



Spolufinancováno  
z programu Evropské unie  
Erasmus+



# Přípravný kurz z přírodověda

## Lekce P3 – Fyzika 21. století, kvantová fyzika

---



**Po prostudování této kapitoly**

- Získáte základní informace o obecné a speciální teorii relativity
- Seznámíte s principy kvantové mechaniky
- Seznámíte se s různými elementárními částicemi
- Budete znát základní fakta o teorii Velkého třesku

Proč jsme schopni vnímat okolní svět? Vnímáme okolní svět, protože dochází ke vzájemné interakci těles (objektů). Interakce je definována na základě silového působení. Původ existence sil je různý. Podstata silového působení je jedna z otázek (hádanek), kterou řeší fyzika jako věda. Tělesa mají různou podstatu, proto také síly jsou různé. Byly objeveny a popsány čtyři základní interakce. Dvě z nich jsou pro nás nejlépe známé a popsány: gravitační interakce a elektromagnetická interakce.

Všeobecný gravitační zákon formulovaný Newtonem říká, že všechna tělesa na sebe působí silou, která je přímo úměrná jejich hmotnosti a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti. Zákon popisující elektromagnetickou interakci říká, že elektricky nabitá tělesa na sebe působí silou, které je přímo úměrná jejich nábojům a nepřímo úměrná druhé mocnině jejich vzdálenosti. Tato interakce zaručuje existenci látky a atomů.

Einstein objevil zákon stimulované emise: **stimulovaná emise** – vynucená emise. Děj, při kterém atom či molekula vybuzené do stavu, ze kterého je spontánní přechod do nižšího stavu zakázán kvantovými pravidly, po interakci s fotonem s energií odpovídající rozdílu energií těchto stavů, emituje další foton se stejnou fází, frekvencí, polarizací i směrem šíření. Stimulovaná emise tvoří podstatu činnosti kvantových zesilovačů fotonů, v mikrovlnné a rádiové oblasti nazývané masery (Basov a Townes) a v kratších vlnových délkách až po gama záření označovaných lasery.

Podobně probíhají zbývající dva typy interakcí – silná a slabá. To jsou interakce v mikrosvětě.

Protože příroda nemá ráda prázdný prostor, potom musí platit:

- Všechna tělesa jsou ve vzájemném klidu nebo pohybu, jejich pohybový stav lze změnit jen v důsledku vnější působící síly (první a druhý Newtonův zákon).
- Pokud na tělesa nepůsobí žádná další síla, mají tendenci se rozptýlit v prostoru – proces difuze.
- Pokud se těleso nemůže pohybovat, i tak nesetrvává na jednom místě – kmitá (vibruje) kolem své rovnovážné polohy. Tzn. že tělesa musí mít vlnovou povahu. To potvrzují Heisenbergovy relace neurčitosti a existence de Brogliho vln.

**Chaos (anarchie)** – tzv. matka uspořádání (pořádku). Nositel Nobelovy ceny N. Progožin ověřil, že systém nacházející se v excitovaném stavu daleko od termodynamické rovnováhy, může přejít do nového stavu uspořádanosti. Tato teorie zahrnuje teorii chaosu, jinak nazývanou teorií nerovnovážné termodynamiky. Např. proudění (konvekce) oleje na přehřáté pečící pánvi, vytváří kanály vírů, probíhá proces sebeorganizace. Toto je také základ předpovídání budoucnosti z kávové sedliny.

## Obecná a speciální teorie relativity

Einstein se snažil vybudovat teorii, která by platila nejen pro soustavy pohybující se stálou rychlostí (speciální teorie relativity), ale byla by platná pro všechny soustavy. Vznikla tak obecná teorie relativity (OTR), jejímž základem je princip ekvivalence. Podle něj se gravitační působení na tělesa projevuje stejně jako zrychlení jejich pohybu, zrychlení nelze odlišit od gravitace.

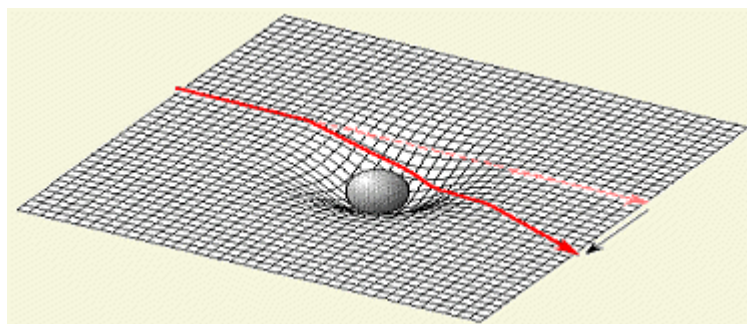
Objasnění – myšlenkový pokus:

Stojíme-li v uzavřené kabině stojícího výtahu, přitahuje nás Země gravitační silou  $F$ . Jakmile se začne výtah rozjíždět vzhůru, pocítujeme, že nás k podlaze tlačí větší síla. Můžeme si to vysvětlit dvěma způsoby:

- výtah se pohybuje zrychleným pohybem a přitom vzniká setrvačná síla směřující dolů, která se sčítá se silou gravitační
- zvětšení působící síly je způsobeno tím, že na nás začalo působit silnější gravitační pole

Obě vysvětlení jsou ekvivalentní, stejně platná. Záleží jen na nás, které si vybereme!

Obecná teorie relativity sloučila dva do té doby navzájem oddělené jevy - gravitaci a setrvačnost. Působení gravitačních sil se v této teorii převádí na změnu geometrických vlastností čtyřrozměrného časoprostoru. Časoprostor není neměnný, ale je ovlivňován tělesy, které se v něm vyskytují. Jeho zakřivení je tím větší, čím větší je hmotnost těles a čím silnější je jejich gravitační působení. Gravitační pole Země je poměrně slabé a zakřivení časoprostoru v její blízkosti je nepatrné. Proto můžeme pro jeho popis použít mnohem jednodušší klasický Newtonův gravitační zákon. Newtonova teorie vyhovuje pro naše zkušenosti běžného života, ale neplatí obecně. Odchytky se však projevují až v mnohem silnějších gravitačních polích, zejména v blízkosti hvězd.



Obr. 5. Zakřivení prostoru

Einstein při zveřejnění OTR předpověděl také dva do té doby neznámé jevy:

### 1. zakřivení světelných paprsků v gravitačním poli:

podle OTR by se měl světelný paprsek procházející těsně kolem Slunce vlivem zakřivení časoprostoru odchýlit asi 1,75 úhlových vteřin od původního směru

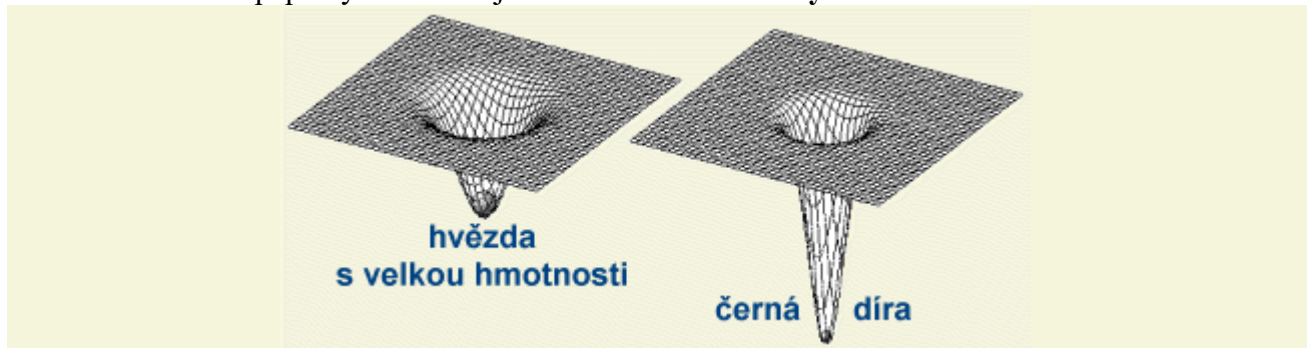


Obr. 6. Ohyb paprsků

### 2. gravitační rudý posuv:

v silném gravitačním poli se "posunou" vlnové délky procházejícího světla směrem k větším hodnotám, směrem k červené části spektra.

Závěry obecné teorie relativity měly rozhodující podíl na vzniku nové vědecké disciplíny, **kosmologie**, která se zabývá vývojem a strukturou vesmíru. Gravitační pole a zakřivení časoprostoru v blízkosti některých vesmírných objektů je tak velké, že se z jejich povrchu nemohou dostat ani světelné paprsky. Těmto objektům se říká **černé díry**.



Obr. 7. Zobrazení černé díry

Speciální teorie relativity vznikla v letech 1905 – 1908 (Lorenz, Poitou- Charentes, Einstein). Podle mechaniky Galilea-Newtona, pohyby těles, která se pohybují vůči sobě, jsou algebraicky sčítány. Michelsonův experiment z roku 1880 ukázal, že rychlosti pohybu elektromagnetického vlnění nejsou sumarizovány. To znamená, že rychlost šíření světelného signálu nezávisí na rychlosti pohybujícího se zdroje světla. To bylo v rozporu s tvrzením Galileiho. V mechanice Galileiho a Newtona byla relativní pouze rychlost. V klasické mechanice byly prostor a čas nezávislé, v teorii relativity jsou vzájemně propojeny. Obecná teorie relativity, která vznikla asi o 10 let později, vysvětlila koncepty prostoru a času, vztah mezi hmotou, pohybem, prostorem a časem.

### Vývoj principu relativity

Z filozofického hlediska relativnost nějakých jevů znamená, že neexistují absolutní, nepřekonatelné hranice mezi nimi. Galileo byl první, který stanovil relativnost mechanického pohybu vzhledem ke klidu. Výsledkem tohoto principu je to, že zákony mechaniky mají stejný tvar ve všech inerciálních systémech, jinak řečeno – jsou místně ekvivalentní v těchto systémech. V Einsteinově teorii je to odlišné – nejen mechanické, ale všechny fyzikální procesy probíhají v inerciálních soustavách stejně. Principy relativity platí v souladu s ostatními principy – principu konečné rychlosti světla ve vakuu, nezávislosti rychlosti světla na zdroji atd. Při přechodu od jedné vztažné soustavy k jiné jsou relativní rozměry tělesa, doba existence jevu, apod.

Obecná teorie relativity stanovuje, že přírodní zákony platí analogicky v inerciálních i neinerciálních vztažných soustavách. Euklidovská geometrie nemůže nadále využívat tuto teorii, ale používat takovou, která říká, že prostor je zakřivený vlivem působení gravitační síly, zpomalující běh času v silných gravitačních polích. To vše směřuje k hlubšímu pochopení okolního světa.

## Moderní věda a mysticismus

Rychlý rozvoj vědy 20. století je spojen s šířením mysticismu, iracionalismu, okultismu, esoterismu. Mystické vědomí v sobě vždy kombinuje víru v nadpřirozeno. Historicky se mystika nejsilněji projevila v kultu šamanismu. Šaman je muž, který vykonává roli věštee, věštkyne atd. a je prostřednictvím meditace schopný cestovat do jiného světa. Předpokládá se, že během meditace (extáze) jsou signály smyslových orgánů fixovány, obvykle „procházejí“ blízko vědomí. Jakékoli monotónně se opakující zvuky mohou způsobit odpojení konkrétních center mozku a způsobit halucinace. Vize mohou budit dojem, že jsou skutečně, reálně, viditelné. Vědci si myslí, že se jedná o proniknutí do hloubky vědomí. Takového proniknutí lze dosáhnout různými způsoby, např. pomocí drogy.

Jedním ze základních sociálních mystických zdrojů je strach. Osamocení člověk je bezmocný oproti silám společnosti a přírody. Na sociálně-psychologické úrovni se toto projevuje jako strach. Dalším zdrojem je víra. Víra je přirozená lidská potřeba. Některá náboženství, např. brahmanismus, hinduismus a jiná, jsou založena na hluboké mystice. Vliv má také osobnostní typ člověka. Rozlišujeme tyto typy:

1. absurdista – život obecně nemá smysl, takže žít v takovém světě znamená žít ve světě zlém
2. osobnost – vidí smysl života v životě samotném, žít znamená žít v okolní realitě
3. tvořitel – smysl života vidí v hledání právě smyslu života, stvoření
4. fantasta, snílek - nejbližší mysticismu, smysl života hledá mimo reálný svět, upřednostňuje transcendentní vnímání světa.

Věda sama má vliv na rozvoj mystiky. Ve vědě se rozvíjí světonázor a metodologický relativismus, mizí hranice mezi objektem a subjektem, holistické a holistické vnímání světa atd. Existuje řada vědců, kteří hledají analogie mezi obrazem moderního světa a mystickými obrazy starověkého východu. Objevuje se zájem o exopsychologii, je vyvinuta holografická koncepce lidského myšlení, relativistická kvantová psychologie, hypotéza galaktické mysli atd. Klasická evropská věda považovala takové přístupy za schizofrenii, takže se v tuto chvíli předpokládá, že tyto přístupy vyžadují seriózní analýzu. Dokonce se tvrdí, že fyzika je pouze odvětvím psychologie. Přesto je nutné odlišit objektivní kognitivní obsah (fakta, zákony, principy, teorie) od jejich výkladu světonázoru (filosofický, náboženský atd.). Vědomí je zde vždy aktivní. Opět můžeme odvodit tři řetězce

věda

mezičlánek

anti-věda

Kvantová fyzika, teorie relativity pro nás vytvořila velmi neobvyklé věci. Chápeme, že výsledky experimentu závisí na typu samotného experimentu, použitých zařízeních a samotném experimentátorovi. Zařízení nejsou vnímána jako něco samostatného, ale jako nedílná součást výzkumného pracovníka. Pozorovatel a objekt pozorování tvoří neoddělitelnou jednotu v poznávací sféře. Existuje spousta důkazů, že lidská mysl generuje určité energetické pole, které ovlivňuje, svým způsobem, okolí (podobně jako elektromagnetické pole narušuje obraz na televizní obrazovce). Vědomí tedy vytváří bio-gravitační pole.

Kvantová mechanika a kvantová fyzika se v zásadě formovaly na počátku 20. století. Základy položili nejslavnější vědci té doby Planck, Einstein, Bohr, De Broglie, Heisenberg, Schrödinger a další. Svět se zdá být popsán statisticky pravděpodobnostním způsobem. Pokud v makrosvětě probíhá nepřetržitá



výměna energie, pak v mikrosvětě probíhá tato výměna v přísně stanoveném pořadí - vyzářování probíhá po kvantech.

Do konce 19. století byl za nejmenší částici hmoty považován atom. Periodický zákon formulovaný Mendělejevem v roce 1869 vedl vědce k tomu, aby si mysleli, že strukturu atomů určují ještě menší částice. V roce 1897 anglický fyzik Thomson objevil elektron - první elementární částici. Když byl v roce 1932 objeven neutron zdálo se, že struktura hmoty byla v podstatě objasněna.

V té době známé částice - proton, neutron a elektron - stačily k vysvětlení struktury a vlastností hmoty.

Postupně byla popsána nová strukturální úroveň existence hmoty. To vytvořilo podmínky pro rozvoj fyziky pevných látek. Byla vysvětlena struktura kovů, dielektrika, polovodiče, jejich termodynamické, elektrické a magnetické vlastnosti. Kvantová mechanika vysvětlila, že zdrojem energie hvězd jsou jaderné reakce probíhající při velmi vysokých teplotách (stovkách milionů stupňů). Kvantová mechanika byla aplikována na vysvětlení pole. Byl pochopen foton – částice elektromagnetického pole, která má nulovou klidovou hmotnost.

kvantová mechanika + speciální teorie relativity = antičástice

Bylo objasněno, že každá částice má svoji antičástici – částice má stejnou hmotnost, ale opačný náboj. V roce 1934 anglický fyzik Dirac objevil *pozitron* – antičástici elektronu.

O několik let později bylo objeveno neutrino.

Bylo zjištěno, že dochází k radioaktivnímu  $\beta$  rozpadu, elektrony a protony, které mají odlišnou energii, se uvolňují z atomového jádra. Energie ale nikde nezmizí a nevzniká z ničeho. Kde hledat zbývající část energie? Švýcarský fyzik, teoretik, Pauli uvedl, že s elektronem (nebo pozitronem) se uvolní ještě jedna malá částice. Získala název neutrino. Pokud je emitován pozitron, je emitováno současně neutrino, pokud je emitován elektron – je emitováno antineutrino.

$n \rightarrow p + e + \nu_e$ .

Pokud jsou emitovány pozitron a neutrino, potom se proton přeměňuje na neutron

$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$ .

Tyto částice nejsou obsaženy v jádře atomu, ale vznikají během přeměny neutronu popř. protonu.

Kvantová mechanika začala analyzovat hmotu a pole v úzkém vztahu. Zdá se, že kvantová mechanika spojuje korpuskulární a vlnové koncepty do jednoho fenoménu. Heisenberg zavádí princip neurčitosti, který říká, že souřadnice šíření pulsu zůstávají nejisté. Bohr zavádí princip doplňkovosti a porovnává jej s principem kauzality. Pokud použijeme přesné zařízení k měření souřadnic částic, pak může být impuls libovolný, takže příčinná souvislost neexistuje. Heisenberg navrhl princip nekontrolované interakce (částice se zařízením).

## Základ některých konceptů

Vyvstává základní otázka: z čeho se skládá proton? Lze electron dále dělit? Je foton elementární nebo jej lze dále dělit? Ale analyzovat do základu tyto otázky ztrácí svůj význam. Pokud řekneme, že systém je složen z částic, znamená to stejný předpoklad, jako že je tvořen menšími nezávislými jednotkami. V mikrosvětě však je to jiné, říkáme, že částice se přeměňují během různých procesů interakce. I když se částice rozpadne, nemůžeme tvrdit, že nově vzniklé částice jsou jednodušší. Při kvantovém rozpadu mají nově vzniklé částice větší hmotnost než částice “mateřská”.

Například při rozpradu  $\pi$  - mezonu na proton a neutron je hmotnost částic tohoto páru větší než hmotnost samotného mezonu. Proto mnoho takových částic nenazýváme běžnými, ale elementárními.

Projevují se však také svou vlastní vnitřní strukturou. Volná, neinteragující částice je pouze matematická abstrakce. Skutečné fyzikální částice vždy interagují s vakuovými poli a uvolňují nebo absorbují virtuální částice. Kolem každé mikročástice se vytváří „oblak“ virtuálních částic.

## Různorodost elementárních částic

V současné době je známo více než 400 elementárních částic. Některé existují jen velmi krátkou dobu. Některé se přeměňují na částice jiné, během svého života urazí vzdálenost rovnou poloměru atomu, tj.  $10^{-12}$  cm. Při klasifikaci elementárních částic lze odhalit některé pravidelnosti v oblasti mikrosvětla a pochopit podstatu základních druhů interakcí – gravitační, elektromagnetické, silné a slabé. Dosah slabé interakce je méně než  $10^{-15}$  cm. Přesto slabá interakce je mnohonásobně silnější než interakce gravitační. Coulombovská síla mezi dvěma elektrony je  $10^{42}$  krát větší než jejich vzájemné gravitační působení. V každém případě dosah interakce závisí na hmotnosti částic. Elektromagnetická interakce je zprostředkována fotony (klidová hmotnost fotonu = 0), gravitační interakce gravitony (existence částic dosud nebyla experimentálně dokázána), jejich klidová hmotnost má být také nulová. Gravitační interakce má na svědomí existenci přitažlivé síly mezi stejnými částicemi, ostatní typy interakcí mají za následek existenci odpudivé síly mezi stejnými částicemi. Nositeli silné interakce v atomových jádrech jsou gluony.

Rozmanitost mikrosvětla realizuje svou jednotu prostřednictvím proměnlivosti částic a polí.

### částice + antičástice = nová částice

Hadrony jsou těžké částice, které se skládají ze tří částic – kvarku, antikvarku a gluonu. Existují také lehké částice – leptony. **Leptony** – skupina částic, mezi které patří elektron, těžký elektron (mion) a supertěžký elektron (tauon) a jejich neutrino (elektronové, mionové a tauonové). Tyto částice nepodléhají silné interakci, ale jen slabé a elektromagnetické (pokud jsou nabitě).

Mikrosvět je pro poznání nekonečný. A co bude dál? Cokoliv může být.....

- věda jen stěží v budoucnu bude schopna říct, co je mikrosvět;
- alchymie → chemie → kvantová fyzika (Rutherford – Já jsem posledním alchymistou, protože určitě lze přeměnit jeden atom na jiný – např. zlato lze vyrobit z mědi)
- proton je nestabilní, po určité době se přeměňuje na elektrony, neutrino a fotony. Během času všechna atomová jádra se přemění na elektrony, protony a fotony – to znamená, že uspořádaná hmota zmizí. Dnes se domníváme, že doba života protonu je asi  $10^{32}$  roků. Všechny částice tvořené kvarky jsou nestabilní. V budoucnu by se měla veškerá hmota ztratit. Ale tvrzení, že proton se rozpadá, dosud nebylo potvrzeno. Všechny tyto domněnky jsou dalším předmětem zkoumání.



# Standardní model: ZÁKLADNÍ ČÁSTICE A INTERAKCE

Standardní model shrnuje současné poznatky částicové fyziky. Je to kvantová teorie, která zahrnuje teorii silných interakcí (kvantová chromodynamika neboli QCD) a slabou teorii silných a elektromagnetických interakcí (elektroslabé interakce). V tomto schématu je zahrnuta i gravitace, protože je jednou ze základních interakcí, i když není součástí „standardního modelu“.

## FERMIONY

Leptony			Kvarky		
Vlná	Hmotnost GeV/c <sup>2</sup>	Elektrický náboj	Vlná	Přibližná Hmotnost GeV/c <sup>2</sup>	Elektrický náboj
$\nu_e$ elektronové neutрино	<10 <sup>-6</sup>	0	u up	0.003	2/3
e elektron	0.000511	-1	d down	0.006	-1/3
$\nu_\mu$ mionové neutрино	<0.0002	0	c charm	1.3	2/3
$\mu$ mion	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3
$\nu_\tau$ tauonové neutрино	<0.02	0	t top	175	2/3
$\tau$ tauon	1.777	-1	b bottom	4.3	-1/3

## stavění kameny hmoty

spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...

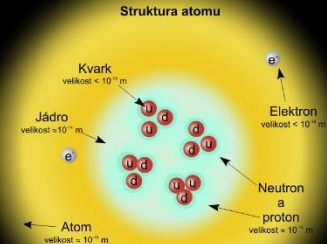
## BOSONY

Název	Hmotnost GeV/c <sup>2</sup>	Elektrický náboj	spin
$\gamma$ foton	0	0	1
W	80.4	-1	1
W'	80.4	+1	1
Z'	91.188	0	1

## nosiče síly

spin = 0, 1, 2, ...

Název	Hmotnost GeV/c <sup>2</sup>	Elektrický náboj	spin
g glulon	0	0	1



Spin je vnitřní moment hybnosti částice. Spin se udává v násobcích  $\hbar$ , což je kvantová jednotka momentu hybnosti, kde  $\hbar = h/2\pi = 6.58 \times 10^{-34}$  GeV s =  $1.05 \times 10^{-34}$  J s.

Elektrický náboj se vyjadřuje v násobcích náboje protonu. V soustavě SI je elektrický náboj protonu  $1.60 \times 10^{-19}$  coulombů.

Jednotkou energie používanou v částicové fyzice je elektronvolt (eV), což je energie získaná jedním elektronem při průchodu potenciálovým rozdílem 1V. Hmotnosti se vyjadřují v GeV/c<sup>2</sup> (neboť platí  $E=mc^2$ ), kde 1 GeV =  $10^9$  eV =  $1.59 \times 10^{-10}$  joula. Hmotnost protonu je 0,938 GeV/c<sup>2</sup> =  $1,67 \times 10^{-27}$  kg.

**Barevný náboj**  
Každý kvark nese jednu ze tří hodnot „silného náboje“, kterému se také říká „barevný náboj“. Tyto barevné náboje nemají nic společného s barvami ve viditelném světle. Gluony mají osem možných hodnot barevného náboje.

Stejně jako elektricky nabitá částice interagují tak, že si vyměňují fotony, v silných interakcích interagují barevně nabitá částice prostřednictvím výměny glulonů. Leptony, fotony, W a Z bosony silně neinteragují a nemají tedy žádný barevný náboj.

**Kvarky uvězněné v mezonech a baryonech**  
Kvarky a gluony nemohou od sebe odtrhnout, jsou uvězněny v barevně neutrálních částicích nazývaných hadrony. Toto uvěznění (vazba) je důsledkem mnohonásobné výměny glulonů mezi barevně nabitými kvarky a gluony samými. Když se barevně nabitá částice (kvarky, gluony) vzdalují, energie pole barevné síly mezi nimi roste. Tato energie se nakonec přemění na další pár kvark - antikvark (viz. obr. v dolní části). Kvarky a antikvarky mohou vytvořit hadrony, to jsou ty částice, které nakonec pozorujeme. V přírodě existují dva typy hadronů: mezony a baryony atd.

**Zbývající silné interakce**  
Silná vazba barevně neutrálních protonů a neutronů tvořících jádro je způsobena zbytkovou silnou interakcí mezi jejich barevně nabitými složkami. Je to podobné jako zbytková elektromagnetická interakce, která váže elektricky neutrální atomy do molekul. Lze ji také chápat jako výměnu mezonů mezi hadrony.

## VLASTNOSTI INTERAKCÍ

Symbol	Název	Kvarkové složení	Elektrický náboj	Hmotnost GeV/c <sup>2</sup>	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	antiproton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
$\bar{n}$	antineutron	$\bar{u}\bar{d}\bar{s}$	0	1.116	1/2
$\Lambda$	lambda	uds	0	1.116	1/2
$\Sigma^+$	sigma	uus	1	1.072	1/2

### Hmoty a antihmoty

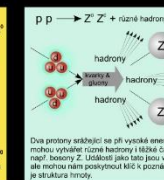
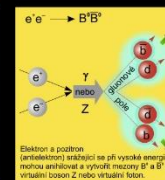
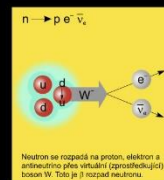
Ke každému typu částice existuje odpovídající typ antičástice. Místě se označuje pruhem nad příslušným symbolem dané částice (pokud není součástí symbolu označení náboje + nebo -). Částice a antičástice mají stejnou hmotnost a spin, ale opačné náboje. Některé elektricky neutrální bosony (např.  $Z^0$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$ ,  $\omega$ ,  $\pi^0$ ,  $\rho^0$ , avšak nikoli  $K^0$  =  $d\bar{s}$ ) jsou samy sobě antičásticemi.

### Obrazky

Tyto diagramy jsou pouze výtvarným zobrazením fyzikálních procesů. Nečiní si nárok na přesnost a nemají žádné rozměrné měřítko. Zelené výběrné plochy znázorňují obklopení gluony nebo gluonové pole a červené šipky odrážejí kvarky.

Vlastnosti	Gravitační		Slabá		Elektromagnetická		Silná	
	„Náboj“, na který působí	„Náboj“, který přenáší	„Náboj“, na který působí	„Náboj“, který přenáší	„Náboj“, na který působí	„Náboj“, který přenáší	„Náboj“, na který působí	„Náboj“, který přenáší
hmota	hmota	graviton	všechny	W <sup>+</sup> W <sup>-</sup> Z <sup>0</sup>	elektrický náboj	elektrický náboj	barevný náboj	všechny a zbytkové silné interakce
částice, která ji cítí	všechny	všechny	kvarky, leptony	kvarky, leptony	elektricky nabitá	elektricky nabitá	kvarky, gluony	hadrony
Zprostředkující částice:	graviton	graviton	W <sup>+</sup> W <sup>-</sup> Z <sup>0</sup>	W <sup>+</sup> W <sup>-</sup> Z <sup>0</sup>	$\gamma$	$\gamma$	gluony	mesony
Síla v porovnání s elektromagnetismem	$10^{-38}$	$10^{-38}$	0.8	10 <sup>-6</sup>	1	1	25	neřídí se kvarky
dosah mezi dvěma kvarky (neutronem)	$10^{-16}$ m	$10^{-16}$ m	$10^{-16}$ m	$10^{-16}$ m	$10^{-16}$ m	$10^{-16}$ m	60	neřídí se hadrony
...a mezi dvěma protony v jádře	$10^{-16}$ m	$10^{-16}$ m	$10^{-16}$ m	$10^{-16}$ m	$10^{-16}$ m	$10^{-16}$ m	20	neřídí se hadrony

Symbol	Název	Kvarkové složení	Elektrický náboj	Hmotnost GeV/c <sup>2</sup>	Spin
$\pi^+$	pion	u $\bar{d}$	+1	0.140	0
K <sup>+</sup>	kaon	u $\bar{s}$	+1	0.494	0
$\rho^+$	rho	u $\bar{d}$	+1	0.776	1
B <sup>+</sup>	B-mezon	u $\bar{b}$	0	5.279	0
$\eta_c$	eta c	c $\bar{c}$	0	2.980	0



© 1988 - 1999 Contemporary Physics Education Project (CPEP)  
© český překlad Olga Kotrbová

Obr.8. Standardní model

([http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/~dolejsi/outreach/standardni\\_model\\_1.jpg](http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/~dolejsi/outreach/standardni_model_1.jpg))

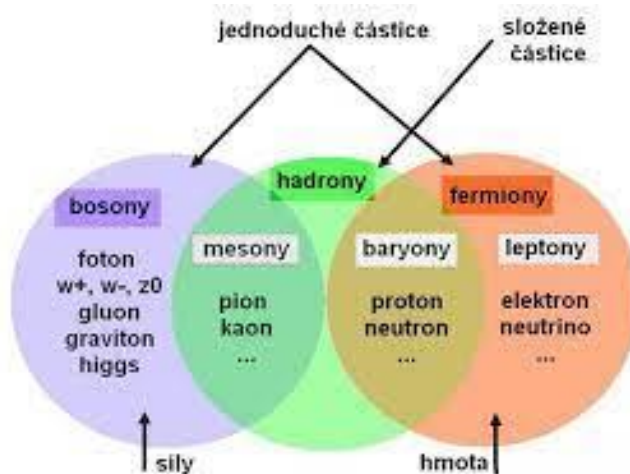
**Fundamentální síly – fundamentální interakce** jsou výše zmínované základní síly – gravitační, elektromagnetická, silná a slabá. Všechny existující síly lze zařadit k některé z těchto základních sil. Fundamentální síly jsou charakterizovány následujícími kritérii: druh částic zprostředkujících silové působení, relativní velikost síly, dosah silového působení, podstata zprostředkujících částic.

Současný model těchto sil je tzv. Standardní model. Grafická reprezentace sil a částic je zprostředkována prostřednictvím Feynmanových diagramů.

### Další informace:

[https://is.muni.cz/el/ped/podzim2014/FY2BP\\_CF4/um/feynmandiagram1.pdf](https://is.muni.cz/el/ped/podzim2014/FY2BP_CF4/um/feynmandiagram1.pdf)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental\\_interaction#/media/File:Particle\\_overview.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Fundamental_interaction#/media/File:Particle_overview.svg)



Obr. 9. Rozdělení částic

Atom je obecný nukleární elektronický systém. Nejdůležitější částí atomu je jádro. Na různých energetických hladinách (podle Bohrova modelu atomu) se kolem jádra atomu nacházejí elektrony. Základní typy interakcí atomů jsou:

1. Interakce mezi poli a částicemi, během nichž se mění vnitřní struktura atomu (radiace, absorpce světla).
2. Atomová vazba, jež určuje skupenství hmoty.
3. Chemické interakce, když se tvoří molekuly a další chemické struktury.

Čím je atom složitější, tím složitější jsou jeho interakce. Chemické interakce probíhají jen na atomární úrovni, proto lze atom považovat za elementární částici v chemických reakcích. Na druhou stranu, chemické reakce nejsou nic jiného než reakce mezi atomy, tzn. že vlastnosti atomů ovlivňují tyto interakce.

Další stavební jednotkou hmoty (evolučním stupněm) jsou molekuly. Kvalitativně je to odlišný stupeň. Moderní přírodní vědy považují pohyb molekul za pohyb nezávislých systémů. Jinými slovy, atomy, které tvoří molekulu, se nepohybují chaoticky, ale přispívají k vnitřní logice molekul.

Moderní chemie zná velké množství chemických částic, které se liší svou strukturou, komplexností apod. Lze rozlišit tři úrovně hmoty:

1. Atomová úroveň (elektricky neutrální atomy, ionty, izotopy atd.)
2. Molekulární úroveň (molekuly, radikály, molekulové ionty atd.)
3. Nad-molekulární úroveň (koloidní roztoky, micely, molekulární komplexy, polymery, makromolekuly)

Jestliže je každá z těchto úrovní chemických procesů více komplexní, potom také všechny procesy se stávají více komplexními. V biologických systémech potom probíhá kvalitativní sféra aktivit zahrnující chemický pohyb. Začínají probíhat další procesy transformace.

## Od fyziky a chemie ke geologii a biologii

Důsledkem chemického a fyzikálního procesu transformace je biologická forma pohybu. Lze to zobrazit pomocí následujícího schématu:

<p>Jevy v důsledku fyzikální interakce na úrovni elementárních částic a atomových jader</p>	<p>Pohyb chemických atomů a molekul Procesy fyzikální interakce atom-molekula</p>	<p>Formy pohybu živé hmoty, (biologické proteinovo-nukleonové systémy)  Geologické procesy</p>
---	---	--

Toto odráží složitý vývojový proces. Na úrovni atomů a molekul jsou procesy velmi složité a vzájemně závislé. V geologických a biologických systémech všechny formy pohybu souvisejí s vnitřními vztahy.

## Jak vznikl vesmír?

Práce Einsteina, Friedmana, Hubbla a dalších ukázaly, že metagalaxie se stále rozpíná, galaxie se od sebe vzdalují. Muselo tedy existovat nějaké prvotní centrum, tzv. Velký třesk. Nikdo neví, co existovalo před Velkým třeskem. Energie generovaná během exploze se přeměnila na atomární částice. Asi 1 miliardu let po explozi se vlivem gravitace vodík a hélium přiblížily, vytvořily mraky, dále rotující plynové koule a vznikly první galaxie a hvězdy.

Standardní kosmologický model pracuje s hypotézou, že před zhruba 13,7 miliardami let byl celý vesmír koncentrován do nekonečně malého bodu s nekonečně velkou hustotou (singularita), ve kterém působily ohromně vysoké tlaky a teploty. V tento okamžik byl vesmír považován za singularitu, a jelikož čas je vázán na hmotu, tudíž ještě neexistoval. Pro vznik vesmíru, současně tedy i času, byla rozhodující událost známá jako Velký třesk (Big bang). Po počáteční explozi singularity se začal vesmír rozpínat a postupně chladnout. Později se explodovaná hmota začala kondenzovat v základní elementární částice – elektrony a kvarky, které po spojení vytvořily protony a neutrony. Ty se sdružovaly do atomových jader a následně spolu s elektrony v atomy. Gravitační kontrakcí pak kondenzovaly všechny galaxie, ve kterých se začaly formovat planety a hvězdy.

Teorie Velkého třesku je založena na obecné teorii relativity v kombinaci s pozorováním vzdalujících se galaxií navzájem od sebe. Galaxie se od sebe neustále vzdalují, což znamená, že se vesmír rozpíná. V minulosti byly tedy všechny vesmírné objekty blíže k sobě, a to až do takového bodu, kdy byla všechna hmota, kterou dnes vesmír obsahuje, stlačena v nekonečně hustém počátečním bodě – singularitě, ve které neplatily žádné nám dnes známé fyzikální zákony. Tuto dobu označujeme za **Planckovu éru**. Období vzniku vesmíru (po Velkém třesku) lze rozdělit do čtyř ér; **hadronova éra**, **leptonova éra**, **éra záření** a **éra látky**. Prvotní éry měly velice rychlý průběh. Pouze během první desetitisíciny sekundy proběhlo bouřlivé exponenciální rozpínání vesmíru

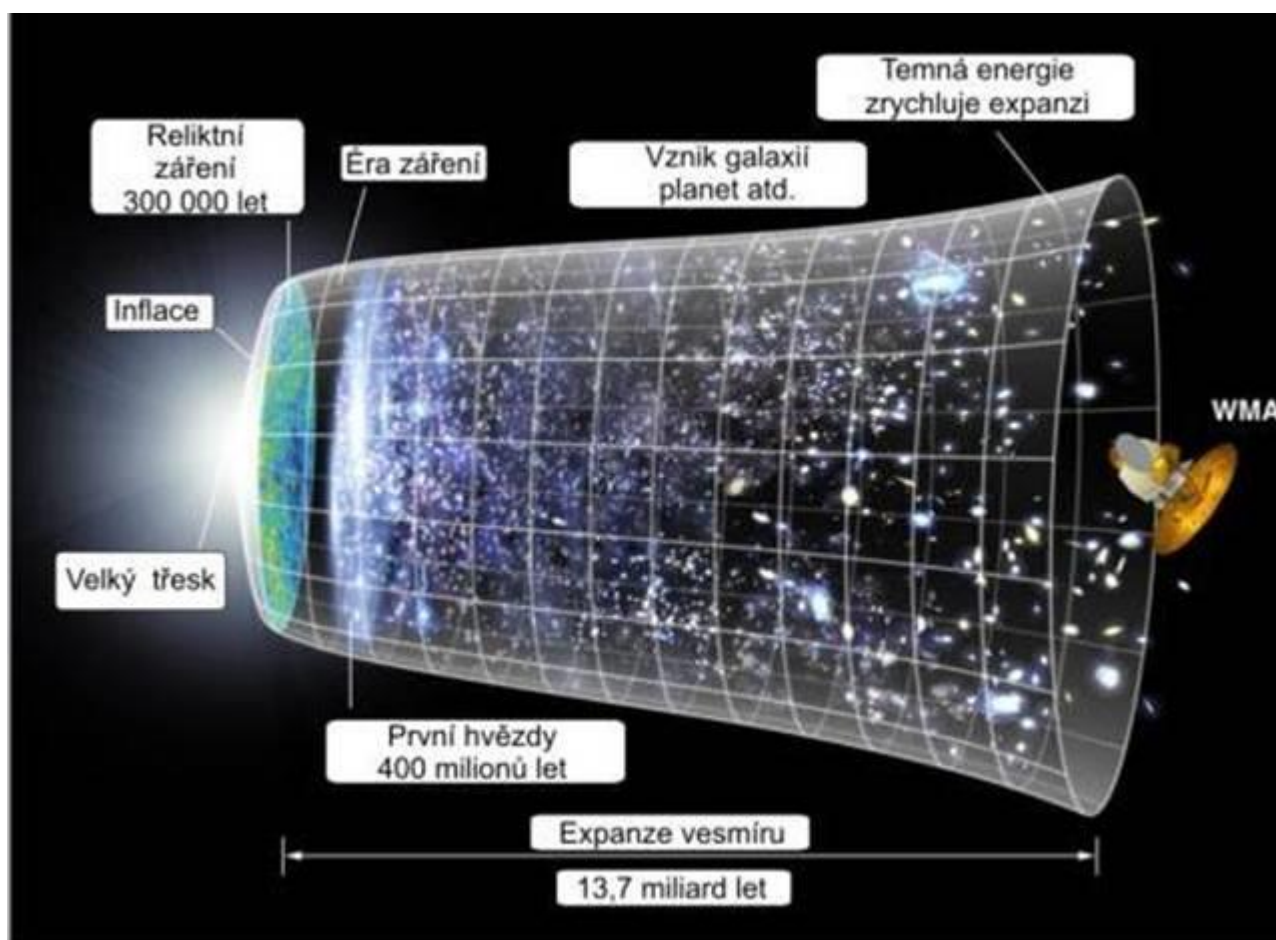
– **hadronova éra**. Teplota překračovala  $10^{12}$  K a střední hustota vesmíru byla na úrovni cca  $10^{17}$  kg·m<sup>-3</sup>. Toto období je nazýváno jako **inflace**. Záření vytvářelo hmotu kvark-gluonového plazmatu. Rozpínání mělo za následek snížení teploty a vznik kvarků (základní stavební částice protonů a neutronů) a gluonů (částice mezi kvarky). Intenzivní jaderná interakce se stává silnou přitažlivou silou, a z kvarků a antikvarků jsou stvořeny hadrony. Hadrony následně vytváří nukleony (protony a neutrony).

Následujícím poklesem teploty ve vesmíru až na hranici 5 GK se vytvářejí leptony (elektron a pozitron), které v této éře patří k nejrychleji se pohybujícím částicím - **leptonova éra**. Leptonové páry anihilují na fotony záření gama, které se stává převládající složkou vesmíru.

Vůdčí úlohy převzaly pozitrony (antičástice elektronu), fotony (elementární částice kvanta elektromagnetické energie) a neutrina (částice ze skupiny leptonů). Vesmír je z 87% tvořen protony a zbylými 13% neutrony. Protony a neutrony se spojily na jádra deuteria, ty dále interagují s protony, což vede k postupnému vzniku jader helia. Helium je v tomto období zastoupeno 25%. Po době 250 sekund se teplota snížila natolik, že to vedlo k samovolnému rozpadu neutronů na protony, elektrony a antineutrina.

Po dalších 10 sekundách začíná **éra záření**. Nejspíš až po 100 tisících letech po velkém třesku se záření izolovalo od hmoty a vesmír se stal pro záření průhledný. Záření přetrvalo až do dnešní doby a lze ho pozorovat jako reliktní záření. Nastal pokles teploty na zhruba 10 000 °C. Po 300 tisících letech od velkého třesku nastává období zvané **éra látky**. Vesmír se stále rozpíná, což ovlivňuje teplotu, která se stále snižuje a má za následek, že volné elektrony se spojují s kladně nabitými atomovými jádry a vznikají neutrální atomy. Klesá množství srážek částic s fotony a elektromagnetické záření se odlučuje od látky.

Téměř homogenní vesmír, 1 miliardu let po Velkém třesku, se začínají pomocí gravitace zhušťovat vodíkové a heliové plyny. Formují se první galaxie. Teplota se snížila až na 3 K. Naše galaxie – Mléčná dráha společně s hvězdami a ostatními vesmírnými objekty vznikla 3 miliardy let po Velkém třesku. Naše sluneční soustava vzniká 9 miliard po Velkém třesku a před 5 miliardami let vznikla také naše planeta Země.



Obr. 10. Schéma standardního kosmologického modelu vzniku a vývoje vesmíru.

### Důkazy Velkého třesku se opírají o tři druhy pozorování

1. **Hubbleův zákon** jinak také **rudý posuv** prokazuje neustálé rozpínání vesmíru. Při sledování vzdálených galaxií a kvazarů bylo zaznamenáno, že jejich světelná spektra jsou posunuta k červenému konci spektra k delším vlnovým délkám. Rudý posuv se vysvětluje v souvislosti s Dopplerovým posunem a rychlostí vzdalování. Dopplerův posuv udává, že tělesa, která se vzdalují, tak mají posuv spektra do červené a naopak tělesa, která se přibližují posuv do modré oblasti spektra. Během studie měření rychlostí a vzdáleností těles se potvrdilo, že mezi rychlostí a vzdáleností je lineární vztah, kterému byla přiřazena rychlost rozpínání vesmíru  $H_0 = 70 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} / \text{Mpc}^{-1}$  (Mpc - megaparsek).
2. **Reliktní** jinak také **zbytkové záření** je mikrovlnné záření přicházející ze všech směrů s charakterem absolutně černého tělesa. Toto záření je pozůstatkem ještě z doby, kdy se vesmír stal průhledným pro elektromagnetické záření. Rozpínání vesmíru stále vedlo ke snižování teploty, ta se změnila z přibližných 3 000 K na dnešních 2,7 K. Na reliktní záření narazili Arno Penzias a Robert Wilson náhodně při testování mikrovlnného detektoru, kdy objevili silný šum, který není závislý na nasměrování detektoru a nemění se s nocí, se dnem ani v průběhu roku. Zhodnotili, že toto záření musí mít původ mimo sluneční soustavu. Později učinili závěr, že zachytili zbytkové záření po velkém třesku. NASA v roce 1989 vypustila sondu COBE, která potvrdila existenci reliktního záření. V roce 2003 pomocí výsledků měření sondy WMAP byla stvrzena domněnka



anizotropního záření. Reliktní záření má vyšší teplotu ve vzdálených mracích plynů, které vznikly již v prvotních etapách zrodu vesmíru, v dobách kdy byl vesmír hustší a teplejší.

3. Zjištěná **hojnost deuteria, helia a lithia**. Tato hojnost převyšuje množství, které by za celou dobu existence vesmírů mohly vyprodukovat hvězdné reakce. Množství 25% je výsledkem primární syntézy, která proběhla během prvních tří minut od počátku vesmíru.

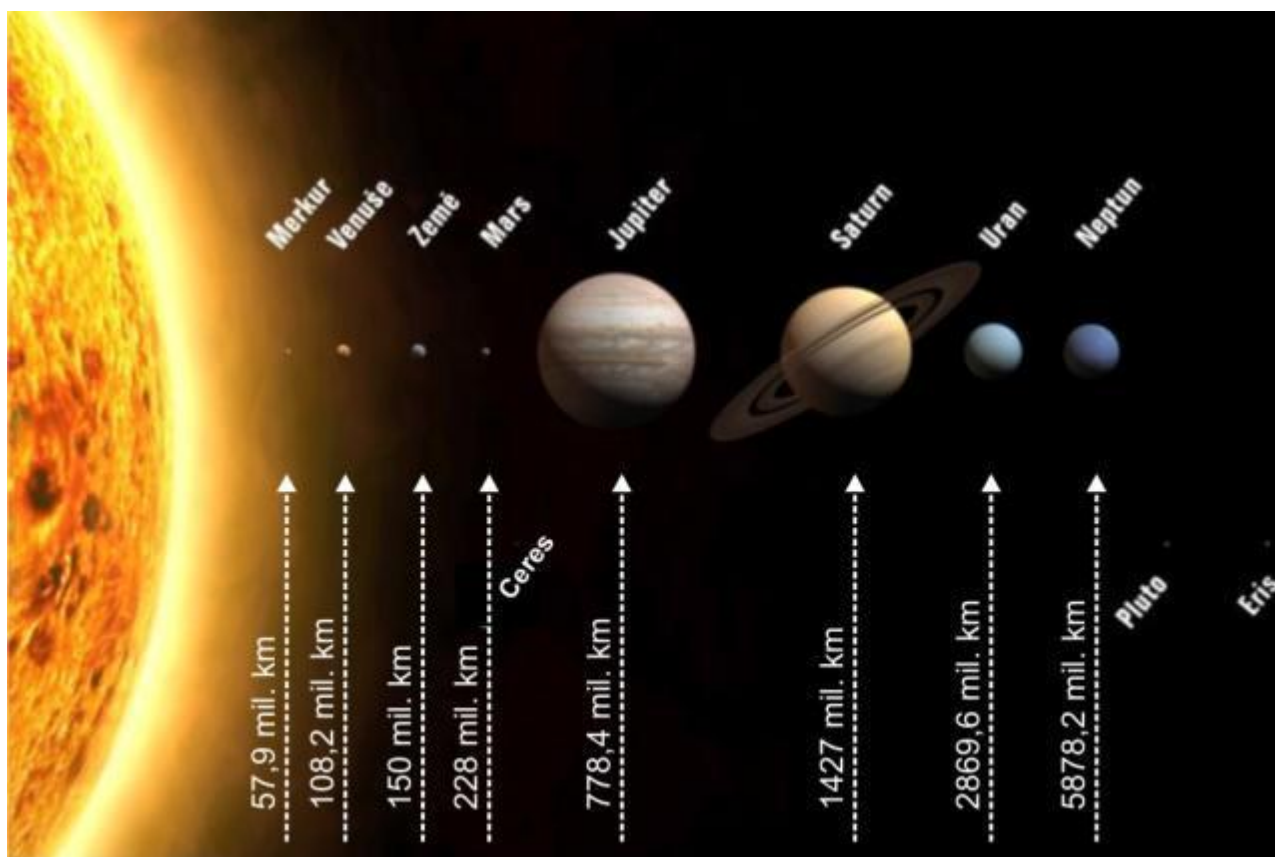
## Vznik sluneční soustavy

Přibližně před 4,6 miliardami let došlo k výbuchu blízké supernovy, která při svých fúzních přeměnách uvolňovala rázovými vlnami plynné a prachové částice. Mlhovina tvořená chaoticky se pohybujícími částicemi byla obohacena o další prvky (tvořena převážně 98% vodíkem a heliem). Z tohoto mraku se začalo formovat Slunce a v jeho okolí později také planety. Chaotický pohyb částic prachu a plynu se změnil na rotační pohyb. Vlivem gravitace se částice začaly shlukovat a migrovat do středu rotačního disku, kde se zvyšovala jak hustota, tak i teplota. Gravitačním kolapsem ve středu mračna se navýšila teplota, což vedlo k zahřátí jádra a následně k termonukleární reakci. Vzniklá hvězda Slunce začala produkovat energii. Tepelný tok zbylý materiál mračna přesunul na kraj rotačního disku. V blízkosti Slunce, kde je vyšší teplota, se v dílčích rotačních vírech rotačního disku sluneční soustavy vytváří zárodky terestrických planet. Dále od Slunce, ve vzdálenostech s nižší teplotou, vznikají joviánské planety složené z vodíku, hélia, čpavku, metanu atd.

Sluneční soustava je součástí galaxie pojmenované jako Mléčná dráha a tvoří ji 8 planet (Merkur, Venuše, Země, Mars, Jupiter, Saturn, Uran, Neptun), dodnes objevených 5 trpasličích planet, přes 150 měsíců a dalších menších těles (např. komety, meteority).

Každá planeta rotuje kolem své osy (čímž určuje délku planetárního dne) a dále obíhá po eliptické dráze kolem Slunce (čímž určuje délku planetárního roku), které se nachází ve společném ohnisku oběžných elips. Každá planeta sluneční soustavy kromě Merkuru a Venuše má své přirozené družice – měsíce.





Obr. 11. Schéma sluneční soustavy se znázorněním vzdáleností planet od Slunce.

<http://geologie.vsb.cz/GMT/HISTGMT/textova%20cast/5.%20vznik%20vesm%C3%ADru.htm>

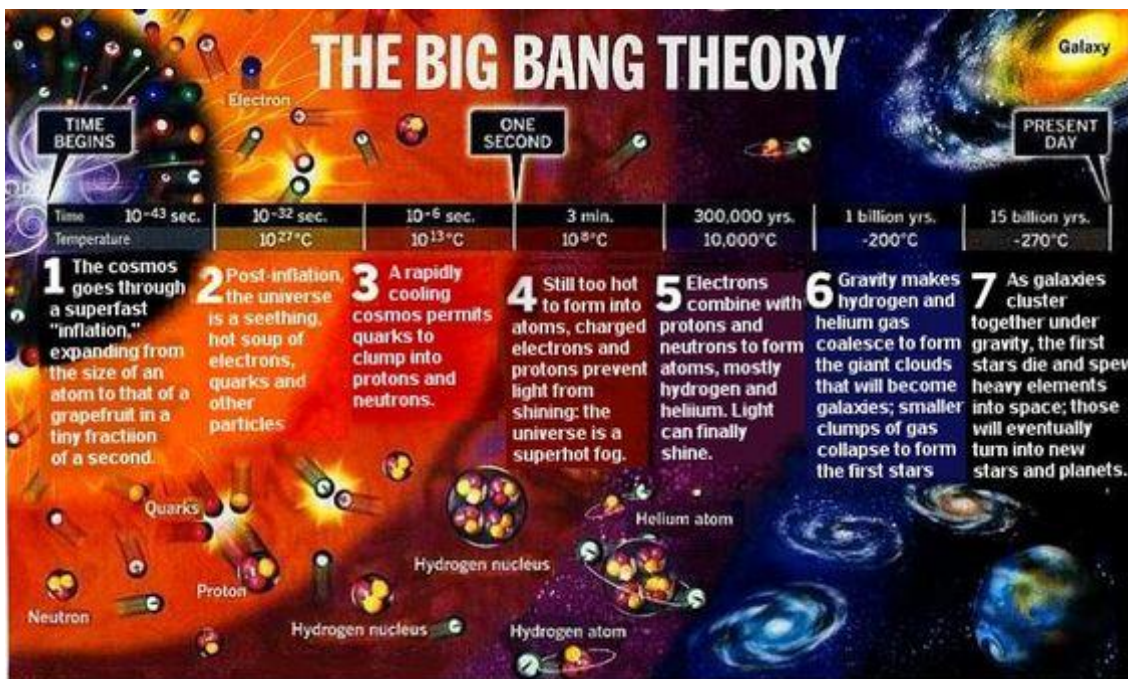
Jaká bude budoucnost vesmíru? Někteří předpovídají, že se bude rozpínat, zvětšovat a ochladí se. Hvězdy zaniknou a vesmír bude chladný a tmavý. Jiní se domnívají, že za mnoho let, gravitace zastaví galaxie a proto se přestanou rozpínat. Poté se obnoví gravitační působení mezi galaxiemi. Vesmír se smrští do jednoho bodu, hmota se bude zahřívat a smršťovat až do stavu tzv. Velké krize. Vše se rozpadne a to bude znamenat konec vesmíru. Později může dojít k jinému Velkému třesku a může se zformovat nový vesmír.

Stále však zůstává otázka, jak vznikl vesmír. Již z doby antiky je známo, nic nemůže vzniknout z ničeho. Každý objekt může vzniknout jen z jiných objektů. Absolutní prázdnota neexistuje. Pokud není hmota, existuje pole, pokud neexistuje pole, potom je zde fyzikální vakuum. Moderní fyzika považuje vakuum za zvláštní stav hmoty a nikoli absolutní prázdnotu. Tzn. vakuum elektromagnetického pole je stav, ve kterém neexistují fotony. Proto princip nemožnosti vzniku a zániku hmoty zůstává v platnosti. Zachování hmoty, energie, elektrického náboje, hybnosti a další zákony byly známy již od počátku 20. století. Dnes je populární absolutizovat koncept černé díry. Nyní však víme, že nejsou zcela izolované a uzavřené. Dlouhou dobu se předpokládalo, že černé díry pouze pohlcují objekty, mají obrovskou gravitaci, takže není možné ani vyzařování světla. V současnosti bylo dokázáno, že černé díry vyzařují toky hmoty a antihmoty, elektromagnetické vlny apod. do okolního prostoru.

## Teorie tepelné smrti vesmíru

V roce 1960 německý fyzik Clausius formuloval druhý zákon termodynamiky, který říká, že v nevratných procesech entropie (neuspořádanost) roste. Na základě tohoto zákona byl vysloven názor, že všechny formy pohybu se přemění na tepelný pohyb a rovnoměrně se rozptýlí do vesmíru. Ale je zřejmé, že nedochází pouze k procesu dekompozice (rozkladu) hmoty, ale také k její koncentraci v prostoru. Předpokládá se, že černé díry jsou koncentrátorem hmoty a energie a jsou schopny je vrátit do okolního prostoru prostřednictvím exploze.

Megasvět je tedy také poměrně složitý (komplexní). Zdá se, že je nemožné vytvořit kompletní teorii, která by vysvětlovala všechny odlišné formy existence hmoty. Pokud by byla taková teorie vytvořena, vědy by ztratila smysl, vše by bylo vysvětleno. Např. co platí v oblasti mikrosvěta, neplatí ve světě elementárních částic. "Část menší než celek" neplatí ve světě elementárních částic.



Obr. 12. The Bing Bang theory (<https://cz.pinterest.com/pin/194851121359996416/>)

## Literatura:

<https://www.universetoday.com/54756/what-is-the-big-bang-theory/>