

# Biologické účinky ionizujícího záření



# Veličiny charakterizující zdroje IZ

## Emise zdroje

- Počet částic emitovaných zdrojem za sekundu
- $N$  – celkový počet částic
- $t$  – časový interval
- Jednotka:  $s^{-1}$

$$\varphi_P = \frac{dN}{dt}$$

## Aktivita

- Charakterizuje *pouze radionuklidové zdroje*
- $N$  – počet jaderných přeměn
- $t$  – časový interval
- Jednotka: **Bq** (becquerel) = ( $s^{-1}$ ),

$$A = \frac{dN}{dt}$$

dříve **Ci** (curie) ;  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$

# Veličiny charakterizující IZ

## Kerma

- Kinetic Energy Released in Material
- $E_k$  – kinetická  $E$  (všech nabitých částic) uvolněných *nepřímo* IZ v určitém objemu látky o hmotnost  $m$
- Jednotka: **Gy** (gray) = (J.kg<sup>-1</sup>)

$$K = \frac{dE_k}{dm}$$

## Dávka

- $\bar{E}$  – střední energie předaná IZ elementu látky o dané hmotnosti  $m$
- Důsledek interakce *přímo i nepřímo* IZ s látkovým prostředím
- Jednotka: **Gy** (gray) = (J.kg<sup>-1</sup>)

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm}$$

# Veličiny charakterizující IZ

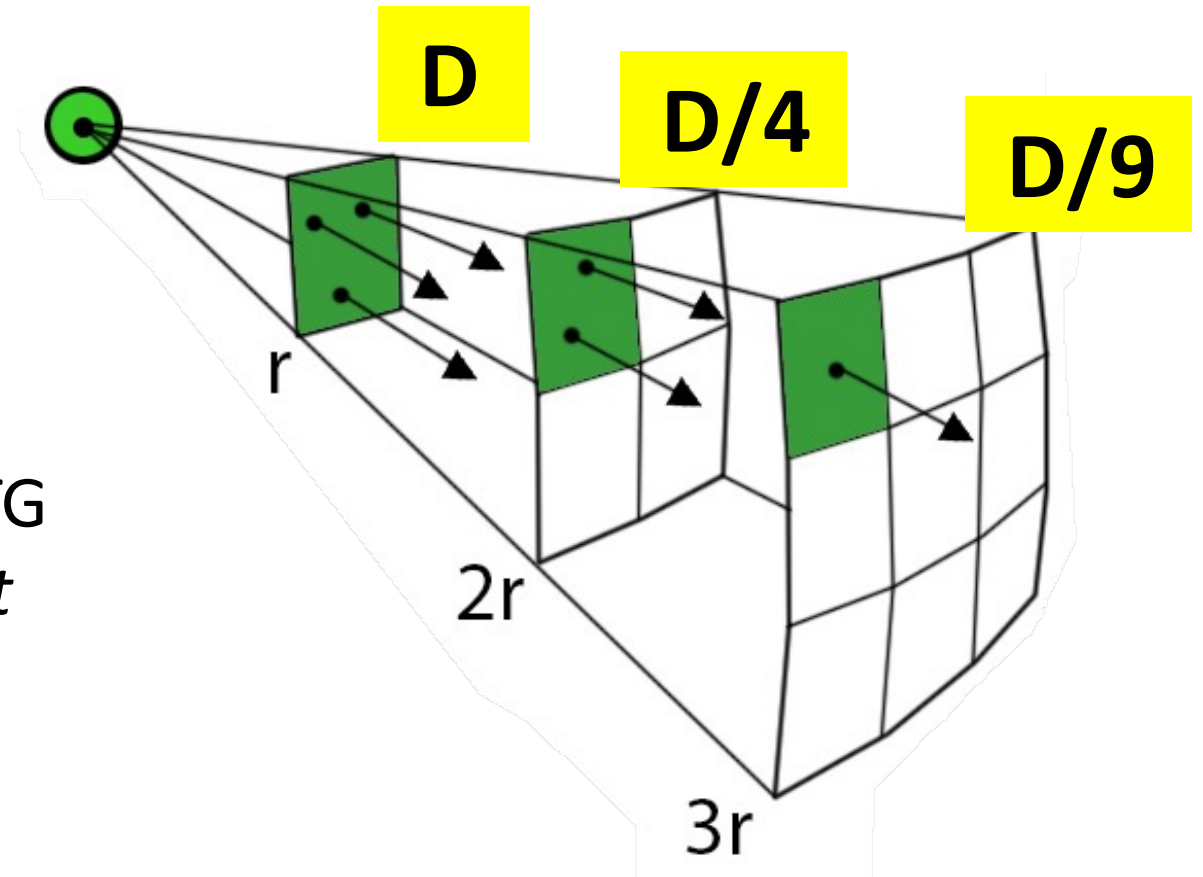
## Dávkový příkon

- Energie předaná IZ závisí na době trvání ozařování
- Dávka za časový interval
- Jednotka: **Gy.s<sup>-1</sup>**

$$D_P = \frac{dD}{dt}$$

# Veličiny charakterizující IZ

- Energie předaná IZ je úměrná vzdálenosti od zdroje.
- Intenzita záření *klesá* s druhou mocninou vzdálenosti.
- Vzdálenost ohnisko-kůže pro IO RTG s napětím vyšším než 60 kV má být alespoň 20 cm.



# Veličiny charakterizující účinky IZ

## Dávkový ekvivalent

- $D$  – dávka absorbovaná v dané oblasti tkáně
- $Q$  – jakostní činitel účinku daného záření na tkáň
- Jednotka: **Sv** (sievert) = (J.kg<sup>-1</sup>)

$$H = D \cdot Q$$

## Ekvivalentní dávka

- Součet absorbovaných dávek ve tkáni T pro IZ typu R
- Slouží k limitování ozáření tkáně (deterministické účinky)
- $D_{T,R}$  – dávka absorbovaná v dané oblasti tkáně
- $W_R$  – radiační váhový faktor pro dané záření
- Jednotka: **Sv** (sievert) = (J.kg<sup>-1</sup>)

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

# Veličiny charakterizující účinky IZ

## Efektivní dávka

- Součet ekvivalentních dávek vynásobených příslušnými  $W_T$

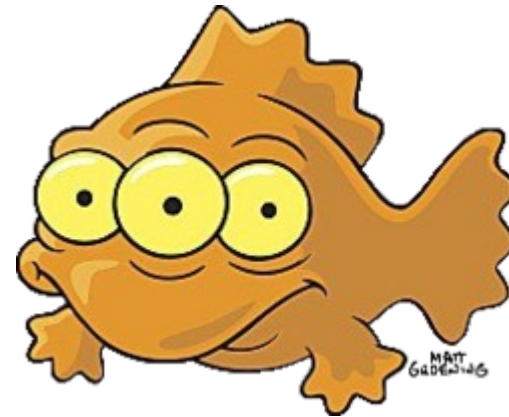
$$E = \sum_T W_T \cdot H_T = \sum_T \sum_R W_T \cdot W_R \cdot D_{T,R}$$

- $W_T$  – tkáňový faktor efektivní dávky
- $D_{T,R}$  – dávka záření ve tkáni
- Hodnocení ozáření celého těla z hlediska stochastických účinků
- Vyjadřuje rozdílnou radiosenzitivitu tkání
- Jednotka: **Sv** (sievert) = (J.kg<sup>-1</sup>)

# Biologické účinky

## Účinky IZ dle morfologické úrovně

- Molekulární (DNA, proteiny, lipidy → ztráta bio funkce)
- Buněčné
- Orgánové
- Účinky na organismus
- Účinky na populaci

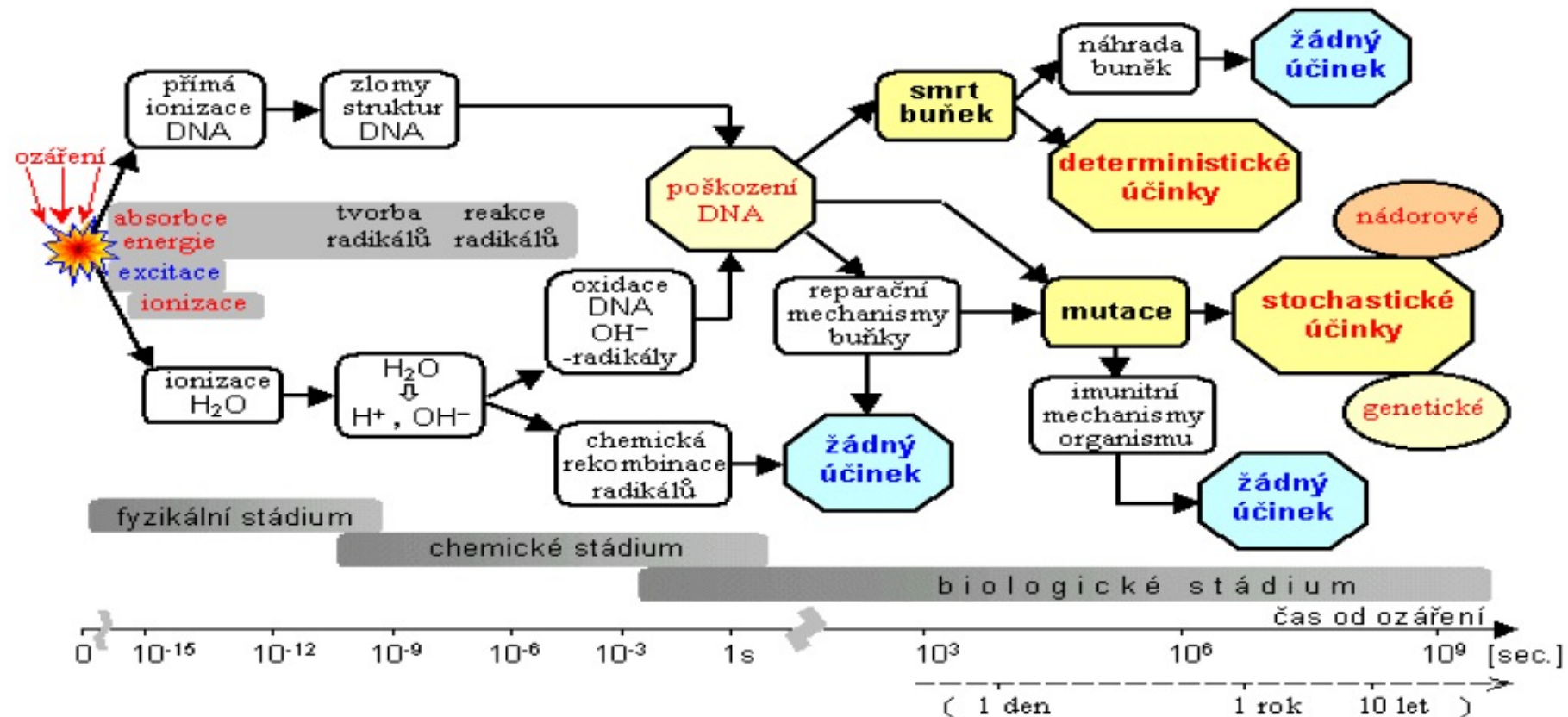




# Biologické účinky

Přímá ionizace – zlomy DNA

Nepřímá ionizace – oxidace DNA volnými radikály



# Biologické účinky

Deterministické účinky	Časné	Akutní nemoc z ozáření - celotělové
		Akutní lokální poškození kůže
		Akutní lokální poškození
	Pozdní	Nenádorová pozdní poškození
		Účinky na vývoj zárodku a plodu
Stochastické účinky	Pozdní	Nádory vyvolané IZ
		Genetické změny

# Biologické účinky

## Deterministické účinky

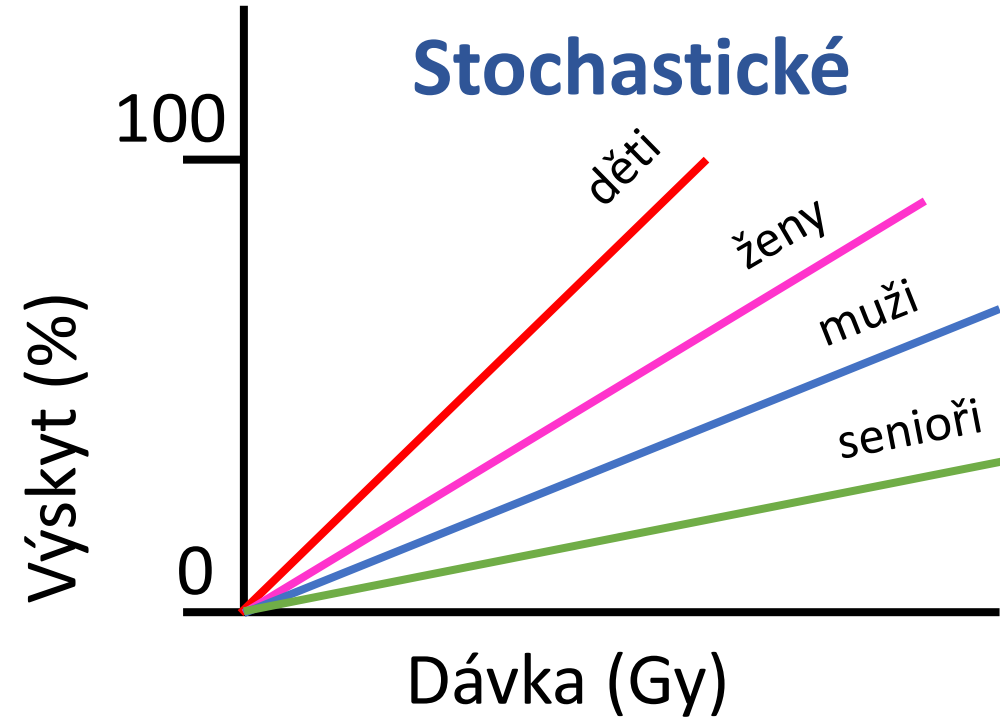
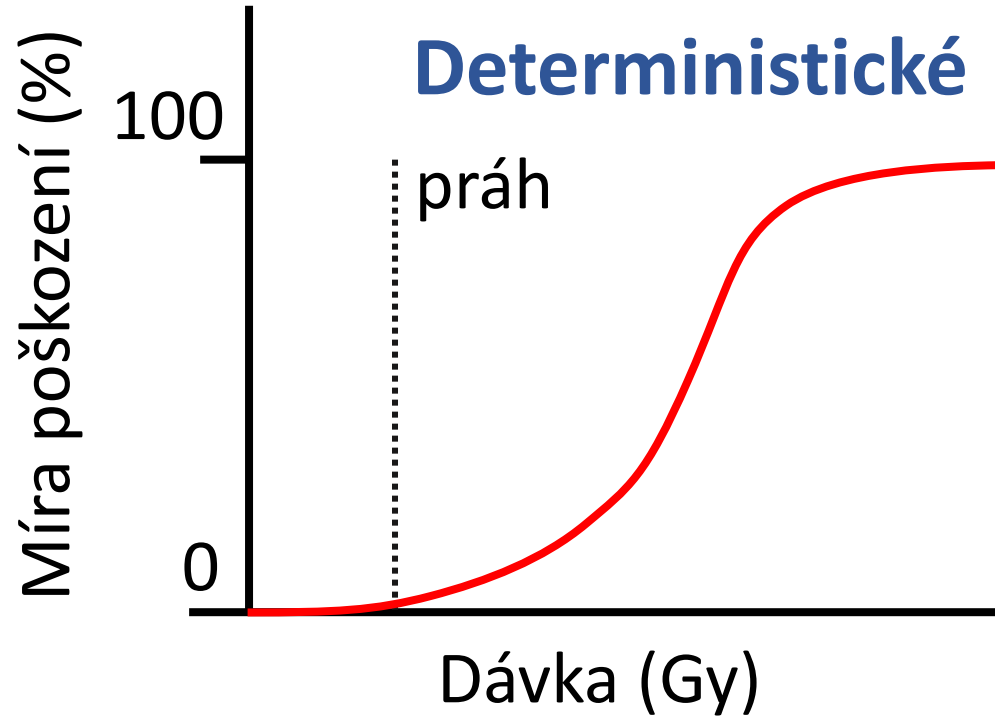
- *Projeví se vždy po dosažení minimální dávky*
- Zpravidla lokální účinek
- V důsledku smrti velkého množství buněk
- Prahová dávka se liší pro jednotlivé orgány
- Ekvivalentní dávka  $H_T$

# Biologické účinky

## Stochastické účinky

- Důsledek změn v buňkách, které přežily ozáření
- *Nejsou limitovány prahovou dávkou*
- S rostoucí efektivní dávkou *roste pravděpodobnost* výskytu poškození
- Nezáleží na způsobu ozáření (jednorázově, dlouhodobě)
- Mají pozdní projevy
  - somatické – nádory
  - genetické – mutace, poškození zárodečných buněk (další generace)

# Biologické účinky



- Buňky nejvíce citlivé na IZ ve fázi dělení

**Radiosenzitivita** – citlivost na IZ, vysoká pro kostní dřeň, nízká pro neurony

**Radiorezistence** – schopnost odolat účinkům IZ, vysoká pro neurony, nízká pro k. dřeň

# Příklady RA zátěží

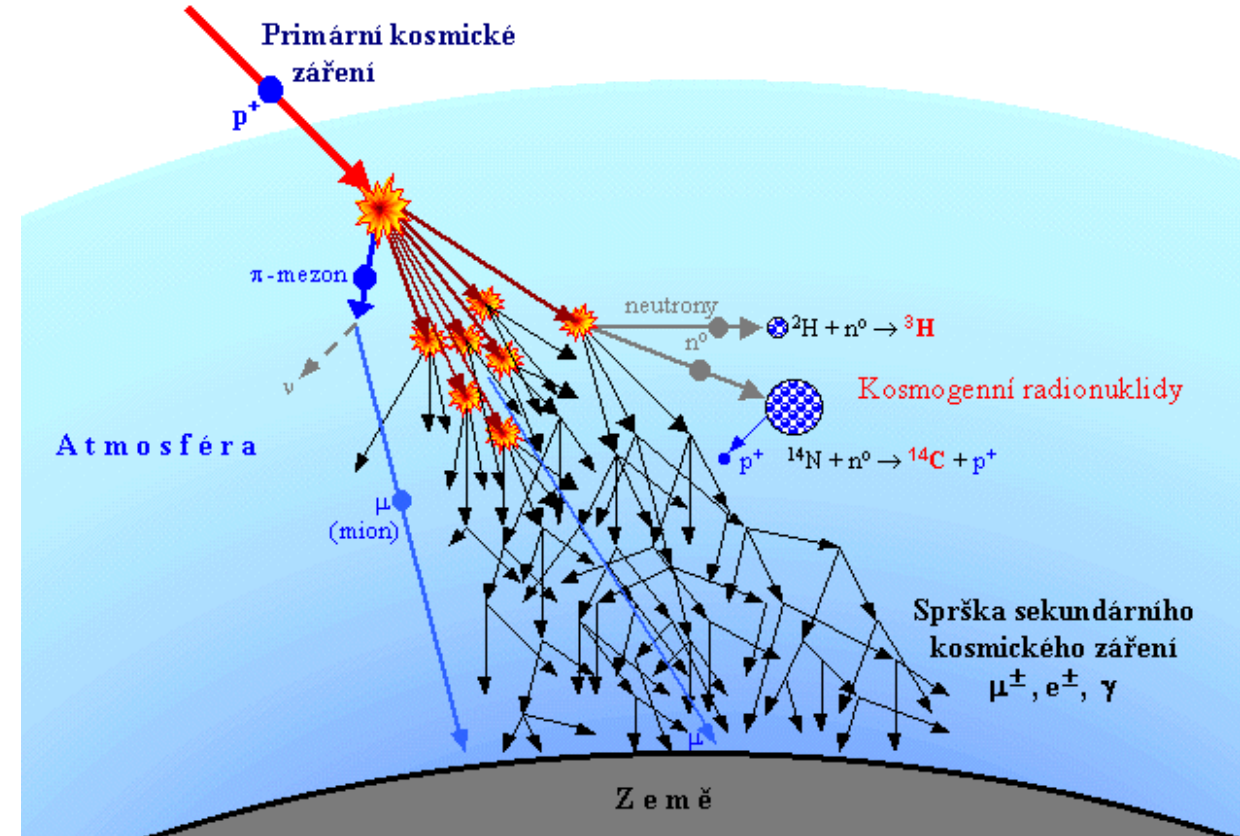
## Kosmické záření

### Primární kosmické záření

- z vesmíru – Slunce a další hvězdy
- protony, alfa částice, jádra (lithium), elektrony, ...

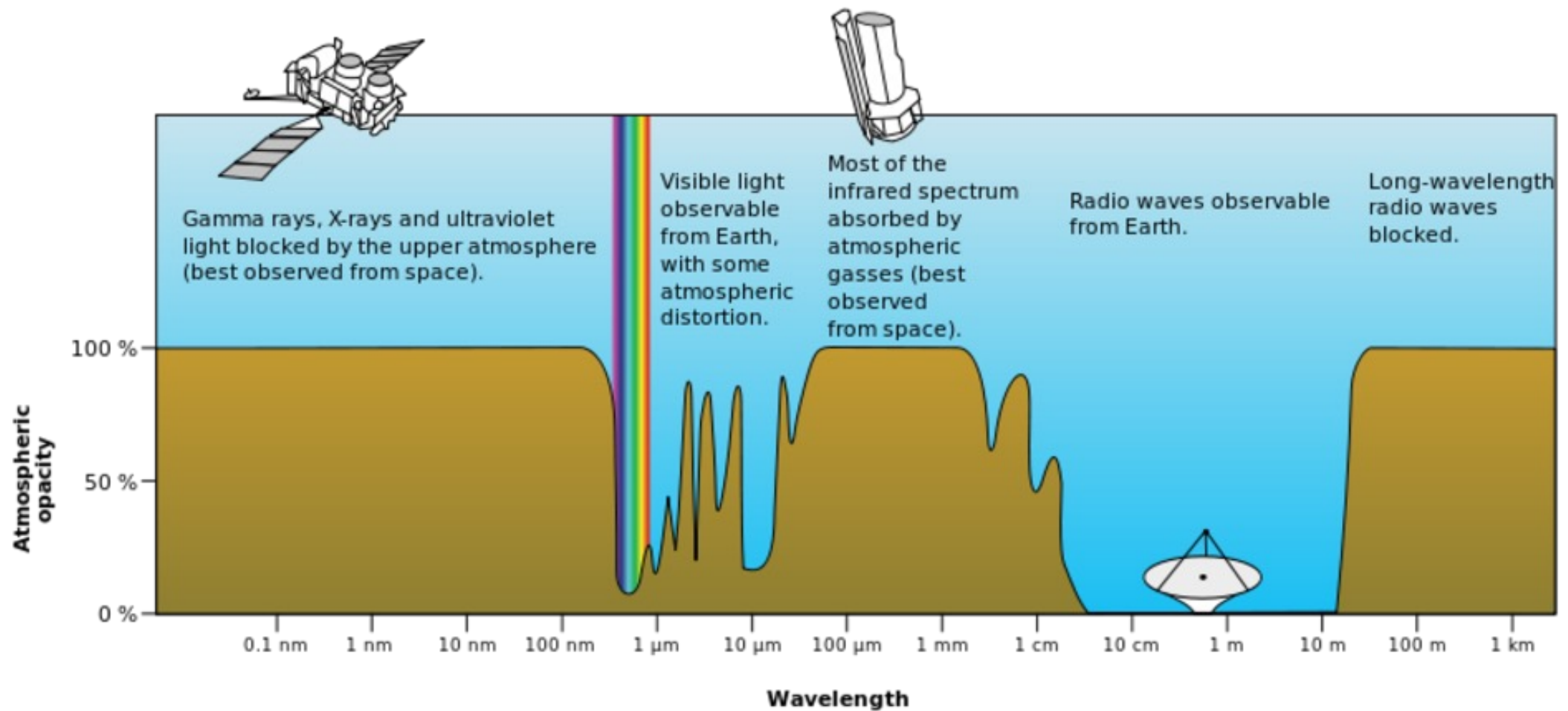
### Sekundární kosmické záření

- vzniká v atmosféře
- protony, neutrony, ra prvky, gama fotony, ...
- Uhlík  $^{14}\text{C}$



# Příklady RA zátěží

## Spektrální propustnost atmosféry



# Příklady RA zátěží

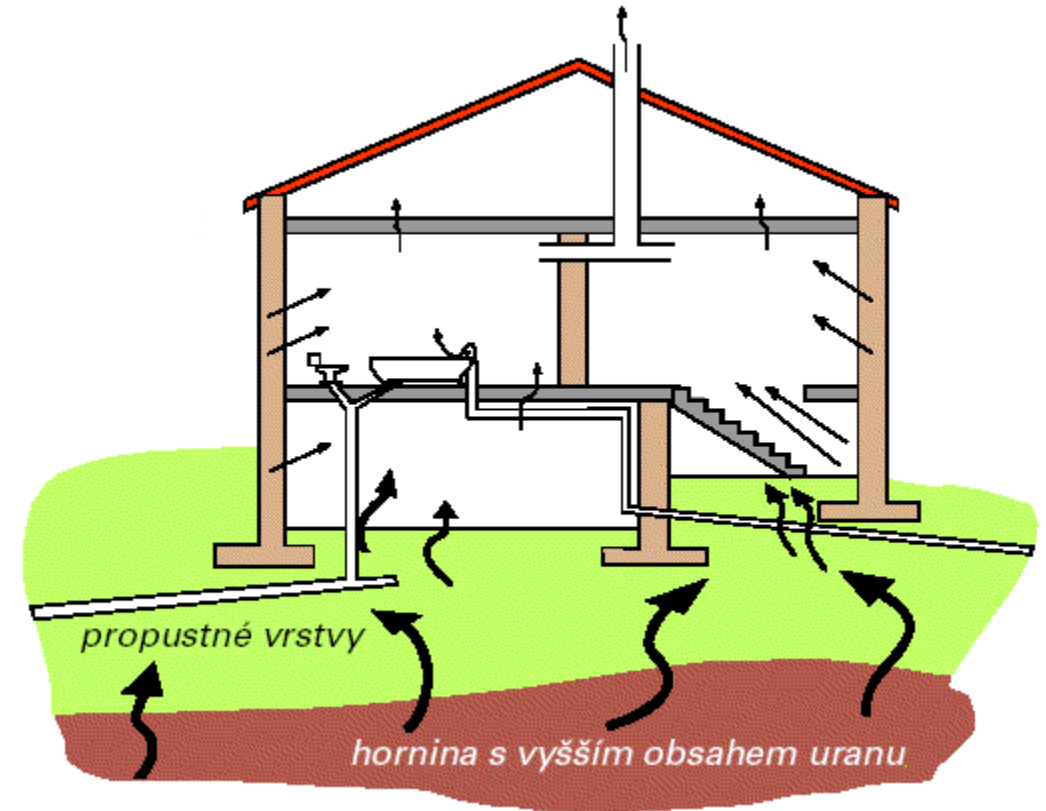
## Radionuklidy v zemské kůře

Uran  $^{238}\text{U}$

- nejvýznamnější
- uranová rozpadová řada
- uran  $\rightarrow$  radium  $\rightarrow$  radon

Draslík  $^{40}\text{K}$

- součástí zemské kůry
- v potravinách (ořechy)





# Příklady RA zátěží

0,001	mSv	30 g para ořechů
0,010	mSv	RTG snímek zubů
0,100	mSv	RTG hrudníku
1,000	mSV	Pracovník jaderné elektrárny
100,000	mSv	Kosmonaut za 4 měsíce (na oběžné dráze)



# Detekce IZ

## Dozimetrie

- Zabývá se vlastnostmi IZ, veličinami a metodami měření těchto veličin.

*Kontinuální* – okamžitý stav

*Integrální* – sčítá celkové ozáření

## Princip

- Interakce IZ s hmotou → předání E → dočasné/ trvalé změny
- Stanovení energie IZ, která byla absorbovaná v oblasti zájmu

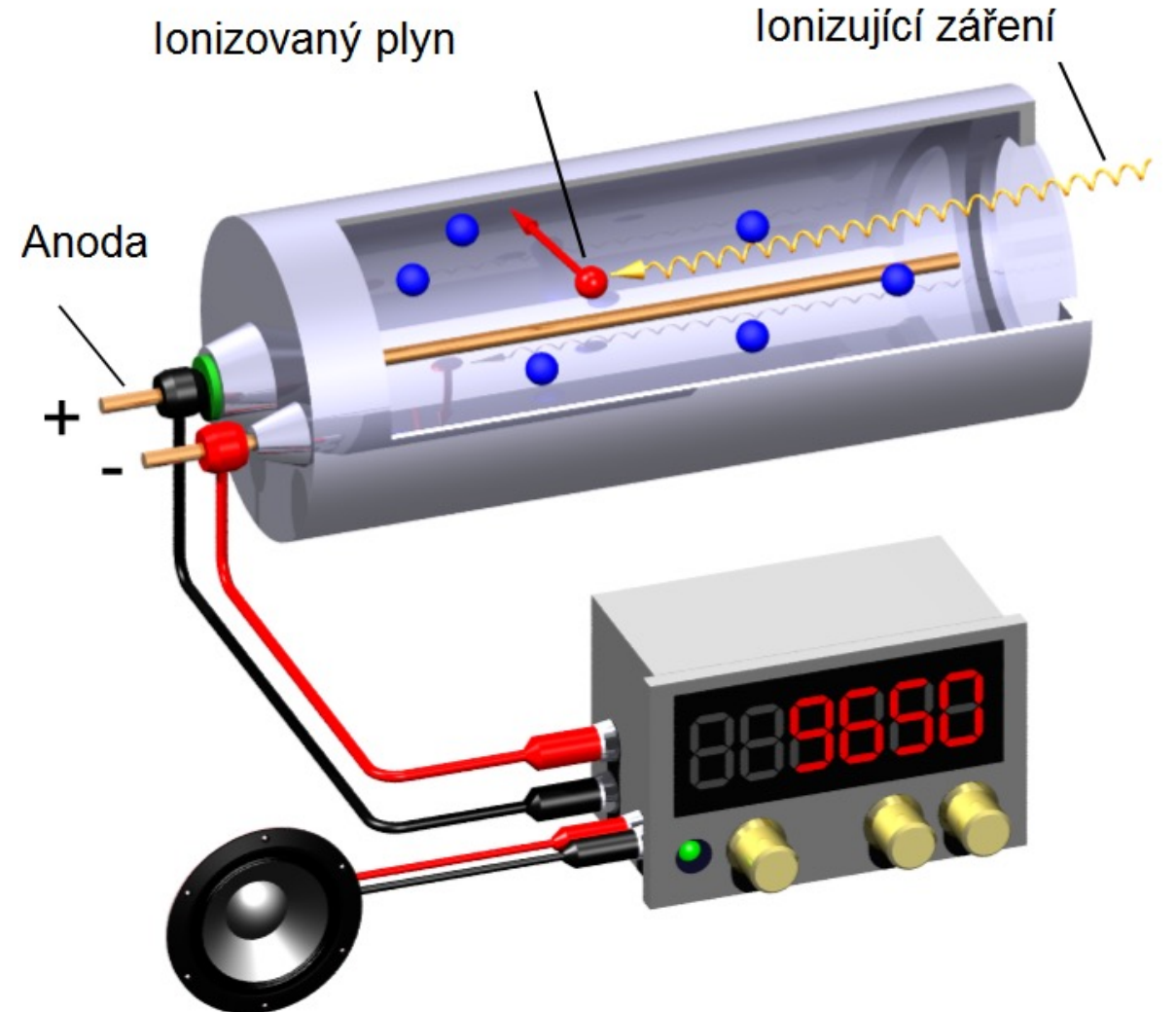
# Detekce IZ

## Historie

1895, Röntgen – fotografické desky

1908, Rutherford – scintilace  
(záblesk pozorovatelný  
mikroskopem)

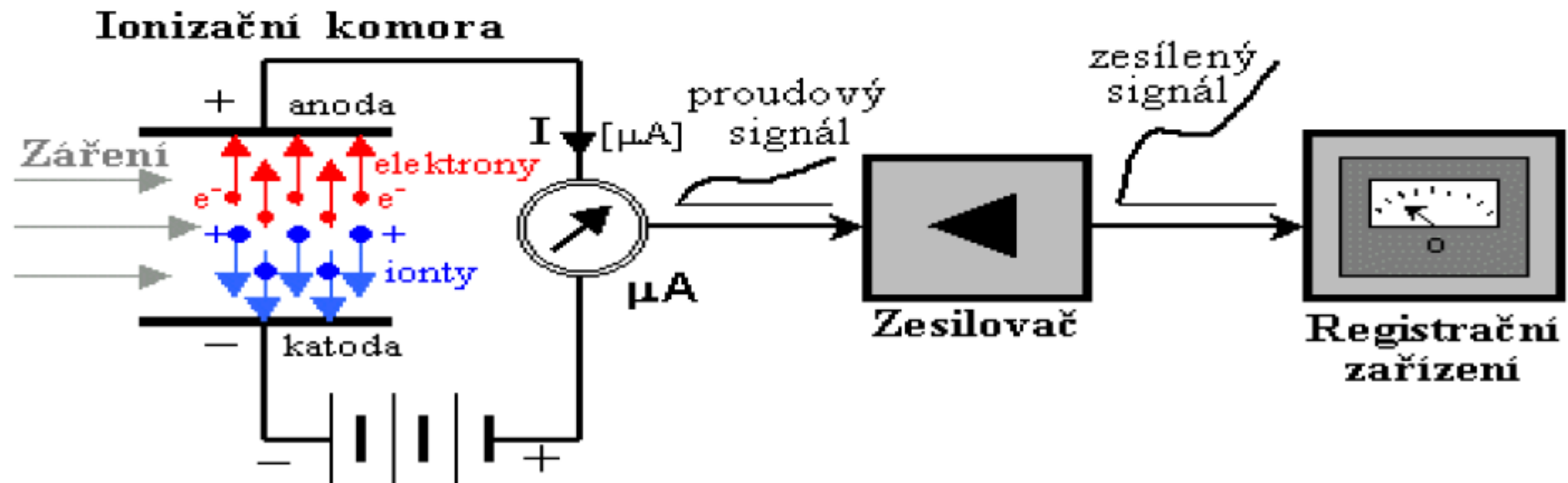
1926, Geiger-Müller – čítač  
(převod na elektrický signál)



# Detekce IZ

## Ionizační komora

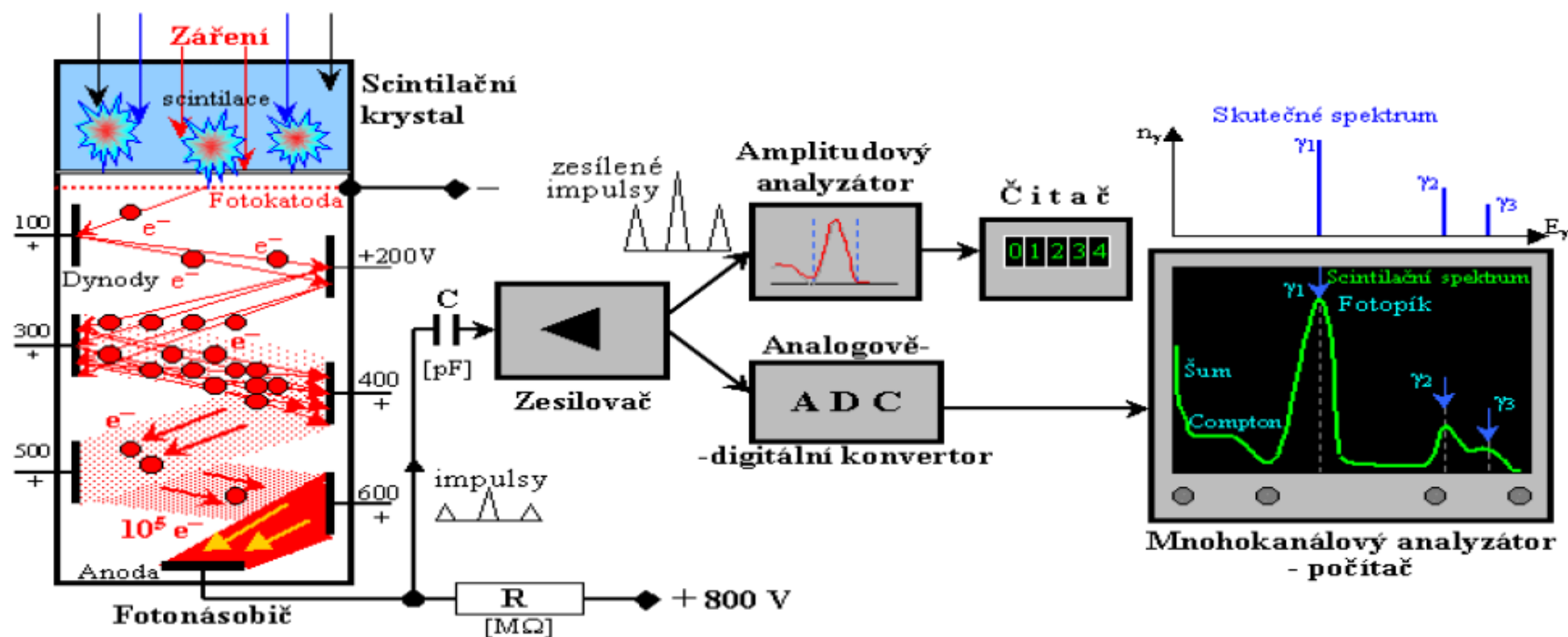
- Ionizace plynu způsobuje vedení proudu



# Detekce IZ

## Scintilační detektor

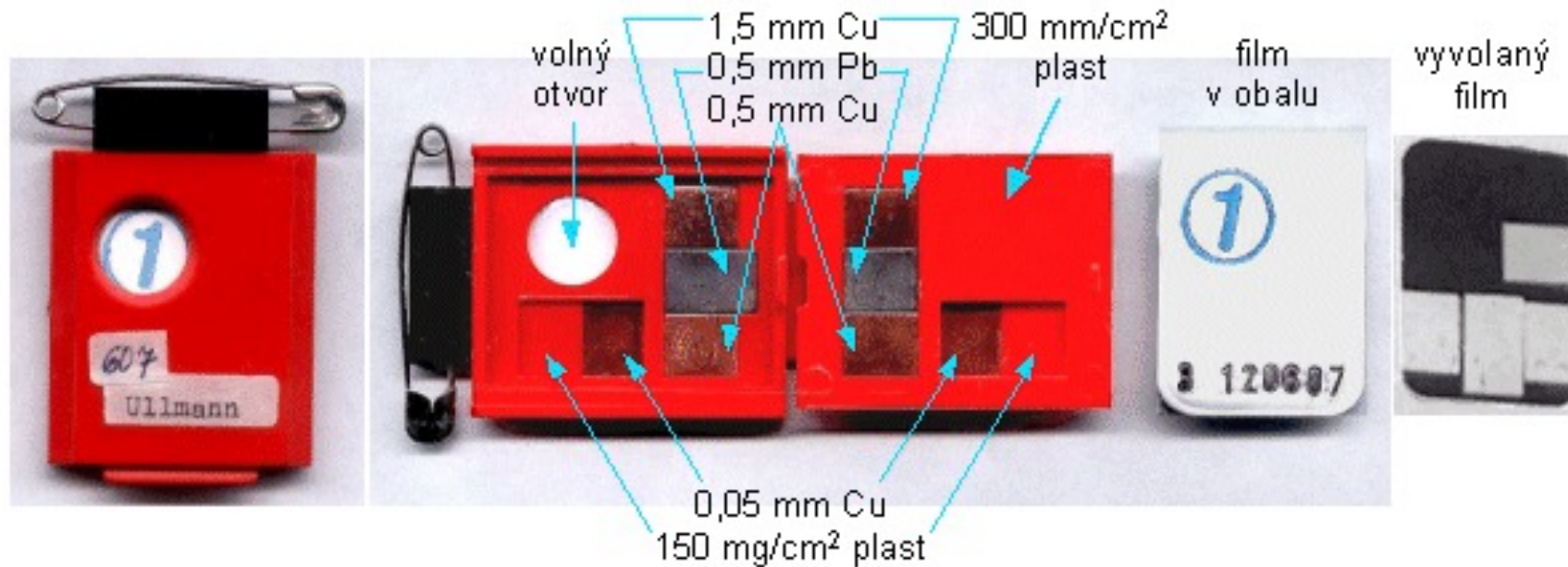
- Převod IZ na viditelné
- Scintilační krystal
- Fotokatoda a fotonásobič
- Využíván pro detekci obrazu



# Detekce IZ

## Osobní dozimetr

- Film ve světlotěsném obalu
- Stínící materiály
- Expozice IZ za časový interval



# Závěr

- Emise zdroje:  $\varphi_P = \frac{dN}{dt} \text{ s}^{-1}$
- Aktivita:  $A = \frac{dN}{dt} \text{ Bq}$
- Kerma:  $K = \frac{dE_k}{dm} \text{ Gy}$
- Dávka:  $D = \frac{d\bar{E}}{dm} \text{ Gy}$
- Dávkový příkon:  $D_P = \frac{dD}{dt} \text{ Gy}\cdot\text{s}^{-1}$
- Dávkový ekvivalent:  $H = D \cdot Q \text{ Sv}$
- Ekvivalentní dávka:  $H_T = \sum_R W_R \cdot D \text{ Sv}$
- Efektivní dávka:  $E = \sum_T W_T \cdot H_T \text{ Sv}$

**Stochastické** – neprahové, s dávkou roste pravděpodobnost rizika

**Deterministické** – prahové, projeví se vždy, s dávkou roste míra poškození