég nagy térerősség kell a töltések teljes begyűjtéséhez

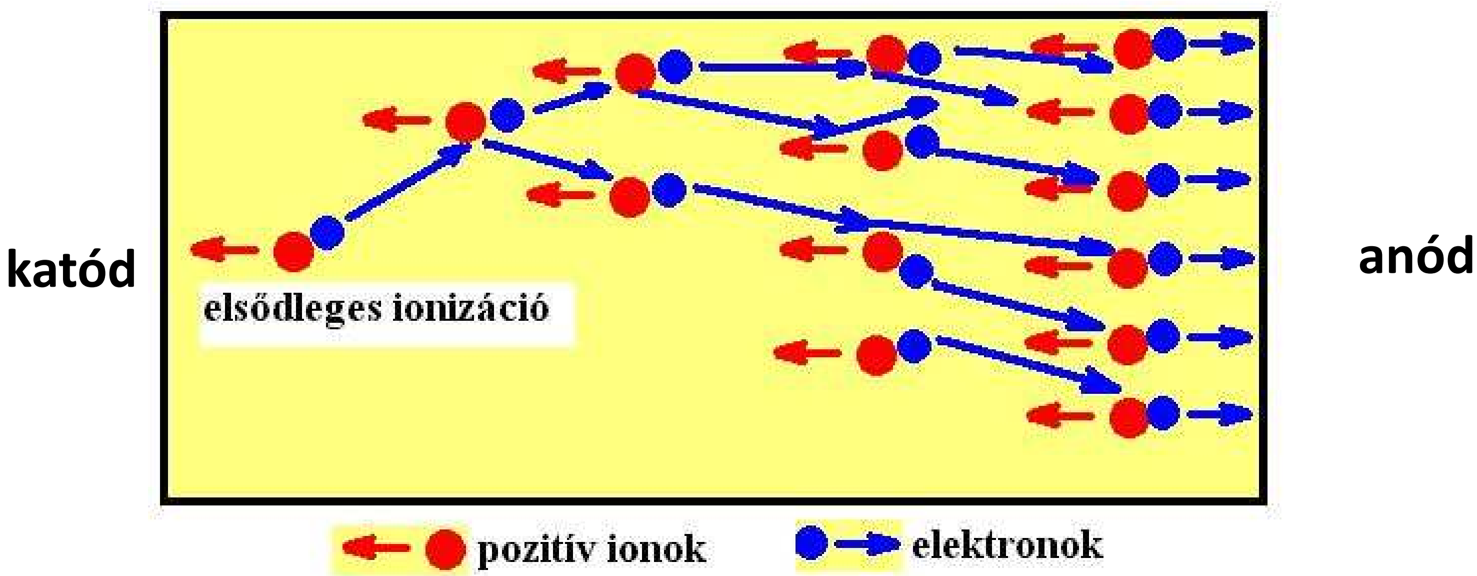


A GM-cső működése

2) **Gázerősítés** (lavina-folyamat)

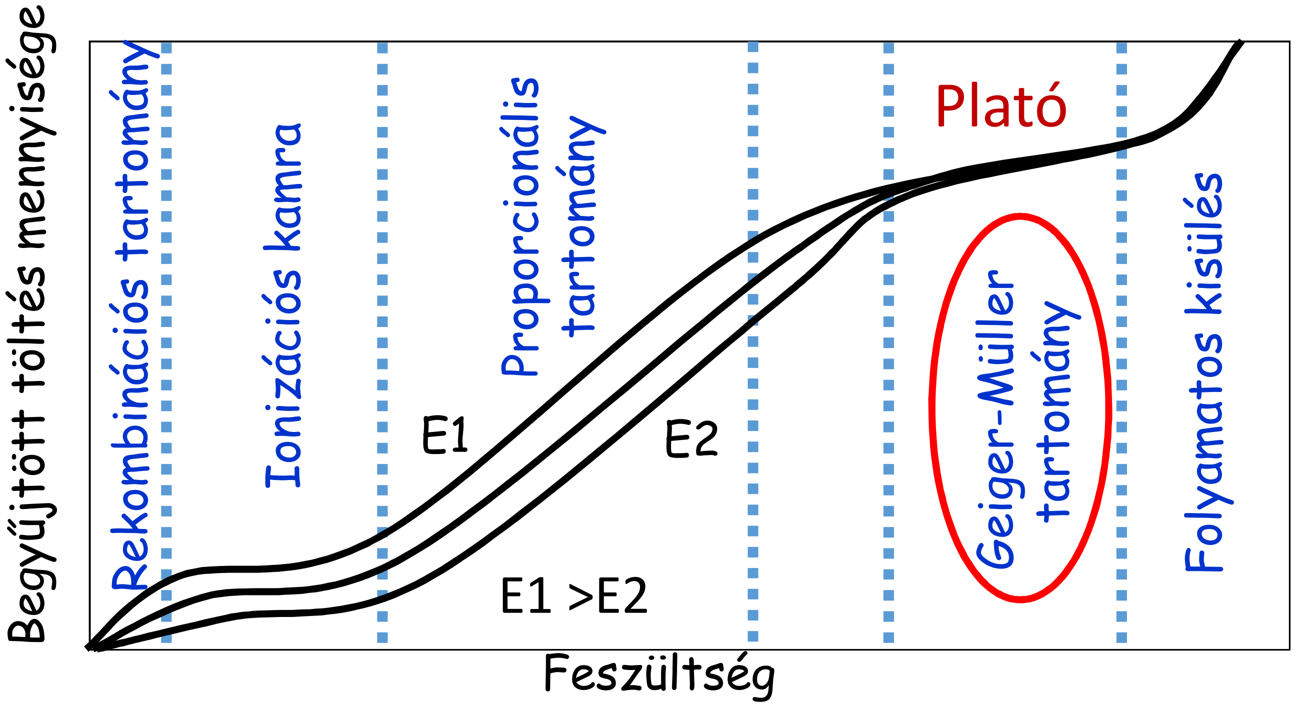
- Nagy térerősség ⟶ az elektronok két ütközés között nagy mozgási energiát nyernek
- másodlagosan ionizálnak, új elektron-ion pár keletkezik.
- több töltést lehet begyűjteni, mint amit a detektált részecske választott szét eredetileg

Lavinafolyamat gázokban



A GM-cső működése

Ezek eredményeképpen a jelek amplitúdója (begyűjtött töltés mennyisége) a következőképpen függ a detektorra adott feszültségtől (detektor karakterisztika)



A GM-cső működése

A gáztöltésű detektorok típusai:

- **Ionizációs kamra**
  minden elsődleges töltést és iont begyűjtünk, de csak azt!
  Kis amplitúdójú jelek, nagy utóerősítés kell.
  Részecske által leadott energia mérésére alkalmas
- **Proporcionális kamra**
  gázerősítés még a proporcionális tartományban
  nagyobb amplitúdójú jelek
  Energiamérésre alkalmas

- **Geiger-Müller számláló** (GM-cső)
  nagy gázerősítés, nagy amplitúdójú jelek
  amplitúdó független a gázban leadott energiától
  Energiamérésre nem alkalmas, csak részecske számlálásra