

MASARYKOVA UNIVERZITA
FILOZOFICKÁ FAKULTA

KATEDRA FILOZOFIE

Magisterská diplomová práce

2014

VLASTIMIL PRAŽÁK

MASARYKOVA UNIVERZITA
FILOZOFICKÁ FAKULTA

KATEDRA FILOZOFIE

UČITELSTVÍ ZÁKLADŮ SPOLEČENSKÝCH VĚD
PRO STŘEDNÍ ŠKOLY

Vlastimil Pražák

**Moderní kosmologie a proměny představ
o prostoru**

Magisterská diplomová práce

Vedoucí práce: prof. PhDr. Josef Krob, CSc.

2014

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s využitím uvedených pramenů a literatury.

Děkuji prof. PhDr. Josefu Krobovi, Csc. za cenné rady, návrhy a připomínky.

Děkuji také své přítelkyni za trpělivost a podporu.

OBSAH

Úvod	7
1. Uvedení do problematiky	9
1.1. Kosmologie	9
1.2. Prostor	10
1.3. Absolutní prostor I. Newtona	12
2. Identifikace relačního pojetí prostoru	16
2.1. Aristotelés	17
2.2. René Descartes	21
2.3. G. W. Leibniz	24
2.4. Znaký relačního pojetí	29
3. Moderní fyzika a kosmologie	31
3.1. Kosmos před vznikem relativistické fyziky	31
3.2. Sjednocení prostoru a času	33
3.3. Absolutní vztažná soustava a relativistická fyzika	35
3.3.1. Role éterové teorie	35
3.3.2. Ztráta absolutního etalonu	39
3.3.3. Absolutní prostoročas	40
3.4. Prostor aktérem fyzikálního dění	45
3.4.1. Zakřivený prostoročas	45
3.4.2. Vztah prostoročasu a hmoty	49
3.4.3. Rozpínající se prostor	51
3.4.4. Prostor má počátek	54
3.4.5. Konečný a nekonečný prostor	56
3.4.6. Prostoročas neexistuje nezávisle na tělesech	59
3.5. Vakuum moderní fyziky	59
3.6. Je prostoročas zvláštní entitou?	65

3.7. Skryté rozměry a světy	68
3.7.1. Vícerozměrný prostor	70
3.7.2. Nové vesmíry	73
3.8. Geometrie a fyzika v moderní kosmologii	77
4. Prostor v moderní fyzice a kosmologii	81
4.1. Shrnutí – charakteristika prostoru	81
4.2. Jedná se o relační pojetí?	84
Bibliografie	87

ÚVOD

Prostor je jednou z nejvýznamnějších kategorií filosofie a přírodních věd. Z historie přírodněfilosofického uvažování známe řadu koncepcí, které se k podstatě a vlastnostem prostoru vyjadřují. V souladu s intuitivním nazíráním světa je prostoru přisuzován status podmínky veškerého dění, stává se nádobou, ve které je kosmos umístěn. Avšak např. již Aristotelés si všímá nedůslednosti takového pojetí. Během vývoje evropského myšlení se objevuje řada koncepcí, které buď intuitivní chápání prostoru kritizují a zároveň nabízejí pojetí nové, nebo naopak přinášejí hlubší teoretické rozpracování prostoru ve smyslu prázdné nádoby. Opakovaná emanace otázky prostoru, ačkoli se nikdy nejednalo o nejpálčivější filozofickou otázku, dokazuje, jak fundamentální roli ontologická otázka prostoru hrála. Newtonova koncepce absolutního prostoru, nehledě na to, jak zásadní pozici zastává v rámci novověké vědy, je stále ještě koncepcí přírodněfilozofickou. Teprve s nástupem relativistické fyziky se objevuje pojetí prostoru, které odpovídá požadavkům moderní vědy. Je to tedy fyzikální věda, která v současnosti přináší převládající koncepci tak tradičního filozofického tématu, jako je právě prostor. Fundamentální povaha prostoru přesto zůstává otevřeným problémem.

Opomíjením poznatků speciální přírodovědy by se filozofie vzdala možnosti poskytnout jednotný obraz světa. Komunikace mezi vědou a filozofií je tak (samozřejmě s výjimkami) frekventovaná v obou směrech. Prostor, o kterém hovoří moderní fyzika a kosmologie, je natolik originální koncepcí z hlediska historie představ o prostoru, že nesmí zůstat (a také nezůstává) mimo filozofický zájem.

Předkládaná diplomová práce je tak pokusem podat souhrnnou charakteristiku pojetí prostoru, které se objevuje v současných fyzikálních a kosmologických koncepcích. K prostoru se staví jako k problému a jejím cílem je odhalit povahu tohoto pojetí, které je obecně řazeno mezi pojetí relační.

Tvrzení o relačním pojetí se stane výchozí hypotézou, která bude v práci prověřována.

První část práce bude kromě uvedení do problematiky obsahovat charakteristiku Newtonova absolutního prostoru, neboť relativistická fyzika, která je spolu s kvantovou fyzikou výchozím souborem myšlenek moderní kosmologie, vyrůstá hlavně z negace

absolutních entit prostoru a času newtonovské fyziky. V průběhu práce se tak budeme s pojetím absolutního prostoru neustále setkávat.

Druhá část splní nezbytnou podmínku ke smysluplnému prověření položené hypotézy – nejprve je nutné přehledně identifikovat relační pojetí prostoru. Bude tak učiněno prostřednictvím filozofických koncepcí Aristotela, René Descarta a G. W. Leibnize.

Třetí a nejobsáhlejší část je samotným rozbořem fyzikálních a kosmologických koncepcí, ve kterých můžeme přímo či nepřímo identifikovat vlastnosti, které jsou prostoru přičítány.

V poslední části nalezneme shrnutí zjištěných informací v podobě přehledného výčtu charakteristických vlastností prostoru. Na tomto místě je také vysloven závěr, do jaké míry můžeme považovat pojetí prostoru v moderní fyzice a kosmologii za relační.

Ústřední roli v dosažení vytyčeného cíle tedy sehrají přírodněfilozofické koncepce I. Newtona, R. Descarta, G. W. Leibnize, relativistická a kvantová fyzika a z nich vycházející kosmologické koncepce.

1. UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY

1.1. KOSMOLOGIE

Řecký termín „kosmos“ označuje nejen svět, jak mu rozumíme z moderních jazyků, nýbrž primárně lad, řád a krásu. Původně se snad jednalo o estetickou kategorii, později byl využíván v sociálně politické oblasti, až se nakonec prosadil jako výchozí pojem kosmologického uvažování.¹ Přesný etymologický původ slova kosmos (řecky *κόσμος*) nám není znám. K původnímu významu slova se tak dostáváme pouze pomocí analýzy jeho užití v dochovaných textech.² Ve spekulacích přírodních filozofů nabývá kosmos významu harmonického systému světa. S postupnou emancipací filozofie a logu od náboženství a mýtu se svět začal jevit jako systematicky členěný řád uchopitelný rozumovými nástroji. Na místo mýtu nastupuje *logos* a svět je nyní označován jako „kosmos“ (všezahrnující řád věcí).

Samotný termín *kosmologie* poprvé použil až německý filozof Christian Wolff v názvu svého díla *Cosmologia Generalis* z roku 1730. Na kosmologické otázky totiž nejprve odpovídali přírodní filozofové. Dokonce ještě Newton v 18. století používá pro oblast svého bádání výraz *přírodní filozofie*. Ještě v 19. století zůstává kosmologie na poli metafyziky. Teprve s Einsteinovou gravitační teorií se rodí moderní fyzikální kosmologie. Pro moderní kosmologii má obecná teorie relativity konstitutivní význam. Počátek bývá datován do roku 1917, v němž Einstein formuloval první obecně relativistický model vesmíru.³

Své uplatnění v kosmologii našla také kvantová fyzika. Relativistická a kvantová fyzika dnes nepracují přísně separovaně, ačkoli jejich zjištěná fakta mají maximálně odlišná měřítka. Výzkumy vzdálených oblastí kosmu využívají nejnovějších poznatků o stavbě hmoty. Stejně tak objevy astronomie mají vliv na úvahy o hmotě v oblasti

¹ Viz Tursunov, Akbar. *Od mýtu k vědě: evoluce kosmologického obrazu*. 1. vyd. Praha: MF, 1978, s. 31.

² Viz Kahn, Charles. Užití termínu *κόσμος* v rané řecké filozofii. In *Kosmos a živly: Studijní texty*. Rezek, Petr. 1. vyd. Praha: Institut pro středoevropskou kulturu a politiku, 1992, s. 10.

³ Viz Horský, Jan, Novotný, Jan, Štefaník, Milan. *Úvod do fyzikální kosmologie*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2004, s. 9.

mikrosvětá.⁴ Moderní kosmologie je vystavěna na těchto dvou základních kamenech. V současnosti je například na vzestupu astročásticová fyzika, jejíž výzkum vyžaduje poznatky z oblasti částicové fyziky i astrofyziky.⁵ Také studium vlastností počátečních stavů vesmíru, kdy byla kosmická látka velmi hustá a horká, vyžaduje provádět laboratorní experimenty s extrémními stavy látky, které se realizují v částicových urychlovačích. Výsledky experimentů patří mezi nejvýznamnější zdroje kosmologických informací.⁶

1.2. PROSTOR

Na rozdíl od evidentního břemene času, které se projevuje stárnutím k smrti, sezónní migrací lovné zvěře, tlením rostlin a střídáním ročních období, nevytváří otázka prostorových vlastností tak silný existenciální nátlak. Prvotní chápání prostoru podléhá antropocentrickému výkladu člověka, jenž obývá jen velmi omezený, bezpečný prostor pod nebeskou klenbou. Spolu s růstem dovedností a znalostí člověka se rozrůstal i jím obývaný prostor, zvláště když se s rozvojem rozumových schopností stal i prostor předmětem racionální reflexe.

Bazální uchopení prostoru člověkem odráží smyslovou zkušenost s objekty světa a s předměty, kterými se člověk obklopuje. Intuitivně chápeme, že každý objekt se nachází na „svém místě“ mezi jinými objekty. Elementární důsledek neexistence věci můžeme vyjádřit tvrzením, že ji nelze nalézt na žádném místě. Prostor jako zvláštní pojem se utvářel pravděpodobně v souvislosti s požadavky každodenní praxe, kdy bylo nutné vyjádřit vzdálenost mezi předměty a jejich velikost. Pomocí zvolených etalonů pak bylo možné vyjádřit prostorový interval. Mezi objekty měření se potom zdánlivě nenachází nic, jen prázdný prostor. V souvislosti s manipulací s předměty se v člověku sedimentuje představa prázdného prostoru, ve které se jeví jako podmínka existence

⁴ Viz Grygar, Jiří. *Vesmír, jaký je: současná kosmologie /téměř/ pro každého*. 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 1997, s. 67.

⁵ Důkazem může být téma známé Solvayovy konference z roku 2005: „Kvantová struktura prostoročasu“.

⁶ Viz Kulhánek, Petr. *Moderní kosmologie aneb jak přednášet o kosmologii?* Hvězdárna Valašské Meziříčí, 2011, s. 7.

všech ostatních předmětů. Prostor je v tomto pojetí nádobou (k ilustraci můžeme použít krabici⁷), kterou je možné podle potřeby plnit a vyprazdňovat. Jestliže z krabice vyskládáme veškeré předměty, jeví se prostor uvnitř krabice jako prázdný. Pokud krabici naplníme, nebude v ní již dost prostoru pro jiné předměty. Pomocí analogie vztažené na celý svět můžeme usoudit, že i vesmír musí být umístěn v prázdném prostoru. Prostor se v takovém pojetí ukazuje být esenciálně odlišným od předmětů, které ho vyplňují.

V okamžiku, kdy eleaté a Aristotelés popírají existenci prázdného prostoru, hovoříme již o filozofické reflexi prostoru – prostor se stává problémem. Představa prázdného prostoru ve smyslu entity nezávislé na tělesech sice zakořenila v evropském myšlení a dosáhla vrcholného koncepčního úspěchu v podobě Newtonova absolutního prostoru, avšak nezůstala koncepcí jedinou. Odlišné pojmání se objevilo u zmíněného Aristotela, Hobbesa, dále Descarta a hlavně v relačním pojetí G. W. Leibnize. Relační pojetí prostoru zdůrazňuje neoddělitelnost prostorových vztahů od těles a tvoří tak koncepční alternativu pojetí absolutnímu. Nelze ani opomenout subjektivistické pojetí Berkeleyho a Kanta (ačkoli jejich koncepce nelze ztotožňovat)⁸. Kantovo ustanovení prostoru jako apriorní formy nazírání jen dokazuje, s jakou samozřejmostí byly prostoru přisuzovány vlastnosti eukleidovské geometrie. Přírodní vědy byly však pod nadvládou Newtonova pojetí a to až do začátku dvacátého století.

S objevem neeukleidovských geometrií se ukazuje být nezbytné rozlišovat prostorové vlastnosti kvantitativní (metrická rozlehlost) a kvalitativní (topologické). V moderní kosmologii nacházejí uplatnění především topologické otázky prostoru. Topologie matematicky zobecňuje pojem tvar a zkoumá základní vlastnosti prostoru jako je spojitost, počet rozměrů, omezenost a neomezenost, apod.⁹ Einsteinova teorie relativity pomocí nových geometrií ruší Newtonovou fyziku postavenou na absolutních kategoriích prostoru a času a ustanovuje novou podobu fyzikální reality ve sjednoceném prostoročasu. Objevuje se nové pojetí prostoru a právě jeho charakteristika je obsahem této práce.

⁷ Stejně jako to učinil Einstein. Viz Einstein, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, s. 183.

⁸ Viz Krob, Josef, Šmajš, Josef. *Úvod do ontologie*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1991, s. 37.

⁹ Viz Ullmann, Vojtěch Ignác. *Gravitace, černé díry a fyzika prostoročasu*. 1. vyd. Ostrava: Československá astronomická společnost při ČSAV, 1986, s. 111.

1.3. ABSOLUTNÍ PROSTOR I. NEWTONA

Nelze hovořit o proměně představ o prostoru v moderní kosmologii, aniž bychom alespoň zevrubně nevyjasnili koncepci, ze které nové pojetí vyrůstá. Moderní fyzika je v podstatě prohloubením¹⁰ klasické fyziky, avšak relativistické pojetí prostoru je spíše popřením absolutního prostoru, který newtonovská fyzika vyžaduje.¹¹

Díky Newtonovi se ukázalo, že za pádem vrženého tělesa stojí stejný proces, jako za pohybem planet kolem Slunce.¹² Newtonovo dílo je vrcholem procesu sjednocení nebeské a pozemské mechaniky. V *Principiích (Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, 1687)* představil ucelenou teorii vybudovanou na definicích pojmů hmotnost, setrvačnost, síla, interakce, prostor, čas a na třech pohybových zákonech (zákon síly, setrvačnosti a vzájemného působení).

Newtonova přírodní filozofie zahrnuje postavu Tvůrce a jeho libovůli, která se ve světě aktivně projevuje. Struktura světa a uspořádání Sluneční soustavy jsou výsledkem božího vědomého a rozumného aktu, neboť se mu nezdá být možné, aby takové pravidelné uspořádání bylo odvozeno pouze z přírodních zákonů.¹³

Newton čerpal nejen z myšlenek Koperníka, Bruna, Galilea, Tycha Brahe, Keplera a dalších, ale i z Bible, patristických spisů, pythagorejců, stoiků, novoplatoniků, atomistů, a také z hermetismu a alchymie. V Newtonově metodologii se zřetelně setkává rozum, smysly a Boží zjevení. Dokázal však inspirace různých směrů syntetizovat a vytvořit konzistentní pojetí. Víme, že Newton intenzivně alchymicky

¹⁰ V oblasti fyziky mikrosvěta však vyrůstá pohled na fyzikální skutečnost natolik odlišný, že se o prohloubení snad hovořit nedá. Tento názor zastával např. Heisenberg: „Avšak změny představy o skutečnosti, které jsou základem pochopení dnešní kvantové teorie, se nedají prostě nazvat pokračování minulého vývoje. Zdá se, že tu jde o skutečný zlom ve struktuře přírodovědy.“ Heisenberg, Werner. *Fyzika a filosofie*. 2., přehlednuté vyd. Praha: Aurora, 2000, s. 8.

¹¹ Tím však netvrdím, že neeukleidovská geometrie je popřením eukleidovské.

¹² Viz Horský, Zdeněk. Přírodověda a filozofie v počátcích novověké vědy. In Horský, Zdeněk a Iva Lelková. *Koperník a české země: soubor studií o renesanční kosmologii a nové vědě*, Červený Kostelec: Pavel Mervart, 2011, s. 68.

¹³ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 174.

laboroval. Například v povýšení gravitace na univerzální kosmickou sílu vidí Štěpánová¹⁴ starý koncept alchymie („Magnesia“ – všeobecná sympatie věcí).

Newtonova teorie gravitace s sebou přináší problematický požadavek – působení na dálku. Newton si problematičnost této představy dobře uvědomoval. Přitažlivost těles nepovažoval za jejich vlastnost, její příčinu viděl v síle, která působí podle pevných pravidel. Avšak nevěřil, že přitažlivost je reálná fyzikální síla. Newton otevřeně přiznává, že nezná příčinu gravitace (a „hypotézy nevymýšlí“), to mu však nebrání ve výzkumu a formulování zákonů přitažlivosti, neboť mu stačilo předpokládat, že tyto síly působí v souladu s matematickými zákony.¹⁵ Sílu, která je počátkem pohybu a klidu, považuje za nemechanickou, imateriální, snad spirituální energii vně látky.¹⁶ V rukopisu týkajícím se gravitace však zvažuje možnost, že by síla mohla být vnitřním principem, kterým je pohyb či klid zachovávan v tělese.¹⁷ Na otázku původu gravitace odpoví až Einstein pomocí kvalitativních vlastností prostoru, jak uvidíme později.

Jakkoli je Newtonova metoda založená na experimentu a na induktivním odvozování, jeho zákony jsou součástí širšího metafyzického rámce. V kosmologických otázkách se projevuje Newtonova ontologická vazba na Boha. Vznik kosmu je pro Newtona *hierofanií*, hovoří se o *posvátné kosmologii*.

V souladu s uvedeným nás potom nepřekvapí, že Newton považuje prostor za *Sensorium Dei*, zvláštní orgán božího vnímání. Z toho vyplývá, že jeho existence je zaručena existencí boha. Prostor není v Newtonově filozofii substancí nebo akcidentem, ale spolu s časem má svůj vlastní způsob bytí. Je věčný, nestvořený a podobá se nádobě, v níž se všechno stvořené stává existujícím.¹⁸ Reálný svět, na který se vztahují Newtonovy rovnice, je podmíněn existencí absolutního prostoru a absolutního času. Newton reálný prostor matematizoval pomocí analytické geometrie v euklidovském prostoru. Čas matematizoval rovněž a to tak, že zavedl lineární veličinu času.¹⁹ Čas v Newtonově vesmíru plyne rovnoměrně bez ohledu na pozici pozorovatele či jeho pohybový stav. Absolutní čas má rovněž svoji nezávislou existenci – je samostatnou

¹⁴ Viz Štěpánová, Irena. *Newton - poslední mág starověku*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2012, s. 91.

¹⁵ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 138-139.

¹⁶ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 163.

¹⁷ Viz Štěpánová, Irena. *Newton - poslední mág starověku*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2012, s. 97.

¹⁸ Viz tamtéž, s. 98.

¹⁹ Viz tamtéž, s. 99.

realitou. Newton tvrdí, že skutečný (absolutní) čas nelze spojovat s pohybem. K poznání absolutního času totiž musíme odhlédnout od smyslové zkušenosti.²⁰

Newtonova fyzika rozlišuje absolutní a relativní prostor. Absolutní, pravý, matematický prostor zůstává stejný a nepohnutý a je bez jakékoli závislosti na čemkoli vnějším. Relativní prostor je odvozen z existence těles a je vůči nim vztahován; je jakousi mírou prostoru absolutního (protože se spolu s tělesy pohybuje v jeho vnitřku), ale nesmí s ním být zaměňován. Člověk je schopen vnímat pouze relativní prostorové vztahy – absolutní prostor je smyslům nedostupný.

Místo definuje jako prostor obsazený tělesem. Podle vztahu k prostoru (relativnímu nebo absolutnímu) rozlišuje místo relativní a absolutní. Stejně je tomu v případě pohybu – existuje relativní a absolutní pohyb. Absolutní pohyb je pouze ten, který je vztažen k absolutnímu prostoru. Člověk je opět schopen vnímat pouze pohyby relativní. Absolutní vztahná soustava však podle Newtona existuje. Příčinou absolutního pohybu je síla, jejíž působení se neopírá o vnímání změny vzájemných vztahů daných těles. Příkladem takového pohybu je podle Newtona pohyb rotační.²¹ Newton v této souvislosti formuloval slavný pokus s rotujícím vědrem naplněným vodou, který se stal odolným argumentem dokazujícím existenci absolutního prostoru. Zdá se také, že absolutní prostor Newton potřebuje k tomu, aby unikl před relativitou pohybu, která je logickým důsledkem jeho rovnic. Nezapomeňme, že sjednocením pozemské a nebeské mechaniky platí jeho zákony pohybu všude ve vesmíru stejně. Teprve vůči absolutnímu prostoru může definovat opravdový klid a pohyb.²² Newtonova dynamika by se bez absolutního prostoru neobešla. V Newtonových pohybových rovnicích hraje zásadní roli zrychlení, které lze definovat pouze jako zrychlení vůči nehybnému pozadí.²³

Absolutní prostor je na existenci hmotných těles nezávislý. Newton zde vystupuje proti Descartovu ztotožnění prostoru a hmoty. Stejně jako pro Leibnize je pro Newtona samotná rozlehlost málo. (Descartovi a Leibnizovi se budeme věnovat v následujících kapitolách.) Rozlehlost tělesa není v Newtonově pojetí esencí těles, je pouze ohraničením části prostoru, ve kterém se těleso nachází. V pojmání těles naopak

²⁰ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 128.

²¹ Viz tamtéž, s. 132.

²² Viz Wilczek, Frank. *Lehkost bytí, aneb, Bytí jako světlo: o hmotnosti, éteru a sjednocování sil*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2011, s. 18.

²³ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Praha: Československý spisovatel, 1966, s. 36.

považoval za klíčové jejich vlastnosti, především schopnost působit silově na další tělesa.²⁴ Objem těles nahradil body, což mu umožnilo matematicky studovat jejich pohyb v prostoru. Pro Newtona nebyla matematika pouze systémem axiomů a definic. Geometrii považoval v podstatě za odvětví univerzální mechaniky, přičemž jejím úkolem bylo navrhnout a provádět měření.²⁵

Newton sdílel tehdejší atomistickou představu, ve které se hmota skládá z malých pevných částic. Éter, který se jako kvintesence objevuje u Aristotela, je pro něj jemnou a pružnou substancí (skládá se z mimořádně malých částí, mezi nimiž je vakuum). Jelikož se komety pohybují volně a svůj pohyb si podržují neobyčejně dlouho, Newton soudí, že nebeské prostory nekladou tělesům odpor. Látka, která by nekladla odpor, ovšem není možná. Přesto Newton věří ve výskyt éteru alespoň v prostoru našeho světa (naší sluneční soustavy).²⁶ Hmota však není všude, ačkoli prostor má nekonečné rozměry. Existence vakua je tak zaručena. Představa prázdného prostoru se v podobě Newtonova absolutního prostoru objevuje ve vrcholné formě.²⁷ Newtonovy pohybové zákony přetrvaly až do konce 19. století a omezenou platnost si ponechávají dodnes. Protože jejich formulace je vázána na existenci absolutního prostoru, byla úspěšnost Newtonových zákonů zároveň úspěchem absolutního prostoru.

Základní body Newtonova pojetí absolutního prostoru shrňme pro lepší přehled výčtově:

- Absolutní prostor existuje nezávisle na tělesech.
- Jeho existence je nutnou podmínkou existence materiálních těles.
- Je nádobou s nekonečnými rozměry, ve které jsou hmotná tělesa umístěna.
- Poskytuje absolutní vztažnou soustavu, za každých okolností zůstává stejný a nepohyblivý – existuje absolutní pohyb a absolutní poloha těles.
- Je zvláštní entitou (orgánem božího vnímání), věčný a nestvořený.
- Existuje vakuum.

²⁴ Viz Štěpánová, Irena. *Newton - poslední mág starověku*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2012, s. 96.

²⁵ Viz Jammer, Max. *Concepts of space*. Massachusetts: Harvard University Press, 1954, s. 94.

²⁶ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 135-136.

²⁷ Viz Krob, Josef, Šmajš, Josef. *Úvod do ontologie*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1991, s. 36.

2. IDENTIFIKACE RELAČNÍHO POJETÍ PROSTORU

V následující části práce se budeme zabývat identifikací relačního pojetí prostoru. Vycházím z přesvědčení, že vrcholem relačního pojmání je koncepce Leibnizova, která se postavila proti vrcholné formě absolutního pojetí ve filozofii I. Newtona. Koncepce prostoru v moderní fyzice vyrůstá z pochopení Newtonova omylu v otázce povahy prostoru a bývá běžně považována za formu relačního pojetí. Protože snaha o porozumění pohybu, podstatě prostoru a času, je snad stará jako filozofie sama, historickým ohlédnutím zpět můžeme identifikovat nejrůznější koncepce včetně těch, jež prvky relačního pojmání obsahují, ačkoli v jejich případě nehovoříme přímo o relačním pojetí. Často se jedná o koncepce, které svým způsobem negují prvky absolutního pojmání. Označení „relační pojetí prostoru“ však bývá vyhrazeno Leibnizovi.

Spor mezi absolutním a relačním pojmáním vykrytalizoval až ve sporu Leibnize a Newtona. Teprve reflexe jejich sporu dává vzniknout obecnější představě o konfliktu mezi absolutním a relačním pojetím.²⁸ Následně je skrze toto prizma pohlíženo na koncepcie historicky starší.

Nepůjde nám o komplexní shrnutí vybraných filozofických přístupů k prostoru, nýbrž o vyzdvižení těch myšlenek, které mají rysy relačního pojmání. Získáme tak odrazové můstky pro vymezení a pochopení relačního pojmání prostoru, a navíc dosáhneme širšího pohledu na danou problematiku.

Výběr následujících koncepcí byl podpořen Einsteinovými výroky. V dodatku své knihy, který se zabývá relativitou a problémem prostoru, uvádí, že: „(...) *obecná teorie relativity potvrzuje Descartovo pojetí, byť i oklikou.*“²⁹ V předmluvě knihy³⁰ M. Jammera zase podotýká, že ve světle vědeckého vývoje se ukázalo být Leibnizovo

²⁸ Viz Huggett, Nick, Hofer, Carl. Absolute and Relational Theories of Space and Motion. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. [online]. Stanford, CA: Stanford University, 2009. [vid. 20. 11. 2013].

²⁹ Einstein, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, s. 182.

³⁰ Jammer, Max. *Concepts of space*. Massachusetts: Harvard University Press, 1954, s. XV.

vzdorování newtonovskému pojetí prostoru opodstatněné. Descartovo a Leibnizovo pojetí ještě doplníme Aristotelovým vzdorem vůči prázdnému prostoru, který je relačním pojetím společný.

2.1. ARISTOTELÉS

Nejstarší prvky relačního pojetí prostoru se objevují v souvislosti s kritikou tvrzení o existenci „prázdná“. Mezi prvními to byli eleaté. Zénón z Eleje, který hájil nauku svého mistra o jediném, neměnném, nehybném jsoucnu, podal celou řadu argumentů proti možnosti pohybu, mnohosti jsoucen a prázdnému prostoru. Argument proti prázdnému prostoru zní přibližně takto: existuje-li prostor, existuje v něčem, a co je v něčem, je také v prostoru. Tím, že nám rozum klade prostor do prostoru, vzniká *regressus ad infinitum*. Zénón na základě toho dokazuje, že prostor (*topos*) není. Nutno v této souvislosti podotknout, že k tomuto prázdnému prostoru přistupuje jako k substanci, jako k jsoucnu. Mezi jeho dalšími aporiemi stojí za povšimnutí tzv. Stadion, kde jsou v protisměru vyslány řady běžců, kteří za jednotku času urazí stejnou vzdálenost. Ačkoli rychlost běžců je stejná, Zénónova formulace ukazuje paradoxní situaci, kdy se rychlost jedné řady jeví jako dvojnásobná, respektive čas, za který urazí stejnou vzdálenost, by měl být poloviční. Zénón takto zpochybňuje objektivitu pohybu. Paradoxní se situace zdá být z toho důvodu, že nerozlišuje relativní rychlosti různých řad vůči sobě. Zénón tak vlastně mimoděk poukázal na vztažný charakter pohybu a jeho rychlosti. Díky kritice prázdného prostoru a argumentům proti pohybu můžeme Zénóna považovat za předchůdce relačního pojetí prostoru.

Stejný status předchůdce můžeme přisoudit Aristotelovi.³¹ Ústředním problémem jeho přírodní (a nejen přírodní) filozofie je pohyb. Ze zkoumání přírody a pohybu dochází ke

³¹ Viz Krob, Josef, Šmajš, Josef. *Úvod do ontologie*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1991, s. 34.

svému „nehybnému hybateli“, k příčině a měřítku veškerého pohybu. Celou přírodní naukou prochází pojem změny, včetně změny z hlediska místa.

V Aristotelově učení je nutno rozlišovat pojem místa (*topos*), které zaujímá každé jednotlivé těleso, a pojem prostoru (*chóra*), jež je společným místem. Hovořit o prostoru tedy vyžaduje větší míru abstrakce. To nám umožňuje konstatovat jistou totožnost, neboť prostor je abstraktním vyjádřením toho, co místo vyjadřuje konkrétně. Aristotelés zkoumá především místo právě pro jeho konkrétnost.³²

Aristotelés přistoupil k Zénónově aporii prázdného prostoru a nekonečného regresu z jiné strany a nabídl vlastní řešení:

„Není však nesnadno řešit obtížnou otázku, kterou vznesl Zénón, že je-li místo něčím, bude v nějakém místě. Neboť nic nebrání tomu, aby první místo nebylo v jiném, jenom ne zase jako v místě, nýbrž tak, jak je zdraví v teplém jako stav, a teplé v těle jako vlastnost. A tak není nutno jíti do neskonečna.“³³

Na rozdíl od Zénóna nepřistupuje k místu jako k substanci, nýbrž k přiblížení používá výrazy „stav“ a „vlastnost“ tělesa. Místo je spíše akcidentem, jeho existence je totiž reálná, nikoli však ve smyslu substančním.³⁴ Podle Aristotela je tak nebezpečí regresu zažehnáno.

Dále výslovně uvádí, že místo není látkou, ani tvarem, ani rozlehlostí, ale že je něčím jiným. Čím tedy místo je? Nechme mluvit samotného Aristotela:

„Jestliže tudíž místo není žádnou ze tří věcí, ani tvarem, ani látkou, ani druhem rozlehlosti, která by tu vždycky byla mimo rozlehlost měnící místo a od ní různá, zbývá nutně, že místo jest poslední ze čtyř, totiž hranice obklopujícího tělesa, v níž se s obklopaným stýká.“³⁵

³² Viz Kříž, Antonín. Poznámka č. 397. In Aristotelés. *Fyzika*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Petr Rezek, 1996, s. 326.

³³ *Fyzika* IV, 3, 210b, podle vydání: Aristotelés. *Fyzika*. Přeložil A. Kříž. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Petr Rezek, 1996, s. 98.

³⁴ Viz Jammer, Max. *Concepts of space*. Massachusetts: Harvard University Press, 1954, s. 16.

³⁵ *Fyzika* IV, 4, 212a, stejné vydání, s. 102.

Z definice místa jako hranice tělesa vyplývá pevná vazba místa na těleso. Existence místa bez tělesa tedy není možná. Těleso je v Aristotelově učení rozprostraněné, je určeno svou extenzitou, která je ohraničená.³⁶ Místo tělesa, jak jsme před chvílí objevili, je hranicí tělesa s jiným tělesem, které ho obklopuje. Takové vzájemné hraničení nazvěme koextenzitou těles.³⁷ Právě koextenzita těles je určením místa. Pokusíme-li se nyní o vyšší míru abstrakce a z definice místa přejdeme k definici prostoru, dojdeme k závěru, že prostor je koextenzitou míst. Důležitým důsledkem tohoto pojetí je, že prostor není ničím mimo tělesa. Pro pochopení pohybu není nutné ukládat tělesa do prázdného prostoru. Tělesa se pohybují prostě tak, že vzájemně mění svou polohu: *„Avšak ani není nutné, aby bylo prázdné, poněvadž jest pohyb v prostoru; neboť tělesa si mohou v pohybu navzájem uhýbat (...).“*³⁸

Představa prázdná se v Aristotelově pojetí stává nadbytečnou. Zdánlivá prázdnota mezi tělesy musí být také tělesem.³⁹ Kosmos je pro Aristotela kontinuem koextenzivních těles.⁴⁰ Mimo toto kontinuum bychom prázdný prostor rovněž nenalezli, lépe řečeno kosmos není umístěn v prostoru:

*„Ale mimo veškerenstvo a celek není nic, co by bylo vně veškerenstva, a proto všechno jest ve světě, neboť svět jest asi veškerenstvem. Místo však není svět sám, nýbrž jakási krajní hranice, jež je v klidu a dotýká se tělesa, které je v pohybu; a proto země je ve vodě, tato ve vzduchu, tento zas v éteru, éter ve světě, avšak svět není již v jiné věci.“*⁴¹

Aristotelův kosmos je prostorově konečný – za jeho poslední sférou není ani prázdno, ani žádné místo. Nemá počátek ani konec v čase je a absolutně neměnný. Země je

³⁶ „Pozorováno tudíž pojmově, nezdá se asi, že by bylo tělesné neomezeno. Je-li totiž pojmem tělesa ohraničení plochou, nemůže být neomezeného tělesa, ani pomyslného, ani smyslového.“ *Fyzika* III, 5, 204b, stejné vydání, s. 80.

³⁷ Viz Anzenbacher, Arno. *Úvod do filozofie*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1990, s. 107.

³⁸ *Fyzika* IV, 7, 214a, stejné vydání, s. 109.

³⁹ Aristotelés dokonce tvrdí, že příroda má z prázdnoty „strach“ a koncipuje tzv. „horror vacui“. Příroda vykazuje tendenci zaplňovat jakékoli prázdné místo, což je v souladu s jeho představou nepřetržitosti látky a definicí místa. Aristotelés pomocí této koncepce vysvětloval vystupování vody v pumpách. Koncepci se zabýval G. Galilei a objevil, že horror vacui má omezenou velikost. Konečné překonání Aristotelovy představy přináší až 17. století s Torricellim a Pascalem.

⁴⁰ Viz Anzenbacher, Arno. *Úvod do filozofie*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1990, s. 107.

⁴¹ *Fyzika* IV, 5, 212b, stejné vydání, s. 104.

kulatá, nachází se ve středu vesmíru a nevykazuje žádný pohyb. Vesmír má tvar koule a není homogenní – je rozdělen na dvě ontologicky odlišné oblasti: sublunární a supralunární. Oblast pod oběžnou dráhou Měsíce je říší vzniku a zániku, proměnlivosti, pomíjivosti a přímočarého pohybu. Všechna jsou zde vytvořena ze čtyř živlů, přičemž každému živlu náleží sféra podle Aristotelovy teorie přirozených míst.⁴²

Podle teorie přirozených míst a pohybů je svět prostorově uspořádán. Tělesa se ze své přirozenosti snaží dosáhnout svého přirozeného místa. Lehká tělesa (vzduch a oheň) směřují svisle vzhůru, naopak těžká tělesa (převažuje voda a země) vykazují snahu klesat dolů. Zdá se, že tato Aristotelova koncepce ilustruje jeho důraz na empirické znalosti. Každý pozorovatel, který sleduje pohyby nebeských těles dostatečně dlouho, musí dojít ke zjištění, že se hvězdné nebe otáčí kolem Země. Aristotelés na základě tohoto faktu zdravou úvahou umístí Zemi do středu (nebo poblíž středu) kosmu. A jestliže má vesmír střed, musí být konečný.⁴³

Představa vesmíru s více méně vymezeným středem, ať už ve středu Země nebo v matematickém středu sféry stálic⁴⁴, však implikuje absolutní soustavu souřadnic, která je typická pro absolutní pojetí prostoru. Veškerý pohyb těles by totiž mohl být vztahován vůči tomuto středu. Samotné tíhnutí těles k pohybu v přirozeném směru popisuje kosmický prostor jako předem určenou strukturu s vnitřní dynamikou.⁴⁵

Viděli jsme, že se Aristotelés pokusil vypořádat s představou prázdného prostoru prostřednictvím analýzy pojmu místa. Existenci prostoru nezávislého na tělesech popírá; prostor není ničím mimo tělesa. Prostor je koextenzitou míst, která jsou určena extenzitou těles. Díky neoddělitelné vazbě na tělesa a jejich vztahy je Aristotelovo pojetí prostoru pojetím relačním. Zvláštním případem je pak existence absolutní vztažné soustavy v jeho pojetí kosmu (dnes bychom řekli, že Aristotelův vesmír je anizotropní). S touto výhradou pro nás zůstává Aristotelovo pojetí prostoru koncepcí, která nese znaky relačního pojetí.

⁴² Viz Špelda, Daniel. *Astronomie v antice*. Ostrava: Montanex, 2006, s. 75.

⁴³ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Věšhrad, 2004, s. 36.

⁴⁴ Poslední sféra kosmu (sféra stálic) svým rovnoměrným kruhovým pohybem roztáčí ostatní sféry a je také příčinou jakéhokoli přírodního procesu. Pohyb sféry stálic je kinematickým vyjádřením čistého myšlení Aristotelova nehybného hybatele. Viz Špelda, Daniel. *Astronomie v antice*. Ostrava: Montanex, 2006, s. 91.

⁴⁵ Viz Jammer, Max. *Concepts of space*. Massachusetts: Harvard University Press, 1954, s. 17.

2.2. RENÉ DESCARTES

Descartes byl součástí procesu budování nové koncepce vesmíru v 16. a 17. století. Je to koncepce, která již nerozlišuje dvě odlišné fyzikální oblasti, jak tomu bylo v Aristotelově učením. Jejím vrcholem je sjednocení nebeské a pozemské mechaniky Isaacem Newtonem. Descartes totiž unifikuje látku Země a látku nebes, což umožnilo odstranit dualitu sublunární a supralunární oblasti. Velikost, vzdálenost či složení nebeských objektů se vymaňuje z kompetencí metafyziky a objevuje se přesvědčení, že k zodpovězení těchto otázek postačí astronomie, pozorování a výpočty.⁴⁶ Sám Descartes chce vybudovat fyziku jako matematiku a geometrii a na předním místě jeho zájmu jsou elementy spojené s tělesností.⁴⁷

Prázdný prostor Descartes popírá ještě důkladněji než Aristotelés. Nemožnost prázdna je nejen fyzická, ale přímo bytostná, neboť prázdný prostor by představoval *contradictio in adiecto*.⁴⁸ Pokud chceme oddělovat dvě tělesa pomocí prázdného prostoru, který je vlastně ničím a nemá tedy žádné rozměry, tělesa by zůstala neoddělena:

„Když nic nevstupuje mezi dvě tělesa, je nutné, aby se dotýkala. A je zjevně rozporné, aby (tato tělesa) byla vzdálená, čili aby mezi nimi byla nějaká vzdálenost, a aby tato vzdálenost přesto nebyla ničím.“⁴⁹

Ačkoli tedy říkáme, že například nádoba je prázdná, není to prázdno, co odděluje stěny od sebe, nýbrž vzduch – jiné těleso.

Prostorová problematika se objevuje v samém jádru jeho substanciálního dualismu. Vedle duchovní substance postuluje substanci hmotnou (*res extensa*), jejímž atributem je rozlehlost. Extenzita tělesa je atributem kruciálním:

⁴⁶ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 86-87.

⁴⁷ Viz Krob, Josef. *Descartova fyzika a její kritika*. *Profil* [online]. Brno: KF FF MU, 2000, roč. 1, č. 2, [vid. 4. 10. 2013].

⁴⁸ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 84.

⁴⁹ *Principia*, II, 19, podle vydání: Descartes, René. *Principy filosofie: výběr doplněný dvěma Descartovými dopisy princezně Alžbětě Falcké : bilingva*. 2. opr. vyd. Praha: Filosofia, 1998, s. 10.

„(...) přirozenost látky čili obecně nahlíženého tělesa nespočívá v tom, že je to věc tvrdá, těžká, zbarvená či ovlivňující smysly nějakým jiným způsobem, ale pouze v tom, že je to věc rozlehlá do délky, šířky a hloubky.“⁵⁰

Rozlehlost hmoty v třech rozměrech je přímo její esencí. Všechny ostatní kvality tělesa můžeme podle Descarta postavit stranou. Jelikož v ideji tělesa je jedinou neoddělitelnou kvalitou jeho rozlehlost a zároveň v ideji prostoru (včetně prázdného prostoru) je obsaženo totéž, Descartes dospívá k jejich ztotožnění:

„Snadno ovšem poznáme, že rozlehlost, která zakládá přirozenost tělesa a přirozenost prostoru, je tatáž, a že se obě vzájemně nerůzní více, než se různí přirozenost rodu či druhu od přirozenosti jednotliviny.“⁵¹

Rozlišovat látku a prostor nám umožňuje abstrakce a představa prázdného prostoru je omyl, v jehož zajetí jsem již od raných let. Neexistuje tedy prostor, ve kterém by byla tělesa umístěna, ale pouze prostor, který je tvořen tělesy.⁵² Descartes vychází z kritiky prázdného prostoru, ten možný není, neboť jeho idea představuje spor, avšak zdá se, že prostoru ve smyslu substance existenci neupírá:

„Avšak filosoficky chápané prázdno, to jest něco, v čem není vůbec žádná substance, zjevně nemůže existovat, protože rozlehlost prostoru či vnitřního místa se nerůzní od rozlehlosti tělesa. Když totiž čistě z toho, že těleso je rozlehlé do délky, šířky a hloubky, správně činíme závěr, že je substancí (poněvadž si zcela odporuje, aby nic mělo nějakou rozlehlost), je třeba totéž vyvodit i o prostoru, o němž se předpokládá, že je prázdný. Je-li v něm totiž rozlehlost, nutně je v něm též substance.“⁵³

Jak jsme ale vysvětlili výše, nelze říci, že by byl Descartův prostor vyplněn tělesy, protože prostor je tělesy konstituován. Nemůžeme jej tedy využít jako absolutní vztahnou soustavu, vůči které můžeme poměřovat přírodní dění. Naopak, Descartes si je

⁵⁰ *Principia*, II, 4, stejné vydání, s. 87.

⁵¹ *Principia* II, 11, stejné vydání, s. 93.

⁵² Viz Patočka, Jan. Prostor a jeho problematika. In *Sborník prací Filozofické fakulty brněnské univerzity*, Brno: Masarykova univerzita v Brně, 1990-1992, roč. 39-41, č. F34-36, s. 36.

⁵³ *Principia*, II, 16, stejné vydání, s. 99.

problému absolutních souřadnic dobře vědom, což dokazují jeho úvahy nad pohybem. Pomocí příkladu⁵⁴ s člověkem plujícím na lodi ukazuje, že charakter pohybu závisí na tom, k jakým přihlížíme tělesům – sedící člověk je vůči lodi v klidu, kdežto vůči pobřeží je v pohybu. Řádně pojímaný pohyb je: „(...) *přesunem jedné části látky či jednoho tělesa ze sousedství těch těles, která k němu bezprostředně přiléhají a jsou nahlížena jako spočívající v klidu, do sousedství jiných.*“⁵⁵ Podle Descarta nemá ani smysl vztahovat pohyb ke vzdáleným tělesům, neboť náš duch stejně není schopen obsáhnout všechna tělesa ve vesmíru a pohyb tak bude vždy záležitostí volby vztažné soustavy, čili bude relativní. Žádné opravdu nehybné body, tedy absolutní vztažná soustava, ve vesmíru podle Descarta pravděpodobně nejsou.⁵⁶

Descartova filozofie měla důležité důsledky v přírodní filozofii a kosmologických úvahách. Připisovat světu hranice je pro Descarta absurdní. Není totiž možné, aby těleso hraničilo s něčím, co není těleso. Za každou hranicí bychom si mohli myslet další rozlehlé prostory. (Podobný spor nachází v případě nedělitelných částic hmoty. Atomy, kdyby nějaké byly, musely by být rozlehlé, a pokud je něco rozlehlé, je přístupné dalšímu dělení. Hmota musí být ze své přirozenosti neomezeně dělitelná.⁵⁷) Hmotný svět nemá žádné hranice rozlehlosti, z čehož nutně vyplývá, že není prostorově omezený. Svět musí být neomezený (*idefinitum*), neboť nekonečnost (*infinitem*) náleží pouze Bohu.⁵⁸ Podle Koyrého⁵⁹ odpovídá Descartovo rozlišení mezi neomezeností a nekonečností tradičnímu rozlišení mezi aktuální a potenciální nekonečností. Zvážíme-li Descartův zájem v matematice a geometrii, zdá se být v jeho podání vesmír systémem geometrických těles v pohybu.

Zásadní body Descartova učení týkající se prostoru jsou tedy tyto: a) neexistuje prázdný prostor, b) neexistuje absolutní vztažná soustava, c) prostor je ztotožněn s tělesy, d) pohyb je relativní. Ačkoli substanční pojetí prostoru Descartes neopouští, prostor není prázdnou nádobou, jako je tomu u Newtona. Prostorové vztahy jsou vzájemnými

⁵⁴ Viz *Principia*, II, 14, stejné vydání, s. 97.

⁵⁵ *Principia*, II, 15, stejné vydání, s. 109.

⁵⁶ Viz *Principia*, II, 14, stejné vydání, s. 97.

⁵⁷ Viz *Principia*, II, 20, stejné vydání, s. 105.

⁵⁸ Podobné stanovisko zastával Mikuláš Kusánský o dvě století dříve. Podle Kusánského není svět uzavřen mezi sférami a popírá, že by byl vesmír konečný. Netvrdí však ani, že by byl nekonečný, neboť nekonečnost náleží pouze Bohu, místo toho hovoří o nevymezenosti (*interminatam*). Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 18.

⁵⁹ Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 89.

vztahy hmotných těles. Postulace relativity pohybu, uvědomění si nutnosti odlišovat vztažné soustavy a neexistence prostoru nezávislého na tělesech, jsou Descartovy největší výtky absolutnímu pojmání prostoru.

2.3. G. W. LEIBNIZ

Gottfried W. Leibniz, Newtonův současník a velký konkurent na poli přírodní filozofie a matematiky, považoval Newtonovo pojetí prostoru a za chybné z mnoha filozofických důvodů. Díky Newtonově brilantní mechanice, která obstála až do konce 19. století, kdy se ukázala být neúplným popisem mechanických dějů, však převládlo Newtonovo pojetí absolutního prostoru. Jak uvidíme níže, spor o povahu prostoru mezi Leibnizem a S. Clarkem, stoupencem Newtonovy přírodní filozofie, je klasickou ukázkou sporu mezi relačním a absolutním pojetím prostoru.

Leibniz studoval Descartovy spisy a mnohé z jeho myšlenek vystavil kritice, včetně těch týkajících se prostoru. Uvědomil si totiž, že ze samotné rozlehlosti, kterou Descartes určil za podstatu hmotných těles, nelze odvodit zákony pohybu, jako je např. setrvačnost. Rozlehlost se mu nezdá být základním pojmem a vyžaduje její další rozklad na základnější pojmy.⁶⁰ Pouhou geometrickou rozlehlostí nepostihneme substancialitu těles, tvrdí Leibniz, a přidává tvz. antitypii, neboli odpor, díky kterému tělesa odolávají prostoupení. Navíc ještě v tělese předpokládá entelechii, zvláštní metafyzickou činnou sílu.⁶¹ Mechanika v jeho pojetí je potom „spirituálním dynamismem“⁶². Leibniz konstruuje veškerou skutečnost z metafyzických, neprostorových bodů, individuálních substancí, které označuje jako *monády*. Ty jsou počátkem všech věcí a nejsou již dále dělitelné; neztotožňujeme je však s atomy, protože hmota je ve vztahu k monádám druhotná. Ačkoli je učení o monádách metafyzické povahy, vyjadřuje se ke způsobu existence hmotných těles a implicitně hájí stanovisko

⁶⁰ Viz Krob, Josef. Descartova fyzika a její kritika. *Profil* [online]. Brno: KF FF MU, 2000, roč. 1, č. 2, [vid. 4. 10. 2013].

⁶¹ Viz Moreau, Joseph. *Svět Leibnizova myšlení*. Vyd. 1. Praha: Oikoymenth, 2000, s. 135-136.

⁶² Viz tamtéž, s. 10.

vzájemného sepětí prostoru, hmoty i času.⁶³ K ilustraci nám poslouží následující pasáž z Monadologie:

„Neboť vše jest vyplněno, což působí, že veškerá hmota navzájem je spojena. Ve vyplněném prostoru každý pohyb nějak působí na odlehlá tělesa úměrně podle vzdálenosti; na každé těleso působí ta, která se ho dotýkají, takže pocituje nějak vše, co se v nich děje, nýbrž jejich prostřednictvím pocituje vzdálenější tělesa, která se oněch dotýkají. Z toho plyne, že toto spojení sahá do vzdálenosti jakékoli. Tudiž každé těleso procituje vše, co se děje ve vesmíru tak, že ten, kdo vidí vše, by mohl čísti v každém, co se děje všude, ba i co se dělo či bude dít: pozoruje totiž v tom, co je přítomno, také, co jest vzdáleno, i časově i prostorově (...).“⁶⁴

„Ten, kdo vidí vše“ sice evokuje Laplaceova démona, avšak Leibnizovi jde spíše o vysvětlení toho, jak každá monáda představuje tělo, a jak toto tělo představuje celý vesmír. Nechme tedy Leibnizovu metafyziku a úvahy o determinismu a vraťme se k otázce prostoru. Leibnizovo relační pojetí prostoru je nejlépe zachyceno v sérii dopisů⁶⁵ mezi ním a Samuelem Clarkem.

Clarkovo pojetí absolutního prostoru lze shrnout do několika tezí⁶⁶:

- Prostor z hlediska logiky a metafyziky předchází fyzikálním tělesům a událostem.
- Prostor je na existenci těles a událostí nezávislý, existence těles je naopak podmíněna existencí prostoru.
- Tělesa existují uvnitř prostoru a jsou lokalizována v takové oblasti, která odpovídá jejich objemu.
- Prostor má vlastnosti homogenního kontinua.

⁶³ Viz Krob, Josef a Josef Šmajš. *Úvod do ontologie*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1991, s. 38.

⁶⁴ Leibniz, Gottfried Wilhelm. *Monadologie*. Praha: Sfinx, 1925, s. 31.

⁶⁵ Korespondence začala dopisem, který napsal Leibniz wellšské princezně Caroline. Ta dopis ukázala Clarkovi - uznávanému filozofovi a obránci přírodní filozofie Isaaca Newtona. Princezna plnila roli prostředníka. Diskuse byla vedena v letech 1715-1716 a bohužel byla předčasně ukončena Leibnizovou smrtí.

⁶⁶ Viz McDonough, Jeffrey. Leibniz's Philosophy of Physics. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. [online]. Stanford, CA: Stanford University, 2008. [vid. 19. 11. 2013].

- Ontologicky je prostor božím atributem. Nekonečnost prostoru je atributem boží „nezměrnosti“ (*immensity*).

Za jádro Leibnizova pojetí prostoru, které v korespondenci obhájí, můžeme podle E. J. Khamary⁶⁷ považovat tři ústřední teze:

1. Bez materiálních těles není prostoru.
2. Prostorové vztahy jsou vztahy mezi koexistujícími tělesy.
3. Prostorové pozice těles jsou relativní, k jejich určení je třeba rozlišovat vztažnou soustavu.

Podle prvního bodu nesmíme podléhat dojmů, že jsou tělesa umístěna uvnitř prostoru. Prostor ve skutečnosti parazituje na existenci těles. Jejich sepětí však není tak úzké, jak tomu bylo u Descarta; takovému pojetí se Leibniz brání:

„I don't say that matter and space is the same thing. I say only there is no space where there is no matter, and that space in itself is not an absolute reality. Space differs from matter in the way that time differs from motion. But although these things—space and matter, time and movement—are different, they are inseparable.“⁶⁸

Jestliže Descartovo pojetí prostoru je stále substanční, což jej sblíží s pojetím Newtonovým, Leibniz se Descartovu pojetí vzdaluje tím, že neztotožňuje hmotu a prostor, pouze existenci prostoru podmiňuje existencí těles. Prostor není absolutní substancí ani božím orgánem. Přisoudit prostoru status božího atributu je podle Leibnize nejen troufalé, ale i teologicky chybné.

„It seems that if there is such a being as real absolute space, it must be eternal and infinite. That's why some people have believed that space is God

⁶⁷ Khamara, Edward. Leibniz's Theory of Space: A Reconstruction. In *The Philosophical Quarterly*, Volume 43, Wiley-Blackwell, 1993, p. 427-488.

⁶⁸ Leibniz, V, 62, s. 40. Rozuměj: Leibnizův 5. dopis, 62. oddíl, strana 40. Podle vydání: Bennett, Jonathan. *Exchange of papers between Leibniz and Clarke*. [online]. 2007.

himself, or one of his attributes—namely the attribute of immensity. But space doesn't fit with God, because space has parts. ⁶⁹

Teologické vysvětlení podstaty prostoru hájené Clarkem tedy odmítá a buduje vlastní koncepci, která nepovažuje prostor za jsoučno. Pro Leibnize jsou konstitutivními prvky prostoru tělesa, která existují současně:

„For my part, I have said several times that I hold space to be something merely relative, as time is, taking space to be an order of coexistences, as time is an order of successions. For space indicates. . . an order of things existing at the same time, considered just as existing together, without bringing in any details about what they are like. When we see a number of things together, one becomes aware of this order among them. ⁷⁰

Podle Leibnizových slov je prostor pouze relativní, nelze jej považovat za netečnou absolutní entitu, neboť plně závisí na tělesech, která existují ve stejný moment. Daná tělesa jsou ve vzájemných geometrických vztazích a prostor je řádem, který mezi nimi nacházíme. Prostor je tedy řádem koexistujících těles – abstraktní strukturou vztahů. Newtonovský prostor je pro Leibnize chiméra, je stejně imaginární jako představa prázdného prostoru, proti které vystupoval Aristotelés:

„Since space in itself is an ideal thing, like time, space outside the world must be imaginary, as the scholastics themselves recognized. The case is the same with empty space in the world, which I take also to be imaginary, for the reasons I have given. ⁷¹

Leibniz tedy zároveň popírá existenci prázdného prostoru. Existenci neobsazeného místa sice připouští, existenci prostorového světa bez těles však nikoli.⁷² Obviňovat Leibnize z toho, že jeho systém dovoluje myslet prázdné místo, by bylo předčasné, neboť stále musíme mít na mysli nesubstanční povahu jeho řádu koexistencí. Pravá

⁶⁹ Leibniz, III, 3, stejné vydání, s. 9.

⁷⁰ Leibniz, III, 4, stejné vydání, s. 9.

⁷¹ Leibniz, V, 33, stejné vydání, s. 33.

⁷² Viz Khamara, Edward. Leibniz' Theory of Space: A Reconstruction. In *The Philosophical Quarterly*, Vol. 43, Issue 173, Wiley-Blackwell, 1993. s. 476.

skutečnost je skutečností metafyzických monád. Dále také říká, že: „(...) *in the absence of bodies space is nothing at all except the possibility of placing them.*“⁷³.

Pohyb těles je třeba vztahovat k aktuálním pozicím okolních těles, která vytvářejí vztažný rámec. Znat polohu tělesa znamená znát řád koexistujících těles. Pouze v tomto řádu můžeme rozeznat pohyb:

„When one of those coexisting things x changes its relation to a number of others that don't change their relations among themselves, and another thing y comes to have the same relation to the others that x previously had, then we say that y has 'come into the place of' x , and we call this change a 'motion' of the body containing the immediate cause of the change.“⁷⁴

Tímto jednoduchým pojetím Leibniz vzdoruje absolutnímu prostoru, protože všechno, co potřebujeme k určení místa a prostoru samotného, je zvažovat vztahy mezi tělesy. Prostor není nic jiného než soubor míst, která jsou určena relačně k ostatním tělesům.

V některých bodech se naproti tomu k absolutnímu pojetí přibližuje. Leibniz trvá na tom, že dělitelnost hmoty není omezena, je tedy kontinuem stejně jako newtonovský prostor. Leibniz rovněž nevidí důvod, proč by měla být hmota omezena ve svém rozsahu (a spolu s ní prostorové vztahy), čímž se dále přibližuje nekonečné entitě Isaaca Newtona, ačkoli zůstává pojetím zcela rozdílným.

Leibnizovo chápání prostoru je pojetím čistě nesubstančním a právě proto jej považujeme za relační. V zásadních bodech se Clarkovo a Leibnizovo pojetí naprosto odlišuje. Nejpodstatnějším bodem je právě ontologický status prostoru, který pro Leibnize není skutečný. Prostor je třeba chápat abstraktně, snad jen jako idealizaci vzájemných relací mezi tělesy.

⁷³ Leibniz, III, 5, stejné vydání, s. 10.

⁷⁴ Leibniz, V, 47, stejné vydání, s. 35.

2.4. ZNAKY RELAČNÍHO POJETÍ

Pokusme se nyní pomocí výše uvedených přírodněfilozofických koncepcí identifikovat znaky relačního pojetí prostoru. Jak vyplývá ze samotného termínu „relace“ je prostor v tomto pojetí vztahem mezi existujícími entitami. Z toho vyplývá první a nejdůležitější znak:

1. Prostor neexistuje nezávisle na tělesech.

Toto tvrzení zastává již Aristotelés. Prostor chápe jako koextenzitu míst, a jelikož jsou místa určena extenzitou těles, musíme mluvit o neoddělitelné vazbě prostoru na tělesa. V případě Descarta nacházíme dokonce ztotožnění těles s prostorem. Leibniz výslovně říká, že bez těles není prostoru. Prostor je něco abstraktního; je pouze vzájemnou relací koexistujících těles. Bez těles by nebylo prostoru.

Důležitou roli v koncepcích prostoru hraje otázka po skutečné povaze pohybu. Pro relační pojetí prostoru je typická relativita pohybu, což znamená, že:

2. Neexistuje absolutní vztažná soustava.

Pod tento bod nemůžeme zařadit Aristotela, neboť jeho konečný vesmír se středem takovou soustavu poskytuje. Descartes si je však vědom relativity pohybu a konstatuje, že žádné nehybné body ve vesmíru nejsou. Pro Leibnize hrají roli pouze vzájemné polohy okolních těles, která teprve vytvářejí vztažné rámce. Prostor je navíc pouhou abstrakcí a nic jako absolutní pohyb neexistuje.

3. Prostor není zvláštním druhem entity.

Na první pohled by se mohlo zdát, že tento znak je implicitně obsažen v prvním znaku, ale například v případě Descartova pojetí by takové tvrzení nebylo pravdivé.

4. Neexistuje vakuum.

Viděli jsme, že existenci prázdna popírali všichni vybraní zástupci relačního pojetí. Domnívám se, v tomto případě existuje silná spojitost s prvním znakem, protože pokud odebereme prostoru nezávislou existenci, je nutné vysvětlit podstatu zdánlivě

nevyplněných oblastí světa. Není tedy možné někde ponechat prázdno, se kterým je prostor nejčastěji ztotožňován.

Do výčtu znaků bychom mohli zařadit ještě další, jako je popírání existence absolutního místa a absolutního pohybu, avšak ty se zdají být odvoditelné z již uvedených znaků. K našim úvahám o pojetí prostoru v moderní kosmologii postačí výše uvedené a otázku po podstatě relačního pojetí prostoru můžeme považovat za názorně zodpovězenou.

3. MODERNÍ FYZIKA A KOSMOLOGIE

3.1. KOSMOS PŘED VZNIKEM RELATIVISTICKÉ FYZIKY

Devatenácté století bylo obdobím více než plodným na poli experimentální fyziky a leckteré nové poznatky nebylo možné zasadit do stávajícího konceptu newtonovské fyziky. Pokusy o nápravu „roztříštěnosti“ fyzikálního obrazu světa přišly až na počátku následujícího století a měly pro naše chápání prostoru dalekosáhlé důsledky.

Devatenácté století si udrželo osvícenský optimismus a očekávalo odhalení úplného obrazu světa. Záslouhou úspěchů přírodních věd se zdálo být finální poznání světa na dosah ruky. (Ostatně toto očekávání je obsaženo v samotných počátcích novověké vědy.) Fyzika byla považována za probádanou oblast, kde stačí vyřešit pár nejasností a nové učebnice již nebude nutné nikdy přepisovat. Newtonovy zákony a jejich matematické rozpracování vystačily fyzice až do druhé poloviny 19. století, kdy se objevily nové pojmy a objevy v oblastech elektřiny, magnetismu a radioaktivity. Maxwell v 60. letech vysvětlil tajemné síly elektřiny a magnetismu a navíc prohlásil, že světlo je vlněním stejného média, které je příčinou elektrických a magnetických jevů. Maxwellův pojem „pole“ Newtonova mechanika nezná. Newtonovy síly působí v celém vesmíru na sebevětší vzdálenost okamžitě, Maxwell však postřehl, že se magnetické a elektrické účinky šíří konečnou rychlostí. Na konci 19. století tvoří Newtonova mechanika a Maxwellův elektromagnetismus dva pevné pilíře vědy, které jsou ukotveny výraznými experimentálními úspěchy. Pokusy o jejich sjednocení však selhávaly. V řešení nových otázek se tak střetávaly staré představy s novými. Například když se potvrdila skutečnost, že světlo má vlnovou povahu, bylo potřeba zodpovědět otázku, jak se může vlna šířit ve vakuu. Odpověď byla nalezena v éteru, neviditelném nehybném „plynu“, který vyplňuje celý vesmír. Na konci století však bylo jasné, že Newtonovy síly a Maxwellova pole jsou neslučitelné. Problém vyřešil Albert Einstein svržením více než dvě stě let panující newtonovské fyziky.

Kosmologie 19. století zkoumá Newtonovský vesmír, který má několik fundamentálních vlastností. Přestože byla známa Kant-Laplaceova nebulární hypotéza o vzniku Sluneční soustavy, vesmír jako celek byl považován za statický (neměnný v čase) a byla mu upírána historie – byl považován za věčný, nestvořený a nezničitelný. Newtonovský vesmír byl prostorově nekonečný, přičemž jeho průměrná hustota musela být rozdílná od nuly. Předpokládala se homogenita vesmíru – ve všech svých částech má kosmos stejnou povahu a strukturu, všude platí stejné zákony. Dalším předpokladem byla izotropie – fyzikální rovnoprávnost všech směrů v prostoru. Ke všemu můžeme připočít optimistické přesvědčení o schopnosti fyzikální vědy postihnout vesmír popsáním neomezeně platných fyzikálních zákonů, které byly vyjádřeny matematickým jazykem.⁷⁵

Do tohoto obrazu světa vstupuje relativistická fyzika (spolu s kvantovou) a mění tehdejší představy o prostoru a čase (a hmotě). Einstein přirovnal teorii relativity k budově, jež se skládá ze dvou poschodí – ze speciální a obecné teorie relativity: „*Speciální teorie relativity, na níž spočívá obecná teorie, vztahuje se na všechny fyzikální pochody kromě gravitace; obecná teorie relativity podává zákon gravitace a její vztah k ostatním přírodním silám.*“⁷⁶ Právě s její formulací dochází k relativizaci prostoru a času. Proces vyvázání z pozice absolutních a nezávislých entit vyvrcholil jejich svázáním do čtyřrozměrného prostoročasového kontinua pomocí Minkowského matematického formalismu. Následně se Einsteinovi podařilo vytvořit novou teorii gravitace, jejíž formální stránka využívá zakřivený prostor neukleidovských geometrií, které nejenže dokážou popsat jiný než plochý prostor, ale dokážou také pracovat ve více rozměrech. Relativizace prostoru a času, Minkowského sjednocení a elegance Einsteinovy gravitace inspirují fyziky i v současných kosmologických koncepcích.

⁷⁵ Viz Tursunov, Akbar. *Od mýtu k vědě: evoluce kosmologického obrazu*. 1. vyd. Praha: MF, 1978, s. 82.

⁷⁶ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Praha: Československý spisovatel, 1966, s. 44.

3.2. SJEDNOCENÍ PROSTORU A ČASU

S formulací speciální teorie relativity dochází ke zcela zvláštnímu jevu. Autonomie prostoru byla zpochybněna a jakákoli událost ve fyzice je lokalizována v prostoročasu. Objektům vesmíru jsou přiděleny nejen tradiční prostorové souřadnice o třech hodnotách, ale navíc přibyla hodnota čtvrtá, která identifikuje umístění tělesa v čase. Dá se říci, že v kosmologii se vždy jedná o lokalizaci v prostoročasovém kontinuu – pojem prostor, bez časové dimenze, je využíván z praktických důvodů, nicméně je nepřesným vyjádřením skutečnosti, kterou popisuje relativistická fyzika. Jednotlivým bodem v prostoročasu je událost.

Zjištění, že prostor a čas nelze oddělovat, pramení z poznatku o mezní rychlosti šíření světla a Einsteinovy elektrodynamiky. Klasická fyzika předpokládala, že časové údaje fyzikálních jevů jsou absolutní, ale speciální relativita ukazuje, jak hluboce nás tato intuitivní představa vzdálila skutečnosti. S formulací speciální relativity dochází k relativizaci současnosti.⁷⁷ K popisu prostoročasu ve speciální teorii relativity se používá tzv. Minkowského prostor. Jedná se o matematickou charakteristiku události, kde ke třem prostorovým souřadnicím přidáme souřadnici časovou. Einstein, ač zpočátku skeptický, nakonec pochopil hluboký význam Minkowského prostoročasu: „*Fyzika se stává z dějství v trojdimenzním prostoru do jisté míry bytím v čtyřdimenzním světě.*“⁷⁸ Tento způsob popisu fyzikálních jevů se ukázal být užitečným a inspiroval fyziky v dalších koncepcích.

Již Poincaré si všiml, že existuje jedna veličina, která nepodléhá změně při přechodu z jedné vztažné soustavy do druhé. Minkowski ukázal, že ve čtyřrozměrném prostoru můžeme relativistickou přeměnu prostoru a času pokládat za rotaci, kde Einsteinovy rovnice nemění tvar (jsou „kovariantní“). V teoretické fyzice se tak objevila elegantní

⁷⁷ Einstein v podstatě rozmístil asynchronní hodiny po celém vesmíru. Přírodní děje se již neodehrávají na pozadí neustále plynoucího toku času. Místo jediného pravdivého kosmického času nacházíme mnoho časů. Pojem přítomnosti a současnosti proto musel být zcela přehodnocen. V běžném životě označujeme přítomností nekonečně malý okamžik mezi minulým a budoucím, kdežto ve speciální teorii relativity je přítomnost časový interval, jehož trvání se odvíjí od vzdálenosti pozorovatele. Žádná informace se nemůže pohybovat rychleji než světlo. Představa simultánnosti procesů byla diskreditována také tím, že pohybující-li se soustavy vůči sobě, čas pro ně neplyne stejně. Zdravý rozum se jen těžko vyrovná s představou, že dvě události, které jsou současné pro pozorovatele v klidu, nemusí být současné pro jiného pozorovatele v pohybu.

⁷⁸ Einstein, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, s. 170.

symetrie, která umožnila sjednotit odlišné jevy. Nová čtyřrozměrná geometrie dokázala například sadu osmi Maxwellových rovnic vměstnat do dvou vzorců.⁷⁹ Pomocí kovariance rovnic vůči Lorentzovým transformacím se zmenšil počet samostatných pojmů a základních rovnic fyziky.⁸⁰

Minkowski považoval novou fyziku za revoluční. Klasická fyzika zcela chybně uvažovala o prostoru a času odděleně. Minkowski tedy vyzýval k zavedení čtyřrozměrného popisu světa. V úvodu legendární přednášky z roku 1908 se vyjádřil velmi radikálně: „*From this moment, space by itself and time by itself shall sink in the background, and only a certain union of these two shall retain substantiality.*“⁸¹ Jejich úplnou nezávislost na druhou stranu nepopírá, význam mohou mít i samostatně: „*Space and time combined always form the subject of our perception. No one has noticed a place except at a time, and a time except at a place. However, I respect the dogma that space and time have each an independent significance.*“⁸² Ať už se Minkowski k povaze časoprostoru stavěl jakkoli, je to právě on, kdo matematicky formalizoval prostor a čas ve speciální teorii relativity.

Je pravdou, že i klasická fyzika lokalizuje událost pomocí čtyř čísel (tří prostorových a jedné časové), ale tento prostoročas je fakticky rozštěpen na prostor a čas. Jejich oddělení je absolutní. Vedeme-li řez absolutním prostorem v určitém čase, oddělíme od sebe všechny současné události. Podstata kontinua Einsteina a Minkowského se od tohoto pojetí liší skrze pojem současnosti:

„*Čtyřrozměrné kontinuum již není objektivně rozštěpitelné do řezů, každý z nichž by obsahoval současné události; „ted“ ztrácí pro rozprostraněný svět svůj objektivní význam. Prostor a čas proto musejí být považovány za čtyřrozměrné kontinuum, které je objektivně nerozštěpitelné, chceme-li vyjádřit podstatu objektivních vztahů bez zbytečné libovůle.*“⁸³

⁷⁹ Viz Kaku, Michio. *Einsteinův vesmír: jak vize Alberta Einsteina změnily naše chápání prostoru a času*. 2. vyd. v českém jazyce. Praha: Dokořán, 2009, s. 59.

⁸⁰ Viz Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Praha: Československý spisovatel, 1966, s. 40.

⁸¹ Minkowski, Hermann. Space and Time. Přeložil Ganesh Prasad. In *Bulletin of the Calcutta Mathematical Society*. Calcutta, 1999.

⁸² Tamtéž.

⁸³ Einstein, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, s. 195-196.

Spojení prostoru a času je nutným důsledkem postulátů speciální relativity, která odhalila relativitu současnosti. Minkowského práce a její aplikace v teorii relativity sice vzbudila kontroverzní reakce⁸⁴, ale zároveň výrazně napomohla k širšímu přijetí Einsteinovy teorie.⁸⁵ Časoprostor je samozřejmě součástí obecné teorie relativity, avšak nová koncepce gravitace vyžaduje odlišnou geometrii prostoročasu.

3.3. ABSOLUTNÍ VZTAŽNÁ SOUSTAVA A RELATIVISTICKÁ FYZIKA

Neexistenci absolutní vztažné soustavy jsme odhalili jako zásadní prvek relačního pojmání prostoru. Vzhledem k tomu, jak radikální změny přinesla relativistická fyzika, může se zdát překvapivé, že v tomto konkrétním problému se od newtonovské fyziky příliš neliší. Odpovědět na otázku po absolutní vztažné soustavě v relativistické fyzice však není triviální a diskuse stále není uzavřena. První krok, který v tomto směru Einstein provedl a který ho dovedl k formulaci speciální teorie relativity, vyplynul ze zkoumání povahy světla a šíření elektromagnetických vln.

3.3.1. Role éterové teorie

V Newtonově vesmíru je možné všechno přírodní dění vyložit pomocí mechanický zákonů. Již od Newtonovy doby způsoboval potíže výklad podstaty světla. Newton sám zastával tzv. „korpuskulární teorii“, podle které je světlo proudem částic v prostoru,

⁸⁴ Z filozofického hlediska vzbudilo zacházení s časem jako s prostorovým rozměrem rozporuplné reakce. Ve filozofii eternalismu se objevuje Minkowského „zprostorovění“ času jako podpůrný argument pro neexistenci plynutí času – čas by měl mít charakter prostorové dimenze a veškeré události by potom byly součástí neměnného, čtyřrozměrného masivu. V anglosaské oblasti se pro takové chápání reality užívá pojmu „block universe“. Jako fyzikální model se ukázala být spatializace času užitečná, ale filozoficky zůstala problematická. Na opačném konci názorového spektra se objevují koncepce, které kontinuum prostoročasu vykládají jako temporalizaci prostoru. Viz Čapek, Milič. *Bergson a tendence současné fyziky*. Praha: Filosofická fakulta, 1937, s. 91.

⁸⁵ Viz Galison, Peter Louis. *Einsteinovy hodiny a Poincarého mapy: říše času*. Vyd. 1. Praha: Mladá fronta, 2005, s. 234-235.

jakousi hmotou v pohybu vymrštěnou svítícím zdrojem. V 19. století však Young a Fresnel prokázali, že vlnová teorie světla dokáže vysvětlit i jevy, jimiž byla zdůvodňována korpuskulárnost světla a navíc odpovídá poznatkům dalším (o interferenci, refrakci a polarizaci světla). Světelné vlny si můžeme představit jako vlny na vodní hladině, na kterých lze interferenci názorně předvádět. Pro všeprostopupující médium nesoucí světelné vlny se ujal název „éter“.⁸⁶

Mezitím Maxwell navázal na poznatky Faradaye, kterého pokusy s elektřinou a magnetismem dovedly k představě, že energie nejsou lokalizovány v částicích, ale spíše v prostředí, jež je obklopuje. Maxwell poté rozpracoval a matematicky popsal vlastnosti elektromagnetického pole. Zásadní odlišnost pole od Newtonových sil spočívá v rychlosti, jakou se šíří. Newtonova síla působí okamžitě v celém vesmíru, kdežto elektrické a magnetické účinky se pohybují konečnou rychlostí. Když se pokusil tuto rychlost změřit, výsledná hodnota odpovídala rychlosti světla.⁸⁷ Maxwell došel k závěru, že světlo tvoří příčné vlnění téhož média, jež je příčinou elektrických a magnetických jevů. Tím médiem měl být právě éter.

Vlnová teorie světla v 19. století převládla, bylo ovšem nutné éteru porozumět z pohledu mechaniky. Ukázalo se, že éter by v souladu s vlastnostmi světla musel být tuhý a nestlačitelný, kladl by tedy odpor veškerému pohybu objektů, což neodpovídá evidentní zkušenosti. Kvůli vysvětlení tak byly často éteru připisovány zázračné vlastnosti. Světlo se stalo typickým příkladem nehmotného vlnění, jež tvořilo druhou oblast fyzikálního světa. První oblastí byla hmota podléhající mechanickým zákonům.

Huyghense vyslovil vlnovou teorii světla, kde nosným prostředím vlny je substance zvaná éter, již roku 1678. O vlastnostech éteru bylo postupně vysloveno několik hypotéz, které se lišily vztahem pohybujících se těles vůči éteru. V Lorentzově hypotéze je éter absolutně klidný, vyplňuje celý prostor a prostupuje všemi tělesy. Tato hypotéza světelného éteru má nejbližší k Newtonově inerciální soustavě – pohyb tělesa vůči éteru

⁸⁶ Einstein situaci popisuje takto: „Protože by se fyzikům 19. století zdálo zcela absurdní, aby samému prostoru připisovali fyzikální funkce anebo stavy, zkonstruovali si médium, které proniká celý prostor; éter, podle vzoru vážitelných hmot, a ten měl být nositelem pochodů elektromagnetických a tím i světelných.“ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Praha: Československý spisovatel, 1966, s. 36-37.

⁸⁷ K měření rychlosti světla byla od 17. století navržena celá řada experimentů. První kvantitativní odhad světelné rychlosti provedl Ole Romer pomocí pozorování zákrytu Jupiterova měsíce Io roku 1676. V době Maxwellových měření byl znám odhad rychlosti Leona Foucaulta o hodnotě 298 000 km/s (1862).

je zároveň jeho absolutním pohybem vůči prostoru.⁸⁸ Tehdejší domněnku Einstein shrnuje takto:

„Fyzikální prostor a éter jsou jen různé názvy pro jednu a touž věc; pole jsou fyzikální stavy prostoru. Neboť nepřísluší-li éteru vůbec zvláštní pohybový stav, zdá se, že není důvodu, abychom ho vedle prostoru zaváděli jako zvláštní jsoucno.“⁸⁹

Prostor však pro 19. století stále zůstává cosi pevného, homogenního, neměnného a nepohyblivého. Z hlediska fyzikální praxe můžeme říci, že éter v této podobě se svým způsobem stává materializací absolutního prostoru ve smyslu absolutní vztažné soustavy. S Lorentzovou hypotézou později pracoval Einstein.

Michelson, Morley a Miller prováděli slavné pokusy, které měly za úkol zjistit změnu světelné rychlosti při pohybu Země vůči nehybnému éteru. Jejich pokus z roku 1904 byl definitivním důkazem nemožnosti takový pohyb prokázat optickými metodami.⁹⁰ Ze zjištění vyplývalo, že Země musí být vůči éteru nehybná, nebo je teorie éteru chybná. O záchranu teorie éteru se pokusili Lorentz a Fitzgerald, kteří předpokládali, že Země je při pohybu fyzicky stlačena éterovým větrem (a tedy i měřicí tyče použité v pokusech). Tím se dostali velice blízko objevu relativity, avšak kontrakci chápali špatně jako elektromechanickou deformaci atomů, nikoli jako složitou přeměnu prostoru a času, jak pochopil Einstein.⁹¹

Einstein, který se zajímal o Machovu kritiku⁹² Newtonovy teorie a éteru, si zároveň uvědomil, že newtonovská fyzika rychlosti sčítá, kdežto Maxwell objevil konstantní světelnou rychlost. Newtonovská mechanika a Maxwellovy rovnice tak nejsou navzájem slučitelné. Einsteinovo řešení, které vedlo ke vzniku teorie relativity,

⁸⁸ Viz Horský, Jan. *Speciální teorie relativity*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1972, s. 6.

⁸⁹ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Praha: Československý spisovatel, 1966, s. 37.

⁹⁰ Viz Heisenberg, Werner. *Fyzika a filosofie*. 2., přehlednuté vyd. Praha: Aurora, 2000, s. 75.

⁹¹ Viz Kaku, Michio. *Einsteinův vesmír: jak vize Alberta Einsteina změnily naše chápání prostoru a času*. 2. vyd. v českém jazyce. Praha: Dokořán, 2009, s. 51.

⁹² Mach zpochybnil Newtonův závěr z pokusu s rotujícím vědrem. Newton vysvětlil konkávní tvar hladiny vody existencí absolutního prostoru. Mach nabídl řešení, které žádnou absolutní entitu nevyžaduje – silové působení v pokusu je způsobeno celkovou masou hmoty ve vesmíru. (Mach se tedy přibližuje relačnímu pojetí).

spočívalo v rozboru pojmu čas. Zrušil absolutní povahu času a objevil nedělitelnou souvislost mezi časem a rychlostí šíření signálu.⁹³

Einstein zahrnul do své teorie Lorentzovu transformaci (celkový účinek kontrakce prostoru a dilatace času). Lorentz však pracoval s pojmy „zdánlivý“ a „skutečný“ čas. Einstein skutečný čas ze svých revolučních úvah úplně vyloučil a pokoušel se aplikovat Lorentzovu transformaci na svět zkušenosti.⁹⁴ (Ačkoli speciální teorie relativity se běžné zkušenosti vymyká, projevuje se pouze při pohybu v obrovských rychlostech a vzdálenostech.) Svou teorii, která obsahuje modifikované představy o prostoru a času, vyložil v článku nazvaném „O elektrodynamice pohybujících se těles“ v roce 1905.

Einsteinovi byl znám tradiční princip relativity, který Galilei považoval za základní rys mechaniky padajících těles.⁹⁵ Podle něj nemůže žádný mechanický experiment odhalit, zda se uzavřená kabina, ze které není vidět ven, pohybuje rovnoměrným přímočarým pohybem, nebo zda je v klidu. Einstein vztáhl princip relativity nejen na mechaniku, ale i na elektřinu, magnetismus a světlo.

Einsteinova teorie relativity, kterou později nazýval speciální, vychází ze dvou prostých postulátů. První říká, že fyzikální zákony jsou ve všech inerciálních soustavách stejné. Podle druhého je rychlost světla ve všech inerciálních vztažných soustavách konstantní. Einsteinův nový výklad Lorentzovy transformace požadoval podívat se na problémy fyziky novým pohledem. Představa éteru se díky Einsteinovi ukázala být zbytečná: *„Jestliže všechny vztažné systémy, které jsou navzájem v rovnoměrném translačním pohybu, jsou pro popis přírody ekvivalentní, nemá už žádný smysl výpověď, že existuje substance – éter, která by měla být v určitém z těchto vztažných systémů v klidu.“*⁹⁶ Neexistuje pouze jedna privilegovaná vztažná soustava, neexistuje absolutní pohyb tělesa, pouze množství rovnocenných soustav. Speciální teorie relativity postuluje ekvivalenci inerciálních pozorovatelů.

⁹³ Viz Kaku, Michio. *Einsteinův vesmír: jak vize Alberta Einsteina změnily naše chápání prostoru a času*. 2. vyd. v českém jazyce. Praha: Dokořán, 2009, s. 49.

⁹⁴ Einstein při cestě tramvají pozoroval věžní hodiny. Jak se od hodin vzdaloval, uvažoval, co by se stalo, kdyby se tramvaj pohybovala rychlostí světla. Uvědomil si, že ručičky hodin by se nepohybovaly, neboť obraz hodin by tramvaj nemohl dostihnout, ačkoli jeho vlastní hodinky by běžely normálně.

⁹⁵ Viz Galison, Peter Louis. *Einsteinovy hodiny a Poincarého mapy: říše času*. Vyd. 1. Praha: Mladá fronta, 2005, s. 20.

⁹⁶ Heisenberg, Werner. *Fyzika a filosofie*. 2., přehlednuté vyd. Praha: Aurora, 2000, s. 78.

Einsteinovo vypořádání se s éterem (materializovanou absolutní vztažnou soustavou 19. století) podle všeho směřuje k relačnímu pojmání prostoru. Ke konečnému verdiktu je však ještě brzy. Nejprve budeme muset prozkoumat další důsledky plynoucí z relativistické fyziky.

3.3.2. Ztráta absolutního etalonu

Pohyb je ve speciální teorii relativity spojen s dilatací času a kontrakcí délek. Pokud provedeme pokus s dvěma hodinovými stroji, přičemž jeden si ponecháme u sebe a druhý uvedeme do rychlosti blízké rychlosti světla, zjistíme při následném porovnání, že pohybující se strojek ukazuje méně hodin, než ten, který byl vůči nám v klidu. Chod pohybujících se hodin byl zpomalen (vůči našim hodinám). Obecná relativita předpokládá tento jev také v oblastech silných gravitačních polí. Z dilatace času vyplývá např. známý paradox dvojčat.⁹⁷ Napříč možnými vztažnými soustavami relativistického vesmíru netikají jedny hodiny, jak tomu bylo v Newtonově vesmíru. Představa absolutního času se ukázala být neudržitelná.

Hovořit o délce předmětu bez udání vztažné soustavy, v které délku měříme, se ukázalo být nesmyslné. Kontrakce délky je rovněž nejlépe patrná ve velkých rychlostech. Měříme-li velikost předmětu, například tyčový etalon, musíme určit současné polohy koncových bodů měřeného předmětu. Jelikož je současnost událostí relativním pojmem, je relativní také délka předmětu. Nacházíme-li se v relativním klidu, pozorujeme zkrácení pohybujícího se tělesa ve směru jeho pohybu. Pokud by rychlost světla byla pouhých 60 km/h, viděli bychom projíždějící automobily deformované v jejich délce. U každé křižovatky by se potom roztáhly podobně jako tahací harmonika. Kontrakci délek můžeme považovat za další ránu newtonovské fyzice (a intuitivním představám), ve které tělesa zaujímají jednoznačné rozměry a kde můžeme snadno určit, že jedno

⁹⁷ Jeho autorem je P. Langevin. Jedno z dvojčat odletí ze Země do vesmíru a cestuje téměř světelnou rychlostí. Když se vrátí na Zemi a setká se se svým dvojčetem, ukáže se, že dvojče ze Země je o mnoho let starší. Jsou-li však pohyby relativní a situace by měly být symetrické, měly by zestárnout/omládnout obě dvojčata. Řešení spočívá v tom, že soustavy figurující v paradoxu dvojčat nejsou ekvivalentní a pohybující se soustava (vesmírná loď) není inerciální. Na mladší dvojče působily velké síly při zrychlení, zpomalení a otáčení lodi. K vysvětlení a patřičnému výpočtu je nutné použít rovnice obecné teorie relativity, nikoli speciální. Viz Horský, Jan. *Speciální teorie relativity*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1972, s. 25.

těleso je větší než druhé. V Einsteinově fyzice má těleso největší délku v soustavě, vzhledem k níž je v relativním klidu. Při pohybu tělesa se jeho délka zkracuje vůči klidové vztažné soustavě, a to tím více, čím rychleji se pohybuje.

Zkracování a rozpínání těles relativizuje naše chápání prostoru, které se vyvinulo z bezprostřední manipulace s předměty a pohybu v krajině. Zároveň zpochybňuje absolutní pojmání prostorově kvantitativních vztahů. Einstein si uvědomoval souvislost mezi lidskou zkušeností s tělesy a chápáním pojmu prostor: „*Pokud jde o pojem prostoru, zdá se, že mu musí vždy předcházet pojem tělesného objektu.*“⁹⁸ Kontrakce těles je tedy záležitostí prostorovou a podílí se na relativizaci jeho pojmání. Díky ohromné rychlosti světla se nás však objev kontrakce délek přímo nedotýká. To však neznamená, že kontrakci délek nemůžeme považovat za další výtku absolutnímu pojmání prostoru.

3.3.3. Absolutní prostoročas

Prostoročas je v kosmologii zcela zabydleným pojmem. Zdá se, že svázání dvou kruciálních kategorií našeho světa do čtyřrozměrného kontinua, poskytuje moderní kosmologii užitečnou pomůcku k vypovídání o podobě a stavu vesmíru. Přestože postuláty relativistické fyziky vyžadují rozlišování vztažných soustav a popírají absolutní měřítka klasické fyziky, není prostoročas koncem debaty nad existencí absolutní vztažné soustavy veškerého pohybu.

Einsteinův původní název teorie z roku 1905 byl „teorie invariantů“, neboť poukazuje na to, že v jádru se nacházejí invariantní veličiny (invariantní vůči Lorentzovým transformacím), které se zachovávají a relativní nejsou. V případě speciální teorie relativity se jedná o prostoročasový interval, který se nezmění, přejdeme-li k jiným vztažným soustavám.⁹⁹

⁹⁸ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Praha: Československý spisovatel, 1966, s. 34.

⁹⁹ Viz Greene, Brian. *Struktura vesmíru: čas, prostor a povaha reality*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2006, s. 53.

Musíme si tedy uvědomit, že teorie relativity nerelativizuje vše. Ačkoli Einstein svázal čas a prostor s pozorovatelem a ukázal také, že nejsou absolutní, ale roztahovatelné a smršťovatelné podle pohybu pozorovatele, speciální teorie relativity zavádí „absolutní prostoročas“. Ten je zde podobně absolutní entitou, jako absolutní čas a absolutní prostor pro Newtona. Einstein to ostatně pronesl sám: „Čtyřrozměrný prostor speciální teorie relativity je právě tak tuhý a absolutní jako prostor Newtonův.“¹⁰⁰ V jiném svém projevu vysvětluje:

„Podle speciální teorie relativity mají čas a prostorové souřadnice absolutní charakter potud, pokud je lze přímo měřit tuhými tělesy a hodinami. Jsou však relativní potud, pokud jsou závislé na pohybovém stavu zvoleného inerciálního systému. Čtyřrozměrné kontinuum, utvořené spojením prostoru a času, si podle speciální teorie relativity zachovává onen absolutní charakter, jaký měl podle dřívější teorie jak prostor, tak i čas – každý sám o sobě (Minkowski).“¹⁰¹

Prostorové vzdálenosti, doby trvání událostí i rychlost pohybu těles jsou skutečně relativní. Různí pozorovatelé by se skutečně nemuseli shodnout na jejich hodnotách, nicméně celek vytvořený ze všech prostoročasových intervalů má svou vlastní nezávislou existenci.¹⁰² Existuje tedy něco, na čem se různí pozorovatelé shodnou. Absolutní rysy prostoročasu speciální teorie relativity jsou obsaženy v jádru geometrie Minkowského sjednocení. Postuluje totiž pojmy, které nezávisí na žádné volbě systému souřadnic nebo vztažné soustavě. Jedná se o geodetiky, geometrické pojmy, které jsou při použití standardní Minkowského metriky výlučně přímkami.¹⁰³ Absolutní prostoročas speciální teorie relativity, přestože čas a prostor jsou individuálně relativní, poskytuje geometrickou formu fyzikálního pozadí, vůči kterému je možné pohyby těles určovat.

Ve speciální teorii relativity je základem prostoročasového popisu inerciální soustava. Zákony a principy si udržují platnost pouze vůči inerciálním soustavám:

¹⁰⁰ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Vyd. 2. Praha: Československý spisovatel, 1966, s. 38.

¹⁰¹ Tamtéž, s. 49.

¹⁰² Viz Greene, Brian. *Struktura vesmíru: čas, prostor a povaha reality*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2006, s. 52

¹⁰³ Viz tamtéž, s. 419.

„Představíme-li si, že hmota a pole jsou odstraněny, zůstává stále inerciální prostor či přesněji řečeno tento prostor společně s přidruženým časem.“¹⁰⁴

Podle J. Barboura¹⁰⁵ je rozhodujícím faktorem ve sporu relačního a absolutního pojetí formulace dynamických zákonů pohybu. Velká nevýhoda zastánců relacionismu spočívá v tom, že se dosud nepodařilo vytvořit plně relační teorii pohybu. Newtonův absolutní prostor triumfoval na základě úspěchu experimentů, které čerpaly z jeho pohybových zákonů. Zavedení neviditelného pozadí, vůči kterému by byl pohyb jednoznačně definován, dokázalo vyřešit otázku zrychleného pohybu a vysvětlit experiment s rotujícím vědrem. Leibnizova kritika Newtonova pojetí neobsahuje alternativní teorii pohybu, nepředkládá pohybové rovnice, nýbrž svou kritiku opírá o filozofické principy (princip identity nerozlišitelného a princip dostatečného důvodu).

Jestliže v klasické fyzice je oním pozadím absolutní prostor a čas, ve speciální teorii relativity je tím pozadím absolutní prostoročas. Jak je tomu ale v obecné teorii relativity? Obecná relativita vychází ze speciální, avšak idea referenčního pozadí zde není tolik patrná. Minkowského struktura má v rámci prostoročasu obecné relativity pouze lokální platnost. Přesto musíme konstatovat, že tvoří její integrální součást.¹⁰⁶

Einstein během vytváření gravitační teorie přemýšlel nad Machovým principem, který zrychlení vztahuje k hmotě vesmíru, nikoli absolutnímu prostoru, a netajil se tím, že tento princip stojí v pozadí obecné relativity.¹⁰⁷ Během následujících let se však Machův princip nepodařilo do teorie plně zařadit a postupně se Machových myšlenek zřekl.¹⁰⁸

¹⁰⁴ Einstein, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, s. 196.

¹⁰⁵ Barbour, Julian. Relational Concepts of Space and Time. In *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 33, No. 3, 1982, s. 251.

¹⁰⁶ Viz tamtéž, s. 252.

¹⁰⁷ K Newtonovu absolutnímu prostoru a Machovu principu řekl: „Tento pojem absolutního prostoru zavedeného ad hoc je sice logicky korektní, ale neuspokojuje. Proto se Ernst Mach pokusil upravit mechanické rovnice tak, aby se dala setrvačnost těles odvodit z jejich relativního pohybu nikoli vůči absolutnímu prostoru, ale vůči souhrnu ostatních vážitelných těles. Machův pokus při tehdejšímu stavu vědění nutně ztroskotat. Postavení problému však je zcela rozumné. Tento myšlenkový pochod se vnucuje obecné teorii relativity se značnou zesílenou intenzitou, protože podle ní má na fyzikální vlastnosti prostoru vliv vážitelná hmota. Přednášející je přesvědčen, že obecná teorie relativity může tento problém uspokojivě řešit jen tak, že bude považovat vesmír za prostorově uzavřený.“ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Vyd. 2. Praha: Československý spisovatel, 1966, s. 50.

¹⁰⁸ Viz Greene, Brian. *Struktura vesmíru: čas, prostor a povaha reality*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2006, s. 71.

Mach, který kritizoval¹⁰⁹ absolutní prostor a snažil se odvodit zákony pohybu vůči vážitelným tělesům, zastává relační stanovisko. Ve své knize například píše:

„Relatively, not considering the unknown and neglected medium of space, the motions of the universe are the same whether we adopt the Ptolemaic or the Copernican mode of view. Both views are, indeed, equally correct ; only the latter is more simple and more practical. The universe is not twice given, with an earth at rest and an earth in motion ; but only once, with its relative motions, alone determinable.“¹¹⁰

Podle Macha tedy vesmír postrádá absolutní soustavu souřadnic. Projevil se tento relační prvek v Einsteinově relativitě? Podle Greena¹¹¹ se obecná relativita nepodřizuje Machovu relacionismu zcela, ačkoli existují styčné body. Prostorčas obecné relativity je totiž v těsném spojení s veškerou hmotou a energií vesmíru. Objekty (pouze však ty, které jsou v takové vzdálenosti, aby na nás mohli působit – gravitační vliv není za horizontem) spoluvytvářejí gravitační sílu. To znamená, že geometrie zakřiveného prostor času je určena rozložením hmoty ve vesmíru. Zrychlení se pak odehrává vzhledem k měřítku, které je určeno hmotou vesmíru, což se velmi blíží pojetí E. Macha.

Pokud si však představíme vesmír bez veškeré látky a energie, prostor nebude zakřivený, gravitace se neprojeví a speciální relativita se v obecné teorii objeví jako její speciální případ. Green upozorňuje (stejně jako Barbour) na sepětí obecné a speciální relativity. Machovo relační pojetí tedy nebylo plně integrováno a zůstalo pouze inspirativním zdrojem. Podle Barboura tak Einstein odolal výzvám relačního pojetí stejně dobře jako Newton.¹¹² Ačkoli se Einstein domníval, že se mu podařilo

¹⁰⁹ Mach hledá jistoty poznání a nachází je v pozitivismu (resp. empiriokriticizmu). Jeho kritika směřuje jak k formulacím a definicím pohybových zákonů, tak k samotné koncepci absolutního prostoru a času. Mach nemůže uznat existenci absolutního prostoru a času jednoduše proto, že o nich nelze získat smyslovou zkušenost, jsou pro něj čistou spekulací.

¹¹⁰ Mach, Ernst. *Science of Mechanics. A critical and historical account of its development*. London: The Open Court Publishing, 1919, s. 232.

¹¹¹ Viz Greene, Brian. *Struktura vesmíru: čas, prostor a povaha reality*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2006, s. 71-73.

¹¹² Viz Barbour, Julian. Relational Concepts of Space and Time. In *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 33, No. 3, 1982, s. 253.

prostřednictvím rovnic obecné relativity odstranit absolutní pohyb, většina fyziků je dnes přesvědčena, že tomu tak není.¹¹³

Podle všeho tedy nemůžeme říci, že v pohybových zákonech moderní fyziky neexistuje absolutní vztažná soustava. Naopak formulace speciální a relativistické fyziky předpokládají na pozadí fyzikálních jevů jakýsi absolutní rámec spojený se strukturou prostoročasu. V tomto bodě můžeme vyslovit závěr, že v otázce absolutní vztažné soustavy není možné považovat pojetí prostoru (prostoročasu) v moderní kosmologii za pojetí relační.

¹¹³ Viz Huggett, Nick, Hofer, Carl. Absolute and Relational Theories of Space and Motion. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. [online]. Stanford, CA: Stanford University, 2009. [vid. 20. 11. 2013].

3.4. PROSTOR AKTÉREM FYZIKÁLNÍHO DĚNÍ

3.4.1. Zakřivený prostoročas

Zakřivení prostoru (prostoročasu) je spojeno s řešením záhady gravitační síly. Bylo již řečeno, že Newton neznal příčinu gravitace. To mu však nebránilo ve výzkumu a formulování zákonů přitažlivosti, neboť mu stačilo předpokládat, že tyto síly působí v souladu s matematickými zákony.¹¹⁴ Newtonova teorie také neřeší způsob, jakým gravitace působí na dálku. Newton si problematičnost tohoto faktu dobře uvědomoval. Přitažlivost těles nepovažoval za jejich vlastnost, nýbrž její příčinu viděl v síle, která působí podle pevných pravidel. Einstein představu gravitační „síly“ odmítl jako klamnou a nahradil ji geometrickou představou zakřivení prostoročasu.¹¹⁵

Speciální teorie relativity nebyla teorií univerzální, neboť byla založena pouze na inerciálních pohybech a nedokázala tedy vysvětlit ani jednoduchá zrychlení. V přírodě však zrychlení podléhá všechno a s rovnoměrnými přímočarými pohyby se téměř neseťkáváme. Otázku gravitace speciální relativita úplně obchází a vynechává. Einstein proto usilovně pracoval na rozšíření fyziky relativity. Klíčovým momentem byla představa zakřiveného prostoru.¹¹⁶

Jedním z výchozích bodů nové teorie gravitace je tzv. princip ekvivalence, který byl znám již Galileovi i Newtonovi. Galilei během svých experimentů došel k poznání, že pád všech předmětů k Zemi je urychlován stejnou hodnotou – hmotná tělesa padají účinkem gravitace se stejným zrychlením. Podle principu ekvivalence je účinek

¹¹⁴ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 138-139.

¹¹⁵ Viz Kaku, Michio. *Einsteinův vesmír: jak vize Alberta Einsteina změnilly naše chápání prostoru a času*. 2. vyd. v českém jazyce. Praha: Dokořán, 2009, s. 76.

¹¹⁶ Einsteinův přítel Paul Ehrenfest předložil paradox, vycházející ze speciální teorie relativity. Mějme obyčejný kolotoč, jehož obvod se rovná pí krát průměr. Pokud kolotoč roztočíme, jeho okraj se pohybuje větší rychlostí než plocha uvnitř. V souladu se speciální relativitou by se měl okraj smršťovat (kontrakce délky) více než jeho vnitřní plocha. To by ovšem znamenalo, že nyní je jeho obvod kratší než pí krát průměr! Podle Einsteina lze paradox vysvětlit tím, že připustíme zakřivení prostoru. Viz Kaku, Michio. *Einsteinův vesmír: jak vize Alberta Einsteina změnilly naše chápání prostoru a času*. 2. vyd. v českém jazyce. Praha: Dokořán, 2009, s. 75.

gravitačního pole ekvivalentní účinku zrychleného pohybu.¹¹⁷ Loránd Eötvös sérií přesných experimentů potvrdil, že setrvační a gravitační hmotnost těles se shoduje. Einstein poté mohl postulovat, že fyzikální zákony v urychlené vztažné soustavě a v soustavě, na níž působí gravitace, nejsou od sebe rozlišitelné. Před Einsteinem fyzika neznala příčinu této rovnosti. Einstein vztáhl princip relativity na souřadné systémy, jež jsou vůči sobě zrychlené. To ho dovedlo k tvrzení, že: „*Zavedení souřadných systému, které se pohybují vzhledem k inerciálním systémům zrychleně, je podmínkou toho, aby se v nich objevilo gravitační pole.*“¹¹⁸

Obecná teorie relativity přejímá čtyřrozměrný prostoročas z teorie speciální, avšak vzdává se eukleidovské geometrie, která počítá s plochými povrchy. Co tedy znamená zakřivení prostoru prakticky? „*To znamená: zákony, podle nichž lze uspořádat tělesa v prostoru, se neshodují přesně se zákony umístění, které tělesům připisuje euklidovská geometrie.*“¹¹⁹ Ve fyzice proto základní pojmy jako přímka a rovina ztrácejí klasický význam. Einstein pomocí nové geometrie revolučně provázal vlastnosti těles a gravitačních polí: „*Geometrické vlastnosti těles a chod hodin závisí zde na gravitačních polích a ta opět vytváří hmota.*“¹²⁰ Nakonec můžeme gravitaci vysvětlit jako projev geometrických vlastností prostoročasu, neboť se zdá, že gravitace ani ničím jiným není.¹²¹

Eukleidovy axiomy panovaly na poli geometrie více než dvě tisíciletí a *Základy* se staly všeobecnou učebnicí matematiky, respektive geometrie. Eukleidés shromáždil a utřídil velké množství matematických poznatků svých předchůdců (v té době měla řecká matematika za sebou přibližně tři století intenzivního vývoje). Poznátky upravil a doplnil o mnoho důkazů a vše jasně a přehledně vyložil jako ucelenou a systematickou teorii s jednotnou terminologií.¹²²

¹¹⁷ Viz Závíška, František. *Einsteinův princip relativnosti a teorie gravitační*. Praha: Jednota čs. matematiků a fysiků, 1925, s. 101.

¹¹⁸ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Praha: Československý spisovatel, 1966, s. 49.

¹¹⁹ Tamtéž, s. 46.

¹²⁰ Tamtéž s. 46-47.

¹²¹ Viz Ullmann, Vojtěch Ignác. *Gravitace, černé díry a fyzika prostoročasu*. 1. vyd. Ostrava: Československá astronomická společnost při ČSAV, 1986, s. 65.

¹²² Viz Bečvářová, Martina. *Eukleidovy základy, jejich vydání a překlady*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2002, s. 15.

Až v první polovině 19. století si Lobačevskij, Gauss a Bolyai uvědomili, že lze vybudovat i jiné bezrozporné geometrie. Ukázalo se, že prostor nemusí být plochý a Eukleidův pátý axiom o rovnoběžkách potom neplatí. Bernard Riemann následně uchopil eukleidovskou geometrii jako nejjednodušší případ široké palety všech možných geometrií.¹²³ To muselo nutně podkopat jistoty, které se o absolutní pravdivost Eukleidovy geometrie opíraly.

Přesvědčení o tom, že Eukleidova geometrie je jediným možným a tedy správným popisem prostoru, se usadilo v evropském myšlení na dlouhou dobu a zdálo se být samozřejmým. Když Leibniz hájí stanovisko, že geometrie patří mezi nutné pravdy, kterým náleží absolutní platnost, hovoří o geometrii Eukleidově. Descartes je o absolutní platnosti vět matematiky přesvědčen natolik, že na jejím základě buduje zásady nové vědy, mezi něž patří převedení vědy na matematiku. Činí tak vědomě a explicitně. Descartovým snem jeho přírodní filozofie je i matematická kosmologie.¹²⁴ (Sluší se podotknout, že Leibniz přírodním zákonům, na rozdíl od geometrických pravd, absolutní nutnost nepřisuzuje.)¹²⁵

Stejná geometrie vládne světem absolutního prostoru a času v Newtonově přírodní filozofii. O Newtonovy myšlenky se velmi zajímal I. Kant. Z jeho strany se dostalo svérázné obhajoby eukleidovské geometrii. Podle Kanta jsou nám čas a prostor dány jako podmínky veškerého vnímání: jinak než v prostoru a v čase nemůžeme mít žádnou zkušenost. „Fyzik“ Newton předpokládal existenci ideálního prostoru, ve kterém jsou objekty světa umístěny a vůči kterému můžeme posuzovat jejich pohyb, filozof Kant učinil z prostoru lidskou strukturu smyslovosti, která pramení z nás samých a uspořádává počítky, není tedy umístěna vně člověka. Tím, že představy prostoru a času nechal pramenit z člověka samotného, učinil z nich záležitost člověku bytostně blízkou. Díky tomu tvrzení, že přímka je nejkratší spojnice mezi dvěma body, není třeba ověřovat zkušeností. A protože každý člověk má stejnou formu prostorového názoru, věty geometrie jsou všeobecně platné a nutné. Newtonův i Kantův prostor je vystavěn na eukleidovské geometrii, jejíž postuláty mají blízko k naší zkušenosti

¹²³ Viz Barrow, John D. *Pí na nebesích: o počítání, myšlení a bytí*. Vyd. 1. Praha: Mladá fronta, 2000, s. 21.

¹²⁴ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 83.

¹²⁵ Viz Moreau, Joseph. *Svět Leibnizova myšlení*. Vyd. 1. Praha: Oikoyomenh, 2000, s. 141.

z běžného života. Fakt, že součet úhlů v trojúhelníku je 180 stupňů sice můžeme ověřit měřením, ale podle Kanta to není ani potřeba, neboť zákonitosti geometrie jsou nám dány předzkušennostně. Kantovo apriorní pojetí prostoru se podílelo na utvrzování výjimečného postavení eukleidovské geometrie jako nejlepšího nástroje pro popis prostorově-časových vztahů a tím i fyzikálních dějů. Existence jiných v sobě nerozporných geometrií, které nepodléhají Eukleidovým postulátům, učinila z trojrozměrného plochého prostoru naší zkušenosti pouze jednu z mnoha možných geometrických variant. Do světa fyziky však nové geometrie vstoupily až s Einsteinem.

Einstein ve své teorii gravitace využil geometrii zakřivených ploch. Již v polovině 19. století se pokoušel vysvětlit sílu zakřivením prostoru právě Riemann, ale jeho přínos byl čistě matematický, Einstein naopak formuloval fyzikální princip, ale postrádal matematický jazyk k jeho vyjádření. Klíčem k Einsteinovu problému se stala Riemannova přednáška z roku 1854 obsahující pojem metrický tenzor – matematický objekt, který popisuje zakřivené plochy. Čtyřrozměrnému prostoročasu odpovídá soubor deseti souměrně uspořádaných čísel.¹²⁶

Einstein zasvětil léta práce určení přesného tvaru a míry zakřivení, které by odpovídalo danému množství hmoty či energie. Nakonec se mu podařilo vytvořit rovnice pomocí metrického tenzoru, které gravitační pole popisují zakřivenou geometrií a navíc dokážou předpovědět dráhy planet s větší přesností, než je tomu u teorie Newtonovy.¹²⁷ Dále Einstein ukázal, že i působení gravitace nepřesahuje rychlost světla v souladu se speciální teorií relativity.

Einsteinova teorie gravitace aplikovala neeukleidovskou geometrii na fyzikální otázku a přisoudila prostoru zcela novou vlastnost – zakřivení. Gravitace není zvláštní silou, o jejímž původu odmítal Newton vytvářet hypotézy. Podle Einsteina je představa

¹²⁶ Viz Kaku, Michio. *Hyperprostor: vědecká odysea paralelními vesmíry, zakřiveným prostorem a desátým rozměrem*. 1. vyd. v českém jazyce. Praha: Argo, 2008, s. 50-51.

¹²⁷ Viz Greene, Brian. *Struktura vesmíru: čas, prostor a povaha reality*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2006, s. 70.

působící síly chybná, gravitace je v jeho pojetí jednou z vlastností prostoru: „*Gravitace byla převedena na strukturu prostorovou* (...).“¹²⁸

3.4.2. Vztah prostoročasu a hmoty

Tělesa, se kterými pracuje klasická mechanika, jsou oblastí makroskopických hmotných těles, která se pohybují rychlostí zanedbatelnou vůči rychlosti světla. V newtonovské fyzice je těleso souborem hmotných bodů. Jejich pohyb poté utváří fyzikální dění na netečném pozadí prostoru a času. Fyzikální okolnosti a hmotná tělesa neměla na prostor vliv. Newton tímto způsobem odsunul prostor do pozadí, kde sloužil jako absolutní vztažná soustava pohybovým zákonům a nebylo nutné jej více problematizovat.

Od dob Newtona a Leibnize učinila fyzika v chápání látky vyplňující kosmos řadu objevů a obraz vesmíru se zcela změnil. Zásadní změnu do fyziky přineslo elektromagnetické pole a polní popis. Podle Einsteina¹²⁹ vyplynulo překonání idey nezávislého prostoru z vývoje fyziky polí. Studium šíření světla totiž vyžadovalo zavést polní popis v místech nepřítomnosti vážitelné hmoty (mimo hranice těles). Následně se objevila koncepce světlonosného éteru, která snaží nabídnout mechanické odpovědi způsobem klasické fyziky. Díky problémům z této koncepce vzešlých vzniká relativistická fyzika, která představu nezávislého prostoru ruší a prostor je ve fyzice opět problematizován.

Einsteinův nový pohled na gravitaci nás zároveň nutí změnit pohled na roli prostoru ve fyzikálním dění. V Einsteinově teorii každé těleso kolem sebe zakřivuje prostor i čas. V tomto zakřiveném prostoročasu se poté pohybují ostatní tělesa po nejrovnějších možných drahách (tzv. geodetikách).

¹²⁸ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Vyd. 2. Praha: Československý spisovatel, 1966, 174, s. 42.

¹²⁹ Viz Einstein, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, s. 191-192.

Zakřivený prostor následně ovlivňuje okolní tělesa. Prostor se z pasivního pozadí stává účastníkem fyzikálního dění:

„Prostor tedy podle této teorie není už vůbec absolutní – přesně jak Riemann tušil –, nýbrž jeho struktura závisí na fyzikálních vlivech. Geometrie (fyzikální) není už vůbec izolovaná, do sebe uzavřená jako geometrie Euklidova.“¹³⁰

Zároveň si však nemůžeme představovat zakřivení prostoročasu bez přítomnosti těles:

„Podle obecné teorie relativity nepatří geometrické vlastnosti prostoru samému, nýbrž jsou podmíněny hmotou. Proto můžeme jen tehdy učiniti určitý závěr o geometrické struktuře světa, jestliže ve svých úvahách vycházíme od známého stavu hmoty.“¹³¹

Jsou-li tedy vlastnosti prostoru závislé na hmotných tělesech a ta, jak víme, nejsou homogenní masou, nýbrž jsou separátně rozmístěna v různých vzdálenostech od sebe, ani prostor není ve všech místech stejný – míra jeho zakřivení se místně liší. Na základě tohoto faktu docházíme k tvrzení, že prostor nemá homogenní strukturu. Obecná relativita nepracuje s eukleidovskou geometrií, nýbrž s geometrií Riemannovou, která je geometrií heterogenního kontinua.¹³²

V kosmologii, která uvažuje na obrovských škálách, existuje tzv. kosmologický (neboli Koperníkův) princip, který postuluje homogenitu vesmíru. Kosmologický princip je však uplatňován od rozměrů galaktických kup. Astronomická pozorování potvrzují homogenní rozmístění hmoty ve vesmíru a v tomto měřítku se zdá být vesmír homogenní. Proto se domnívám, že i prostoru bychom mohli v kosmologickém měřítku přisoudit zároveň homogenní strukturu.

¹³⁰ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Praha: Československý spisovatel, 1966, s. 41.

¹³¹ Einstein, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, s. 162-163.

¹³² Za zmínku stojí, že pojetí Einsteinova heterogenního prostoročasu odmítal A. N. Whitehead, který vytvořil první úplnou a konzistentní alternativu k Einsteinově teorii gravitace. Whitehead vycházel ze speciální teorie relativity a východiskem jeho teorie byl čtyřdimenzionální prostoročas plochý, nikoli pokrivený. Viz Andrlé, Michal. *Whiteheadova filosofie přírody: se zvláštním zřetelem k "londýnskému" období*. Červený Kostelec: Pavel Mervart, 2010, s. 265.

Heterogenita prostoru je moderní fyzice a kosmologii geometrickým prvkem, která z prostoru činí aktivního účastníka fyzikálního dění. Tím se pojetí prostoru v moderní kosmologii vymyká jakémukoli staršímu pojetí. Tato proměna chápání prostoru se nejvýrazněji projevuje v kontrastu s Newtonovým pojetím absolutního prostoru:

„Ve všeobecné teorii relativity nemá už nauka o prostoru a času, kinematika, úlohu základu, který nezávisí na ostatní fyzice. Geometrické vlastnosti těles a chod hodin závisí zde na gravitačních polích, a ta opět vytváří hmota.“¹³³

3.4.3. Rozpínající se prostor

Když v roce 1917 formuloval Einstein první obecně relativistický model vesmíru, byl stále ještě obrazem statického vesmíru. Z rovnic vyplývalo, že se vesmír buď smršťuje, nebo rozpíná. Jenže Einstein byl v souladu s tehdejšími představami přesvědčen, že vesmír je neměnný v čase a že celková gravitace musí být vyrovnaná. Zavedl proto do rovnic tzv. kosmologický člen, který vyvažoval gravitační působení a zachovával tak vesmír ve statickém stavu.

Roku 1922 představil A. Fridman takové řešení Einsteinových rovnic, které rozpínání vesmíru dovoluje, navíc by vesmír zůstal konečný, avšak bez hranic. Vesmír by totiž mohl být zakřivený a uzavřený do sebe. Einstein zpočátku s Fridmanovým řešením nesouhlasil, ale po dalších astronomických objevech nazval kosmologický člen největší chybou svého života.¹³⁴ Roku 1923 poznal E. Hubble skutečnou podstatu spirálních mlhovin. Podobně jako Galilei, který svým dalekohledem poprvé rozeznal jednotlivé hvězdy v mléčné dráze, rozeznal Hubble tehdejším největším dalekohledem světa jednotlivé hvězdy ve Velké mlhovině v Andromedě.¹³⁵ Astronomie přinesla objev, díky kterému se náš vesmír nesmírně zvětšil, neboť takové „mlhoviny“, ve skutečnosti galaxie, vyplňují vesmír ve všech směrech. Hubble poté měřil rudý posuv těchto galaxií (přírůstek vlnové délky světla) a v roce 1929 oznámil objev, podle kterého hodnota

¹³³ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Praha: Československý spisovatel, 1966, s. 46-47.

¹³⁴ Viz Štoll, Ivan. *Dějiny fyziky*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2009, s. 425.

¹³⁵ Nyní již nese název Velká galaxie v Andromedě.

rudého posuvu vzrůstá přímo úměrně jejich vzdálenosti od nás. Hubble tak potvrdil kosmologický model dynamického vesmíru. Experimentálním důkazem se stal objev předpovězeného reliktního záření v 60. letech. V roce 1998 byl učiněn překvapivý objev zrychleného rozpínání kosmu. Příčinou by mohla být temná energie, která je nyní spolu s temnou hmotou objektem intenzivního výzkumu. Rozpínání kosmického prostoru je tedy přírodní jev plynoucí již z obecné teorie relativity a dnes je potvrzený mnoha observačními daty astronomie (všechny dostatečně vzdálené galaxie jeví červené kosmologické posuvy čar ve spektru).

Podívejme se nyní na pojetí prostoru v této kosmologické koncepci. Především je nutné zdůraznit, že otázka, kam se vesmír rozpíná, je nesmyslná. Vesmír se rozpíná, protože se rozpíná sám prostor. Tak zní jedno z typických vysvětlení, v němž je odhaleno těsné sepětí kosmické látky a prostoru. Moderní astrofyzika nevyžaduje žádné pozadí, ve kterém by se rozpínání uskutečňovalo. Rozpínání bývá ilustrováno na zjednodušeném dvourozměrném modelu, jakým je např. povrch pouťového balonku¹³⁶: nakreslíme-li na něm několik teček a začneme jej nafukovat, tečky se budou navzájem vzdalovat, aniž by samy vykazovaly pohyb. Z tohoto modelu je patrné: 1. mezi objekty vesmíru roste prostorová vzdálenost, aniž by se objekty samy lokálně pohybovaly, 2. neexistuje privilegovaný směr rozpínání.

Pozorovaný růst vlnové délky vzdálených galaxií skutečně není způsoben jejich letem vesmírem, ačkoli takový pohyb jim upřít nechceme a nemůžeme¹³⁷, avšak kosmologický rudý posuv je interpretován rozpínáním vesmíru a tím i prostoru. Zdá se, že v kosmologickém měřítku můžeme rozlišovat dva druhy pohybu. Prvním je lokální pohyb, který je přesunem z místa na místo v dané vztažné soustavě (ještě pohyb v rámci galaxie je v kosmologických škálách zanedbatelný). Druhým je pohyb, který je vnitřním pohybem vesmíru jako celku. Tento pohyb již nelze vztahovat a poměřovat k ničemu jinému než k vesmíru samotnému.

¹³⁶ Viz Grygar, Jiří. *Vesmír, jaký je: současná kosmologie /téměř/ pro každého*. 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 1997, s. 142.

¹³⁷ Pohybem galaxií vůči našim detektorům vzniká tzv. dodatečný kladný nebo záporný přírůstek k rudému posuvu.

Vzdálenosti mezi objekty se tak skutečně mění. Použijme další oblíbenou ilustraci¹³⁸: vezměme gumovou šňůrku, vytvořme na ní několik uzlíků a gumičku napínejme. Uzlíky se budou od sebe vzdalovat tak, že z pohledu jakéhokoli z nich bude situace stejná; čili můžeme konstatovat, že všechny uzlíky se od sebe navzájem vzdalují a nelze určit směr rozpínání. Z každého vesmírného objektu bychom pozorovali *stejný jev* – vzdalování objektů směrem od nás.

To zároveň znamená, že nelze identifikovat „epicentrum výbuchu“, ze kterého se vesmírná látka rozlétla na všechny strany. Taková představa je zavádějící. Adekvátní představa uvedeného rozpínání ve třech rozměrech není člověku přístupná, neboť se nepodobá ničemu, s čím se běžně setkáváme. Vzdálenosti, ve kterých se odehrává drama našich životů, jsou v porovnání s měřítky kosmologů zanedbatelná. Rozpínání vesmíru je patrné především na úrovni megasvěta galaktických struktur, kde se plně uplatňuje obecná teorie relativity a kosmologické modely. V obyčejném lidském makrosvětě je však situace jiná. Jaderné a elektromagnetické síly drží hmotná tělesa pevně semknutá a k jejich expanzi tedy nedochází.¹³⁹

Rozpínání prostoru je tedy závislé na rozmístění hmoty ve vesmíru. Výše uvedené vysvětlení, podle kterého se „vesmír rozpíná, protože se rozpíná sám prostor“, lze s ohledem na prostor formulovat opačně: prostor se rozpíná, protože se rozpíná vesmír. Prostor o sobě není předmětem astronomického pozorování a kosmologických modelů – vždy se jedná o látku vesmíru a pozorované fyzikální jevy. Pochopení této podmíněnosti je pro nás jednou z ilustrací vzájemného sepětí fyzikálních objektů a prostoru v moderní kosmologii. Zároveň podporuje tezi o absenci substančního pojmání, ve které by prostor vystupoval jako zvláštní entita nezávislá na látce. Rozpínání prostoru je zde chápáno pouze jako zvětšování prostorových vzdáleností (hustota látky klesá s časem), aniž by docházelo k polohovým změnám v rámci daných vztažných soustav.

Jedná se o zásadní objev moderní kosmologie a hlavně o zcela novou koncepci v historii pojmání prostoru. Domnívám se, že koncepce rozpínání prostoru podporuje relační pojetí: 1. ukazuje na sepětí vesmírné látky a prostoru, 2. popírá státnost a neměnnost prostoru. V Newtonově pojetí je absolutní prostor zcela neměnný

¹³⁸ Jersák, Jiří. Rozpínání vesmíru podle soudobých poznatků. *Vesmír* [online]. 2008, vol. 87, no. 1, s. 42.

¹³⁹ Viz Greene, Brian. *Struktura vesmíru: čas, prostor a povaha reality*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2006, s. 206.

a netečný, což umožňuje postulovat absolutní pohyb a klid. Naopak Leibnizovo pojetí, které zvažuje pohyb pouze vůči okolním tělesům, by neutrpělo vážnější škody. Avšak tvrzením o rozpínání prostoru by pravděpodobně narazilo na odpor u obou velikánů, neboť by vyvolalo vážné teologické otázky.

3.4.4. **Prostor má počátek**

Zvolený nadpis vyvolává dojem jisté pojmové nekompatibility. Důvod je prostý: v běžném uvažování považujeme prostor za nezávislý na času a nepřipisujeme mu vývojovou charakteristiku. Prostorové výpovědi se vždy týkají buď umístění předmětů mezi jinými předměty, případně prázdného neměnného nic v souvislosti s jejich absencí. Intuitivně chápeme prostor a čas jako oddělené kategorie, které teprve zastřešují a podmiňují vnímání vzniku, vývoje a zániku. Z modelů moderní kosmologie však vyplývá požadavek na zrušení představy absolutní netečnosti prostoru jako věčného nehybného pozadí.

Objev rozpínání vesmíru nakonec vedl k teorii počátku vesmíru z prvotní singularity. Jestliže se vesmír rozpíná, musel být v minulosti menší – musely být menší vzdálenosti mezi částicemi látky, z čehož můžeme odvodit větší hustotu a větší teplotu vesmíru. Teorie Velkého třesku s rozpracovanou teorií raného vesmíru bývá nazývána „standardní model“. Kosmologický standardní model (neplést se „Standardním modelem částicové fyziky“) měl a má své odpůrce, neboť stále obsahuje nejasnosti a přináší další otázky, přesto je jeho pozice v moderní kosmologii silná. Za povšimnutí stojí strukturní podoba této teorie s kosmogonickými mýty. Čínský mýtus o vzniku světa z kosmického vejce a moderní představa o expanzi vesmíru z počáteční singularity totiž odpovídají na stejnou otázku: z čeho vznikl náš svět? Jakoby otázka zůstávala stejná, pouze odpověď nabývala nové formy. Tady ale podobnost se standardním modelem končí, neboť ten byl přijat „(...) *nikoliv z důvodů filozofických nebo pod*

*vlivem vědeckých kapacit v astrofyzice, nýbrž pod tlakem empirických dat.*¹⁴⁰
(Souvisejících s objevem vzdalování galaxií a objevem reliktního záření.)

Stejně jako v případě rozpínání vesmíru, i zde je analogie s explozí zkreslující. I když se v souvislosti s velkým třeskem hovoří o výbuchu, nebyl to výbuch, „(...) *s jakým se setkáváme na Zemi, začínající v určitém centru a šířící se postupně dál a dál, ale výbuch, který byl najednou všude, od začátku vyplnil celý prostor a každá částice se doslova hnala pryč od každé jiné částice.*“¹⁴¹. Kdybychom snad z této formulace vyvozovali existenci nezávislého prostoru, který třesku předcházel, dopustili bychom se omylu: „*Celý prostor*“ v této souvislosti znamená *buď celý nekonečný vesmír, nebo celý konečný vesmír, který je zakřiven sám do sebe podobně jako povrch koule.*¹⁴² Prostor je zde myšlený pouze v souvislosti s látkou vesmíru. Velký třesk je současným vznikem látky, času i prostoru. Otázka po prostoru, do kterého by látka mohla rozpínat, se stává nesmyslnou. V případě singularity je nám explicitně zakázáno položit otázku, kde se počáteční singularita nacházela. Stejně jako o času nelze říci, že by měl počátek v čase, tak ani prostor neměl počátek v jiném prostoru. Tento počáteční bod lze snad přiblížit pomocí analogie se zeměpisnými souřadnicemi. Na povrchu Země dokážeme popsat jakýkoli bod pomocí souřadnic délky a šířky s výjimkou zeměpisných pólů, které jsou zde geometrickými singularitami. Na pólech dosáhneme devadesáti stupňů šířky a pojem zeměpisné délky ztrácí smysl. Zvolit směr cesty můžeme v kterémkoli místě globu, ale cesta z pólů má pouze jeden jediný směr.

Formulace počátku vesmíru, která je v kosmologii součástí tzv. standardního modelu, vyžaduje současně počátek prostoru. Nepřipouští existenci prostoru nezávisle na času a na látce. Primárně nám tato kosmologická teorie přináší ideu temporální omezenosti prostoru, sekundárně odhaluje neexistenci prostoru nezávislého na látce vesmíru.

¹⁴⁰ Weinberg, Steven. *První tři minuty: moderní pohled na počátek vesmíru*. 1.vyd. Praha: Mladá fronta, 1982, s. 13.

¹⁴¹ Tamtéž, s. 10.

¹⁴² Tamtéž, s. 10.

3.4.5. Konečný a nekonečný prostor

V moderní kosmologii je možné specifickým způsobem řešit otázku konečnosti či nekonečnosti prostoru. Stejně jako v případě jeho vzniku, rozpínání a zakřivení, zde vystupuje do popředí závislost prostorové struktury na látce vesmíru.

Leibniz ani Descartes neviděli důvod, proč by měli hmotě přisoudit omezenost v jejím rozsahu. Pro Descarta to znamená, že prostor je metricky nekonečný (neomezený), Leibniz ze stejného důvodu připouští prostorové vztahy v nekonečné vzdálenosti. V newtonovském vesmíru je prostor entitou o nekonečných rozměrech. Jelikož pro něj neexistuje fyzikální vztah mezi hmotou a prostorem a povaha prostoru je nacházena v teologických tvrzeních, není nutné vytvářet prostoru metrická omezení. Newton však netvrdí, že by prostor byl ve všech částech vyplněn hmotou. Zpočátku mezi zastánci Newtonovy filozofie existoval protiklad aktuálního nekonečna absolutního prostoru a omezených rozměrů hmotného světa, ale Leibnizovy myšlenky (princip plnosti a dostatečného důvodu) zakořenily i mezi Leibnizovými oponenty a způsobily, že hmotný vesmír získal rozměry samotného Newtonova prostoru – stal se nekonečný jako absolutní prostor sám.¹⁴³

Hmotný vesmír byl nakonec novověkou přírodovědou vložen do nekonečného eukleidovského prostoru, protože nejprve Bůh stvořil prostor a teprve poté do něj vložil reálný svět.¹⁴⁴ Kosmos tak nutně získal stejnou geometrickou strukturu, jakou měl Newtonův absolutní prostor.

Představa nekonečnosti vesmíru a jeho neměnnosti v čase vedla k logickým rozporům, které jsou známy jako paradoxy klasické kosmologie – fotometrický¹⁴⁵, gravitační¹⁴⁶ a termodynamický. Tyto paradoxy jsou řešeny během 20. století, avšak již v odlišném

¹⁴³ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 211.

¹⁴⁴ Viz Vopěnka, Petr. *Geometrize reálného světa: (třetí rozprava s geometrií)*. Vyd. 1. Praha: Matfyzpress, 1995, s. 217.

¹⁴⁵ V nekonečném a homogenním vesmíru bychom měli spatřit světlo přicházející z nekonečného počtu hvězd, ať už bychom pohlédli kterýmkoli směrem. Problém se stal tíživějším s prosazením pojetí newtonovského vesmíru, nekonečného v prostoru a čase. Intenzita světelných paprsků by se sčítala a obloha by se měla jevit nekonečně jasná.

¹⁴⁶ Mezi hmotnými objekty Newtonova vesmíru musí působit síla přímo úměrná jejich hmotnosti a nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti. V nekonečném vesmíru by tedy měli působit všemi směry nesmírné gravitační síly, což je v rozporu s pozorováním. Gravitační rovnice navíc neobsahují časovou složku – předpokládají okamžité působení na dálku. Einstein se tohoto paradoxu zbavil odstraněním absolutního prostoru (absolutní vztahné soustavy). Pohyby těles v něm lze měřit pouze relativně v dané vztahné soustavě, nikoli absolutně vůči celému vesmíru.

pohledu na vesmír. Fotometrický paradox je důsledkem představy neměnného vesmíru, která byla nahrazena objevem historie vesmíru a vývoje jeho objektů. Gravitační paradox padl spolu s konečnou rychlostí gravitačního působení a entropie termodynamického paradoxu se objevuje v současných kosmologických otázkách o povaze času.

Veškerá nekonečnost a neomezenost do této chvíle zmíněná, byla kvantitativní vlastností prostoru a kosmu. Otázka, zda je prostor vesmíru nekonečný, byla analogická otázce, zda lze za sebe položit nekonečné množství měřících tyčí. Geometrie prostoru byla do objevu geometrií neeukleidovských plochá. Do kosmologie přichází geometrie zakřivených ploch spolu s obecnou relativitou. Ve dvacátých letech představil A. Fridman řešení Einsteinových rovnic, které nabízejí modely vesmíru s jinou než nulovou křivostí. Do problému tak vstupují kvalitativní vlastnosti prostoru.

V prvních Fridmanových modelech je vesmír topologicky sférický. Zde má prostor kladnou křivost a součet úhlů trojúhelníku je větší než 180° . Sférické modely jsou do sebe uzavřené; to způsobuje, že mají konečný objem, avšak v žádném směru nenalezneme jejich hranici. Jejich vlastnosti se podobají vlastnostem povrchu koule: „*Snadno se přesvědčíme, že trojrozměrný sférický prostor jest úplně analogický dvojrozměrnému (kulové ploše). Jest konečný (tj. konečného objemu), aniž by měl hranic.*“¹⁴⁷ To je právě ono pozoruhodné řešení otázky konečnosti prostoru. Prostor je sice konečný metricky (kvantitativně), ale nekonečný topologicky (kvalitativně).

Míra, která rozhoduje o faktickém zakřivení prostoru a rozhoduje o jeho konečnosti či nekonečnosti, se odvíjí od rozložení hmoty ve vesmíru. Jak víme, gravitační „síla“ se projevuje více u hmotnějších těles. Einstein zvažuje existenci nekonečného prostoru v podobě kvazi-eukleidovské geometrie, kde by plocha byla zakřivena jen částečně a nikde by se výrazně neodchylovala od roviny. Takové pojetí se mu však zdá neuspokojivé, neboť:

„Je-li však střední hustota hmoty ve světě jen poněkud různá od nuly, pak není ten svět quasi-euklidovský. Výpočet ukazuje spíše, že při rovnoměrně rozdělené hmotě by nutně musil býti sférický (popř. eliptický). Jelikož hmota ve skutečnosti jest rozdělena částečně nepravidelně, chová se skutečný svět

¹⁴⁷ Einstein, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, s. 162.

*v jednotlivostech poněkud nesféricky, jest quasi-sférický. Ale jest nutně konečný.*¹⁴⁸

Neměli bychom se tedy divit, že zakřivení prostoru uchází naší pozornosti, protože v malých měřítkách vesmír sférickost nevykazuje. Nicméně rovnice naznačují sférický tvar. Této úvahy (o metrické konečnosti) si povšiml Reichenbach a přisoudil jí zásadní význam:

*„Nehledě k novosti nauky o konečnosti nebeského prostoru, která znamená podobný obrat, jako svého času nauka o kulatosti země, spočívá také v metodickém zachycení problému prostoru zcela nový obsah filosofického souzení. Vyjadřuje se v něm základní zásada, že výpovědi o prostoru není možno odloučiti od výpovědi o tělesech v prostoru, že prostoru nepřísluší absolutní význam mimo věci a zákony jejich vzájemného pořádku.*¹⁴⁹

Sférické modely vesmíru však nejsou jediným Fridmanovým řešením. Představil ještě hyperbolické modely se zápornou křivostí, kde součet úhlů v trojúhelníku je menší než 180° a prostor je metricky i topologicky nekonečný (není do sebe uzavřený). Třetí geometrický model vesmíru, tzv. Einstein-de Sitterův, předpokládá křivost rovnou nule a je opět nekonečný ve všech ohledech. Nicméně Reichenbach správně upozorňuje na „základní zásadu“ o sepětí prostoru a těles.

Řešení konečnosti či nekonečnosti vesmíru (a tím i prostoročasu) v moderní kosmologii závisí na topologických vlastnostech struktury prostoročasu. Určujícím faktorem pro přistoupení k tomu či onomu modelu je průměrné rozložení hmoty ve vesmíru, neboť podle obecné teorie relativity se míra zakřivení prostoročasu odvíjí právě od hmotných těles. Zásadní informací z této kapitoly je sepětí prostoru a hmoty – hmota určuje kvalitativní vlastnosti prostoru. Prostor tudíž není na tělesech nezávislý, jak je tomu v pojetí absolutního prostoru, nýbrž jsou jeho vlastnosti tělesy podmíněny. Opět se tak pojetí prostoru v moderní kosmologii přibližuje pojetí relačnímu.

¹⁴⁸ Einstein, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, s. 163.

¹⁴⁹ Reichenbach, Hans. *Od Koperníka k Einsteinovi: jak se změnila představa o světě*. Praha: Volná myšlenka, 1928, s. 131.

3.4.6. Prostorčas neexistuje nezávisle na tělesech

Viděli jsme, že Einsteinova teorie gravitace je postavena na myšlence zakřiveného prostoročasu. Toto zakřivení není vlastností, která by pocházela ze samotného prostoru, ale závisí na vážitelné hmotě. Formulace počátku a rozpínání vesmírného prostoru nás přesvědčuje o neexistenci prostoru nezávisle na látce vesmíru. Stejně tak o celkové topologii kosmu (o jeho zakřivení), rozhoduje rozložení celkové hmoty ve vesmíru.

V relačním pojetí prostor neexistuje nezávisle na tělesech. Podle Leibnize není bez těles ani prostor. V moderní kosmologii nejenže neexistuje prostor nezávisle na tělesech, ale dokonce jsou jeho vlastnosti určovány hmotnými tělesy. Představa prostoru jako netečného, pasivního a neměnného pozadí fyzikálních dějů je popřena. Pojetí prostoru v moderní kosmologii tak vykazuje typický znak relačního pojmání.

3.5. VAKUUM MODERNÍ FYZIKY

Viděli jsme, že existenci prázdna popírali všichni uvedení zástupci relačního pojetí. Otázka, zda prostor existuje nezávisle na tělesech, je úzce spojena s problémem existence vakua, protože pokud odebereme prostoru nezávislou existenci, je nutné vysvětlit podstatu zdánlivě nevyplněných oblastí světa. Není tedy možné někde ponechat prázdno, se kterým je prostor nejčastěji ztotožňován.

V Descartově pojetí je prostor ztotožněn s tělesy a popření prázdného prostoru je dokonalé. Descartova hmota je charakterizována svou rozlehlostí, která v podobě smyslově vnímatelné přírody stojí v opozici duchovní substanci, avšak nejedná se o hmotu složenou z atomárních částic:

„Poznáváme též, že není možné, aby existovaly nějaké atomy čili ze své přirozenosti nedělitelné částice látky. Kdyby totiž nějaké byly, nutně by musely být rozlehlé, a jakkoli malé bychom si je představovali, mohli

*bychom jeden každý z nich myšlením ještě rozdělit na dva či více menších,
a tedy uznat, že jsou dělitelné.*¹⁵⁰

Descartes se domnívá, že ono dělení do nekonečna je hmotnému světu vlastní, přestože samotný proces dělení nedokáže mysl dokonale pojmout:

*„A přestože myšlením nejsme s to dokonale pojmout, jak dochází k onomu neomezenému dělení, neměli bychom proto ještě pochybovat, že k němu dochází. Jasně totiž poznáváme, že neomezená dělitelnost nutně vyplývá z přirozenosti látky, kterou jsme zcela zřejmě poznali. A poznáváme též, že tato dělitelnost je z rodu toho, co nemůže být uchopeno naší myslí; ta je totiž konečná.*¹⁵¹

Descartes po nás vyžaduje, abychom přijali nekonečnou dělitelnost hmoty, přestože to překračuje možnosti našeho rozumového aparátu. V jeho pojetí tedy neexistuje reálná limita rozlehlosti. Vzhledem k možnosti neustále dělit těleso na další rozlehlá tělesa, vyjadřuje Descartovo tvrzení formu potenciálního nekonečna. Uvidíme, že moderní fyzika elementárních částic dochází k odlišným poznatkům, avšak rovněž předkládá rozumu jistá tvrzení o nemožnosti plně uchopit obraz světa, jaký mu předkládá.

Newton naproti tomu patřil mezi zastánce korpuskulární filozofie, stejně jako mnoho jeho současníků. Newton látku a prostor rozlišoval, jeho objekty byly umístěny v absolutním prostoru. Korpuskulární filozofie přisuzuje hmotě zrnitou strukturu. Newtonova přírodní filozofie proto předpokládá existenci malých pevných částic, což se projevilo např. v jeho teorii světla, podle které je světlo proudem částic v prostoru, jakousi hmotou v pohybu vyvrstvenou svítícím zdrojem. Atomismus se však dostal na vědeckou bázi až na prahu 19. století spolu s objevem J. Daltona.¹⁵²

¹⁵⁰ Principia II, 20, Podle vydání: Descartes, René. *Principy filosofie: výběr doplněný dvěma Descartovými dopisy princezně Alžbětě Falcké : bilingva*. 2. opr. vyd. Praha: Filosofía, 1998, s. 105.

¹⁵¹ Principia II, 35, stejné vydání, s. 121-123.

¹⁵² Dalton zjistil, že chemickým prvkům náleží stejné atomy, jež nelze měnit ani ničit, lze je pouze skládat do různých sloučenin. V roce 1897 však J. J. Thompson prokázal, že chemické dělení látky nedosahuje na její poslední nedělitelnou mez. Thompson při studiu elektrické vodivosti plynů prokázal existenci elektronu a tím i strukturovanost atomu. Thompsonův pudinkový model atomu byl brzy (roku 1911) nahrazen modelem planetárním, který již obsahoval jádro a obal. Objev elektronu odstartoval fyziku subatomárních částic.

Pátrání po posledních nedělitelných částicích hmoty obdrželo nový impuls spolu s převratnými objevy z počátku 20. století, díky kterým musely být staré korpuskulární představy přehodnoceny. Cesta do oblastí mikrosvěta dosáhla velkého úspěchu na počátku 70. let 20. století formulací tzv. standardního modelu částic a interakcí. Standardní model zatím zůstává nejobecnějším fyzikálním popisem světa kolem nás. Model je formulován jako relativistická kvantová teorie pole, která je konzistentní se speciální teorií relativity a kvantovou teorií. Není však popisem gravitačního působení, ten zatím zůstává v kompetenci obecné teorie relativity. Kvantová mechanika rozšířila klasickou mechaniku o atomární a subatomární úroveň, avšak objevy kvantové mechaniky se představám klasické fyziky rychle vzdálily.

Elementární částice kvantové fyziky dovedly ideu atomismu do zvláštní situace, neboť tyto částice při výzkumech vykazují vlnové charakteristiky. Korpuskulárně-vlnový charakter byl přisouzen nejen záření, ale i hmotě, což je základní předpoklad kvantové teorie hmoty.¹⁵³ Dnešní kvantová teorie pole tuto vlastnost přisuzuje nejen fotonům a elektronům, ale všem kvantovým balíčkům (např. kvarkům či gluonům).¹⁵⁴

Je možné, že moderní fyzika svými poznatky vyčerpala prastarou ideu atomismu.¹⁵⁵ Minimálně se ukázalo, že představa posledních nedělitelných částic hmoty naráží v určitých velikostech na závažné překážky, které znemožňují jejich lokalizaci a přesné vymezení.¹⁵⁶

Ve fyzice se objevila vlnová pravděpodobnost, což byl pojem zcela nový a neobvyklý. Pravděpodobností vlna objevila druh fyzikální reality, „*který je asi uprostřed mezi možnostmi a skutečností*“¹⁵⁷. Například elektrony se jistě nacházejí někde v elektronovém obalu atomu, ale na různých místech s různou pravděpodobností. Jakmile elektron registrujeme (to znamená, že předá část své energie hmotě detektoru užitého

¹⁵³ Když byla v roce 1930 zjištěna difrakce na krystalové mřížce pro héliové atomy a vodíkové molekuly, podivný dualismus se ukázal být skutečnou vlastností hmoty. Viz Eckertová, Ludmila. *Cesty poznávání ve fyzice*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2004, s. 94.

¹⁵⁴ Viz Dušek, Miloslav. *Koncepční otázky kvantové teorie*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2002, s. 42.

¹⁵⁵ Viz Havlík, Vladimír. Atomismus ve vědě. In Nosek, Jiří. *Milénium vědy a filosofie: sborník příspěvků*. Praha: Filosofie, 2002, s. 134.

¹⁵⁶ Z Heisenbergovy relace neurčitosti vyplývá, že v mikrosvětě existují dvojice veličin, u nichž není možné současně naměřit naprosto přesnou hodnotu. Přesně zjistíme buď jedno, nebo druhé. V případě fotonu můžeme přesně zjistit frekvenci (a tím i energii a hybnost), ale nezjistíme polohu. V případě elektronu je situace stejná, zjistíme energii a hybnost, ale nikoli polohu. Zjistíme-li naopak polohu (při dopadu elektronu na fluorescenční stínítko), není možné změřit energii a hybnost.

¹⁵⁷ Heisenberg, Werner. *Fyzika a filosofie*. 2., přehlednuté vyd. Praha: Aurora, 2000, s. 17.

v experimentu), projevuje se jako částice. Místo, na které elektron s příslušnou pravděpodobností dopadne, je však určeno vlnovou funkcí.¹⁵⁸

Všimněme si nyní, jaký požadavek na nás klade Bohrov princip komplementarity. Vyžaduje, abychom částicový i vlnový popis považovali za popis téže reality. Měli bychom přijmout, že světlo je jak proudem částic, tak vlněním. Stručně řečeno dochází k tomu, že bychom se měli vzdát požadavku zdravého rozumu na uniformní povahu kosmické látky na subatomární úrovni, nebo zvážit nedostatečnost rozumu v oblastech mikrosvěta. Standardní interpretace tak v určitých měřítkách předpokládá *zvláštní druh reality*.¹⁵⁹ Descartes nad představou nekonečného dělení látky konstatuje omezenost rozumu. Moderní fyzika nám předkládá bizarní svět elementárních částic, přičemž její vzdorování logice a zdravému rozumu vysvětluje odlišností fyziky subatomárního světa a makrosvěta. Descartes i fyzika elementárních částic nám předkládají limity v poznání struktury látky, avšak v zásadním bodě nemůže dát fyzika Descartovi za pravdu: látka není nekonečně dělitelná.

Rozlehlost je v Descartově pojetí určena třemi rozměry, které nutně náležejí sebemenší částici látky, nehledě na to, že ji budeme dělit do nekonečna. Ve fyzice elementárních částic se však vyskytují objekty, kterým takovou charakteristiku přidělit nelze. Bylo již řečeno, že teoretickým základem standardního modelu je kvantová teorie pole. Částice se zde vyskytují jako kvanta energie příslušného pole a jejich lokalizace je pouze přibližná: „*Obrazně lze říci, že v kvantové teorii pole jsou částice rozpuštěny do vlnových balíčků.*“¹⁶⁰ V oblasti mikrosvěta tedy nelze identifikovat částici látky v Descartově smyslu, kterou bychom mohli dále dělit. Částici lze považovat spíše za nestálého, pomíjivého, vzájemně přeměnitelného nositele energie, náboje, spinu či jiných vlastností pole.¹⁶¹ Takové částici nemůžeme přidělit jednoznačné rozměry nebo přesně určit její polohu.

Rozlehlost, kterou Descartes určil za esenci hmoty, se v kontextu moderní fyziky ukazuje být smysluplná pouze v omezeném měřítku. Samotná možnost dělení látky je zde omezena rovněž.

¹⁵⁸ Viz Eckertová, Ludmila. *Cesty poznávání ve fyzice*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2004, s. 98.

¹⁵⁹ Viz Heisenberg, Werner. *Fyzika a filosofie*. 2., přehlednuté vyd. Praha: Aurora, 2000, s. 25.

¹⁶⁰ Hinterleitner, Franz. Kvantová gravitace, kvantový prostor. *Věsmír* [online]. 1998, vol. 77, no. 10, s. 547.

¹⁶¹ Viz tamtéž, s. 547.

Takovou limitou je v současnosti tzv. Planckova délka¹⁶². Současná fyzika považuje Planckovu délku za nejkratší dosažitelnou vzdálenost, o které se můžeme cokoliv dozvědět. V souvislosti s hledáním kvantové teorie gravitace došlo k zajímavému objevu.¹⁶³ Podařilo se zkonstruovat kvantový operátor objemu a obsahu. Z výsledků vyplývá, že hodnoty obsahu a objemu jsou v měřítku Planckovy délky diskrétní. Objevuje se tak kvantování samotného prostoru (o třech rozměrech) a je zde definován nejmenší možný prostorový interval, za který již nelze dále jít.

Podobný krok směrem k diskontinuitě prostoru provedl již Heisenberg, když navrhl zavést pojem nejmenší délky (jednalo se opět o „kvantum délky“) při řešení problémů s kvantovou elektrodynamikou. H. Margenau tuto jednotku nazval „hodon“, podle řeckého slova „hodos“ (cesta).¹⁶⁴

Na základě výše uvedeného můžeme vyslovit tvrzení o přítomnosti diskrétního pojetí prostoru v moderní fyzice.

Vraťme se však k otázce existence vakua. Jakkoli se Descartova fyzika od moderní liší, závěr ohledně existence vakua se shoduje: vakuum není možné. Vakuum je běžným fyzikálním pojmem a objevuje se v několika významech. Nás však zajímá pouze tzv. vakuum dokonalé, které je definováno absencí nejen částic hmoty (např. skladební částice atomu), ale také veškerého záření (např. fotony). V kvantové fyzice tedy absence pouze hmotných částic není dokonalým vakuem:

„I kdyby se nám však podařilo sestrojiti tak dokonalé zařízení, které by odstranilo všechny molekuly, atomy, ionty i elektrony, nezůstal by odčerpáný prostor prázdný. Byl by vyplněn fotony, ať už fotony reliktního záření či těmi, které byly vyzářeny hvězdami a dalšími astrofyzikálními objekty.“¹⁶⁵

„Vakuum“ bez jediné hmotné částice je potom komplikovanou entitou, ve které probíhá mnoho procesů – tvoří se páry částic a antičástic, objevuje se kvantově-mechanická

¹⁶² Planckova délka je přibližně $1,6 \times 10^{-35}$ metru.

¹⁶³ Viz Hinterleitner, Franz. Kvantová gravitace, kvantový prostor. *Vesmír* [online]. 1998, vol. 77, no. 10, s. 548.

¹⁶⁴ Viz Jammer, Max. *Concepts of space*. Massachusetts: Harvard University Press, 1954, s. 184.

¹⁶⁵ Wagner, Vladimír. *Vakuum ve skutečnosti prázdnota není aneb kouzla kvantové fyziky*. [online]. [vid. 10. 11. 2013].

fluktuaace a další. Takové vakuum je potom „*netriviální, dynamické a plné částic*“¹⁶⁶. Rovnice kvantové mechaniky nám přímo zakazují prázdnotu. Abychom v určité oblasti shledali existenci absolutního vakua, muselo by zde například být i elektrické pole o nulové hodnotě. Heisenbergova relace neurčitosti však zakazuje veličinám nulovou hodnotu. Průměrná hodnota elektrického pole může být nulová, ale střední kvadratická fluktuaace bude vždy nenulová. Existence nulových hodnot se jeví v kvantové mechanice jako nesmyslná a z toho důvodu je nesmyslná i existence absolutního vakua.¹⁶⁷

Nemožnost existence vakua v moderní fyzice je přímo spojena s její fundamentální základnou, kterou je kvantová fyzika. Přestože Descartovu rozlehlost nelze aplikovat na objekty mikrosvěta dnešní fyziky, docházíme v otázce existence prázdného prostoru ke stejné odpovědi. Na Descartově straně figuruje *contradictio in adiecto*, kde představa prázdna ztělesňuje logický spor, neboť dvě tělesa nemůže oddělovat pouhé *nic* a mezera musí být vyplněna něčím – hmotnou substancí. Na straně moderní fyziky a kosmologie je to kvantová fyzika s tvrzením, že ani zdánlivě prázdňý prostor mezi subatomárními částicemi v atomu, ani nesmírně pusté oblasti mezi galaktickými ostrovy, nelze považovat za vakuum.

¹⁶⁶ Kulhánek, Petr. *Vakuum současnosti. Od Torricelliho po hledání axionů*. [online]. Audiovizuální záznam přednášky. Fyzikální čtvrtky. Audiovizuální centrum Silicon Hill, 2006.

¹⁶⁷ Viz tamtéž.

3.6. JE PROSTOROČAS ZVLÁŠTNÍ ENTITOU?

O tom, že ve fyzice elementárních částic je popřena existence vakua, jsme se již přesvědčili. Jestliže však neexistuje prázdný prostor, zůstává pouze materiální struktura, látka a energie. Co tedy prostoročas vůbec je? Descartes tvrdil, že prostor je totožný s materiální strukturou a ponechal by prostoru specifickou formu existence. Jeho prostor stále entitou je. Leibniz by oponoval a tvrdil by, že prostorové vztahy jsou pouze abstraktním řádem, který mezi tělesy spatřujeme. Se substančním pojetím by nesouhlasil. Einstein popíral představu absolutního prostoru ve smyslu zvláštní nezávislé entity a opakovaně dával za pravdu Descartovi i Leibnizovi. Jak tedy máme prostoročasu rozumět?

Podle Einsteina vyplývá neexistence prázdného prostoru přímo z jeho gravitačních rovnic. Vakuum, o kterém Einstein v této souvislosti hovořil, nebylo vakuem fyziky kvantového mikrosvěta, nýbrž prázdňem z pohledu obecné teorie relativity. Podmínkou ovšem je, že nesmíme spatřovat fyzikální realitu pouze ve vážitelných tělesech:

„Je třeba myšlenky pole jako reprezentanta reality v kombinaci s obecným principem relativity, aby se vyjevilo právě jádro Descartovy ideje; neexistuje „poleprázdný“ prostor.“¹⁶⁸

Nejdůležitější role v otázce podstaty prostoročasu náleží polnímu popisu gravitace v Einsteinových rovnicích. Gravitační pole, které se projevuje dynamicky ohýbáním a zakřivením, ztělesňuje sám prostoročas.¹⁶⁹ Zrychlení v prostoročasu obecné relativity není vztahováno k hmotným tělesům, ale vůči gravitačnímu poli. Einstein tak pracuje s jiným „reprezentantem reality“, než jsou vážitelná tělesa. Každé gravitační pole pak může být popsáno skrze řešení gravitačních rovnic.

Příslušná gravitační rovnice (funkce) nepopisuje pouze samotné gravitační pole, ale i metrické a topologické vlastnosti variety. Pokud bychom odstranili gravitační pole, nezůstane vůbec nic, dokonce ani čistě topologický prostor. Podle Einsteina neexistuje prostor bez pole: *„(...) na základě obecné teorie relativity neexistuje samostatně prostor*

¹⁶⁸ Einstein, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, s. 202

¹⁶⁹ Viz Greene, Brian. *Struktura vesmíru: čas, prostor a povaha reality*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2006, s. 73.

jako protějšek toho, „co zaplňuje prostor“ a je závislé na souřadnicích.¹⁷⁰ Explicitně se vyjádřil takto: „Prostoročas nemá nárok na vlastní existenci, ale je pouze strukturální vlastností pole.“¹⁷¹

Einstein totiž pohlížel na fyzikální realitu obecně jako na čtyřrozměrné pole:

„Under the influence of the ideas of Farady and Maxwell the notion developed that the whole of physical reality could perhaps be represented as a field whose components depend on four space-time parametres.“¹⁷²

Když se Einstein vyjádřil v tom smyslu, že obecná teorie relativity dává v pojetí prostoru za pravdu Descartovi (i když oklikou), měl na mysli pravděpodobně nemožnost prostoru bez pole. Kde Descartes neviděl prázdný prostor, ale jiné těleso, tam Einstein viděl gravitační pole.

Víme tedy, že prostoročas není nezávislým pozadím přírodního dění, ale o jeho existenci má smysl hovořit až s existencí pole. Jinak řečeno: kde neexistuje gravitační pole, tam neexistuje prostoročas. Gravitační pole je zase závislé na existenci materiální struktury. Pokud je gravitační pole (zakřivený prostoročas) neoddělitelné od hmotných těles a zdá se být přímo jejich integrální součástí, potom bychom mohli konstatovat velmi silnou podobnost Einsteinova a Descartova pojetí.

Einstein nenechává prostoru existenci nezávislou na moderním zástupci materiální struktury (poli), ale zároveň svazuje prostoročas s gravitačním polem tak silně, že splývají v jedno. Prostoročas sice není zvláštní entitou odlišnou od materiální struktury, ale zdá se, že entitou stále je. V tomto bodě odporuje Leibnizovu relačnímu pojetí. Když tedy dává zapravdu Leibnizovi, má na mysli jeho kritické stanovisko k absolutnímu prostoru ve smyslu zvláštní entity nezávislé na tělesech, nikoli jeho pojetí prostoru jako čistě abstraktnímu řádu koexistence věcí.

Tento Einsteinův pohled na prostoročas není definitivní tečkou v otázce jeho skutečné povahy. Ve skutečnosti je tento problém živě diskutován v oblasti filozofie fyziky a filozofie prostoru a času. Objevují se koncepce, které hledají cestu jak zbavit obecnou

¹⁷⁰ Einstein, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, s. 202.

¹⁷¹ Tamtéž, s. 202.

¹⁷² Einstein, Albert. Foreword by Albert Einstein. In Jammer, Max. *Concepts of space*. Massachusetts: Harvard University Press, 1954. s. xvi.

relativitu substančního pojetí prostoročasu a nalézt cestu k plně relačnímu pojetí pohybu. Pro náš účel si vystačíme s poznatkem, že v Einsteinově pojetí je prostoročas implicitně pojímán substančně.

Současná teoretická fyzika se k podstatě prostoročasu vyjadřuje rovněž. V souvislosti s rozmachem jednotících teorií se ukazuje, že einsteinovský čtyřrozměrný prostoročas patří do staré školy, a že není dostatečně „prostorný“. Pokud by byl objeven dostatek pádných argumentů pro jedenácti-rozměrnou M-teorii, zvítězila by supersymetrie nad obyčejným prostoročasem a ten by zaujal místo v historii vědy mezi ostatními představami, které neodrážely skutečnou povahu kosmu (a které byly pouze součástí užitečné dohody ve smyslu Poincarého konvencionalismu). Například v M-teorii by naše tři prostorové rozměry tvořily trojbránu uvnitř vícedimenzionálního kosmu.¹⁷³ B. Green otázku skutečné povahy prostoročasu provází optimistickou vírou, že konečnou odpověď by mohlo přinést experimentálně ověřené spojení obecné relativity s kvantovou mechanikou, pravděpodobně ve formě nové strunové teorie, kde by struny, brány, smyčky a jiné splynuly a vytvořily prostoročas. Avšak tyto entity by již nebyly závislé na žádném pozadí. Byla by to teorie „fundamentálně relacjonistická, bezprostorová a bezčasová“¹⁷⁴. Skutečná povaha prostoru a času stále zůstává pro fyziku problémem, jak podotýká významná teoretička extradimenzí L. Randallová¹⁷⁵, a podobně jako Green očekává novou teorii prostoročasu.

¹⁷³ Viz Greene, Brian. *Struktura vesmíru: čas, prostor a povaha reality*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2006, s. 349.

¹⁷⁴ Viz tamtéž, s. 415.

¹⁷⁵ Viz Randall, Lisa. *Tajemství skrytých dimenzí vesmíru: pokřivené průchody*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2011, s. 418.

3.7. SKRYTÉ ROZMĚRY A SVĚTY

„A ovšem, i kdyby bylo světů nekonečné množství, musely by se všechny skládat z jedné a téže látky. Proto ani nemohou být mnohé, ale pouze jeden. Zřetelně totiž chápeme, že ona látka, jejíž přirozenost spočívá pouze v tom, že je rozlehlou substancí, zcela zabírá všechny představitelné prostory, ve kterých by musely být ony jiné světy.“¹⁷⁶

„Svět“ chápe Descartes jako „souhrn tělesné substance“¹⁷⁷. Zároveň tento souhrn postrádá hranice, protože za každou takovou hranicí bychom mohli myslet další nekonečné prostory vyplněné tělesnou substancí. Jiné světy nemohou být, protože Descartes nenechává žádné místo, kde by se mohly skrýt. Pokud prostoru nepřisoudíme žádné hranice, logicky musí zabírat všechny představitelné prostory. Představitelný prostor je však v Descartově pojetí (ale i Newtonově a Leibnizově) pouze eukleidovský prostor. V moderní kosmologii však existují prostory, které si Descartes představit nedokázal. Díky neeukleidovským geometriím se ve fyzice a kosmologii objevily hypotézy, ve kterých je vesmír se třemi prostorovými rozměry pouze zlomkem skutečného obsahu kosmu.

Pokud by neeukleidovské geometrie s více rozměry zůstaly v pracovních matematiků, nebyly by pro nás více než matematickou kuriozitou a v otázce proměny pojmání prostoru v moderní fyzice a kosmologii by nebylo nutné jim věnovat pozornost. Popularita např. strunových teorií však ukazuje, že by bylo chybou toto téma opomenout. Lidská schopnost vizualizace na dodatečné dimenze samozřejmě nestačí, vše co máme k dispozici je matematický aparát, zjednodušené ilustrace a prozatím slabé spojení s experimenty. Strunoví teoretici nám nicméně tvrdí, že se před našimi zraky otevírá jen nepatrná část reality. Skutečná podstata vesmíru, včetně jeho přírodních zákonitostí, se pak nachází v jeho neviditelných prostorových dimenzích. Postulování dodatečných prostorových rozměrů vesmíru je v podstatě rozvíjením kvalitativních vlastností prostoru neeukleidovských geometrií ve fyzice, jak to provedl již Einstein.

¹⁷⁶ Descartes, René. *Principia*, II, 22. Podle vydání: Descartes, René. *Principy filosofie: výbor doplněný dvěma Descartovými dopisy princezně Alžbětě Falcké : bilingva*. 2. opr. vyd. Praha: Filosofia, 1998, s. 107.

¹⁷⁷ Viz *Principia*, II, 21, stejné vydání, s. 105.

Karteziánskému pojetí kosmického prostoru může moderní kosmologie vytknout opomíjení neviditelných dodatečných rozměrů a ukázat, že existuje „dost místa“ na jiné světy. V souvislosti s kvantovou fyzikou se navíc objevila koncepce, která rozšiřuje prostorové vlastnosti vesmíru kvantitativně (metricky), a to dokonce bez ohledu na to, jaké topologické vlastnosti prostoru přisoudíme. Mnohasvětová interpretace kvantové mechaniky postuluje existenci paralelních světů, přičemž každý z těchto světů musí mít „svůj prostor“. I kdybychom byli přesvědčeni, že prostoročas našeho vesmíru je metricky neomezený, existence paralelního vesmíru nutně přidává k tomuto nekonečnu další kvantitu. Pokud chceme uvažovat o prostoru jako celku, moderní kosmologie nám ukazuje nedokonalost intuitivního nazírání prostoru (existují skryté dimenze i celé světy) i nedostatečnost pojetí, ve kterém je kosmický prostor ztotožněn s eukleidovským prostorem. Paralelní vesmíry se objevují v celé řadě kosmologických koncepcí. Např. extradimenze strunových teorií jsou dále součástí kosmologických úvah o paralelních vesmírech. M-teorie poskytuje scénář k „bránovému“ multivesmíru (ekpyrotický model vzniku vesmíru). Jiný multivesmír se objevuje v kombinaci strunové teorie a inflačního rozpínání vesmíru.¹⁷⁸ My se však budeme věnovat mnohasvětové interpretaci kvantové mechaniky, neboť nám dovolí hovořit o paralelních světech nezávisle na jiných kosmologických koncepcích.

¹⁷⁸ Viz Greene, Brian. *Skrytá realita: paralelní vesmíry a hluboké zákony kosmu*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2012, s. 290.

3.7.1. Vícerozměrný prostor

„Fyzikové na celém světě, včetně několika nositelů Nobelovy ceny, začínají připouštět, že vesmír snad ve skutečnosti existuje ve vícerozměrném prostoru. Jestliže se tato teorie potvrdí, způsobí hlubokou koncepční a filozofickou revoluci v našem chápání vesmíru.“

Michio Kaku: Hyperprostor¹⁷⁹

Podle eukleidovské geometrie byly postaveny nejkrásnější katedrály a vůbec všechny nejnáročnější stavby všech architektonických stylů. Vše nasvědčovalo tomu, že kosmos má tři rozměry. Každé těleso má pouze výšku, šířku a délku, jak si všiml již Aristotelés. Ptolemaios z Alexandrie dokonce podal geometrický důkaz nemožnosti čtvrtého prostorového rozměru – nelze sestrojít čtyři navzájem kolmé přímky.¹⁸⁰ Jako kdyby Eukleidés pouze popsal axiomy, podle kterých byl kosmos stvořen. Takovou důvěru bychom našli i u Newtona. Kant byl velkým obdivovatelem jeho práce. Podle Newtona slábne gravitační síla s druhou mocninou vzdálenosti a Kant si uvědomil, jak klíčovým je pro tuto rovnici trojrozměrný prostor. Pokud by se totiž fyzikální skutečnost odehrávala ve čtyřech prostorových rozměrech, gravitace by ubývala se třetí mocninou. To Kantovi stačilo jako důkaz trojrozměrnosti prostoru.¹⁸¹ S důkazy tohoto typu se setkáváme i dnes.¹⁸²

O počtu prostorových rozměrů umožnila pochybovat až neeukleidovská geometrie. Riemannova geometrie dovoluje zobecňovat její věty na n -rozměrné objekty.¹⁸³ Tyto objekty jsou pro naši představivost nedostupné, avšak z hlediska matematiky není práce s n -rozměrným prostorem náročnější než s trojrozměrným. Minkowski použil čtvrtý

¹⁷⁹ Kaku, Michio. *Hyperprostor: vědecká odysea paralelními vesmíry, zakřiveným prostorem a desátým rozměrem*. 1. vyd. v českém jazyce. Praha: Argo, 2008.

¹⁸⁰ Viz tamtéž s. 46.

¹⁸¹ Viz Barrow, John D. *Konstanty přírody: čísla skrývající nejhlubší tajemství vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2005, s. 176-177.

¹⁸² B. Velický dokazuje trojrozměrnost prostoru nejen prostřednictvím ověřených fyzikálních faktů (např. trajektorie planet okolo Slunce), ale i pomocí antropického principu. Viz Velický, Bedřich. *Role prostorové dimenze ve fyzice (Proč je prostor trojrozměrný)*. In Ajvaz, Michal, Ivan M. Havel a Monika Mitášová. *Prostor a jeho člověk*. Praha: Vesmír, 2004, s. 9-34.

¹⁸³ Viz Kaku, Michio. *Hyperprostor: vědecká odysea paralelními vesmíry, zakřiveným prostorem a desátým rozměrem*. 1. vyd. v českém jazyce. Praha: Argo, 2008, s. 49.

rozměr jako časový vektor. Právě „čtvrtý rozměr“ (prostorový) byl tehdy pojmem obecně známým.¹⁸⁴ Neviditelný dodatečný rozměr pronikl dokonce na uměleckou půdu.¹⁸⁵

Vědecký výzkum světa s dodatečnými rozměry začíná s prací T. Kaluzy. Jeho čtvrtý prostorový rozměr byl součástí fyzikální teorie pole. V podstatě se jednalo o pětirozměrnou (čtyři prostorové a jeden časový) verzi obecné relativity.¹⁸⁶ Síla Kaluzovy myšlenky spočívala v tom, že na geometrickém základě umožňovala sjednotit elektromagnetismus a gravitaci. Právě sjednocení dvou oddělených deskripcí přírodních zákonitostí bylo Kaluzovým záměrem. Čtvrtý prostorový rozměr se ve fyzice objevuje jako matematický trik, za účelem sjednocení základních fyzikálních zákonů.¹⁸⁷ Čtvrtý rozměr se navíc od ostatních lišil a Kaluza nepodal konkrétní vysvětlení, proč tomu tak je. V pětirozměrném prostoročasu měl přidáný rozměr kruhovou povahu. Podobně jako pohyb po válci nás vracel do výchozího bodu. Topologicky by byl tento rozměr totožný s válcovou plochou. Pokud by náš svět obsahoval skutečně další prostorový rozměr, bylo by nezbytné vysvětlit jeho neviditelnost a z matematické abstrakce učinit hmatatelnější objekt podléhající experimentálnímu ověřování. Kaluza však oblast matematiky nepřekročil.

Ke konci 20. let se ke čtvrtému rozměru dopracoval fyzik O. Klein. Jeho motivací nebyl ani tak problém sjednocení, jako snaha o vysvětlení bizarního obrazu světa v kvantové mechanice. Klein doufal, že jevy jako princip neurčitosti, korpuskulárně-vlnový dualismus a pravděpodobností popis, by mohly být vysvětleny pomocí existence dalšího rozměru. O jeho existenci uvažoval více fyzikálně než Kaluza, ačkoli vyvinul stejný matematický aparát.

¹⁸⁴ Viz Davies, Paul. *O čase: Einsteinova nedokončená revoluce*. Vyd. 1. Bratislava: Motýl, 1999, s. 89.

¹⁸⁵ Odkazy na čtvrtý rozměr nalezneme v díle O. Wildea, F. M. Dostojevského, M. Prousta a H. G. Wellse. Viz Kaku, Michio. *Hyperprostor: vědecká odysea paralelními vesmíry, zakřiveným prostorem a desátým rozměrem*. 1. vyd. v českém jazyce. Praha: Argo, 2008, s. 35. Se čtvrtou dimenzí pracovali také kubisté – např. M. Duchamp (Nahá žena sestupující po schodišti) nebo P. Picasso (Portrét Dory Maarové). Viz Barrow, John D. *Konstanty přírody: čísla skrývající nejhlubší tajemství vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2005, s. 183-184.

¹⁸⁶ Viz Krauss, Lawrence Maxwell. *Skryté za zrcadlem: pátrání po extradimenzech - od Platona ke strunové teorii a ještě dále*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2011, s. 105.

¹⁸⁷ Ve skutečnosti sloužil nový prostorový rozměr v Kaluzově formalismu pouze k tomu, aby umožnil toto spojení, sám o sobě neměl vliv na žádné fyzikální veličiny. Viz Krauss, Lawrence Maxwell. *Skryté za zrcadlem: pátrání po extradimenzech - od Platona ke strunové teorii a ještě dále*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2011, s. 108.

Při výzkumu mikrosvěta musíme mít na paměti, že vlnová délka částic, pomocí nichž experiment provádíme, musí být menší než studované objekty, jinak se nám nepodaří objekt zobrazit. Neviditelnost přidané dimenze by tedy mohla být vysvětlena tak, že by její poloměr (válcové plochy) byl příliš malý na to, aby se dal detekovat. Takovým rozměrem je Planckova délka, která je i dnes považována za nejkratší dosažitelnou vzdálenost, o které se můžeme něco dozvědět. Klein tedy uschoval předpokládanou extradimenzi za hranice jakéhokoli experimentu. Kaluza-Kleinova teorie, jak byla koncepce později nazvána, nebyla dále rozvíjena, neboť současně rozvíjená kvantová mechanika dosáhla úspěchu v podobě formálních řešení, jež byla v souladu s prováděnými experimenty.

Návrat k myšlence dodatečných dimenzí nastal po třech desetiletích s rozvojem teorie strun. V roce 1968 objevil kvantový fyzik G. Veneziano souvislost mezi starým Eulerovým vzorcem a výsledky srážek částic v urychlovači. Neměl však k vysvětlení žádnou fyzikální představu. Návrh se objevil po dvou letech. Vzorec měl popisovat silnou interakci mezi částicemi, přičemž vyžadoval jednorozměrná vlákna, která by danou sílu vyvolávala.¹⁸⁸ Vláknum se brzy začalo říkat struny. Aby však struny dokázaly vysvětlit silnou interakci, bylo nutné zavést dodatečné dimenze. Rovnice by pak popisovala prostoročas o 26 rozměrech. Nové a přesnější údaje o silné jaderné síle však prokázaly její neschopnost predikce experimentálních výsledků. Navíc zde byla přesvědčivá kvantová teorie (chromodynamika) s bodovými částicemi a poli.

Na konci sedmdesátých let byl již k dispozici matematický formalismus popisující tři ze čtyř základních interakcí. Úspěchy předcházejících let živily naději v jejich konečné sjednocení s gravitací a znovu se do popředí zájmu dostalo sjednocení fyzikálních teorií pomocí neviditelných prostorových rozměrů. Roku 1984 dochází k tzv. první strunové revoluci. Její příčinou bylo vyřešení předchozích matematických nekonzistencí. V jejím jádru stály opět jednorozměrné struny, ze kterých se skládají i elementární částice. Nová superstrunová teorie obsahovala deset rozměrů (někteří vyžadovali rozměrů 26). Teprve E. Witten předložil vysvětlení, proč nejsou všechny prostorové rozměry viditelné. Podobně jako kdysi Kaluza tyto neviditelné dimenze „kompaktifikoval“ do nesmírně

¹⁸⁸ Viz Greene, Brian. *Struktura vesmíru: čas, prostor a povaha reality*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2006, s. 291.

malého objektu, v jeho podání do šestirozměrného kuličky.¹⁸⁹ Teorie získala velký ohlas díky tomu, že byla konečná, bezrozporná a slibovala kontakt s realitou prostřednictvím získání spekter elementárních částic. V roce 1995 se objevila strunová teorie s jedenácti rozměry. Vychází z předpokladu, že dosavadní strunové teorie (celkem pět) jsou aspekty vyšší „metateorie“. Ke strunám zavádí další fundamentální objekty – (mem)brány. Ty mohou být popsány různým počtem rozměrů.¹⁹⁰

Spolu s nadějemi vkládanými do strunových teorií přežívá idea vícerozměrného vesmíru, a to nikoli na bázi spiritualismu, mystiky nebo filozofických spekulací, nýbrž v oblasti vědy. Strunové teorie odrážejí populární myšlenku sjednocení fyzikálních teorií, jako je obecná relativita a kvantová mechanika, dále poskytují naději k jednotnému popisu známých interakcí, vyhlazení singularit a popisu entropie černých děr.¹⁹¹

Hledání a nacházení dalších prostorových rozměrů nemá v dějinách obdoby. Pokud si odmyslíme matematický aparát, mohli bychom představu vícerozměrného světa přirovnat k situaci v Platónovu podobenství o jeskyni. Pravá, vícerozměrná skutečnost teoretiků moderní kosmologie, ve které je náš svět pouhou špičkou ledovce, se v ledasčem podobá Platónovu světu idejí. Snad nejpozoruhodnějším prvkem moderní kosmologie je formování nejrůznějších modelů vícerozměrného vesmíru, prostorů skrytých před našimi smysly a zároveň tvořících nejvlastnější skutečnost.

3.7.2. Nové vesmíry

Úsilí o konzistentní vysvětlení měření v kvantové mechanice a vůbec pochopení redukce vlnové funkce vedlo k formulaci tzv. mnohasvětové interpretace. Její podstata je poměrně známá a často se s ní můžeme setkat v populárních pojednáních o důsledcích bizarního světa kvantové fyziky. V této interpretaci, jednoduše řečeno,

¹⁸⁹ Viz Krauss, Lawrence Maxwell. *Skryté za zrcadlem: pátrání po extradimenzích - od Platona ke strunové teorii a ještě dále*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2011, s. 203.

¹⁹⁰ Jednorozměrná brána vypadá jako struna, dvourozměrná jako membrána, trojrozměrná odpovídá prostoru naší intuice. Teorie samozřejmě obsahuje i vícerozměrné brány.

¹⁹¹ Viz Greene, Brian. *Skrytá realita: paralelní vesmíry a hluboké zákony kosmu*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2012, s. 99-101.

dochází k neustálému „štěpení“ vesmíru do mnoha jeho kopií, ve kterých se realizují všechny možné výsledky každého kvantového procesu. Objevuje se tak představa „multivesmíru“, který je nespočetně větším celkem, než vesmír, o jakém jsme uvažovali doposud. Mnohasvětová interpretace vyrostla z úsilí kosmologů, který se snažili skloubit kvantovou mechaniku s obecnou teorií relativity. Motivací byla také otázka po kvantovém stavu celého vesmíru.¹⁹² V současnosti jsou jejími zastánci většinou badatelé v oblasti kvantové kosmologie.¹⁹³ Některé problémy inflační kosmologie jsou dokonce konzistentní pouze s mnohasvětovou interpretací.¹⁹⁴ Mezi její zastánce se hlásí i věhlasní fyzikové jako S. Hawking a D. Deutsch.

Na počátku stála doktorská práce H. Everetta z konce padesátých let. Vedoucím práce byl významný fyzik J. Wheeler, který spolupracoval např. s Bohrem a Einsteinem. Wheeler dokázal ocenit originální myšlenku, ačkoli vlastní Everretova práce nebyla příliš srozumitelná. Na více než deset let však myšlenka zapadla. Wheelerův kolega, B. DeWitt, pochopil význam nové interpretace a myšlenku dostal do širšího povědomí roku 1970 prostřednictvím článku v odborném časopisu. Tehdy se jednalo o první novou interpretaci za poslední dekády. Výklad byl přímo „anti-kodaňský“, jak vysvětlil DeWitt v rozhovoru¹⁹⁵ roku 1995.

Ve standardní kodaňské interpretaci se nachází problematický bod, kterým je kolaps vlnové funkce.

Před okamžikem měření v kvantové mechanice se objekty nacházejí ve stavu superpozice¹⁹⁶, který se skládá z celkového množství možných stavů a jeho další vývoj je určen pouze pravděpodobnostmi. Jakmile provedeme měření, dojde dle tradiční kodaňské interpretace k realizaci pouze jednoho z možných výsledků. Neznámým způsobem proběhne redukce všech možných stavů na jediný pozorovaný výsledek. V jádru měření se tedy nachází záhadný proces kolapsu vlnové funkce. Everretova

¹⁹² Viz Polkinghorne, John. *Kvantový svět*. Vyd. 1. Praha: Aurora, 2000, s. 111.

¹⁹³ Viz Vilenkin, Alex. *Mnoho světů v jednom: pátrání po dalších vesmírech*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2008, s. 113.

¹⁹⁴ Viz tamtéž, s. 179.

¹⁹⁵ Ford, Kenneth. Interview with Drs. Bryce DeWitt & Cecile DeWitt-Morette. At The University of Texas at Austin. February 28, 1995. *The Niels Bohr Library & Archives* [online].

¹⁹⁶ Stav kvantového objektu nelze určit definitivně jako v klasické fyzice u makroskopických objektů. Superpozice kvantového objektu je: „Princip kvantové mechaniky, který umožňuje vytvářet stavy systému superpozicí čili skládáním dalších stavů. Takové kombinace je třeba interpretovat pravděpodobnostním způsobem, takže pro stav vytvořený superpozicí platí určité pravděpodobnosti, že bude projevoval vlastnosti stavů, z nichž je složen.“ Polkinghorne, John. *Kvantový svět*. Vyd. 1. Praha: Aurora, 2000, s. 155.

interpretace se bez tohoto předpokladu dokáže obejít a přitom podává stejné výsledky, jako interpretace kodaňská.¹⁹⁷ Záhadu vlnového kolapsu řeší tvrzením, že k žádnému kolapsu vlastně nedochází. Originalita Everettova a později DeWittova výkladu spočívá v tom, že jsou ve skutečnosti realizovány všechny možné výsledky (všechny s nenulovou pravděpodobností), avšak každý z nich se odehraje v jiné kopii vesmíru.¹⁹⁸

V původním Everretově výkladu hraje důležitou roli pozorovatel, jenž je definován sekvencí paměťových záznamů. Každé měření potom větvi pozorovatele na dvě různé individuality, které o sobě nevědí. DeWitt se pokusil koncepci zbavit subjektivity a větvení způsobené měřením interpretoval existencí alternativních světů. Tyto světy pak vykazují vlastnosti, které ve světě očekávala klasická fyzika a odpůrci Bohrova přístupu.¹⁹⁹ Dá se říci, že mnohasvětová interpretace zbavuje vesmír bizarních kvantových jevů (dráhy částic lze jednoznačně určit, částice neskáčou na určitou pozici v okamžiku měření apod.).²⁰⁰ Vesmír se neustále větví a tento proces je ve skutečnosti deterministický. My pouze nevíme, která z větví je větví naší empirické zkušenosti a proto se výsledky jeví nahodilé a dokážeme je popsat pouze pravděpodobností.

Přestože se každý z nás neustále „štěpí“ na vlastní dvojníky, nemáme o jejich existenci nejmenší ponětí. Naše světy jsou separované a nemůžou mezi sebou komunikovat. Samotné „dělení“ světů je možné přiblížit pomocí tzv. dekoherence, což je jev, ve kterém se pravděpodobnostní vlny od sebe vzdálí, neinterferují a nejsou schopny se ovlivňovat. Jakmile dekoherence nastane, nedochází k míchání jejich možných konečných stavů a stávají se pro sebe neviditelné. Každá z vln začne žít vlastním životem.²⁰¹ Tento jev nastane, zapojí-li se do pozorování velké množství částic, které je vlastní našemu makrosvětu. Spouštěcí mechanismus „rozdělení“ světa v našem měření kvantových jevů je spatřován v nevratných termodynamických procesech. Tím je v podstatě každé měření.²⁰² Nicméně očekávat nějakou událost provázející „dělení“ světa by bylo zavádějící, stejně jako by byla představa mechanického rozdvojení

¹⁹⁷ Viz Dušek, Miloslav. *Koncepční otázky kvantové teorie*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2002, s. 89.

¹⁹⁸ Viz Hey, Tony, Walters, Patrick. *Nový kvantový vesmír*. 1. vyd. Praha: Argo, 2005, s. 212.

¹⁹⁹ Známy myšlenkový experiment „Schrödingerova kočka“ lze potom vysvětlit tak, že po otevření krabice pouze zjistíme, zda žijeme ve vesmíru, ve kterém je kočka živá, nebo ve vesmíru, ve kterém kočka pokus nepřežila.

²⁰⁰ Viz Dušek, Miloslav. *Koncepční otázky kvantové teorie*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2002, s. 89.

²⁰¹ Viz Greene, Brian. *Skrytá realita: paralelní vesmíry a hluboké zákony kosmu*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2012, s. 209-210.

²⁰² Viz Price, Michael. *The Everett FAQ* [online]. c1995. [vid. 2012-05-01].

vesmíru, proto jsem v přecházejících větách využíval větší množství uvozovek. Dekoherece má zde uplatnění pouze v otázce přechodu od podivného mikrosvěta ke světu naší zkušenosti. Ve skutečnosti existují všechny paralelní vesmíry, které odpovídají všem možným výsledům Schrödingerovy rovnice. Podle mnohasvětové interpretace kolaps vlnové funkce žádnou redukci stavu neprovádí, ale pouze odhaluje, ve kterém z mnoha světů se nacházíme. Dělení světa má na starosti jediný aparát – matematické rovnice kvantové mechaniky.

Primárním zdrojem postulace paralelních vesmíru je v tomto případě kvantově mechanický formalismus vystavený otázce po skutečné povaze světa. Kodaňská interpretace tvrdí, že existuje pouze jeden vesmír, protože kolaps vlnové funkce eliminuje všechny ostatní možné stavy. Nelokálnost a pravděpodobnost jsou mikrosvětu vlastní. Mnohasvětová interpretace předpokládá existenci paralelních vesmírů, neboť ke kolapsu dochází jen zdánlivě. Nelokálnost a pravděpodobnost jsou jen iluzí.

Existence multivesmíru nutně vede k existenci „multiprostoru“, tedy situace, kdy vedle sebe mohou existovat různé prostoročasy a například snaha o poznání rozměrů našeho vesmíru (včetně uznání nekonečného objemu) povede maximálně ke zjištění rozměrů jedné „buňky“ vyšší multiplicitní skutečnosti. Dochází tedy k nesmírnému rozšíření kvantitativní stránky prostorové struktury.

3.8. GEOMETRIE A FYZIKA V MODERNÍ KOSMOLOGII

Zkoumání prostoru a veškeré představy o něm (s výjimkou čistě intuitivního chápání) jsou vždy spojeny s geometrickými představami.²⁰³ Jakmile prostoru přisoudíme určité geometrické vlastnosti, automaticky vyvstane otázka, v jakém vztahu je náš geometrický model k fyzikální realitě. Tento vztah nabýval v historii různých podob a v moderní kosmologii je vztah geometrie a fyzikálních jevů více než pevný. Jedná se důležitý prvek moderního pojmání prostorou (prostorochasu), který bychom neměli opomenout.

V nejstarší podobě bychom tento vztah našli v antických pojmech *mathématikos* a *fysikos*. Antický *fysikos*, jak podotýká Horský²⁰⁴, pojednává o přírodě filozoficky a určoval výchozí principy. *Mathématikos*, jako speciální disciplína – zejména astronomie (tehdy výlučně geometrická), je vůči *fysikos* ve vztahu podřízeném.

V kosmologii se tento vztah projevil v analýze pohybu planet. Přírodní filozofie postulovala představu dokonalého vesmíru (pramenící z pýthagoreismu a platonismu), ve kterém se planety pohybují v dokonalých kruzích. Úkolem astronomie bylo potom vysvětlit pohyby planet v rámci tohoto požadavku – nalézt řešení, které by bylo v souladu s filozofickými principy a tím „zachránit jevy“.

Typickou ukázkou nadřazenosti filozofické koncepce přírody a následného astronomického „zachraňování jevů“ je Ptolemaiovův *Almagest* ze 2. století po Kristu, ve kterém je shromážděna většina tehdejších astronomických poznatků. Protože měření úhlových vzdáleností planet neodpovídalo požadavku kruhových rovnoměrných pohybů, astronomové vytvořili složitý systém dalších kružnic (deferent, excentr, ekvant), po kterých nechali planety rovnoměrně obíhat jenom proto, aby celek odpovídal postulátům Aristotelovy přírodní filozofie.

Již v případě Koperníka je patrná změna v postavení matematiky. Koperník se totiž snažil matematicky přesně popsat skutečnou povahu věcí a s ptolemaiovskou

²⁰³ Viz Krob, Josef. *Prostor jako vztah geometrie a fyziky*. In *Sborník prací Filozofické fakulty brněnské univerzity*. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 1996, s. 26.

²⁰⁴ Horský, Zdeněk. *Přírodověda a filozofie v počátcích novověké vědy*. In Horský, Zdeněk a Iva Lejková. *Koperník a české země: soubor studií o renesanční kosmologii a nové vědě*, Červený Kostelec: Pavel Mervart, 2011, s. 67.

vykonstruovanou astronomií nesouhlasil. Na přelomu 16. a 17. století dochází ke změně, přičemž důležitou úlohu sehrál Kepler, který odmítá „zachraňovat jevy“. Jedna z Keplerových metodických premis říká, že se astronomie zabývá pozorovatelnými jevy, kterým se hypotézy musí přizpůsobovat.²⁰⁵ Keplerovy pohybové zákony již nejsou pouhou matematickou pomůckou k predikci pohybu planet po nebeské klenbě, jsou vyjádřením jejich faktického pohybu v kosmickém prostoru. Matematický aparát tím definitivně vystoupil ze stínu přírodní filozofie.

Keplerovo řešení problému planetárních drah nespočívalo v důmyslnějším matematickém aparátu, nýbrž v opuštění požadavku dokonalých kružnic a uznání jejich eliptického tvaru. Geometrie tak poprvé určila charakter fyzikální reality.²⁰⁶ Díky Keplerovu dílu „*povyšuje matematický výzkum na hlavní metodu poznání a matematické poznání na pravdivý obraz reality*“²⁰⁷ Svět byl poté charakterizován mechanickými zákony, které se odrážely v matematických rovnicích.

Zásady nové vědy, mezi něž patří převedení vědy na matematiku, důsledně formuloval až Descartes. Činí tak vědomě a explicitně. Descartovým snem jeho přírodní filozofie je i matematická kosmologie.²⁰⁸

Dílo dovršil Newton, když sjednotil pozemskou a nebeskou mechaniku, takže se v jeho rovnicích odrážel celý kosmos. Jeho mechanistický svět byl vložen do geometrického prostoru popsaného Eukleidovými axiomy. Zákony, které tento svět popisovaly, vykazovaly geometrickou čistotu a přesnost.²⁰⁹ Podle Vopěnky²¹⁰ geometrie této doby „pohlcovala“ jevy reálného světa až byl skrze přírodovědu geometrizován celý reálný svět. Nejenže byl vesmír vložen do Newtonova absolutního prostoru, ale i fyzikální jevy nenápadně proluly s geometrickými.

²⁰⁵ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 56.

²⁰⁶ Viz Krob, Josef. *Prostor jako vztah geometrie a fyziky*. In *Sborník prací Filozofické fakulty brněnské univerzity*. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 1996, s. 28.

²⁰⁷ Horský, Zdeněk. *Přírodověda a filozofie v počátcích novověké vědy*. In Horský, Zdeněk a Iva Lelková. *Koperník a české země: soubor studií o renesanční kosmologii a nové vědě*, Červený Kostelec: Pavel Mervart, 2011, s. 67.

²⁰⁸ Viz Koyré, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, s. 83.

²⁰⁹ Například formulace gravitačního zákona obsahuje geometrický útvar: gravitační síla je nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti těles.

²¹⁰ Viz Vopěnka, Petr. *Geometrizační reálného světa: (třetí rozpravy s geometrií)*. Vyd. 1. Praha: Matfyzpress, 1995, s. 213-216.

V oblasti čisté geometrie byla jistota v takové geometrického poznání zpochybněna s objevem neeukleidovských geometrií. Jejich aplikace v relativistické fyzice pak přesunula spojení fyziky a geometrie na jinou úroveň.

Zvláštní účinnost geometrických představ v moderní fyzice potvrdil již Minkowski svým užitečným popisem kontinua prostoročasu. Obecná relativita vzápětí pracuje s geometrickým popisem prostoročasu, který se stává východiskem moderní kosmologie. Zároveň je pokořena Newtonova představa vesmíru vloženého do eukleidovského absolutního prostoru, avšak geometrizace reálného světa přetrvává v ještě kompaktnější podobě.

Einstein si sepětí geometrie a fyziky dobře uvědomoval a souhlasil s názorem, že geometrii můžeme považovat za nejstarší odvětví fyziky, avšak pod podmínkou, že budeme rozlišovat „praktickou“ a „čistě axiomatickou“ geometrii. Praktickou geometrii získáme tak, že se „*k prázdným pojmovým schématům axiomatické geometrie přiřadí skutečné předměty ze zkušenosti.*“²¹¹ Rozdíl mezi praktickou a axiomatickou geometrií potom spočívá v tom, že výpovědi praktické geometrie „*spočívají v podstatě na indukci ze zkušenosti, nikoli však jen na logických závěrech.*“²¹²

Einsteinovo pojetí praktické geometrie sehrálo v moderní kosmologii zásadní roli: „*Toto pojetí geometrie považuji za zvláště významné proto, že by mně bez něho nebylo bývalo možné zbudovat teorii relativity.*“²¹³

O nutnosti rozlišovat fyzikální a čistě matematickou geometrii se vyjádřil²¹⁴ i R. Carnap. Čistou geometrii charakterizuje jako analytickou, neboť její výroky jsou odvozovány pouze logicky, týkají se pouze abstraktních objektů a neříká nám nic o fyzikálním prostoru. Naproti tomu fyzikální geometrie popisuje objekty a prostor fyziky, tvrzení jsou stanovena empiricky (stejně jako v jiných odvětvích fyziky) a její charakter je tedy syntetický.

²¹¹ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Praha, 1961. s. 90.

²¹² Tamtéž.

²¹³ Tamtéž.

²¹⁴ Carnap, Rudolf. Introductory Remarks to the English Edition. In Reichenbach, Hans. *The Philosophy of Space and Time*. Ontario: Dover Publications, 1958, s. v-vii.

Prof. Novotný potvrzuje²¹⁵ existenci pojetí fyzikální geometrie ve smyslu fyzikální teorie. V souvislosti s obecnou teorií relativity se fyzikální geometrie blíží původnímu smyslu „měření země“, avšak nyní v rozsahu dosažitelného vesmíru. S matematickou geometrií udržuje vzájemnou spolupráci, kdy se obě oblasti mohou vzájemně inspirovat.

I v případě, že prostoročasu přisoudíme neeukleidovskou geometrii, stává se otázka jeho vlastností rozhodnutelná na základě empirických poznatků. Například z obecné teorie relativity nutně vyplývá, že zakřivení prostoročasu má vliv na dráhu světelného paprsku. Je-li gravitační pole geometrickým projevem prostoročasu, mělo by v blízkosti hmotného tělesa dojít k ohybu světelných paprsků. Experimentální ověření bylo uskutečněno fotografickým snímkem hvězd za úplného zatmění Slunce a následným srovnáním s jejich pozicemi v době, kdy se Slunce již nenacházelo v jejich blízkosti. Einsteinova teorie mění pohled na gravitaci a tím i na prostor takovým způsobem, že otázka po geometrických vlastnostech prostoru se stává otázkou fyzikální.

Einstein považoval empirickou zkušenost za kritérium pro použitelnost matematické konstrukce, avšak v matematice spatřoval tvůrčí princip, který nám umožňuje zmocnit se skutečnosti: „*Čistě matematickou konstrukcí můžeme podle mého mínění nalézt pojmy a ona zákonitá spojení mezi nimi, která jsou klíčem pro pochopení přírodních úkazů.*“²¹⁶

Situace v moderní kosmologii, která vzniká až s relativistickou fyzikou, je typická specifickým vztahem fyziky a geometrie. V antice byla geometrie odtržena od fyzikální skutečnosti. Tato představa byla dlouho podporována neschopností astronomie vytvořit adekvátní geometrický model planetárních drah. Keplerovi se to podařilo a geometrie poprvé dokáže popsat a přesně předvídat pohyby přírodních těles. Spolu s rozvojem přírodních věd dochází k procesu, který bývá nazýván mechanizací a matematizací světa. V díle I. Newtona tento proces vrcholí a geometrie se odráží v rovnicích popisujících celý vesmír. Relativistická fyzika využívá nových geometrií a činí z geometrie součást fyziky. Můžeme říci, že v moderní kosmologii se geometrie prostoru (v podobě fyzikální geometrie) přímo fyzikou stává.

²¹⁵ Novotný, Jan. Geometrie, fyzika a Václav Hlavatý. *Vesmír* [online]. 1994, vol. 73, no. 8. [vid. 15. 12. 2013].

²¹⁶ Einstein, Albert. *Jak vidím svět*. Praha, 1961. s. 84.

4. PROSTOR V MODERNÍ FYZICE A KOSMOLOGII

4.1. SHRNUÍ - CHARAKTERISTIKA PROSTORU

Pokusme se nyní shrnout zjištěné informace. Prostoru, který se objevuje v koncepcích moderní fyziky a kosmologie, můžeme přisoudit řadu vlastností a zároveň jej tak charakterizovat:

1) Prostor je svázán s časem.

Moderní kosmologie neuvažuje o prostoru nezávisle na čase. Speciální relativita odhalila nutnost lokalizovat události nejen udáním prostorových souřadnic, ale i souřadnicí časovou, neboť i čas ztratil absolutní význam a současnost událostí byla relativizována.

2) Prostorová charakteristika je určována pomocí neeukleidovských geometrií.

Geometrie prostoročasu se z kvalitativní stránky neshoduje s axiomy eukleidovské geometrie, jak tomu bylo ve všech starších koncepcích prostoru.

3) Existuje vzájemný vztah prostoru a látkově-polní struktury.

Oproti absolutnímu pojetí zde neexistuje esenciální propast mezi prostorem a tělesy. Zakřivení prostoru je určeno přítomností hmotných tělesa a pohyb těles je ovlivněn zakřivením prostoročasu. Prostoročas neexistuje samostatně.

4) Prostor je aktérem fyzikálního dění.

Díky existenci vztahu mezi prostoročasem a materiální strukturou vystupuje prostor z pasivní pozice nezávislé nádoby a podílí se na procesech přírodního dění.

5) Prostor je zakřivený.

Zakřivení prostoročasu není v dosahu lidské představivosti nebo přímému nazírání. K tomu nám chybí nadhled z vyšší dimenze, ze které bychom zakřivení mohli posoudit. Zakřivení je uchopováno prostřednictvím neeukleidovských geometrií, které postulují odlišné axiomy od ploché eukleidovské geometrie.

6) Prostor se rozpíná.

Představa rozpínání prostoru se objevuje v souvislosti s objevem rozpínání vesmíru. Kosmologické modely obsahují tvrzení, že se mezi galaktickými strukturami zvětšuje vzdálenost, aniž by příčinou byl lokální pohyb. Interpretace pozorovaných jevů zní takto: vesmír se rozpíná, protože se rozpíná prostor sám.

7) Prostor má počátek.

Standardní kosmologický model s horkým počátkem vesmíru popírá pojetí věčného prostoru, který by sloužil jako pozadí temporálně omezených přírodních procesů. Před počáteční expanzí nebylo látky, času ani prostoru.

8) Hypoteticky lze odpovědět na otázku metrické konečnosti prostoru.

Ačkoli v současnosti je otázka stále otevřená, konečný verdikt spočívá v dostatečně podrobné analýze rozložení hmoty ve vesmíru a následném odvození jeho topologie.

9) Kvantová fyzika potvrzuje myšlenku diskrétnosti prostoru.

Objevuje se dokonce elementární kvantum délky a obsahu. Pokus o analýzu obsáhlejšího problému spojitosti či diskrétnosti relativistického prostoročasu by však překročil možnosti této práce a otázka zůstane na obecnější úrovni nezodpovězená.

10) Prostor má homogenní i heterogenní strukturu.

V kosmologických měřítkách můžeme prostor považovat za homogenní (v souvislosti s kosmologickým principem), kdežto ve velikostech menších je patrná nestejnorodá struktura prostoročasu (v souvislosti s rozdíly v rozložení hmotných těles).

11) Objevuje se myšlenka dodatečných prostorových rozměrů a paralelních světů.

Postulování dodatečných prostorových rozměrů vesmíru je v podstatě rozvíjením kvalitativních vlastností prostoru neeukleidovských geometrií ve fyzice, jak to provedl již Einstein. Představa prostoru v moderní fyzice a kosmologii je tak rozšířena o dodatečné dimenze. Koncepce paralelních vesmíru nás zase nutí připustit existenci multiplicitní prostorové skutečnosti.

12) Pojetí prostoru v moderní kosmologii je kontraintuitivní.

Intuitivní chápání prostorových vztahů odvozené z běžné zkušenosti svádí k nepřesným představám a nepochopení. Např. rozpínání prostoru předpokládá jiný prostor, ve kterém by se rozpínání odehrávalo; zakřivení prostoru je zcela mimo dostupnou zkušenost – nejkratší spojnice dvou bodů je evidentně přímka; kontrakce délky ve speciální teorii relativity nám vnucuje představu relativity rozměrů těles, atd. Kontraintuitivní prostorové vztahy je nutné chápat jako důsledky teoreticko-pojmového uchopování prostoročasu.

Ačkoli Newtonův absolutní prostor byl rovněž zcela nenázorný (a jako Sensorium Dei svou podstatou ještě více vzdálený člověku), z uvedené charakteristiky je patrná diametrální odlišnost Newtonova a Einsteinova prostoru. I s přihlédnutím k různorodosti pojetí prostoru v dějinách evropského myšlení je pojetí v moderní kosmologii zcela originální koncepcí. Ačkoli bychom mohli vyzdvihnout autory nejzávažnějších myšlenek, kteří na nové pojetí prostoru měli největší vliv, prosazení těchto představ o prostoru je vázáno na jednotlivé fyzikální teorie a jejich experimentální ověřování. Na rozdíl od Newtonova pojetí, které umožňuje nejhlubší otázky vytěsnit na metafyzickou půdu a tím poskytnout více méně ucelenou koncepci, podléhá moderní pojetí prostoru důsledné vědecké metodě ověřování a problematika prostoročasu ponechává celou řadu nevyjasněných míst.

Další charakteristika a otazníky se vyjeví spolu s odpovědí na otázku, do jaké míry můžeme pojetí prostoru v moderní fyzice a kosmologii považovat za relační.

4.2. JEDNÁ SE O RELAČNÍ POJETÍ?

Na začátku našeho bádání (v kapitole 3.4) jsme identifikovali znaky relačního pojetí ve čtyřech bodech:

1. Prostor neexistuje nezávisle na tělesech.
2. Neexistuje absolutní vztažná soustava.
3. Prostor není zvláštním druhem entity.
4. Neexistuje vakuum.

Nyní se pokusíme pomocí zjištěných informací rozhodnout, do jaké míry lze tyto znaky přisoudit pojetí prostoru v moderní fyzice a kosmologii.

Naprostou shodu nalezneme v otázce vakua (**bod č. 4**). Existence prázdného prostoru je explicitně popřena na půdě kvantové fyziky, kde je vakuum bez jediné částice hmoty

stále plně kvantových procesů. Podobně Einstein hovořil o neexistenci „poleprázdného prostoru“ a vyzýval k rozšíření reprezentace reality za hmotná tělesa. Ve vesmíru tedy není možné nalézt (ani teoreticky) prázdné místo, které by teprve čekalo na obsazení libovolným druhem látky či energie.

Není-li prostor prázdnem (nádobou, kterou lze podle potřeby plnit a vyprazdňovat), za co jej můžeme považovat? Einsteinovo tvrzení, že prostoročas je strukturální vlastností pole, nás přivedlo ke konstatování podobnosti s Descartovým pojetím. Descartovo pojetí zůstává pojetím substančním, neboť ztotožňuje hmotu s rozlehlostí a prostor jako celek je potom souborem rozlehlostí těles. Einstein sice netvrdí, že rozlehlost je esencí pole, ale tvrdí, že prostor nelze od pole oddělit. Prostor (prostoročas) tak stále něčím je (na rozdíl od nesubstančního pojetí Leibnizova). Podobně jako Descartovo pojetí se tedy i Einsteinovo vzdaluje čistě relačnímu pojetí Leibnizovu a nenaplnuje vymezený znak (**bod č. 3**) relačního pojetí. Standardní model částicové fyziky je navíc koncipován jako relativistická kvantová teorie pole, čímž nás i fyzika mikrosvěta přibližuje Einsteinovu pohledu na svět skrze polní struktury. V žádném případě však nelze hovořit o prostoru jako zvláštní (oddělené) entitě podobné absolutnímu prostoru – prostoročas rozhodně není entitou nezávislou na materiální „výplni“.

Otázka existence absolutní vztažné soustavy (**bod č. 2**) je v současnosti stále diskutovaným problémem, nicméně převažuje přesvědčení o její existenci. Zdá se, že obecná relativita stále poskytuje absolutní měřítko pohybů. V relativitě speciální o něm není pochyb a obecná relativita obsahuje speciální jako svůj mezní případ. Prostoročas podle všeho poskytuje absolutní rámec a pohyby tak nelze považovat za čistě relativní. V tomto bodě zkoumané pojetí prostoru opět nenaplnuje daný znak relačního pojetí.

O závislosti prostoročasu na hmotě (**bod č. 1**) nás přesvědčuje celá řada koncepcí. Existenčně je prostoročas spjatý s látkou vesmíru, neboť vzniká a vyvíjí se spolu vesmírem. Einstein ostatně výslovně uvádí, že v obecné relativitě nemá prostoročas nárok na vlastní existenci (je strukturální vlastností pole) – bez pole není ani prostoročas. Závislost navíc není pouze existenční, nýbrž i kvalitativní, neboť zakřivení prostoročasu je určeno přítomností hmotných těles. Kvalitativní vazba je

endemickým prvkem relačního pojmání, které se objevuje až v obecné relativitě. Existenční a kvalitativní závislost na látce a energii kosmu přibližuje zkoumané pojetí prostoru pojetí relačnímu.

Vzhledem k popření existence prostoru ve smyslu nezávislé entity, jak jej požadovala newtonovská fyzika, spolu s popřením existence vakua, můžeme považovat pojetí prostoru v moderní fyzice a kosmologii za relační. Sepětí prostoročasu a látkově-energetické struktury je skutečně silným argumentem. Na druhou stranu se zdá, že prostor sjednocený s časem se ukazuje být zvláštní entitou, čímž se vzpírá Leibnizovu pojetí a naopak se přibližuje Descartovi. Existenci absolutní vztažné soustavy, typické pro absolutní pojetí prostoru, se relačnímu pojetí rovněž vzdaluje, nicméně není vyloučeno, že v budoucnosti bude dosaženo takové formulace prostoročasu, které se podaří eliminovat i tento absolutní prvek.

BIBLIOGRAFIE:

ANDRLE, Michal. *Whiteheadova filosofie přírody: se zvláštním zřetelem k "londýnskému" období*. Červený Kostelec: Pavel Mervart, 2010, 451 s. ISBN 978-80-87378-22-9.

ANZENBACHER, Arno. *Úvod do filozofie*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1990, 304 s. ISBN 80-04-25414-4.

ARISTOTELES. *Fyzika*. 1. vyd. Praha: Petr Rezek, 1996, 503 s. ISBN 80-86027-03-1.

BARBOUR, Julian. Relational Concepts of Space and Time. In *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 33, No. 3, 1982, s. 251-274.

BARROW, John. *Konstanty přírody: čísla skrývající nejhlubší tajemství vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2005, 284 s. ISBN 80-7185-689-4.

BARROW, John. *Pí na nebesích: o počítání, myšlení a bytí*. Vyd. 1. Praha: Mladá fronta, 2000, 307 s. ISBN 80-204-0855-x.

BENNETT, Jonathan. *Exchange of papers between Leibniz and Clarke*. [online]. 2007. Dostupné z: <<http://www.earlymoderntexts.com/pdf/leibclar.pdf>>

CARNAP, Rudolf. Introductory Remarks to the English Edition. In Reichenbach, Hans. *The Philosophy of Space and Time*. Ontario: Dover Publications, 1958. p. iv-vii.

ČAPEK, Milič. *Bergson a tendence současné fyziky*. Praha: Filosofická fakulta, 1937, 160 s.

DAVIES, Paul. *O čase: Einsteinova nedokončená revoluce*. Vyd. 1. Bratislava: Motýl, 1999, 366 s. ISBN 80-88978-11-4.

DESCARTES, René. *Principy filosofie: výbor doplněný dvěma Descartovými dopisy princezně Alžbětě Falcké : bilingva*. 2. opr. vyd. Praha: Filosofia, 1998, 179 s. ISBN 80-7007-120-6.

DUŠEK, Miloslav. *Koncepční otázky kvantové teorie*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2002, 236 s. ISBN 80-244-0449-4.

ECKERTOVIÁ, Ludmila. *Cesty poznávání ve fyzice*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2004, 195 s. ISBN 80-7196-293-7.

EINSTEIN, Albert. Foreword by Albert Einstein. In JAMMER, Max. *Concepts of space*. Massachusetts: Harvard University Press, 1954. p. xi-xvi.

EINSTEIN, Albert. *Jak vidím svět*. Vyd. 2. Praha: Československý spisovatel, 1966, 174 s.

EINSTEIN, Albert. *Teorie relativity*. Vyd. 1. Brno: Vutium, 2005, 210 s. ISBN 80-214-2916-x.

FORD, Kenneth. Interview with Drs. Bryce DeWitt & Cecile DeWitt-Morette. At The University of Texas at Austin. February 28, 1995. *The Niels Bohr Library & Archives* [online]. [vid. 2012-05-01]. Dostupné z: <<http://www.aip.org/history/ohilist/23199.html>>

GALISON, Peter Louis. *Einsteinovy hodiny a Poincarého mapy: říše času*. Vyd. 1. Praha: Mladá fronta, 2005, 322 s. ISBN 80-204-1188-7.

- GREENE, Brian. *Skrytá realita: paralelní vesmíry a hluboké zákony kosmu*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2012, 354 s. ISBN 978-80-7432-205-1.
- GREENE, Brian. *Struktura vesmíru: čas, prostor a povaha reality*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2006, 482 s. ISBN 80-7185-720-3.
- GRYGAR, Jiří. *Vesmír, jaký je: současná kosmologie /téměř/ pro každého*. 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 1997, 217 s., [24 s.] příl. ISBN 80-204-0637-9.
- HAVLÍK, Vladimír. Atomismus ve vědě. In NOSEK, Jiří. *Milénium vědy a filosofie: sborník příspěvků*. Praha: Filosofía, 2002, s. 124-135. ISBN 80-7007-160-5.
- HEISENBERG, Werner. *Fyzika a filosofie*. 2., přehlednuté vyd. Praha: Aurora, 2000, 156 s. ISBN 80-85974-91-6.
- HEY, Tony, WALTERS, Patrick. *Nový kvantový vesmír*. 1. vyd. Praha: Argo, 2005, 429 s. ISBN 80-7203-699-8.
- HINTERLEITNER, Franz. Kvantová gravitace, kvantový prostor. *Vesmír* [online]. 1998, vol. 77, no. 10, s. 547-549. [vid. 10. 11. 2013]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <<http://www.vesmír.cz/clanky/clanek/id/1868>>
- HORSKÝ, Jan, NOVOTNÝ, Jan, ŠTEFANÍK, Milan. *Úvod do fyzikální kosmologie*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2004, 219 s. ISBN 80-200-1241-9.
- HORSKÝ, Jan. *Speciální teorie relativity*. První vydání. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1972, 96 s.
- HORSKÝ, Zdeněk. Přírodověda a filozofie v počátcích novověké vědy. In Horský, Zdeněk a Iva Lelková. *Koperník a české země: soubor studií o renesanční kosmologii a nové vědě*, Červený Kostelec: Pavel Mervart, 2011, 491 s. ISBN 978-80-87378-87-8. s. 49–74.
- HUGGETT, Nick, HOEFER, Carl. Absolute and Relational Theories of Space and Motion. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. [online]. Stanford, CA: Stanford University, 2009. [vid. 20. 11. 2013]. Dostupné z: <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/spacetime-theories/>>
- JAMMER, Max. *Concepts of space*. Massachusetts: Harvard University Press, 1954. 197 p.
- JERSÁK, Jiří. Rozpínání vesmíru podle soudobých poznatků. *Vesmír* [online]. 2008, vol. 87, no. 1, s. 40-45. [vid. 15. 11. 2013]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <<http://www.vesmír.cz/clanek/rozpinani-vesmiru-podle-soudobych-poznatku>>
- KAHN, Charles. „Užití termínu *κόσμος* v rané řecké filozofii“. In REZEK, Petr. *Kosmos a živly: Studijní texty*. 1. vyd. Praha: Institut pro středoevropskou kulturu a politiku, 1992, 107 s. ISBN 80-85241-18-8.
- KAKU, Michio. *Einsteinův vesmír: jak vize Alberta Einsteina změnily naše chápání prostoru a času*. 2. vyd. v českém jazyce. Praha: Dokořán, 2009, 194 s. ISBN 978-80-7363-206-9.
- KAKU, Michio. *Hyperprostor: vědecká odysea paralelními vesmíry, zakřiveným prostorem a desátým rozměrem*. 1. vyd. v českém jazyce. Praha: Argo, 2008, 324 s. ISBN 978-80-257-0013-6.

KHAMARA, Edward. Leibniz's Theory of Space: A Reconstruction. In *The Philosophical Quarterly*, Volume 43, Issue 173, Special Issue: Philosophers and Philosophies, Wiley-Blackwell, 1993, p. 427-488. ISSN 0031-8094.

KOYRÉ, Alexandre. *Od uzavřeného světa k nekonečnému vesmíru*. Vyd. 1. V Praze: Vyšehrad, 2004, 261 s. ISBN 80-7021-586-0.

KRAUSS, Lawrence Maxwell. *Skryté za zrcadlem: pátrání po extradimenzích - od Platona ke strunové teorii a ještě dále*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2011, 293 s. ISBN 978-80-7432-085-9.

KROB, Josef, ŠMAJS, Josef. *Úvod do ontologie*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 1991, 137 s. ISBN 80-210-0879-2

KROB, Josef. Descartova fyzika a její kritika. *Profil* [online]. Brno: KF FF MU, 2000, roč. 1, č. 2, s. 1-5. ISSN 1212-9097. [vid. 4. 10. 2013]. Dostupné z: <http://profil.muni.cz/02_2000/descartova_fyzika.html>

KROB, Josef. Prostor jako vztah geometrie a fyziky. In *Sborník prací Filozofické fakulty brněnské univerzity*. Brno: Masarykova univerzita v Brně, 1996, roč. 45, č. B43, s. [25]-33.

KULHÁNEK, Petr. *Moderní kosmologie aneb jak přednášet o kosmologii?* [online]. Hvězdárna Valašské Meziříčí, 2011, 65 s. Dostupné z: <<http://www.aldebaran.cz/download/Kosmologie.pdf>>

KULHÁNEK, Petr. *Vakuum současnosti. Od Torricelliho po hledání axionů*. [online]. Audiovizuální záznam přednášky. Fyzikální čtvrtky. Audiovizuální centrum Silicon Hill, 2006. Dostupné z: <http://www.avc-cvut.cz/akce/prof-mdr-petr-kulhanek-csc-vakuum-soucasnosti-od-torricelliho-po-hledani-axionu>

LEIBNIZ, Gottfried Wilhelm. *Monadologie*. Praha: Sfinx, 1925.

MACH, Ernst. *Science of Mechanics. A critical and historical account of its development*. London: The Open Court Publishing, 1919, 595 s.

MCDONOUGH, Jeffrey. Leibniz's Philosophy of Physics. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. [online]. Stanford, CA: Stanford University, 2008. [vid. 20. 11. 2013]. Dostupné z: <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/leibniz-physics/>>

MINKOWSKI, Hermann. Space and Time. Přeložil Ganesh Prasad. In *Bulletin of the Calcutta Mathematical Society*. Calcutta, 1999. Volume 1, pp. 135-141. Dostupné z: <http://en.wikisource.org/wiki/Space_and_Time_%28Prasad%29>

MOREAU, Joseph. *Svět Leibnizova myšlení*. Vyd. 1. Praha: Oikoymenh, 2000, 215 s. ISBN 80-7298-008-4.

NOVOTNÝ, Jan. Geometrie, fyzika a Václav Hlavatý. *Vesmír* [online]. 1994, vol. 73, no. 8, [vid. 15. 12. 2013]. ISSN 1214-4029. Dostupné z: <<http://www.vesmir.cz/clanek/geometrie-fyzika-a-vaclav-hlavaty>>

PATOČKA, Jan. Prostor a jeho problematika. In *Sborník prací Filozofické fakulty brněnské univerzity*, Brno: Masarykova univerzita v Brně, 1990-1992, roč. 39-41, č. F34-36, s. [33]-69.

POLKINGHORNE, John. *Kvantový svět*. Vyd. 1. Praha: Aurora, 2000, 159 s.

- PRICE, Michael. *The Everett FAQ* [online]. c1995. [vid. 2012-05-01] Dostupné z: <<http://www.hedweb.com/everett/everett.htm>>
- RANDALL, Lisa. *Tajemství skrytých dimenzí vesmíru: pokřivené průchody*. Vyd. 1. Praha: Paseka, 2011, 460 s. ISBN 978-80-7432-113-9.
- REICHENBACH, Hans. *Od Koperníka k Einsteinovi: jak se měnila představa o světě*. Praha: Volná myšlenka, 1928, 155 s.
- ŠPELDA, Daniel. *Astronomie v antice*. Ostrava: Montanex, 2006, 262 s. ISBN 80-7225-210-0.
- ŠTĚPÁNOVÁ, Irena. *Newton - poslední mág starověku*. Vyd. 1. Praha: Karolinum, 2012, 191 s. ISBN 978-80-246-2061-9.
- ŠTOLL, Ivan. *Dějiny fyziky*. 1. vyd. Praha: Prometheus, 2009, 582 s., [16] s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-7196-375-2.
- TURSUNOV, Akbar. *Od mýtu k vědě: Evoluce kosmologického obrazu*. 1. vyd. Praha: Mladá fronta, 1978, 130 s.
- ULLMANN, Vojtěch Ignác. *Gravitace, černé díry a fyzika prostoročasu*. 1. vyd. Ostrava: Československá astronomická společnost při ČSAV, 1986, 272 s.
- VELICKÝ, Beřich. Role prostorové dimenze ve fyzice (Proč je prostor trojrozměrný). In AJVAZ, Michal, Ivan M HAVEL a Monika MITAŠOVÁ. *Prostor a jeho člověk*. Praha: Vesmír, 2004, 326 s. ISBN 80-85977-60-5, s. 9-34.
- VILENKIN, Alex. *Mnoho světů v jednom: pátrání po dalších vesmírech*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2008, 226 s. ISBN 978-80-7185-936-9.
- VOPĚNKA, Petr. *Geometrizační reálného světa: (třetí rozpravy s geometrií)*. Vyd. 1. Praha: Matfyzpress, 1995, 395 s. ISBN 80-85863-04-9.
- WAGNER, Vladimír. *Vakuum ve skutečnosti prázdnota není aneb kouzla kvantové fyziky*. [online]. [vid. 10. 11. 2013]. Dostupné z: <<http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/vakuum/vakuum.html>>
- WEINBERG, Steven. *První tři minuty: moderní pohled na počátek vesmíru*. 1.vyd. Praha: Mladá fronta, 1982, 173 s.
- WILCZEK, Frank. *Lehkost bytí, aneb, Bytí jako světlo: o hmotnosti, éteru a sjednocování sil*. Vyd. 1. V Praze: Paseka, 2011, 298 s., [4] s. barev. obr. příl. ISBN 978-80-7432-146-7.