

12. OCHRANA PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM

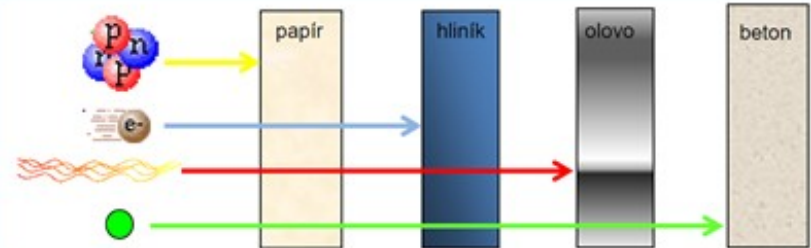
Při práci se zdroji záření spočívá v zeslabení dávky záření na hodnotu, při níž je riziko ozáření sníženo na zanedbatelnou hodnotu:

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

Ochrana pře účinky jaderného (ionizujícího) záření

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

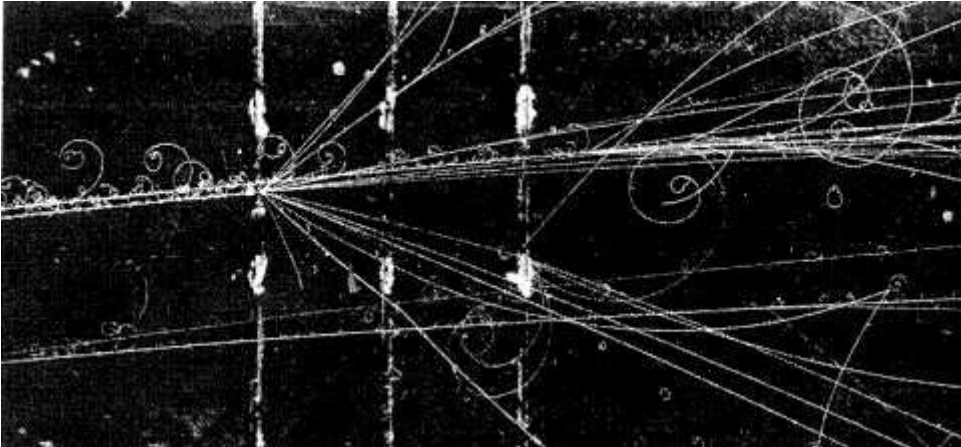
- ❖ **Ochrana vzdáleností**
(tok částic klesá o 3 řády při změně vzdálenosti z 1→32 cm)
- ❖ **Ochrana stíněním**
 - využívá se vždy
 - výjimkou jsou **α-zářiče** (absorbují se ve skle, obalech), **nebezpečná je vnitřní kontaminace**
- ❖ **Co nejkratší doba pobytu v prostoru zdroje**

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


Ochrana stíněním:

- využívá se vždy
- výjimkou jsou **α-zářiče** (absorbují se ve skle, obalech)
- materiál vhodné tloušťky
 - β-záření** (1-2 cm vrstva hliníku, skla, plexiskla)
 - brzdné záření, γ-záření, rtg záření, pozitronové zářiče** (vrstva olova, barytu, oceli)
 - neutronové záření** (ochrana spočívá v jejich zpomalení látkami s vysokým obsahem vodíku - parafin, polyethylen, záření γ , které vzniká při konečné absorpci zpomalených neutronů reakcí (n, γ) se odstíní vrstvou olova.

13. MĚŘENÍ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ



Detekce jaderných částic

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:

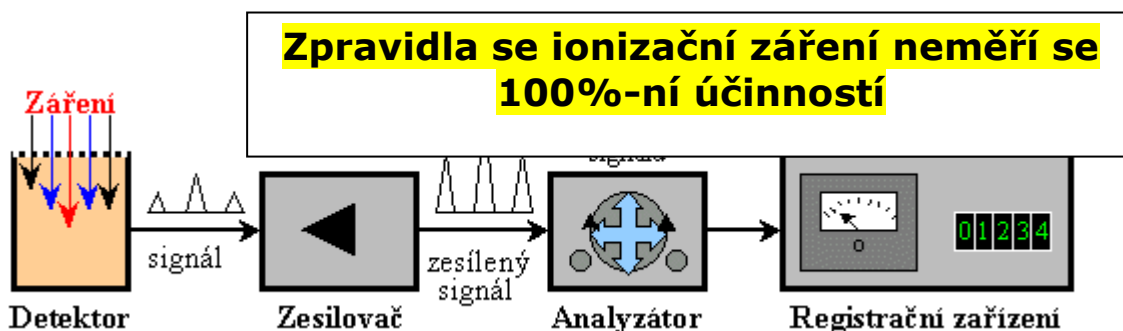
- jeho neviditelností
- není vnímáno ani jinými smysly

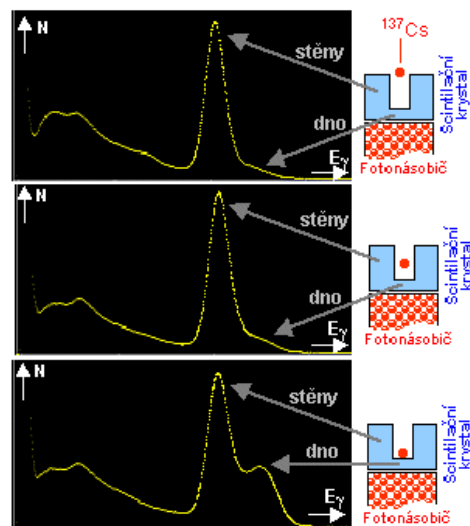
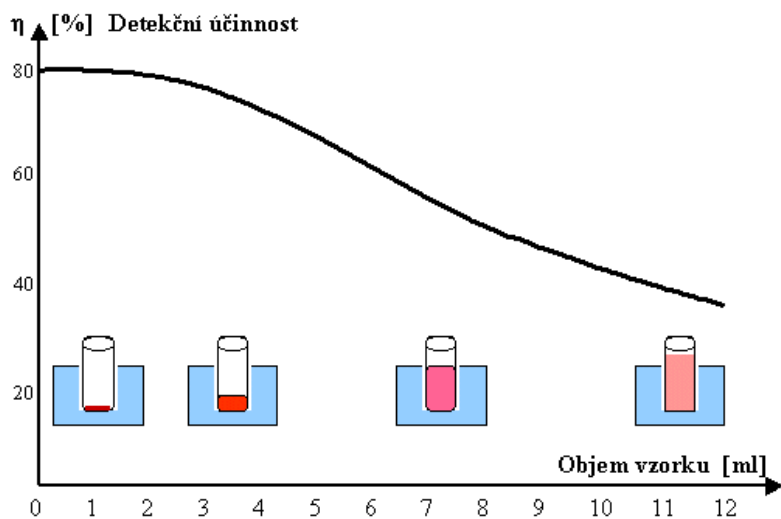
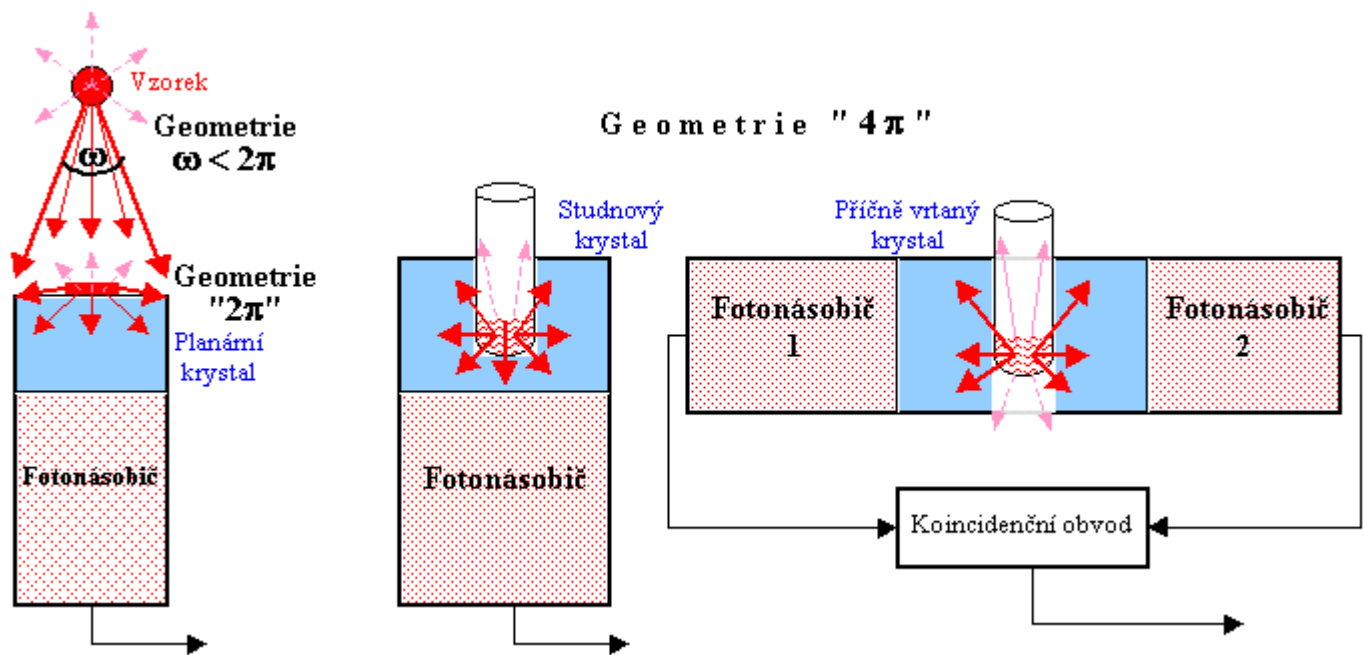
Měření ionizujícího záření:

- je dáno jeho interakcí s hmotou a procesy, které záření vyvolává při absorpci v hmotě
- je prováděno elektronicky, fotograficky, optickými spektrálními metodami (rtg.), aj.

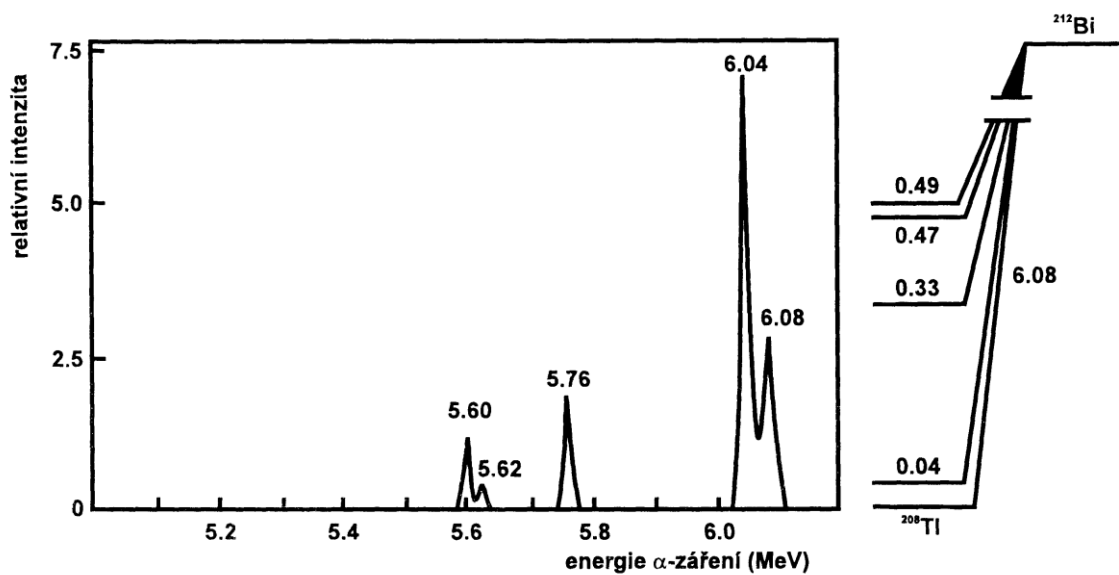
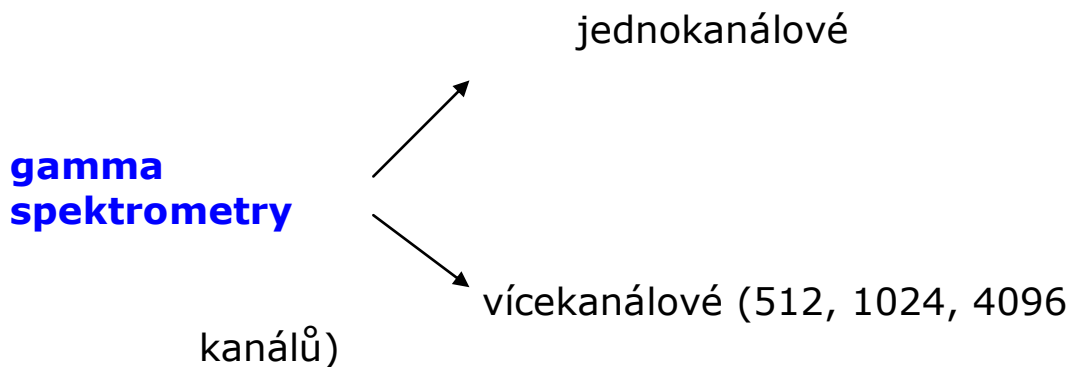
A) Elektronický způsob detekce ionizujícího záření

- **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 imp s^{-1})-dozimetrické přístroje k určení úrovně radioaktivity, kontaminace apod.
- místo 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



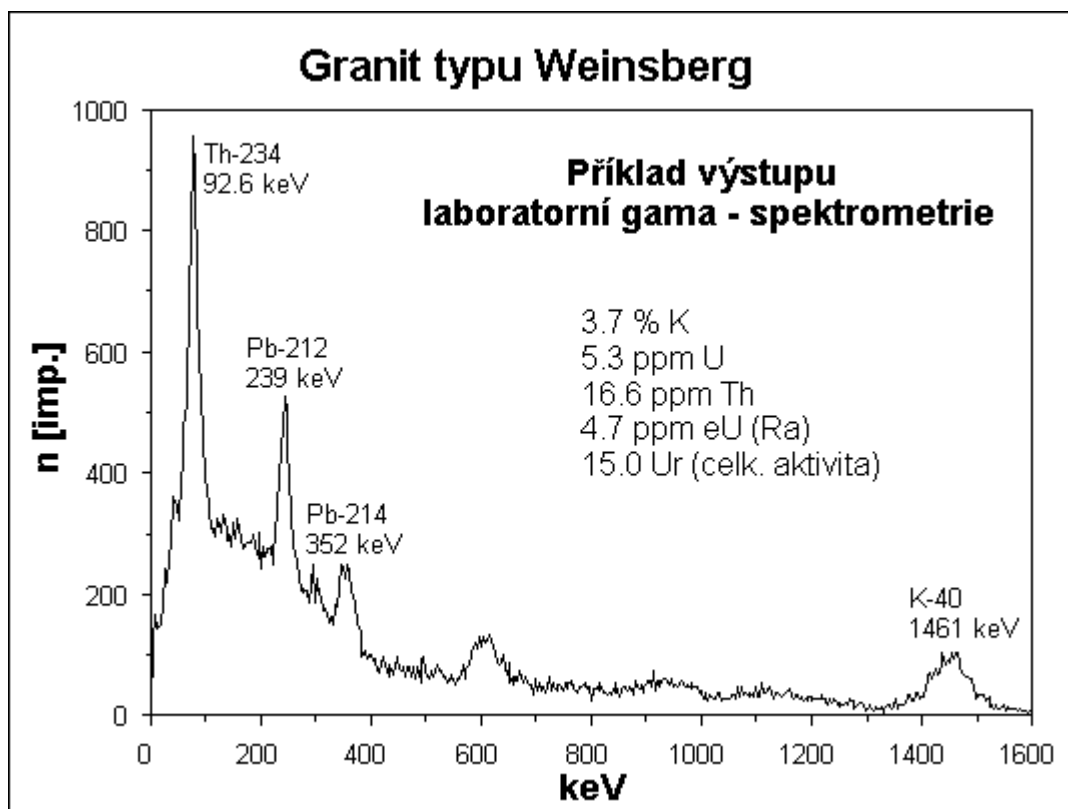


Při měření radionuklidu se určují energie jednotlivých druhů přeměn, kterým nuklid podléhá:



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**



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

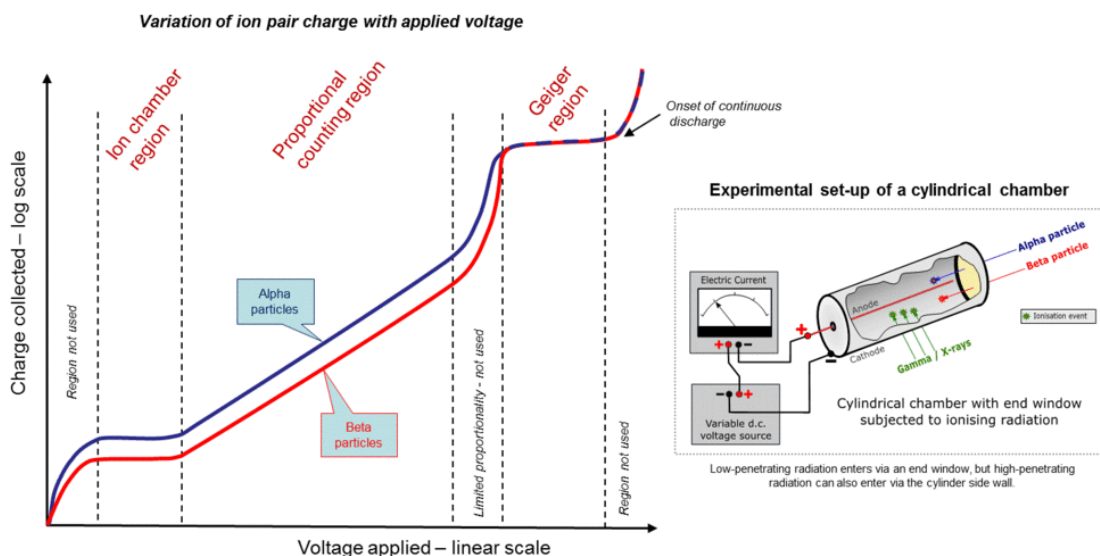
A) **Plynové ionizační detektory** (pracovní napětí 400 - 2000 V)

Funkce plynové ionizační komory

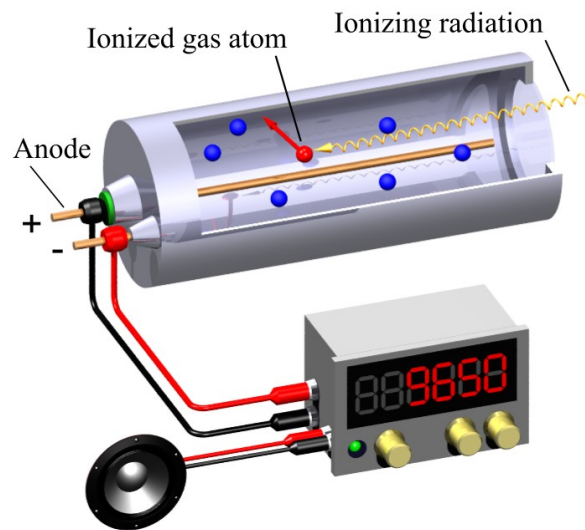
- detektor je naplněn vhodným plynem
- při vniknutí částice do plynné náplně dochází k primární ionizaci
- vzniklé ionty jsou urychleny silným elektrickým polem mezi válcovou katodou a drátkovou anodou – sekundární ionizace ⇒ zesílení impulsu (koeficient plynového zesílení)

Practical Gaseous Ionisation Detection Regions

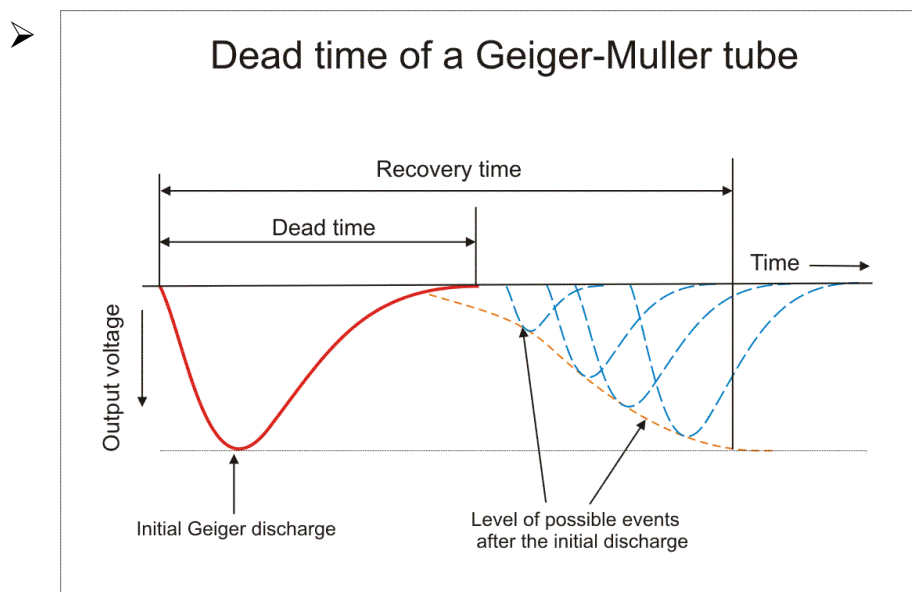
This diagram shows the relationship of the gaseous detection regions, using an experimental concept of applying a varying voltage to a cylindrical chamber which is subjected to ionising radiation. Alpha and beta particles are plotted to demonstrate the effect of different ionising energies, but the same principle extends to all forms of ionising radiation. The ion chamber and proportional regions can operate at atmospheric pressure, and their output varies with radiation energy. However, in practice the Geiger region is operated at a reduced pressure (about $1/10^{th}$ of an atmosphere) to allow operation at much lower voltages; otherwise impractically high voltages would be required. The Geiger region output does not differentiate between radiation energies.



- **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 α - a β -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) \Rightarrow 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 β -záření o energii $>0,5$ MeV,

nevhodné pro měkčí β -záření a záření α (absorpce v okénku) i γ -záření z důvodu malé absorpce v plynové náplni IK

b) bezokénkový počítač

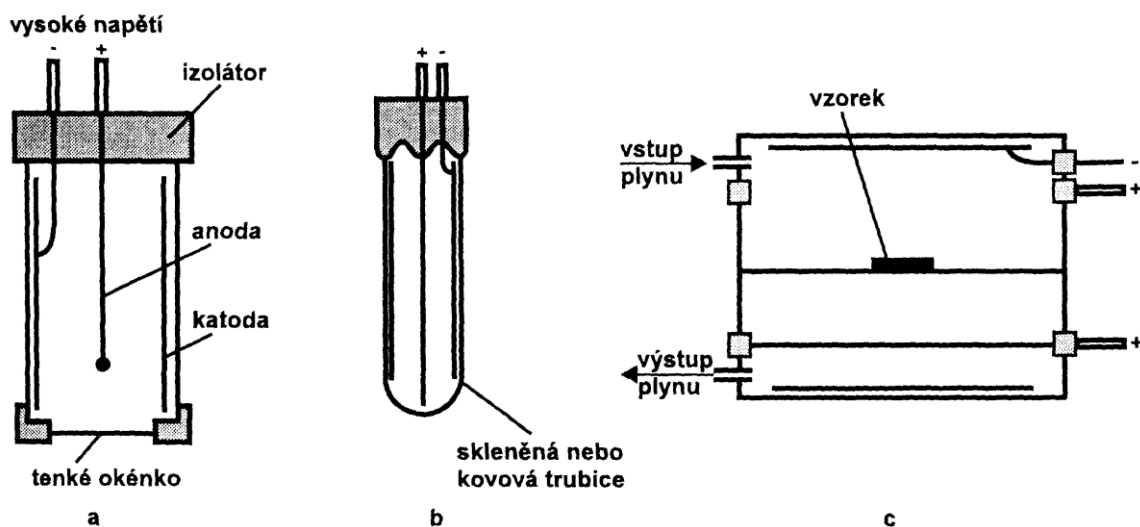
vhodné pro měření γ -záření a energetického β -záření

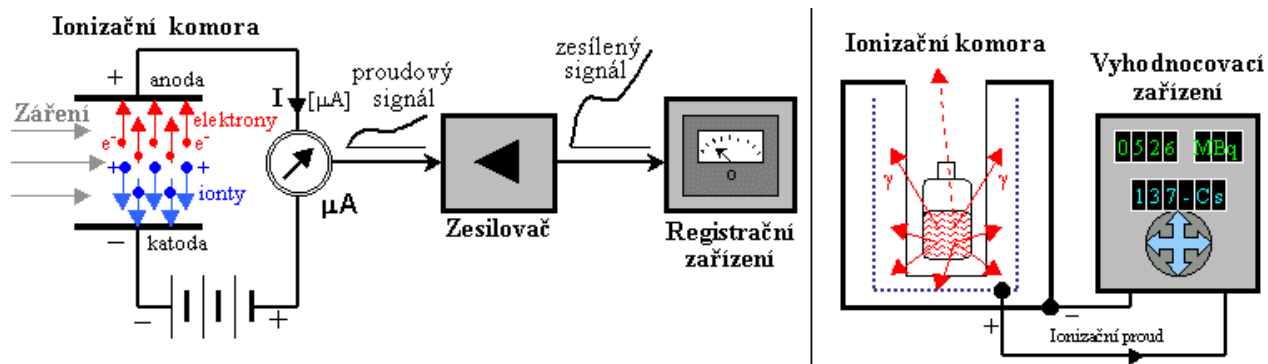
- záření se absorbuje ve stěně počítače – produkuje sekundární elektrony
- jsou mechanicky odolnější, běžné v dozimetrii i v průmyslových aplikacích

c) průtokový proporcionální počítač

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

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



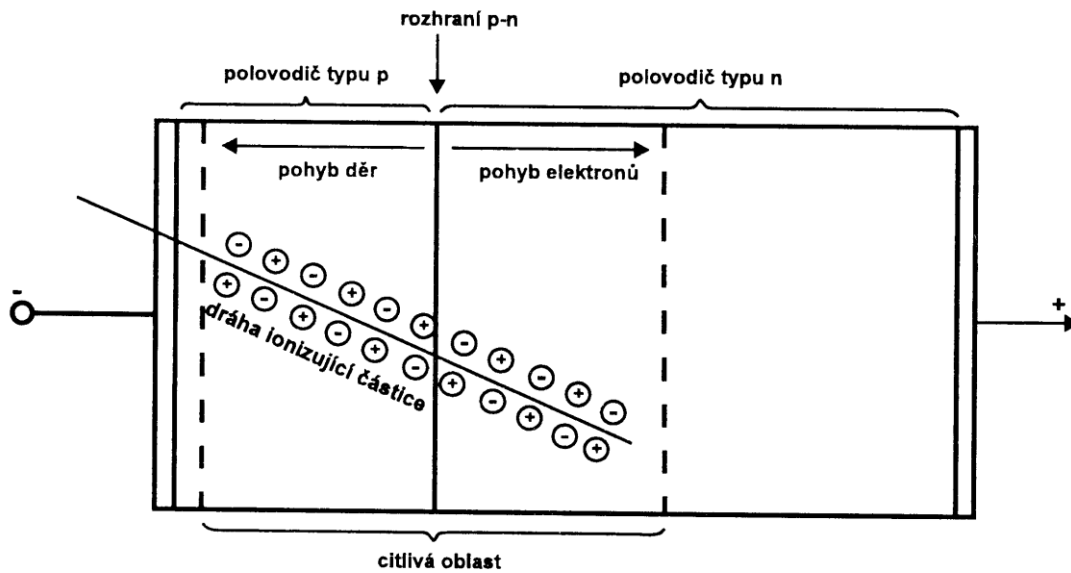


Měření neutronů, které samy nemají ionizační schopnost, je možné po přidavku plynného BF_3 k plynné náplni

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)



Typy polovodičových detektorů:

Křemíkové detektory s povrchovou bariérou



vhodné pro měření α -záření a jiných kladných částic

Detektory germaniové

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

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

Detektory dopované lithiem

Ge(Li), HPGe pro detekci γ -záření

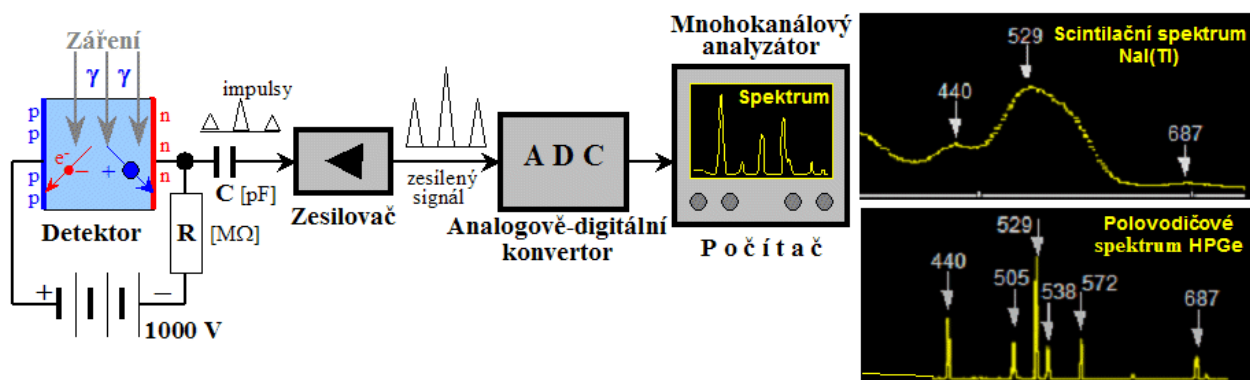
Si(Li), HPSi pro detekci α -záření a jiných kladných částic a nízkoenergetického rtg záření

- 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
- 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
- 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

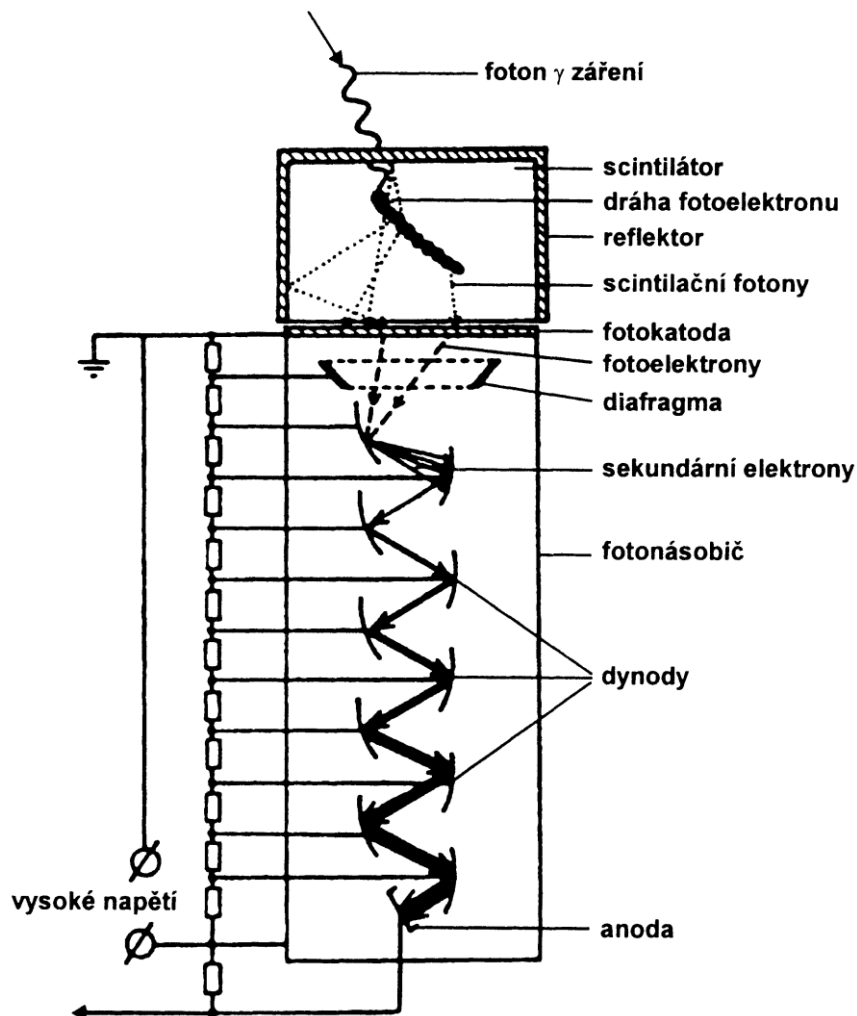
Vlastnosti polovodičových detektorů

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 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
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 vzniku velkého počtu proudových impulsů
8. detektory z velmi čistého Ge se chladí pouze během měření



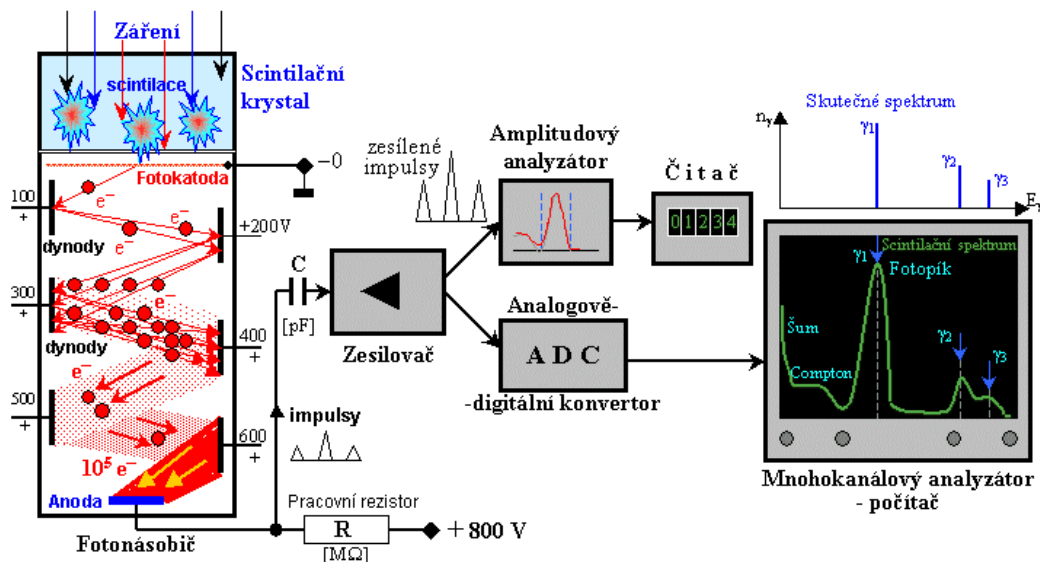
Scintilační detektory

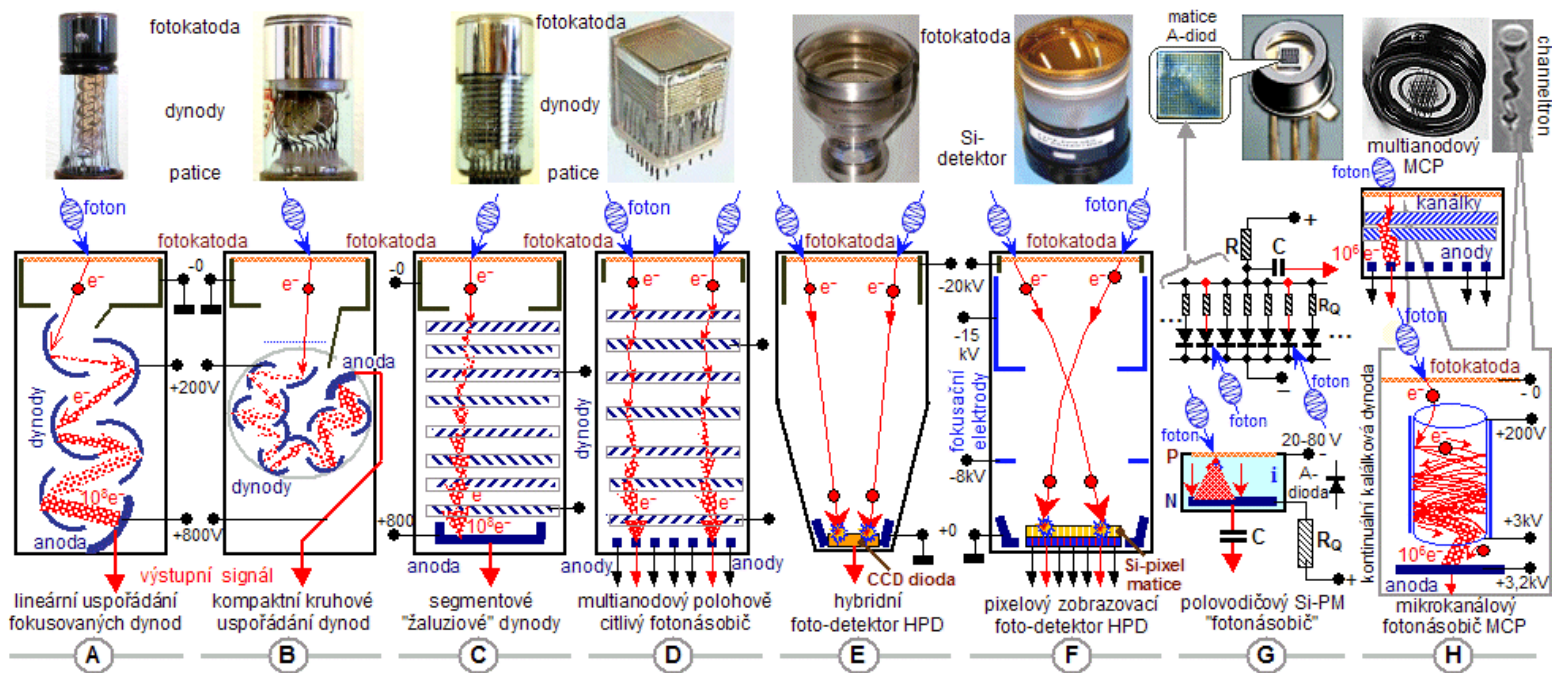
- využívají excitačních účinků ionizujícího záření
- při deexcitaci elektronů v průhledných látkách dochází ke vzniku záblesku (scintilaci)
- tyto záblesky se registrují např. fotonásobičem (převádí světelné záblesky na elektrické impulsy)
- detektor musí dobře propouštět světlo a mít krátkou dobu trvání záblesku o vhodné vlnové délce



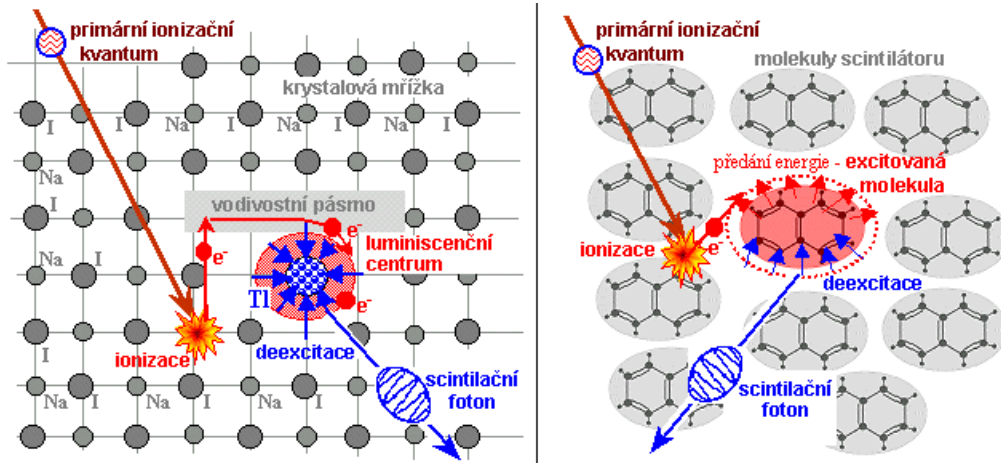
- **fotokatoda: Cs-Sb** (vysoká citlivost na světlo, nízká výstupní práce elektronu)

- 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

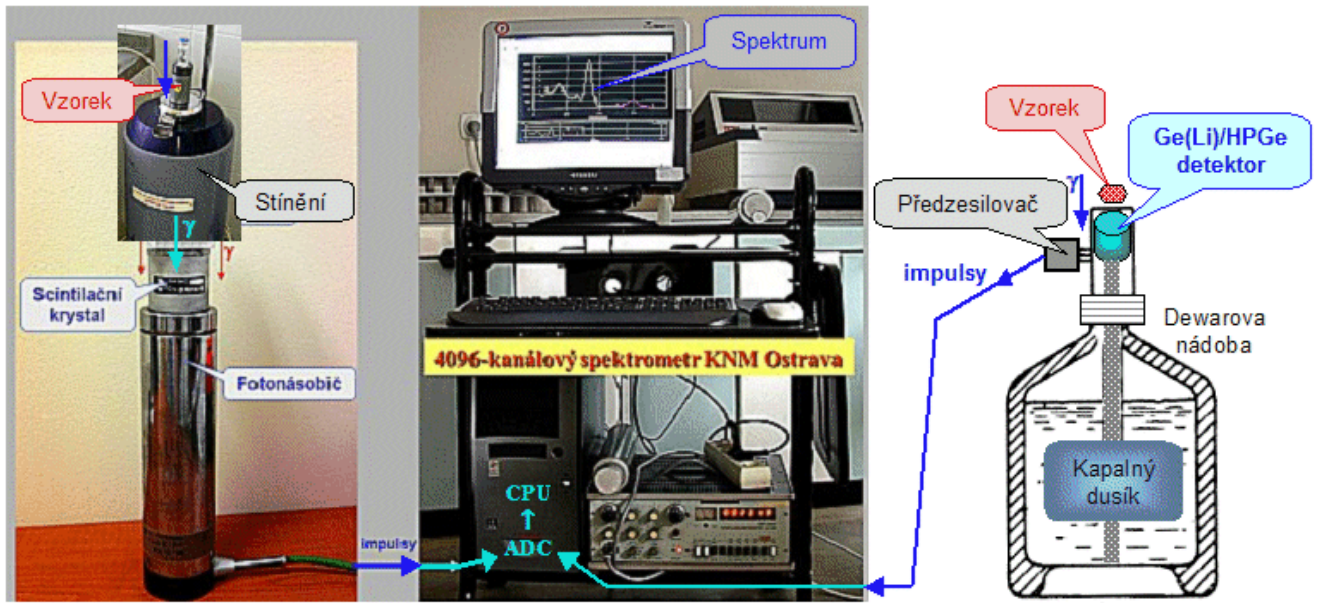




Pevné organické a anorganické scintilátory

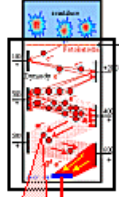


| | |
|--|----------------------------------|
| NaI(Tl) | γ -záření |
| CsI(Tl); Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂ (BGO) | γ -záření s vyšší energií |
| LiI(Eu); ⁶ Li(n, α) ³ H | neutrony |
| ZnS(Ag) | α - záření |
| ZnS(Ag) s příměsí kys. borité ¹⁰ B(n, α) ⁷ Li | pomalé neutrony |
| ZnS(Ag) s příměsí kys. borité, v kombinaci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

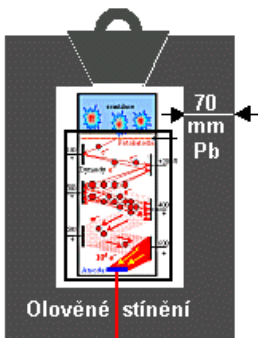
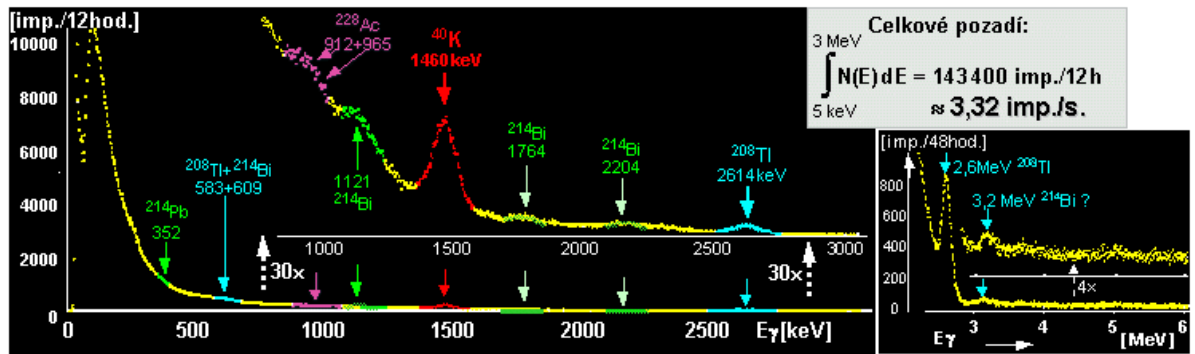


Bez stínění

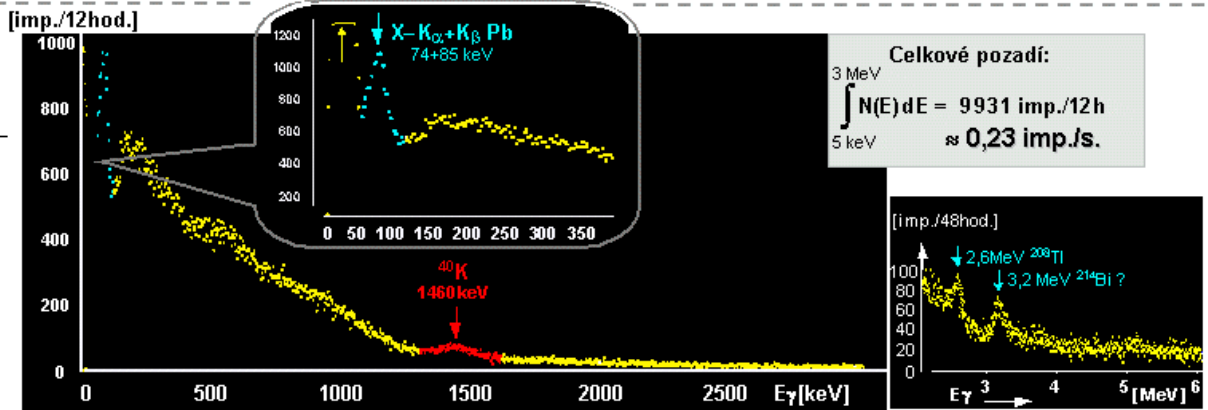
Scintilační krystal NaI(Tl)



Fotonásobič impulsy



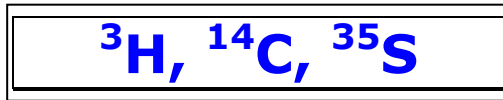
Se stíněním



Vliv geometrie na tvar signálu

Kapalné scintilátory

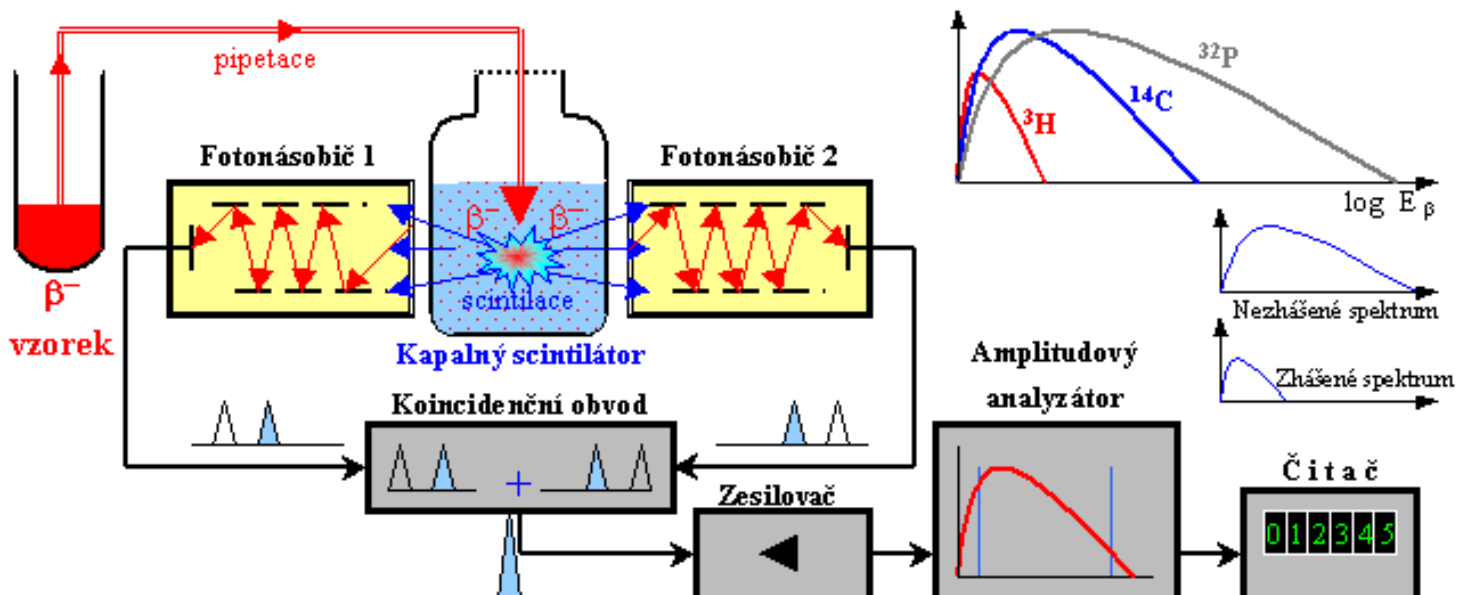
- používají se pro měření nízkoenergetických zářičů β



- 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 zhášecí 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



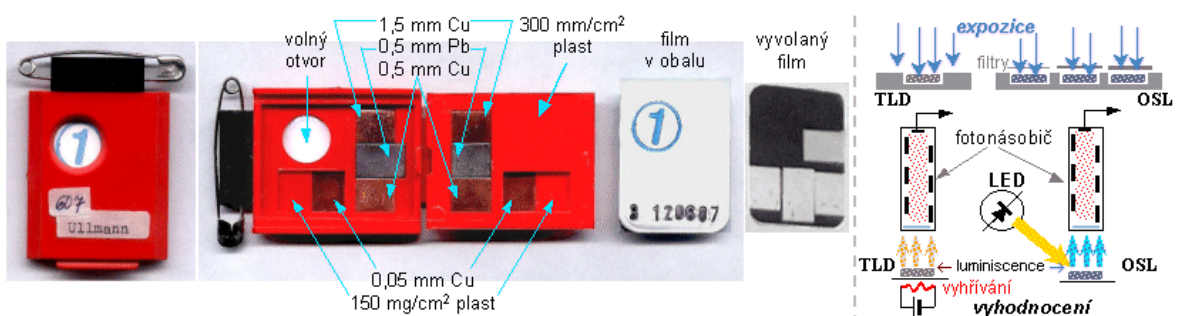
Termoluminiscenční detektory (anorganické krystaly s poruchami – dozimetr obsahuje elektronové pasti, do kterých se dostanou elektrony při průletu ionizujícího záření. Po zahřátí ve tmě dochází k uvolnění elektronů, deexcitace vede ke vzniku scintilací, které se registrují.

D) Fotografická detekce

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

γ - 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 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)