

## 12. OCHRANA PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM

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:

$$I = \frac{Q}{r^2}$$

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

Ochrana stíněním:

- využívá se vždy
- výjimkou jsou  $\alpha$ -zářiče (absorbují se ve skle, obalech)
- materiál vhodné tloušťky

$\beta$ -záření (1-2 cm vrstva hliníku, skla, plexiskla)

brzdné záření,  $\gamma$ -záření, rtg záření, pozitronové zářiče  
(vrstva olova, barytu, oceli)

neutronové záření (ochrana spočívá v jejich zpomalení látkami s vysokým obsahem vodíku - parafin, polyethylen, záření  $\gamma$ , které vzniká při konečné absorpci zpomalených neutronů reakcí  $(n, \gamma)$  se odstíní vrstvou olova.

## 13. 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
- je prováděno elektronicky, fotograficky, optickými spektrálními metodami (rtg.) aj.

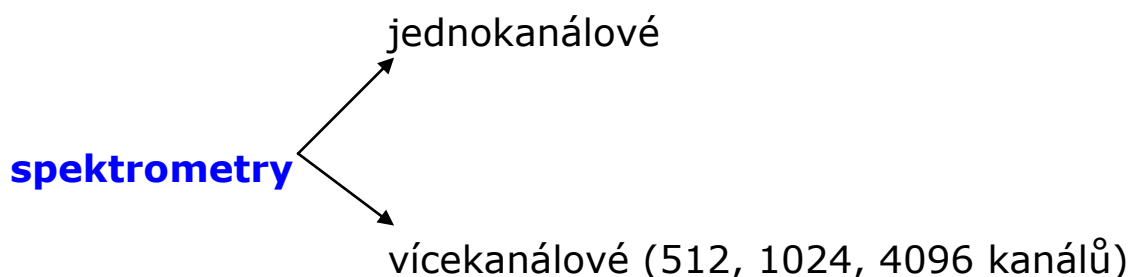
### A) Elektronický způsob detekce ionizujícího záření

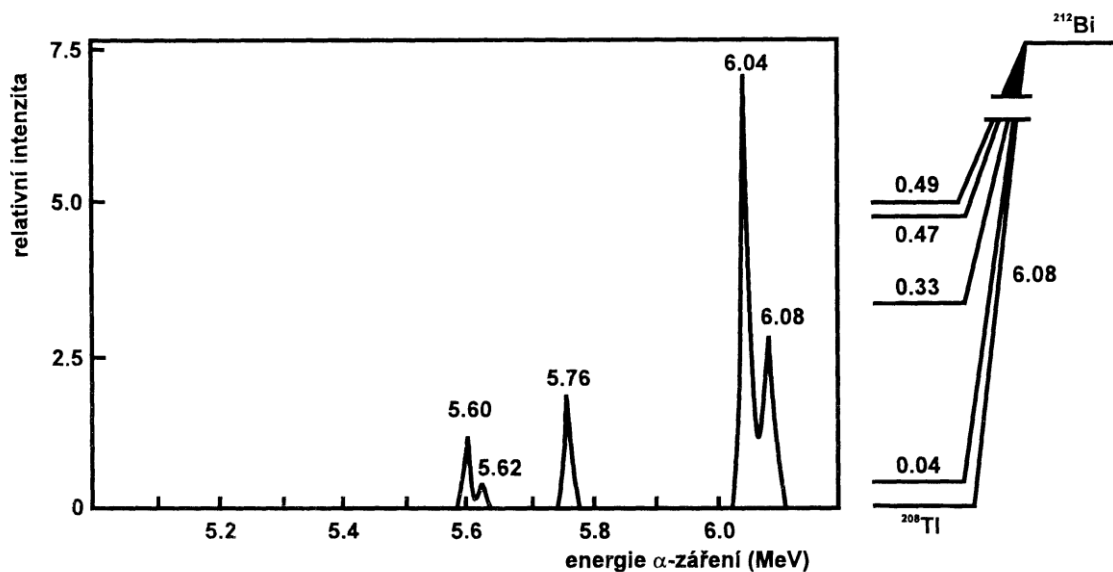
- **detektor záření** (energie sdělená detektoru při absorpci se přeměňuje na elektrické nebo optické signály)
- tento typ detektoru vyžaduje napájení vysokým napětím
- elektrické impulsy je nutno elektronicky upravit (zesílit, tvarovat, třídit podle energie)

- 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 čas. jednotku, tzv. četnost v  $\text{imp.s}^{-1}$ )-dozimetrické přístroje k určení úrovně radioaktivity, kontaminace apod.
- místo  $\text{imp.s}^{-1}$  lze display kalibrovat přímo v dávce záření, příp. v dávkovém příkonu (v  $\mu\text{Gy.hod}^{-1}$ )
- některé detektory jsou schopny rozlišit energii záření na základě výšky elektrického impulsu pomocí analyzátoru výšky impulsů

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

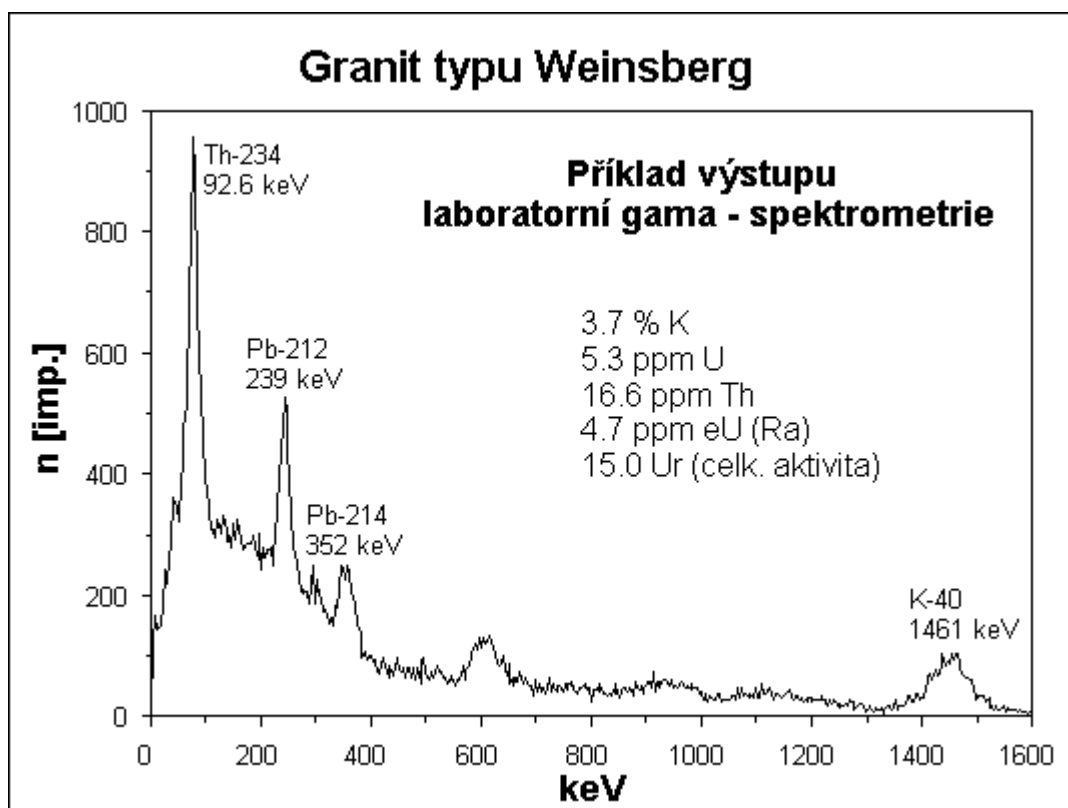
Při měření radionuklidu se určují energie jednotlivých druhů přeměn, kterým nuklid podléhá:





Gama spektrum je čarové a obsahuje:

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



## Chyby při měření ionizujícího záření:

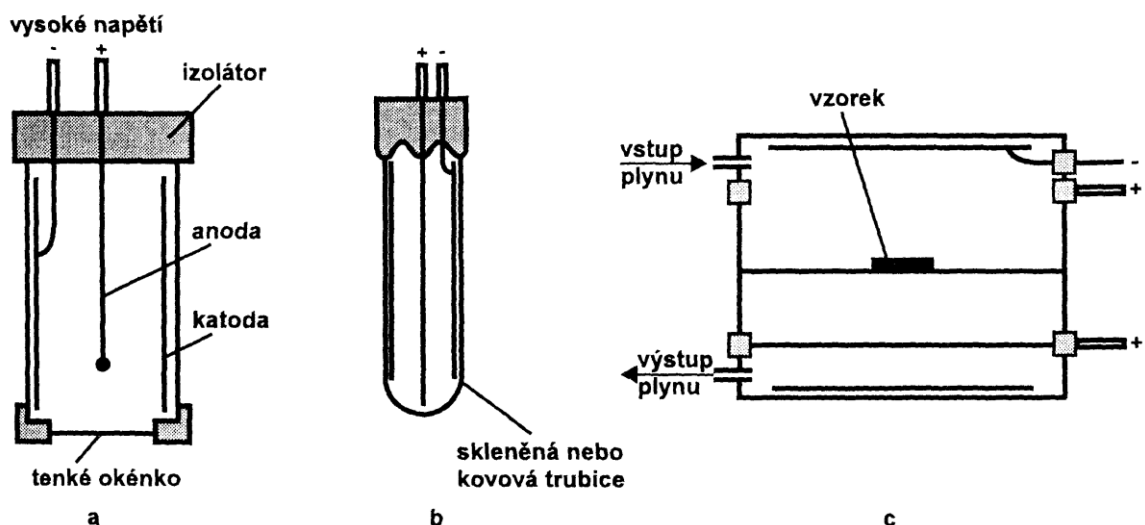
- jsou dány pravděpodobnostním charakterem radioaktivní přeměny (četnost jednoho vzorku může být při opakovaných měřeních různá)
- rozptyl hodnot četnosti jednoho a téhož vzorku lze eliminovat naměřením co největšího počtu impulsů
- **tj. měřením dostatečně vysokých aktivit**
- **prodloužením doby měření**

## 14. 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)
- **GM (Geiger- Müllerovy) 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  $\alpha$ - a  $\beta$ -záření
- definuje se **mrtvá doba počítače** jako doba, kdy počítač nemůže zaregistrovat další impuls, protože v něm probíhá sběr iontů z předchozí ionizace (cca  $10^{-4}$  s u GMT) ⇒ výsledky měření je nutno na mrtvou dobu opravit, protože počítač době neregistruje všechny částice, které do něj v té době vniknou



a) **okénkový počítač** (okénko ze slídy)

vhodné pro vstup  $\beta$ -záření o energii  $>0,5$  MeV,

nevhodné pro měkčí  $\beta$ -záření a záření  $\alpha$  (absorpce v okénku) i  $\gamma$ -záření z důvodu malé absorpce v plynové náplni IK

b) **bezokénkový počítač**

vhodné pro měření  $\gamma$ -záření a energetického  $\beta$ -záření

- záření se absorbuje ve stěně počítače – produkuje sekundární elektrony
- jsou mechanicky odolnější, běžné v dozimetrii i v průmyslových aplikacích

c) **průtokový proporcionální počítač**

vhodný pro měření nízkoenergetického  $\beta$ -záření v průtokovém režimu (zářič se umísťuje dovnitř trubice)

vhodný pro měření plyných radioaktivních sloučenin (počítač s vnitřní náplní)

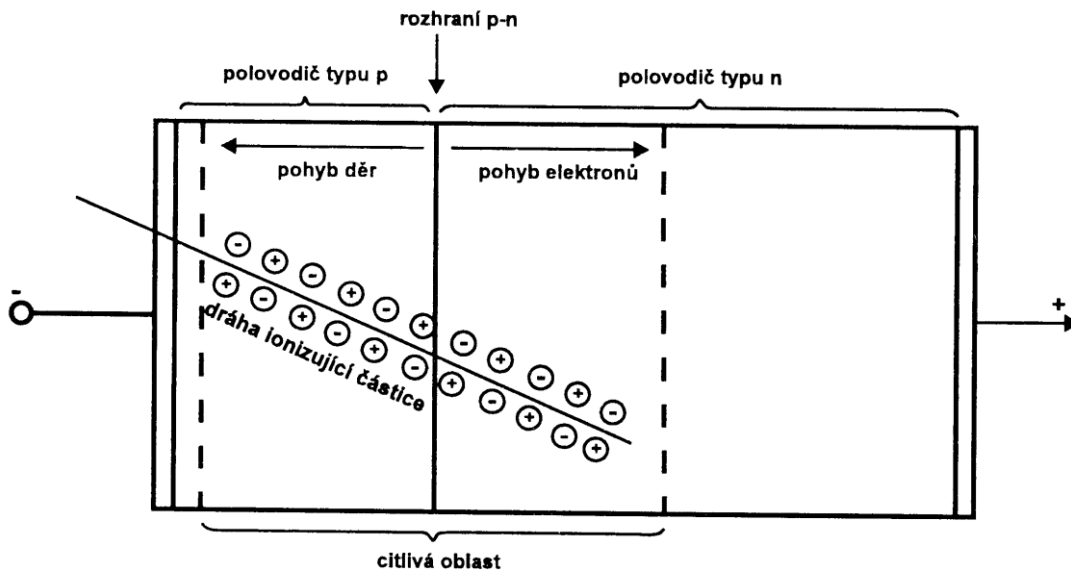
---

**Měření neutronů**, které samy nemají ionizační schopnost, je možné po přidavku plynného  $\text{BF}_3$  k plynné náplni

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

## B) Polovodičové detektory

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



### Typy polovodičových detektorů:

Křemíkové detektory s povrchovou bariérou



vhodné pro měření  $\alpha$ -záření a jiných kladných částic



## Detektory germaniové

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

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

## Detektory dopované lithiem

**Ge(Li)**

pro detekci  $\gamma$ -záření

**Si(Li)**

pro detekci  $\alpha$ -záření a jiných kladných částic a nízkoenergetického rtg záření

- volbou velikosti detektoru lze docílit citlivého objemu až stovky  $\text{cm}^3$
- zhotovují se difuzí Li do Ge, vytváří se lithiový gradient
- atomy Li jsou v intersticiálních polohách
- kladná polarita se přivede ke straně, kde je větší koncentrace Li
- k vytvoření citlivého objemu se využívá malé ionizační energie  $\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-$ , ke které dochází vlivem silného elektrického pole mezi elektrodami detektoru
- $\text{Li}^+$  se pohybuje k záporné elektrodě, volné elektrony kompenzují náboj příměsi typu p

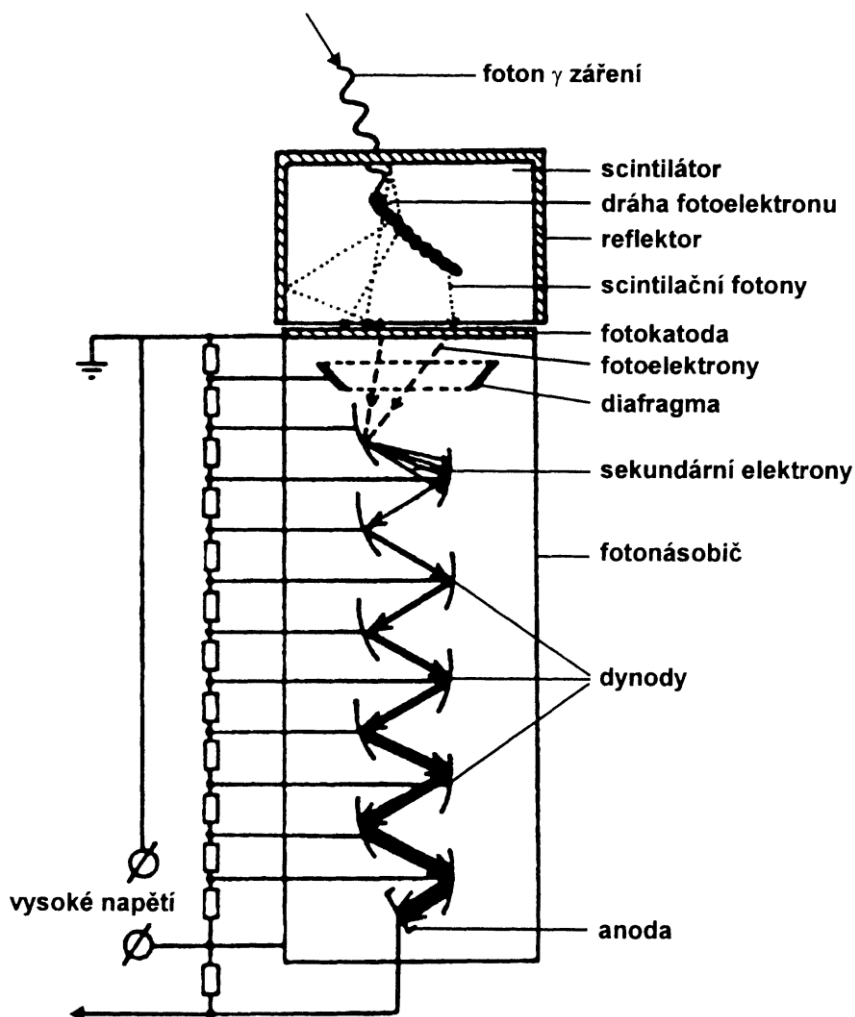
⇒ vznik určitého prostoru s velkým odporem (citlivá oblast), která je schopna registrovat ionty vytvořené po průchodu ionizujícího záření

## 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  $\alpha$ - a  $\gamma$ -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
6. při normální teplotě se mění gradient Li v detektoru, což vede ke zničení detektoru
7. 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
8. 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)
- tyto záblesky se registrují např. fotonásobičem (převádí světelné záblesky na elektrické impulsy)
- detektor musí dobře propouštět světlo a mít krátkou dobu trvání záblesku o vhodné vlnové délce



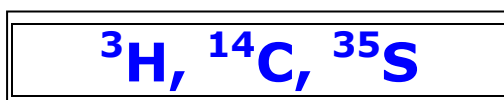
- **fotokatoda: Cs-Sb** (vysoká citlivost na světlo, nízká výstupní práce elektronu)

- malý počet elektronů, které se uvolní po dopadu na fotokatodu se, se zvětší po průchodu fotonásobičem cca  $10^6$  až  $10^8$  x  $\Rightarrow$  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

NaI(Tl)	$\gamma$ -záření
CsI(Tl); Bi <sub>4</sub> Ge <sub>3</sub> O <sub>12</sub> (BGO)	$\gamma$ -záření s vyšší energií
LiI(Eu); <sup>6</sup> Li(n, $\alpha$ ) <sup>3</sup> H	neutrony
ZnS(Ag)	$\alpha$ - záření
ZnS(Ag) s příměsí kys. borité <sup>10</sup> B(n, $\alpha$ ) <sup>7</sup> Li	pomalé neutrony
ZnS(Ag) s příměsí kys. borité, v kombinaci s polyethylenem	rychlé neutrony

## Kapalné scintilátory

- používají se pro měření nízkoenergetických zářičů  $\beta$



- využívá se některých organických látek, které mají dobré luminiscenční vlastnosti - např. 2,5-difenyloxazol – PPO
- k roztoku scintilátoru se dále přidávají:
  - tzv. posunovač spektra (POPOP)
  - látky eliminující zhašecí vliv vody
  - 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

## Další typy scintilačních detektorů

### Plastické scintilátory

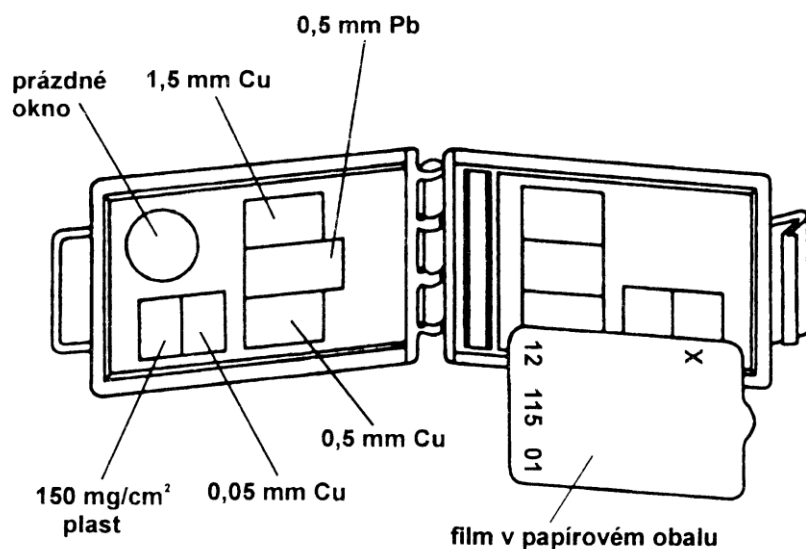
**Termoluminiscenční detektory** (anorganické krystaly s poruchami – dozimetr obsahuje elektronové pasti, do kterých se dostanou elektrony při průletu ionizujícího záření. Po zahřátí ve tmě dochází k uvolnění elektronů, deexcitace vede ke vzniku scintilací, které se registrují.

## D) Fotografická detekce

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

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

### Osobní filmový dozimetr



## **E) Autoradiografické metody**

poskytují informace o rozložení radioaktivity ve zkoumaném objektu

### **Využití:**

výzkum distribuce radioaktivity  
průmyslová radiografie  
lékařská rtg. diagnostika

## **F) Stopové detektory částic**

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

**radiační stopa se zpravidla zviditelňuje leptáním**

### **Použití:**

v dozimetrii  $\alpha$ -záření (dávky způsobené radonem a jeho dceřinými produkty)