

FYZIKA MIKROSVĚTA 2

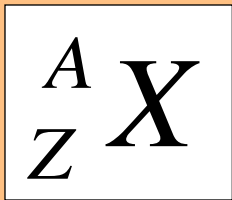
4. JADERNÁ FYZIKA

$Z \geq 1$ protonové (atomové) číslo,
pořadové číslo v periodické tabulce, $Q = Z \cdot e$

$N \geq 0$ neutronové číslo

$A \geq 1$ nukleonové (hmotnostní) číslo

$$A = Z + N$$



X - chemický prvek tvořen atomy
s týmž nábojem jádra ($Z \cdot e$) bez ohledu na hmotnost

1. VLASTNOSTI ATOMOVÝCH JADER

1) **rozměry** – zanedbatelné ve srovnání s atomem (10^{-15} m),

- pro poloměr R atomového jádra s nukleonovým číslem A na základě Rutherfordova pokusu vychází závislost \rightarrow

- objem jádra je přímo úměrný A
(hustota všech jader je srovnatelná)

$$R = R_0 \cdot A^{1/3}$$

$$R_0 = 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

tzv. – **kapkový model jádra** (hustá kapalina) navržený Bohrem

2) jaderné síly

- pouze přitažlivé, krátkodosahové (10^{-15} m),

- působí mezi nukleony

- projevují „nasycení“ působí jen na malý počet okolních nukleonů

3) vazebná energie jádra – E_j

je energie, kterou je třeba jádru dodat, aby se rozdělilo na jednotlivé nukleony = energii, která by se uvolnila při vzniku jádra z jednotlivých nukleonů

$$E_v = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n - m_j) c^2$$

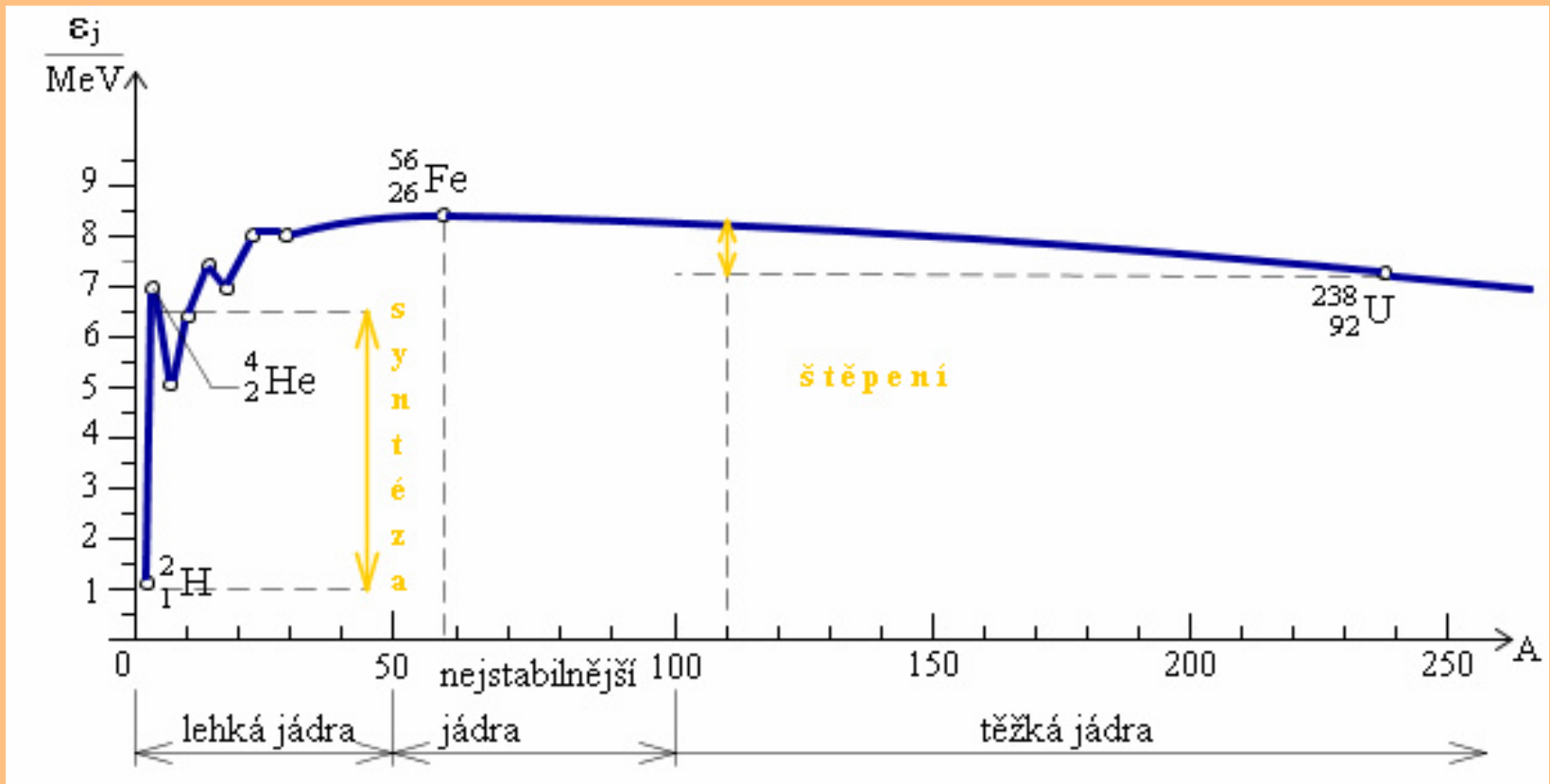
$$\varepsilon_j = \frac{E_v}{A}$$

m_j – skutečná, exp. zjištěná hmotnost

• ε_j - vazebná energie na jeden nukleon

závislost ε_j na nukleonovém čísle

- maximální pro $A = 56$ – jádro železa
- pro $A < 56$ lze **spojením** lehčích jader vytvořit jádra těžší (stabilnější) a uvolnit energii
- pro $A > 56$ lze **štěpením** jader těžších prvků vytvořit lehčí stabilnější jádra a opět se uvolňuje energie



- známe kolem 2000 nuklidů,
v přírodě 264 stabilních, 50 nestabilních
- **stabilní jádra** 4_2H ${}^{16}_8O$ ${}^{40}_{20}Ca$
mají určitý poměr Z a N,
tzv. magická čísla 2,8,20,28,50,82,126
- slupkový model jádra – nukleony mohou být jen v určitých kvantových stavech (stejně jako elektrony) a při přechodu mezi nimi vyzařují fotony záření γ

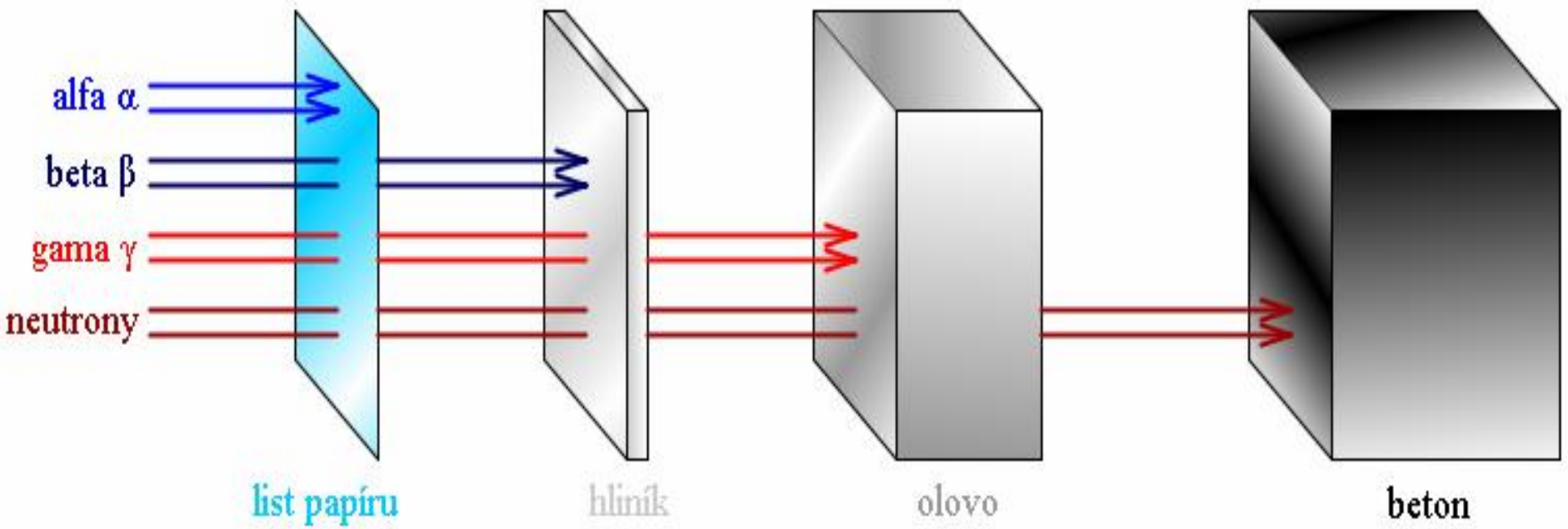
2. RADIOAKTIVITA

schopnost atomových jader vysílat záření, přeměňovat se na jádra jiného prvku či ztrácet svou energii.

V přírodě existují

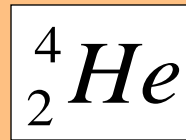
- **stabilní nuklidy**
- **radionuklidy** – nestabilní nuklidy, které vyzařují záření α , β , γ .
 - **přírodní radionuklidy** (v přírodě asi 50)
 - A. H. Becquerel 1896
 - Marie a Pierre Curieovi 1898
 - **umělé radionuklidy** - připravené člověkem pomocí jaderných reakcí – asi 1500

Rozlišujeme přírodní a umělou radioaktivitu.

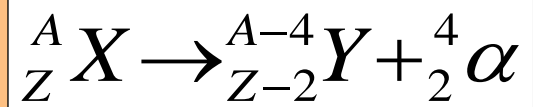


Druhy radioaktivního záření

1. Záření α



- tok jader hélia (částic α)
- pohybují se rychlostí $0,1c$ - mají velkou kinetickou energii, ionizační účinky
- vychylují se v el. a mag. poli
- jsou pohlcovány listem papíru nebo pár centimetry vzduchu
- zářič α je nebezpečný při vdechnutí nebo požití
- při vyzáření α částice z jádra dojde k přeměně:

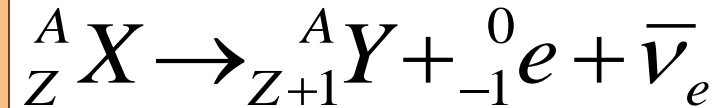
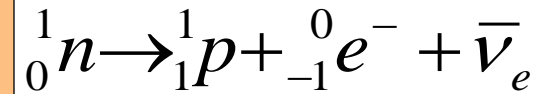


Druhy radioaktivního záření

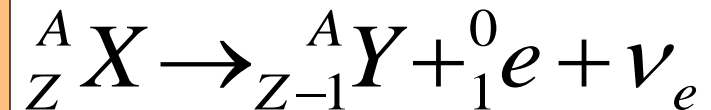
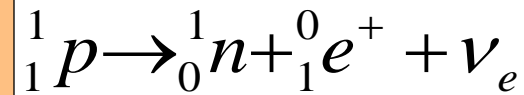
2. Záření β

tok elektronů β^- nebo pozitronů β^+ z jádra

β^- vzniká přeměnou neutronu
na proton uvnitř jádra
elektronové antineutrino



β^+ vzniká přeměnou protonu
na neutron uvnitř jádra
elektronové neutrino



- rychlost se blíží c
- vychylují se v el. a mag. poli
- jsou pohlcovány tenkým plechem (Al)

Druhy radioaktivního záření

3. Záření γ

- je nejpronikavější, má ionizační účinky
- elektromagnetické záření s velmi krátkou vlnovou délkou $< 10^{-10} \text{ m}$
- lze jej oslabit silnou vrstvou materiálu obsahujícího jádra těžkých prvků
- uvolňuje z látek nabitě částice (důsledek fotoefektu)
- neexistuje samostatně, je doprovázeno zářením α a β
- nemá elektrický náboj, a proto nereaguje na elektrické pole

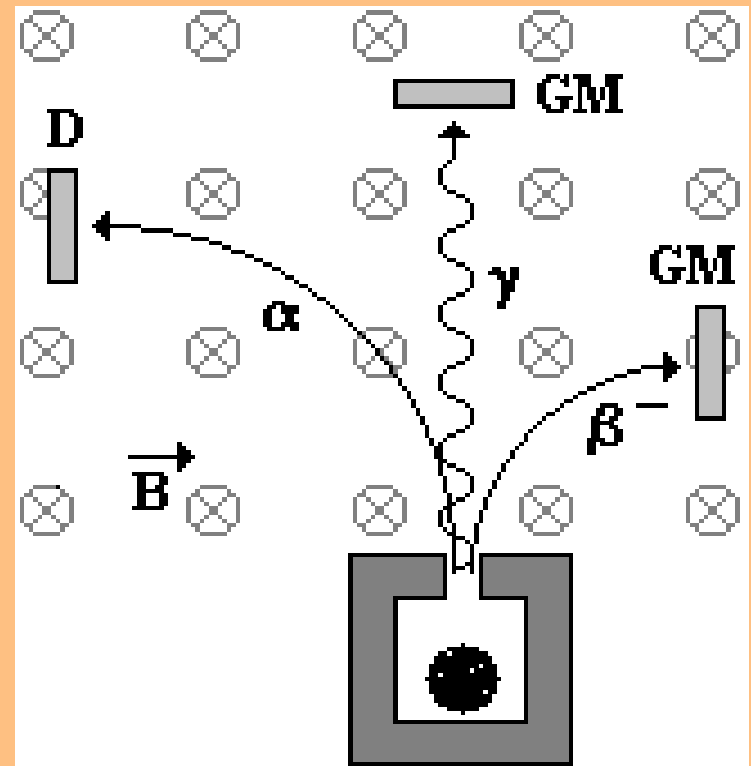
4. Neutronové záření

- je proud letících neutronů (nenese náboj, je velmi pronikavé)
- vzniká v jaderných reaktorech nebo při jaderné explozi
- reaguje pouze s atomovými jádry
- k ochraně používáme materiály obsahující jádra H a atomů lehkých prvků – vodu, těžkou vodu, parafín, beton

Vychylování v magnetickém poli

D – fotografická deska

GM – Geigerův-Mullerův počítač



Zákony radioaktivních přeměn

Radioaktivní nuklid se mění na stabilní nuklid a vysílá při tom záření α nebo β .

Aktivita A – počet radioaktivních přeměn za 1 s

$$[A] = \text{Bq} \text{ becquerel} \quad 1 \text{ Bc} = 1 \text{ přeměna} / 1 \text{ s}$$

Experimentálně bylo zjištěno, že aktivita vzorku klesne po určité době T na polovinu.

- $A(0)$ aktivita v $t = 0$

- $A(t)$ aktivita v t

$$t = T \quad A(T) = A(0) \cdot \frac{1}{2}$$

$$t = 2T \quad A(2T) = A(0) \cdot \frac{1}{4}$$

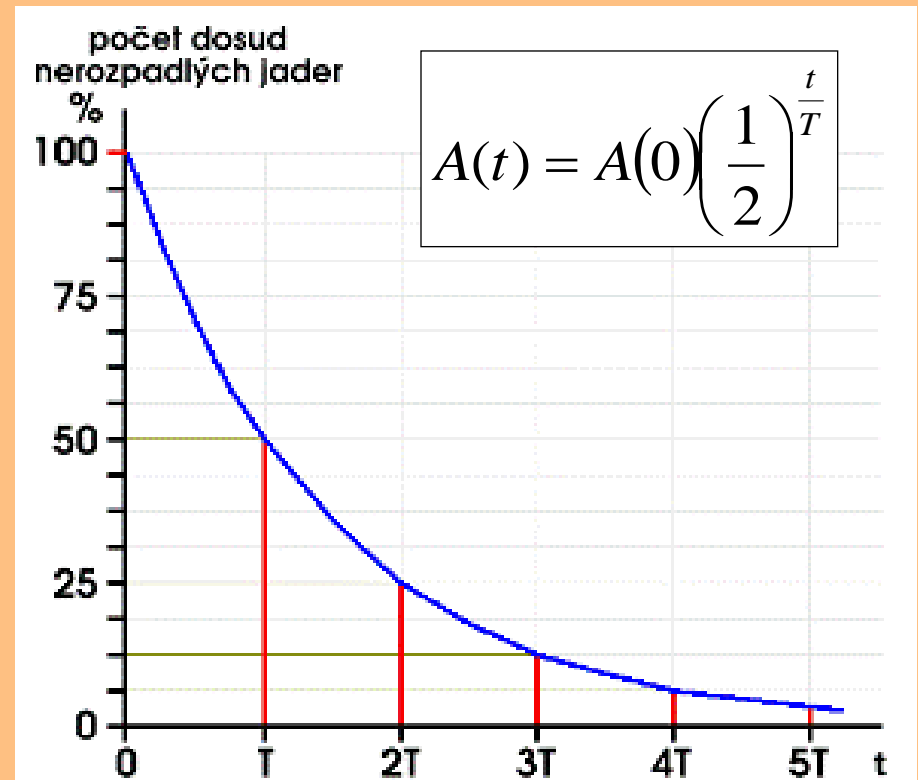
Počet jader klesá jako aktivita.

Zákon radioaktivní přeměny

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

$$A(t) = A(0) e^{-\lambda t}$$



1becquerel – Bq – jedna přeměna za sekundu

Aktivita [A] = Bq – počet rozpadů za 1s ($1\text{Bq}=1\text{s}^{-1}$)

1gray – Gy

Dávka [D] = Gy – množství energie absorbované do 1kg látky ($1\text{Gy} = 1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)

1sievert – Sv – efektivní dávkový ekvivalent 25x větší než dávka; zohledňuje účinky záření na organismus při různých druzích záření

Zákony radioaktivních přeměn

N – klesá exponenciálně s časem

λ – přeměnová konstanta

$$\frac{1}{2} = e^{-\ln 2}$$

$e = 2,718$ základ přirozených logaritmů

T – poločas rozpadu

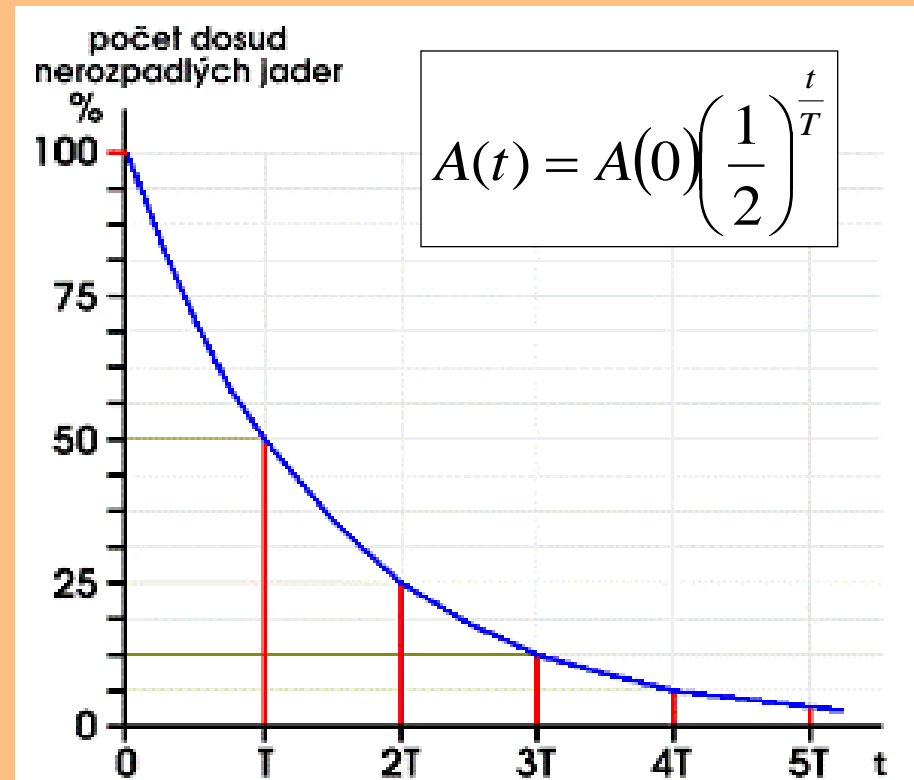
(přeměny) je doba,
za kterou se rozpadne polovina
původního počtu jader N_0 .
($T = \text{ms až } 10^8 \text{ let}$)

Zákon radioaktivní přeměny

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

$$A(t) = A(0) e^{-\lambda t}$$



Radioaktivní přeměny mohou probíhat řetězovitě – až vznikne nuklid stabilní.

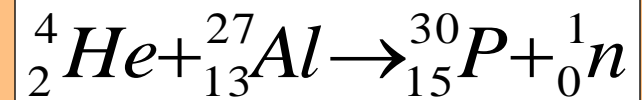
Rozpadové řady – posloupnosti radioaktivních přeměn

- **Uranová**, začínající ^{238}U a končící ^{206}Pb
- **Aktinuranová**, začínající ^{235}U a končící ^{207}Pb
- **Thoriová**, začínající thoriem ^{232}Th a končící ^{208}Pb
- **Neptuniová**, (umělá) začínající plutoniem ^{241}Pu a končící bismutem ^{209}Bi

UMĚLÁ RADIOAKTIVITA (1934)

při přeměně vznikají v přírodě neexistující nuklidy

- manželé Curieovi s dcerou: NC 1935
ostřelováním hliníku částicemi α vznikne
v přírodě neexistující nuklid fosforu a neutron



P – umělý radionuklid,

poločas rozpadu 130 s \rightarrow vznikne stabilní izotop křemíku

Využití radionuklidů:

Zdravotnictví

- radiační diagnostika (zobrazení funkce orgánů),
- vyšetření CT - počítačová tomografie (radiodiagnostický přístroj, který za pomoci rentgenového záření a výpočetní techniky zobrazuje struktury ve vyšetřované oblasti pacienta),
- léčení nádorů (zářiče gama),
- sterilizace (zdravotní materiál)

Zemědělství

- záření ničí škůdce (25 – 30% znehodnotí hniloba a plísně),
- mutace rostlin (ozářují se semena – může vzniknout nová odrůda),
- likvidace škodlivého hmyzu (ozáří se samečci – ti jsou pak sterilní a pustí se do přírody – nic neoplodní),
- hnojiva se označí (pak lze zjistit, kde se hnojivo ztrácí a jaká je jeho účinnost),
- lesnictví (sazenice se obalují do ozářeného polypropylenu (snadněji se rozloží v přírodě))

Využití radionuklidů:

Průmysl

- válcovny, průtoky, směsi, filtrace, úniky, koroze,
- kontrola opotřebení (porušení stěny),
- tloušťkoměry a hladinoměry,
- radiografie (podobně jako rentgen odhalí dutiny a slabá místa),
- radiační polymerace (mění vlastnosti materiálů – pevný pružný, odolný, tvrdost, leštitelnost, nasákavost, nemačkvost, barva),
- vodohospodářství (prosakování),

Geologie

z vrtu se určí obsahy prvků,

Archeologie

stáří hornin (dřeva, kostí, textilií, barev na obrazech, mincí),

Elektrárny

samostatně, lodě, ponorky, rakety,

Jaderné zbraně

3. JADERNÁ REAKCE

je přeměna jádra vyvolaná vzájemným působením s jinými jádry nebo částicemi.

Endoenergetické reakce

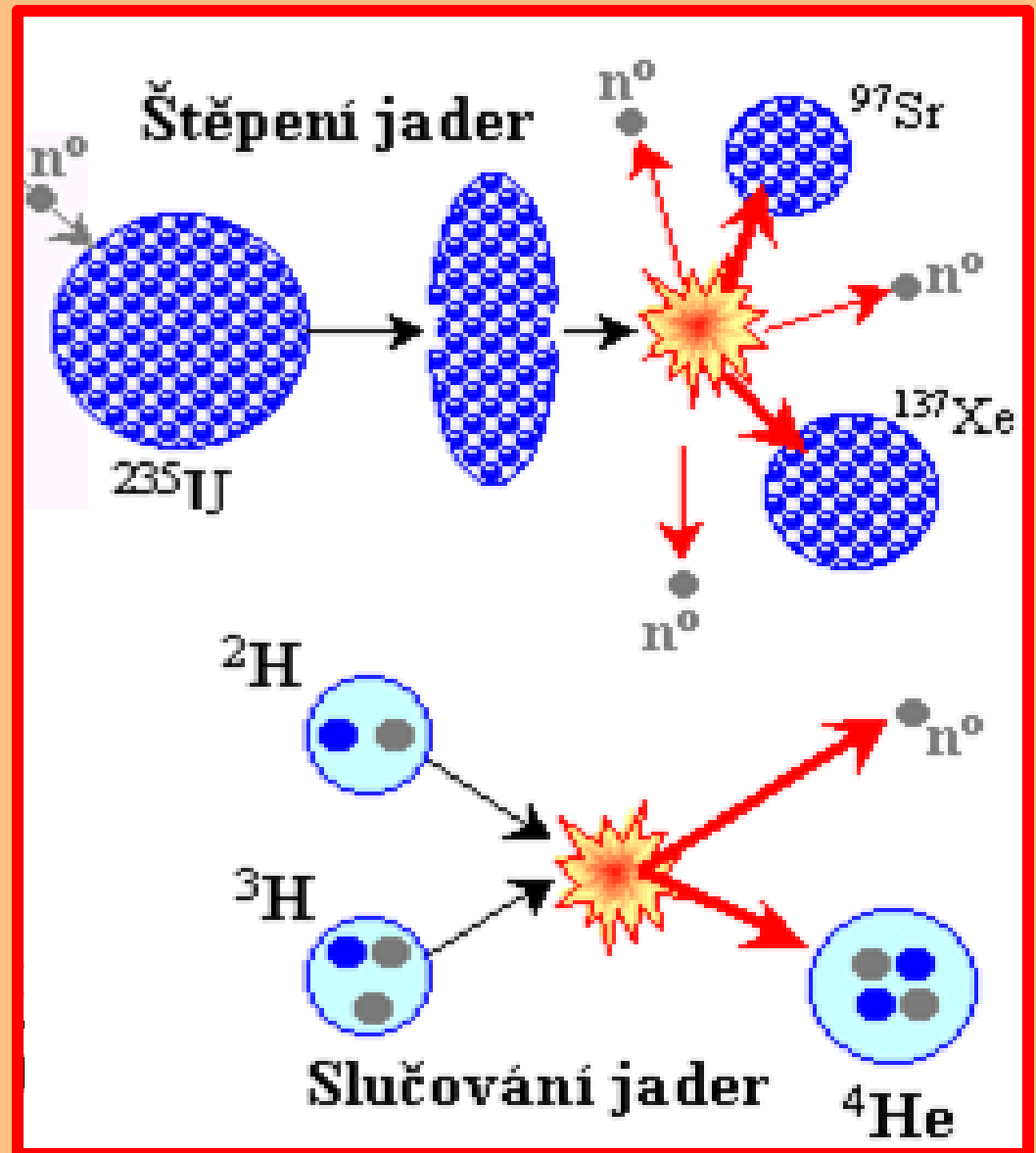
jsou JR, při kterých je třeba dodat energii

Exoenergetické reakce

jsou JR, při kterých se energie uvolňuje (v energetice)

Rozdělení

- 1) Jaderné štěpení
- 2) Jaderná syntéza



1) Jaderné štěpení – dochází k rozštěpení atomového jádra na nová lehčí jádra, tzv. fragmenty.

- **zpomalený** neutron může rozštěpit jádro na dvě stejně těžká jádra
- látka, která zpomaluje neutrony, musí obsahovat lehká atomová jádra (voda, těžká voda, parafín, grafit) = moderátor
- uvolňované neutrony mohou po zpomalení štěpit další jádra: vzniká **řetězová JR**, podmínkou je dostatek štěpného materiálu tzv. kritické množství (uran – 50 kg, plutonium 10 kg)
- existují jen 4 nuklidy, u nichž je možné spustit řetězovou JR: uran 233, **uran 235** – vyskytuje se v přírodě, plutonium 239, plutonium 241
- **neřízená řetězová reakce** – nastává při nadkritickém množství
(na principu spojení dvou podkritických hmotností v nadkritickou je založena konstrukce jaderné bomby)

2) Jaderná syntéza (fúze) – dochází ke slučování lehčích jader na jádra těžší

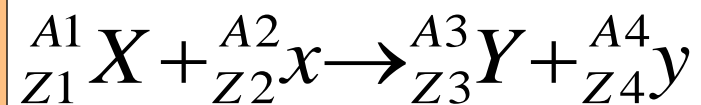
- je třeba překonat elektrostatické síly mezi jádry a sblížit jádra na jadernou vzdálenost
- to se může stát, pokud jádra urychlíme a dodáme jim tzv. aktivační energii, např. zahřejeme je na 10^8 K
tzv. **termojaderná (termonukleární fúze)**

Při jaderných reakcích platí zákon zachování

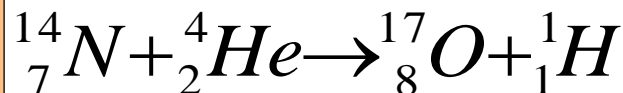
- energie, hmotnosti, náboje, počtu nukleonů

Schématický zápis JR

- X – jádro vstupující do reakce
- x – částice nebo 2. jádro vstupující do reakce
- Y,y – produkty reakce

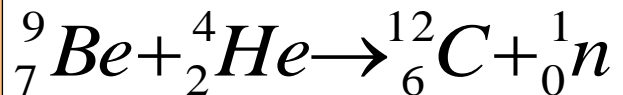


První JR – Rutherford 1919



Objev neutronu (1930)

- neutronový zdroj



4. JADERNÁ ENERGETIKA

1. jaderný reaktor – 1942

Chicago – Enrico Fermi \approx přirovnání: ovládnutí ohně v historii

1. jaderná elektrárna – 1954

Obminsk u Moskvy – výkon 5 MW

ČSSR

Jaslovské Bohunice – 100 MW

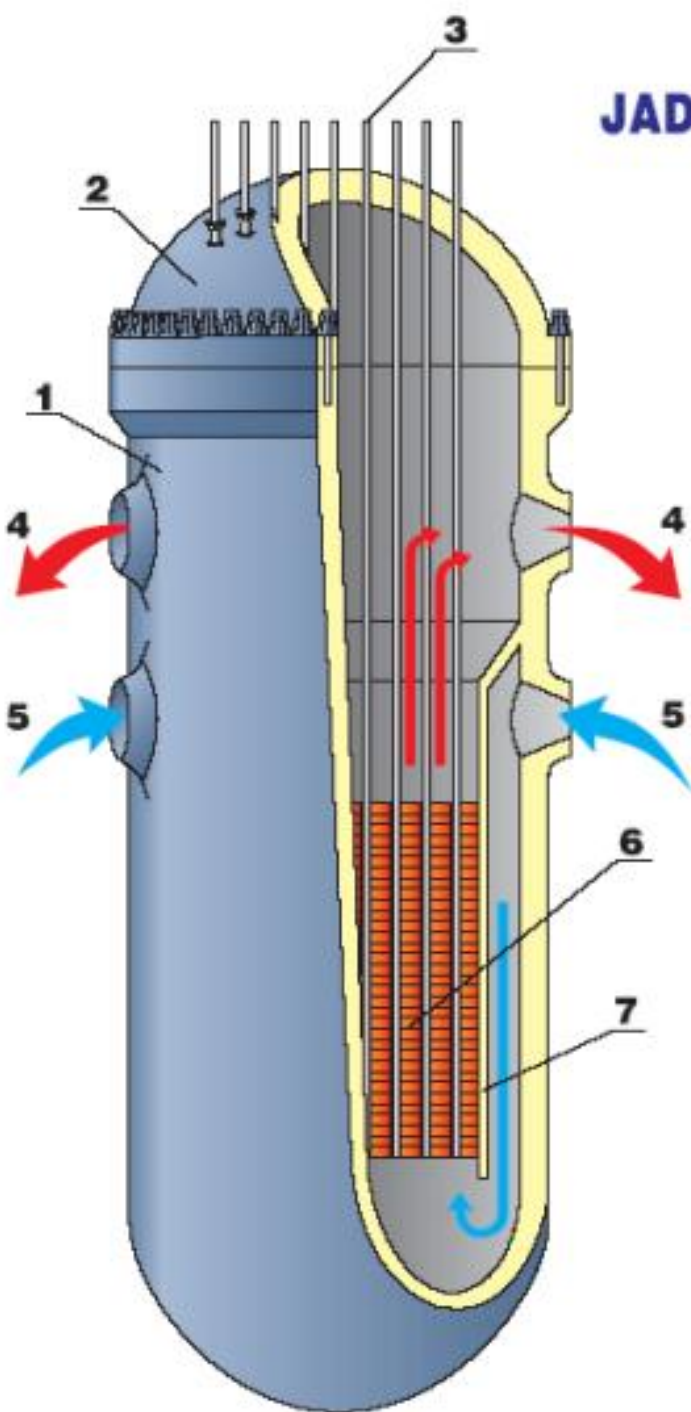
Dukovany

- 1. provozovanou jadernou elektrárnou na území Česka.
- V roce 2006 vyrobila 14 TWh elektrické energie, 20 % z celkové spotřeby elektřiny v ČR,
- Pro potřeby elektrárny byla vybudována Vodní nádrž Dalešice.

Temelín,

- elektrárna s největším instalovaným výkonem v Česku.
- má instalované dva bloky z původně plánovaných čtyř, každý s elektrickým výkonem 1000 MW.
- V roce 2006 vyrobila 12 TWh elektrické energie, 14 % výroby elektřiny v ČR

JADERNÝ REAKTOR



1. TĚLESO TLAKOVÉ NÁDOBY

2. VÍKO TLAKOVÉ NÁDOBY

3. ŘÍDÍCÍ TYČE

4. VÝSTUP CHLADÍČÍ VODY

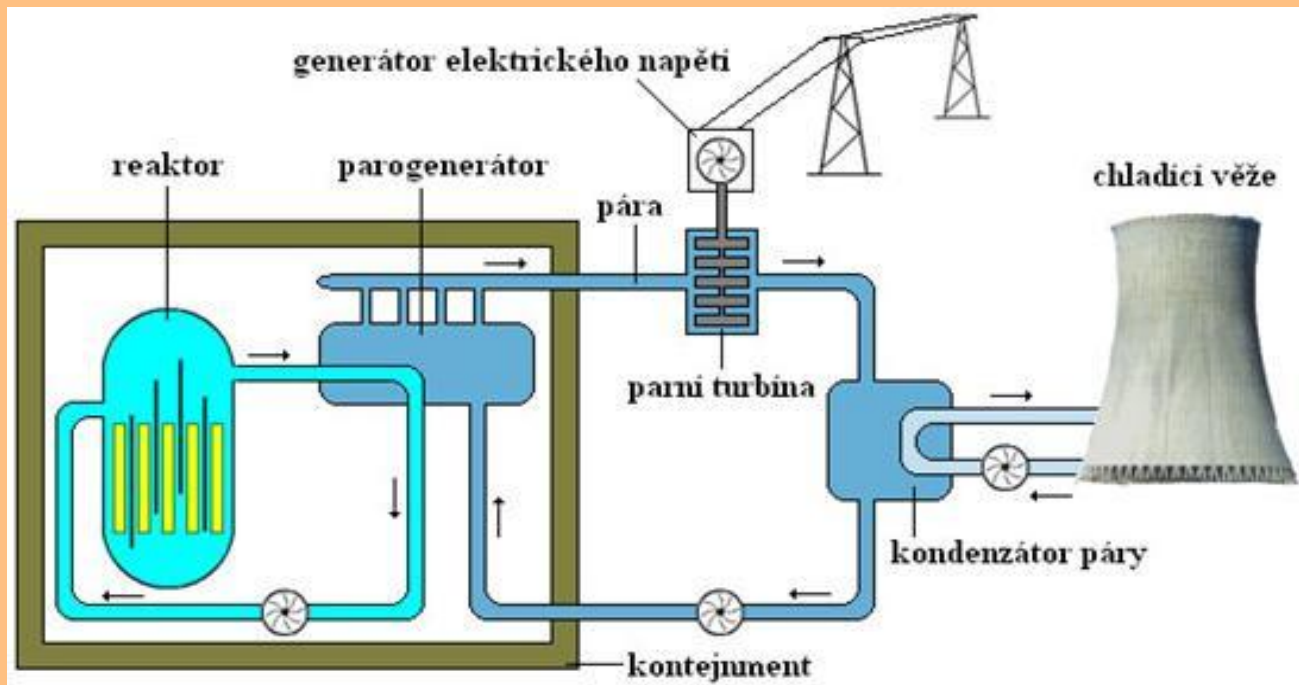
5. PŘÍVOD CHLADÍČÍ VODY

6. PALIVOVÉ ČLÁNKY (KAZETY)

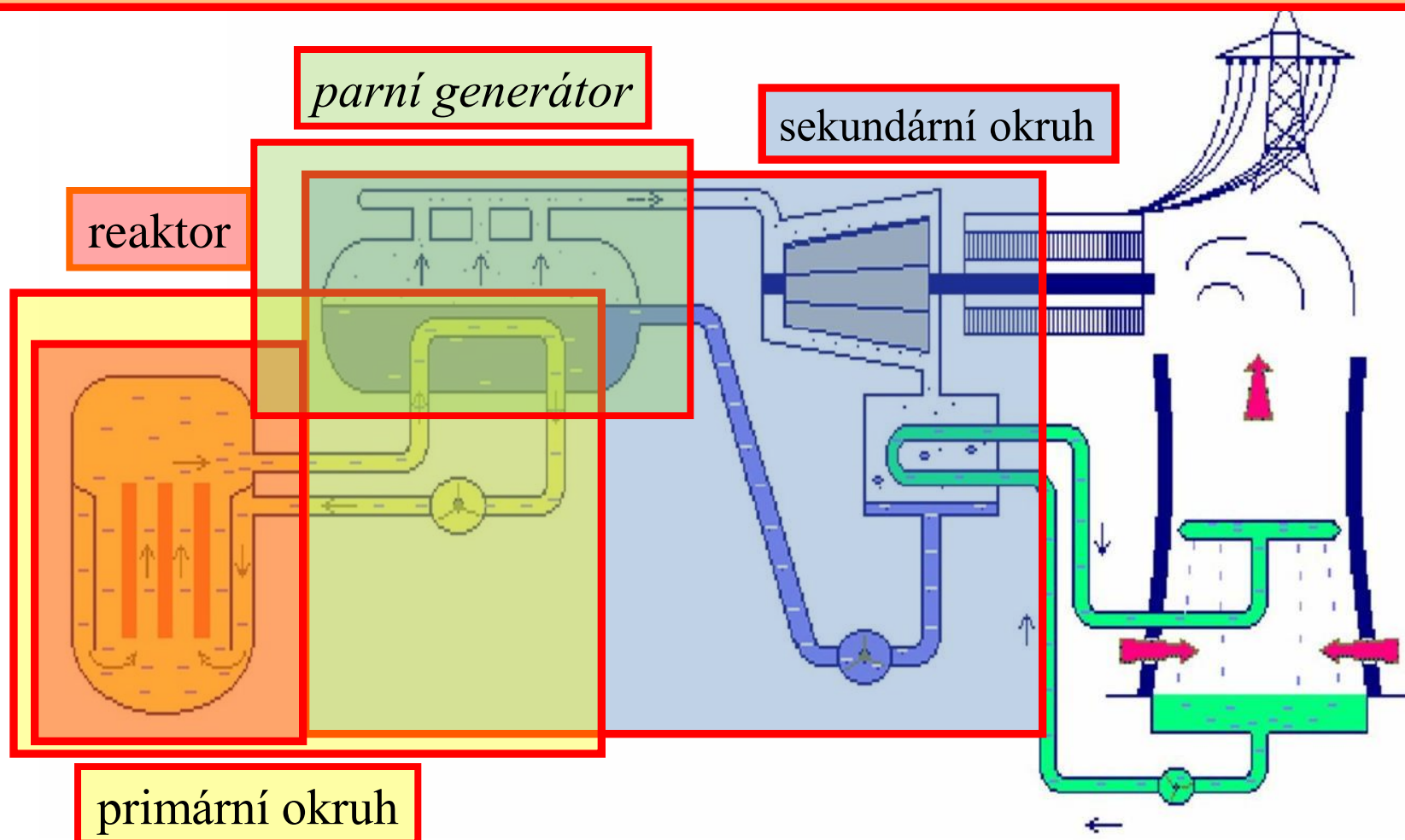
7. NOSNÝ VÁLEC AKTIVNÍ ZÓNY (ŠACHTA)

Jaderná elektrárna

- V jaderném reaktoru je palivo (obohacený uran) umístěno v aktivní zóně.
- Neutrony zprostředkující reakci jsou zpomalovány v moderátorech (voda, grafit,..)
- Uvolněná energie je odváděna chladivem (voda, těžká voda, helium) a použita k výrobě páry pro turbínu a elektrické energie.
- Řízení probíhá díky regulačním tyčím vyrobených z materiálů pohlcujících neutrony. (kadmium, borová ocel)



- V **reaktoru** se štěpením jader uranu uvolňuje energie.
- **Primární okruh** - odvádí teplo vyrobené v reaktoru a odevzdává ho sekundárnímu okruhu.
- **Parní generátor** – vyrábí se v něm pára pro turbínu.
- **Sekundární okruh** – slouží k přenosu energie páry a k její přeměně na otáčivý pohyb turbíny.



3. ČÁSTICOVÁ FYZIKA

Lidské smysly nevnímají jaderné záření ani letící částice.

detektory částic - přístroje schopné zachytit, odhalit a zaznamenat jaderné záření

Rozdělení:

A) detektory plynové

naplněné plynem a v něm dochází k ionizaci nebo excitaci

1. zobrazující trajektorii částice

dráhová komora - např. mlžná komora, bublinová

2. počítající částice

plynový ionizační detektor, Geigerův - Müllerův počítač.

3. kalorimetry

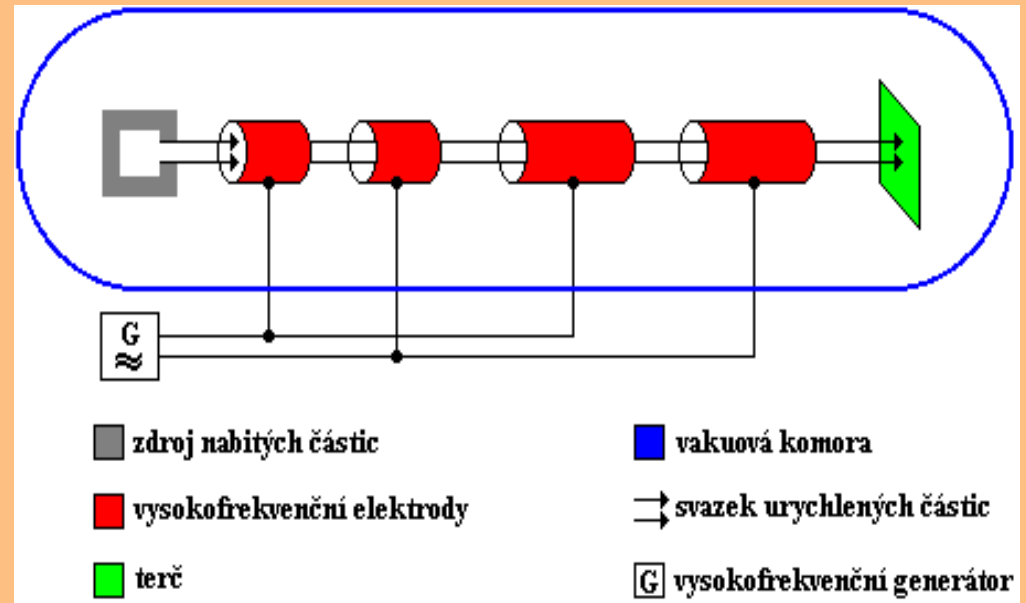
detektory měřící energii částic.

B) detektory scintilační - dopadající částice vyvolá záblesk

scintilátoru a ten je pak zesílen pomocí fotonásobiče

(Rutherford pomocí nich provedl experiment vedoucí k objevení atomového jádra).

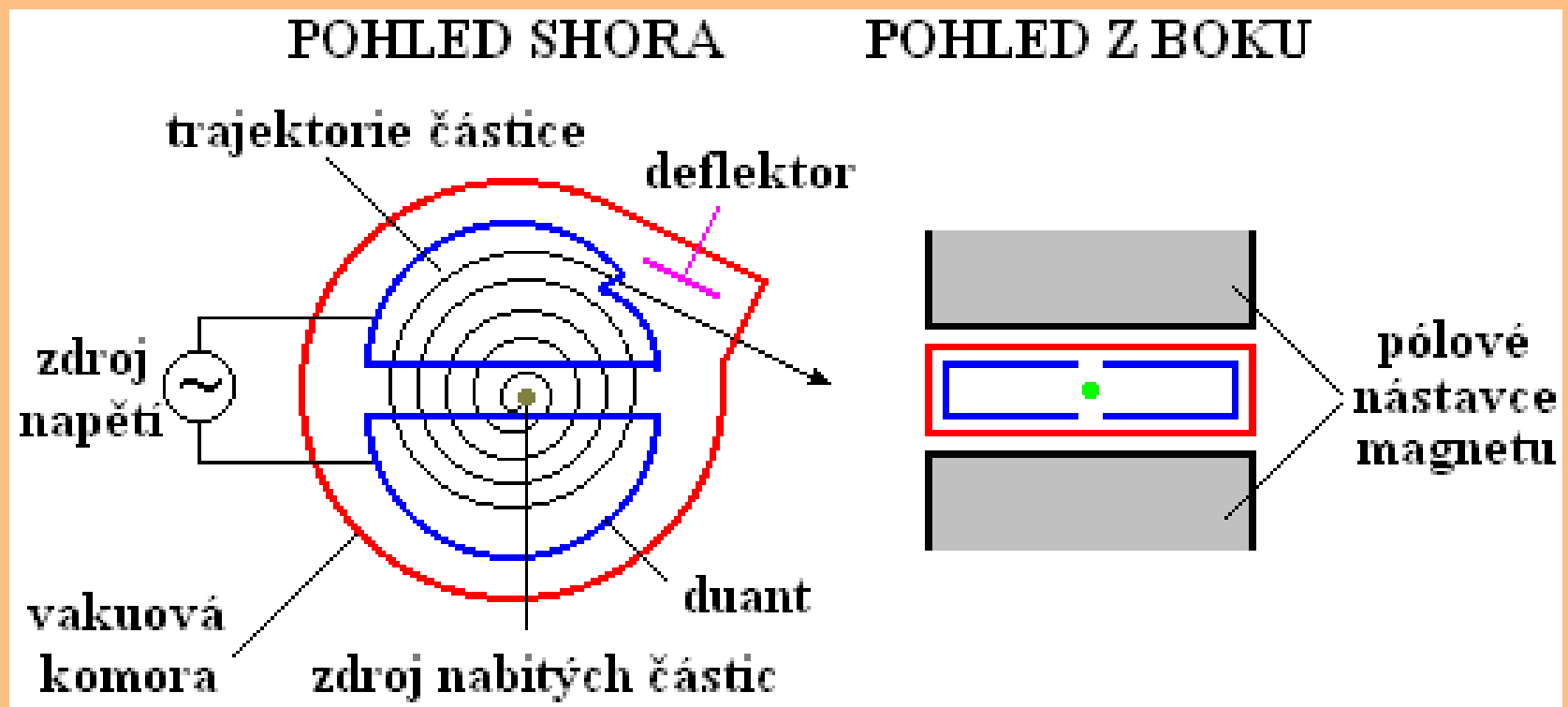
Pro zkoumání složení
a zákonitosti přeměn částic
musíme částice urychlit
v urychlovačích



- **lineární** – 3 km
- Částice je urychlována elektrostatickým polem mezi elektrodami.
- Ty jsou přepólovány v okamžiku, kdy je částice uvnitř elektrody a tudíž na ní elektrostatické pole nepůsobí.
- Délka jednotlivých elektrod je volena tak, aby se při průletu částice vnitřkem elektrod stihla změnit jejich polarita.

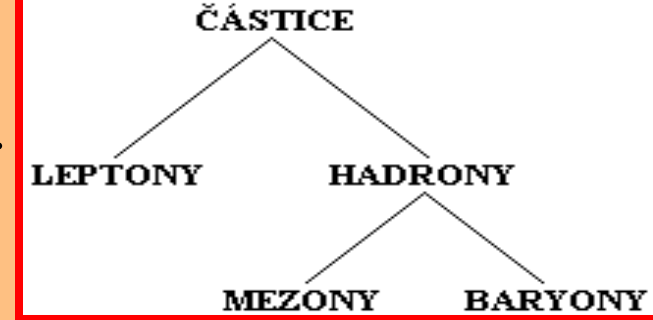
- kruhové
- nabité částice se pohybují v magnetickém poli po zakřivené trajektorii
- magnetické pole neurychluje, ale zakřivuje

cyklotron



SYSTÉM ČÁSTIC

Existuje symetrie mezi částicemi a antičásticemi.



Rozdělení podle působících sil

leptony – (leptos = tenký, drobný), působí mezi nimi slabé síly, jsou elementární

hadrony – (hadros = bujarý, silný), působí silné jaderné síly, jsou složeny z kvarků

Rozdělení podle spinu (orientace ve vnějším magnetickém poli)

bosony – celočíselný spin, nepodřizují se Pauliho principu

fermiony – spin $\frac{1}{2}$, řídí se Pauliho vylučovacím principem

Rozdělení hadronů

mezony – (mezos = střední), mají charakter bosonů

baryony – (barys = těžký), mají charakter fermionů

Většina částic je nestabilních s různou dobou života.

Skupina částic		Název částice	Symbol	Náboj	
leptony <ul style="list-style-type: none"> (leptos = tenký, drobný) působí mezi nimi slabé síly jsou elementární bez vnitřní struktury 		neutrino elektronové - stabilní	ν_e	0	
		neutrino mionové - stabilní	ν_μ	0	
		neutrino taunové - stabilní	ν_τ	0	
		elektron - stabilní	e^-	-1	
		mion (těžký elektron) nestabilní	μ^-	-1	
		tauon (supertěžký elektron) nestabilní	τ^-	-1	
hadrony <ul style="list-style-type: none"> (hadros = bujarý, silný), působí silné jaderné síly, jsou složeny z kvarků 	mezony nestabilní <ul style="list-style-type: none"> (mezos = střední), mají charakter bosonů tvořeny jedním kvarkem a jedním antikvarkem celočíslný spin, nepodřizují se Pauliho principu 	piony	π^+	1	
			π^0	0	
		kaony	K^+	1	
			K^0	0	
	baryony <ul style="list-style-type: none"> (barys = těžký), mají charakter fermionů tvořeny třemi kvarky spin $\frac{1}{2}$, řídí se Pauliho principem 	éta	η	0	
			proton	p	1
			neutron	n	0
			hyperony	...	

Další vlastnosti částic

Vůně kvarků

1. **d** - down (dolu)
2. **u** - up (nahoru)
3. **s** - strange (podivný)
4. **c** - charm (půvabný)
5. **b** - beauty (krásný)
6. **t** - truth (pravdivý)

Barvy kvarků

červená

žlutá

modrá

Barvy antikvarků – doplňkové

azurová (modrozelená);

modrá;

žlutá

INTERAKCE MEZI ČÁSTICEMI

vzájemné působení (částic, těles....)

S – silná

- je zodpovědná za hmotnost (objekty jsou těžké)
- je zodpovědná za jaderné síly, které drží pohromadě jádro atomu.
- silná interakce je "silnější" než odpuzivá elektrická síla působící mezi kladně nabitými protony.
- Síla působí na vzdálenost odpovídající rozměrům atomového jádra, tedy v řádu 10^{-15} m.
Tato vzdálenost se v jaderné fyzice označuje jako 1 Fm (čti jeden Fermi).

E – elektromagnetická

- vysvětluje objem – vazby mezi elektronem a jádrem, strukturu pevné látky
- působí mezi všemi nabitými částicemi

INTERAKCE MEZI ČÁSTICEMI

vzájemné působení (částic, těles....)

W – slabá

- způsobuje β rozpad – podléhají jí nenabitě částice – neutrína
- Slabá interakce, stejně jako silná, působí na omezenou vzdálenost, a to 10^{-15} m

G – gravitační

- nejde odstínit - působí na všechna tělesa s nenulovou hmotností,
- účinek „zanedbatelně“ malý, ale důležitý
- popsáno Newtonovým gravitačním zákonem, kvantovou teorií pole a pomocí Obecné teorie relativity.