



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Standardní model

Standardní model je v současné době všeobecně uznávanou teorií, vysvětlující stavbu a vlastnosti hmoty. Výzkum částic probíhal celé dvacáté století, poslední předpovězené částice byly identifikovány v devadesátých letech a hledání bylo nedávno završeno detekcí Higgsova bosonu.

Při výuce lze využít dva druhy přístupu - za prvé lze částicovou fyziku vykládat historicky tak, jak byly jednotlivé stavební kameny postupně objevovány. Tento přístup je jistě zajímavý z toho důvodu, že se z něj můžeme poučit o vědecké metodě. Objevy neprobíhaly přímočaře a bylo nutno vytvářet nové a nové modely, které by vysvětlovaly pozorované jevy, navrhopvat experimenty, které by předpovědi potvrdily atd. Často bylo třeba některé modely zavrhnout, což je pro studenty zvláště poučné, neboť ne všechny postupy vedou k řešení problému a přesto vykonaná práce není zbytečná. O vývoji standardního modelu a historii objevování částic lze využít článek Hořejšího <http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/~horejsi/popular/smodel.pdf> nebo videozáznam jeho přednášky na MFF UK r.2014 na <http://www.youtube.com/watch?v=Uv4MIY9wj7g>

Za druhé lze předložit standardní model v jeho definitivní podobě a vysvětlovat systematicky. O tento přístup se pokusím ve své prezentaci. Bylo by dobré před výkladem standardního modelu seznámit studenty aspoň se základními tezemi speciální teorie relativity – zejména vztahem mezi hmotností a energií a problémem urychlování částic na vysoké rychlosti - a kvantové fyziky – vlnové vlastnosti částic, kvantová čísla, Heisenbergovy relace neurčitosti.

Z kolika základních elementů je složen svět?

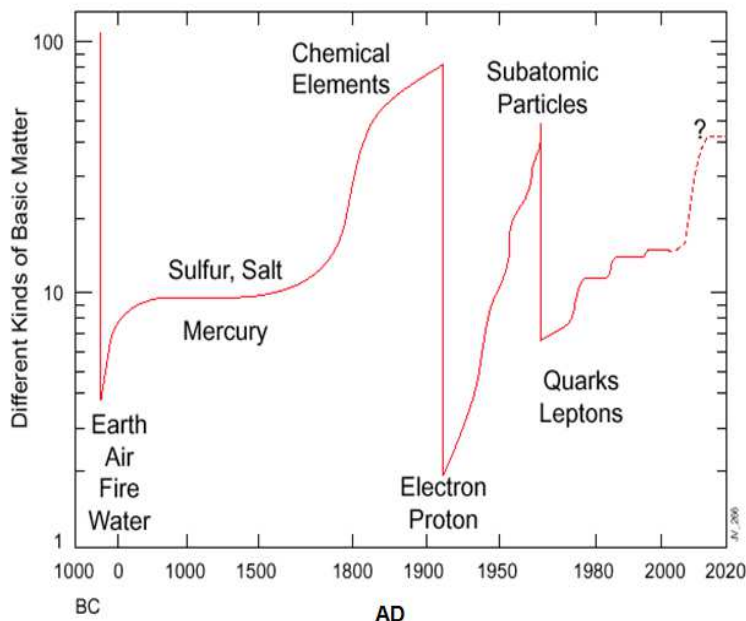
Odnepaměti lidé přemýšleli o tom, z čeho je vytvořen náš svět. Kolem nás vidíme obrovské množství různých látek, proto lidé hledali nějaký společný základ, který by měla veškerá hmota společný.

Starověcí filosofové toužili po jakémsi jednoduchém modelu a vzhledem k tomu, že v té

době nepožadovali, aby tento model přinášel nějaké nové předpovědi, přišli s konceptem čtyř živlů – oheň-voda-země-vzduch. Šlo o čistě spekulativní teorii. Nebyla to jediná představa, vzpomeňme na první atomisty – Leukippa a Démokrita – k nutnosti existence nejmenších kousků hmoty přišli logickou úvahou. Pythagorejci zas rozvíjeli svou myšlenku o harmonii čísel ...

Teprve alchymisté se svými pokusy začali přicházet na kloub dějům v látkách na molekulární úrovni – chemickým reakcím. Izolovali některé prvky (aniž by přesně věděli, že jde o prvky). Řady chemiků pracovaly na izolaci dalších prvků a počet základních stavebních kamenů rostl, až je Mendělejev systematizoval ve své periodické tabulce. Objevem elektronu a zjištěním, že atomy prvků elektrony obsahují a že právě ony určují chemické vlastnosti prvků, se ukázalo, že budou existovat ještě elementárnější částice, než jsou atomy.

V průběhu 20.století bylo těchto částic postupně objeveno velké množství, takže po úvodním období, kdy se zdálo, že vystačíme s protonem, elektronem a neutronem, se model mikrosvěta opět stal složitějším. Dnes je částic známo poměrně velké množství, ale běžnou hmotu kolem nás tvoří jen několik z nich.



Částice – pole

To, jak vypadá mikrosvět, určují jednak druhy částic, ze kterých je složen, a za druhé interakce, které mezi nimi působí. Začněme interakcemi – jde o čtyři základní interakce: gravitační, elektromagnetickou, slabou a silnou. U každé z nich si můžeme představit, že tuto interakci čili vzájemné působení zprostředkuje určitý druh částic. Intermediální částice jsou graviton pro gravitační, foton pro elektromagnetickou, bosony $W^{+/-}$, Z^0 slabou a gluony pro silnou interakci.

Samotné částice hmoty lze systematicky zařadit do následující tabulky:

elektron	mion	tauon
elektronové neutrino	mionové neutrino	tauonové neutrino
up	charm	top
down	strange	bottom

První dva řádky obsahují leptony – tzv. „lehké“ částice, druhé dva řádky kvarky – částice, které se vyskytují pouze vázané v částicích po dvou, resp. po třech. Tři sloupce odpovídají třem generacím těchto částic, zleva postupně od nejlehčích po nejtěžší. Ke každé z těchto částic ještě existuje antičástice – značená pruhem nebo vlnovkou nad označením částice, u většiny v názvu přidáme „anti“ (proton – antiproton, kvark – antikvark, ale elektron – pozitron).

Základní interakce

Ze základního kurzu fyziky jsme zatím zvyklí spíše na popis působení na dálku jako fyzikálního pole. To bývá kvantifikováno potenciálem (skalárně) a intenzitou (vektorově) – připomeňme si takovýto popis u gravitačního a elektrostatického pole. Ve fyzice mikrosvěta je užitečnější model výměnných částic. Jejich funkci si můžeme představit na často používané analogii: Dva lidé stojí na bruslích proti sobě a házejí si těžkým míčem. Při každém přehození se od sebe o kousek vzdálí. Kdybychom míč mohli zneviditelnit, zdálo by se nám, že na sebe tito

lidé působí jakousi silou na dálku. Míč zde představuje intermediální částici. Analogie funguje pro odpudivou sílu.

Podle tohoto modelu částice si vyměňují určitá kvanta polí - což jsou právě **intermediální částice**. Ty jsou sice virtuální, ale při dostatečné energii se mohou uvolnit (pozorovány $W^{+/-}$, Z^0). Takto popisuje například rozpad kvantová teorie pole.

Každá z interakcí se vyznačuje působením na určitý druh „náboje“ (např. u gravitační síly je to hmotnost, u elektromagnetické elektrický náboj). Dále jsou charakteristické různým dosahem, neboli vzdáleností, na kterou působí. Gravitační a elektromagnetická má dosah nekonečný, slabá a silná naopak působí na velmi malé vzdálenosti. Souvisí s tím hmotnost intermediální částice. Ta může být vyjádřena jako energie a podle Heisenbergovy relace neurčitosti musí být součin energie a času větší než Planckova konstanta. Násobeno rychlostí světla nám dává typickou vzdálenost, na kterou interakce působí (nebo nám naopak dává možnost předpovědi pro hmotnost částice – např. předpokládaný graviton).

Gravitační interakce působí na všechny částice a je vždy přitažlivá. Je velmi slabá, ale protože má kumulativní charakter, projevuje se u velkých objektů. Proto ji ve fyzice mikrosvěta nemusíme uvažovat. Zprostředkující částice je graviton – vzhledem k nekonečnému dosahu by měl mít nulovou klidovou hmotnost, zatím je hypotetický a zůstává nepochopitelný ...

Elektromagnetická interakce působí mezi částicemi s elektrickým nábojem. Je poměrně „silná“ a má nekonečný dosah. Jakožto pole ji popisují Maxwellovy rovnice. Zprostředkující částice je foton – částice s nulovou klidovou hmotností. Pro tento popis použijeme QED – kvantovou elektrodynamiku a Feynmanovy diagramy. (NC 1965 – Feynman, Schwinger, Tomonaga).

Slabá interakce působí na kvarky (tudíž mezony a baryony) a leptony a je zodpovědná za většinu rozpadů částic. Zprostředkují ji mezony $W^{+/-}$, Z^0 . Působí na vzdálenostech 10^{-18}m , má dlouhé poločasy 10^{-15}s až hodiny, týdny. Druh „náboje“, který cítí, je vůně - působí na levotočivé částice s nenulovou vůní, kterých je 12. Poprvé byla objasněna na β rozpadu neutronu. Popisuje ji QFD (Quantum Flavour Dynamics). NC za rok 1979 obdrželi za elektroslabé sjednocení Weinberg, Salam, Glashow.

Silná interakce působí na tzv. hadrony – (na částice složené z kvarků, které mají nenulový barevný náboj – barvu mají kvarky a gluony). Má dosah 10^{-15}m , zprostředkující částice je osm gluonů. Interakci popisuje QCD - Quantum

ChromoDynamics, (cituji: ... v okolí kvarků vytvářejí gluony těžké „gluonové kožichy“, např. kvark d má hmotnost 7MeV a jeho gluonový kožich 300MeV...)

Částice

Každou částici charakterizují fyzikální parametry, přičemž některé z nich (hmotnost, náboj) známe z klasické fyziky, některé vyplynuly z požadavků na průběh rovnic a mají kvantový charakter – říkáme jim kvantová čísla (nakonec kvantován je také náboj). Základní fyzikální charakteristiky jsou tedy klidová hmotnost – udávána buď v kilogramech, anebo je pro potřeby jaderné fyziky převedena podle vztahu $E=mc^2$ na jednotky energie – elektronvolty. Například pro elektron dostáváme $E=mc^2=9,1\cdot 10^{-31}\cdot (3\cdot 10^8)^2=8,2\cdot 10^{-14}$ (J), což převedeme na elektronvolty (vydělením $1,6\cdot 10^{-19}$) a dostaneme 511000 (eV), píšeme $m=511$ keV/c² (ale často jen 511keV).

Další charakteristikou hmotných objektů bývají rozměry – v případě takto malých měřítek mají částice vlnový charakter a podléhají relacím neurčitosti, takže pojem rozměru nemá smysl. Zjišťuje se ale tzv. účinný průřez částice – při srážkách se tato sjeví jako terč určité velikosti. Není však pro danou částici ve všech reakcích a při různých energiích stejná. (Udává se v jednotkách 1 barn= 10^{-28} m²).

Poslední veličinou známou z klasické fyziky je elektrický náboj udávaný v Coulombech. Protože částice mají náboj vždy rovný násobku elementárního náboje, udává se právě v těchto násobcích. Antičástice mají náboj vždy opačný (pokud částice náboj má). Dále ještě uvidíme, že existuje i třetinový a dvoutřetinový náboj, a to u kvarků – ale částice z nich složené mají náboj celočíselný. Při všech dějích platí zákon zachování celkového náboje.

Dělení částic

Částice třídíme podle různých kritérií. Podle hmotnosti je rozdělujeme na **leptony** – původně to znamenalo lehké částice jako elektron a pozitron, neutrino, ale řadí se sem i mion a tauon, jejichž hmotnosti jsou sto až tisícinásobky hmotnosti elektronu. Další jsou **mezony**, středně těžké částice – mion a tauon, mezony π a K. Následují **baryony**, těžké částice – proton, neutron, a hyperony Λ^0 , $\Sigma^{+/-/0}$, Ω^- , $\Xi^{0/-}$, vznikající při srážkách vysoce energetických částic. Na začátek našeho výčtu patří ještě částice **s nulovou klidovou hmotností** – fotony, gluony a gravitony. Podle STR ovšem tyto částice v klidu nikdy nejsou.

Podle druhu interakcí nazýváme částice, na které působí silná interakce, **hadrony**. Patří sem protony, neutrony, mezony π a K a hyperony. Důvod, proč cítí silnou interakci, je v jejich kvarkové stavbě – baryony jsou ze tří a mezony ze dvou kvarků. (S hyperony je to těžší...)

O dalším druhu dělení částic se zmíníme později u kvantových čísel, konkrétně spinu.

Kvantová čísla

S prvním kvantovým číslem charakterizujícím elementární částice jste se již seznámili ve středoškolské chemii a fyzice. Jde o **spinové číslo** či **spin**. Vyjadřuje vlastní moment hybnosti částice (ať už to je cokoli, v násobcích Planckovy konstanty). Právě podle hodnoty tohoto čísla dělíme částice na fermiony a bosony. **Fermiony** mají poločíselný spin, pro většinu z nich je $s=\pm 1/2 \hbar$. Jde o proton, neutron, elektron, miony, neutrino a hyperony. Hyperon Ω má $s=\pm 3/2 \hbar$. Tyto částice se řídí Fermiho-Diracovou statistikou a platí pro ně Pauliho vylučovací princip. To znamená, že v daném kvantovém stavu může být jen jeden fermion (vzpomeňte si na obsazování "čtverečků" v elektronové konfiguraci prvku dvěma šipkami s opačným směrem). **Bosony** mají spin celočíselný, tedy $s=0, \pm 1 \hbar, \pm 2 \hbar, \dots$. Jde o intermediální částice, zmiňme aspoň foton. Řídí se Bose-Einsteinovou statistikou.

Leptonové číslo je pro leptony rovno $L=\pm 1$ (minus pro antičástice), pro ostatní částice je rovno nule. Podobně je zavedeno **baryonové číslo** $B=\pm 1$ pro baryony (minus opět pro antičástice) a pro ostatní částice opět rovno nule. Obě čísla se při všech druzích interakcí zachovávají, tedy celkový počet leptonů i celkový počet baryonů se nemění.

Podivnost souvisí s vlastností podivného kvarku s , označuje se S a pro kvark s je rovna $S=1$ (pro jeho antikvark -1).

Izospin T je pro nukleony roven $1/2$ (pro proton se znaménkem $+$, pro neutron znaménkem $-$), piony mají $T=1$ (s projekcemi $+, 0, -$ podle náboje příslušného pionu)

Hypernáboj je definován jako součet $Y=B+S$. Při silných interakcích se izospin i hypernáboj zachovávají.

Kvarková struktura částic

Podívejme se na stavbu protonu a neutronu. Kvarková stavba **protonu** je **uud** a **neutronu** **udd**. Hmotnosti kvarků, ze kterých jsou složeny, jsou 2MeV pro kvark u a 5MeV pro kvark d . Přitom proton má hmotnost 938MeV a neutron 940MeV . Kde se berou tyto rozdíly?

Většina energie nukleonu pochází z kinetické energie „vnitřního pohybu“ v něm uvězněných částic. Zodpovědná je Heisenbergova relace neurčitosti – kvarky jsou omezeny v prostoru o rozměrech 10^{-13}m , tomu pak musí odpovídat jejich energie. Dále pak vyšší hmotnost neutronu (vzhledem k protonu) vede k jeho nestabilitě – volný neutron se rozpadá na proton, elektron a antineutrino.

Kvarky drží pohromadě díky intermediálním částicím – gluonům. Každý kvark nese „barevný náboj“ – tedy to, co ho činí vnímavým na silnou interakci. Gluony,

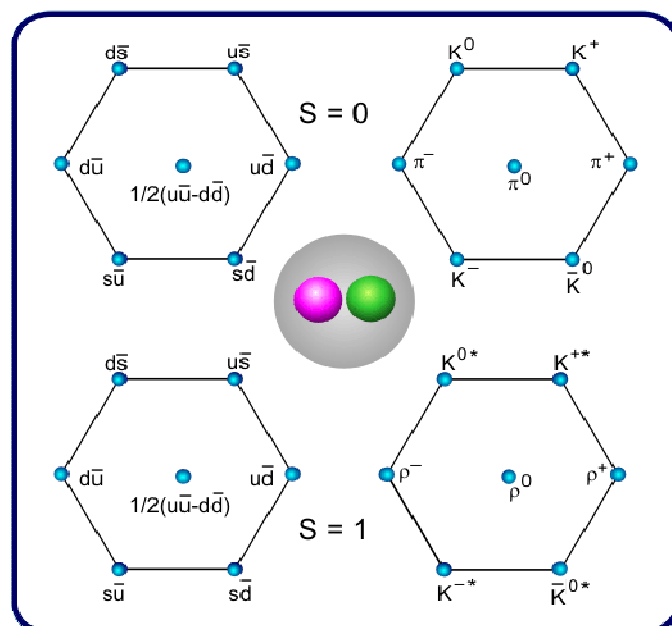
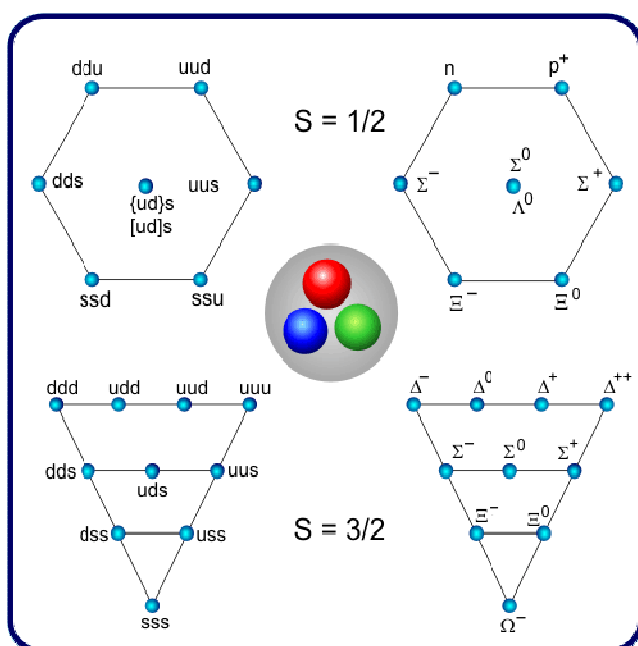
kteřé některou z osmi hodnot barevného náboje, tvoří jakési lepidlo mezi kvarky. Kvarky a gluony jsou „uvězněny“ v barevně neutrálních částicích – hadronech.

Baryony qqq a antibaryony $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryony jsou hadrony s poločíselným spinem. Existuje okolo 120 druhů baryonů.					
Symbol	Název	Kvarkové složení	Elektrický náboj	Hmotnost GeV/c^2	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
Λ	lambda	uds	0	1.116	1/2
Ω^-	omega	sss	-1	1.672	3/2

Mezony $q\bar{q}$					
Mezony jsou hadrony s celočíselným spinem (bosony). Existuje okolo 140 druhů mezonů.					
Symbol	Název	Kvarkové složení	Elektrický náboj	Hmotnost GeV/c^2	Spin
π^+	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
K^-	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
ρ^+	ro	$u\bar{d}$	+1	0.776	1
B^0	B-nula	$d\bar{b}$	0	5.279	0
η_c	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.980	0

Částice složené z kvarků lze ještě logicky uspořádat do skupin podle jejich vlastností. Jde o tzv. **dublety, oktety**,... (podle počtu). V následujícím schématu je vždy na levé straně zobrazena kvarková struktura a na pravé označení částice.

Náboj roste zleva doprava, a to od záporného přes neutrální po kladný. Podivnost roste shora dolů. Dále je uveden spin – pokud mají kvarky opačné spiny, je výsledný spin nulový a jde o tzv. **skalární částici**, pokud je výsledný spin nenulový, jde o **vektorovou částici**. Jednotlivé skupiny částic mají přibližně stejnou hmotnost a samozřejmě stejný spin.



Nakonec uvedme dvě tabulky obsahující seznam všech částic, které známe. Když se na ni podíváme, uvidíme, že částic, které již byly nalezeny, nebo jejichž existence se očekává, je obrovské množství. Nicméně obyčejný svět, který nás obklopuje a do nějž patříme, je složen jen z několika málo z nich – stačily by kvarky u , d , elektron a neutrino. Nezbyvá než žasnout nad krásou této jednoduchosti i složitosti přírody.

This short table gives the name, the quantum numbers (where known), and the status of baryons in the Review. Only the baryons with 3- or 4-star status are included in the main Baryon Summary Table. Due to insufficient data or uncertain interpretation, the other entries in the short table are not established as baryons. The names with masses are of baryons that decay strongly. For N , Δ , and Ξ resonances, the partial wave is indicated by the symbol $L_{21,22}$, where L is the orbital angular momentum ($S, P, D, \dots$), I is the isospin, and J is the total angular momentum. For Λ and Σ resonances, the symbol is $L_{1,1}$.

- **** Existence is certain, and properties are at least fairly well known.
- *** Existence ranges from very likely to certain, but further quantum numbers, branching fractions, etc. are not well known.
- ** Evidence of existence is only fair.
- * Evidence of existence is poor.

See also the table of suggested $q\bar{q}$ quark-model assignments in the Quark Model section.

• Indicates particles that appear in the preceding Meson Summary Table. We do not regard the other entries as being established.
† Indicates that the value of J given is preferred, but needs confirmation.

LIGHT UNFLAVORED ($S = C = B = 0$)		STRANGE ($S = \pm 1, C = B = 0$)		BOTTOM ($B = \pm 1$)	
$J^P(J^PC)$	$J^P(J^PC)$	$J^P(J^PC)$	$J^P(J^PC)$	$J^P(J^PC)$	$J^P(J^PC)$
• $\pi^\pm$ $1^-(0^-)$ • π^0 $1^-(0^-)$ • η $0^+(0^-)$ • $f_0(600)$ $0^+(0^-)$ • $\rho(770)$ $1^+(1^-)$ • $\omega(782)$ $0^-(1^-)$ • $\eta'(958)$ $0^-(0^-)$ • $f_0(980)$ $0^+(0^-)$ • $a_0(980)$ $1^-(0^-)$ • $\phi(1020)$ $0^-(1^-)$ • $h_1(1170)$ $0^-(1^-)$ • $b_1(1235)$ $1^+(1^-)$ • $a_1(1260)$ $1^-(1^-)$ • $f_2(1270)$ $0^+(2^-)$ • $f_1(1285)$ $0^+(1^-)$ • $\eta(1295)$ $0^-(0^-)$ • $\pi(1300)$ $1^-(0^-)$ • $a_2(1320)$ $1^-(2^-)$ • $f_0(1370)$ $0^+(0^-)$ • $h_1(1380)$ $1^-(1^-)$ • $\pi_1(1400)$ $1^-(1^-)$ • $\eta(1405)$ $0^+(0^-)$ • $f_1(1420)$ $0^+(1^-)$ • $\omega(1420)$ $0^-(1^-)$ • $f_2(1430)$ $0^+(2^-)$ • $a_0(1450)$ $1^-(0^-)$ • $\rho(1450)$ $1^+(1^-)$ • $\eta(1475)$ $0^+(0^-)$ • $f_0(1500)$ $0^+(0^-)$ • $f_1(1510)$ $0^+(1^-)$ • $f'_2(1525)$ $0^+(2^-)$ • $f_2(1565)$ $0^+(2^-)$ • $h_1(1595)$ $0^-(1^-)$ • $\pi_1(1600)$ $1^-(1^-)$ • $a_1(1640)$ $0^-(1^-)$ • $f_2(1640)$ $0^+(2^-)$ • $\eta_2(1645)$ $0^+(2^-)$ • $\omega(1650)$ $0^-(1^-)$ • $\omega_3(1670)$ $0^-(3^-)$	• $\pi_2(1670)$ $1^-(2^-)$ • $\phi(1680)$ $0^-(1^-)$ • $\rho_3(1690)$ $1^+(3^-)$ • $\rho(1700)$ $1^+(1^-)$ • $a_2(1700)$ $1^-(2^-)$ • $f_0(1710)$ $0^+(0^-)$ • $\eta(1760)$ $0^-(0^-)$ • $\pi(1800)$ $1^-(0^-)$ • $f_2(1810)$ $0^+(2^-)$ • $\phi_3(1850)$ $0^-(3^-)$ • $\eta_2(1870)$ $0^+(2^-)$ • $\rho(1900)$ $1^+(1^-)$ • $f_2(1910)$ $0^+(2^-)$ • $f_2(1950)$ $0^+(2^-)$ • $\rho_3(1990)$ $1^+(3^-)$ • $f_2(2010)$ $0^+(2^-)$ • $f_0(2020)$ $0^+(0^-)$ • $a_4(2040)$ $1^-(4^-)$ • $f_4(2050)$ $0^+(4^-)$ • $\pi_2(2100)$ $1^-(2^-)$ • $f_0(2100)$ $0^+(0^-)$ • $f_2(2150)$ $0^+(2^-)$ • $\rho(2150)$ $1^+(1^-)$ • $f_0(2200)$ $0^+(0^-)$ • $f_J(2220)$ $0^+(2^-)$ • $\eta(2225)$ $0^+(0^-)$ • $\rho_3(2250)$ $1^+(3^-)$ • $f_2(2300)$ $0^+(2^-)$ • $f_4(2300)$ $0^+(4^-)$ • $f_2(2340)$ $0^+(2^-)$ • $\rho_3(2350)$ $1^-(5^-)$ • $a_6(2450)$ $1^-(6^-)$ • $f_6(2510)$ $0^+(6^-)$	• $K^\pm$ $1/2(0^-)$ • K^0 $1/2(0^-)$ • K_S^0 $1/2(0^-)$ • K_L^0 $1/2(0^-)$ • $K_1^*(800)$ $1/2(0^+)$ • $K^*(892)$ $1/2(1^-)$ • $K_1(1270)$ $1/2(1^+)$ • $K_1(1400)$ $1/2(1^+)$ • $K^*(1410)$ $1/2(1^-)$ • $K_2^*(1430)$ $1/2(0^+)$ • $K_2^*(1430)$ $1/2(2^+)$ • $K(1460)$ $1/2(0^-)$ • $K_2(1580)$ $1/2(2^-)$ • $K(1630)$ $1/2(2^?)$ • $K_1(1650)$ $1/2(1^+)$ • $K^*(1680)$ $1/2(1^-)$ • $K_2(1770)$ $1/2(2^-)$ • $K_2^*(1780)$ $1/2(3^-)$ • $K_2(1820)$ $1/2(2^-)$ • $K(1830)$ $1/2(0^-)$ • $K_2^*(1950)$ $1/2(0^+)$ • $K_2^*(1980)$ $1/2(2^+)$ • $K_2^*(2045)$ $1/2(4^+)$ • $K_2(2250)$ $1/2(2^-)$ • $K_3(2320)$ $1/2(3^+)$ • $K_2^*(2380)$ $1/2(5^-)$ • $K_4(2500)$ $1/2(4^-)$ • $K(3100)$ $2^-(2^?)$	• $B^\pm$ $1/2(0^-)$ • B^0 $1/2(0^-)$ • $B^\pm/B^0$ ADMIXTURE • $B^\pm/B^0/B_s^0/b$-baryon ADMIXTURE • V_{cb} and V_{ub} CKM Matrix Elements • B^* $1/2(1^-)$ • $B_s^*(5732)$ $2^-(2^?)$		
				BOTTOM, STRANGE ($B = \pm 1, S = \pm 1$)	
				• B_s^0 $0(0^-)$ • B_s^+ $0(1^-)$ • $B_{s,J}^*(5850)$ $2^-(2^?)$	
				BOTTOM, CHARMED ($B = C = \pm 1$)	
				• $B_c^\pm$ $0(0^-)$	
				$c\bar{c}$	
				• $\eta_c(1S)$ $0^+(0^-)$ • $J/\psi(1S)$ $0^-(1^-)$ • $\chi_{c0}(1P)$ $0^+(0^-)$ • $\chi_{c1}(1P)$ $0^+(1^-)$ • $h_c(1P)$ $2^-(2^?)$ • $\chi_{c2}(1P)$ $0^+(2^-)$ • $\eta_c(2S)$ $0^+(0^-)$ • $\psi(2S)$ $0^-(1^-)$ • $\psi(3770)$ $0^-(1^-)$ • $\psi(3836)$ $0^-(2^-)$ • $\chi(3872)$ $2^-(2^?)$ • $\psi(4040)$ $0^-(1^-)$ • $\psi(4160)$ $0^-(1^-)$ • $\psi(4415)$ $0^-(1^-)$	
				$b\bar{b}$	
				• $\eta_b(1S)$ $0^+(0^-)$ • $T(1S)$ $0^-(1^-)$ • $\chi_{b0}(1P)$ $0^+(0^-)$ • $\chi_{b1}(1P)$ $0^+(1^-)$ • $\chi_{b2}(1P)$ $0^+(2^-)$ • $T(2S)$ $0^-(1^-)$ • $\chi_{b0}(2P)$ $0^+(0^-)$ • $\chi_{b1}(2P)$ $0^+(1^-)$ • $\chi_{b2}(2P)$ $0^+(2^-)$ • $T(3S)$ $0^-(1^-)$ • $T(4S)$ $0^-(1^-)$ • $T(10860)$ $0^-(1^-)$ • $T(11020)$ $0^-(1^-)$	
				NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES	
				NON- $q\bar{q}$ CANDIDATES	

Projekt je spoluf

Zdroje:

- <http://www.aldebaran.cz/>
- Jiří Hořejší: Historie standardního modelu vesmíru, článek , <http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/~horejsi/popular/smodel.pdf>
- Jiří Hořejší, další texty - <http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/~horejsi/popular.php>
- Jiří Dolejší: Standardní model - https://moodle.fp.tul.cz/nano/pluginfile.php/1597/mod_resource/content/1/Standardni%20model.pdf
- Jiří Dolejší: Částicová fyzika pro začátečníky - http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/dolejsi/textbook/particle_textbook_CZ.htm
- Jiří Dolejší – další texty - <http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/dolejsi/dolejsi.html>
- <http://astronuklfyzika.sweb.cz/JadRadFyzika5.htm>