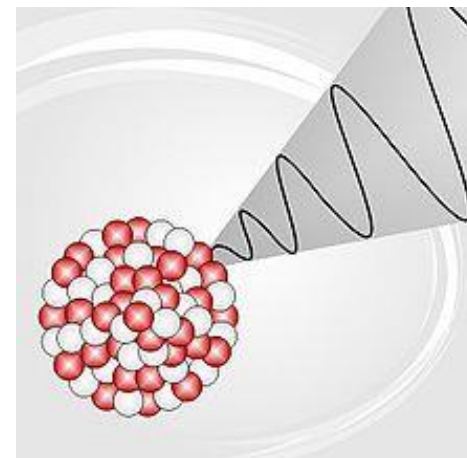
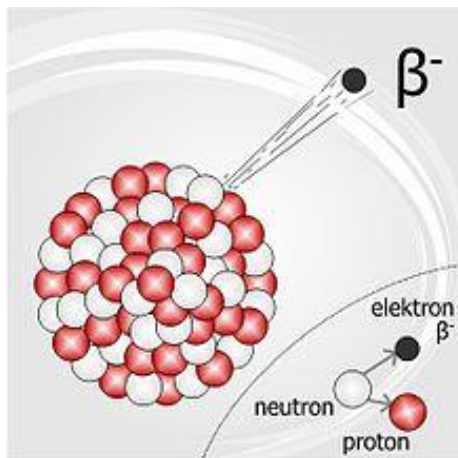
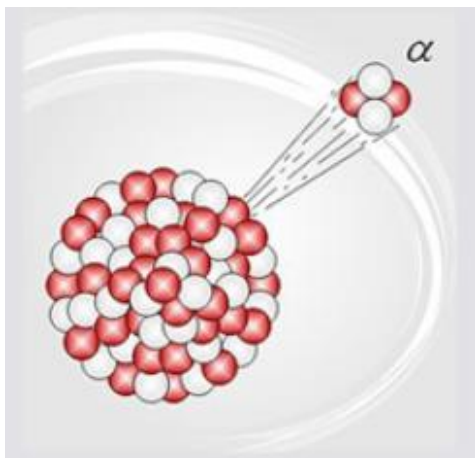




základní typy radioaktivity





příčiny radioaktivity

existuje 266 stálých nuklidů prvků

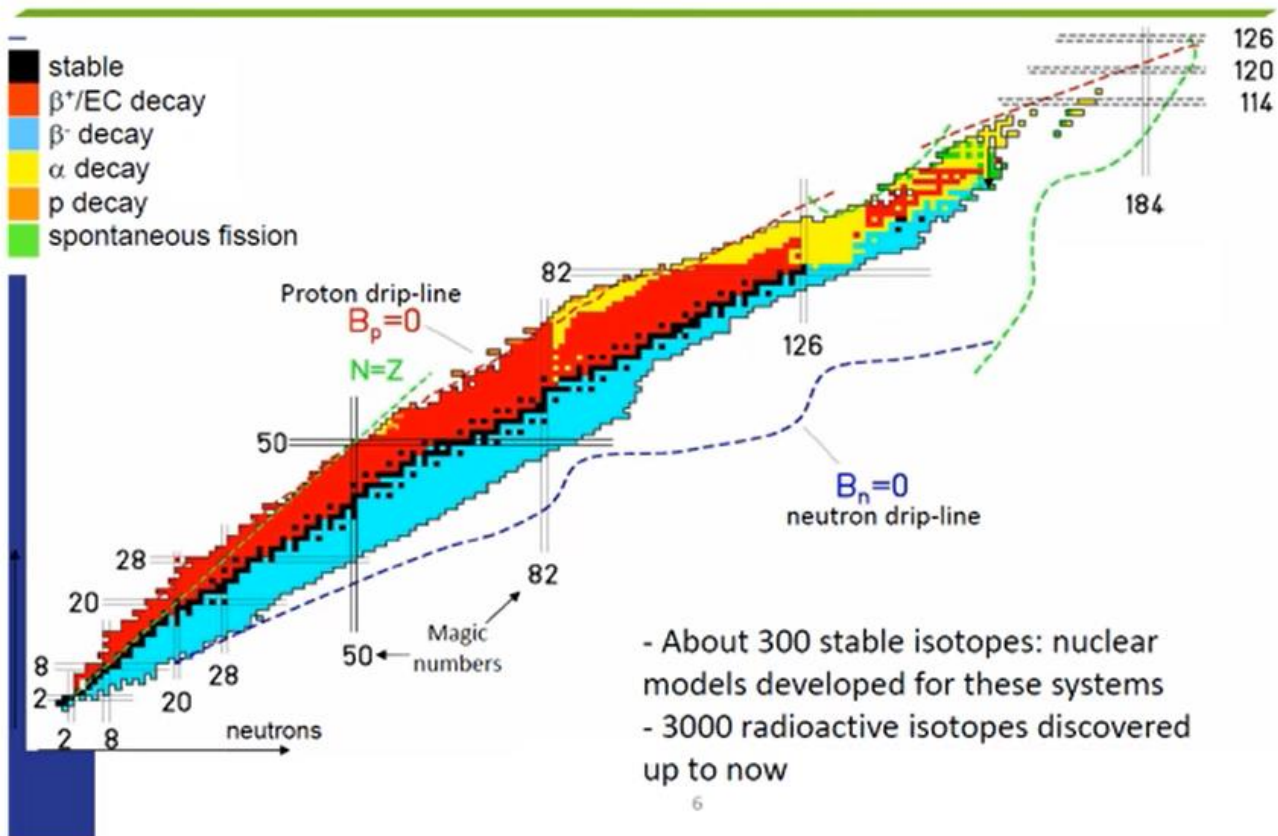
důležitý je poměr N / Z - lehká jádra ($Z < 20$) $\rightarrow N / Z = 1$
- těžká jádra $\rightarrow N / Z = 1 - 1,52$

prvky s jedním stabilním izotopem ^{19}F , ^{23}Na , ^{197}Au

prvky s více stabilními izotopy ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O $\rightarrow N / Z = 1 - 1,25$



Nuclear landscape





radioaktivní jádro

- odchylka od optimálního rozmezí poměru Z / N
- izotopy ^{14}O , ^{15}O , ^{19}O , ^{20}O
- samovolná přeměna



mateřské
jádro

dceřiné
jádro

vysokoenergetická
částice



vlastnosti radioaktivního rozpadu

přeměna je děj samovolný (spontánní)

nezávisí na chemickém stavu atomu

platí zákon zachování hmotnosti a energie

platí zákon zachování nukleonového a atomového čísla

$$A = A_1 + A_2$$

$$Z = Z_1 + Z_2$$



základní hmotnostní podmínka

$$M(X) > M(Y) + M(\text{částice})$$

energie ekvivalentní rozdílu hmotnostní je
energie radioaktivní přeměny

velikost této energie

$$Q = -931,5 (M(Y) + M(\text{částice}) - M(X))$$



typy radioaktivních přeměn

současná změna **Z** a **A**

- přeměna alfa, emise nukleonů,
emise těžkých jader, samovolné štěpení

změna **Z** při konstantním **A**

- přeměny beta, elektronový záchyt

deexcitace jádra, změna energie jádra

- gama záření, vnitřní konverze



typy radioaktivních přeměn

alfa záření

- jádra He vyzařována z prvků jako U, Th, Ra

beta záření

- elektrony nebo pozitrony

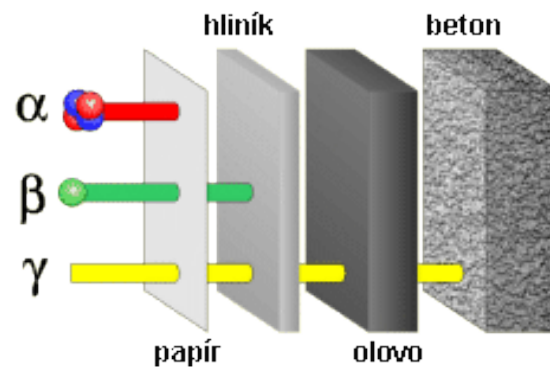
gama záření

- fotony uvolněné při jaderných reakcích

proud neutronů

- vznikají při jaderných reakcích

jádro atomu





přeměny beta a elektronový záchyt

Soddyho-Fajansova posuvová pravidla

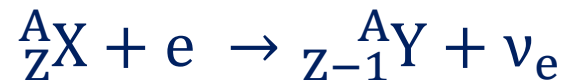
- negatronová
nadbytek neutronů



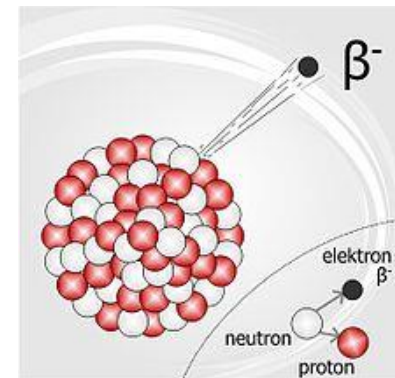
- pozitronová
nadbytek protonů



- elektronový záchyt



přirozené i umělé nuklidy





Frederick Soddy



2. září 1877

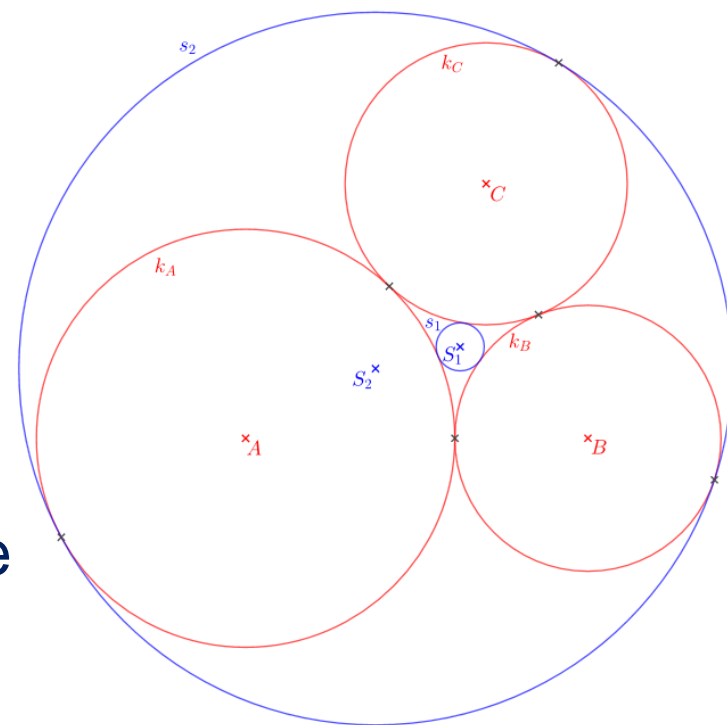
22. září 1956

radiochemik

- Nobelova cena za chemii 1921:
„za práci na chemii radioaktivních
látek a za výzkum izotopů”

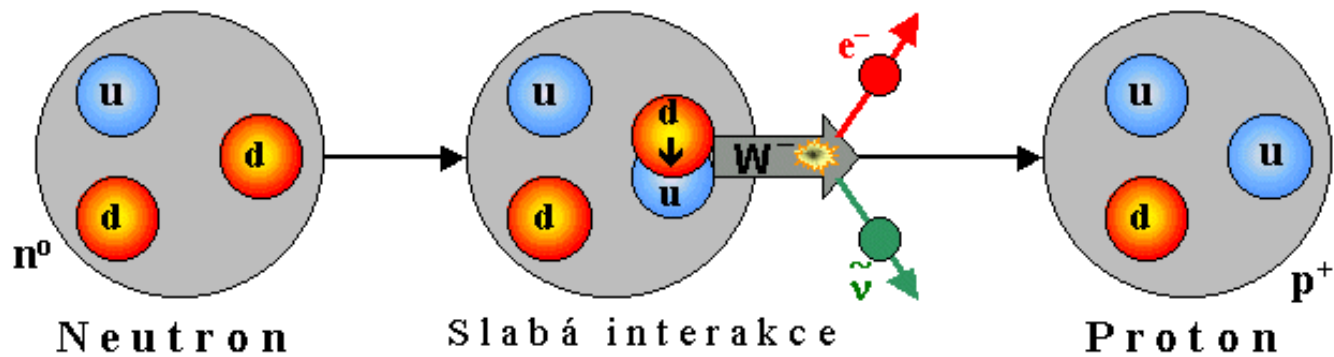
- Soddyho
kružnice

-The Kiss Precise

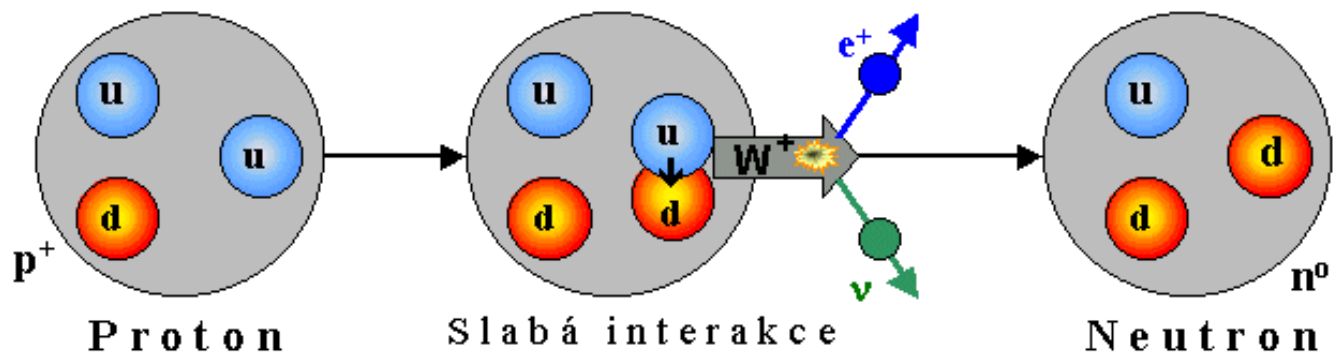




Beta⁻ - rozpad neutronu : $n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}$



Beta⁺ - přeměna protonu : $p^+ \rightarrow n^0 + e^+ + \nu$





negatronová přeměna

- hmotnostní podmínka

$$M(A, Z) > M(A, Z+1) + m_e$$

- energetický stav vzniklého jádra:
 - základní stav (^3H , ^{14}C , ^{32}P)
 - excitovaný stav - následuje deexcitace a vyzáření fotonů (^{60}Co - ^{60}Ni , ^{109}Pd - ^{109}Ag)
 - část jader v základním stavu a část v excitovaném (^{42}K - ^{42}Ca , ^{137}Cs - ^{137}Ba)



pozitronová přeměna

- hmotnostní podmínka

$$M(A, Z) > M(A, Z-1) + m_e$$

- energetický stav vzniklého jádra
 - základní stav (^{15}O , ^{17}F , ^{19}Ne)
 - excitovaný stav (^{14}O , ^{23}Mg , ^{62}Cu)
 - část jader v základním stavu a část v excitovaném
- pozitronickou přeměnu zpravidla provází také elektronový záchyt



pozitron

- antičástice elektronu
- poměrně nestálý $\sim 10^{-10}$ s
- po zpomalení srážkami dochází k interakci s elektronem

anihilační reakce



vznikající fotony se využívají při měření pozitronických radioaktivních nuklidů



elektronový záchyt

- zvláštní typ přeměny β

jádro se zbavuje nadbytku protonů v jádře

proton jádra zachytí obalový elektron ze slupky K nebo L
a přemění se na neutron

pozorujeme současně

- charakteristické rentgenovo záření
- Augerovy elektrony
 - vznikají při průchodu rtg. záření vyššími elektronovými slupkami
 - mají diskrétní energii



elektronový záchyt

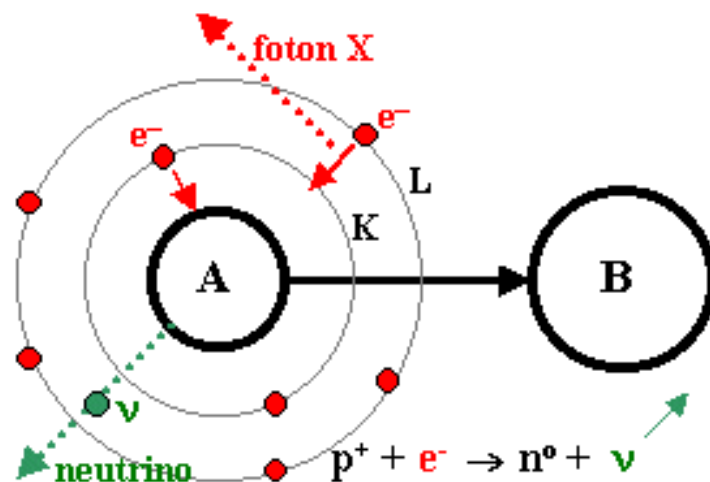
hmotnostní podmínka

$$M(A, Z) + m_e > M(A, Z-1)$$

příklad přeměny



Elektronový záchyt





přeměna alfa

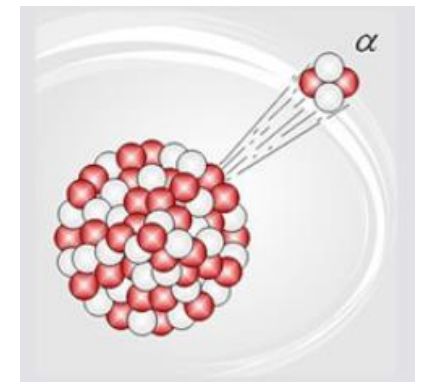
- Soddyho-Fajansovo posuvové pravidlo



přirozené i umělé nuklidy

těžké prvky

silné odpuzování protonů



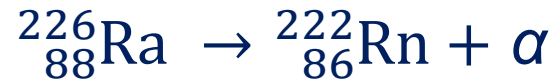


přeměna alfa

hmotnostní podmínka

$$M(A, Z) > M(A-4, Z-2) + m_{\alpha}$$

příklad přeměny



alfa částice

- má vysokou střední vazebnou energii (stabilní částice)
- relativně nízkou hmotnost

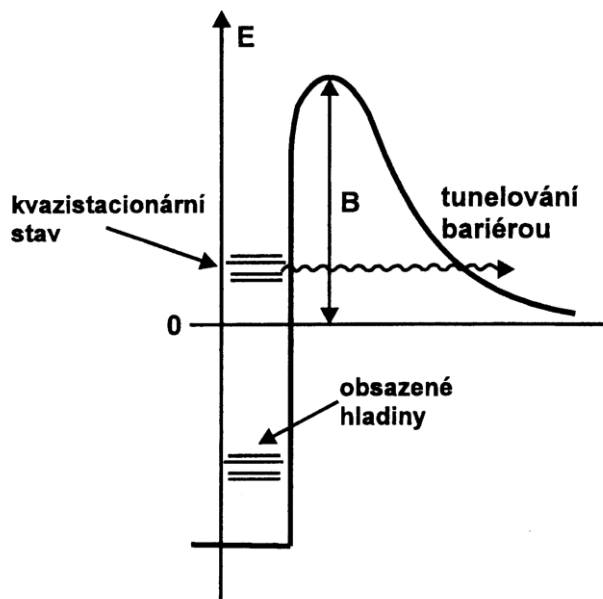


přeměna alfa

mechanismus přeměny
- tunelování

důkaz tunelového efektu

^{226}Ra

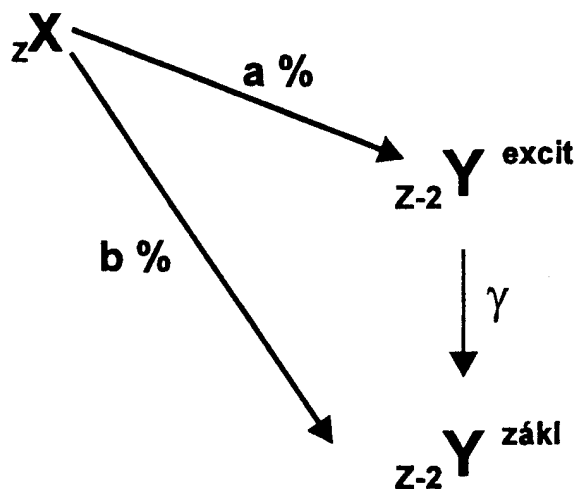


- výška potenciálové bariéry
23 MeV
- energie α částice
4,8 MeV



přeměna alfa

vznik základního a excitovaného jádra



přeměnou alfa vzniká více
excitovaných stavů

- ${}^{239}\text{Pu}$ - dva
- ${}^{241}\text{Am}$ - šest



přeměna alfa

- zákon zachování hybnosti při emisi alfa částice
- dochází k odrazu

odrazová energie

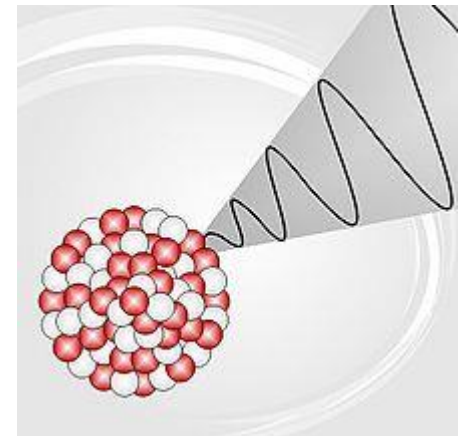
$$E_Y = \frac{m_\alpha + Q_\alpha}{m_Y + m_\alpha}$$

- představuje asi 2% celkové přeměnové energie - desítky keV
- excitace elektronů
- vysoce ionizované dceřiné jádro a zpřetrhání chemických vazeb



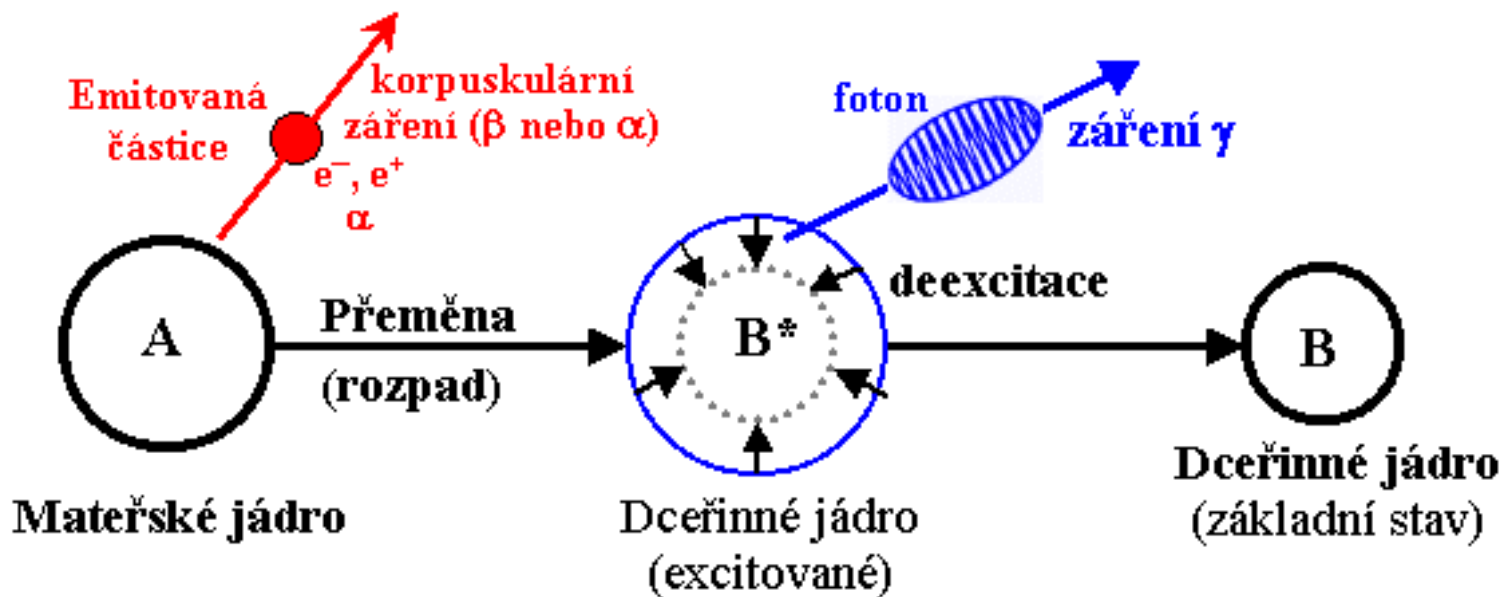
přeměna gama

- vysokoenergetické elektromagnetické záření
- vzniká deexcitací vzbuzených hladin atomového jádra
 - dceřiné jádro vzniklé po radioaktivní přeměně
- emise fotonů mezi diskrétními energetickými stavy o určité energii - γ spektrum je čárové
- emise fotonu je vždy provázena změnou jaderného spinu (foton má spin = 1)





přeměna gama





přeměna gama

- deexcitace může nastat postupnou emisí několika fotonů
přechody $|\Delta I| = 1$ nebo 2 jsou nejpravděpodobnější,
tzv. dovolené přechody

přechody $|\Delta I| > 2$ jsou méně pravděpodobné,
tzv. zakázané přechody

- emise gama záření je velmi významná
 - umožňuje měření aktivity nuklidů
 - slouží k identifikaci nuklidů

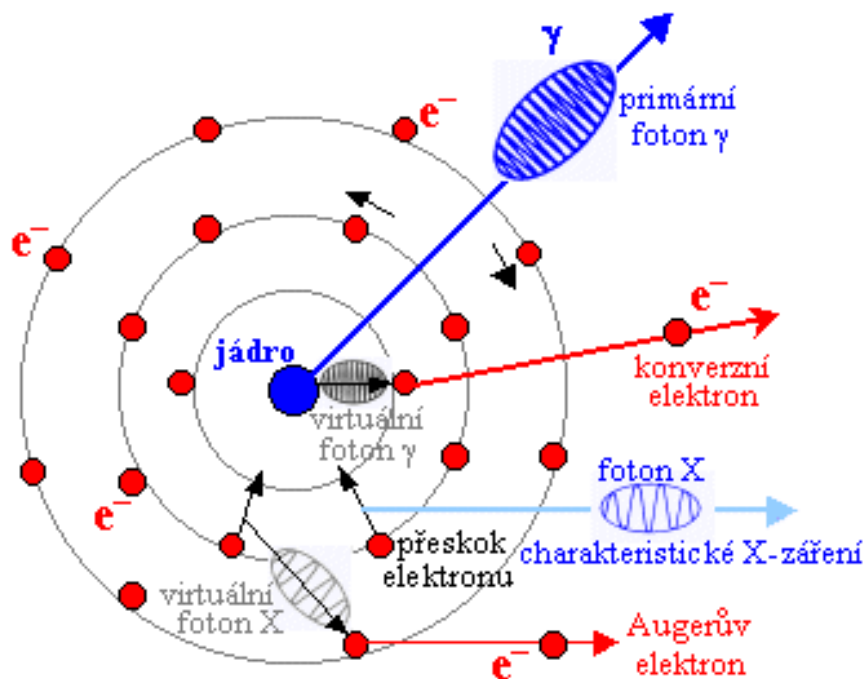


vnitřní konverze

- alternativní způsob deexcitace jádra
 - nezářivý přenos energie na orbitální elektron
- překryv vlnových funkcí orbitálního elektronu a excitovaného jádra
- uvolňuje se tzv. konvertovaný elektron - má diskrétní energii
- po uvolnění konvertovaného elektronu se vakance v elektronovém orbitalu zaplňuje elektronem z vyšší hladiny a dochází ke vzniku charakteristického rentgenova záření případně i Augerova elektronu (jako u EZ)



vnitřní konverze





samovolné štěpení

- vyskytuje se u jader s vysokým počtem protonů a elipsoidním tvarem
- vznikají při něm 2 tzv. fragmenty a zpravidla 2-3 neutrony
- jde často o konkurenční reakci k přeměně alfa

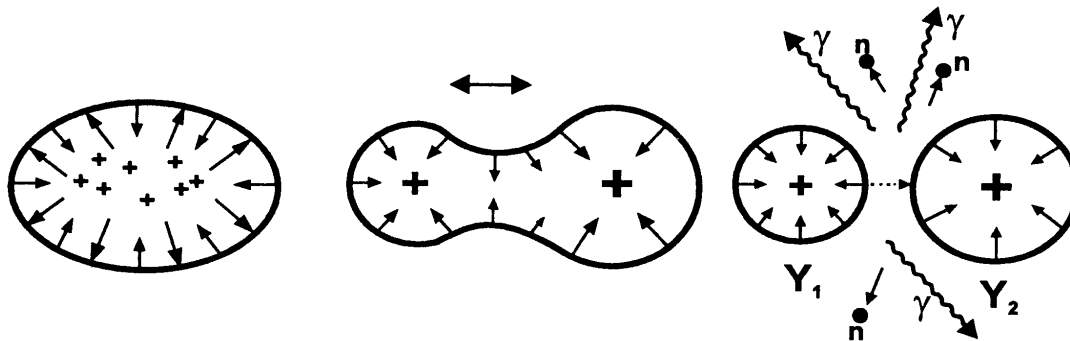


samovolné štěpení

parametr samovolného štěpení - Z^2/A

vychází z kapkového modelu jádra

- poměr energie odpuzování a energie povrchové





samovolné štěpení

s rostoucím parametrem štěpení klesá poločas rozpadu samovolného štěpení nuklidu

nuklid	Z^2/A	poločas (roků)
${}_{92}^{238}\text{U}$	35,56	$1,0 \cdot 10^{16}$
${}_{94}^{240}\text{Pu}$	36,82	$1,2 \cdot 10^{11}$
${}_{96}^{244}\text{Cm}$	37,77	$1,4 \cdot 10^7$
${}_{98}^{252}\text{Cf}$	38,11	66
${}_{100}^{254}\text{Fm}$	39,37	0,67



emise nukleonů

z mateřského jádra uvolňuje proton nebo neutron

větvené přeměny

hmotnostní podmínka přeměny umožňuje dva či více typů přeměny

každá přeměna má svou pravděpodobnost a energii