

JADERNÁ FYZIKA

1. Úvod

- **jádra** – E. Rutherford, 1914 první jaderná reakce: ${}^4_2\alpha + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$
- **jaderné síly** = nový druh velmi silných sil
vzdálenost okolo 10^{-15} m (rozměry atomu 10^{-10} m)
působí mezi okolními nukleony
p-p!!!, p-n, n-n
- **jaderné reakce** = jádra se mění nebo uvolňují/absorbují energii, zachovává se:
náboj
hybnost
počet nukleonů
energie a hmotnost
jestliže se energie objektu změní o ΔE , pak se jeho hmotnost musí změnit o Δm

Příklad: 1 kg vody se ohřívá z 20 °C na 100 °C, získává teplo $Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$, tj. $4200 \cdot 1 \cdot 80 \text{ J} = 336 \text{ kJ} = E$, její hmotnost

se změní o $\frac{E}{c^2}$, což je $3,7 \cdot 10^{-14}$ kg, a to je velmi málo. Tomu odpovídá energie pro hmotnostní jednotku

$$m_u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}, E = m_u c^2 = 931 \text{ MeV}$$

http://www.windows2universe.org/physical_science/physics/atom_particle/atomic_nucleus.html

<http://en.wikipedia.org/wiki/Atom>

<http://www.lbl.gov/abc/wallchart/teachersguide/pdf/Chap02.pdf>

<http://www.youtube.com/watch?v=PdFsb2sWrW4>

2. Úbytek hmotnosti (Δm) a vazebná energie jader (E_B)

hmotnost jader je vždy o něco menší než součet hmotností všech nukleonů dohromady. Tento rozdíl nazýváme *hmotnostní úbytek* a ten souvisí s *vazebnou energií* jader.

$$E_B = (Zm_p + Nm_n - m_{\text{jader}}) c^2$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\Delta m}$

Diagrammatic labels for the equation above:
 - Z : protonové číslo
 - m_p : hmotnost protonu
 - N : neutronové číslo
 - m_n : hm. neutronu
 - m_{jader} : hmotnost jádra

Vazebná energie pro nukleony

$$e_B = \frac{E_B}{A} \quad A = Z + N \dots \text{nukleonové číslo}$$

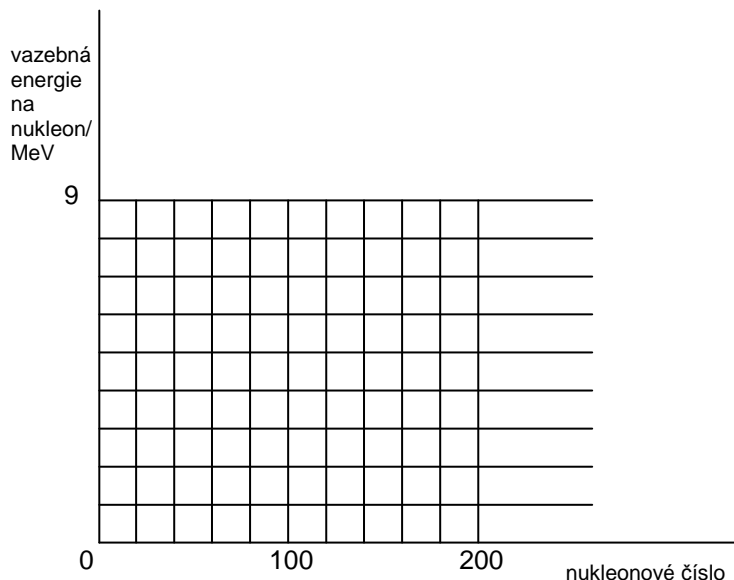
je to velmi důležitá veličina pro stanovení, zda nějaká reakce může být použita jako zdroj energie.

Energie může být uvolněna, jen když se v následujícím grafu pohybujeme „směrem nahoru“ – pouze v případě, když je vazebná energie produktu reakce připadající na jeden nukleon větší než vazebná energie původního jádra (jader) připadající na jeden nukleon – fúze lehkých jader (H) nebo štěpení těžkých nukleonů

Použij následující údaje a načrtni graf ukazující závislost vazebné energie na nukleonovém čísle.

Vyznač tyto prvky: ${}^2_1\text{H}$, ${}^4_2\text{He}$, ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{16}_8\text{O}$

Graf (1):



3. Jaderné reakce

a) JADERNÉ PŘEMĚNY

při jaderné přeměně se proměňuje struktura jádra, jeden nuklid se mění v jiný. Jádro se může změnit v jiné nebo alespoň ztratí část své energie;

b) JADERNÉ ŠTĚPENÍ

jádra se rozštěpí na části přibližně stejné hmotnosti, energie se uvolní;

c) JADERNÁ FÚZE (SLUČOVÁNÍ)

dvě lehká jádra se sloučí v těžší a uvolní se energie.

a) JADERNÉ PŘEMĚNY, radioaktivita

Radioaktivitu objevil v roce 1896 Henri Becquerel – při výzkumu fosforescence některých látek a jejich účinku na fotografickou desku. Může také ionizovat plyny.

Marie Curie – další látky – radium, polonium – získané jednodušší cestou

Dokonči tabulku:

záření	zdroj	pronikavost	ionizace	Ovlivňování elektrického a magnetického pole
α				
β				
γ				
n				

Zákon radioaktivní přeměny

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

t ... časový interval ($t = t_1 - t_0$)

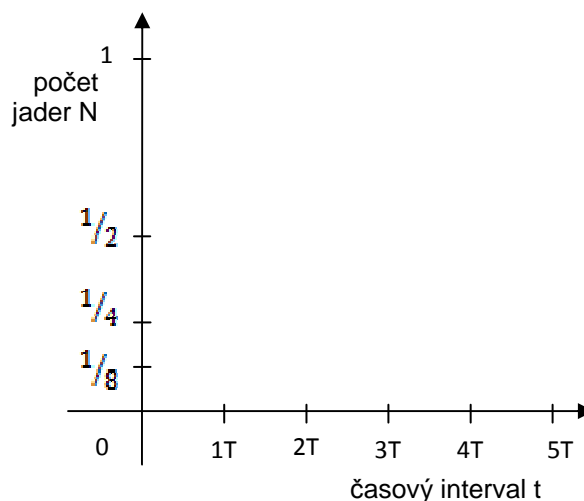
λ ... přeměnová konstanta (závisí na materiálu)

N_0 ... počet jader na počátku přeměny (t_0)

N ... počet jader na konci přeměny (t_1)

Načrtni křivku radioaktivní přeměny:

Graf (2)



- **poločas rozpadu** T = doba, za kterou počet aktivních jader klesne na polovinu

souvislost mezi přeměnovou konstantou a poločasem rozpadu

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$$

$$\ln 2 = \lambda T \quad (\approx 0,693)$$

- **Aktivita (A)** = počet jaderných přeměn za sekundu

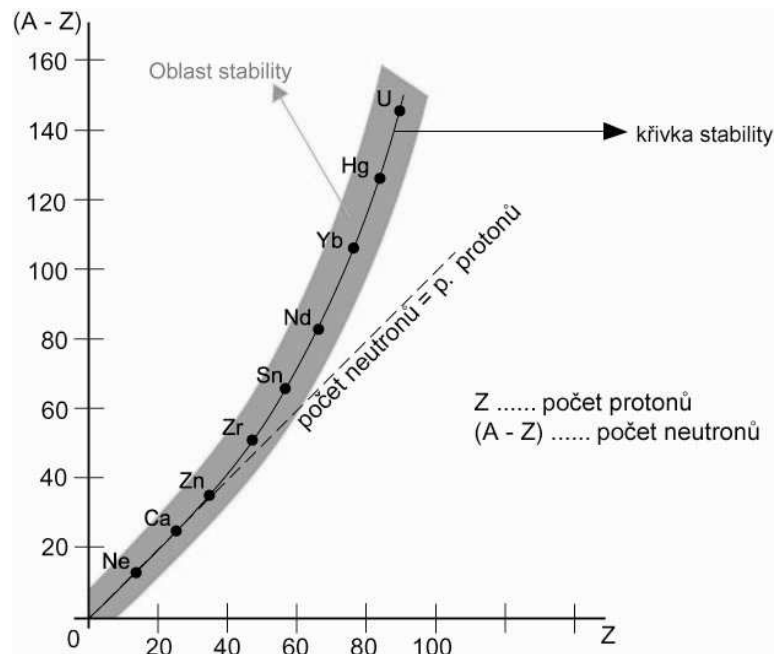
$[A] = \text{Bq}$... becquerel

1 Bq = jedna přeměna za sekundu

- **jaderná stabilita**

těžší jádra potřebují více neutronů než protonů, aby byla stabilní, protože jaderné síly jsou krátkého dosahu a vzdálenější protony jsou odpuzovány elektrostatickou silou – viz graf (3):

Graf (3):



- **detekce**

lidé záření nevnímají – nepodceňovat účinky!!!

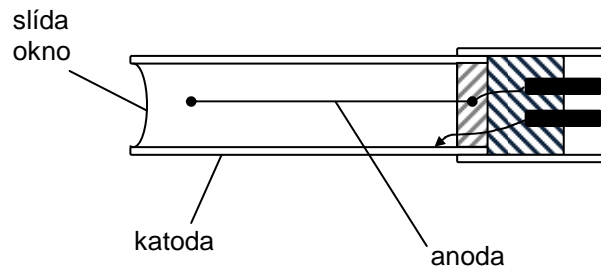
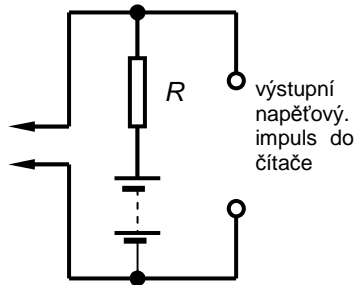
detektory jsou založeny na různých principech, některé na určení intenzity, některé ukazují trajektorie

i) ionizace v plynech – detekce na základě intenzity

Geiger-Müller (G-M) počítač

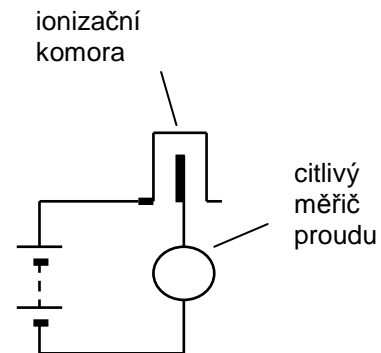
proudový impuls – pípnutí nebo počítání

pouze pro záření β a γ (vysvětlí)

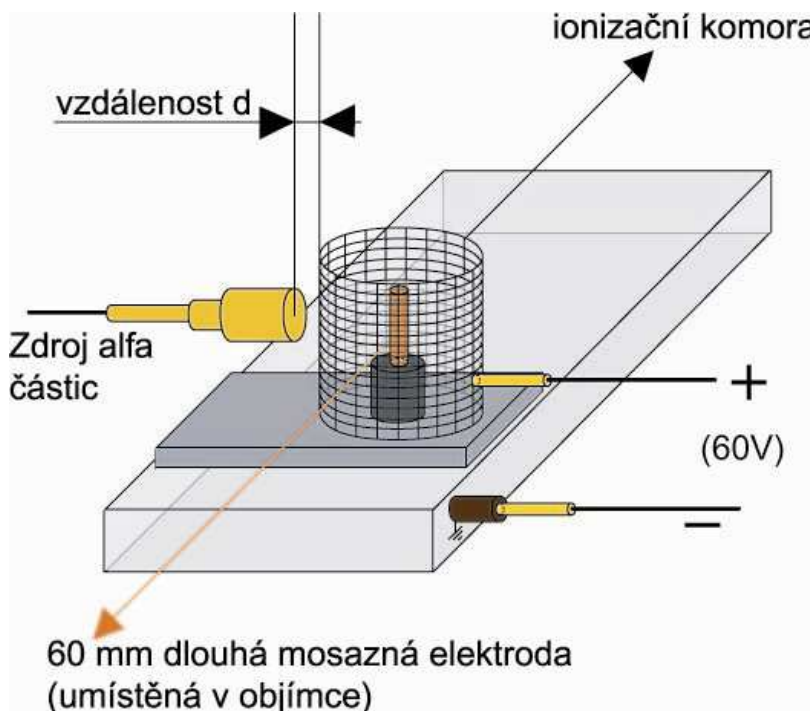


ionizační komora

jednodušší zařízení – komorou prochází slabý elektrický proud, zářením proud vzroste, hlavně pro α (vysvětlí)



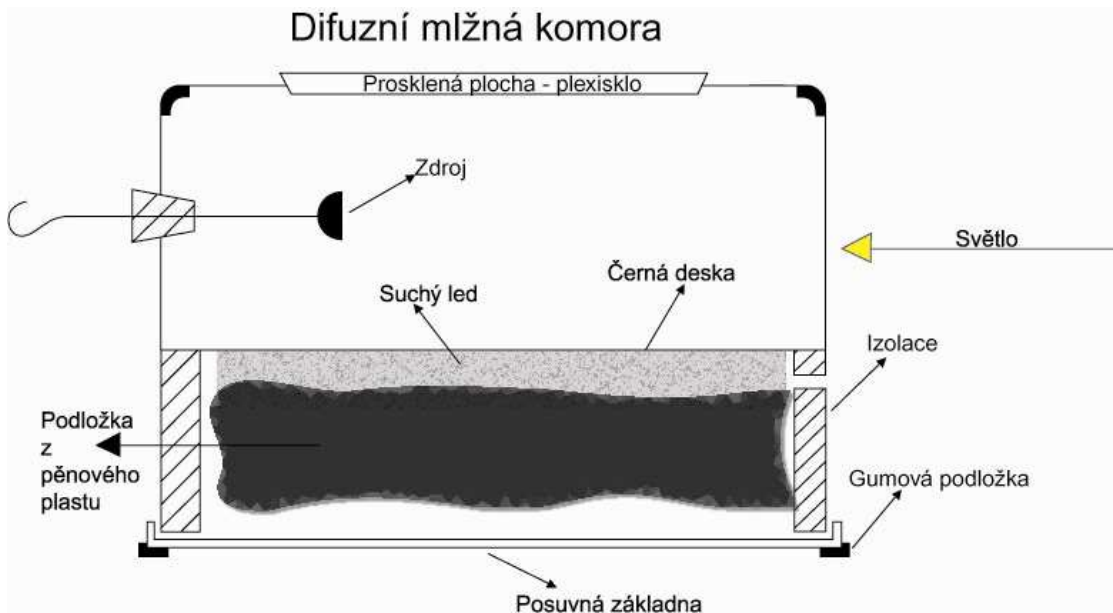
Obrázek (1):



ii) ionizace + změna skupenství – pozorování trajektorií (dráhové komory)***mlžná komora***

zdroj uvnitř, naplněná párou v přesyceném stavu – proletí částice – vznik kondenzačních jader – kapičky ukazují trajektorii

Obrázek (2):

***bublinová komora***

tekutý vodík – ionty vzniklé průchodem částice kapalinou se stávají zárodky bublinek, které lze vyfotografovat

iii) jaderná fotografická emulze – vystavení světlu**iv) fluorescence fosforu ve scintilačních komorách**

Otázky: Diskutujte o použití výše uvedených detektorů.

<http://www.youtube.com/watch?v=2D3xXEkmU8g&feature=related>

b) JADERNÉ ŠTĚPENÍ

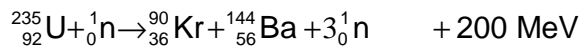
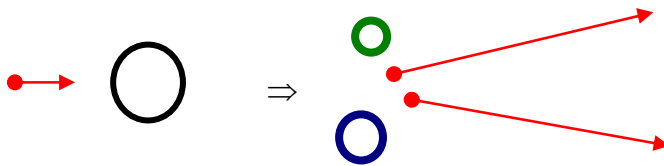
jádra se rozštěpí na části přibližně stejné hmotnosti, energie se uvolní

1932 – Chadwick objevil neutron

1939 – Fermi (It.); Hahn + Strassman (Něm.) – uran se rozštěpil, když byl bombardován neutrony = nový druh reakce!

zmenšení hmotnosti je znatelnější – energie se uvolní!

další štěpení emitovanými neutrony může vyvolat ŘETĚZOVOU REAKCI – důležité řídit reakci



rozštěpené části mohou být rozdílné a mohou být uvolněny 3 neutrony

Δm a tedy i uvolnění energie může být 45-krát větší, než při chemické reakci

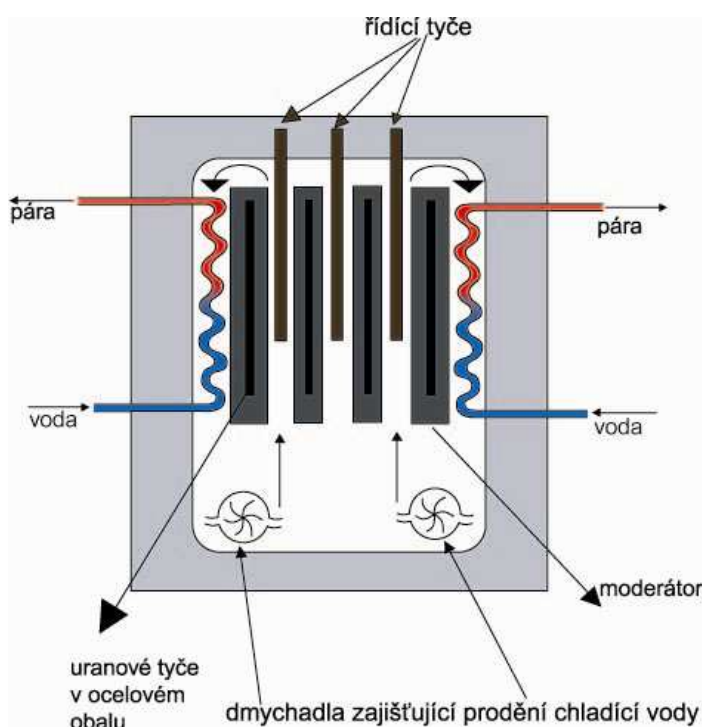
problém – části nejsou stabilní – rozklad – radioaktivita, dlouhý poločas rozpadu

• JADERNÁ REAKCE

V dodatkovém materiálu (1) si přečtete článek a vysvětlíte význam jednotlivých částí jaderného reaktoru.

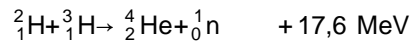
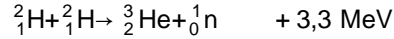
Otázka: V našich jaderných elektrárnách se používá voda jako moderátor a chladič. Je to výhodné?

Obrázek (3):



c) JADERNÉ SLUČOVÁNÍ

základní zdroj sluneční energie a bohužel také základ vodíkové bomby



menší energetický zisk na reakci, ale ne na jednotku hmotnosti!

- problém
- silné odpuzování jader – zahřátí na 10^9 K – nádoba???
 - jak řídit horkou plasmu?

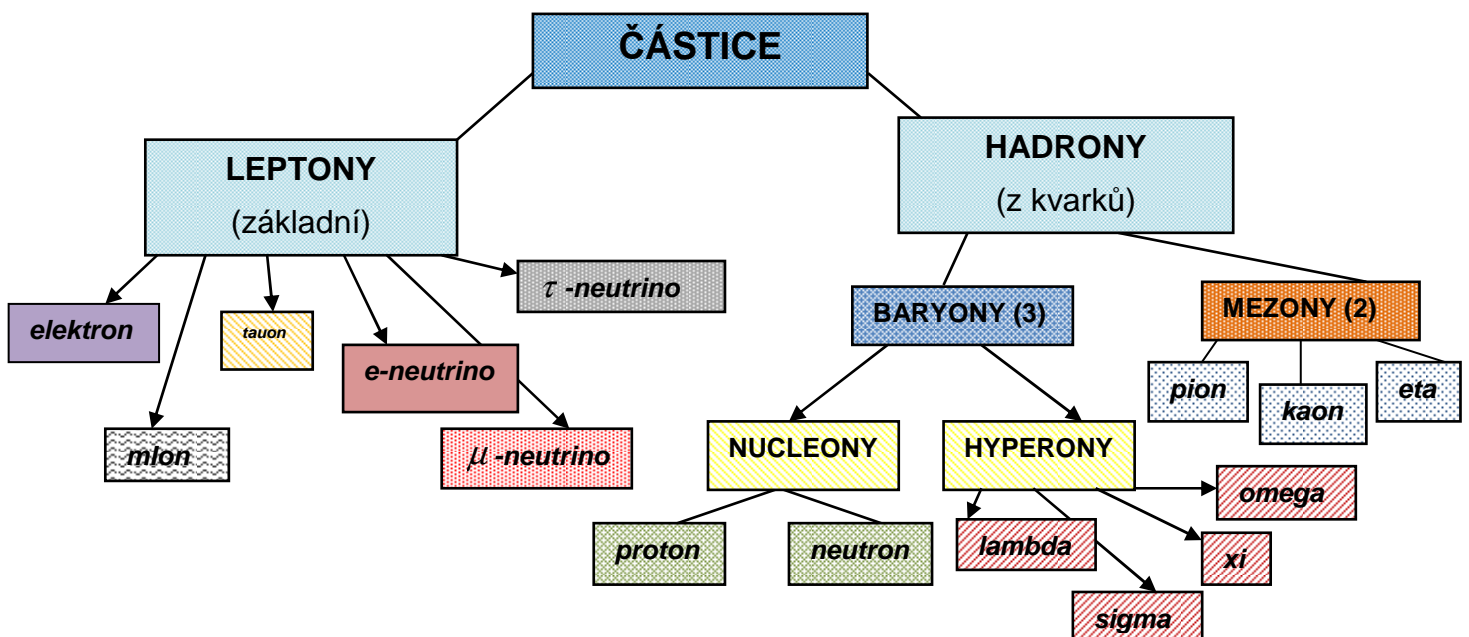
TERMOJADERNÉ (TERMONUKLEÁRNÍ) FÚZE

- neřízené – bomba (k získání vysoké teploty může být použito štěpení jader)
- řízené – vodík v oceánech – neomezený zdroj, problém kontroly, nádoba, ... reaktor by musel mít velké rozměry

Prostuduj dodatkový materiál (2) a porovnej jaderné štěpení a slučování jako zdroje energie (výhody, nevýhody)

4. Elementární částice

- látka je tvořena třemi druhy částic – elektrony, proton, neutron nemohou být použity k vysvětlení interakcí hmotaXhmota, energieXhmota, energieXenergie
 - neutrino – produkováno během záření β , potřebné k vytvoření těžších částic než je vodík
 - pion – jeho změna odpovídá silné jaderné reakci
 - dnes známe stovky dalších objevených částic, byly objeveny v kosmickém záření a později v urychlovačích – cyklotrony a synchrotrony, urychlení částice (proton) vnějším magnetickým a elektrickým polem
- **cyklotron** – konstantní frekvence, nepřetržitý svazek protonů, rychlost je omezena
 - **synchrotron** – frekvence se mění podle rychlosti protonu
 - *Prostudujte dodatkové materiály (3) a (4):*



+ 6 antičástic

+ mnoho dalších

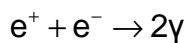
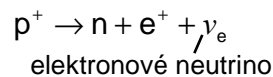
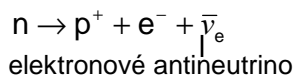
Viz *dodatkový materiál (5)*

+antičástice z antikvarků

nulový nebo celočíselný spin mají **BOSONY** – splňují Bose - Einsteinovu statistiku, stejně jako fotony
poloviční spin mají **FERMIONY** – řídí se Fermi - Diracovou statistikou a podřizují se Pauliho vylučovacímu principu

LEPTONY

- nejsou ovlivněny silnou jadernou interakcí
- elektron – stabilní, lehký
- neutrino – stabilní, „nulová“ hmotnost, problém s detekcí – dokonce ani železná deska 1 světelný rok tlustá by je nezpomalila!



HADRONY

- působí na sebe silnými jadernými silami a jsou složeny z kvarků

MESONY částice zprostředkující jaderné síly mezi nukleony, mají charakter bosonů

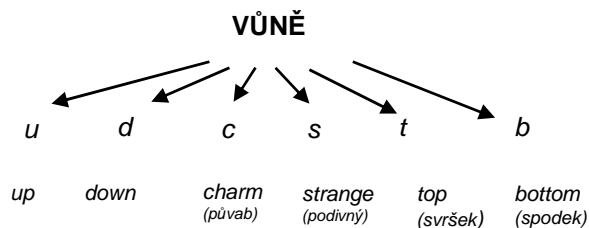
BARYONY představují „hmotu“, jsou to fermiony

nukleony jsou stabilní, neutron je stabilní pouze v jádru
mnoho dalších – těžší – rozpadají se rychle

kvarky jsou části hadronů, nemohou existovat odděleně a mají vlastnosti, které nazýváme vůně a barva, další jsou stále objeveny



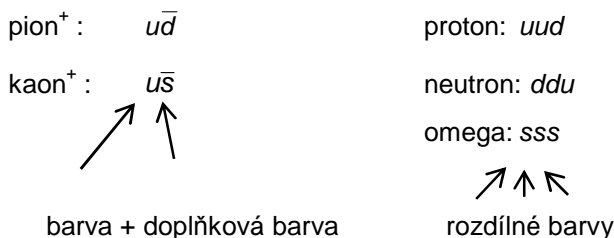
+ antibarvy



+ antivůně

Poznámka: *s* může být také *side* (strana), *t* *truth* (pravda) a *b* *beauty* (krása).

mezony jsou tvořeny z 1 kvarku + 1 antikvarku odpovídajících doplňkových barev – jsou bezbarvé
baryony jsou složeny ze 3 kvarků různých barev - jsou BÍLÉ
barvy existují pouze u hadronů!
přítomnost 2 identických kvarků v jednom hadronu porušuje Pauliho vylučovací princip – příklady



náboj kvarků: $+\frac{2}{3}$ pro u, c, t $\left(-\frac{2}{3} \text{ pro } \bar{u}, \bar{c}, \bar{t}\right)$

$-\frac{1}{3}$ pro d, s, b $\left(+\frac{1}{3} \text{ pro } \bar{d}, \bar{s}, \bar{b}\right)$

kvarky drží pohromadě díky výměně **GLUONŮ**, hmotnost 0, $v = c$, skládají se z barvy + odlišné doplňkové barvy (modrá – doplňková k červené atd.), emise nebo absorpce změni barvu gluonu

<http://www.youtube.com/watch?v=Vi91qyjuknM&feature=related>

Čtyři základní interakce Graviton nebyl dosud experimentálně detekován

Interakce	Ovlivněné částice	Dosah	Intenzita	Intermediální (polní, výměnné) částice	Úloha ve vesmíru
Silná	Kvarky Hadrony	$\sim 10^{-15}$ m	1	Gluony Mezony	Drží pohromadě kvarky v nukleonech Drží pohromadě nukleony v atomových jádrech
Elektromagnetická	Nabitě částice	∞	$\sim 10^{-2}$ m	Fotony	Určuje strukturu atomů, molekul, pevných látek a kapalin, je důležitým faktorem ve vesmíru
Slabá	Kvarky leptony	$\sim 10^{-17}$ m	$\sim 10^{-5}$ m	Intermediální bozony W^+, W^-, Z	Zprostředkovává transformace kvarků a leptonů, pomáhá určit složení atomových jader
Gravitační	Všechny částice	∞	$\sim 10^{-30}$ m	Gravitony	Shromažďuje hmotu do planet, hvězd, galaxií

<http://www.youtube.com/watch?v=-P4N-0Wbtyk&NR=1>

Jedním z cílů fyziky je vytvořit jediný teoretický obraz, který by sjednocoval všechny interakce částic. Bylo už dosaženo velkého pokroku, ale vývoj není zdaleka završen.

