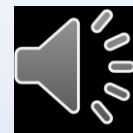


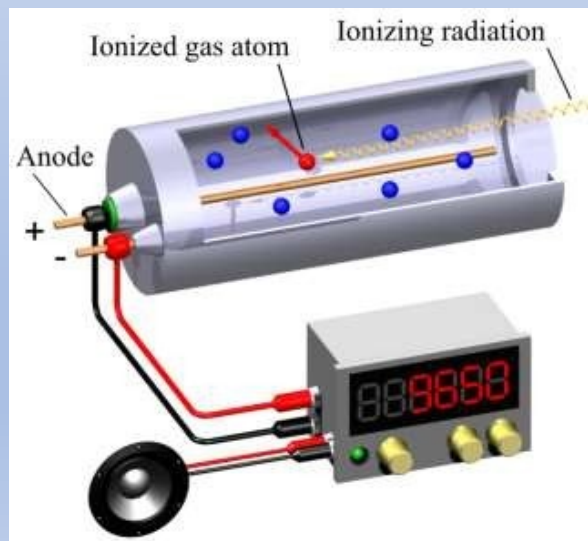
14. DETEKTORY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ



Elektronická detekce záření využívá ionizačních účinků záření

Plynové ionizační detektory (pracovní napětí 400 - 2000 V)

- detektor (viz obrázek) je naplněn vhodným plynem
- při vniknutí částice radioaktivního záření do plynné náplně dochází k primární ionizaci
- ionty vzniklé primární ionizací molekul plynu jsou urychleny silným elektrickým polem mezi válcovou katodou a drátkovou anodou – podle vloženého napětí může dojít k sekundární ionizaci ⇒ dochází k zesílení impulsu (koeficient plynového zesílení)



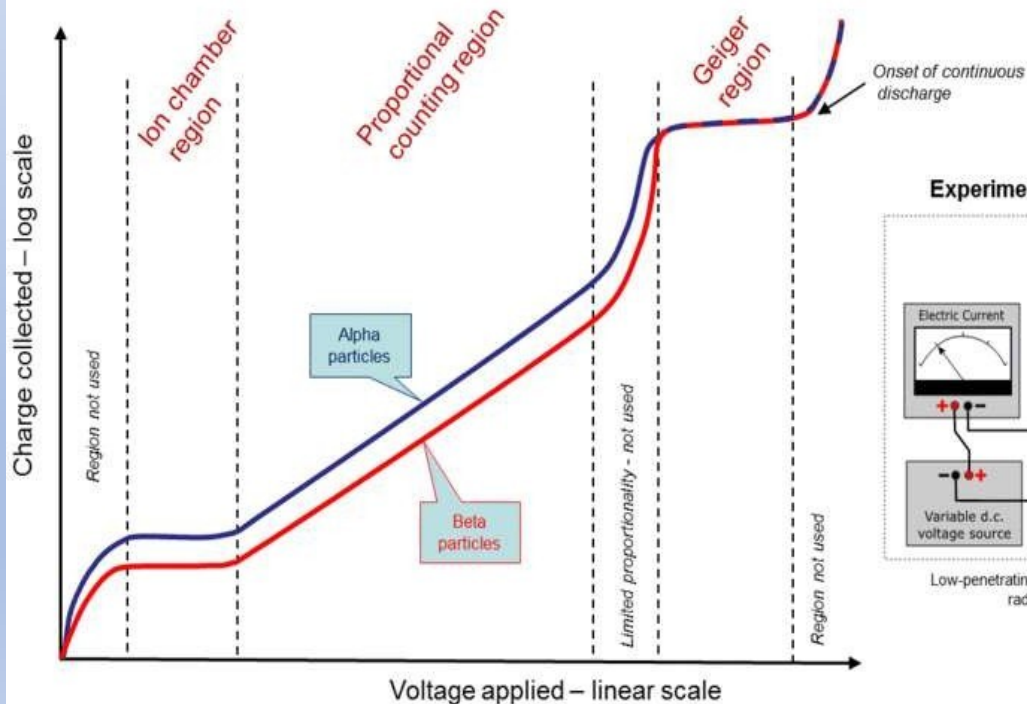
Závislost velikosti náboje po ionizaci na vloženém vstupním napětí ionizační komory

Practical Gaseous Ionisation Detection Regions

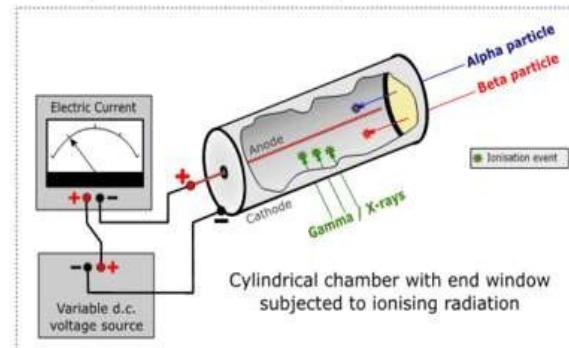
This diagram shows the relationship of the gaseous detection regions, using an experimental concept of applying a varying voltage to a cylindrical chamber which is subjected to ionising radiation. Alpha and beta particles are plotted to demonstrate the effect of different ionising energies, but the same 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 $1/10^{\text{th}}$ 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.

Variation of ion pair charge with applied voltage



Experimental set-up of a cylindrical chamber

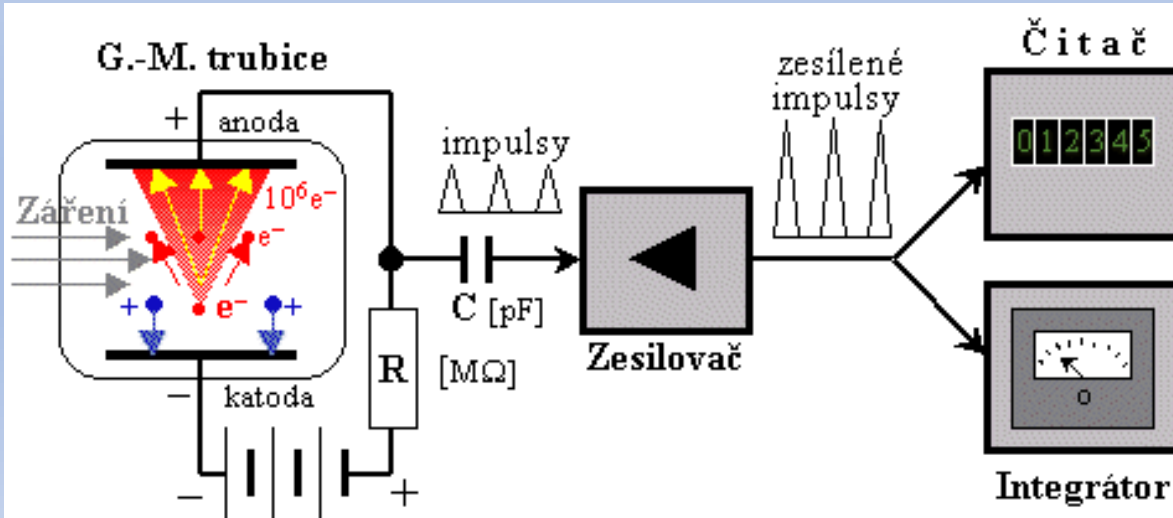


Low-penetrating radiation enters via an end window, but high-penetrating radiation can also enter via the cylinder side wall.



V grafu na předchozím snímku se dají rozlišit tři základní oblasti:

- oblast, ve které pracují **ionizační komory** (tam velikost náboje na vloženém napětí nezávisí), pouze pro účely stanovení četnosti.
- **proporcionální oblast**, zde pracují **proporcionální počítače** obsahují methan nebo xenon, výsledný puls je zesílen relativně málo ($10^3 - 10^4 \times$), závisí na lineárním přenosu energie, rozlišuje α a β -záření, použitelné pro rozlišní energie záření (spektrometrické účely – příliš se ale nepoužívá).
- **Geiger-Müllerova oblast**, zde pracují **GM (Geiger - Müllerovy) počítače** (GMT) obsahují směs argonu s parami ethanolu nebo halogenem – výsledný puls je silně zesílen (až $10^{10} \times$) a nezávisí na druhu záření. Dochází k lavinovité ionizaci, náboj se mění je minimálně, nepoužitelné pro spektrometrické účely.

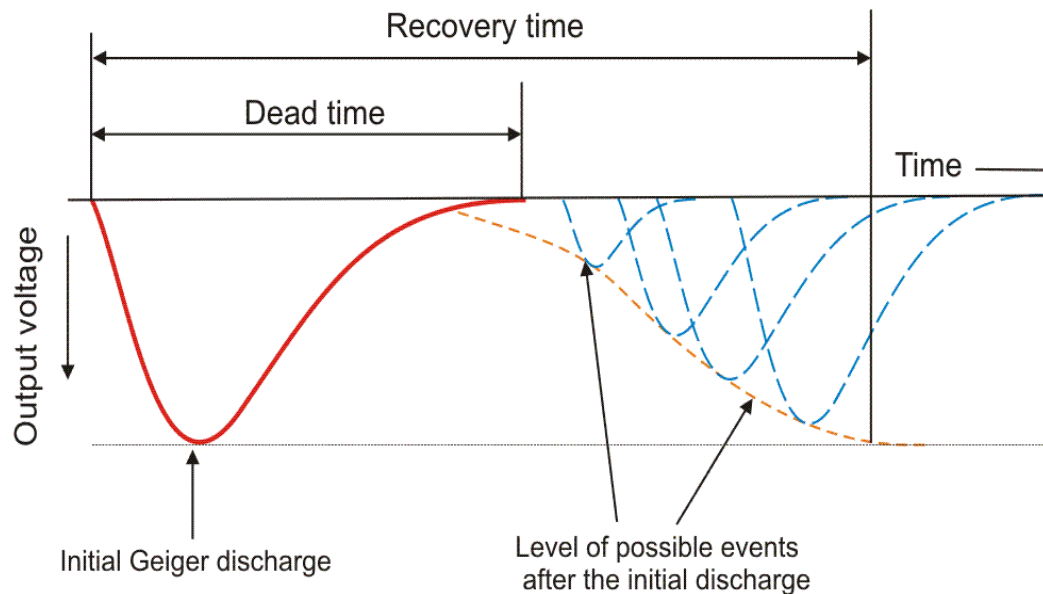


Mrtvá doba počítáče

Je definována 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 v mrtvé době neregistruje všechny částice, které do něj v té době vniknou.



Dead time of a Geiger-Muller tube



Typy ionizačních komor („počítačů“)

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

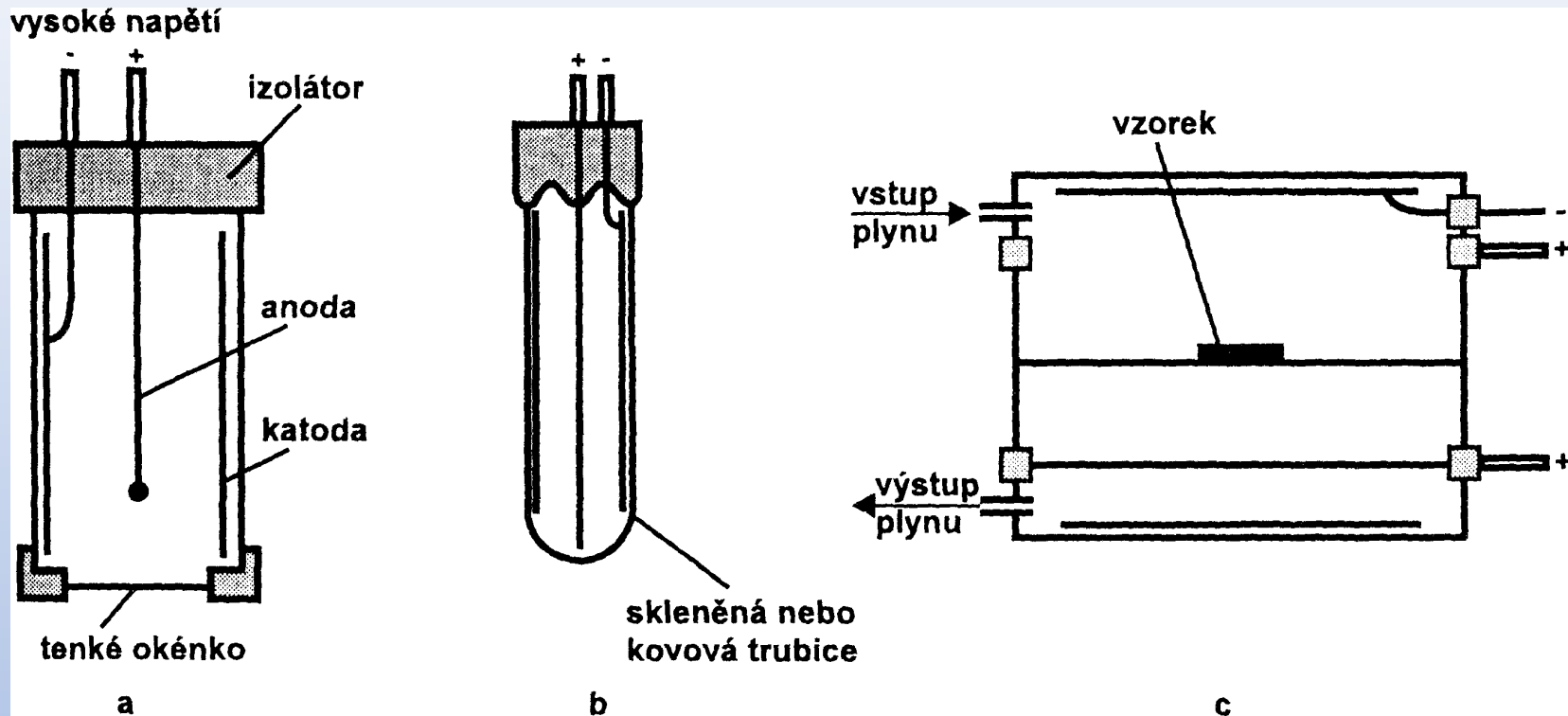
b) bezokénkový počítač

- vhodné pro měření γ -záření a energetického β -záření, záření se absorbuje ve stěně počítače – produkuje sekundární elektrony. Tyto počítače 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)



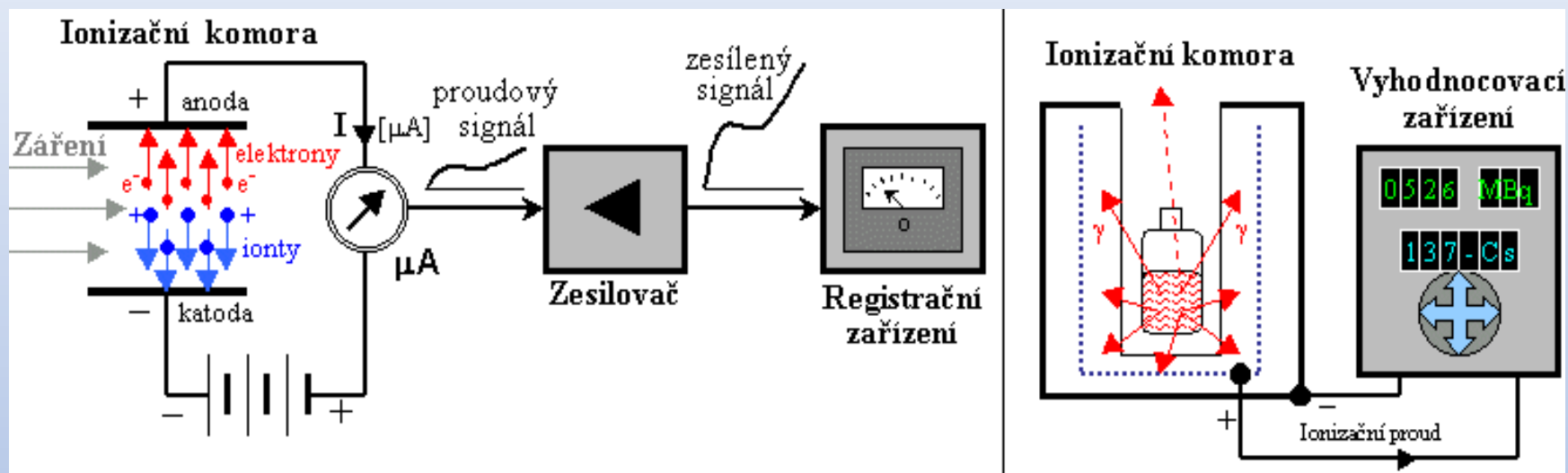


Měření neutronů, které samy nemají ionizační schopnost, je možné po přidavku plynného BF_3 k plynné náplni

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



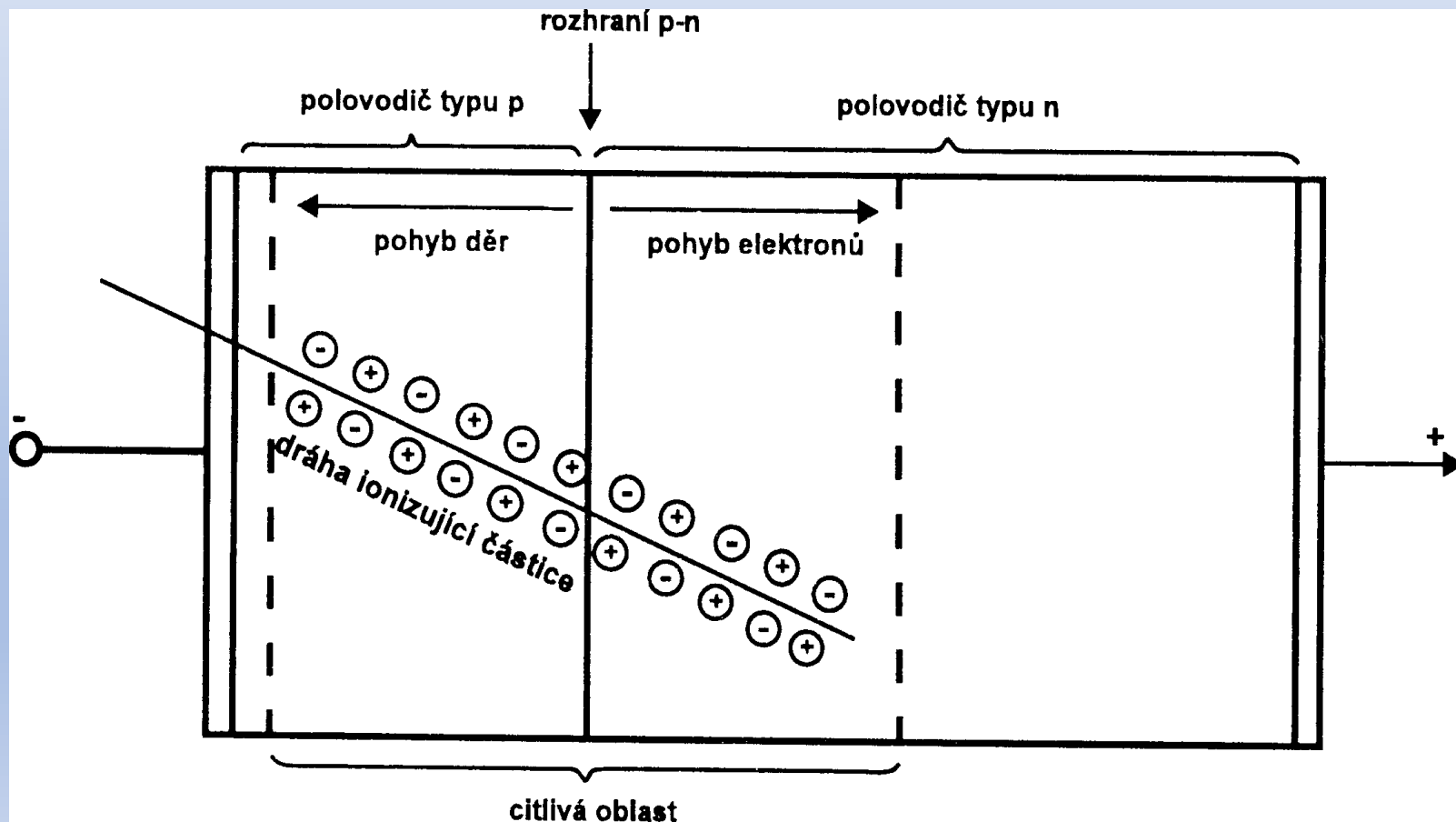
Blokové schéma měření radioaktivity ionizační komorou



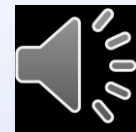
Polovodičové detektory

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

- Polovodičové detektory fungují stejně jako ionizační komory jen plyn je nahrazen polovodičem.
- Při průchodu nabité částice s určitou energií tedy vzniká pár elektron - díra.
- Výhodou použití polovodičů je skutečnost, že energie nutná k vytvoření páru elektron - díra je řádově 10krát menší, než energie nutná na vytvoření páru elektron - ion.



Typy polovodičových detektorů:



Detektory dopované lithiem a čisté detektory

Ge(Li), HPGe pro detekci γ -záření

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

Vlastnosti polovodičových detektorů

- závislost výšky napěťového pulsu na energii záření (vhodné pro spektrometrii)
- vysoká rozlišovací schopnost při měření energie záření
- vysoká cena (pouze pro měření α - a γ -záření)
- speciální detektory jsou schopny zaznamenat i místo, kam částice dopadla (významné při detekci a identifikaci nestálých jader nejtěžších prvků) – **pozičně citlivé detektory**
- **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
- 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
- **detektory z velmi čistého Ge se chladí pouze během měření**

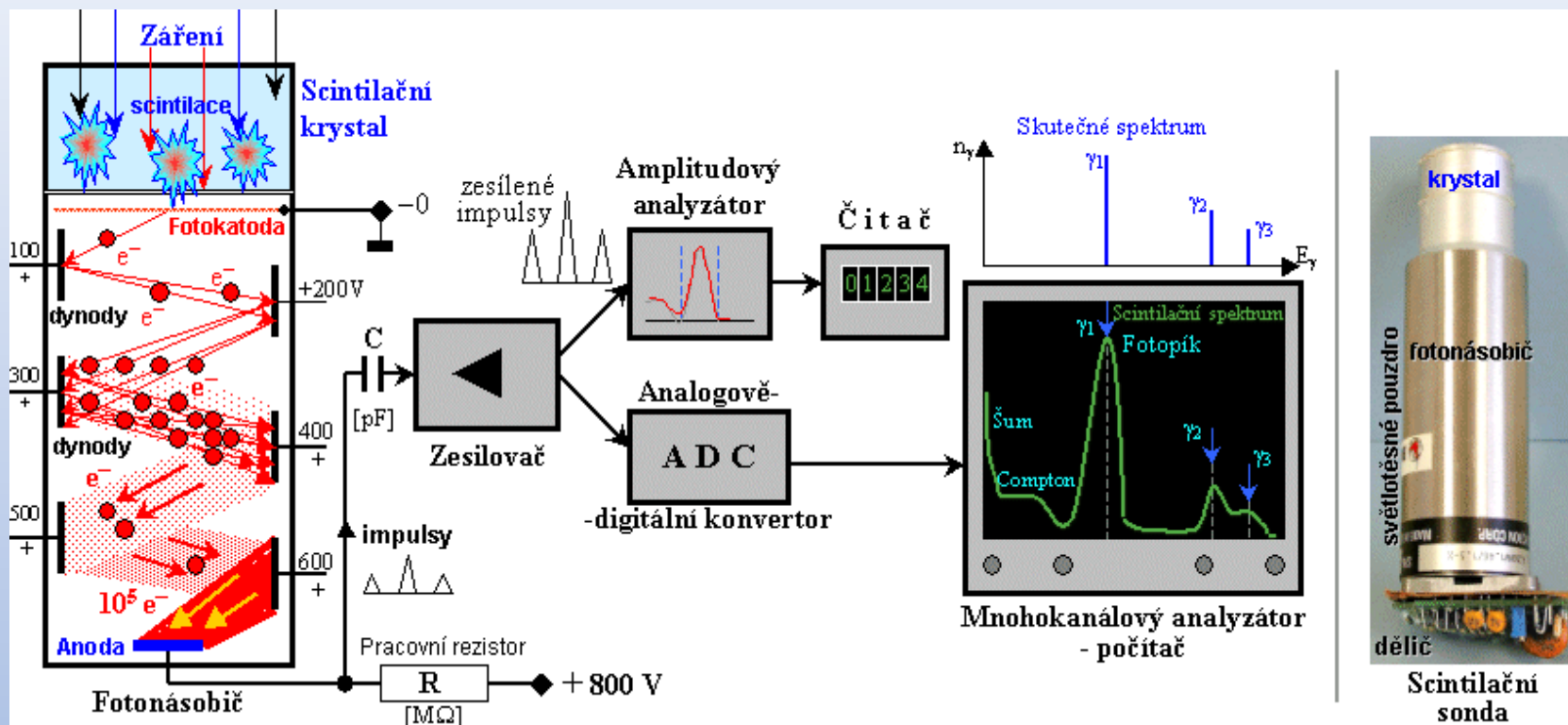
Scintilační detektory

Využívá se excitačních účinků ionizujícího záření

- po vniknutí částice do prostoru scintilačního detektoru jsou elektrony excitovány
- při deexcitaci elektronů v průhledných látkách (scintilátorech) dochází ke vzniku záblesku (**scintilaci**). Detektor musí dobře propouštět světlo a mít krátkou dobu trvání záblesku o vhodné vlnové délce.
- k převodu scintilací na elektrický impuls slouží **fotokatoda Cs-Sb** (vysoká citlivost na světlo, nízká výstupní práce elektronu)
- Výsledný elektrický impuls se zesiluje **fotonásobičem**
 - malý počet elektronů, které se uvolní po dopadu na fotokatodu, 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)**
 - **scintilační detektory mají však podstatně horší rozlišovací schopnost ve srovnání s polovodičovými detektory**



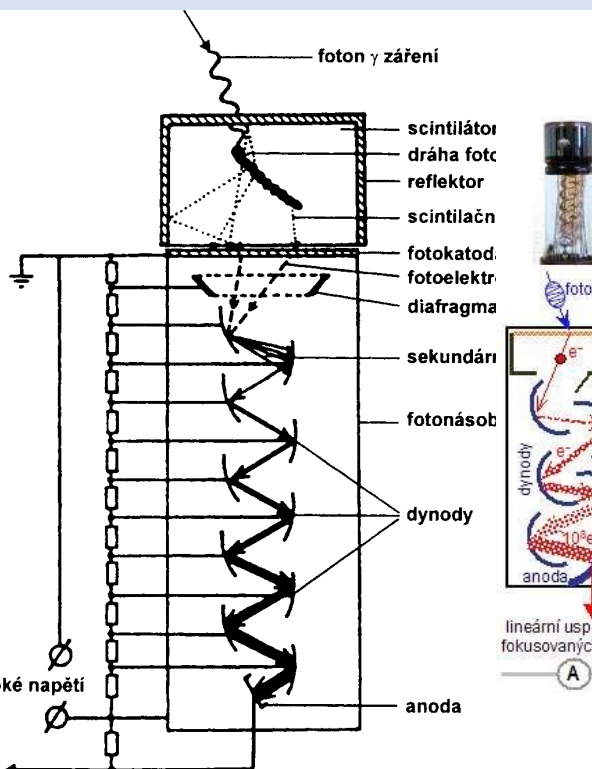
Funkce fotonásobiče a jeho zapojení do měřicího systému



Scintilace se na fotokatodě přemění na elektrický impuls, ten je dále fokusován směrem k jednotlivým elektrodám (dynodám), na kterých postupně roste napětí. Na dráze od dynody k dynodě proto získávají elektrony stále větší rychlost, resp. kinetickou energii, a z dynody vyrážejí větší počet elektronů, než byl počet elektronů dopadajících. Takto se elektrický signál zesiluje.



Běžné typy fotonásobičů



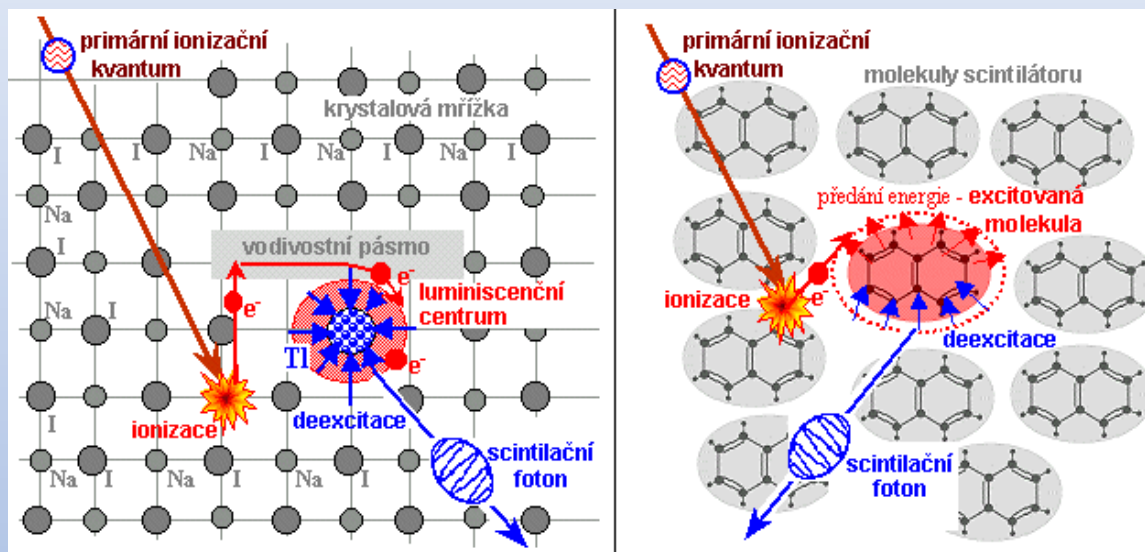
A row of images and diagrams illustrating various types of photomultiplier tubes (PMTs) and their internal structures. The components shown include: fotokatoda, dynody, patice, anoda, and anoda. The diagrams are labeled A through H, showing different internal arrangements and output signals.

- A**: lineární uspořádání fokusovaných dynod (linear arrangement of focused dynodes)
- B**: kompaktní kruhové uspořádání dynod (compact circular arrangement of dynodes)
- C**: segmentové "žaluziové" dynody (segmented "bladed" dynodes)
- D**: multianodový polohově citlivý fotonásobič (multianode position-sensitive photomultiplier)
- E**: hybridní foto-detektor HPD (hybrid photo-detector HPD)
- F**: pixelový zobrazovací foto-detektor HPD (pixelated imaging photo-detector HPD)
- G**: polovodičový Si-PM "fotonásobič" (semiconductor Si-PM "photomultiplier")
- H**: mikrokanálový fotonásobič MCP (microchannel photomultiplier MCP)

Scintilátory

jsou látky, kdy po vniknutí ionizující částice v této látce vzniká **záblesk (scintilace)**. Je to dáno energetickým vyzvednutím elektronu materiálu scintilátoru do vyšší energetické hladiny. Po návratu zpět na původní elektronovou hladinu se vyzáří světelné kvantum.

Pevné anorganické a organické scintilátory



NaI(Tl)	γ -záření
CsI(Tl); Bi₄Ge₃O₁₂ (BGO)	γ -záření s vyšší energií
LiI(Eu); ⁶Li(n,α)³H	neutrony
ZnS(Ag)	α - záření
ZnS(Ag) s příměsí kys. borité ¹⁰B(n,α)⁷Li	pomalé neutrony
ZnS(Ag) s příměsí kys. borité, v kombinaci s polyethylenem	rychlé neutrony



Kapalné scintilátory – scintilační látka je rozpuštěna v organickém nebo směsném rozpouštědle, do roztoku se přidává roztok radioaktivní látky

Používají se pro měření nízkoenergetických zářičů β^-



Využívá se některých organických látek, které mají dobré luminiscenční vlastnosti např. **2,5-difenyloxazol – PPO**.

Do roztoku scintilátoru se dále přidávají:

- tzv. posunovač spektra (**POPOP**)
- látky eliminující zhášecí vliv vody (tzv. chemické zhášení)
- látky eliminující tzv. barevné zhášení
- jako rozpouštědlo se používá nejčastěji **toluen**, ten se však nehodí pro vzorky s větším obsahem vody
- pro vzorky vodné povahy se používají i jiná rozpouštědla, např. **dioxan či směsi rozpouštědel**
- dnes se pro účely měření kapalnou scintilací používají již komerčně připravené směsi, včetně scintilátoru – tzv. **scintilační koktejly**
- radioaktivní látka se přidává do roztoku kapalného scintilátoru v PE lahvičce
- vzorek s radionuklidem je po měření nepoužitelný a vyhazuje se



Schéma měření kapalnou scintilací v tzv. koincidenčním zapojení

Impuls se registruje jen tehdy, je-li registrován oběma fotonásobiči.

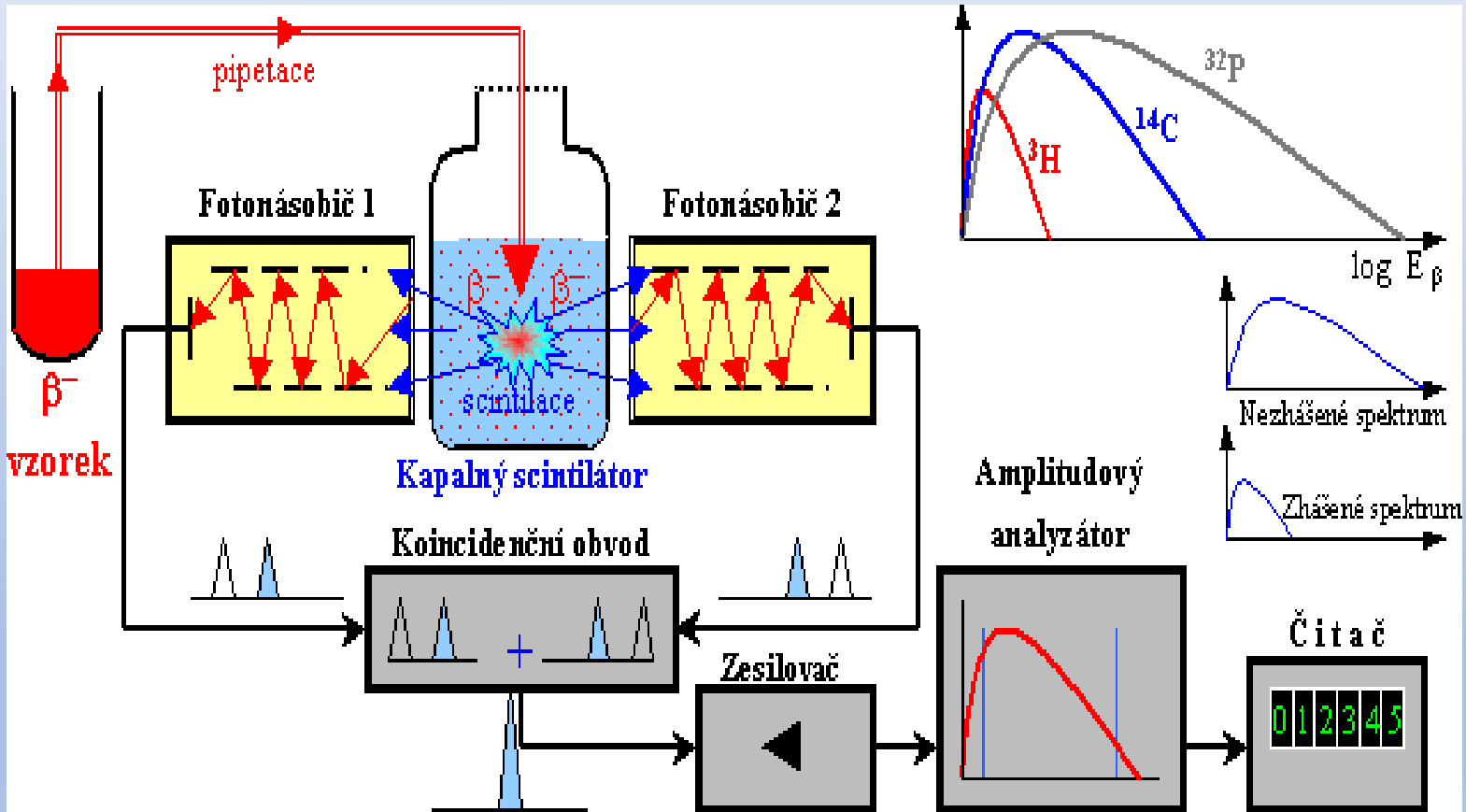
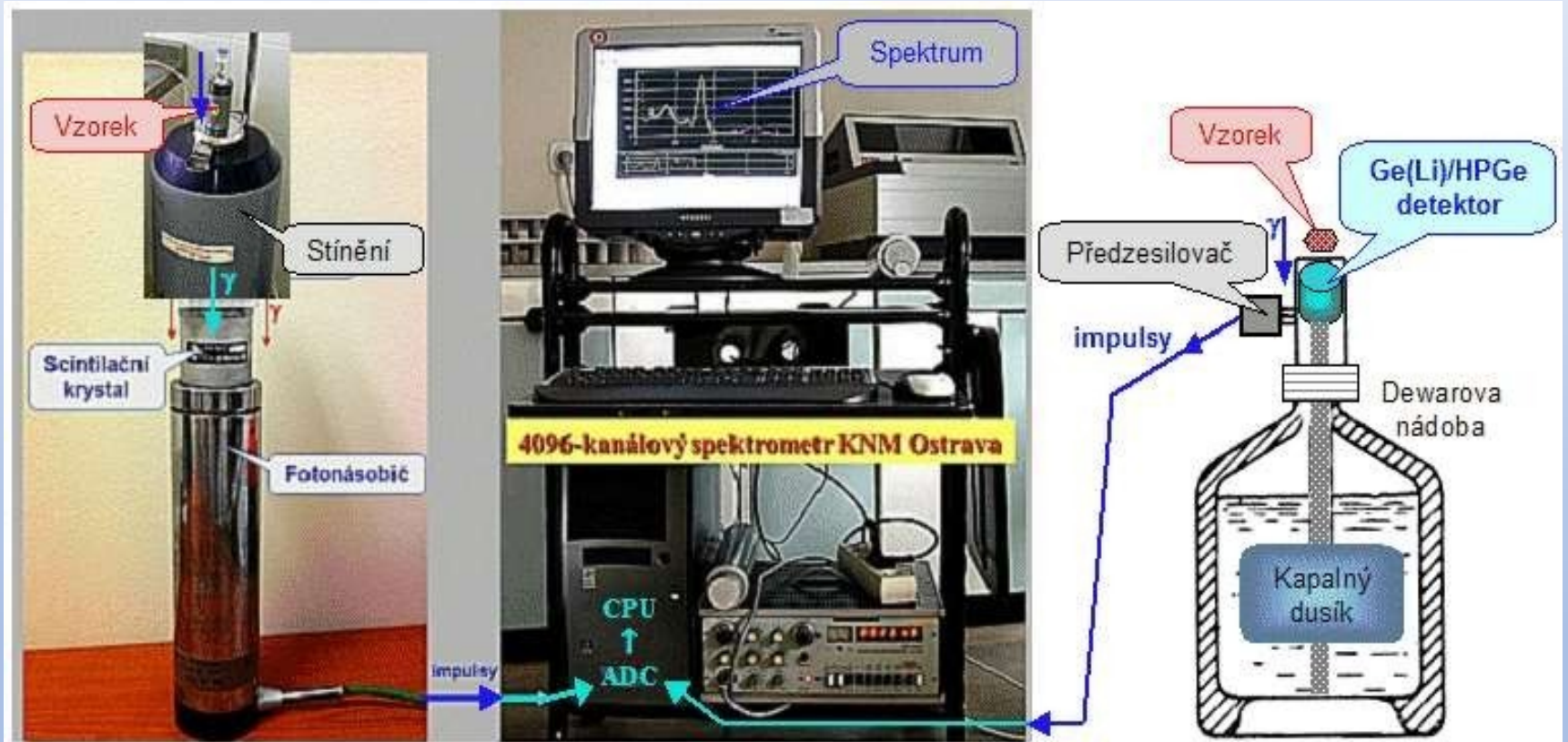
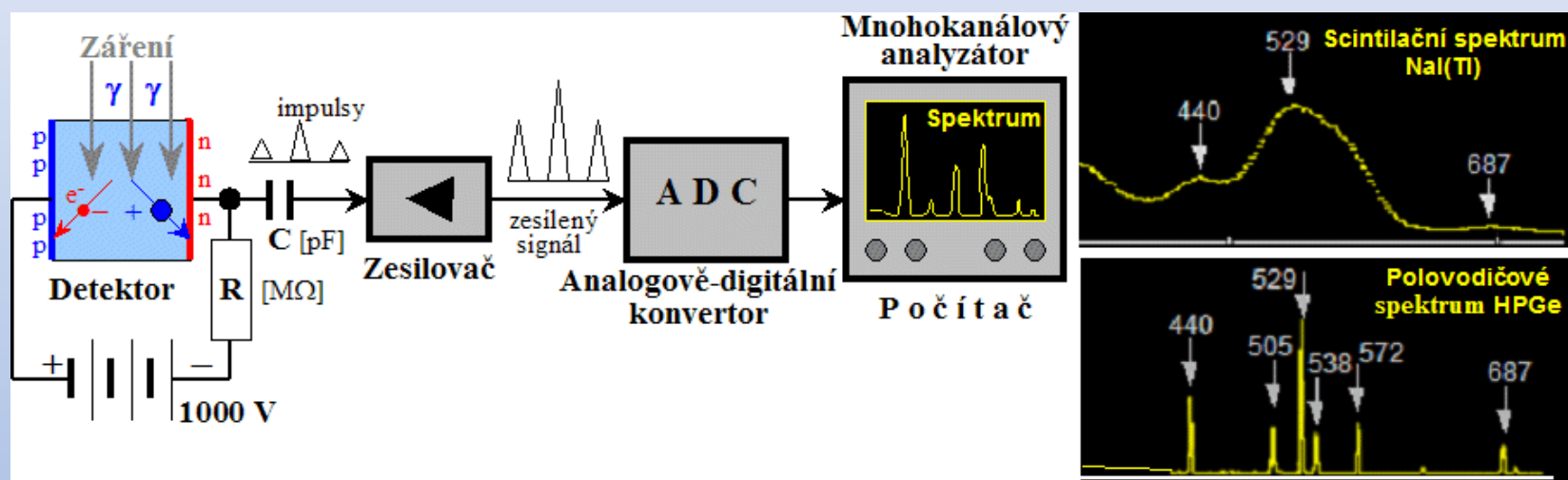
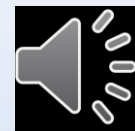




Schéma měření vzorku scintilačním (vlevo) a polovodičovým (vpravo) detektorem



Rozdíly ve tvaru gama spektra při měření scintilačním a polovodičovým detektorem



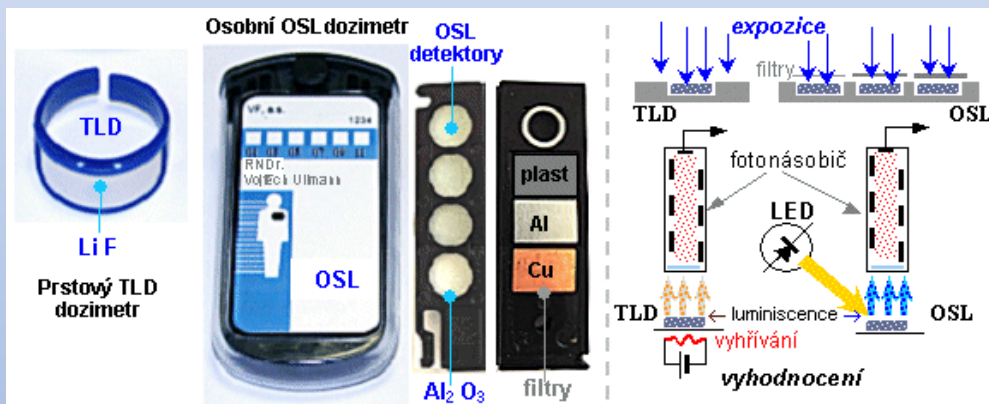
Další typy scintilačních detektorů

Plastický scintilační detektor



Termoluminiscenční (TLD) a fotoluminiscenční (OSL) 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.



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:

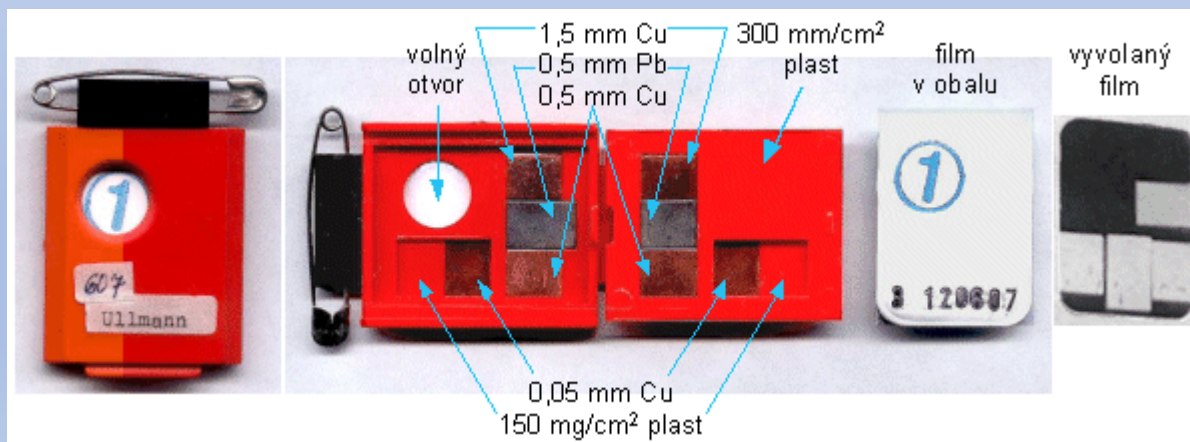
v dozimetrii α -záření (dávky způsobené radonem a jeho dceřinými produkty)

Fotografická detekce ionizujícího záření



Vliv radioaktivního záření na citlivou fotografickou vrstvu je podobný jako u viditelného světla. Používá se pro:

- γ - záření
- rtg záření
- **neutrony** – fotografická emulze se překryje **kadmiovou fólií**, kde probíhá reakce $^{113}\text{Cd}(n,\gamma)^{114}\text{Cd}$, pak se detekuje vznikající gama záření



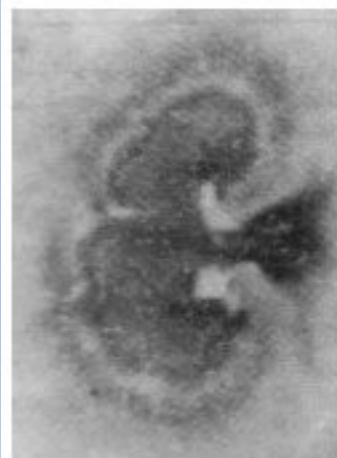


Autoradiografické metody

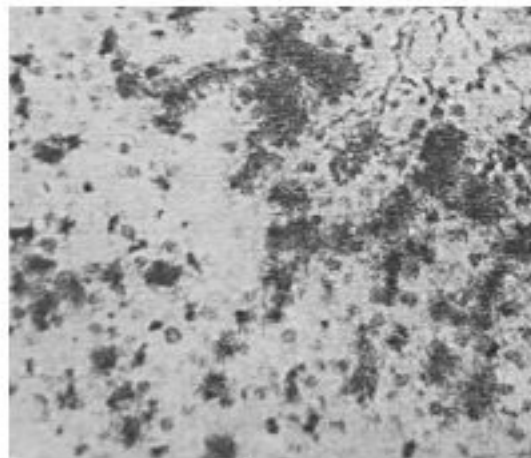
poskytují informace o rozložení radioaktivity ve zkoumaném objektu na základě interakce ionizujícího záření s fotografickým materiálem či např. elektronicky se světlocitlivým panelem.

Využití:

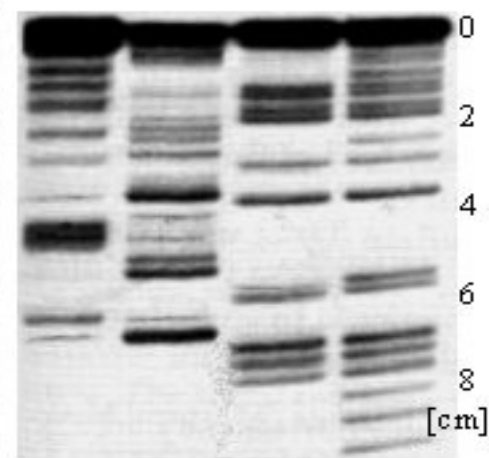
- výzkum distribuce radioaktivity
- průmyslová radiografie
- lékařská rtg. diagnostika



a



b



c