

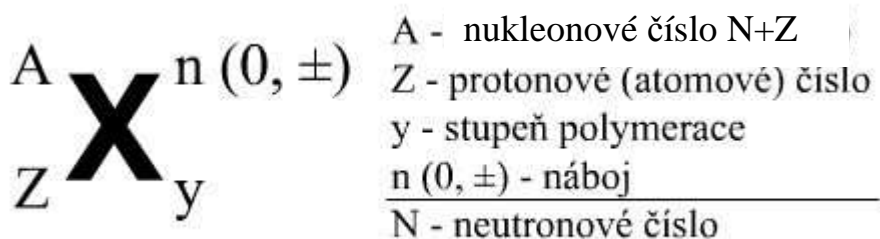
2. Atomové jádro a jeho stabilita

Atom je nejmenší hmotnou a **chemicky nedělitelnou částicí**.

Je tvořen **jádrem**, které obsahuje protony a neutrony, a **elektronovým obalem**.

Elementární částice tvořící atom				
Elementární částice	Objevitel (rok)	Hmotnost	Náboj e/C	Symbol
		m/u		
proton	Rutherford (1920)	1,0072	kladný $1,60210 \cdot 10^{-19}$	p^+ nebo 1_1p
neutron	Chadwick (1932)	1,0086	nemá náboj	n^0 nebo 0_1n
elektron	Thomson (1897)	$5,4857 \cdot 10^{-4}$	záporný $1,60210 \cdot 10^{-19}$	e^- nebo ${}^0_{-1}e$

- **protonové (atomové) číslo Z** (počet protonů v jádře),
- **neutronové číslo N** udává počet neutronů



- Soubor atomů, které mají stejné atomové číslo Z (N mohou mít různé) se nazývá **prvkem**
- Soubor naprosto identických atomů, které mají stejné atomové číslo Z a neutronové číslo N, přičemž $Z \neq A$ (jediná výjimka je jádro lehkého vodíku 1_1H), se nazývá **nuklidem**

- Pojem **izotop** je nutno na rozdíl od pojmu nuklid chápat spíše kvalitativně. Tento pojem vyjadřuje skutečnost, že prvek je tvořen několika typy jader, tedy atomy, které mají stejné Z , ale mohou se lišit počtem neutronů v jádře. Použití pojmu izotop (izotopy) snad nejlépe vyplyne z tvrzení: Vodík je přírodě zastoupen třemi izotopy. Jsou to nuklidy ^1_1H , ^2_1H a ^3_1H .

Prvky polyizotopické				
Prvek	A_r (stř.)	Izotop	Výskyt v přírodní izotopové směsi (%)	A_r
Vodík	1,0179	^1H	99,985	1,007825
		^2H	0,015	2,014102
Lithium	6,941	^6Li	7,52	6,015126
		^7Li	92,48	7,016005
Uhlík	12,011	^{12}C	98,892	12,00000
		^{13}C	1,108	13,003354
Kyslík	15,9994	^{16}O	99,759	15,994915
		^{17}O	0,037	16,999133
		^{18}O	0,204	17,999150
Draslík	39,08	^{39}K	93,08	38,963714
		^{41}K	6,92	40,961385
Cín	118,69	^{112}Sn	0,96	111,904940
		^{114}Sn	0,66	113,902960
		^{115}Sn	0,35	114,903530
		^{116}Sn	14,30	115,902110
		^{117}Sn	7,61	116,903060
		^{118}Sn	24,03	117,901790
		^{119}Sn	8,58	118,903390
		^{120}Sn	32,85	119,902130
		^{122}Sn	4,72	121,903410
^{124}Sn	5,94	123,905240		
Uran		^{235}U	0,72	235,03493
		^{238}U	99,28	238,050760

Prvky monoizotopické	beryllium (⁹Be)	fosfor (³¹P)
	fluor (¹⁹F)	kobalt (⁵⁹Co)
	sodík (²³Na)	jód (¹²⁷I)
	hliník (²⁷Al)	zlato(¹⁹⁷Au) aj.

Dnes je známo více než 2000 nuklidů, z nichž je pouze 266 stabilních. Ostatní jsou nukleárně nestabilní, a proto podléhají radioaktivnímu rozpadu.

Pojem **radioaktivní prvek** lze použít pouze pro prvky:

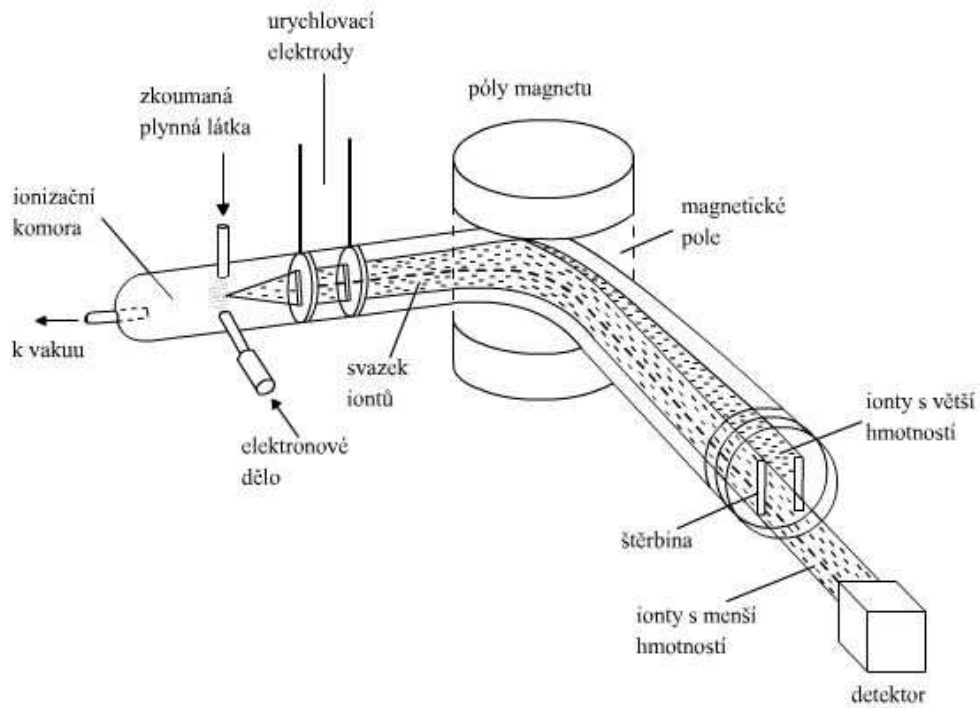
- které nemají stabilní nuklidy
 - mohou se vyskytovat v přírodě nebo jsou připraveny uměle
 - neoznačují se tak prvky, které mají pouze jeden radioaktivní izotop s malou aktivitou.
-
- Pojem **izobary** (používá se v množném čísle) je vyhrazen nuklidům, které mají stejné nukleonové a různé protonové číslo, např.



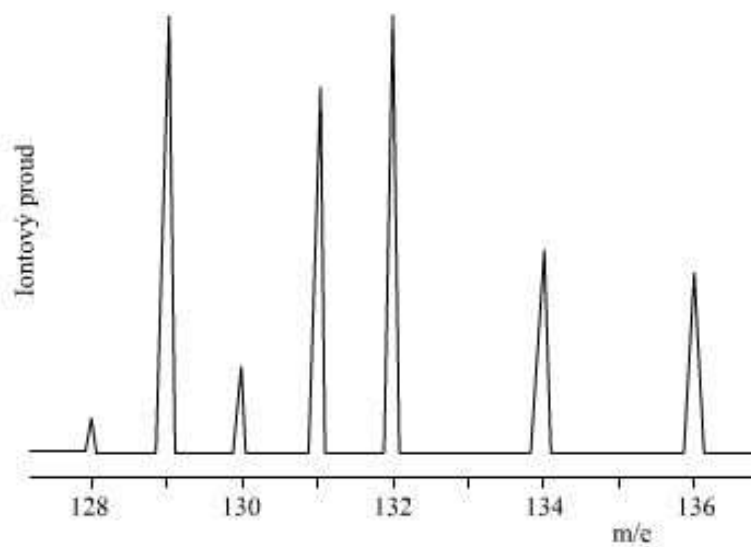
(Platí pravidlo, které říká, že v takové řadě nuklidů bývá prostřední radioaktivní).

- **Izotony** (příliš se nepoužívá) představují nuklidy, které mají stejný počet neutronů v jádře, např. ^3_1H a ^4_2He .

Hmotnost nuklidů a jejich zastoupení v přírodní směsi se dá zjistit např. [hmotnostní spektrometrií](#).



Hmotnostní spektrum xenonu

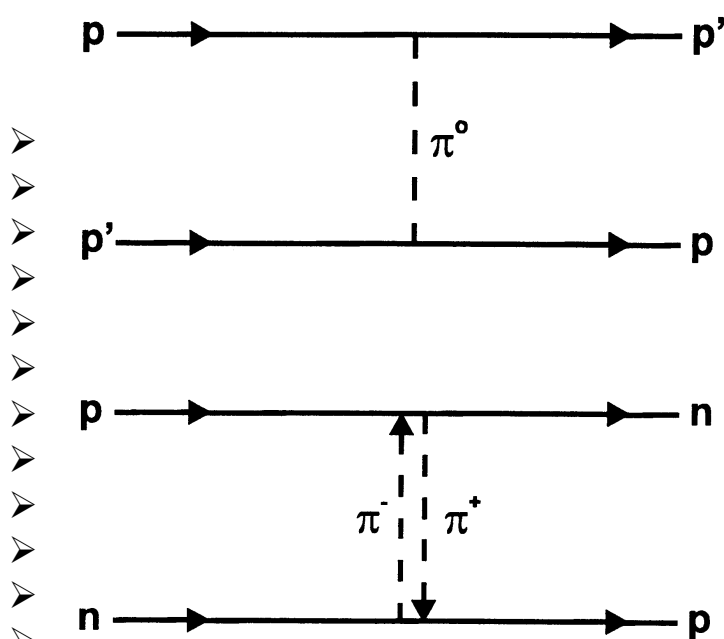


Izotopové složení přírodního xenonu [%]

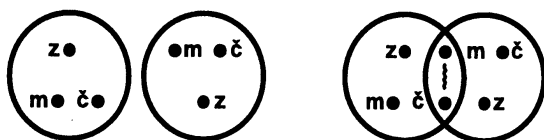
^{124}Xe	0,095	^{129}Xe	26,44	^{132}Xe	26,89
^{126}Xe	0,090	^{130}Xe	4,08	^{134}Xe	10,44
^{128}Xe	1,915	^{131}Xe	21,18	^{136}Xe	8,87

Atomové jádro

- Jádra běžných atomů se skládají z protonů a neutronů, mezi kterými existují silné jaderné interakce. Je v nich soustředěna prakticky veškerá hmotnost atomu
- Nukleony mají svůj jaderný spin rovný $\frac{1}{2}$
- Částice jádra mají své vlastní uspořádání, které popisuje např. hladinový nebo kapkový model jádra
- Mezi nukleony působí silné jaderné interakce, které jsou podstatou jaderných sil (**výměna virtuálního pionu**)



Výměnné reakce nukleonů



Výměna gluonu mezi dvěma nukleony

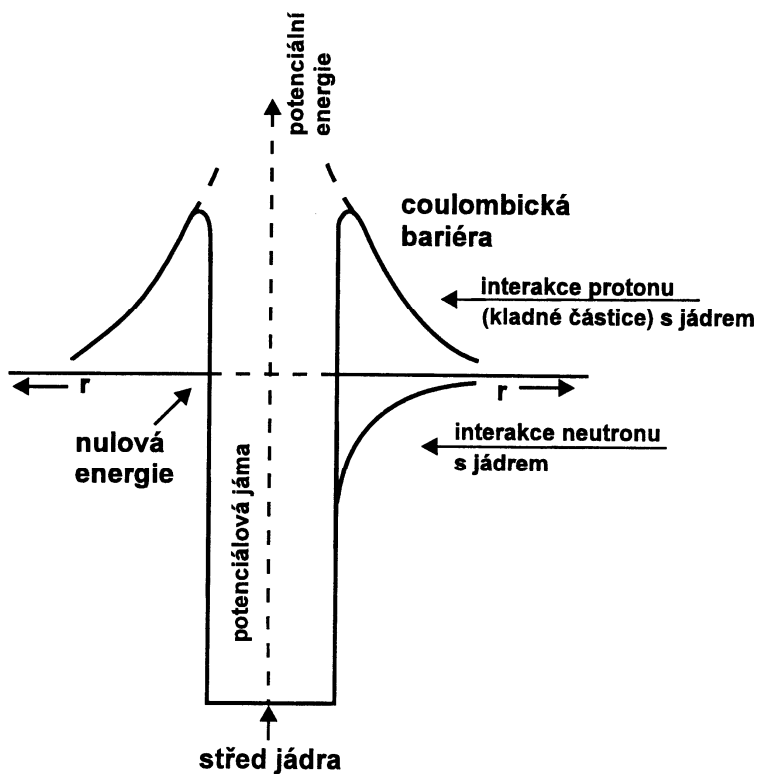
- působnost jaderných sil je omezen na oblast jádra – síly mají krátký dosah (cca 10^{-15} m). Hovoříme o **p** **poloměru jádra**

$$r = r_0 \cdot A^{1/3}$$

($r_0 = 1,4 \cdot 10^{-15}$ m, A je počet nukleonů)

- jaderné síly jsou nábojově nezávislé (možnost výměny mezi protonem a neutronem)
- krátká doba interakce (10^{-23} s)

Průběh interakce mezi jádrem a dalším nukleonem, potenciálová jáma a bariéra



Výška potenciálové bariéry (v MeV)

$$B = \frac{Z_1 Z_2}{A_1^{1/3} + A_2^{1/3}}$$

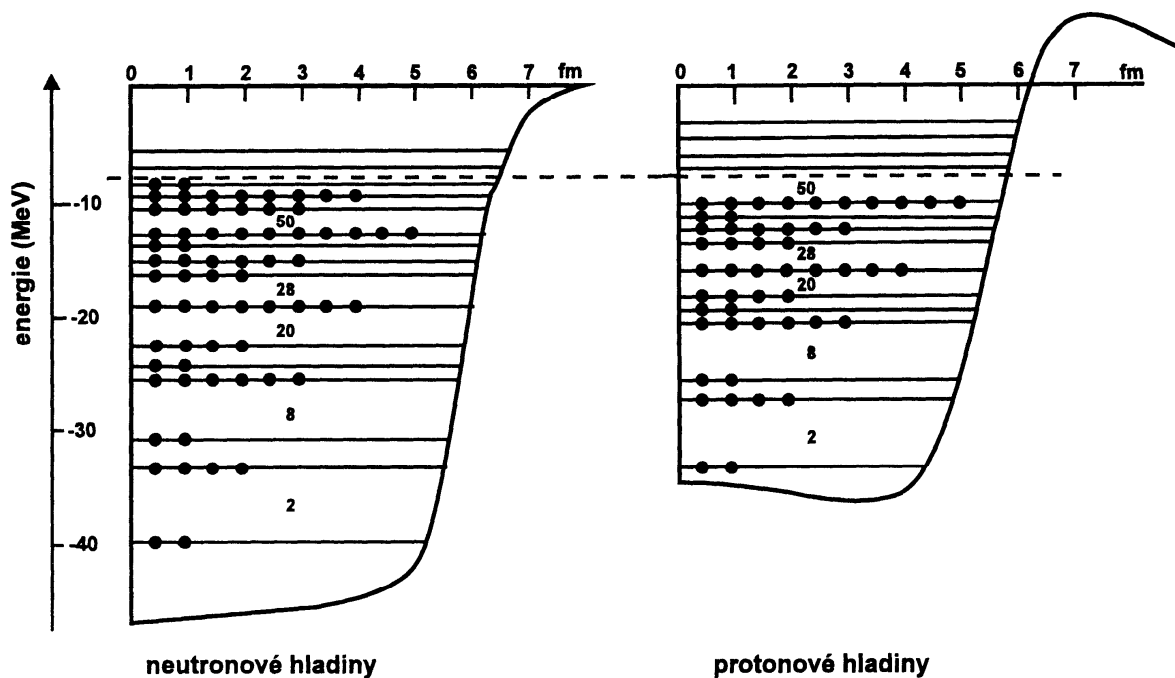
(obdoba Coulombova zákona)

Z_1, Z_2 – protonová čísla jádra a kladné částice (zde protonu)

A_1, A_2 – jejich nukleonová čísla

Hladinový model jádra

- spin protonu i neutronu je $\frac{1}{2}$
- platí obdoba Pauliho principu: nukleony v potenciálové jámě obsazují posupně jednotlivé kvantové stavy a vyšší stav se obsadí tehdy, až je nižší plně obsazen
- pro výpočet energie nukleonů platí obdobné vztahy jako pro elektrony (částice mají dualistický charakter)
- pro protony a neutrony existují samostatné soustavy energetických hladin



- Protonové slupky obsahují při plném zaplnění
2, 6, 12, 18, 22 a 32 protonů
- Neutronové slupky obsahují při plném zaplnění
2, 6, 12, 18, 22, 32 a 44 neutronů
- Pokud má jádro jednu nebo více slupek zaplněných, pak obsahuje celkem
 - 2, 8, 20, 28, 50 nebo 82 protonů,
 - resp. 2, 8, 20, 28, 50, 82 nebo 126 neutronů

Jde o tzv. **magická čísla**, tato jádra jsou velmi stabilní.

Pokud jádro obsahuje magická čísla pro protony i neutrony, pak jde o jádra **dvojitě magická** s mimořádnou stabilitou, přičemž musí být splněna podmínka optimálního poměru počtů protonů a neutronů ($N:Z = \text{cca } 1-1,5$).

Např. dvojitě magické jádro ${}_{50}^{100}\text{Sn}$ je velmi nestabilní pro relativní nedostatek neutronů.

Na základě hladinového modelu jádra lze vysvětlit známé skutečnosti o výskytu nuklidů v přírodě.

Kombinace		Počet stabilních nuklidů
Z	N	
sudé	sudé	164
sudé	liché	55
liché	sudé	50
liché	liché	4

Také počty izotopů jednotlivých prvků se liší podle toho, jde-li o prvek sudý nebo lichý:

	$_{47}\text{Ag}$	$_{48}\text{Cd}$	$_{49}\text{In}$	$_{50}\text{Sn}$	$_{51}\text{Sb}$	$_{52}\text{Te}$	$_{53}\text{I}$
počet izotopů	2	8	1	10	2	8	1

Hmotnost a vazebná energie jádra

Jestliže srovnáme hmotnost jádra atomu s hmotností částic, které jádro tvoří, dojdeme k poznání, že hmotnost jádra je menší.

$$M_j < Zm_p + (A-Z) m_n$$

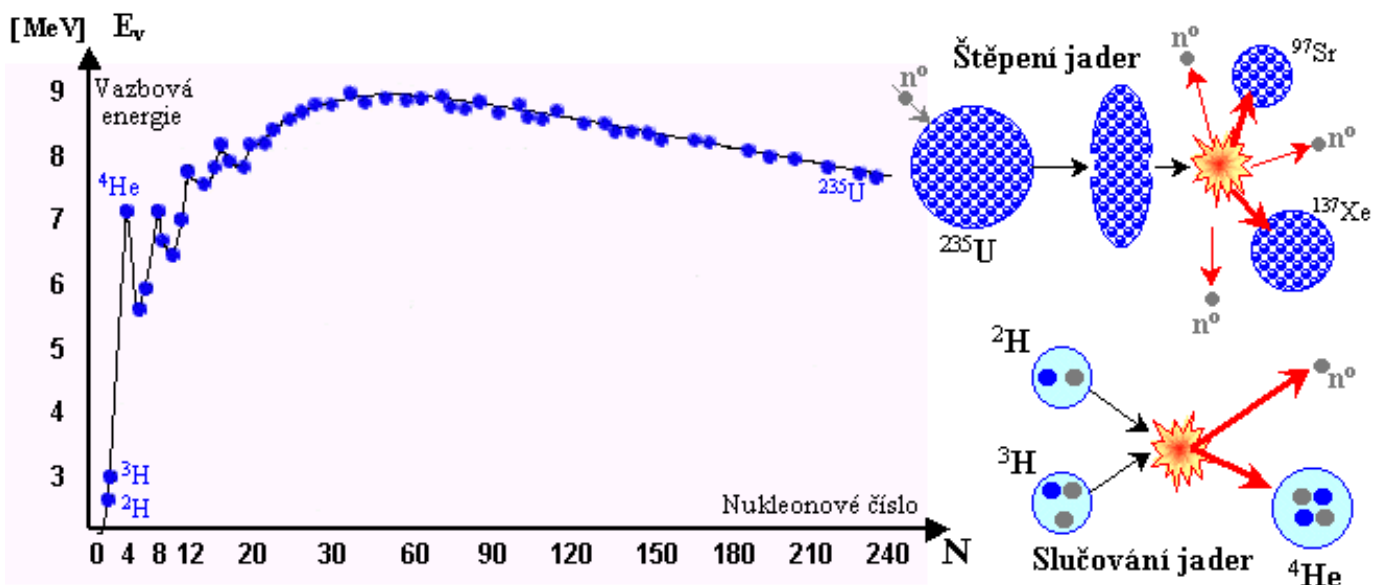
Rozdíl $\Delta = M_j - [Zm_p + (A-Z) m_n]$ se nazývá **hmotnostní úbytek (hmotnostní defekt)**, který má zápornou hodnotu. Jemu ekvivalentní energie je podle Einsteinova vztahu rovna

$$E_v = - \Delta \cdot c^2$$

a nazývá se **vazebnou energií jádra**. Je to energie, která by se hypoteticky uvolnila při vytvoření jádra z volných nukleonů. Např. pro jádro ${}^4_2\text{He}$ je:

$\Delta = 5,000618 \cdot 10^{-29} \text{ kg} = 4,5 \cdot 10^{-12} \text{ J/atom} = 2,71 \cdot 10^{12} \text{ J/mol}$. Toto množství tepla ohřeje 6500 tun vody z 0°C k varu.

Vazebná energie jádra vztahovaná na jeden nukleon $\epsilon = E_v / A$



Závislost střední vazbové energie jednoho nukleonu na nukleonovém čísle jádra.

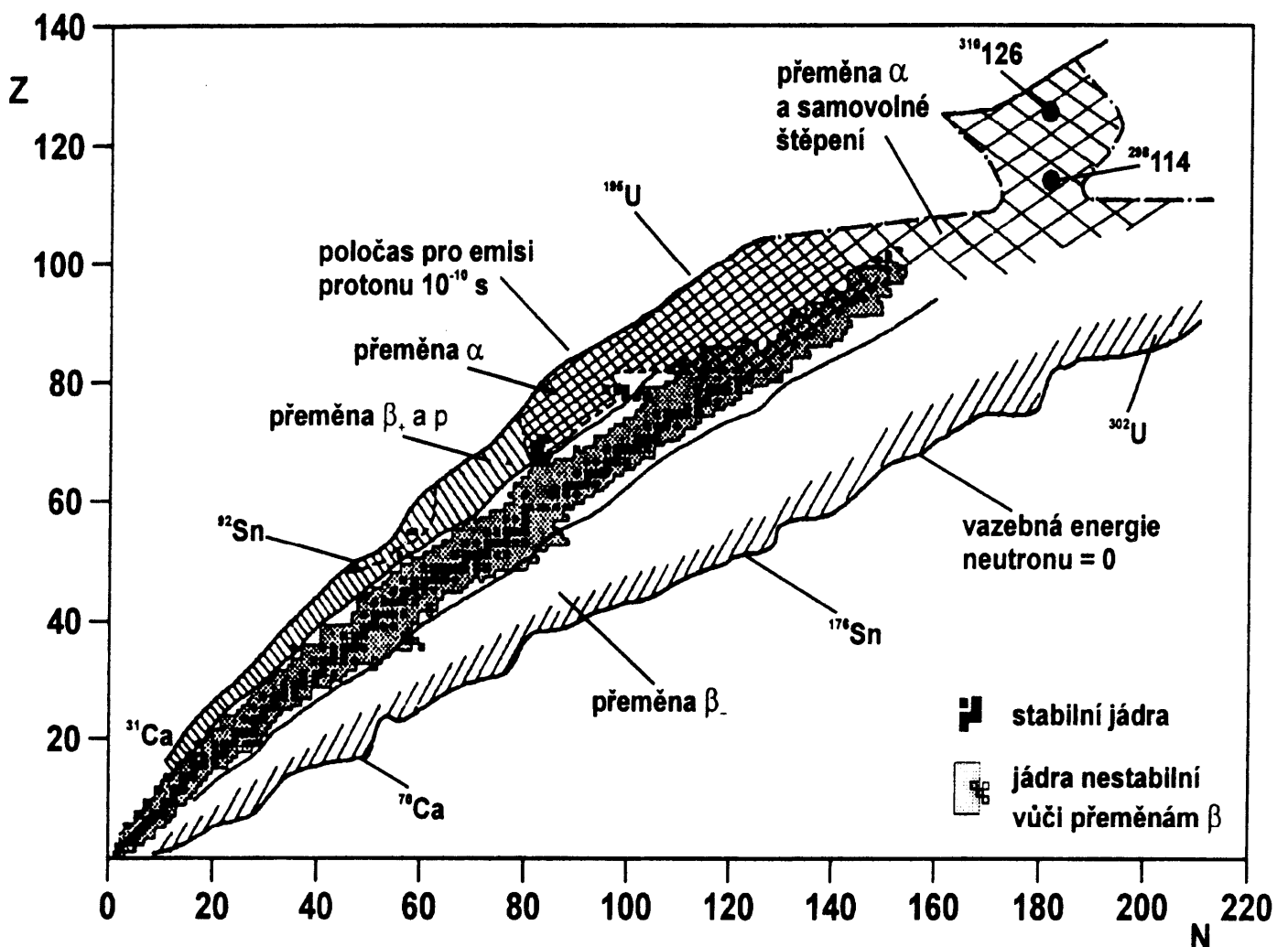
Dvě možnosti **uvolnění energie** při jaderných přeměnách:

1. **Spojováním**,
neboli **jadernou syntézou** čili fúzí nejlehčích jader (vodík, helium,...) v jádra těžší.
2. **Rozštěpením**
nejtěžších jader (např. uranu) na jádra lehčí.

V obou těchto procesech mají nukleony ve výsledných jádrech větší vazbovou energii než v jádrech výchozích a rozdíl těchto vazbových energií se uvolní - získáme **jadernou energii**.

Obecně lze konstatovat, že stabilita jader je záležitostí jejich složité vnitřní struktury. Podle velikosti vazebné energie jádra vztahované na nukleon můžeme jádra rozdělit na:

- **nukleárně stabilní** (mají velkou vazebnou energii)
- **nukleárně labilní**.

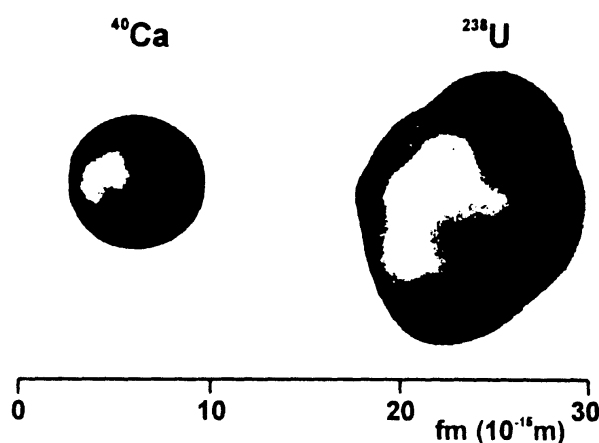


Kapkový model jádra

je založen na představě krátkého dosahu jaderných sil, kdy nukleony v jádře interagují pouze se svými sousedy v jádře podobně jako tomu je v kapce kapaliny.

Tvar jádra

- Dvojitě magická jádra mají **kulovitý tvar**.
- Ostatní jádra s vysokým spinem mají tvar deformovaný: protáhlý elipsoid – lanthanoidy, aktinoidy, zploštělý



Izotopový efekt

je záležitostí rozdílných hmotností jader izotopů téhož prvku. Projevuje se na fyzikálních vlastnostech látek, kterých jsou tyto izotopy součástí a kde hmotnost má na příslušnou fyzikální vlastnost vliv.

Střední kinetická energie molekul plynu	těžší molekuly se pohybují pomaleji
Rychlost chemických reakcí	reakce s těžšími izotopy probíhají jinou rychlostí
Vibrace chemické vazby	změna vlnočtu vibrace v molekulových spektrech
Teplota tání	lehká voda 0 °C, těžká voda 3.82 °C
Rychlost difuze	dělení izotopů uranu 235 + 238 (Grahamův zákon)

