

Mezony π^0 a η jsou OBA 'namíchány' z kvarků u a \bar{u} , d a \bar{d} , a η dokonce i z s a \bar{s} , ale každý JINÝM ZPŮSOBEM. Pouhý kvarkový obsah totiž plně nevystihuje danou částici, takže to není tak jednoduché, jak jste si možná představoval. Namíchání vypadá přibližně takhle:

$\pi^0 = u \bar{u} - (d \bar{d})$

$\eta =$ kombinace $(u \bar{u}) + (d \bar{d}) + (s \bar{s})$
a $(u \bar{u}) + (d \bar{d}) - 2(s \bar{s})$

Tvar namíchání hlouběji souvisí s jistou symetrií, která se za vším skrývá. Jde tak o odlišné fyzikální stavy, což se projevuje jako odlišné částice (různé hmotnosti).

Dalším rozdílem je, že pion se vyskytuje ve třech různých nábojových variantách (π^+ , π^0 , π^-), kdežto η pouze v jedné neutrální.

Pokud vás zajímá více, přečtěte si [podrobnější odpověď](#).. (pouze pro otrlé:)

Odkazy: Doporučuji zejména Text J. Chýly, str. 54-56, tam se skutečně dozvíte tvar vlnových funkcí protonů, neutronů...; dále str. 67: http://www-hep2.fzu.cz/Centrum/uc_texty.html

Text o mezonu η a neutrálním pionu:(stránky 2,5)

http://www.ph.ic.ac.uk/ug/course_materials/docs/nuclear_particle_phys_lecture07.pdf

Kvarkový model: <http://pdg.lbl.gov/2002/quarkmodrpp.pdf>

Hmoty kvarků, různé definice a současné hodnoty: http://pdg.lbl.gov/2002/quarks_q000.pdf
(Jiří Kvita)

.-.-.-

Poslední mezon objeven

Mezinárodní skupina vědců pracující na [srážkovém detektoru \(CDF\)](#) ve Fermiho laboratoři v USA, ohlásila *počátkem dubna* objev **posledního z mezonů předpovězených** podle Standardního modelu s označením B_c . Je tvořen tzv. půvabným kvarkem a spodním antikvarkem.

Mezony jsou středně těžké částice podléhající silné interakci, tedy hadrony, s celočíselným spinem, složené z jednoho kvarku a jednoho antikvarku. První mezon - π (pion) byl objeven roku 1947, při pozorování stop částic kosmického záření. Následovaly objevy dalších tzv. podivných mezonů - K^0 a K^+ - v letech 1949 - 1951. V 60. letech vznikla teorie složení hadronů z kvarků (M. Gell-Man a G. Zweig). Původně se předpokládalo že existují tři kvarky a jim odpovídající antikvarky. V roce 1974 byla objevena nezávisle dvěma laboratořemi nová částice pojmenovaná jako J či ψ , později značená kompromisně J/ψ , což vedlo k nutnosti rozšířit počet kvarků o další tři. Byl vytvořen tzv. **Standardní model**, tedy jakási periodická tabulka částic. **Všechny předpovězené mezony tvořené možnými kombinacemi kvarků byly již dříve pozorovány v kosmickém záření nebo při kolizních experimentech.** Jen poslední nejlehčí mezon se dlouho nedařilo najít. Až letos poskytl experiment, na kterém pracovalo asi 450 vědců z mnoha zemí, konečně dostatek informací a očekávaný objev byl učiněn. Experimentálně zjištěná doba života nalezeného mezonu však byla jen poloviční oproti teoreticky předpovězené hodnotě - půl biliontiny sekundy. Toto zjištění pomůže upřesnit teoretické modely a dá patrně odpověď na některé dosud nerozřešené otázky.

[Observation of \$B_c\$ Mesons in p-pbar Collisions at \$\sqrt{s}=1.8\$ TeV](#)

[Discovery of the \$B_c\$ Meson](#)



We report the observation of bottom-charmed mesons B_c in 1.8~TeV p-pbar collisions using the CDF detector at the Fermilab Tevatron. The B_c mesons were found through their semileptonic decays, $B_c \rightarrow J/\psi + [e \text{ or } \mu] + \text{neutrino}$ with the J/ψ decaying to two muons. A fit to the trilepton mass distribution yielded $20.4 \pm 6.2 \pm 5.5$ events from B_c mesons. A test of the null

hypothesis, i.e. an attempt to fit the data with background alone, was rejected at the level of 4.8 standard deviations. By studying the quality of the fit as a function of the assumed B_c mass, we determined $M(B_c) = 6.40 \pm 0.39(\text{stat.}) \pm 0.13(\text{syst.}) \text{ GeV}/c^2$. From the distribution of trilepton intersection points in the plane transverse to the beam direction we measured the B_c lifetime to be $0.46 \pm 0.18 - 0.16(\text{stat.}) \pm 0.03(\text{syst.}) \text{ ps}$. We also measured the ratio of production cross section times branching fraction for $B_c \rightarrow J/\psi + \text{lepton} + \text{neutrino}$ relative to that for $B^+ \rightarrow J/\psi K^+$ to be: $0.132 \pm 0.041 - 0.037(\text{stat.}) \pm 0.031(\text{syst.}) \pm 0.032 - 0.020(\text{lifetime})$. (100 pages)

PACS: 14.40.Nd, 13.20.He, 13.30.Ce, 13.60.Le, 13.87.Fh

Author comment: <http://www-cdf.fnal.gov/physics/new/bottom/cdf3991/cdf3991.html>

Meson D_s(2317)

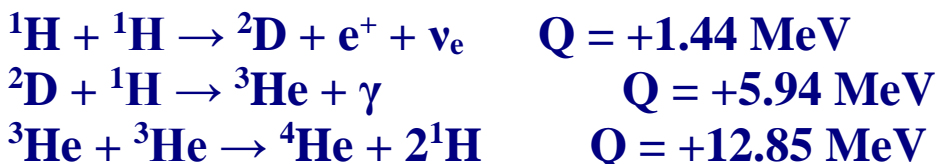
Meson D_s(2317), objevený v dubnu 2003 při srážkách elektronů a pozitronů o vysoké energii na zařízení SLAC (*the Stanford Linear Accelerator Center*), má hmotnost 2.317 GeV, tedy asi o 170 MeV méně, než se podle současných teorií kvarkových interakcí očekávalo. Proto fyzikové potřebují nové vysvětlení, jak je půvabný kvark spojen s půvabným antikvarkem. Obecně, mesony D_s a mesony D tvoří skupinu částic, které obsahují půvabný kvark spojený s lehkým antikvarkem. Symbol "s" označuje, že mesony D_s obsahují půvabný kvark spojený s půvabným antikvarkem, zatímco mesony D obsahují půvabný kvark spojený s antikvarkem "d". Skupina Babar ve středisku SLAC, která učinila experimentální objev (*Aubert et al., Physical Review Letters, 20. června 2003, tisková zpráva [X1]*), tvrdí, že nová částice D_s(2317) se skládá ze čtyř kvarků.

Dvojice portugalských fyziků tvrdí, že v jejich modelu, kdy se tento meson skládá z půvabného kvarku a půvabného antikvarku, jeho hmotnost pochází ze silné jaderné interakce zodpovědné za vytvoření nebo zánik mesonu.

Použitím tohoto modelu **Eef van Beveren** (Univerzita Coimbra) a **George Rupp** (CFIF laboratoř, IST, Lisabon, Portugalsko) již úspěšně předpověděli hmotnosti několika mesonů v minulosti (jako meson kappa objevený na zařízení Fermilab s hmotností 800 MeV). V případě mesonu D_s předpověděli hmotnost velmi blízkou mesonu D_s(2317), tedy v rozsahu 2.1 až 2.3 GeV. Dále předpověděli hmotnost těžšího dosud neobjeveného mesonu o hmotnosti 2.8 GeV. Podle van Beverena a Ruppovy dvojice mesonů D_s a D jsou v jistém smyslu různé aspekty jediného kvark-antikvarkového stavu. (*Physical Review Letters, článek [X2], kontakt: George Rupp, [M1]*)

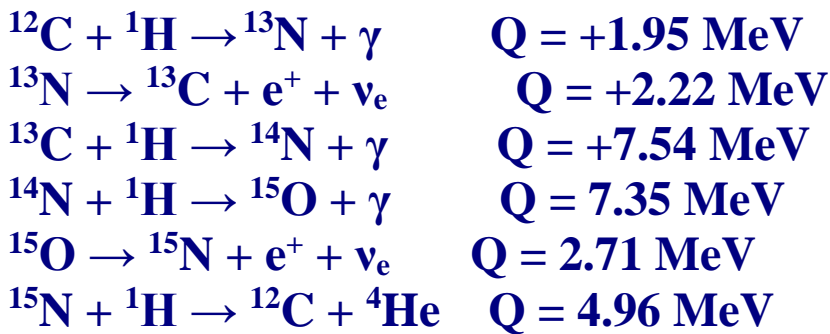
.....
Nukleosyntéza

p-p řetězec:



uplatňuje se při $T = 10^{6.8}\text{K} - 10^{7.2}\text{K}$

CNO cyklus:



uplatňuje se při $T = 10^{7.2}\text{K} - 10^{7.7}\text{K}$ Při ještě vyšších teplotách ($T = 10^8\text{K}$) - **3 α -proces** (Salpeterův):

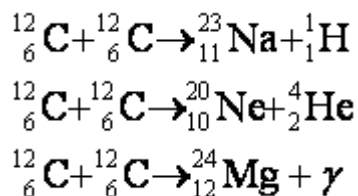


Wagner

.....
U hmotnějších hvězd (8 – 30 hmotností Slunce) dochází po spálení hélia na uhlík ke gravitačním kontrakcím (protože se snížila intenzita záření), tím se zvyšuje teplota a hustota ve hvězdě a začíná spalování těžších nuklidů. Uvolněná energie je srovnatelná s 3 α reakcemi, ale silná emise vznikajících neutronů vytváří vysoké teploty a způsobuje, že doba existence hvězdy je mnohem menší, než hvězdy spalující helium. Pravděpodobnost objevení takovýchto hvězd je velmi malá, díky krátké době existence. Zatím není známa žádná hvězda, která by v klidném stavu produkovala svou zářící energii spalováním uhlíku a dalších těžkých prvků.

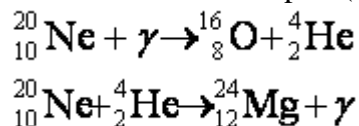
Spalování uhlíku

V intervalu teplot $5 \cdot 10^8 \text{ K} - 1 \cdot 10^9 \text{ K}$ a hustot $(1 - 2) \cdot 10^5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ se začínají spalovat jádra uhlíku v těchto reakcích:



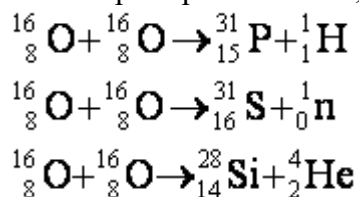
Spalování neonu

Probíhá v intervalu teplot $(1 - 1,5) \cdot 10^9 \text{ K}$ v těchto reakcích:



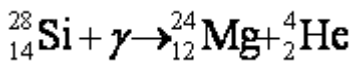
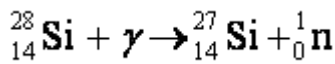
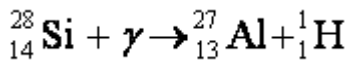
Spalování kyslíku

Probíhá při teplotách nad $1,5 \cdot 10^9 \text{ K}$ v těchto reakcích:

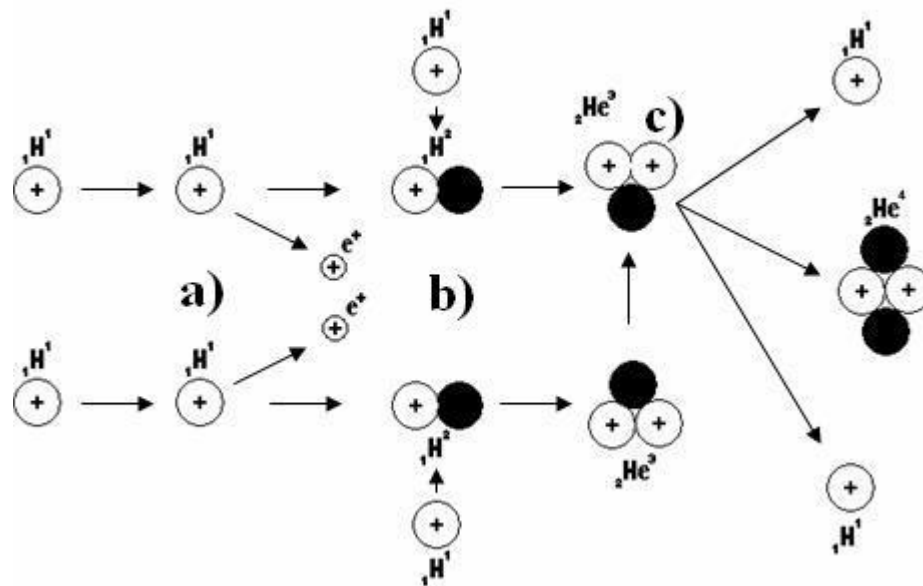


Spalování křemíku

Probíhá při teplotách asi $3 \cdot 10^9$ K. Jádro křemíku reaguje s vysoce energetickými fotony při těchto reakcích:

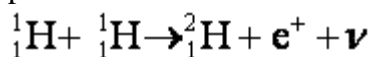


PROTON – PROTONOVÝ CYKLUS I

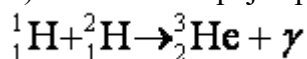


Probíhá při teplotách okolo 10^7 K a hustotě $100 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

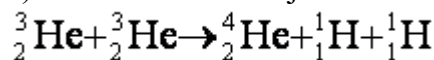
a) První reakcí proton – protonového cyklu je vznik deuteronu kombinací dvou protonů za emise pozitronu a neutrina.



b) Deuteron se spojí s protonem a vzniká jádro ${}_2^3\text{He}$ a foton (gama záření).



c) Posledním krokem je reakce dvou jader ${}_2^3\text{He}$, které vytvářejí ${}_2^4\text{He}$ a dva protony

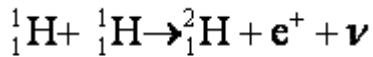


Získanou energii vypočítáme pomocí rovnice $E = mc^2$. Za m dosadíme rozdíl mezi hmotnostmi prvků do reakcí vstupujících a z reakce vystupujících. Malé c je rychlost světla. Získáme tak energii $24,7 \text{ MeV}$.

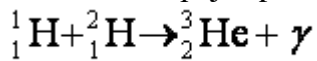
PROTONO-PROTONOVÝ CYKLUS II

Začátek je totožný jako PPI, liší se variantem v poslední reakci.

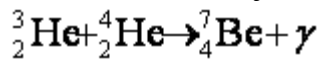
První reakcí proton – protonového cyklu je vznik deuteronu kombinací dvou protonů (tedy jader vodíku) za emise pozitronu a neutrina.



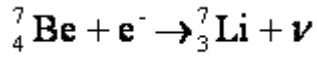
Deuteron se spojí s protonem a vzniká jádro ${}^3_2\text{He}$.



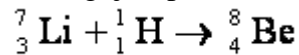
Jádro ${}^3_2\text{He}$ se srazí s jádrem ${}^4_2\text{He}$ a vznikne ${}^7_4\text{Be}$ a foton (gama záření).



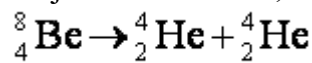
Jádro ${}^7_4\text{Be}$ se srazí s elektronem e^- a vznikne ${}^7_3\text{Li}$ a neutrino.



${}^7_3\text{Li}$ reaguje s protonem ${}^1_1\text{H}$ a vzniká ${}^8_4\text{Be}$.

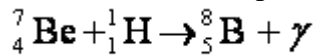


${}^8_4\text{Be}$ je však nestabilní, a tak se samovolně rozpadá na dvě jádra hélia ${}^4_2\text{He}$.

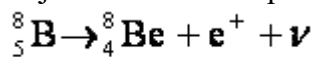


* Od této reakce se může cyklus odvíjet po jiné cestě:

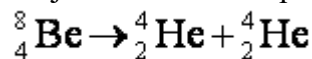
Jádro ${}^7_4\text{Be}$ se srazí s protonem, vznikne bor ${}^8_5\text{B}$ a foton (gama záření).



${}^8_5\text{B}$ je nestabilní a rozpadá se na ${}^8_4\text{Be}$, pozitron e^+ a neutrino.



${}^8_4\text{Be}$ je nestabilní a rozpadá se na dvě jádra ${}^4_2\text{He}$.

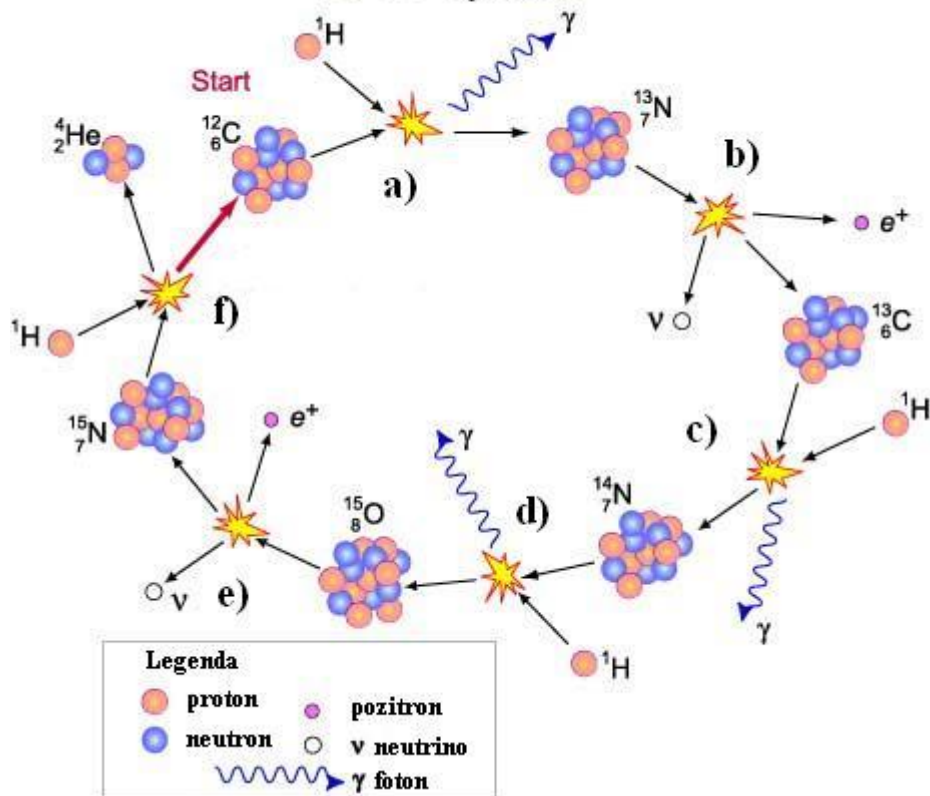


.....

CNO PROCES

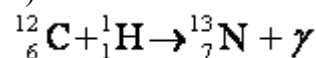
Obsah uhlíku a kyslíku umožňuje další typ reakce, tzv. CNO cyklus. Zde do reakce vstupuje vodík H a vystupuje ${}^4_2\text{He}$. Uhlík C, dusík N a kyslík O jsou pouze moderátory reakce.

CNO cyklus

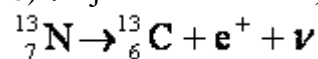


Začneme základním schématem a později si ukážeme další možné cesty spalování.

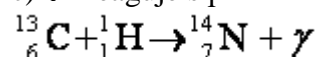
a) První reakcí bude reakce $^{12}_6\text{C}$ s protonem za vzniku $^{13}_7\text{N}$ a fotonu (gama záření).



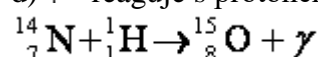
b) $^{13}_7\text{N}$ je však nestabilní, a tak dochází k jeho rozpadu na $^{13}_6\text{C}$, pozitron e^+ a neutrino.



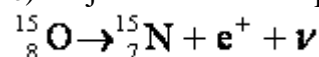
c) $^{13}_6\text{C}$ reaguje s protonem a vzniká $^{14}_7\text{N}$ a foton (gama záření).



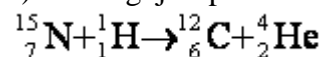
d) $^{14}_7\text{N}$ reaguje s protonem a vzniká $^{15}_8\text{O}$ a foton (gama záření).



e) $^{15}_8\text{O}$ je nestabilní a rozpadá se na $^{15}_7\text{N}$, pozitron e^+ a neutrino.



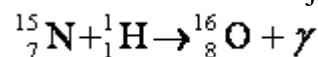
f) $^{15}_7\text{N}$ reaguje s protonem a vzniká $^{12}_6\text{C}$ a ^4_2He .



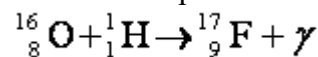
Tím jsme uzavřeli základní CNO cyklus.

1. varianta může být připojení boční větve, která vede od $^{15}_7\text{N}$ proti směru základního cyklu a napojuje se na $^{14}_7\text{N}$.

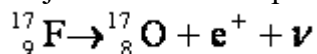
První reakcí této větve je reakce $^{15}_7\text{N}$ s protonem za vzniku $^{16}_8\text{O}$ a fotonu (gama záření).



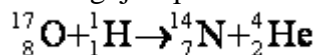
$^{16}_8\text{O}$ se srazí s protonem vzniká $^{17}_9\text{F}$ a foton (gama záření).



$^{17}_9\text{F}$ je nestabilní a rozpadá se na $^{17}_8\text{O}$, pozitron e^+ a neutrino.



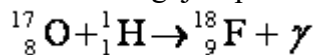
$^{17}_8\text{O}$ reaguje s protonem a vzniká $^{14}_7\text{N}$ a ^4_2He .



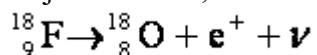
Touto reakcí jsme se napojili na základní CNO cyklus.

2. variantou je větev, která začíná u $^{17}_8\text{O}$ 1. variantě a končí u $^{15}_7\text{N}$ základního CNO cyklu.

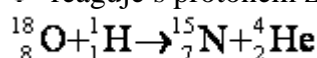
$^{17}_8\text{O}$ také reaguje s protonem, ale vzniká fluor $^{18}_9\text{F}$ a foton (gama záření).



$^{18}_9\text{F}$ je nestabilní, a tak se rozpadá na $^{18}_8\text{O}$, pozitron e^+ a neutrino.



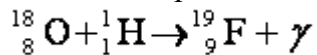
$^{18}_8\text{O}$ reaguje s protonem za vzniku $^{15}_7\text{N}$ a ^4_2He .



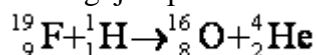
Zde jsme se opět dostali k základnímu CNO cyklu.

3. varianta je krátká a vede od $^{18}_8\text{O}$ v druhé variantě ke $^{16}_8\text{O}$ ve variantě první.

$^{18}_8\text{O}$ se sráží s protonem a vzniká $^{19}_9\text{F}$ spolu s fotonem (gama záření).



$^{19}_9\text{F}$ reaguje s protonem a vzniká $^{16}_8\text{O}$ a ^4_2He .

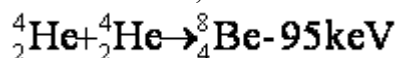


.....

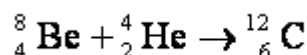
3 ALFA PROCES

Při tři alfa procesu hvězda spaluje hélium na uhlík. Tento proces začíná asi při $1,5 \cdot 10^8$ K. Vyšší teplota je potřebná k překonání odpuzivých sil jader hélia. Proč 3 α proces? Tři značí počet kroků a α záření jsou pohybuující se jádra ^4_2He .

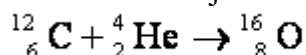
První reakce je endoenergetická, tedy k jejímu průběhu je zapotřebí dodat energii. Srážkou dvou jader ^4_2He vzniká ^8_4Be , musíme dodat energii 95 keV.



Do ^8_4Be okamžitě naráží další jádro ^4_2He a vzniká $^{12}_6\text{C}$.



Poslední reakcí je srážka jádra $^{12}_6\text{C}$ s jádrem ^4_2He za vzniku $^{16}_8\text{O}$.



.....

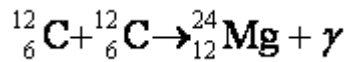
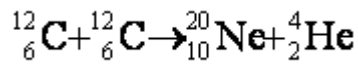
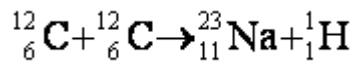
HOŘENÍ TĚŽKÝCH PRVKŮ

U hmotnějších hvězd (8 – 30 hmotností Slunce) dochází po spálení hélia na uhlík ke gravitačním kontrakcím (protože se snížila intenzita záření), tím se zvyšuje teplota a hustota ve hvězdě a začíná spalování těžších nuklidů. Uvolněná energie je srovnatelná s 3 α reakcemi, ale silná emise vznikajících neutrin vytváří vysoké teploty a způsobuje, že doba existence hvězdy je mnohem menší, než hvězdy

spalující helium. Pravděpodobnost objevení takovýchto hvězd je velmi malá, díky krátké době existence. Zatím není známa žádná hvězda, která by v klidném stavu produkovala svou zářící energii spalováním uhlíku a dalších těžkých prvků.

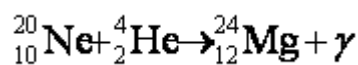
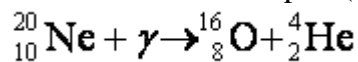
Spalování uhlíku

V intervalu teplot $5 \cdot 10^8 \text{ K} - 1 \cdot 10^9 \text{ K}$ a hustot $(1 - 2) \cdot 10^5 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ se začínají spalovat jádra uhlíku v těchto reakcích:



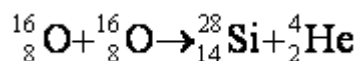
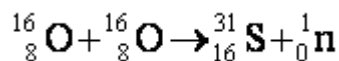
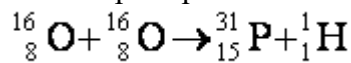
Spalování neonu

Probíhá v intervalu teplot $(1 - 1,5) \cdot 10^9 \text{ K}$ v těchto reakcích:



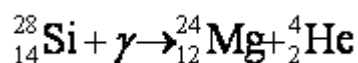
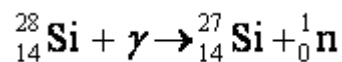
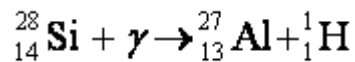
Spalování kyslíku

Probíhá při teplotách nad $1,5 \cdot 10^9 \text{ K}$ v těchto reakcích:



Spalování křemíku

Probíhá při teplotách asi $3 \cdot 10^9 \text{ K}$. Jádro křemíku reaguje s vysoce energetickými fotony při těchto reakcích:

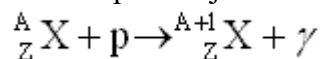


.....

S – PROCES

s – proces (slow neutron capture) je proces, při kterém neutrony procházejí elektrostatickou bariérou a připojují se k atomovým jádrům. Tímto způsobem vznikají vyšší a vyšší prvky, od ${}^{63}\text{Cu}$ po ${}^{109}\text{Bi}$.

Obecně probíhají reakce takto:



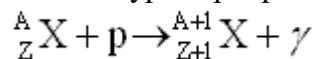
V tomto stádiu hvězdy je však volných neutronů málo, proto mnoho těžkých prvků nevznikne.

.....

P – PROCES

Při teplotách $5 \cdot 10^8 \text{ K}$ až 10^9 K mají volné protony takovou energii, že dokáží projít elektrostatickou bariérou a reagovat s jádrem tzv. p – procesem. Vznikají vněm prvky od Ti po Cu.

Obecně vypadá p – proces takto:



Nejvýnamnější je tento proces ve stádiu pre-supernovy.

.....

ALFA – PROCES

Při teplotě $T > 5 \cdot 10^8$ K začínají coulombovskou bariéru překonávat i částice α . Začne tvorba vyšších prvků pomocí α – procesu. α – procesem získáme 17 stabilních jader prvků.

.....

E – PROCES

Při teplotách okolo 10^9 K je v jádře hvězdy vysoce stlačená plazma, složená z nuklidů a volných elektronů. Vysoká energie fotonů způsobuje vytrhávání nukleonů z atomových jader. Vlivem vzájemných prudkých srážek dochází k redistribuci velkých fragmentů jader. Brzy vznikne rovnováha mezi volnými nukleony, nuklidy i zářením.

E – procesem (e = equilibrium = rovnováha) vznikají nejvíce stabilní prvky mezi Ti a Cu. Nejvíce vzniká Fe. S e – procesem skončí veškeré exotermické reakce a tlak záření náhle ustane.

.....

R – PROCES

Náhlé zastavení tlaku řázení má za důsledek zhroucení vnitřní části hvězdy do jejího centra volným pádem. Teplota v centru vzroste na desítky miliard kelvinů. Nuklidy v centru hvězdy se změny ve směs nukleonů, elektrony jsou vtlačeny do protonů a vznikne neutronové jádro. Část neutronů se dostává do středních a vyšších vrstev a během několika sekund proběhne tzv. r – proces (rapid neutron capture). Atomy v těchto vrstvách mohou během několika sekund zachytit stovky neutronů.

Stabilizují se okamžitou po sobě následující kaskádou beta rozpadů.

Tímto způsobem mohou vzniknout i vysoké transurany a celá řada nuklidů mezi protonovým číslem $Z = 26 - 92$.

.....

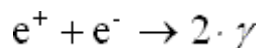
X – PROCES

X – procesem vysvětlujeme vznik prvků Li, Be, B. Předpokládá se, že tyto prvky vznikli fragmentací mezihvězdných atomů jiných prvků srážkami s částicemi a fotony kosmického záření.

.....

ANIHILACE

Anihilace je proces, při kterém částice reaguje se svojí antičásticí. Reagující částice zcela zaniknou a přemění veškerou svou hmotu na energii. V našem případě pozitrony anihilují s elektrony a vznikají fotony (záření gama).



Uvolněnou energii spočteme opět Einsteinovým vzorcem $E = m \cdot c^2$. Za m dosadíme součet hmotností elektronu a pozitronu, c je rychlost světla.

.....

ODKAZY

Česky

- [Aldebaran homepage](#) - server katedry fyziky FEL ČVUT věnovaný astrofyzice a fyzice plazmatu
- [Přednáška Jiřího Pleška - Geneze prvků](#) - Textová verze přednášky Jiřího Pleška

Literatura

- [G. S. Bisnovaty-Kogan](#): *Stellar Physics I*. Springer 2001.
- [Jiří Hála](#): *Radioaktivita, ionizující záření, jaderná energie*. Konvoj 1998.
- [RNDr. M. Šolc CSc., RNDr. J. Švestka CSc., prof. RNDr. V. Vanýsek DrSc.](#): *Fyzika hězd a vesmíru*. Praha, SPN, 1983.
- [Arthur Beiser](#): *Úvod do moderní fyziky*. Praha, Academia, 1975

.....
<http://www.astro.pef.zcu.cz/hvezdy/main.php?tema=zareni&page=15>

.....
<http://www.learned.cz/>

- **Spalování vodíku H → He** (hvězda na hlavní posloupnosti HR diag.)

a) přímá **proton-protonová** reakce ($p = {}^1\text{H}$)

1.dílčí reakce: ${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu$ (+ 1,44 MeV)

2.dílčí reakce: ${}^2\text{D} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$ (+ 5,49 MeV)

3.dílčí reakce: ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2 {}^1\text{H}$ (+ 12,85 MeV)

Celková energetická bilance: uvolnění 26,2 MeV = $4,2 \cdot 10^{-12}$ J/jádro He

b) **CNO cyklus**

1.dílčí reakce: ${}^{12}\text{C} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^{13}\text{N} + \gamma$ (+ 1,95 MeV)

2.dílčí reakce: ${}^{13}\text{N} \rightarrow {}^{13}\text{C} + e^+ + \nu$ (+ 2,22 MeV)

3.dílčí reakce: ${}^{13}\text{C} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^{14}\text{N} + \gamma$ (+ 7,54 MeV)

4.dílčí reakce: ${}^{14}\text{N} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^{15}\text{O} + \gamma$ (+ 7,35 MeV)

5.dílčí reakce: ${}^{15}\text{O} \rightarrow {}^{15}\text{N} + e^+ + \nu$ (+ 2,71 MeV)

6.dílčí reakce: ${}^{15}\text{N} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^4\text{He}$ (+ 4,96 MeV)

Celková energetická bilance: uvolnění 25,0 MeV = $4,0 \cdot 10^{-12}$ J/jádro He

Obecně:

Vazbová energie každého protonu v jádře He činí $0,007 m_0 c^2$

⇒ Účinnost termonukleárního spalování vodíku: $\approx 0,007 m_0 c^2$ (\approx **0,7 %**)

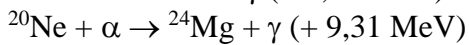
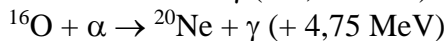
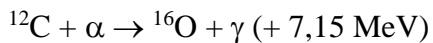
- **Spalování hélia He → C** (reakce $3\alpha \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma$)

${}^4\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^8\text{Be} + \gamma$

${}^8\text{Be} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma$ (+ 7,4 MeV)

- **Spalování uhlíku C → O, kyslíku , (α - procesy)**

Může pokračovat při stoupající teplotě : (pokud je ještě dost hélia)

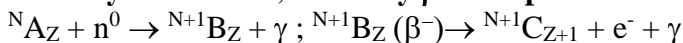


e t c

- **Nukleosyntéza těžších prvků**

◆ α – proces: **záchyt částice α** , reakce (α ,γ) - typicky až do ^{40}Ca

◆ **záchyt neutronů ; následný β⁻ – rozpad:**



pomalý záchyt n⁰ (probíhá pomaleji než β –rozpad) - až do N=210
rychlý záchyt - většinou v závěrečných stádiích

.....

Konec hmotné hvězdy:  **Výbuch supernovy**

- **1.důsledek: vyvržení syntetizovaných prvků (až po železo)**

Vtlačení e⁻ do jader, jejich pohlcení a sloučení s p⁺ (analogie K-záchytu)

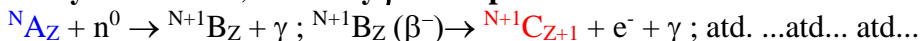


Exploze ⇒ **vyvržení těžších prvků z nitra hvězdy do okolího prostoru**

- **2.důsledek: syntéza těžkých prvků (až po transurany)**

Obrovské množství neutronů ⇒ **opakovaná neutronová fúze ⇒ vznik i nejtěžších prvků**

záchyt neutronů ; následný β⁻ – rozpad:



.....

Z hlediska **původu** lze všechny prvky rozdělit na 3 skupiny:

- **I. Primární** (primordiální)

Vodík + Hélium - "děti" velkého třesku (vodík "prvorozený", hélium o cca 3 min mladší)

- **II. Sekundární** (hvězdné)

Uhlík, dusík, kyslík, ..., železo, ...,uran - "vnukové" velkého třesku, děti hvězd; začaly vznikat po cca 200 milonech let po velkém třesku - čím těžší, tím mladší -

- **III. Terciální** (kosmogenní)

Lithium, berylium, bór - vzdálení potomci velkého třesku: vznikají až interakcí **kosmického záření** s již vzniklými těžšími prvky rozptýlenými ve vesmíru

Obecné rozdělení hmoty :



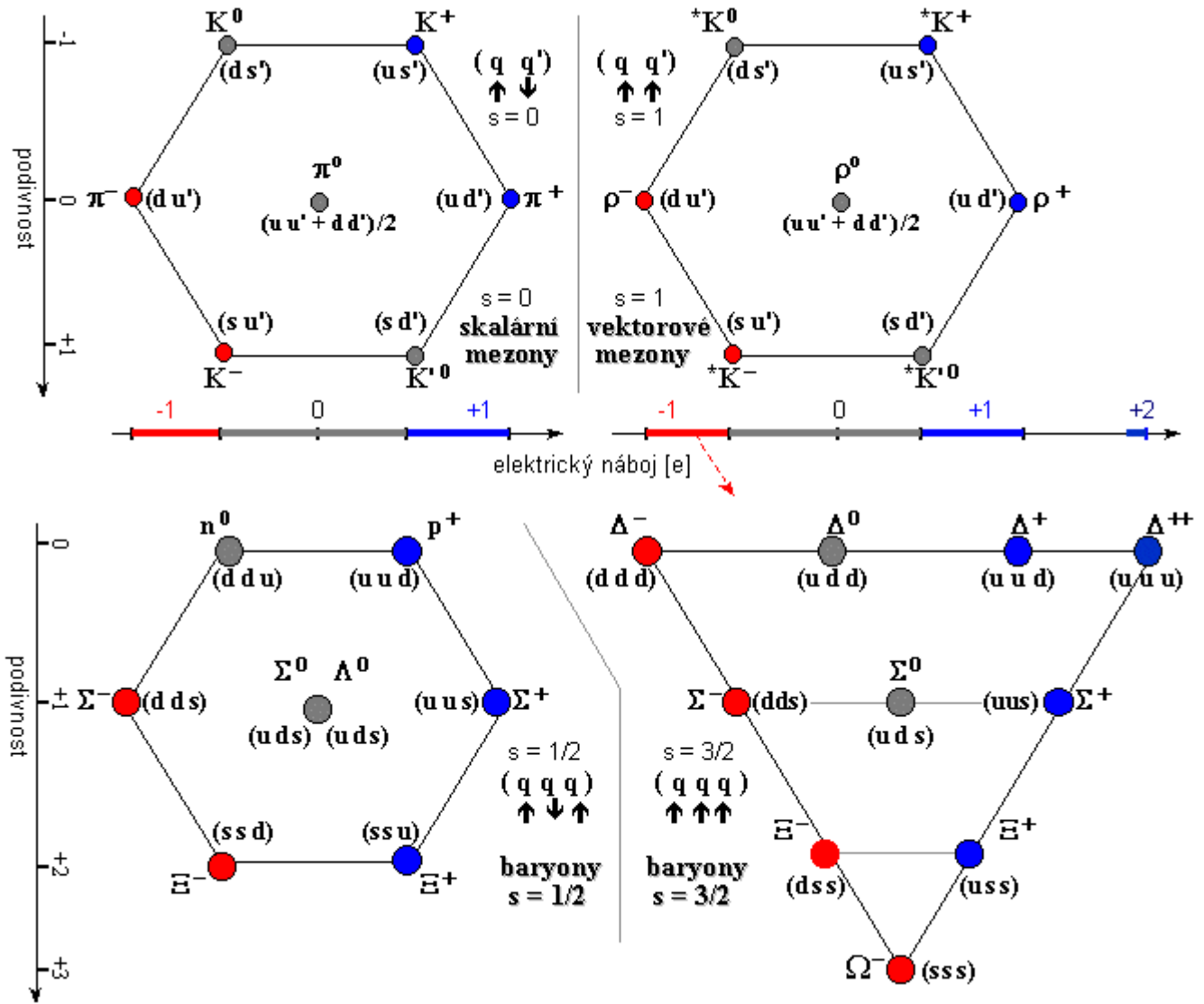
částice látky (fermiony)				kvanta polí (bosony)	
leptony	generace I	generace II	generace III	gravitační interakce	graviton G q=0, m=0
	elektron e q=-1, m=0,5	mion μ q=-1, m=103	tauon τ q=-1, m=1777	elektromag. interakce	foton γ q=0, m=0
	e-neutrino ν_e m ≤ 2 eV	μ-neutrino ν_μ m ≤ 0,27MeV	τ-neutrino ν_τ m ≤ 20MeV ?	slabé interakce	bosony W[±]; Z q = ±1 ; 0 m = 80 ; 91 GeV
kvarky	"up" u q=+2/3, m=320	"charm" c q=+2/3, m=1500	"top" t q=+2/3, ≈ 130GeV	silné interakce	gluony g (8) q=0, m=0
	"down" d q=-1/3, m=320	"strange" s q=-1/3, m=500	"bottom" b q=-1/3, m=5400		

Kvarky jsou **fermiony** se spinem 1/2 a s **třetinovým elektrickým nábojem**: $-(1/3)e$, $+(2/3)e$, každý kvark má svou antičástici - **antikvark**. Pro vysvětlení systematiky hadronů pomocí aditivního kvarkového modelu bylo postupně zavedeno celkem 6 druhů kvarků, z nichž nejdůležitější jsou tři: "u" (up), "d" (down), "s" (strange).

Mezony jsou složeny z **dvou kvarků** - kombinace kvark-antikvark (q q'). V případě opačné orientace spinů obou kvarků dostáváme tzv. *skalární* mezony se spinem s=0, např. $\pi^+ = (u d')$, $\pi^- = (d u')$, $\pi^0 = (u u') + (d d')$. Je-li jedním z kvarků "s", jedná se *podivné* mezony $K^{+,0}$ Při paralelní orientaci spinů v dvojici kvark-antikvark vznikají tzv. *vektorové* mezony se spinem s=1, které pozorujeme jako *mezonové rezonance* s velmi krátkou dobou života (cca $10^{-23}s$) - mezon $\rho^{+,0}$ nebo $K^{*,0}$.

Baryony jsou složeny ze **tří kvarků**, přičemž spiny těchto kvarků mohou být orientovány tak, že výsledný spin baryonu je s=1/2, nebo s=3/2. Např. proton p = (u u d), neutron n = (d d u).

Baryony obsahující kvark "s" se nazývají *hyperony* (vlastnosti hyperonů byly popsány výše). Systematika mezonů a baryonů z hlediska kvarkové struktury je schématicky znázorněna na následujícím obr.1.5...



Obr.1.5... Schématické znázornění unitární symetrie a kvarkové stavby hadronů.

Vedle těchto základních multiplétů lze vytvořit i řadu dalších kombinací z "exotických" kvarků c, b, t ; některé z nich byly již experimentálně prokázány - např. *charmonium* (c,c') nebo *ypsilonium* (b,b'). Všechny tyto kombinace se chovají jen jako rezonanční stavy s velmi krátkou dobou života (cca 10^{-23} sec).

Pozn.: Z důvodu souladu s textem, kde nejsou k dispozici fonty s vlnovkou, jsou antičástice označeny čárkovaně (').

.....

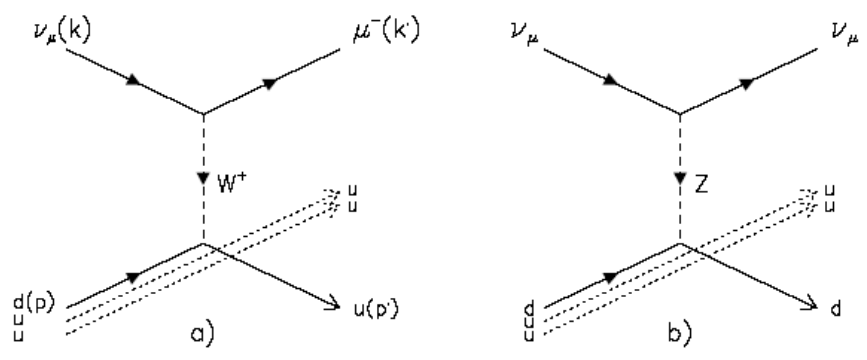
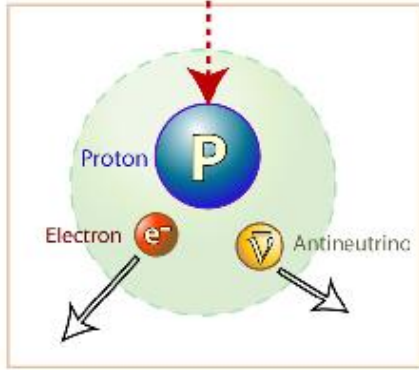
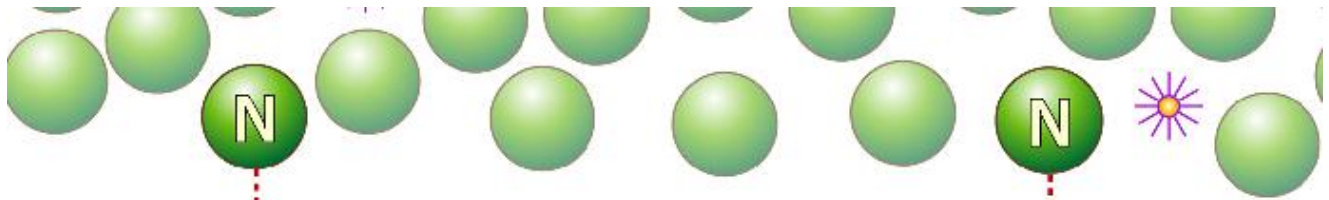
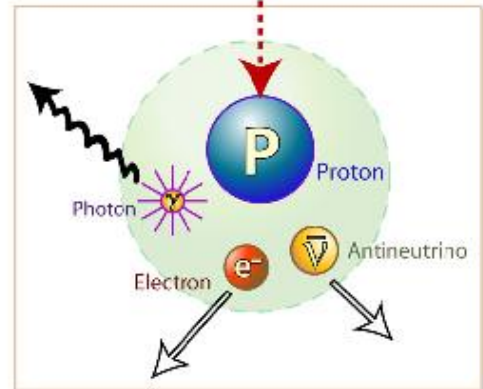


Figure 4.11: Lowest order Feynman diagrams describing the weak interaction of neutrinos with the exchange of W^+ (a) and Z (b) intermediate vector bosons.



STANDARD NEUTRON BETA DECAY



RADIATIVE NEUTRON BETA DECAY

$$\begin{matrix} \mathbf{n} & = & \mathbf{p} & + & \mathbf{e}^- & + & \mathbf{\nu e}^- & & & \\ \mathbf{x^3 \cdot t^1} & = & \mathbf{x^3 \cdot t^0} & & \mathbf{x^2 \cdot t^2} & & \mathbf{x^0 \cdot t^0} & & \mathbf{5} & \mathbf{5} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{-----} & = & \text{-----} & \cdot & \text{-----} & \cdot & \text{-----} & & & \\ \mathbf{x^0 \cdot t^3} & = & \mathbf{x^0 \cdot t^2} & & \mathbf{x^2 \cdot t^1} & & \mathbf{x^0 \cdot t^1} & & \mathbf{5} & \mathbf{5} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \mathbf{n} & = & \mathbf{p} & + & \mathbf{\gamma^-} & + & \mathbf{\nu_{\mu}^-} & & & \\ \mathbf{x^3 \cdot t^1} & = & \mathbf{x^3 \cdot t^0} & & \mathbf{x^2 \cdot t^3} & & \mathbf{x^1 \cdot t^0} & & \mathbf{6} & \mathbf{6} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{-----} & = & \text{-----} & \cdot & \text{-----} & \cdot & \text{-----} & & & \\ \mathbf{x^0 \cdot t^3} & = & \mathbf{x^0 \cdot t^2} & & \mathbf{x^2 \cdot t^2} & & \mathbf{x^1 \cdot t^1} & & \mathbf{6} & \mathbf{6} \end{matrix}$$

Srnka řekl : za necelou čtvrt hodinu se jich zanižne polovička, přičemž naprostá většina se rozloží na elektron a proton tzv. standardním beta-rozpadem.

Pomocí Standardního modelu bylo už před lety předpovězený, že uvedenej mechanismus rozpadu není jedinej možnej. Část energie uvolněnej rozpadem vždy odnese antineutrino a část foton, vzniknejj vyvrstěním elektronu. Poměr energií těchto dvou komponent je stálej, ale foton je zpravidla zachycenejj vznikajícím protonem, takže se na výsledný energii produktů beta-rozpadu nepodílí. Jen v jednom z cca 1000 případů je možný uvolněnej foton detekovat a právě to se **nedávno povedlo** skupině výzkumníků z USA a Velký Británie. Při pokusu se měřila koincidence fotonů gamma záření a protonů prolétávajících detektorem. Za normálních podmínek se v přirozeným pozadí objevuje fotonů spousta, ale v případě, že k zachycení fotonu dojde těsně (asi 20 miliontin vteřiny) před zachycením protonu, je vysoká pravděpodobnost, že obě částice pocházej z téhož rozpadu.

Navrátil : Jenže já si to nemyslím. Sice nejsem vůbec odborník, ale vzhledem k tomu co mi ukazují mé substitute, tak by interakční rovnice měly být takové jak ukazují. Pokud se děje spontánní beta rozpad mechanismus, tak občas 1:1000 případům nastane jiný mechanismus a to jak ho píší. V druhé interakci hmotnost „nabírá“ mionové neutrino.

16.01.2007

