

6. OCHRANA PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM A JEHO MĚŘENÍ

Při práci se zdroji záření spočívá v zeslabení dávky záření na hodnotu, při níž je riziko ozáření sníženo na zanedbatelnou hodnotu:

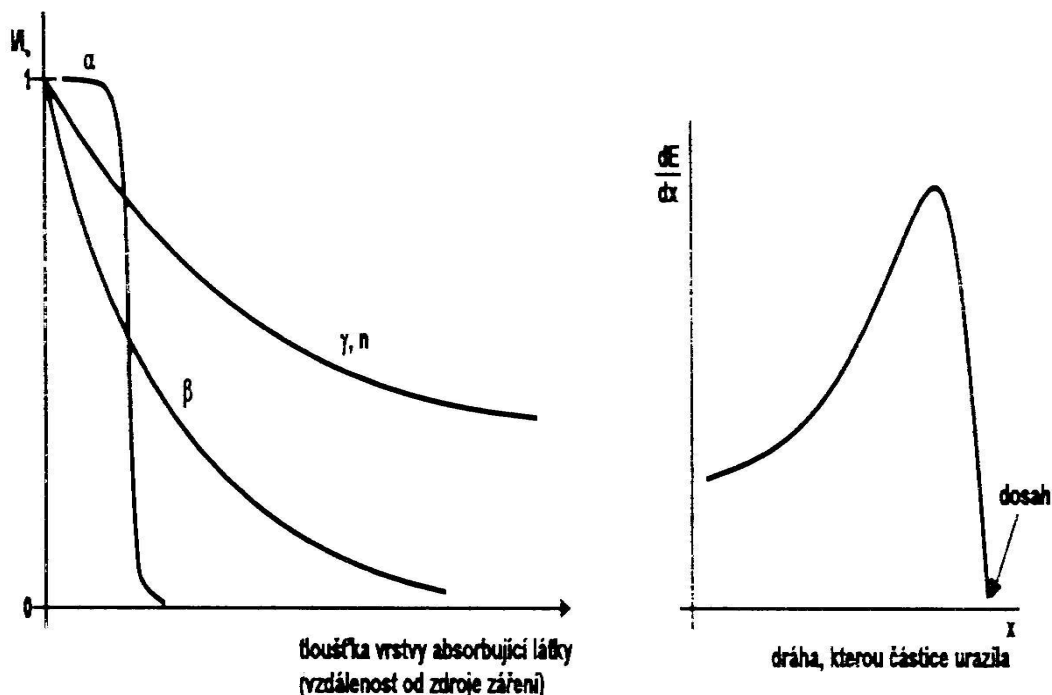
- udržování patřičné vzdálenosti od zdroje
- ostínění zdroje
- co nejkratší doba pobytu v prostoru zdroje

Ochrana vzdáleností:

$$I = \frac{I_0}{4\pi l^2}$$

(tok částic klesá o 3 řády při změně vzdálenosti z 1→32 cm)

Ochrana stíněním: využívá se vždy



Volba stínění

α	Zpravidla není třeba stínit Tenká vrstva plastu, papír, stíní-li se proti gama, pak se alfa odstíní také
β^-	Plexisklo, sklo, hliník, tenká vrstva olova
β^+	Olovo cca 3 cm – odstínění gama záření vznikajícího anihilací
γ, brzdné záření, rtg. záření	Látky s velkou měrnou hmotností (hustotou) – především olovo , wolfram, uran, olovnaté sklo, baryt apod.
neutrony	Stínění proti neutronům musí obecně sestávat ze tří vrstev : <ul style="list-style-type: none">• vrstva lehkého materiálu bohatého na vodík (moderování např. polyethylenem),• vrstva kadmia nebo boru (radiační záchyt neutronů),• vrstva olova (odstínění vznikajícího gama).

6.1. MĚŘENÍ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

Záření je nutno měřit při:

- každém použití radionuklidů či jiného zdroje ionizujícího záření
- měření dávek v dozimetrické kontrole
- průmyslovém nebo léčebném ozařování
- monitorování radioaktivity v životním prostředí

Nebezpečnost ionizujícího záření je dána:

- jeho neviditelností
- není vnímáno ani jinými smysly

Měření ionizujícího záření:

- je dáno jeho interakcí s hmotou a procesy, které záření vyvolává při absorpci v hmotě

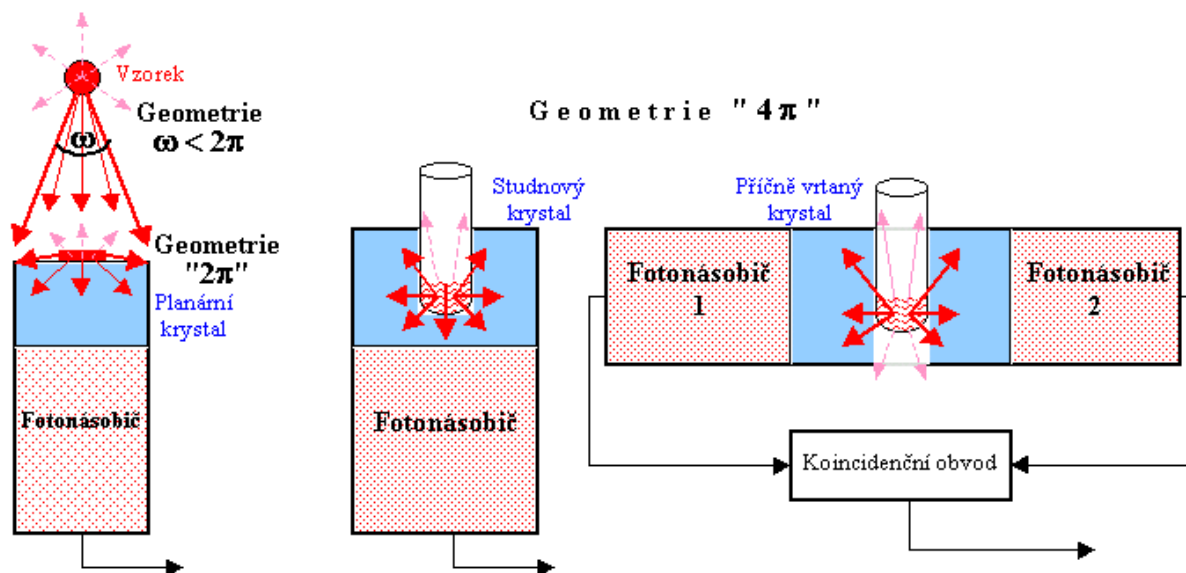
**ionizace,
excitace,
příp. jaderná reakce**

- je prováděno elektronicky, fotograficky, optickými spektrálními metodami (rtg.) aj.

- **Zpravidla se ionizační záření neměří se 100 %-ní účinností** ⇒

Relativní měření v geometrii $\omega < 2\pi$

v geometrii $\omega = 4\pi$

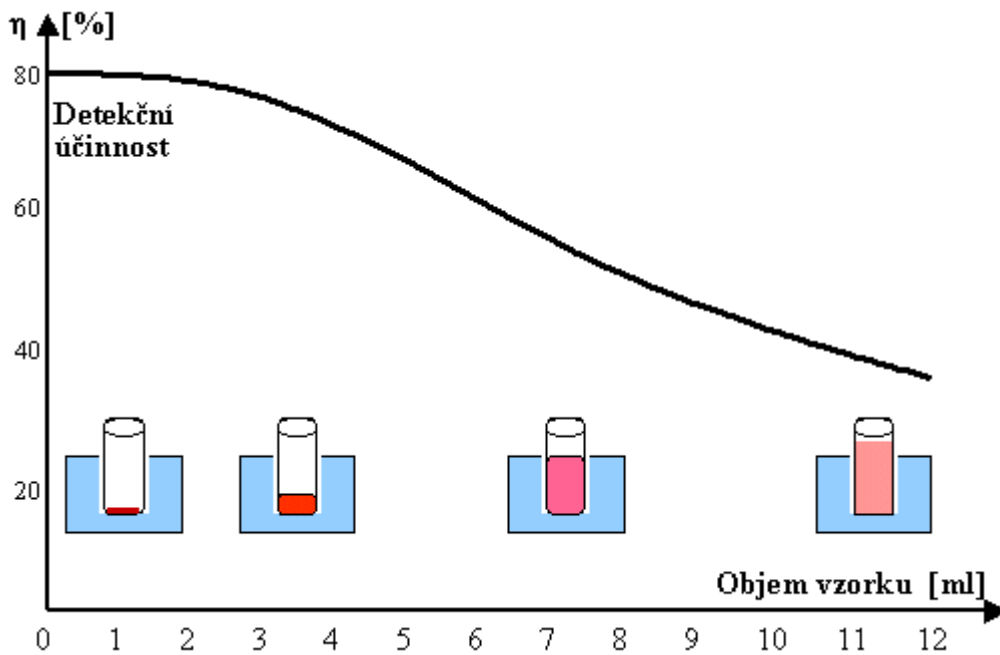


Detekční účinnost = poměr mezi měřeným počtem impulsů a počtem kvant emitovaných vzorkem, závisí na:

- **Geometrické konfiguraci** vzorku vůči detektoru. Každý vzorek emituje záření **izotropně** do všech směrů, avšak jen určitá část z tohoto záření vstupuje do citlivého objemu detektoru a může být registrována.
- **vzdálenosti vzorku** od detektoru u planárního detektoru

Pozn.:

Nejvyšší detekční účinnost je u **studnového detektoru polohová** a **objemová závislost** detekční účinnosti



Objemová závislost detekční účinnosti studnového scintilačního detektoru.

- **na absorpci záření**
v samotném vzorku (**samoabsorbce**),
ve vstupním okénku detektoru.

při měření vzorků se může uplatnit i **rozdílná tloušťka skla** zkumavek a ampulí, zvláště při měření záření gama nízkých energií (např. u ^{125}J).

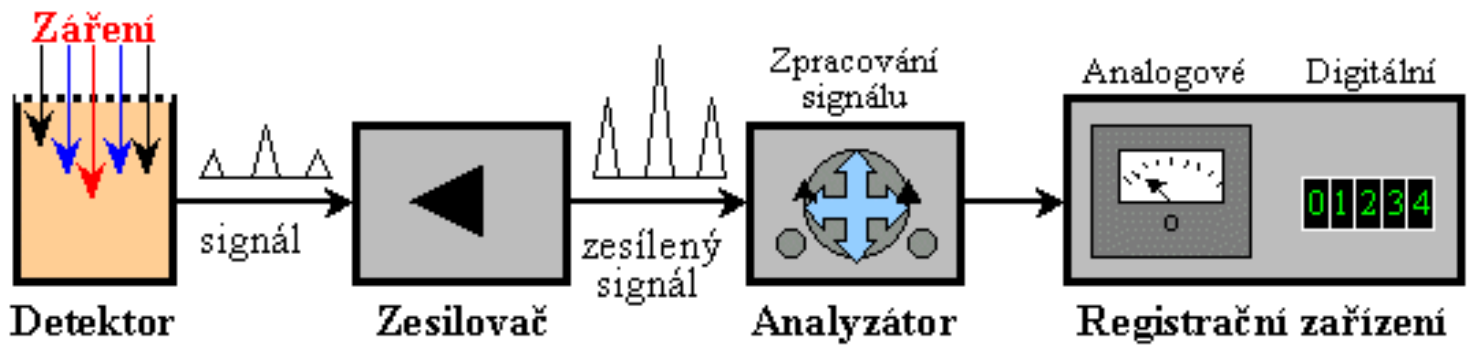
Chyby při měření ionizujícího záření:

- jsou dány pravděpodobnostním charakterem radioaktivní přeměny (četnost jednoho vzorku může být při opakovaných měřeních různá)
- rozptyl hodnot četnosti jednoho a téhož vzorku lze eliminovat naměřením co největšího počtu impulsů

tj. měřením dostatečně vysokých aktivit

prodloužením doby měření

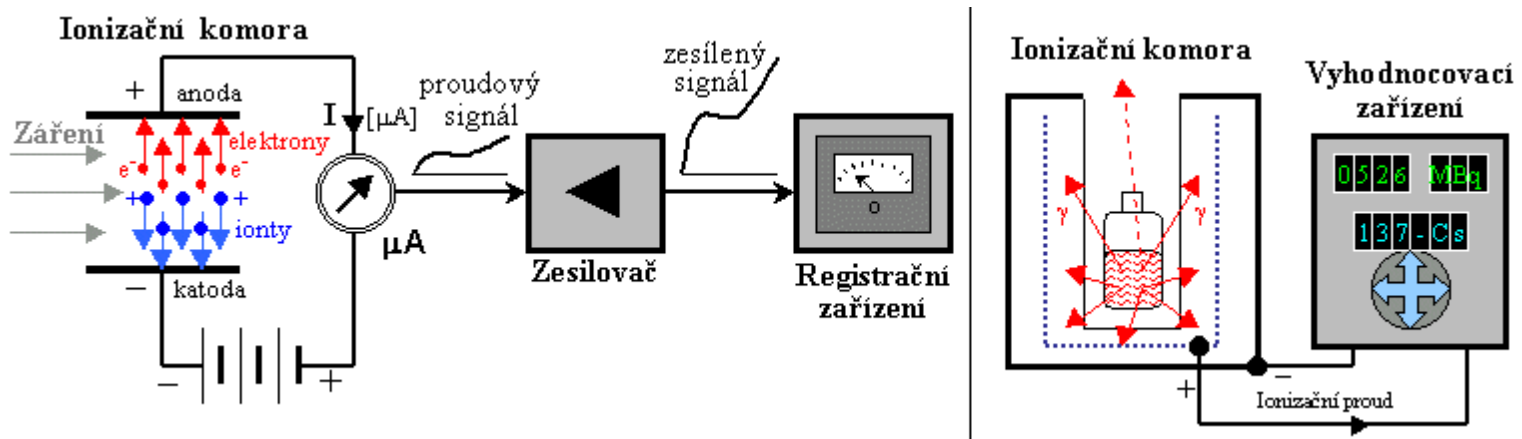
A) ELEKTRONICKÝ ZPŮSOB DETEKCE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ



- **detektor záření** (energie sdělená detektoru při absorpci se přeměňuje na **elektrické nebo optické signály**)
 - vyžaduje zpravidla **napájení vysokým napětím**
 - elektrické impulsy je nutno elektronicky upravit (zesílit, tvarovat, třídit podle energie)
 - upravené signály se registrují v **pulsním** (**čítač impulsů**) – čas může být libovolně dlouhý
 - nebo **integrálním režimu** (na čtecí jednotce se zobrazuje jako počet impulsů za časovou jednotku, tzv. **četnost v $\text{imp}\cdot\text{s}^{-1}$**)
 - ⇒ **dozimetrické přístroje** k určení úrovně radioaktivity, kontaminace apod.
 - místo **$\text{imp}\cdot\text{s}^{-1}$** lze display kalibrovat přímo v dávce záření, příp. v **dávkovém příkonu** (v **$\mu\text{Gy}\cdot\text{hod}^{-1}$**)

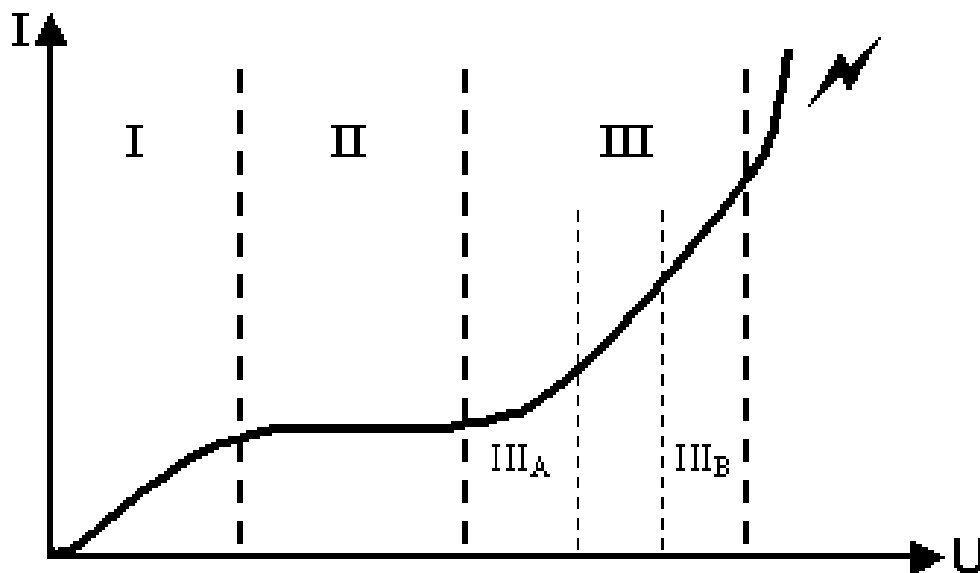
Detektory ionizujícího záření

A) Plynové ionizační detektory (400- 2000 V)



Funkce plynové ionizační komory

- detektor je naplněn vhodným plynem
- při vniknutí částice do plynné náplně dochází k primární ionizaci, vzniklé ionty jsou urychleny silným elektrickým polem mezi válcovou katodou a drátkovou anodou – sekundární ionizace ⇒ zesílení impulsu (koeficient plynového zesílení)
- Závislost ionizačního proudu I komorou na přiloženém napětí U

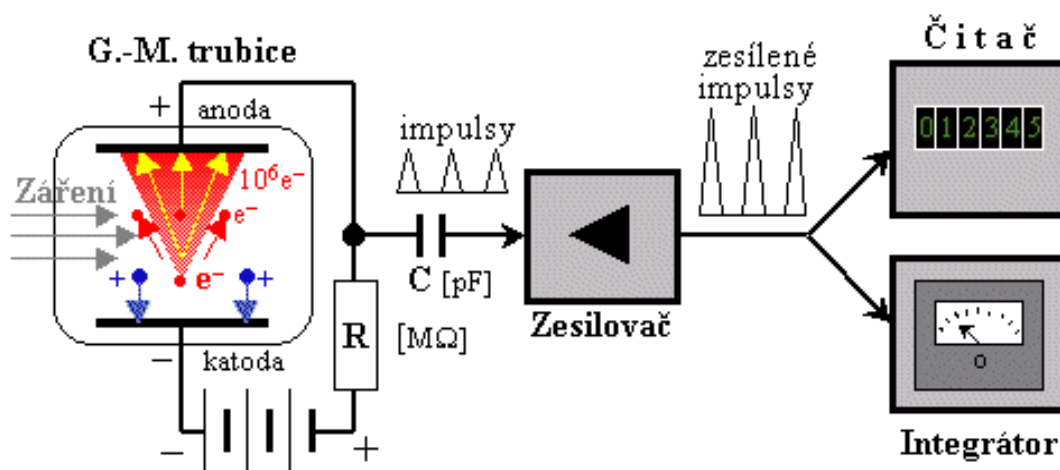


- I. Oblast **Ohmova zákona** - **Tato oblast se pro detekci záření nepoužívá.**
- II. Oblast **nasyčeného proudu** - ionty se pohybují vlivem silnějšího elektrického pole natolik rychle, že nestačí zrekombinovat a všechny se účastní vedení proudu. **V tomto oboru pracují ionizační komory popsané výše.**
- III. Oblast **nárazové ionizace** -

je počet sekundárních iontů **přímo úměrný** počtu primárních iontů vyvolaných zářením. V této oblasti pracují **proporcionální detektory** - oblast IIIA.

Při ještě vyšším napětí - na křivce - je sekundární ionizace nárazem již tak intenzivní, že dochází k **lavinovitému zmožení** elektronů a iontů (k mikrovýboji) - v této oblasti pracují **Geiger-**

GM (Geiger- Müllery) počítače obsahují směs argonu s parami ethanolu nebo halogenem – výsledný puls je silně zesílen (až 10^{10} x) a nezávisí na druhu záření



- **proporcionální počítače** obsahují methan nebo xenon, výsledný puls je zesílen relativně málo (10^3 - 10^4 x), závisí na lineárním přenosu energie, rozlišuje α - a β -záření
- **průtokový proporcionální počítač** vhodný pro měření nízkoenergetického β -záření v průtokovém režimu (zářič se umísťuje dovnitř trubice) vhodný pro měření plyných radioaktivních sloučenin a měření neutronů (počítač s vnitřní náplní)

Měření neutronů, které samy nemají ionizační schopnost, je možné po přidavku plynného BF₃ k plynné náplni.

Probíhá reakce $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$, **ionizaci vyvolávají částice α a ionty lithia.**

B) Polovodičové detektory

Fungují na elektrických vlastnostech p/n rozhraní (Si nebo Ge)

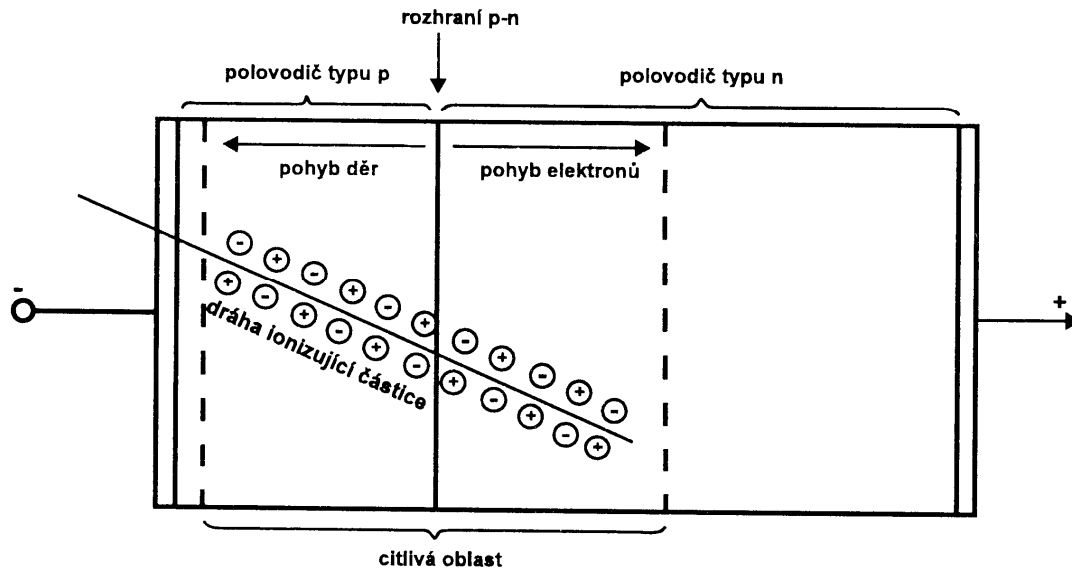
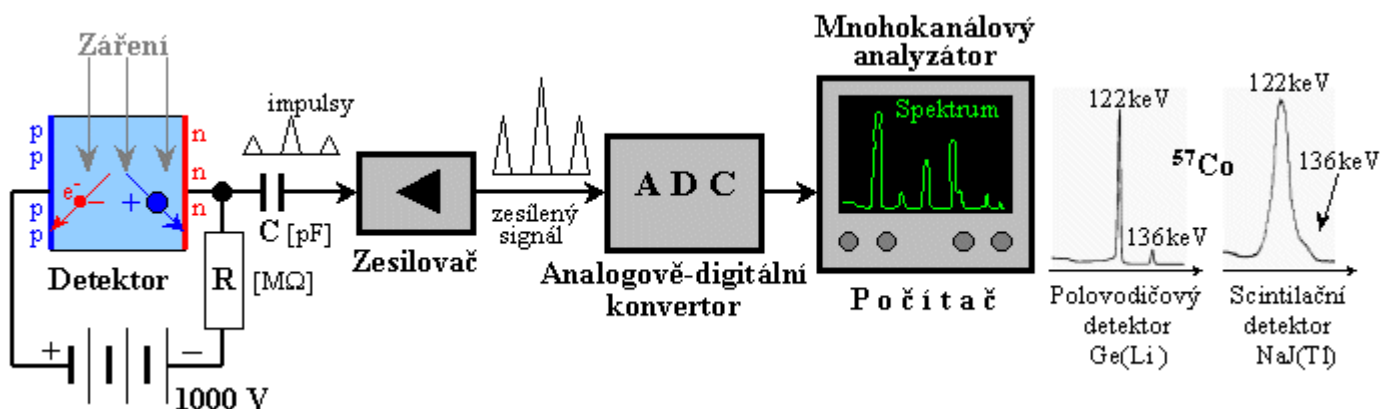


Schéma zapojení polovodičového detektoru



Typy polovodičových detektorů:

Detektory z vysoce čistého germania (HPGe) nebo křemíku

(o čistotě 10^{10} atomů příměsi na cm^3)

- Vyšší atomové číslo materiálu znamená vyšší účinnost absorpce γ -záření
- čisté Ge nebo Si je polovodičem typu **n**, na něm se tvoří iontovou implantací vrstva typu **p**

Detektory dopované lithiem

Ge(Li) pro detekci γ -záření
Si(Li) pro detekci α -záření a jiných kladných částic a nízkoenergetického rtg záření

- volbou velikosti detektoru lze docílit citlivého objemu až stovky cm^3
- zhotovují se difuzí Li do Ge, vytváří se lithiový gradient, atomy Li jsou v intersticiálních polohách
- k vytvoření citlivého objemu se využívá malé ionizační energie **Li** \rightarrow **Li⁺** + **e⁻**, ke které dochází vlivem silného elektrického pole mezi elektrodami detektoru

\Rightarrow vznik určitého prostoru s velkým odporem (citlivá oblast), která je schopna registrovat ionty vytvořené po průchodu ionizujícího záření

Jiné typy polovodičových detektorů

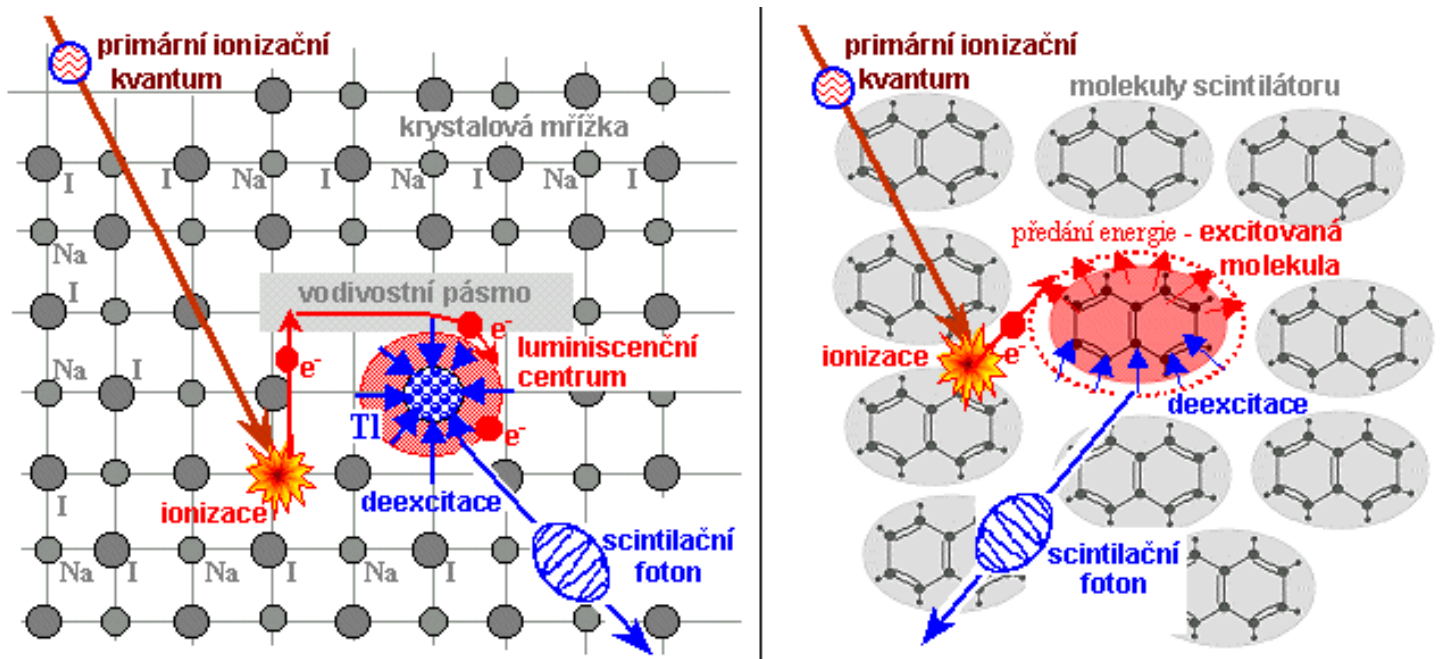
- Výjimečně se používají i jiné polovodičové materiály, jako je **Ga(As)**, **Cd(Te)**....
- Pro detekci X-záření se někdy používají detektory na bázi **CdZnTe** (CZT), které mají vysokou detekční účinnost pro fotony energie desítek keV.

Vlastnosti polovodičových detektorů

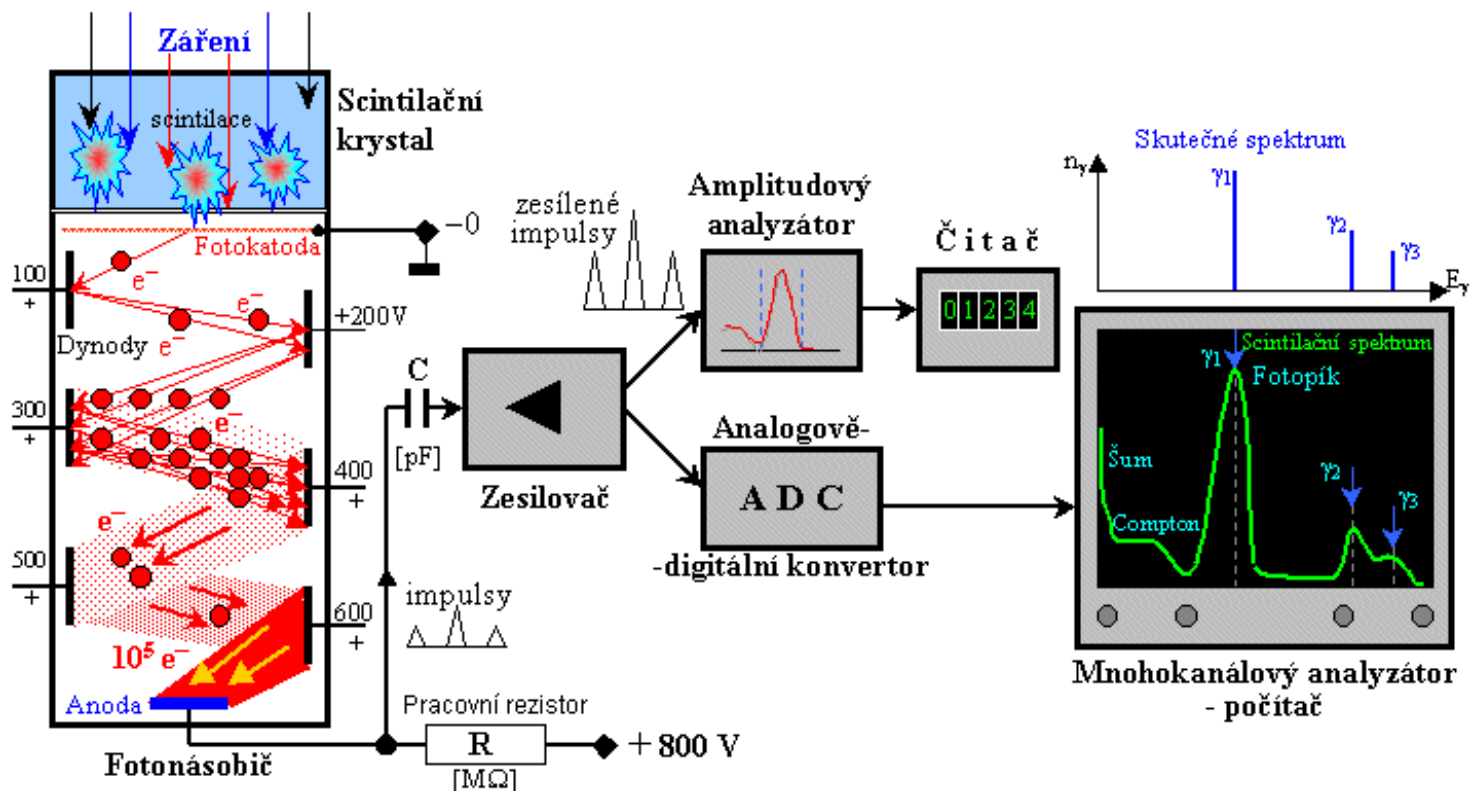
1. závislost výšky napěťového pulsu na energii záření (vhodné pro spektrometrii)
2. vysoká rozlišovací schopnost při měření energie záření
3. vysoká cena (pouze pro měření α - a γ -záření)
4. speciální detektory jsou schopny zaznamenat i místo, kam částice dopadla (významné při detekci a identifikaci nestálých jader nejtěžších prvků)
5. detektory Ge(Li) a Si(Li) se musí neustále uchovávat při teplotě kapalného dusíku (při normální teplotě se mění gradient Li v detektoru, což vede ke zničení detektoru)
6. neustálé chlazení potlačuje tzv. temný proud detektoru (pozadí) – vzniká proto, že při normální teplotě dochází k samovolné ionizaci Ge tepelnými kmity atomů v mřížce, tvorbě párů díra-elektron a tím i ke vniku velkého počtu proudových impulsů
7. detektory z velmi čistého Ge se chladí pouze během měření

C) Scintilační detektory

- využívají **excitačních účinků ionizujícího záření**
- při deexcitaci elektronů v průhledných látkách dochází ke vzniku **záblesku (scintilaci)**



- detektor musí dobře propouštět světlo a mít krátkou dobu trvání záblesku o vhodné vlnové délce
- tyto záblesky se registrují např. **fotonásobičem** (převádí světelné záblesky na elektrické impulsy)



- **fotokatoda: Cs-Sb** (vysoká citlivost na světlo, nízká výstupní práce elektronu)
- malý počet elektronů, které se uvolní po dopadu na fotokatodu se, se zvětší po průchodu fotonásobičem cca 10^6 až $10^8 \times \Rightarrow$ **slušný elektrický impuls**
- **velikost impulsu je úměrná energii záření** (vhodné pro spektrometrii)
- mají však podstatně **horší rozlišovací schopnost ve srovnání s polovodičovými detektory**

Běžné typy scintilačních detektorů

Anorganické scintilátory

NaI(Tl)	γ -záření
CsI(Tl); Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ (BGO)	γ -záření s vyšší energií
LiI(Eu); ⁶ Li(n, α) ³ H	neutrony
ZnS(Ag)	α - záření
ZnS(Ag) s příměsí kys. borité ¹⁰ B(n, α) ⁷ Li	pomalé neutrony
ZnS(Ag) s příměsí kys. borité, v kombinaci s polyethylenem	rychlé neutrony

Organické scintilátory - naftalen, anthracen, stilben

Využití kapalně scintilace

- používají se pro měření nízkoenergetických zářičů β



- využívá se některých organických látek, které jsou rozpustné v organických rozpouštědlech (**toluen nebo 1,4,-dioxan**)

- mají dobré luminiscenční vlastnosti - např.

2,5-difenyloxazol – PPO

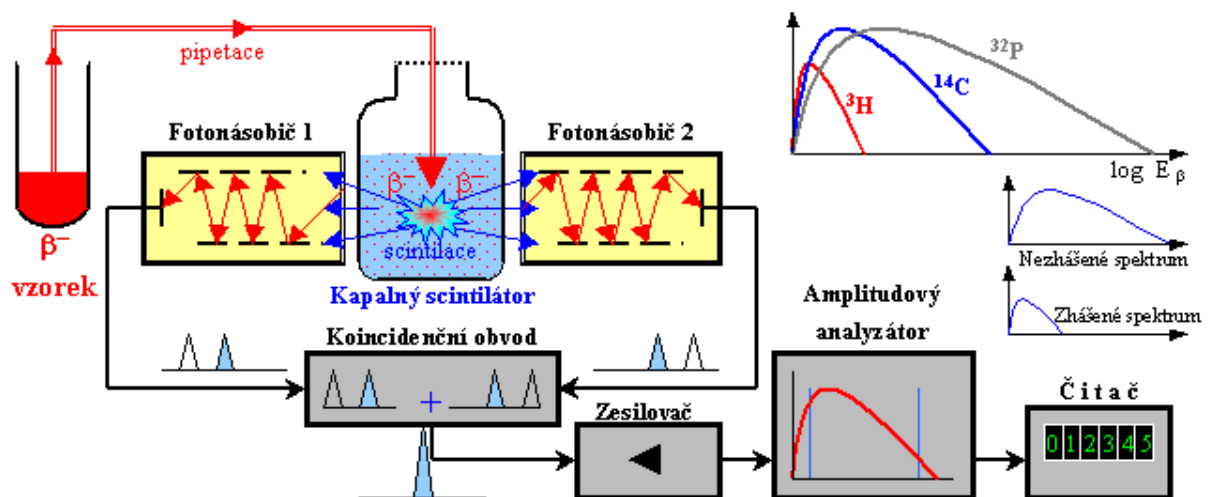
1,3,4-oxadiazol -PBD v koncentracích okolo 5 g/litr,
naftalen ve scintilátorech na bázi dioxanu

- k roztoku scintilátoru se dále přidávají:

- tzv. **posunovač spektra 1,4-bis-(5-p-tolyl-2-oxazolyl)-benzen (POPOP)**
- a jiné specifické složky podle druhu vzorku

- radioaktivní látka se přidává do roztoku kapalného scintilátoru v PE lahvičce

- vzorek s radionuklidem je po měření nepoužitelný a vyhazuje se



- "**4π-geometrii**" umožňuje měření s vysokou účinností

Měření však komplikuje:

Chemické zhášení (vody aj. látky)- zamezují přenosu excitační energie mezi molekulami rozpouštědla a scintilační látky, takže dojde jen ke **slabší scintilaci**.

Barevné zhášení způsobuje, že část fotonů emitovaných při scintilacích je **absorbováno** látkami obsaženými ve vzorku (chlorované uhlovodíky, peroxidy, kyslík apod.

Provádí se korekce na zhášení :

- **Interní standardizace** sestavením tzv. **zhášecí křivky**
- **Externí standardizace** (měřený vzorek s kapalným scintilátorem, zasunutý v měřící poloze mezi fotonásobiči, se na chvíli **ozáří zářením gama** z externího zdroje a analýzou tvaru takto získaného spektra (poměrem dvou částí spektra) se stanoví korekční koeficient.

Chemiluminiscence

Chemiluminiscence je děj, při kterém je vyzařováno záření v důsledku chemických reakcí. Některé chemické reakce mezi materiálem vzorku a scintilátorem mohou vést k této chemiluminiscenci, která ve fotonásobiči vyvolává falešné impulsy nemající původ v detekovaném záření beta.

Chemiluminiscence je děj **časově omezený** a **exponenciálně doznívá během asi 30 minut** po vložení hotových vzorků do zásobníku vzorkoměniče, kde na ně nepůsobí světlo.

D) Fotografická detekce

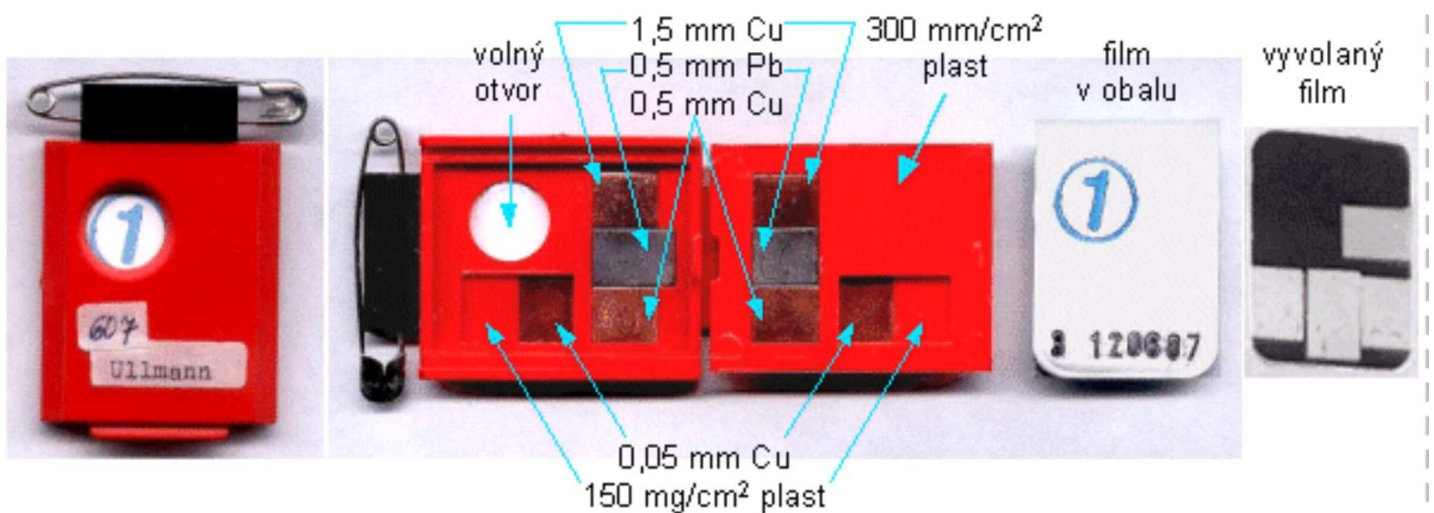
Vliv radioaktivního záření na citlivou fotografickou vrstvu je podobný jako u viditelného světla

γ - záření

rtg. záření

neutrony – fotografická emulze se překryje
kadmiovou fólií $^{113}\text{Cd}(n,\gamma)^{114}\text{Cd}$

Osobní filmový dozimetr



Radiografické a autoradiografické metody

poskytují informace o rozložení radioaktivity ve zkoumaném objektu

Využití:

- výzkum distribuce radioaktivity
- průmyslová radiografie
- lékařská rtg. diagnostika

E) Stopové detektory částic

jde o látky, v nichž nabité částice vyvolávají mikroskopické poruchy v jejich struktuře (slída, skla, organické polymery)

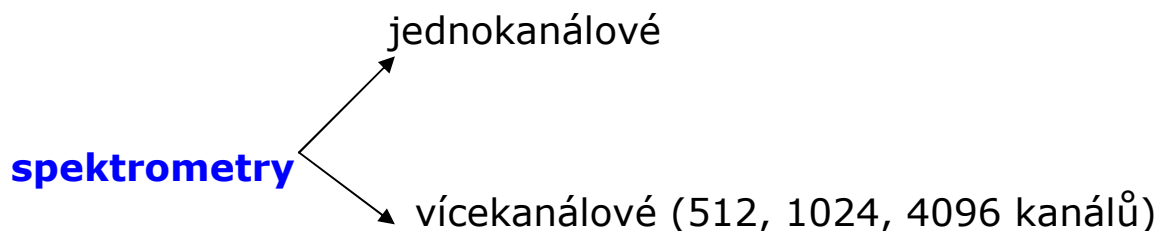
radiační stopa se zpravidla zviditelňuje leptáním

Použití:

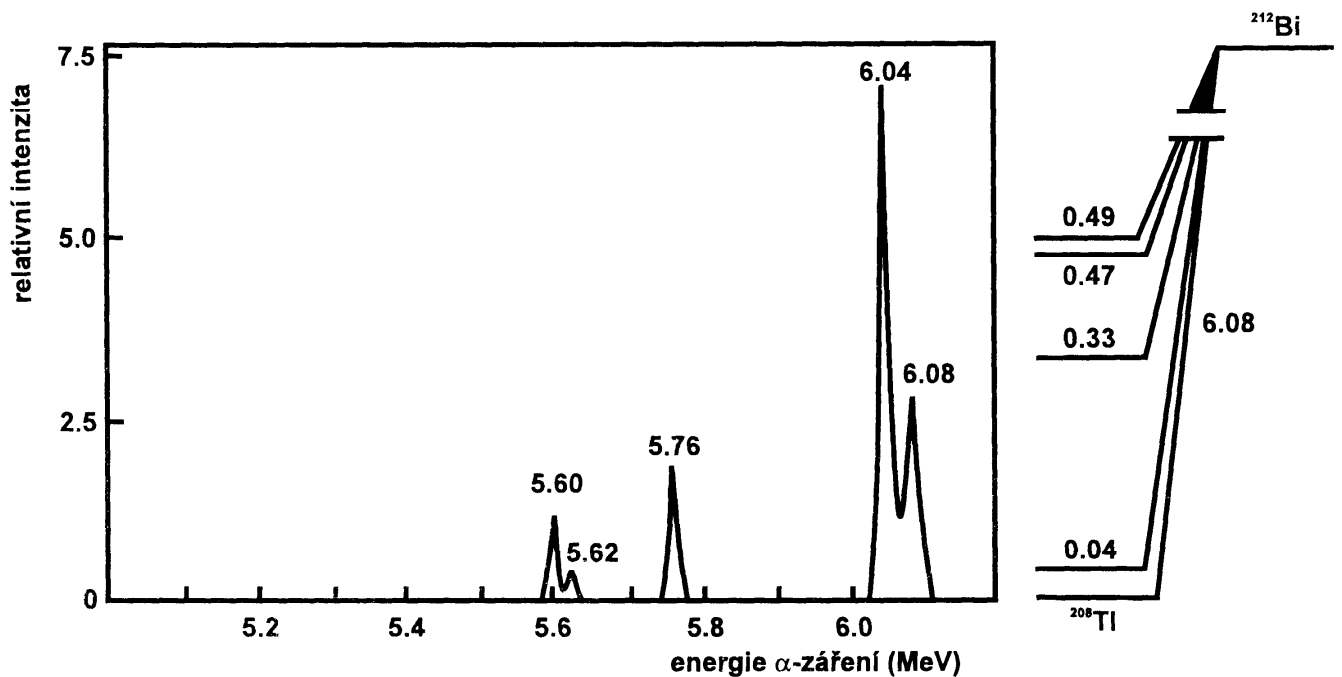
v dozimetrii α -záření (dávky způsobené radonem a jeho dceřinými produkty)

Spektrometrické metody

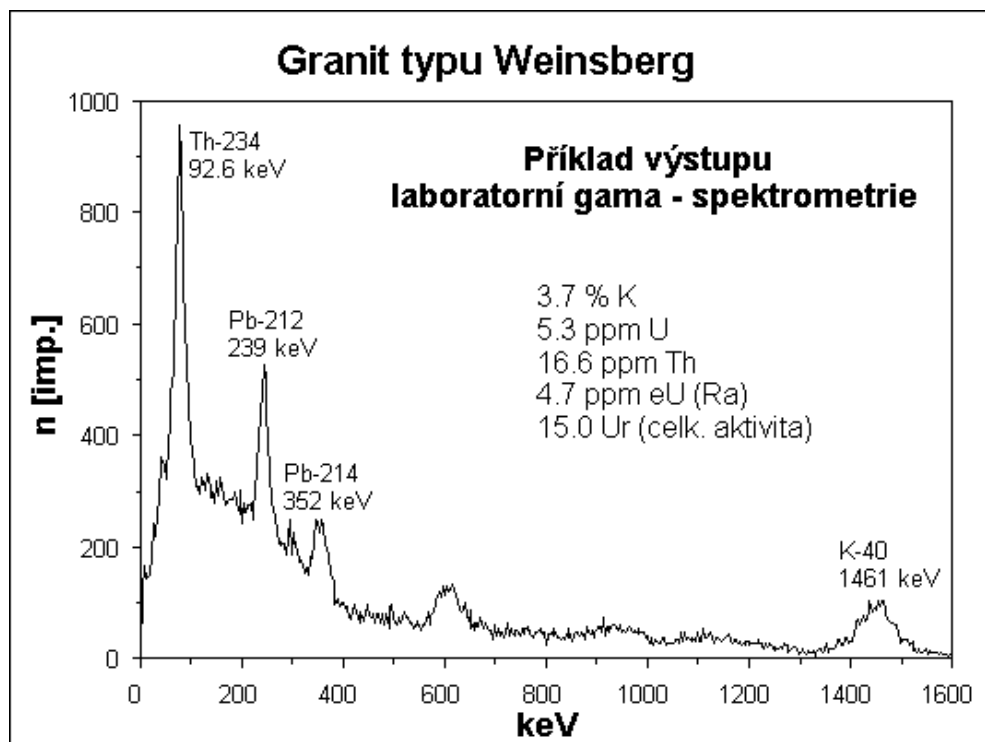
některé detektory (**scintilační a polovodičové**) jsou schopny rozlišit energii záření na základě výšky elektrického impulsu pomocí analyzátoru výšky impulsů – **spektrometrické metody**



Gama spektrum je čarové a obsahuje:



- **fotopík** (odpovídá absorpci celého γ -fotonu detektorem)
- **Comptonovo kontinuum** před fotopíkem (je způsobeno neúplnou absorpcí fotonu Comptonovým rozptylem). Lze jej potlačit volbou většího detektoru
- **anihilační záření 0,51 MeV**



Pozn.

- germaniové detektory záření γ **velmi dobrou energetickou rozlišovací schopnost** (zpravidla lepší než 1 keV), asi 30-krát lepší než detektory scintilační
- Mají též vysoký poměr fotopíku ke spojitému Comptonovskému pozadí.
- Oproti scintilačním detektorům však mají **nižší detekční účinnost** pro záření gama a též **delší mrtvou dobu**