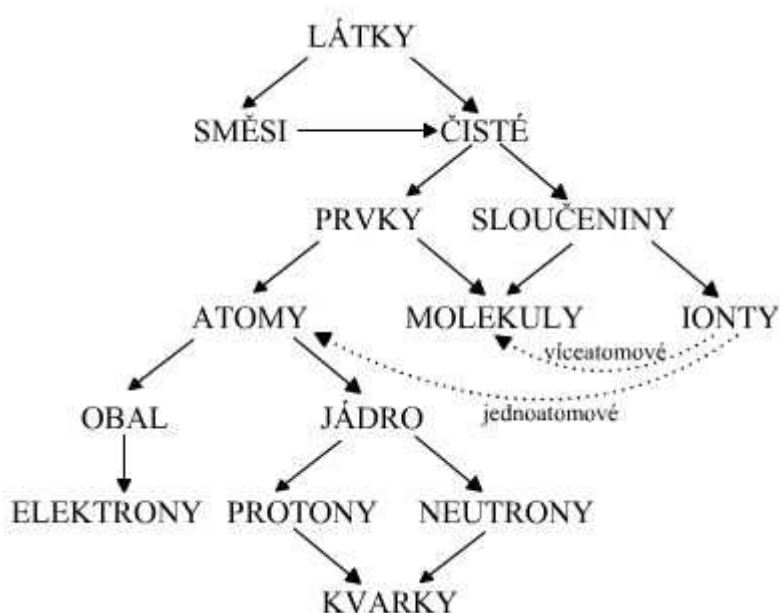


1. Struktura hmoty

Hmota je tvořena z hlediska vnějšího pohledu různými látkami.

Následující schéma uvádí tento pojem do souvislosti s dalším členěním:



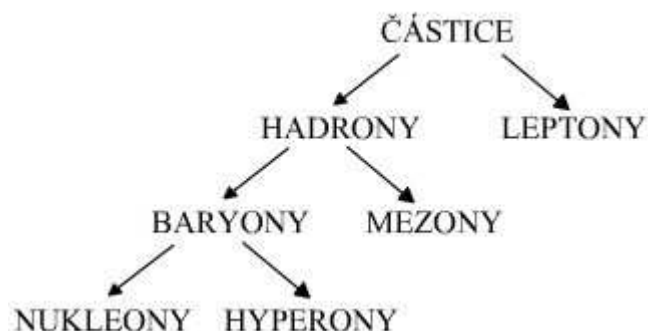
Atomy jsou tvořeny **elementárními částicemi** (pojem původně vyhrazený pro nedělitelný útvar bez vnitřní struktury)

Elementární částice dnes – cca

100 částic

+ 100 antičástic

Následující schéma naznačuje zjednodušeně členění elementárních částic.



Leptony

- vyznačují se slabými interakcemi
- nemají vnitřní strukturu
- lze je považovat za fundamentální částice

Leptonové číslo pro leptony:	$1/2$
Leptonové číslo pro antileptony:	$-1/2$
Náboj:	0 nebo -1

Nábojová čísla a hmotnosti leptonů			
		Z	m(u)
elektron	e^-	-1	$5,5 \cdot 10^{-4} (m_0)$
elektronové neutrino	ν_e	0	$\leq 5 \cdot 10^{-9}$
mion	μ^-	-1	0,1135
mionické neutrino	ν_μ	0	$< 505 \cdot 10^{-4}$
tauon	τ^-	-1	1,908
tauonické neutrino	ν_τ	0	$< 0,26$

Doba života mionu a tauonu je krátká (10^{-6} , resp. 10^{-13} s).

Zákon zachování leptonového čísla:

Celkové leptonové číslo je před interakcí a po ní stejné

Hadrony (je jich cca 200)

		spin
Mezony:		0 nebo celočíselný
Baryony:	nukleony (proton, neutron)	1/2, 3/2
	hyperony (částice těžší než nukleony)	

Baryonové číslo pro baryony:	1
Baryonové číslo pro antibaryony:	-1
Baryonové číslo pro mezony a leptony:	0

Platí **zákon zachování baryonového čísla**

Fundamentální částice

Velký počet hadronů a antihadronů je dán představou o jejich vnitřní struktuře, které jsou tvořeny malým počtem

fundamentálních částic druhého typu, tzv. **kvarků**

(je jich 6 druhů, mají baryonové číslo $B = 1/3$ a zlomkový elektrický náboj $Z = 2/3$ nebo $-1/3$)

Označení kvarků - termín „vůně“ (flavour)

Vlastnosti kvarků :

nábojové číslo	Z
podivnost (strangeness)	S
půvab (charm)	C
krása (beauty)	B
pravda (truth)	T

kvark	vůně	hmotnost (u)
d	down	0,0086
u	up	0,0054
s	strange	0,17
c	charm	1,61
b	bottom	4,56
t (1994)	top	193

Pravidla pro kvarkovou skladbu hadronů:

- **baryon** obsahuje vždy **tři kvarky** antibaryon obsahuje **tři antikvarky**

Vlastnosti některých baryonů

	hmotnost (u)	Z	kvarkové složení
p	1,0072765	+1	<i>uud</i>
n	1,0086650	0	<i>udd</i>
Λ	1,198	0	<i>uds</i>
Σ^+	1,227	+1	<i>uus</i>
Σ^-	1,277	-1	<i>dds</i>
Ω^-	1,795	-1	<i>sss</i>
Λ_c^+	2,42	+1	<i>udc</i>

- **mezon** obsahuje **jeden kvark** a **jeden antikvark**

Vlastnosti některých mezonů

	hmotnost (u)	Z	kvarkové složení
π^+	0,150	+1	<i>u\bar{d}</i>
π^-	0,150	-1	<i>d\bar{u}</i>
π^0	0,145	0	<i>u\bar{u} nebo d\bar{d}</i>
K^+	0,530	+1	
K^-	0,530	-1	
Φ	1,095	0	atd....
J/Ψ	3,32	0	
D^0	2,00	0	
D^+	2,005	+1	

- **baryonová, nábojová a další kvantová čísla kvarků se sčítají dávají kvarku pozorované vlastnosti**

Příčinou soudržnosti kvarků jsou tzv. **silné interakce** (je cca 100 x silnější než interakce elektromagnetické).

Silná interakce:

- je zprostředkována výměnnou jinou částicí, která má velmi krátkou dobu života (tato částice je po emisi jednou částicí okamžitě absorbována druhou interagující částicí – nelze ji proto jako částici zaznamenat -**virtuální částice**)
- **kvanta silového pole mezi kvarky** se nazývají **gluony**, které jsou nehmotné a nemají elektrický náboj
- působení interakcí mezi kvarky je omezeno na malý prostor
- kvarky nemohou existovat samostatně (k jejich uvolnění by bylo zapotřebí extrémně vysoké energie) – proto pozorujeme pouze jejich přeskupování za vzniku jiných mezonů a hadronů.
- proces výměny je komplikovaný, neboť každý kvark může existovat ve třech kvantových stavech označovaných jako **barva** (**červená**, **modrá**, **zelená**)
- Pojem barva lze si představit jako „velmi silný“ elektrický (barevný) náboj, který je podstatou silné interakce
- podle teorie musí být vznikající hadron **bezbarvý** ⇒ kvarky se musí vhodně kombinovat (**analogie se skládáním barev v barevné fotografii**)
- při výměně gluonu mezi dvěma kvarky mění oba kvarky svou barvu tak, aby hadron zůstal bezbarvý

Elementární a fundamentální částice pro oblast atomů, jader

a jejich radioaktivní přeměny

je dána pouze čtyřmi fundamentálními částicemi první generace

elektron	e^-
elektronové neutrino	ν_e
kvark <i>u</i>	u
kvark <i>d</i>	d

Další generace fundamentálních částic vytvářejí neobvyklé a nestálé hadrony při interakci částic s vysokou energií.

Existují i neobvyklé kombinace dalších leptonů a hadronů – vznikající atomy se nazývají **exotické**

Možné jsou i **antiatomy**, které jsou tvořeny pouze antičásticemi (poprvé v r. 1996)

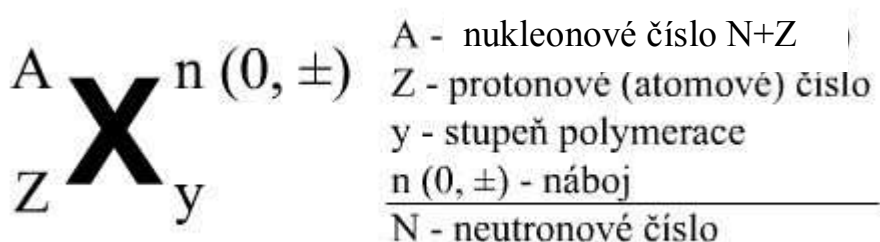
2. Atomové jádro a jeho stabilita

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 1_0n
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 ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$ a ${}^3_1\text{H}$.

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

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

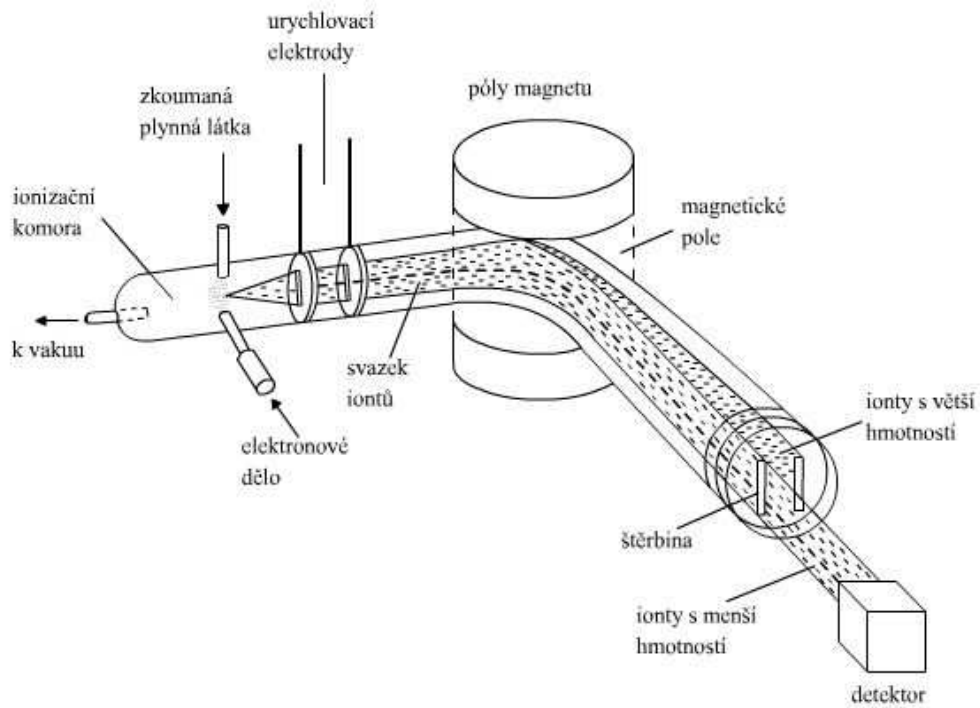
- které nemají stabilní nuklidy
 - mohou se vyskytovat v přírodě nebo jsou připraveny uměle
 - neoznačují se tak prvky, které mají pouze jeden radioaktivní izotop s malou aktivitou.
-
- Pojem **izobary** (používá se v množném čísle) je vyhrazen nuklidům, které mají stejné nukleonové a různé protonové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



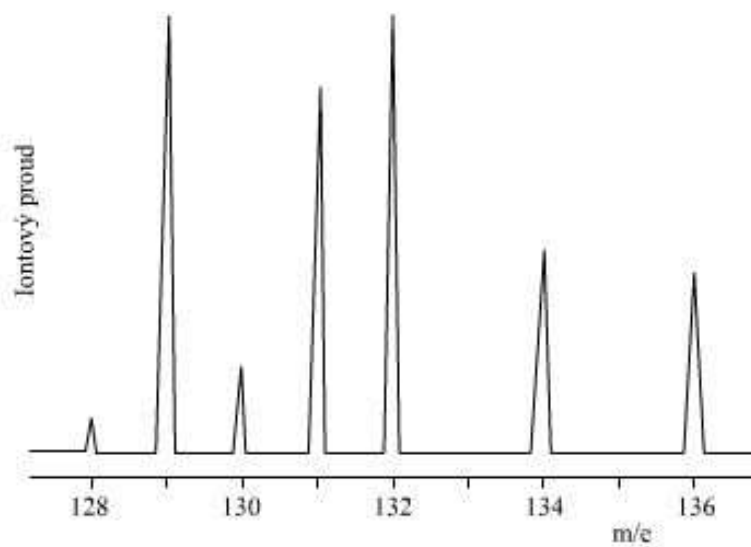
(Platí pravidlo, které říká, že v takové řadě nuklidů bývá prostřední radioaktivní).

- **Izotony** (příliš se nepoužívá) představují nuklidy, které mají stejný počet neutronů v jádře, např. ³₁H a ⁴₂He.

Hmotnost nuklidů a jejich zastoupení v přírodní směsi se dá zjistit např. **hmotnostní spektrometrií**.



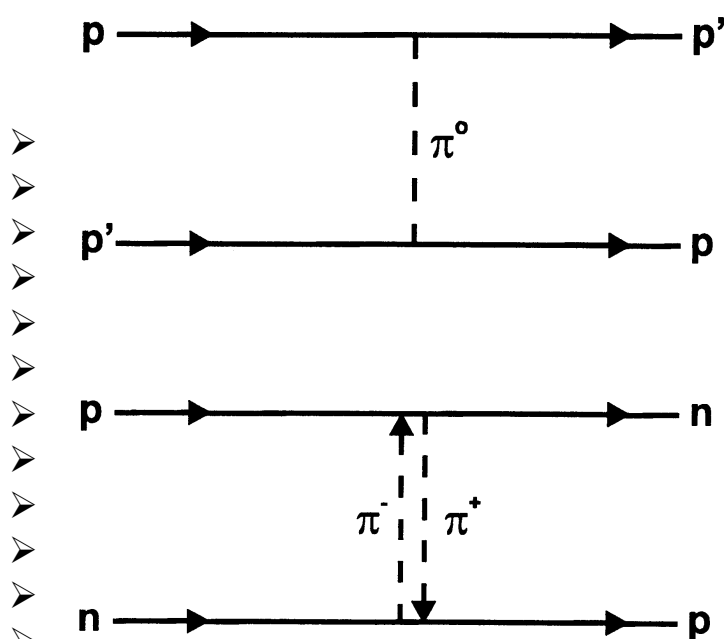
Hmotnostní spektrum xenonu



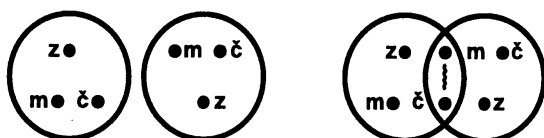
Izotopové složení přírodního xenonu [%]					
^{124}Xe	0,095	^{129}Xe	26,44	^{132}Xe	26,89
^{126}Xe	0,090	^{130}Xe	4,08	^{134}Xe	10,44
^{128}Xe	1,915	^{131}Xe	21,18	^{136}Xe	8,87

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

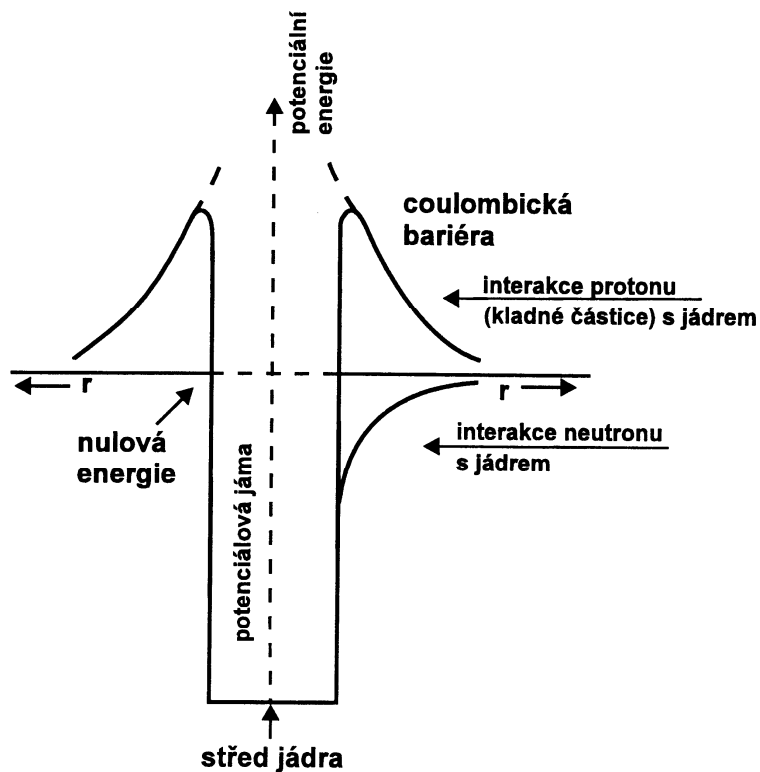
- působnost jaderných sil je omezen na oblast jádra – síly mají krátký dosah (cca 10^{-15} m). Hovoříme o **poloměru jádra**

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

($r_0 = 1,4 \cdot 10^{-15}$ 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)

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

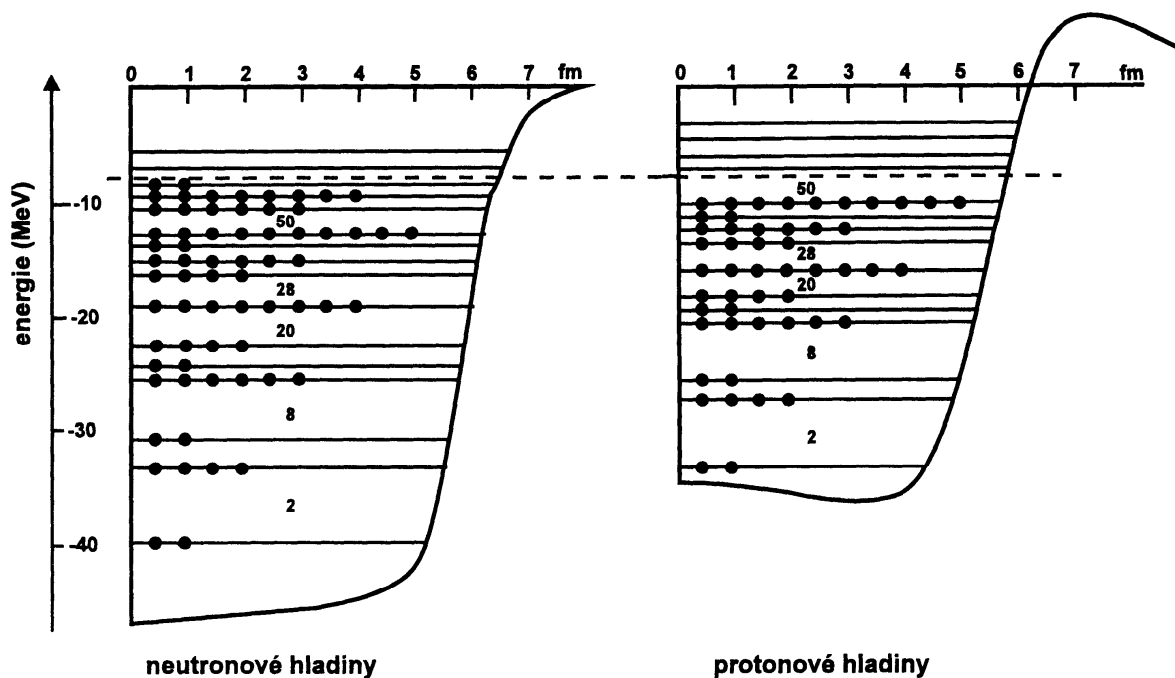
(obdoba Coulombova zákona)

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.

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

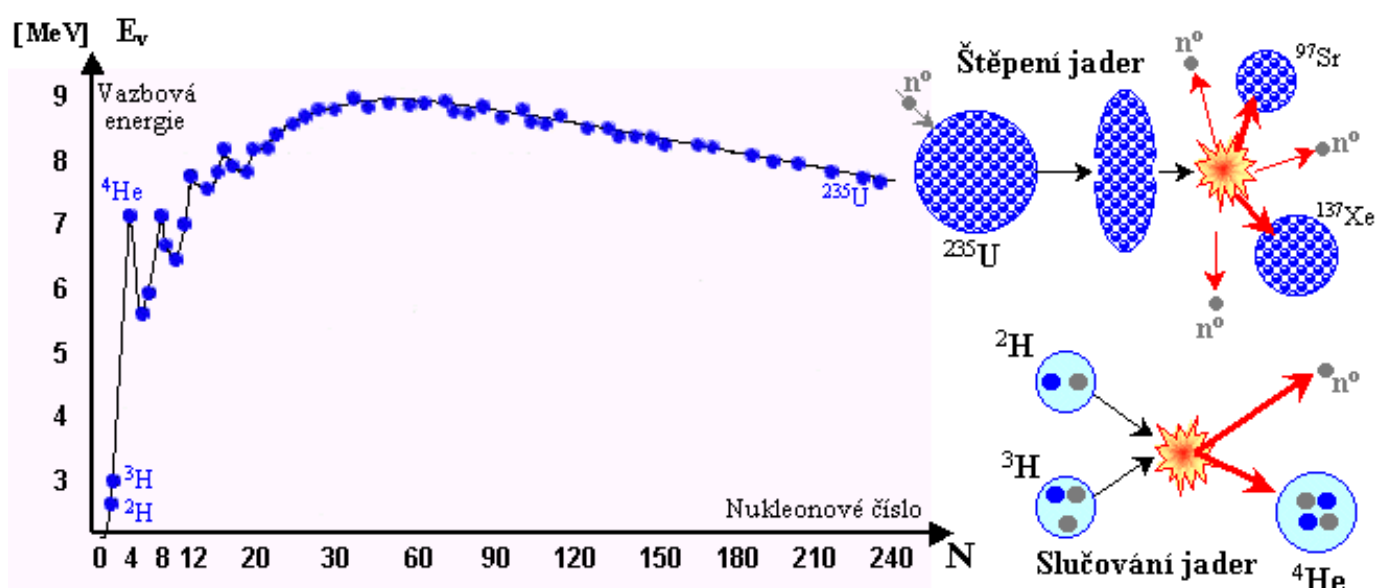
Rozdíl $\Delta = M_j - [Zm_p + (A-Z) m_n]$ se nazývá **hmotnostní úbytek (hmotnostní defekt)**, který má zápornou hodnotu. Jemu ekvivalentní energie je podle Einsteinova vztahu rovna

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

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.

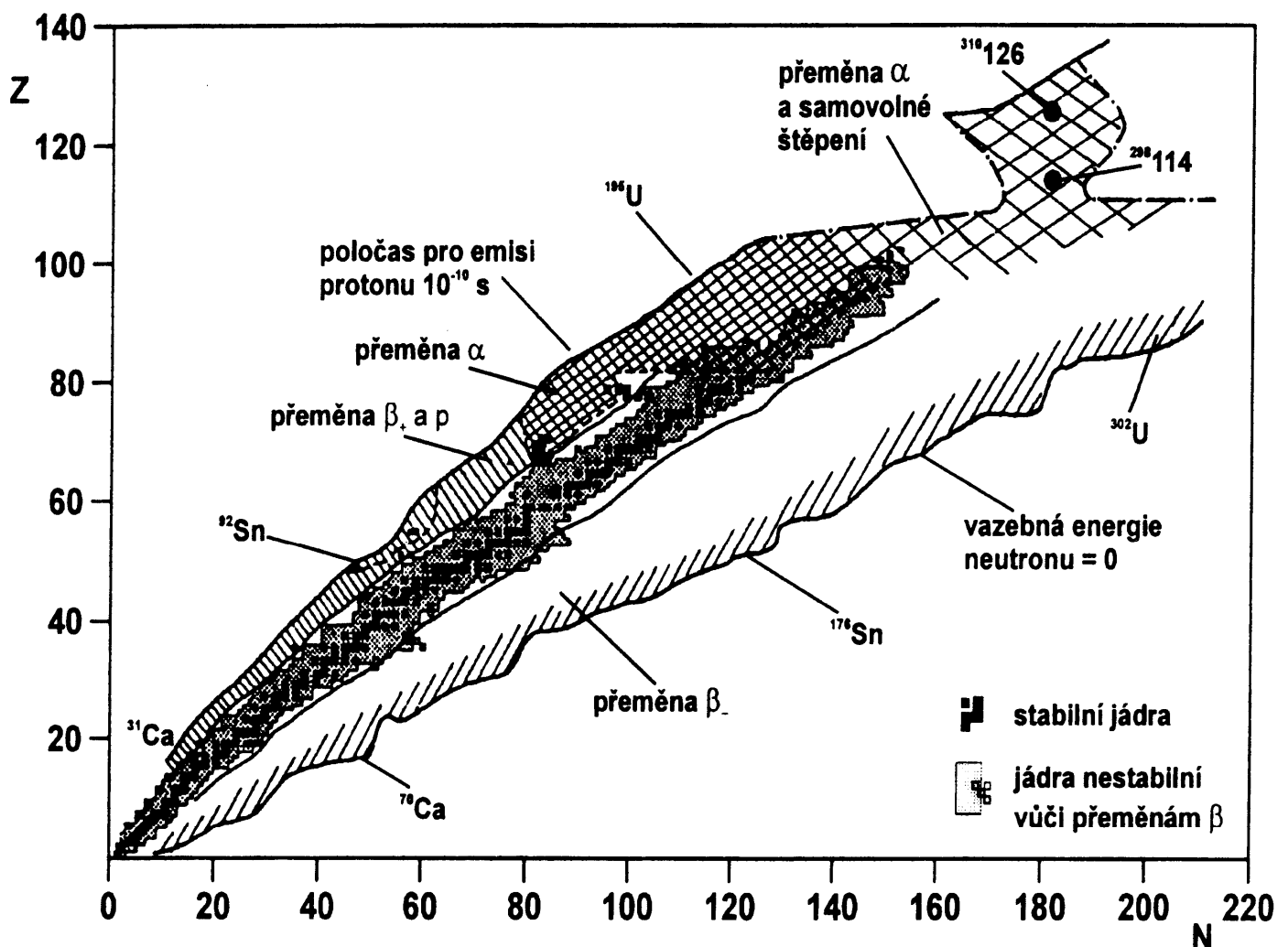
Dvě možnosti **uvolnění energie** při jaderných přeměnách:

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**.

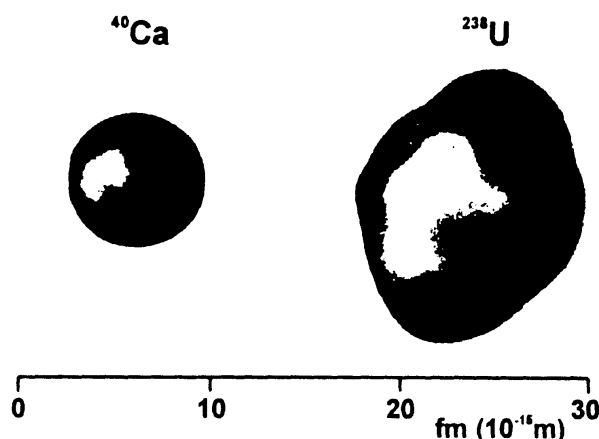


Kapkový model jádra

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)

