

JAN MAZANEK

GLOBALNÍ
STRUKTURA
VESMÍRU

Jan Mazanec

GLOBALNÍ STRUKTURA
VESMÍRU

© Ing. Jan Mazanec (janmazanec@email.cz)

Recenzoval: Ing. Jiří Havlíček

Jazyková korektura: Ing. Jarka Kovaříková

Grafická úprava: Barbora Trnková & Tomáš Javůrek

Grafická úprava obálky: Anita Somrová

Sazba a zlom: Tomáš Javůrek

Ilustrace: Martin Salajka, Samuel Paučo, Oldřich Morys, Marek Hlaváč, Tomáš Hodbodě, Tomáš Javůrek & Barbora Trnková. (Výběr děl vychází z kurátorského projektu Jany Písaříkové a Tomáše Hodbodě Kraj-jinné meze, realizovaném v Galerii města Blanska 2. 3. – 27. 3. 2013, jehož byla maketa této knihy také součástí.)

Vydal: Tomáš Javůrek v Brně 2015 (sídlo: Podnásepní 380/12, 602 00 Brno-Trnitá)

ISBN 978-80-906173-0-8

PŘEDMLUVA

Snad každému člověku se při pohledu na zářící a jasnou noční oblohu zatají dech nad hloubkou mrazivého, zdánlivě nekonečného prostoru posetého tisíci hvězdami. Po staletí si člověk s rozechvěním kladl stejné otázky. Kde jsou hranice vesmíru? Co se skrývá mezi zářícími hvězdami, je tam někde skryta odpověď na otázky po vzniku hmotného světa, prostoru a času? Pokud vás z představ nekonečnosti a prázdnoty prostoru mrazí a chodíte s hlavou zakloněnou, potom právě vám je tato kniha určena.

Pohledem na nebe prostým okem spatříme jen nepatrný zlomek viditelného vesmíru, a to pouze z nejbližšího okolí našeho Slunce. Náš zrak nám dovolí rozlišit pouze necelých 6 000 hvězd, v příznivých obdobích lze spatřit 5 planet naší Sluneční soustavy, několik málo uskupení kulových či otevřených hvězdokup, mlhovin a galaxií. Sestrojení prvních dalekohledů posunulo hranice poznatelného vesmíru a jeho struktury mnohem dále a ovlivnilo naše poznání z mytologického pohledu na vesmír k racionálnímu. Rozvoj přístrojové a kosmické techniky, nejen v optických, ale i v dalších spektrálních oborech záření vesmírných objektů nám umožnil stanout téměř na samém okraji časoprostoru. Je naše současné poznání objektivní, zobecnitelné, nebo jde jen o jednu z cest, částečně odpovídající našim zkušenostem a schopnostem chápání a omezenou představivostí? Je vůbec v mož-

nostech přírody či v jejím záměru, abychom byli schopni poznat vše?

V této knize přístupnou formou shrnuji aktuální vědecké poznatky o struktuře pozorovatelného vesmíru. Současně vám představím některé modely a teorie, které se v současné době pokouší vysvětlit jeho historii, současné a budoucí chování. Kniha má otevřený konec, nepřisvojuje si právo být moudřejší než příroda.

Budoucí vývoj vědy jistě poopraví, zpřesní či dokonce nahradí některé teorie, omyly a naděje, samozřejmě za předpokladu, že odvěkou lidskou touhu po poznání a pravdě nezapomene omezenost, bezduchost, nesvoboda a násilí.

Prostor vesmíru, respektive to, co chápeme jako prostor expandující s nejvyšší pravděpodobností současně s časem od vzniku vesmíru, je z globálního hlediska homogenním způsobem zaplněn hmotou a energií. Dnes se domníváme, že jen malá část hmoty ve vesmíru – cca 5 % – je **baryonové** (atomární) povahy. Z těchto pouhých 5 % je jen 1 % svítící baryonové hmoty, tj. to, co můžeme zrakem či pomocí techniky přímo pozorovat, a zbylá 4 % tvoří tzv. nesvítící baryonová hmota. Asi 27 % hmoty vesmíru je tvořeno **temnou hmotou** pro nás doposud neznámé povahy. Její existence se předpokládá na základě projevujících se gravitačních účinků na rozlehlé vesmírné objekty. Zbylých 68 % tvoří **temná energie**, která je pravděpodobně tvořena kvantovými fluktuacemi vakua a je za hranicemi současných možností pozorování. Složení vesmíru patří k jedné z největších záhad současné fyziky. Naše znalosti vesmíru jsou nejdále v poznání oněch 5 % baryonové hmoty. Úsilí velké části vědeckého světa je v současné době věnováno právě výzkumu temné hmoty a temné energie. Výzkumy se realizují ve vazbě na poznání nejen makrosvěta, ale v úzkém spojení s vývojem poznání v oblasti kvantové fyziky, které může napovědět mnohé o procesech vzniku a vývoje vesmíru. Této problematice se budeme věnovat i v naší knize.

Co tedy můžeme zahrnout do těchto 5 % pro nás známé hmoty baryonové povahy?

Patří sem především hvězdy, planety, mezihvězdná a meziplanetární hmota, hvězdokupy, mlhoviny, galaxie. Přírodní zákonitosti, jimž podléhají, jsme v současné době schopni popsat ať již klasickou, relativistickou či kvantovou fyzikou poměrně přesně, a jsou potvrzeny i pozorováním.

V první části knihy jsem zaměřil svou pozornost na základy astrofyziky, popisující oněch nepatrných 5 % baryonové hmoty. Věřím, že i zde nalezne pozorný čtenář

mnoho úchvatného a usnadní mu to základní orientaci v problematice chování a vývoje vesmírných objektů. Dotkneme se i základů jaderné a kvantové fyziky, které čtenáři posléze umožní nalézt spojitosti mezi chováním hmoty v mikrosvětě a makrosvětě.

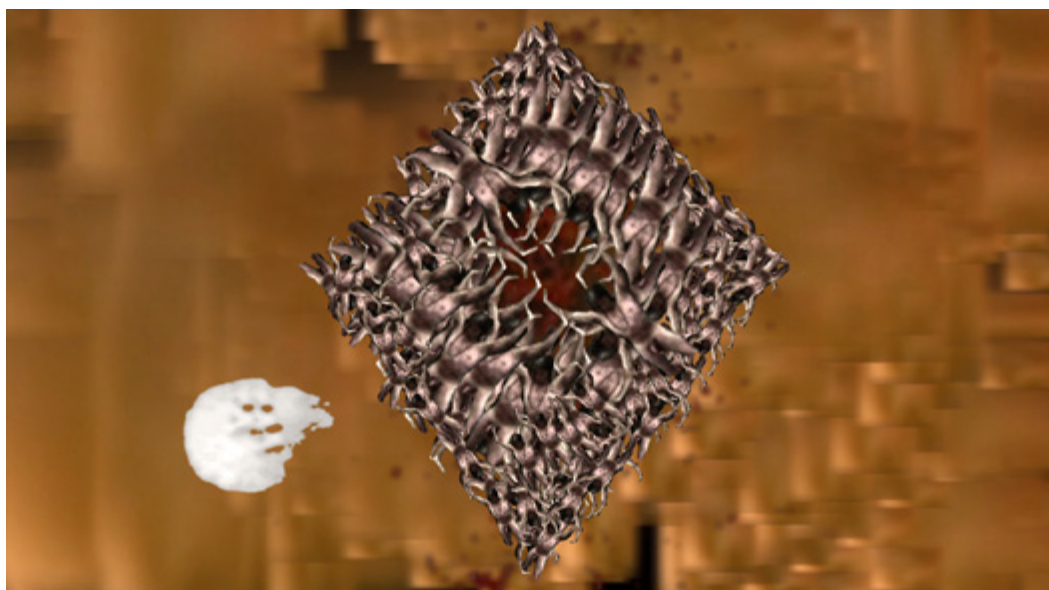
Brno 2014

Jan Mazanec

OBSAH

PŘEDMLUVA	3
1 Vesmír a mikrosvět	10
1.1 Standardní model mikrosvěta	11
1.2 Leptony	15
1.3 Kvarky	18
1.4 Intermediální částice	22
1.5 Bosony	26
1.6 Fermiony	27
1.7 Higgsovy částice	28
1.8 Korpuskulárně vlnový dualismus	29
1.9 Symetrie v přírodě	32
1.10 Hranice kvantového světa	37
1.11 Kde se vzala ve vesmíru hmota	41
1.12 Gravitace, prostor a čas	46

2	Hvězdy a jejich základní charakteristiky	65
2.1	Měření vzdáleností ve vesmíru a jejich jednotky	71
2.2	Velikosti a hmotnosti hvězd	76
2.3	Zdroje záření	79
2.4	Spektra hvězd a jejich třídění	82
2.5	Stavba hvězd a zdroje zářivé energie	94
3	Zrození hvězd a hvězdný vývoj	100
3.1	Hvězdy s hmotností podobné Slunci a nepřekračující $10 M_{\odot}$	104
3.2	Hvězdy s hmotností překračující $10 M_{\odot}$	107
3.3	Hvězdy s extrémní hmotností převyšující $50 M_{\odot}$	112
4	Galaxie	117
4.1	Stavba naší Galaxie	123
4.2	Mlhoviny	127
4.3	Otevřené hvězdokupy	132
4.4	Kulové hvězdokupy	133
5	Galaktické skupiny, kupy a nadkupy	136
6	Kosmologie, vznik a vývoj vesmíru	140
6.1	Rozpínání vesmíru	142
6.2	Inflační model	150
6.3	Geometrie vesmíru	152
	ZÁVĚR	155
	PŘÍLOHY	157



Ilustrace č. 1: Tomáš Hodbod'. Rhapsody_1_(live & death). Video 1' 30". 2013.

VESMÍR A MIKROSVĚT

Hvězdy, které každou jasnou noc ozařují naši oblohu, jsou naší bránou poznání vesmíru. Jsou pojítkem mezi pozemským a vesmírným prostorem. Dnes již o nich víme poměrně mnoho a domníváme se, že s vysokou pravděpodobností pro jejich stav a vývoj platí stejné fyzikální zákony jako na Zemi. Víme také, že některé jejich chování na počátku a konci vývoje je teorií a lidskou představivostí jen těžko uchopitelné.

Informace o hvězdách či obecně o vesmíru získáváme prostřednictvím rozboru a analýzy záření, které se po cestě vesmírným prostorem dostane až do našich dalekohledů či měřicí techniky. Zdrojem těchto informací z hvězd a mezihvězdného prostoru jsou procesy probíhající na úrovni mikrosvěta. Proto tuto kapitolu o hvězdách začneme úvodem do světa elementárních částic. Znalost a studium chování hmoty a energie v mikrosvětě je klíčem ke studiu či alespoň k představě o chování velkých struktur hmoty, vesmíru v minulosti, současnosti i budoucnosti. Pochopení chování mikrosvěta nám přiblíží i těžko představitelné vlastnosti vakua, které nejspíše tvoří oněch 68 % materiální podstaty vesmíru – temné energie.

V úvodu této knihy jsem se zmínil o své snaze vytvořit popis stávajícího poznání našeho vesmíru populární a přístupnou formou. V některých částech se bohužel nevyhneme použití jednoduché matematiky, která usnadní a zpřesní popis předmětu

dané kapitoly. Většinou však nepřekročí svojí náročností znalosti získané absolvováním kurzů matematiky na středních školách. Je třeba chápat matematiku jako nástroj, jazyk, který svojí extrémně symbolickou povahou zestruční jinak zdlouhavý a explikativní slovní popis vzájemných vazeb mezi popisovanými veličinami a umožní nám opakovatelné použití či analýzu chování při změnách vstupních veličin a sledování vývoje v čase^[1].

1.1 Standardní model mikrosvěta



Ilustrace č. 2: Tomáš Hodbod'. Video skica. Video-montáž. 2013.

Z pozorování chování hmoty v prostoru kolem nás víme, že se může projevovat jak v podobě hmatatelné, jako látka, nebo v podobě různých druhů polí či záření. Můžeme dokonce považovat tuto skutečnost za projev jednoho a téhož, o čemž vypovídá i známý jednoduchý vztah $E = mc^2 = h\nu$, kde je zobrazeno jednoduché a kouzelné rovnítko mezi částicemi látky, zářením a energií. V tomto vztahu je E energie, m hmota, c rychlost světla, h Planckova konstanta a ν frekvence záření. Částice hmoty se mohou chovat jako vlnění a naopak vlnění jindy jako hmotné částice, tzv. kvanta.

[1] Pokud není uvedeno jinak, nejsou v textu pro zjednodušení rozlišeny vektorové veličiny od skalárních.

Ale začněme od počátku.

To, co jsme nazvali látkou, se může nacházet v přírodě v různých tzv. **skupenstvích**. Hovoříme o **skupenství degenerovaného plynu, pevném, kapalném, plynném a plazmatickém**. Látka může své skupenství změnit. K této změně nedochází samovolně, ale vždy za působení vnější energie.

Dále látku rozdělujeme podle charakteristických vlastností na tzv. **prvky** – např. zlato, měď, železo, kyslík, uran atd. Za základní stavební částici prvku považujeme **atom**. Mendělejev v roce 1869 seřadil známé prvky podle hmotností atomů a vytvořil tak dnes po něm pojmenovanou **Mendělejevovu tabulku prvků**. V současnosti tato tabulka obsahuje 117 prvků, z nichž se 94 vyskytuje na Zemi v přírodní podobě. Mendělejev měl zařazeno v tabulce původně jen 63 prvků, ale díky geniálnímu zákonu periodicity dokázal předpovědět dalších deset prvků, které byly později skutečně objeveny.

Atomy považujeme za **chemicky nedělitelné**. Fyzika jde však dále.

Na začátku dvacátého století se ukázalo, že atom není nedělitelný, ale skládá se z jádra a elektronového obalu. Vlastní jádro obsahuje částice s kladným elektrickým nábojem – **protony** a částice^[2] bez náboje – **neutrony**. Tyto částice nazýváme nukleony. Obal jádra tvoří elektrony, částice se záporným elektrickým nábojem. Atomy prvků charakterizují následující čísla:

A – nukleonové číslo, **Z** – protonové číslo a **N** – neutronové číslo.

Přitom platí, že:

$$A = N + Z$$

Protony a neutrony jsou v jádru vázány jadernými silami. Rozměry atomových jader jsou řádově 10^{-15} m. Elektrony jsou vázány k jádru elektrostatickými silami a společně s jádrem tak tvoří atom o rozměrech řádově 10^{-10} m.

[2] O částici hovoříme v mikrosvětě, pokud její existence překročí čas minimálně 10^{-26} s. Pokud je doba její existence kratší, hovoříme o tzv. rezonanci a nikoliv o částici. Pokud budete mít v následujícím textu pocit, že občas nerozlišuji ve výkladu záření, tj. jeho vlnový charakter a částicový charakter a občas je mezi sebou prohazuji, věřte, že příroda to takto připravila a v části věnované kvantově vlnovému dualismu si tuto schválnost přírody pokusíme vysvětlit. K základním charakteristikám elementárních částic patří klidová hmotnost, elektrický náboj, spin, magnetický moment, podivnost, izospin, parita, leptonové či baryonové číslo.

V základním stavu je počet protonů a elektronů v atomu stejný a atom se chová jako elektricky neutrální, tedy bez náboje. Počet a rozložení elektronů v elektronovém obalu vytváří charakteristické fyzikální a chemické vlastnosti látek. Každého jistě napadne, jak je možné, že se jádro nerozpadne, když kladně nabitě protony by se měly odpuzovat a ne vázat v celek, či proč záporně nabitý elektron není protonem s kladným nábojem přitažen a nespojí se s ním? Jsou protony a neutrony skutečně elementární částice? Existují i jiné částice? Co drží tyto částice pohromadě? Na tyto otázky lze odpovědět jen tehdy, pokud se hlouběji ponoříme do studia kvantové fyziky. Pokusím se alespoň částečně poodhalit tato tajemství mikrosvěta, jež vám umožní lépe pochopit chování hmoty ve hvězdách, galaxiích či ve vesmíru jako celku. Začnu nejprve tzv. **standardním modelem** (*SM*) mikrosvěta, který shrnuje prakticky všechny poznatky současné vědy o elementárních částicích. *SM* nemusí být definitivní teorií mikrosvěta, ale popisuje jej **na současném stupni poznání**. A přesto, že je jednou z nejlépe experimentálně potvrzených teorií, nevysvětluje některé skutečnosti, jako například vznik baryonové asymetrie a další. Teorie ve spojení s experimenty a pozorováním však zatím stoprocentně potvrzuje, že pokud by byl mikrosvět jiný, musel by být jiný i vesmír.

Základní třídění standardního modelu elementárních částic provádíme podle rodové příslušnosti a statistického chování. Elementární znamená **nedělitelné, tedy bez vnitřní struktury**.

Rozdělení elementárních částic podle rodové příslušnosti	
Leptony	Patří sem elektrony , jejich neutrino , miony , tauony a jejich neutrino a příslušné antičástice .
Kvarky	Částice, z nichž jsou složeny protony, neutrony a mezony. Známe v současnosti šest kvarků – d, u, c, s, t, b a jejich antičástice .
Intermediální částice	Částice, zprostředkující interakce (částice pole – silové působení mezi částicemi). Foton – elektromagnetická interakce. W^+, W^-, Z^0 boson – slabá interakce. Gluony 8 typů – silná interakce. Graviton – gravitační interakce (zatím jen teoretická částice).
Higgsovy částice	Částice odpovědné za nenulovou hmotnost částic hmoty – W^+, W^-, Z^0 .

Tabulka č. 1: Rozdělení elementárních částic podle rodové příslušnosti

Rozdělení elementárních částic podle statistického chování	
Bosony	Mezony a všechny intermediální částice , tj. foton, W^+, W^-, Z^0 , gluony. Mají celočíselnou paritu. Nesplňují Pauliho vylučovací princip.
Fermiony	Všechny leptony a kvarky . K fermionům také patří částice, složené ze tří kvarků (tzv. baryony například neutron, proton, Δ baryon, Λ hyperon, atd. Mají poločíselný spin. Splňují Pauliho vylučovací princip.

Tabulka č. 2: Rozdělení elementárních částic podle statistického chování

1.2 Leptony



Ilustrace č. 3: Samuel Paučo. Před oponou 13. Komb. tech. na plátně. 230 x 200 cm. 2012.