

Metódy diagnostiky materiálov

Marcel MiGLiERiNi







4. Zdroje žiarenia

- fotóny
- nabité častice
- neutróny
- aplikácie ionizujúceho žiarenia

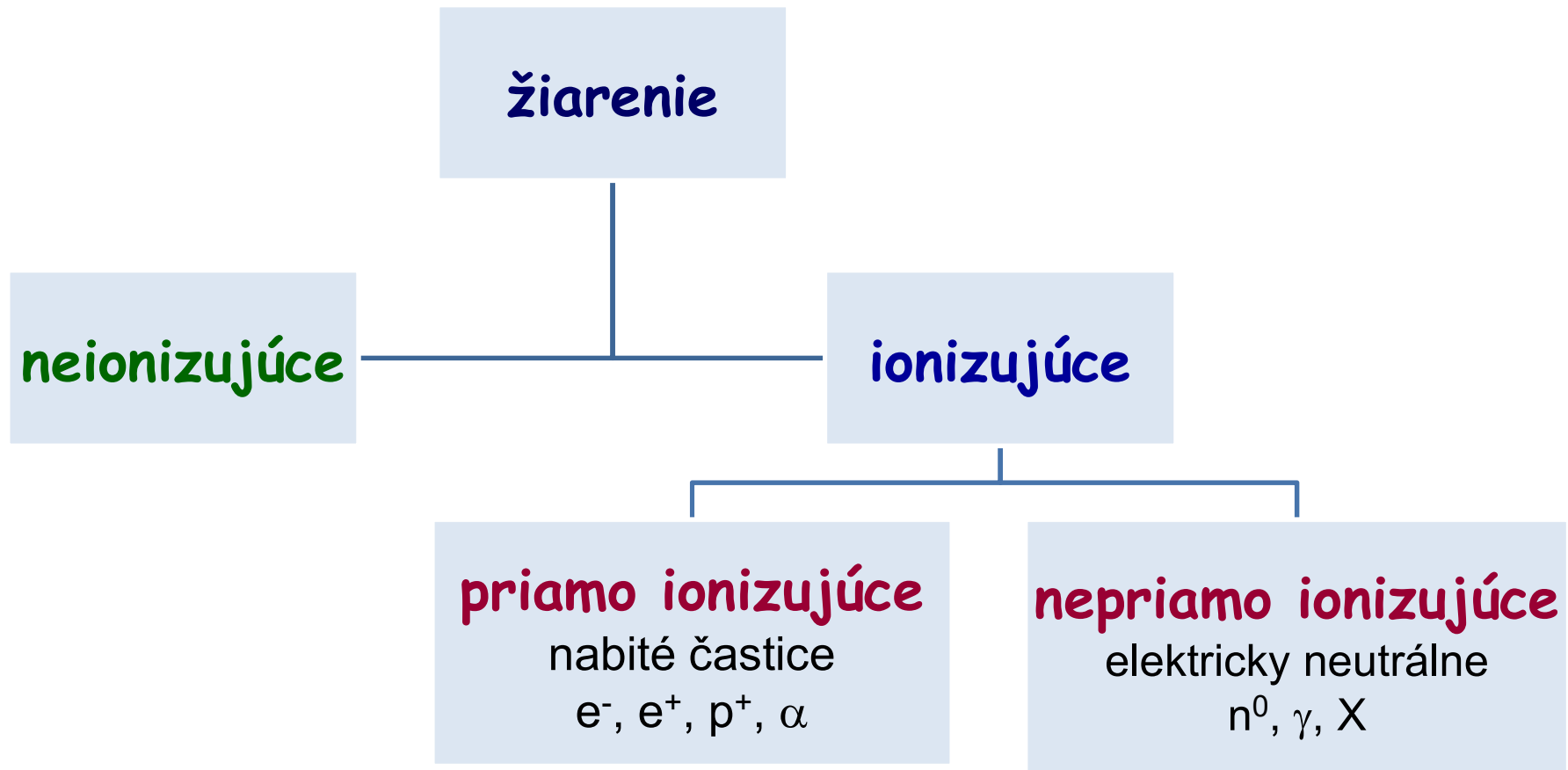
Elektromagnetické žiarenie

- Základné pojmy

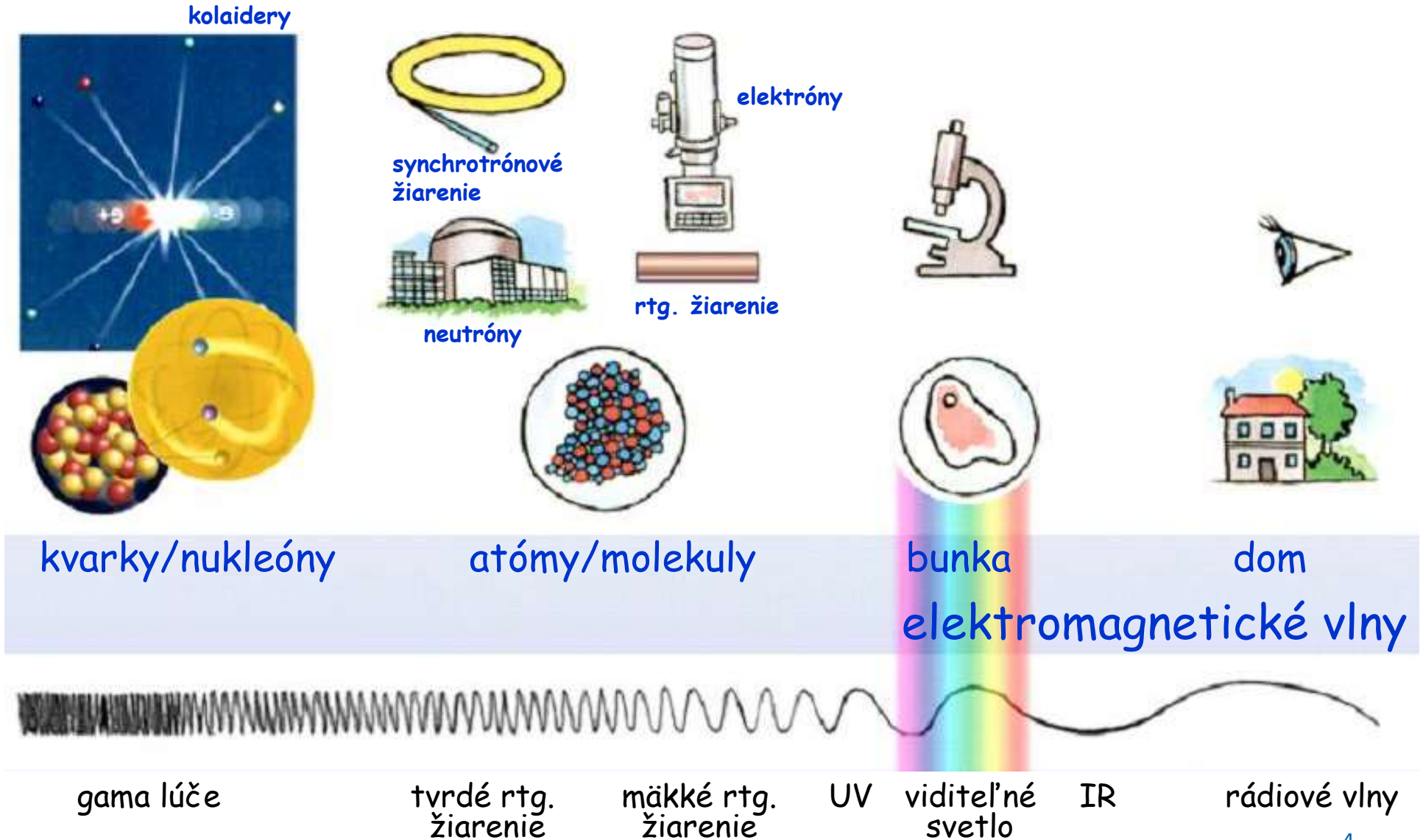
- energia $E = h \cdot \nu$ (eV) $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s (Planckova konštanta)
- vlnová dĺžka $\lambda = c / \nu$ (m) $c = 299\,792\,458$ m/s (rýchlosť svetla)
- frekvencia $\nu = c / \lambda$ (Hz)

	kozmicke	gama	röntgenové	ultrafialové	viditeľné	infračervené	mikrovlnné	rádiové
	← ionizujúce žiarenie →							
λ	0.1 pm	0.1 pm	1 nm	100 nm	400 - 700 nm	1 mm	1 cm	1 m 1 km
E	10 MeV	10 MeV	1 keV	10 eV	1 eV	1 meV	100 μ eV	1 μ eV 1 peV
								

Rozdelenie žiarenia

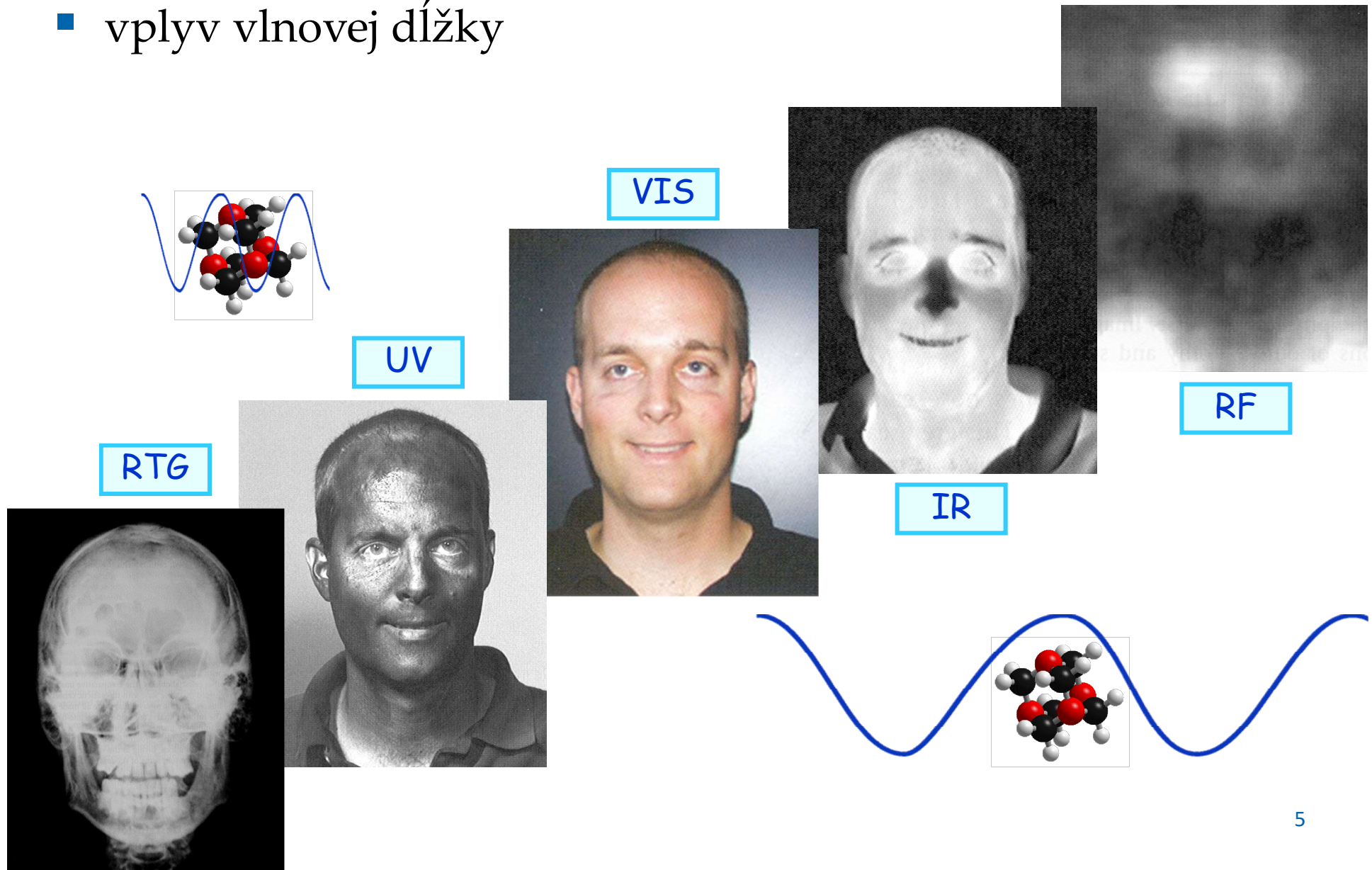


Videnie neviditeľného



Obraz

- vplyv vlnovej dĺžky



Zdroje ionizujúceho žiarenia

■ druhy žiarenia

- alfa
 - beta
 - gama (+ rtg)
 - neutróny
- } nespôsobujú indukovanú rádioaktivitu

Zdroje žiarenia

■ prírodné zdroje

- kozmické žiarenie, kozmogénne žiarenie
- prirodzená rádioaktivita hornín, vody a vzduchu
- prirodzená rádioaktivita potravín
- prírodné rádionuklidy

■ umelé zdroje

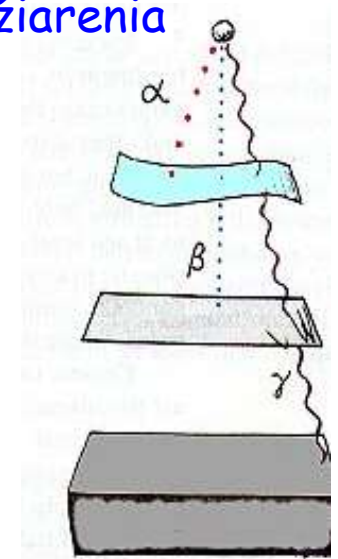
- umelo pripravené rádionuklidy
- urýchľovače
- jadrové reaktory

zdroj žiarenia

papier

hliník

olovo



Kozmické žiarenie

- galaktické kozmické žiarenie
 - protóny (87%), alfa častice (12%)
 - sekundárne žiarenie: ťažké ióny, elektróny, fotóny, subjadrové častice
- slnečné žiarenie
 - protóny, alfa častice a ľahké ióny emitované zo Slnka pri erupciách
- žiarenie zemských radiačných pásov
 - ťažké nabité častice zachytené magnetickým poľom Zeme
- kozmogénne rádionuklidy
 - vznik interakciou kozmického žiarenia so vzduchom, vodou a pôdou
 - ^3H , ^{14}C – vnútorné ožiarenie cez potravinový reťazec

Kozmické žiarenie pri morskej hladine

typ žiarenia	hustota toku častíc ($\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	stredná energia (MeV)
mióny, pióny	1.68×10^{-8}	500 - 1 000
elektróny a pozitrony	0.63×10^{-8}	100
rýchle protóny	5.00×10^{-8}	500 - 1 000
protóny	1.20×10^{-8}	10 - 15
rýchle neutróny	1.50×10^{-7}	500 - 1 000
neutróny	1.20×10^{-7}	10 - 15

Prírodné zdroje rádioaktívneho pozadia

- kozmické žiarenie



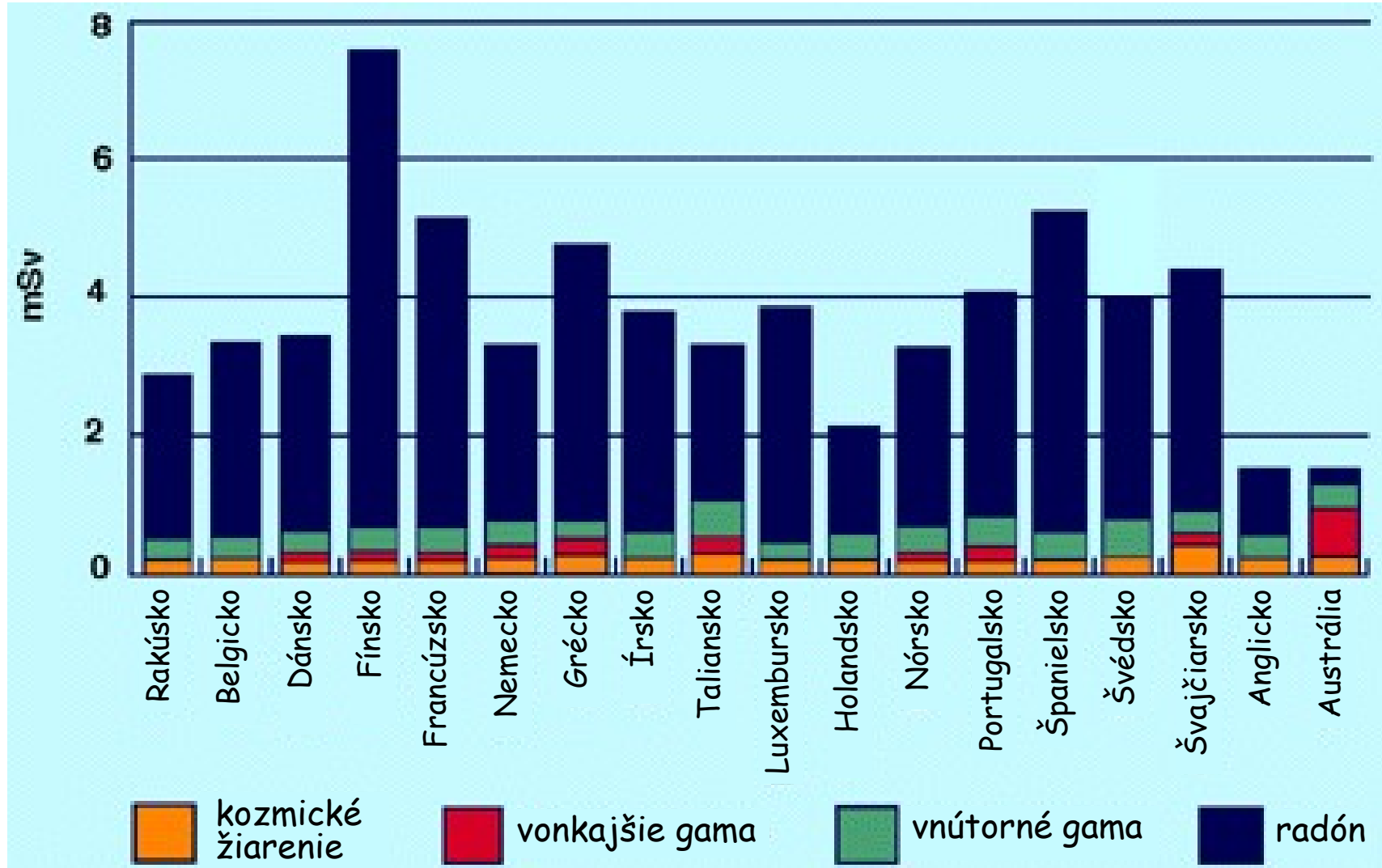
- rádioaktivita hornín, vody a vzduchu

Rádioaktivita hornín, vody a vzduchu

- pôvodné primordiálne rádionuklidy
 - nachádzajú sa na Zemi od jej vzniku ($T_{1/2} > 10^8$ rokov)
- sekundárne primordiálne rádionuklidy
 - rozpadové rady \rightarrow ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{235}Np
- zdroje vnútorného ožiarenia
 - ^{40}K + rádionuklidy rozpadových radov uránu a tória
 - v tele sa nachádzajú v rovnovážnej koncentrácii v dôsledku neprestajného **vstupu** potravinovým reťazcom, vodou a atmosférickým vzduchom a **výstupu** vylučovaním resp. vlastným rozpadom
- ožiarenie od prírodných rádionuklidov
 - príspevok **radónu** (^{222}Rn , 4 Bq/m³)

Prirodzené pozadie

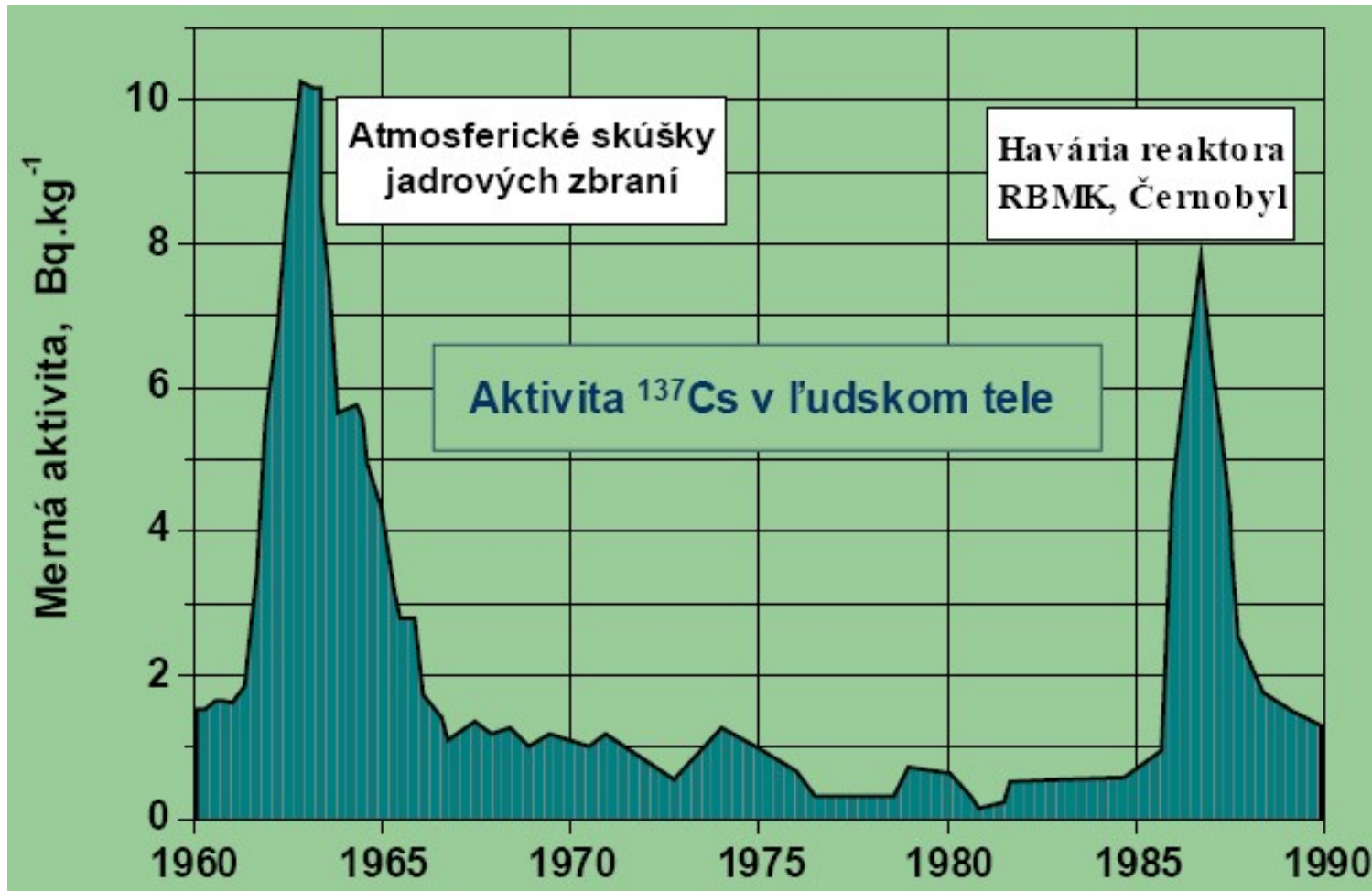
- žiarenie prirodzene a nevyhnutne prítomné v životnom prostredí



Umelé zdroje radiačnej záťaže

- technogénne zdroje žiarenia
 - stavebné materiály
 - umelé hnojivá (rádionuklidy uránového a tóriového radu)
 - úlety tepelných elektrární – ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{40}K
 - svietiace farby (^{226}Ra , ^{147}Pm , ^3H), štartéry svietidiel, tyristory (^{87}Kr , ^{147}Pm , ^{232}Th), hlásiče požiarov (^{241}Am)
- medicínske procedúry
- jadrová energetika – nepatrný príspevok
 - **štiepenie** jadrového paliva
 - **aktivácia neutrónmi** konštrukčných materiálov, paliva, prímiesí v chladiči, v moderátore, v palive, a pod.
- globálny rádioaktívny spád – hlavne ^{90}Sr a ^{137}Cs

Globálny rádioaktívny spád



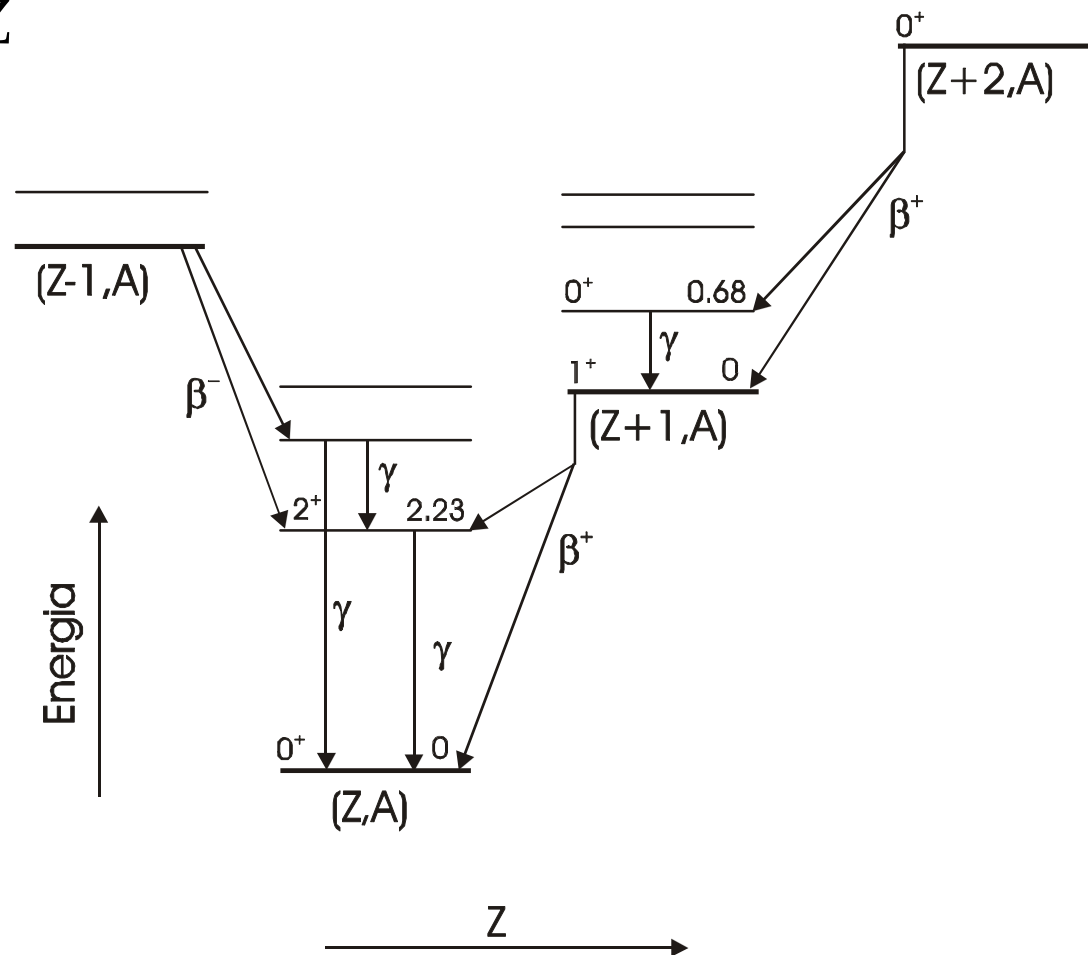
Zdroje fotónov

- optické metódy
 - viditeľná oblasť: žeravené teleso (W drôt), lasery
 - ultrafialová oblasť: výbojky
 - infračervená oblasť: žeravené teleso (glow bar, Nernstova tyčinka)
- fotóny ionizujúceho žiarenia
 - γ žiarenie z jadrových rozpadov (rádionuklidy)
 - lúče X (brzdové žiarenie, rtg. žiarenie)
 - rtg. trubice
 - laserové zdroje
 - synchrotrón

Rádionuklidy

- známych asi 1 800 nuklidov – väčšina sú nestabilné
- kritérium stability: N/Z

- rozpadové procesy
 - α rozpad
 - β rozpad
 - β^- rozpad
 - β^+ rozpad
 - elektrónový záchyt
 - γ žiarenie
 - z α a β rozpadov
 - izomérenny prechod



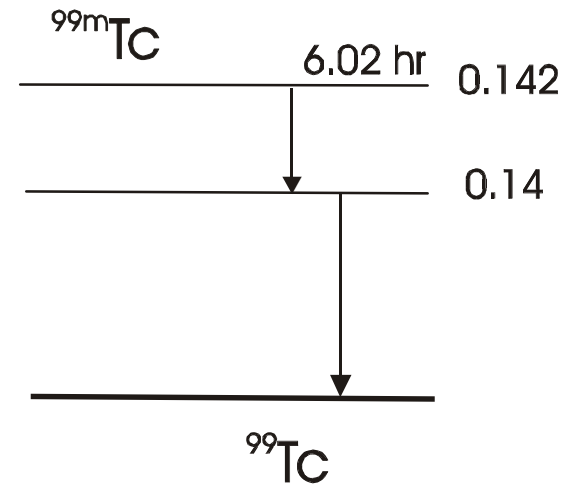
γ žiarenie z α a β rozpadu

- γ žiarenie – interakcia jednotlivých nukleónov s elektromagnetickým poľom
 - α proces – vnútrojadrový
 - β proces - vnútronukelónový

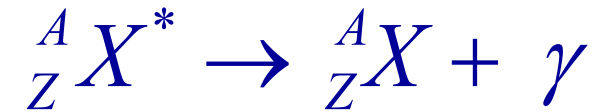
- vzбудený stav jadra po α a β rozpade
 - energia nedostatočná na emisiu častice $\rightarrow \gamma$ fotón
 - jednonásobný prechod
 - kaskádny prechod
 - žiadna zmena A a Z

Izoméreny prechod

- metastabilné stavy (izomérenne stavy s dlhou dobou života)
 - $\Delta I \geq 4$
 - nie sú odlišnosti v konfigurácii nukleónov v jadre ale v ich pohybe



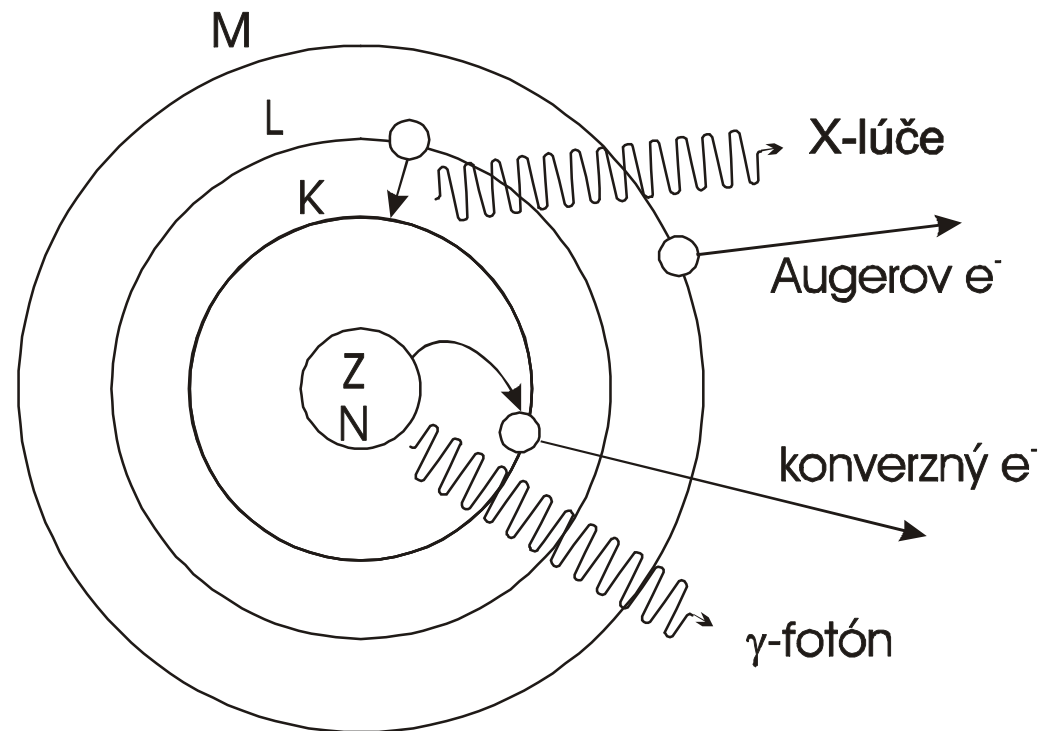
Sprievodné žiarenie



- charakteristické žiarenie - unikajúce γ
 - konverzný elektrón (K hladina) – vnútorná konverzia
 - charakteristické K fotóny

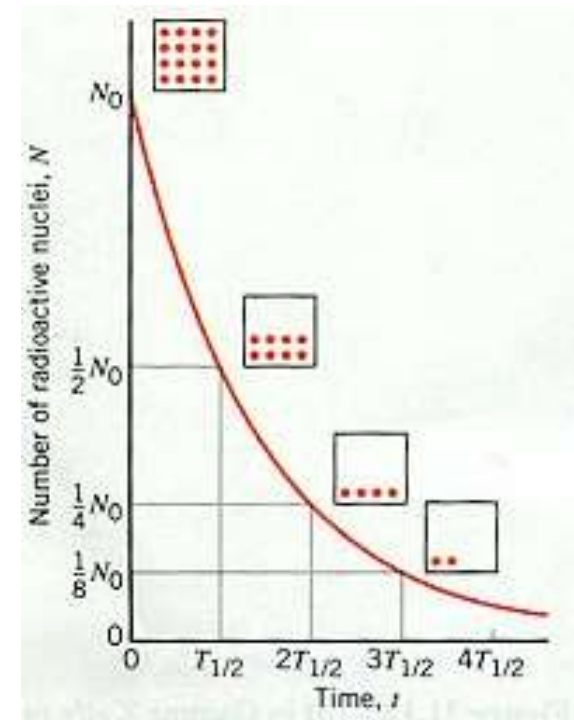
- unikajúce fotóny X
 - Augerove elektróny

- anihilačné fotóny



Rádioaktívne zdroje

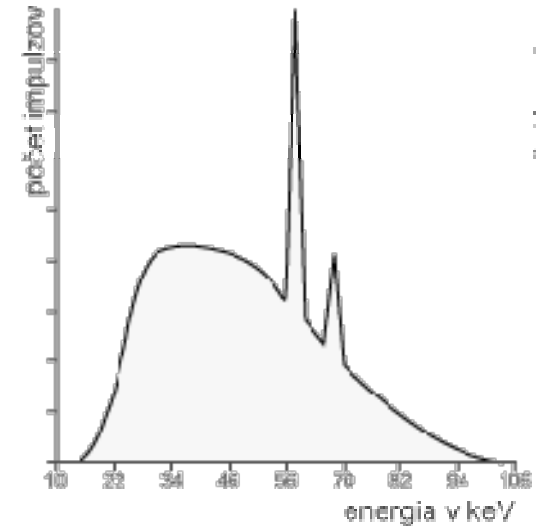
- tablety rádioaktívneho materiálu
 - typické rozmery mm - cm
- charakteristiky
 - klesajúca intenzita (polčas rozpadu)
 - veľké rozmer zdroja
 - nepolarizované žiarenie
 - úzke spektrum energií ($\Gamma \sim 10^{-9}$ eV)
 - nízka briliancia
- aplikácia
 - Mössbauerova spektrometria
 - nepružný rozptyl
 - jadrový rezonančný rozptyl
 - medicínske aplikácie (diagnostika, liečba)



Röntgenové trubice

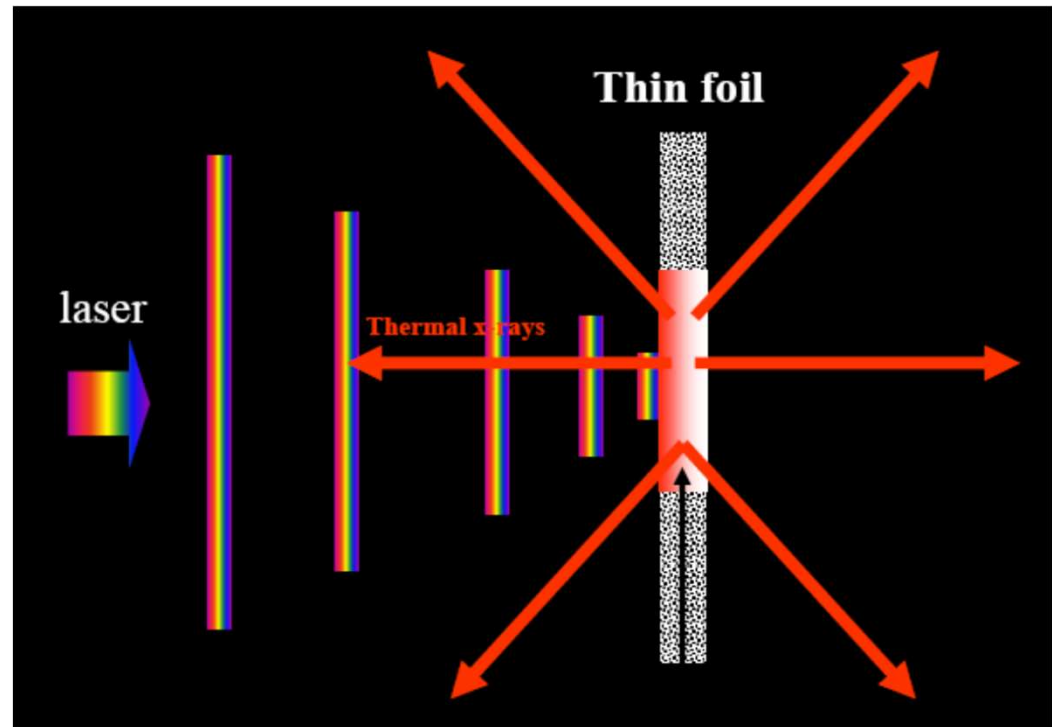
- charakteristiky
 - stabilita, nastaviteľná intenzita
 - stredná veľkosť zdroja (1x1 mm²)
 - nepolarizované žiarenie
 - spektrum: široké a úzke čiary
 - stredná briliancia

- aplikácie
 - difrakcia
 - fluorescenčná analýza
 - zobrazovanie (CT)



Laserové zdroje

- charakteristiky
 - impulzné žiarenie
 - nepolarizované žiarenie
 - nie dobre definovaný zdroj
 - komplexné spektrá
 - nízka briliancia
- aplikácie
 - časovo závislé štúdie procesov iniciované laserom
 - časová škála: nanosek - 100 attosek



Urýchľovače

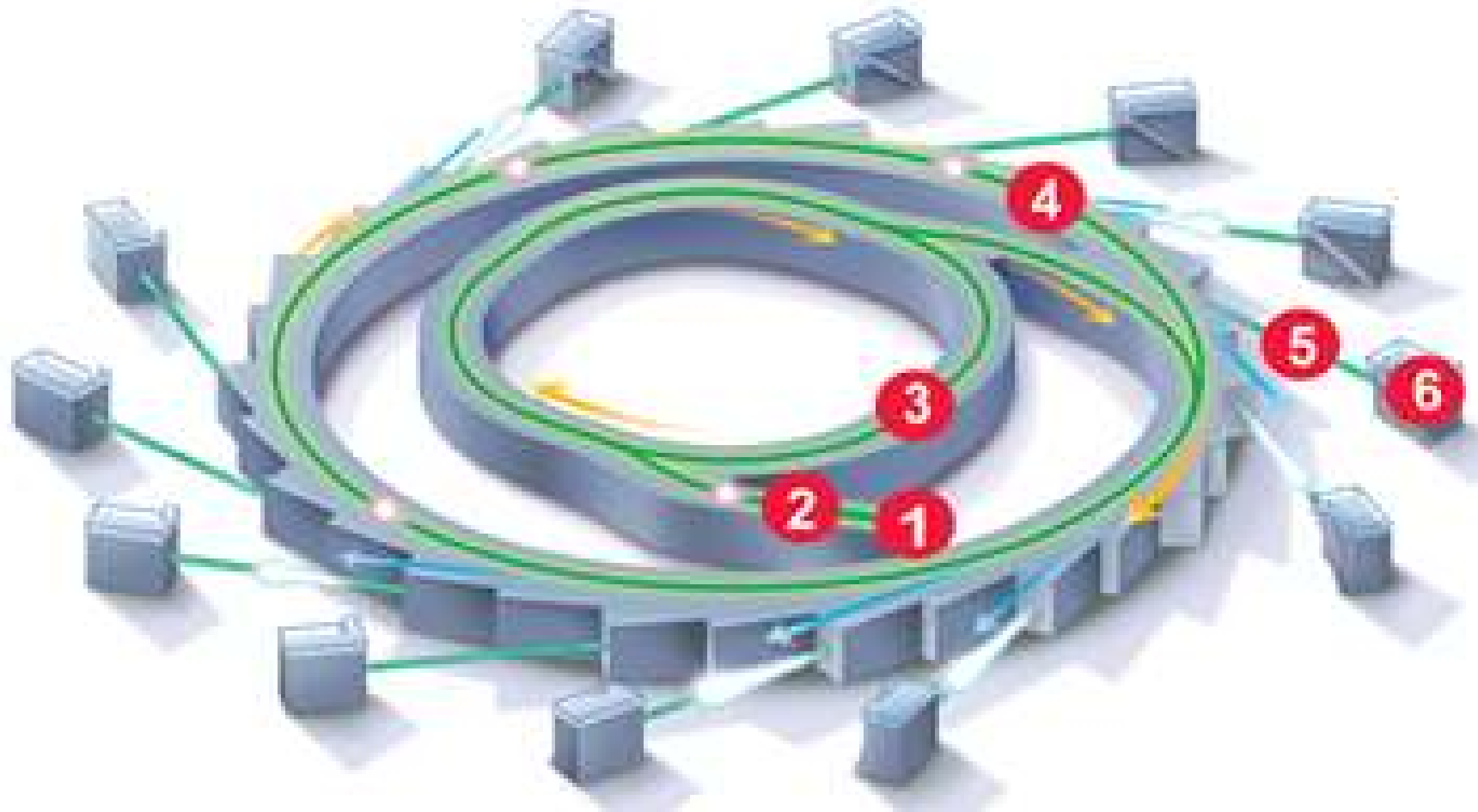
- urýchľovač – zariadenie, ktoré umožňuje zvýšenie kinetickej energie nabitej častice a vedie ju pritom po určenej dráhe
 - elektrické pole – injekcia energie
 - magnetické pole – usmernenie pohybu častice
- parametre zväzku nabitých častíc
 - druh častíc – e^- , p^+ , ióny
 - energia – desiatky eV až TeV
 - intenzita zväzku – nA až mA
- urýchľujúca elektrostatická sila
 - vysoký rozdiel potenciálov – urýchľovače na spojité napätie
 - viacnásobný prechod rozdielom potenciálov – linac, cyklické urýchľovače

Typy urýchľovačov

- podľa typu dráhy
 - lineárne
 - elektrostatické – konštantné urýchľujúce napätie
 - rezonančné – časovo premenlivé urýchľujúce napätie
 - kruhové (cyklické)
 - betatrón
 - cyklotrón
 - synchrociklotrón, izochrónny cyklotrón
 - mikrotrón
 - synchrotrón

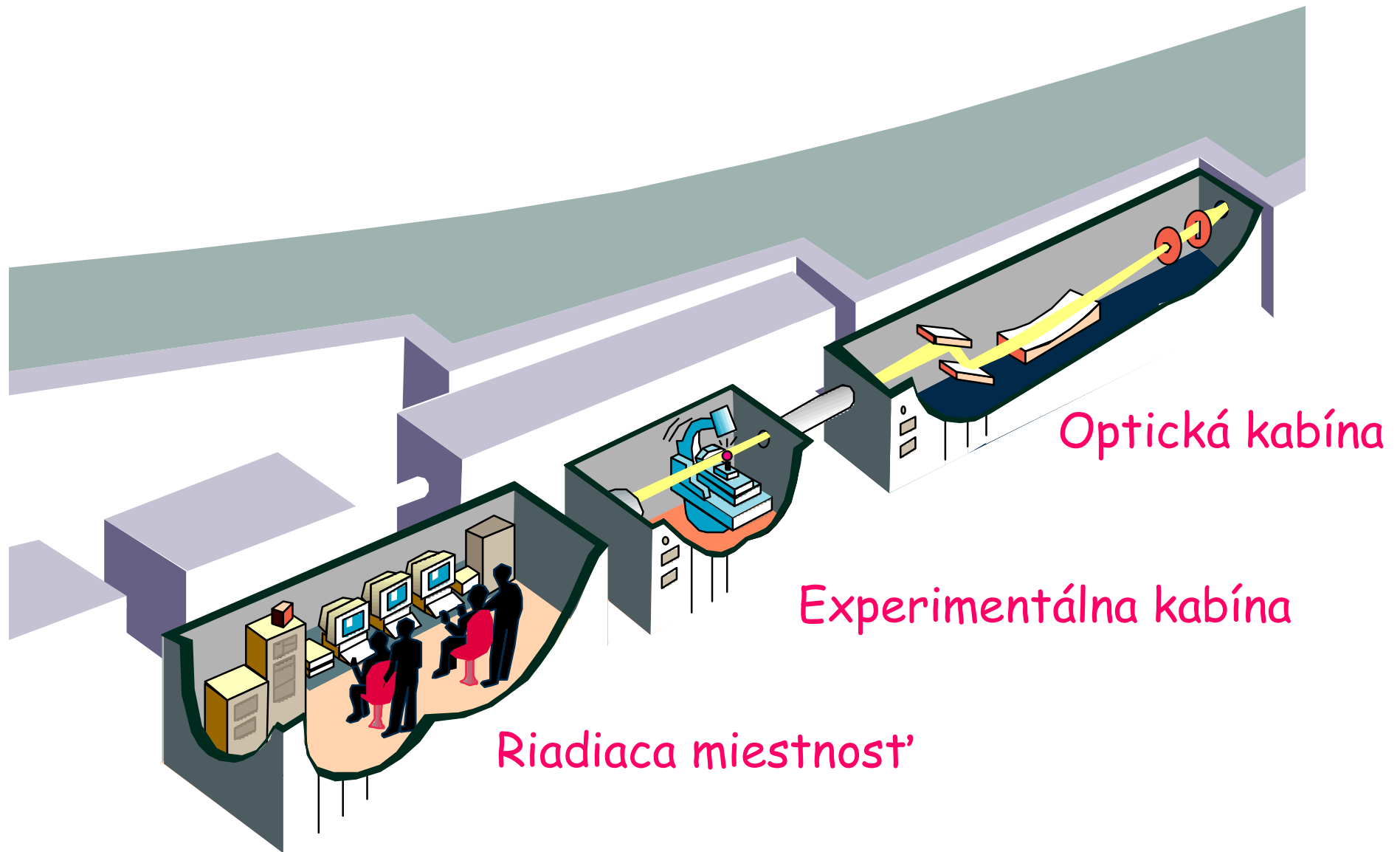
- podľa režimu práce
 - nepretržité
 - časovo nemenný vzťah
 - impulzné
 - uvoľňovanie častíc po častiach (balíkoch)

Synchrotrón

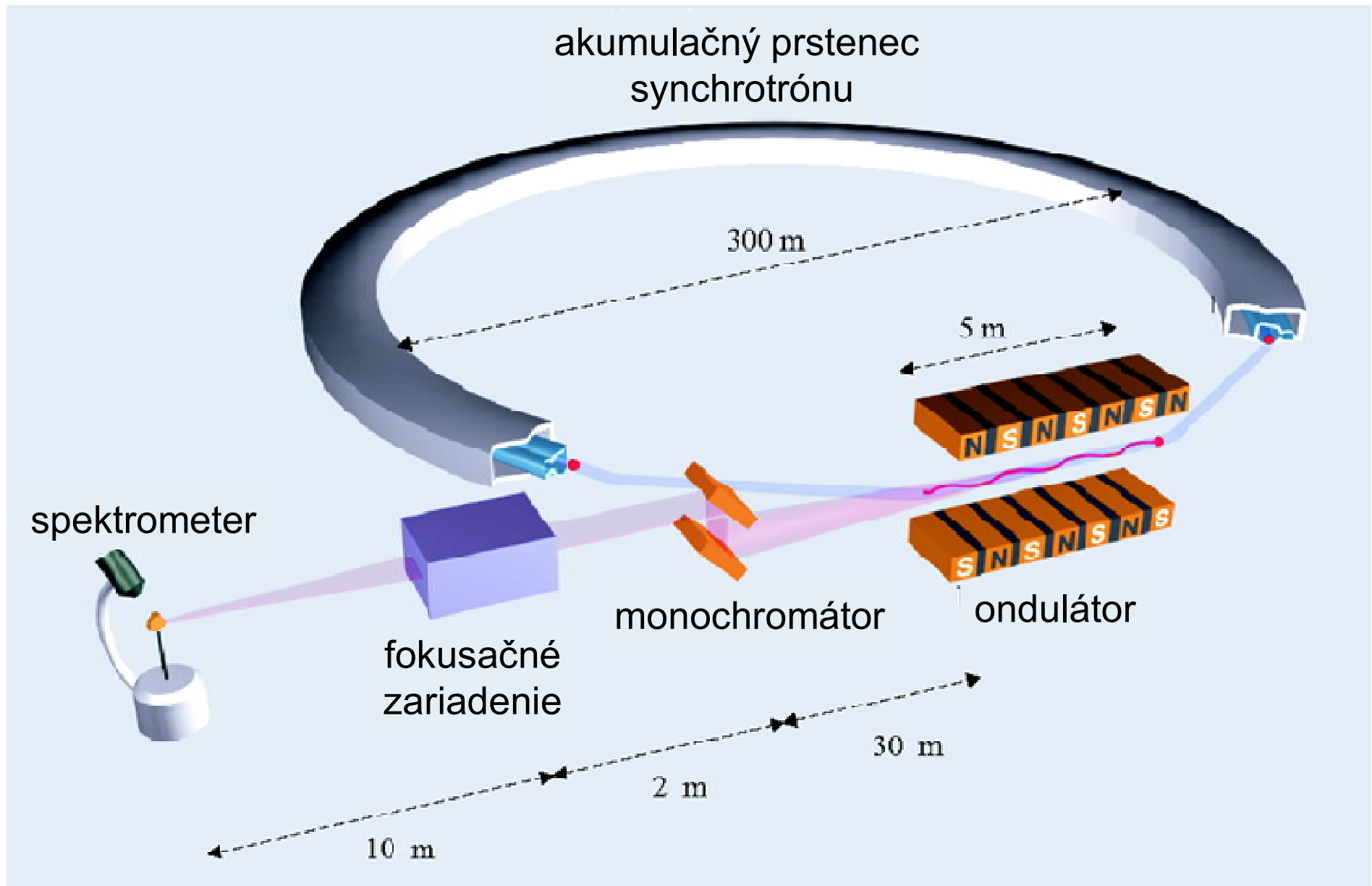


- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. elektrónové delo | 4. akumuláčny prstenec |
| 2. lineárny urýchľovač | 5. trasa |
| 3. urýchľujúci prstenec | 6. experimentálna stanica |

Koncová stanica

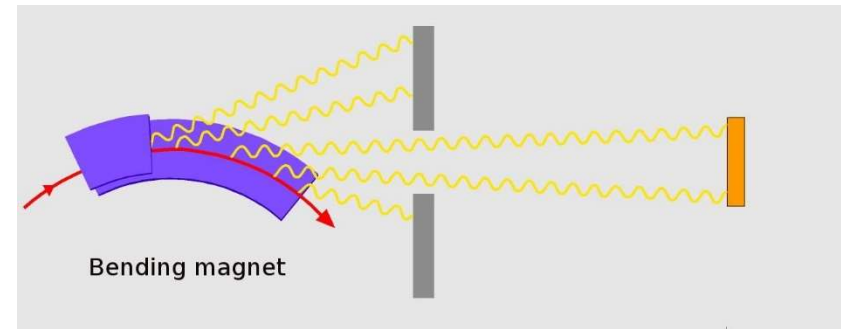
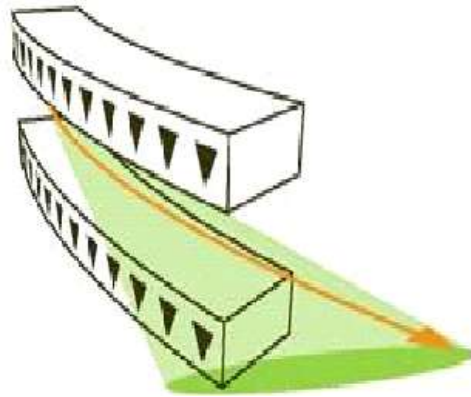


Základná schéma



Vkladacie zariadenia

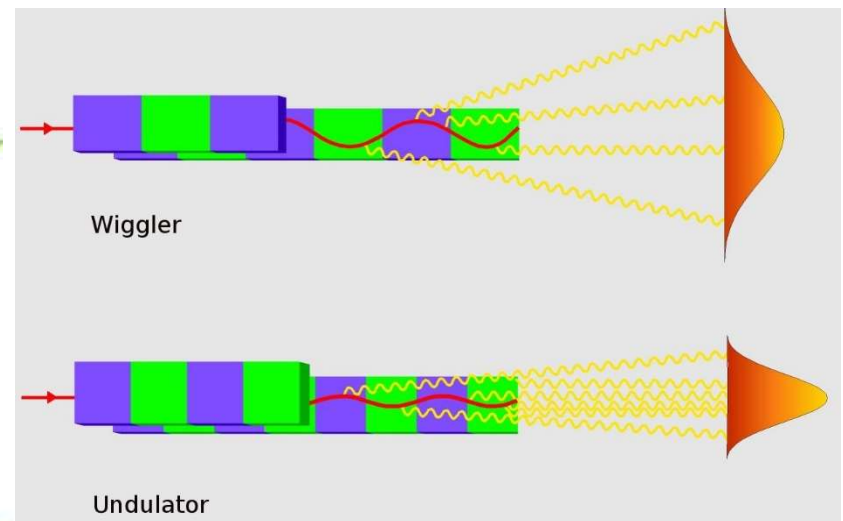
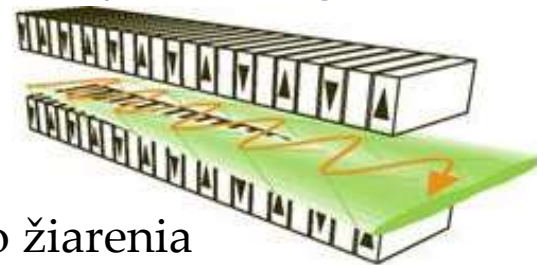
- ohýbací magnet



polia N permanentných magnetov

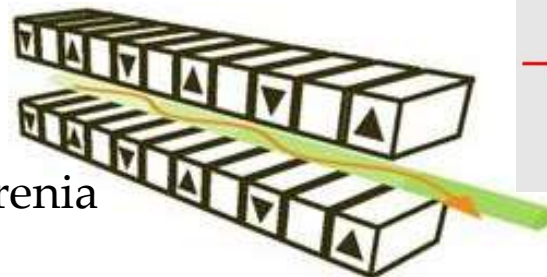
- wiggler

- silné magnety
- široký lúč nekoherentného žiarenia
- intenzita $\sim N$



- ondulátor

- slabé magnety
- úzky lúč koherentného žiarenia
- intenzita $\sim N^2$



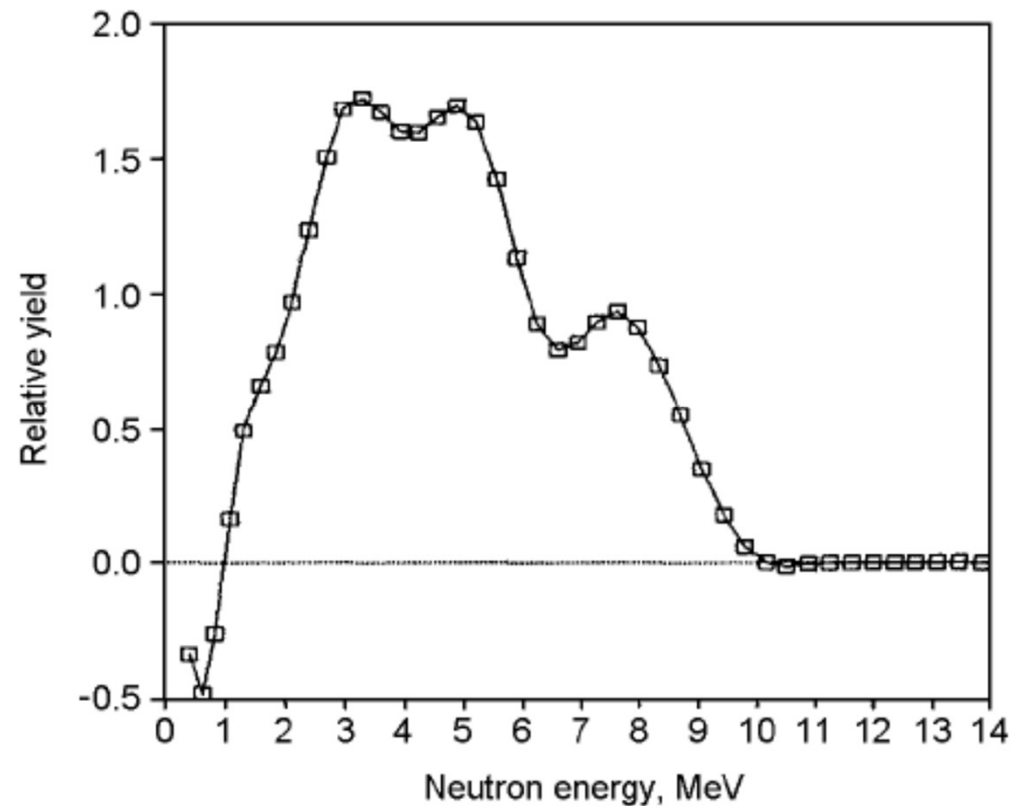
Zdroje neutrónov

- podmienka:
 - energia vzбудenia jadra je väčšia ako väzobná energia neutrónu v ňom
 - (α, n) ; (d, n) ; (p, n) ; (γ, n) ; (n, n)
- zdroje neutrónov
 - rádioaktívne
 - fotoneutrónové zdroje
 - zdroje zo spontánneho delenia
 - jadrové reakcie - štiepna reakcia, spalačná reakcia
 - urýchľovače
 - neutrónový generátor
 - jadrový reaktor

Rádioaktívne zdroje neutrónov

- reakcia (α , n)
 - zdroj α častic:
Pu, Am, Ra, Po, Rn
- $^{239}\text{Pu} + \text{Be}$
 - $T_{1/2} = 24\,000$ rokov
- $^{241}\text{Am} + \text{Be}$
 - $T_{1/2} = 433$ rokov

energetické spektrum neutrónov zdroja Am-Be

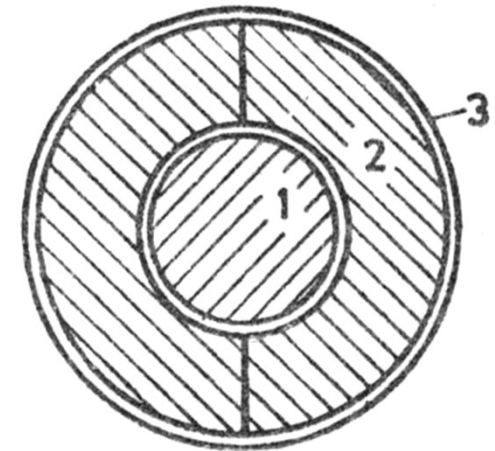


Fotoneutrónové zdroje

- reakcia (γ, n)
 1. zdroj žiarenia γ
 2. materiál, na jadrách ktorého nastáva reakcia (γ, n)
 3. vonkajší obal

- výhody
 - takmer monoenergetické n^0
 - prenosné

- nevýhody
 - žiariče γ majú krátku dobu života
 - len na jadrách ${}^9_4\text{Be}$ a ${}^2_1\text{D}$ (nízka energia γ)

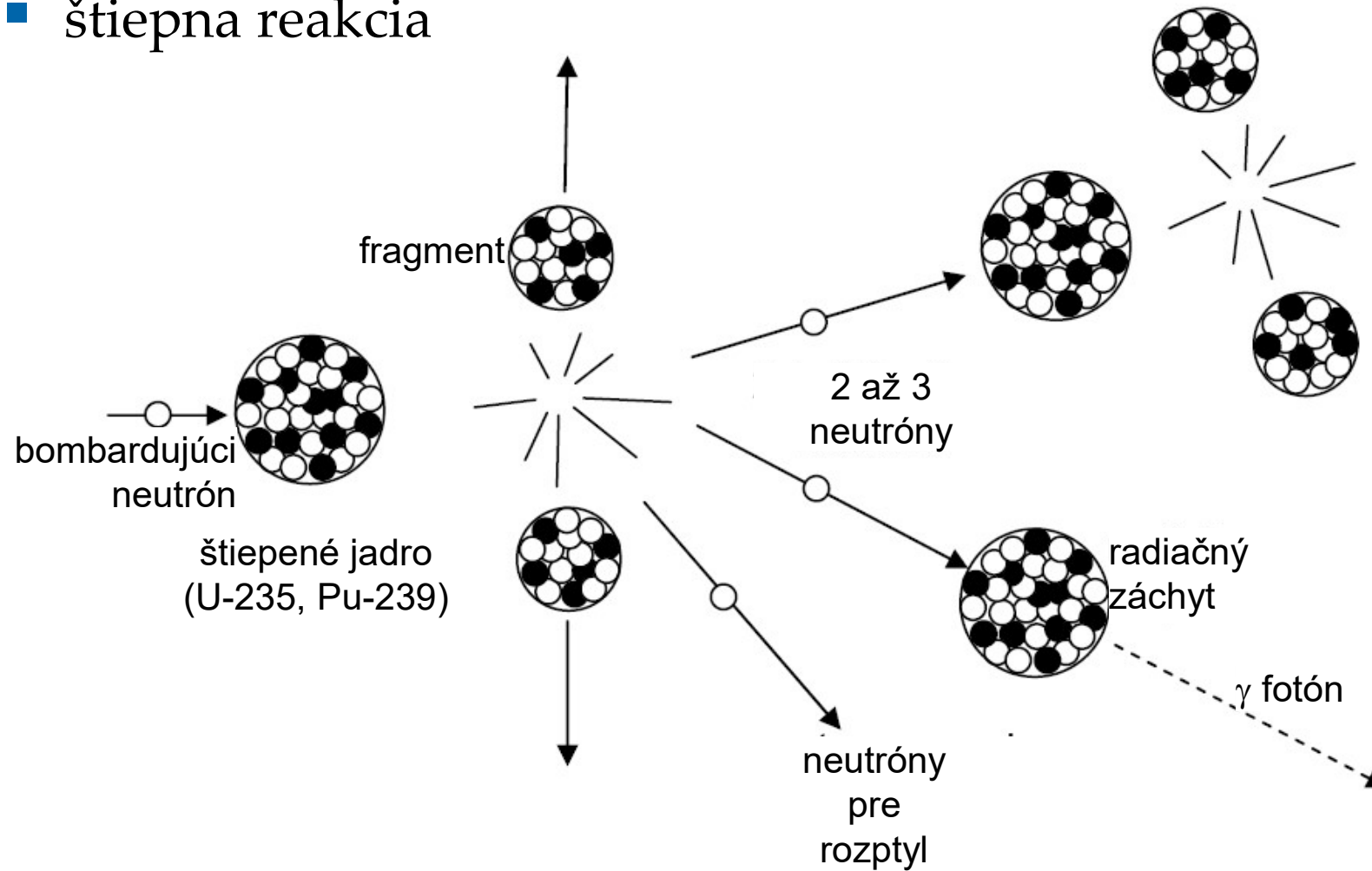


Zdroje neutrónov zo spontánneho delenia

- využíva sa samovoľné delenie ťažkých jadier
- uvoľnenie sekundárnych neutrónov
- prírodný zdroj: U (nízka intenzita)
- umelo pripravený zdroj
 - $^{252}_{98}\text{Cf}$
 - $T = 2.6$ roka
 - výťažnosť – 2.7×10^6 n/s na $1 \mu\text{g}$

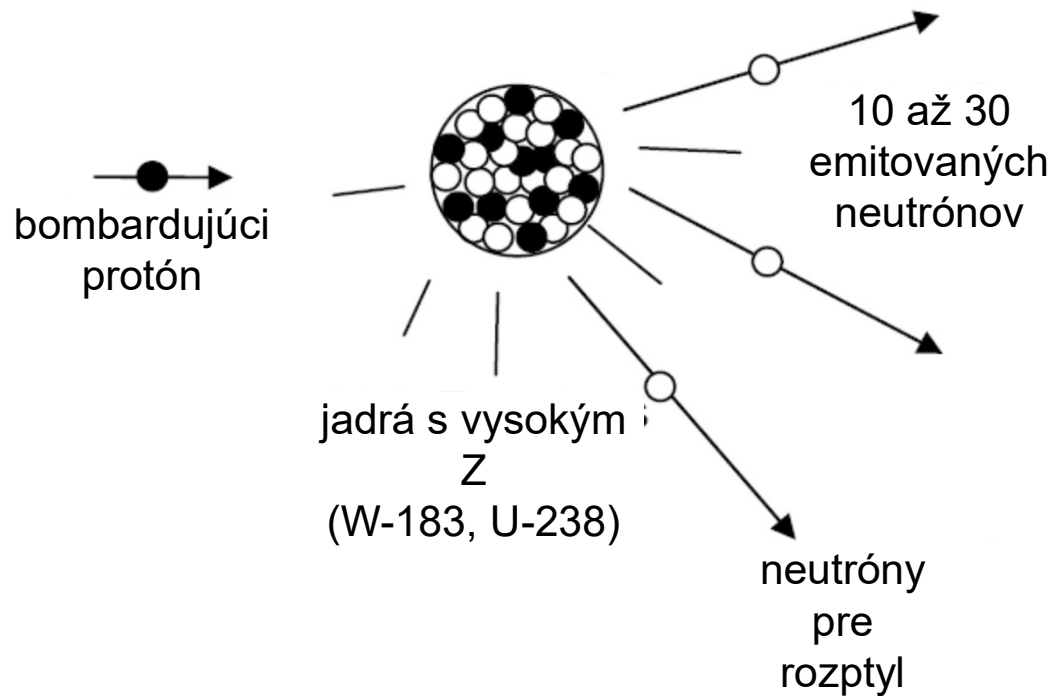
Zdroje neutrónov – jadrové reakcie

- štiepna reakcia



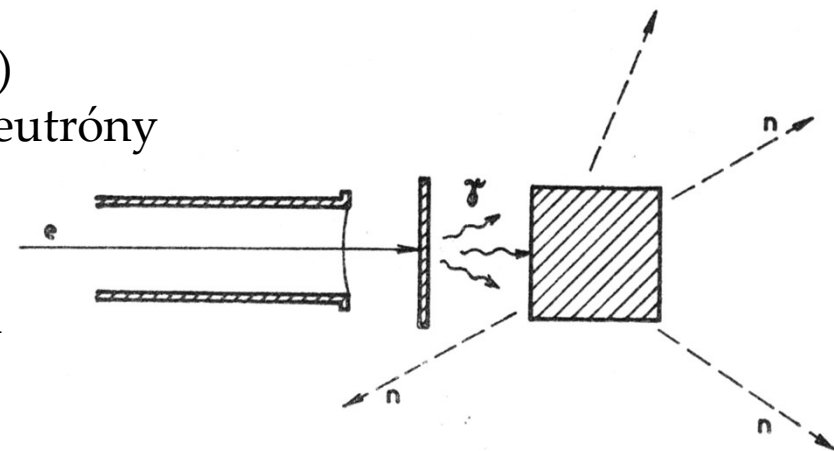
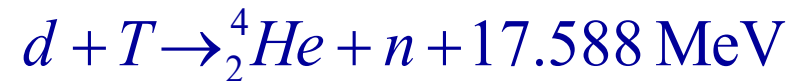
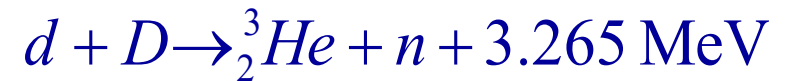
Zdroje neutrónov – jadrové reakcie

- spalačná jadrová reakcia

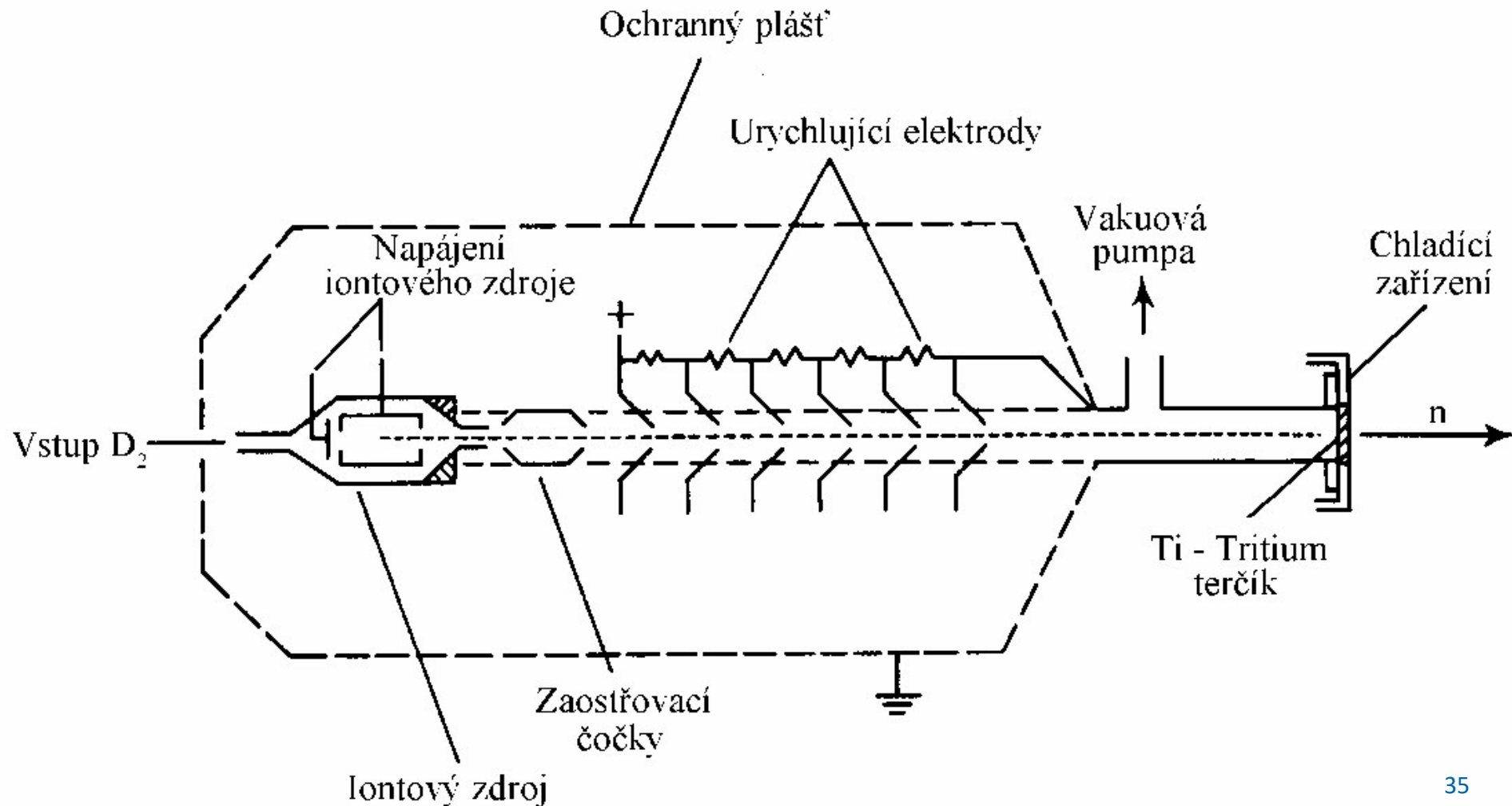
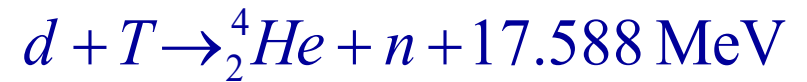
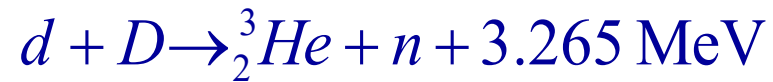


Produkcia neutrónov urýchľovačmi

- reakcie (α, n) , (d, n) , (p, n) , (γ, n)
 - rôzne energie urýchlenej častice \rightarrow rôzna energia neutrónov
 - (α, n) – cyklotrón, Be terčik
 - (d, n)
 - výťažok $10^8 - 10^{12}$ n/s
 - pri $E_d > 4.45$ MeV, resp. 3.7 MeV
 - reakcia (d, np)
 - spojité spektrum neutrónov
 - neutrónový generátor
 - (p, n)
 - podstatne nižší výťažok ako u (d, n)
 - možnosť získať monoenergetické neutróny
 - (γ, n)
 - spojité spektrum neutrónov
 - intenzita n^0 toku závisí na materiáli a na energii žiarenia γ
 - 10 MeV + U terčik $\rightarrow 10^{10}$ n/s



Neutrónový generátor

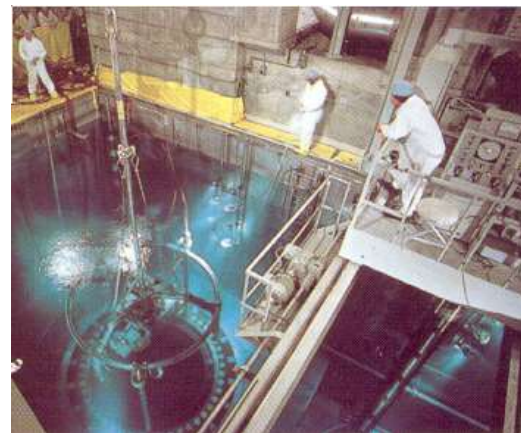
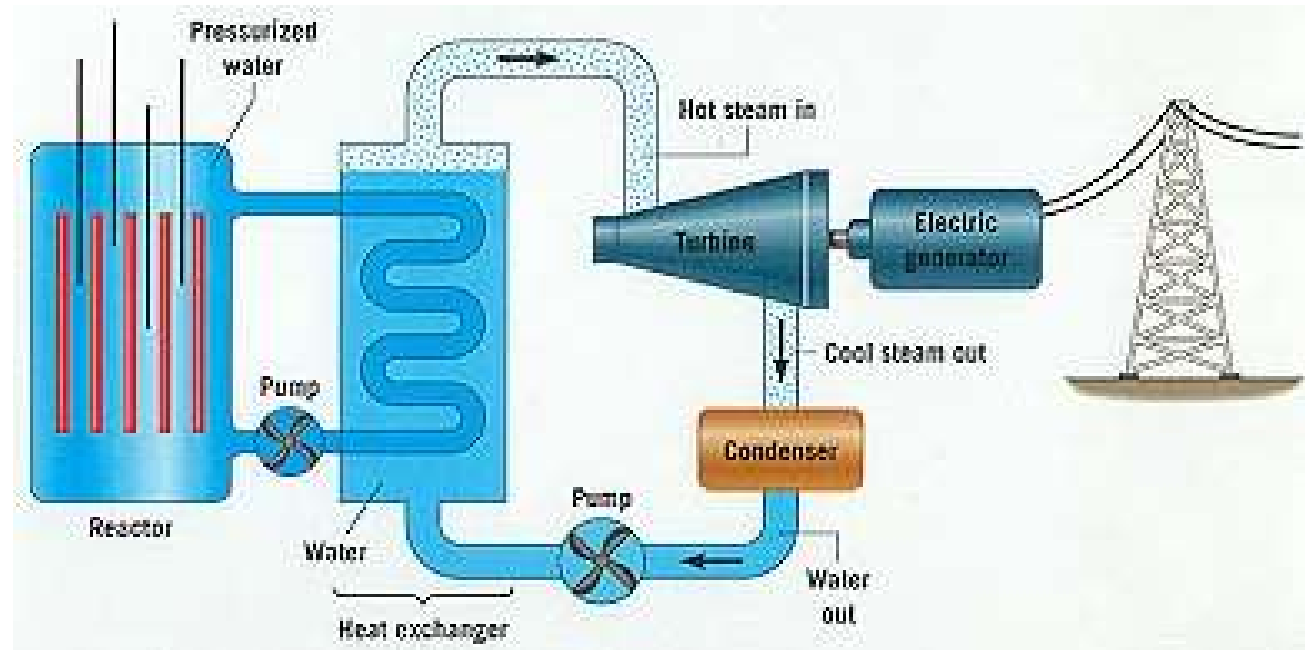
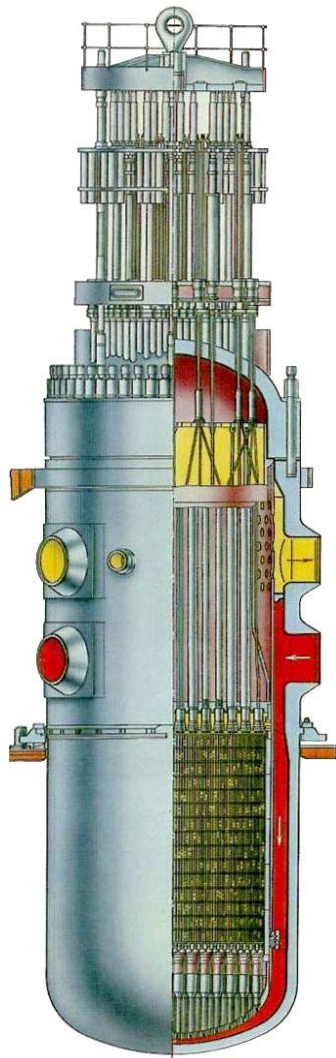


Jadrový reaktor ako zdroj neutrónov

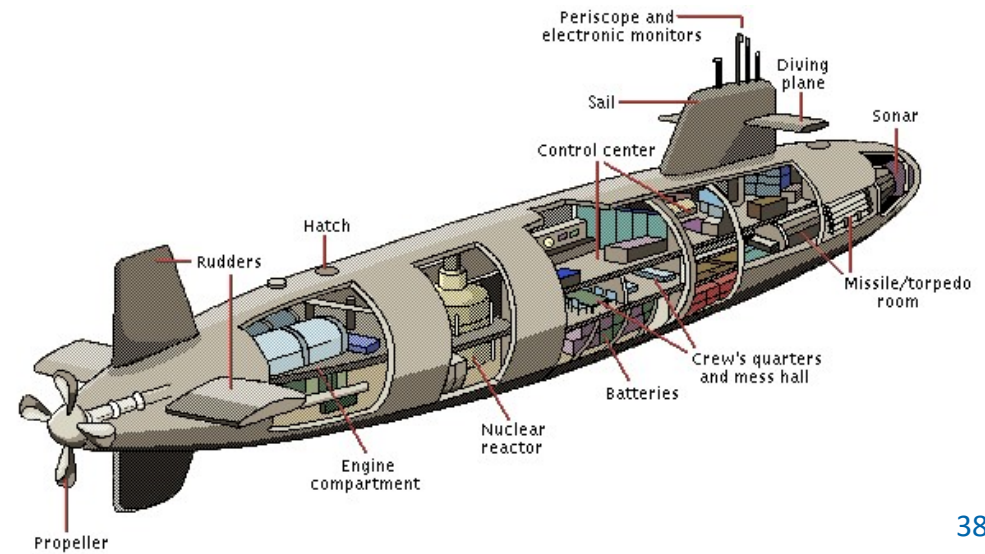
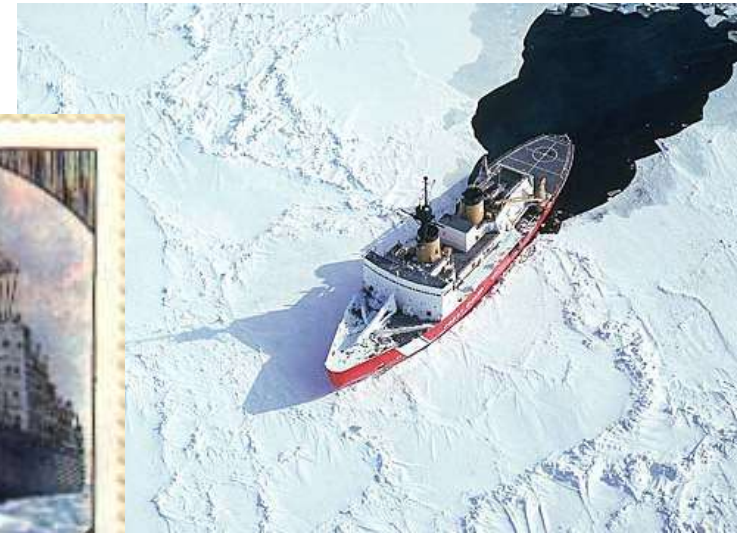
- štiepenie $^{235}\text{U} \rightarrow 2,5 \text{ n}$
 - pri výkone 10 MW $\approx 7,5 \cdot 10^{17} \text{ n/s}$
 - $3 \cdot 10^{17} \text{ n/s}$ treba na udržanie reakcie
- energetické spektrum spojité
 - maximálna energia v oblasti 0,6 až 0,8 MeV
 - stredná hodnota energie: 2 MeV
- výskumné, školské reaktory



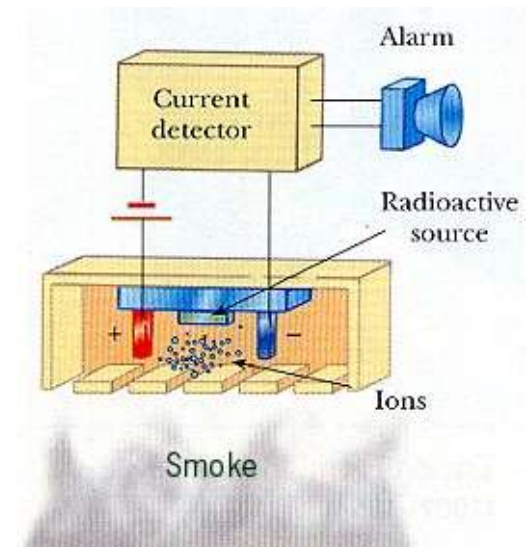
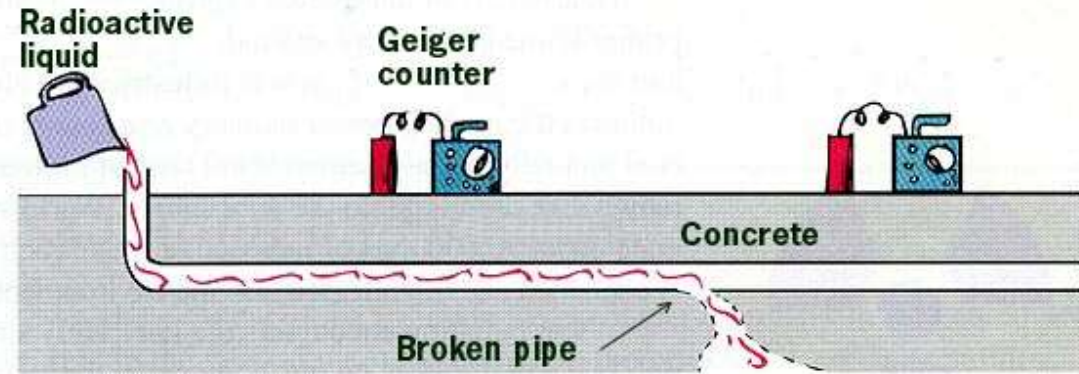
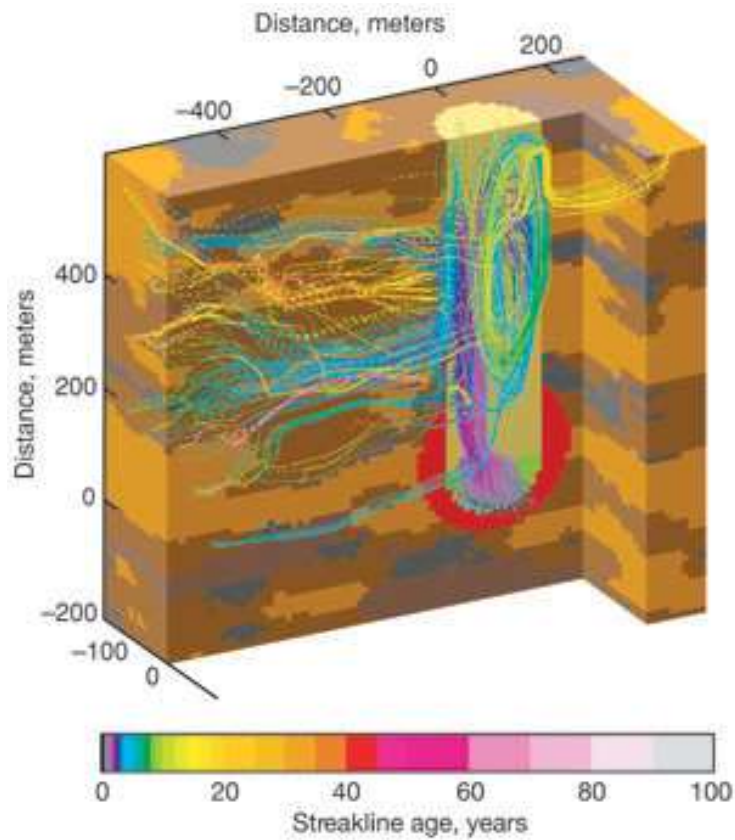
Jadrová energetika



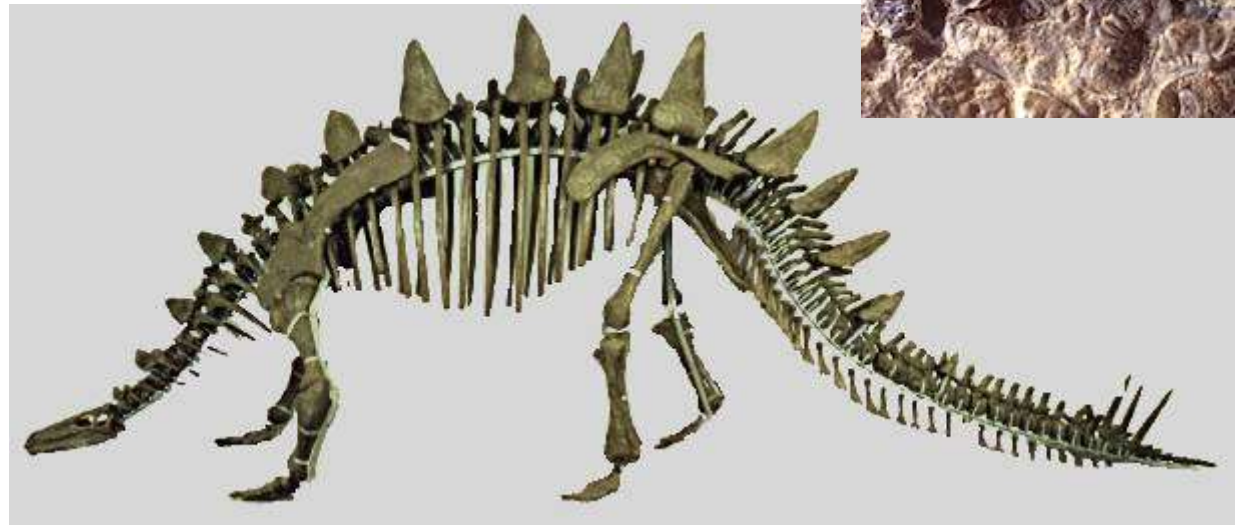
Jadrový reaktor



Priemyselné aplikácie ionizujúceho žiarenia



Archeológia – určenie veku



Nukleárna medicína – diagnostika a terapia

