

Vladimír Havlík

Temné stránky kosmologie

Abstract:

The present commonly adopted cosmological model reaches agreement between many fields of science only for the price of admission that we do not know 96% of the Universe. There is a hypothesis that this dark part of the Universe consists of dark matter and dark energy. From the point of view of the methodology of science it is remarkable situation on which is possible to demonstrate strategies of ad hoc modification of the theory which must face to anomalies. In this case I argue that it is special situation in the history of science not only for the length of time during which it is not decided between alternative ad hoc hypotheses (e.g. dark matter or MOND theory) but for the strong theoretical ties which hypothesis of dark matter created to the other fields of science. Unfortunately I conclude that famous conception of progress of science (Lakatos, Kuhn, Feyerabend) are not in the exact agreement with this special situation in recent scientific practice and I think that this could be a motive for the change or modification of these methodological conception, too.

Keywords: dark matter, cosmology, anomalies, progress of science, MOND theory

1 Úvod

Teoretická reflexe vývoje vědeckého poznání se často obrací k signifikantním situacím ve vývoji vědy, aby poukázala k některým metodologickým aspektům, hodnotícím normativům či aplikaci určité metodologické koncepce. Z tohoto hlediska se zdá být současný vývoj kosmologie nejen vhodným kandidátem na podobný postup, ale také velmi specifickou situací vědy, jež si vyžaduje podrobnější analýzu. Cílem této stati je jedna z temných stránek kosmologie, jež se týká hypotézy tzv. *temné hmoty*. Snaží se ukázat nejen historicko-logickou genezi této koncepce, ale i to, v jakých ohledech je současná situace v kosmologii specifická, pokud jde o strategie vyrovnání se teorie s anomáliemi, kterým musí čelit. V neposlední řadě vzniká pak také otázka, zda jsou známé koncepce vývoje vědy v dostatečném souhlasu s touto situací v kosmologii, či zda je nutné uvažovat vzhledem k analyzovaným skutečnostem o jejich modifikaci.

2 Temná hmota a temná energie

Současný kosmologický model neboli představy o vzniku a vývoji vesmíru jsou obecně prezentovány s velkým optimismem a zároveň s přesvědčením, že budoucí poznatky doplní očekávaným způsobem stávající nejasnosti a přispějí ke konzistenci tzv. současného kosmologického paradigmatu. Z hlediska teoretických úvah o vývoji vědeckého poznání je tato situace pozoruhodná v tom, že ukazuje, jak může být takový optimismus progresivním a stimulujícím zdrojem pro získávání a akumulaci dalších poznatků. Neznamena to sice, že by tím věda nevytvářela stále přísnější prostředí pro testování přijatých koncepcí a teorií, ale jistě není v těchto případech tím stimulujícím zdrojem snaha o falsifikaci teorie jako spíše snaha o její úspěšné završení. Pokud jde o stávající kosmologický model, pak fenomenálně musí působit šíře a intenzita, s jakou motivuje další výzkumy v nejrůznějších vědeckých disciplínách od vysoce spekulativních (super)strunových teorií přes nejrozmanitější astronomická pozorování a měření až k velmi nákladným experimentům částicové fyziky vysokých energií. Průvodním rysem této jevové úspěšnosti je soulad mnoha odlišných přístupů bádání, především tzv. standardního modelu částic, pozorovací astronomie a kosmologie, a konečně stávajícího kosmologického inflačního modelu vesmíru. Zdá se tak, jakoby se kosmologické „puzzle“ dařilo skládat nejen v lokálních místech a středně rozsáhlých celcích, ale i ve všezahrnujícím celkovém plánu zároveň.

Taková situace se může stát důvodem pro určitý metodologický optimismus. Hledá-li filosofie vědy, alespoň ve své normativní formě, určité standardy pro zhodnocení vědeckých teorií a závazné normy pro další vědecký výzkum, je uvažovaný *soulad* mezi tak odlišnými obory jedním z více než přijatelných kandidátů.

Není to sice úplně nové a originální kritérium, ale přesto vykazuje v této fázi některá specifika, která dříve nemohla být v požadavku kompatibility vědeckého poznání

odhalena a formulována. Nejedná se mi však nyní o analýzu specifčnosti takového metodologického kritéria, jakým je *soulad* mezi vysoce diferencovaným přírodovědným poznáním, ale o cenu či daň, za jakou je takového souladu dosaženo. Přiznání, že soulad je dosažen za předpokladu té skutečnosti, že dosud známý a pozorovatelný vesmír je pouze zanedbatelnou částí (pouhými 4%) z celkové a převažující temnoty, musí působit v kontextu optimistické kosmologie přinejmenším bizarně. Faktem zůstává (alespoň v polovině roku 2012), že převládající kosmologické paradigma předpokládá, že tzv. temná energie tvoří 73% a temná hmota 23% celkové hustoty hmotnosti či energie vesmíru.¹

Přívlastek „temný“ v tomto případě může mít dvojitý význam. O temné hmotě mluví astronomická pozorování především proto, že nemůže být tvořena baryony, tj. částicemi vytvářejícími pozorovatelnou zářící hmotu, a proto se temná hmota neprojevuje pohlcováním ani vyzařováním elektromagnetického záření, a z toho důvodu je tedy v optickém spektru nepozorovatelná a tedy temná.

V přeneseném epistemologickém významu pak „temná“ znamená, že nevíme, z čeho je tato domněle existující hmota utvořena, jak vznikla a jaké jsou fyzikální důvody její existence pro utváření vesmíru. Důvody, proč mluvit v případě takto podivné ingredience vesmíru o hmotě, spočívají v tom, že temná hmota se projevuje gravitačním působením a snad i slabou interakcí. Předpokládá se tak, že ji tvoří ještě neznámý druh elementárních částic. Temné stránky kosmologie by tak mohly posloužit jako vhodný zdroj pro snahu ukázat paradoxnost soudobé vědy, jež dosahuje hlubokého souladu poznání za cenu vysoké neznalosti. To je však ona poněkud povrchnější temná stránka kosmologie, jež sice může být zdůrazněna, ale z níž metodologické úvahy o vývoji vědy příliš nového nevytěží.

Mnohem slibnější je vždy zkoumání toho, jak se teorie vyrovnává s anomáliemi, kterým musí čelit. Domnívám se, že případ temné hmoty s sebou přináší určité aspekty a specifika, jimž je vhodné věnovat z tohoto hlediska více pozornosti. Podrobnější rozbor může ukázat nejen to, nakolik je koncepce temné hmoty oprávněným předpokladem a snahou uvést v soulad astronomická pozorování a fyzikálně-teoretická východiska, ale i příkladem konkrétního historicko-vědeckého postupu, který může být srovnán s určitými metodologickými koncepcemi o vývoji vědy a z něhož je také možné odvodit i určitá zobecnění pro další strategie v metodologické rovině.

1) Hodnoty se od roku 1998 mění v závislosti na přesnosti měření tzv. reliktního záření (Cosmic Microwave Background Radiation – CMBR) družicemi COBE a WMAP. Uváděné hodnoty (4%, 23%, 73%) odpovídají posledním měřením a kalkulacím (viz např. Peter 2012).

3 Temná hmota a ad hoc modifikace teorie

Má-li se teorie vyrovnat s nějakou anomálií, která ji přesahuje a již není schopna vysvětlit, shodují se i celkem rozdílné metodologie vědy v tom, že *ad hoc* modifikace nepatří většinou k těm řešením, jež bychom měli podporovat. Důvody jsou celkem evidentní. Modifikovat stávající teorii jen proto, abychom ji uvedli v soulas s pozorováním a nezískali tím již nic více, je poněkud podezřelé. V případě, že jsme donuceni k takovým *ad hoc* modifikacím dokonce častěji po sobě, ztrácí teorie svou původní jednoduchost, stává se těžkopádnou a většinou je dříve či později nahrazena novou teorií. Mohlo by se tak na první pohled zdát, a mnozí k takové strategii poukazují, že problém temné hmoty je klasickou *ad hoc* hypotézou, jež modifikuje teorii tak, aby byla v souladu s pozorováním. Zvážíme-li však některé specifické okolnosti hypotézy temné hmoty, zjistíme, že ji nelze označit za jednoduchou *ad hoc* modifikaci teorie vzhledem k pozorování.

Podle mého názoru to lze doložit nejen relativně dlouhou dobou, po kterou je zde tato hypotéza předložena a usilovně zkoumána, ale také mnoha dalšími souvislostmi a vazbami, jež tato hypotéza vytvořila k různým odvětvím vědy. Hypotéza tedy neřešila pouze nesoulad mezi teorií a pozorováním ve specifické oblasti vědy, ale byla a je těsně provázána s mnoha dalšími předpoklady v různých oblastech od fyziky mikrosvětla, přes pozorovací astronomii, numerické modelování a kosmologii. Příběh temné hmoty tak není jednorázovým *ad hoc* vyrovnáním se teorie s anomáliemi, jako tomu bylo např. u Lorentzovy elektronové teorie,² ale spíše postupným prosazováním se určité nutnosti. Abychom dali přesnější kontury takto vágnímu tvrzení, je nutné přihlédnout k historickým skutečnostem. Pokusím se proto nejprve naznačit logicko-historickou genezi problému temné hmoty a zdůraznit určité metodologické aspekty, které provázely diskuse vědecké komunity od prvotních skeptických reakcí až k jejímu konceptuálně-paradigmatickému přijetí vědeckou komunitou. Za neméně podstatné lze v této souvislosti také považovat vztah vědecké komunity k alternativním koncepcím řešení pozorovaných gravitačních anomálií a jejich případný osud. K počátku historie temné hmoty se musíme vrátit až do 30. let minulého století, tedy o mnoho dále než k době, kdy byla hypotéza temné hmoty většinou a konsensuálně přijata.

V roce 1932 pozoroval Jan Hendrik Oort pohyb hvězd v naší galaxii (Mléčná dráha). V důsledku platnosti Newtonova gravitačního zákona předpokládal, že pokud se každá z hvězd pohybuje prostorem kolem centra galaxie, pak hvězdy, které jsou k centru blíže, musí rotovat mnohem rychleji než ty, které se nacházejí v jejich vzdálenějších

oblastech. Měření byla ale v rozporu s tímto předpokladem a ukázala, že rychlosti hvězd neklesají se vzrůstající vzdáleností od centra galaxie a pohybují se rychleji, než by bylo možné předpokládat z rozložení viditelné hmoty. O rok později v roce 1933 publikoval Fritz Zwicky známý článek, kde poprvé použil termínu *temná hmota*. Důvodem byla pozorování osmi galaxií v tzv. Coma Clusteru (kupa galaxií), které vykazovaly vysoký rozptyl rychlostí, jež nebylo možné vysvětlit vzájemnými gravitačními účinky pozorovatelné (zářící) hmoty v galaxiích. Jednotlivé galaxie v kupě se pohybovaly tak rychle, že by se v ní nemohly udržet gravitační silou viditelné hmoty a musely by z ní uniknout. Zwicky konstatoval: „[...] *docházíme tak k udivujícímu závěru, že temná hmota je zde přítomna s mnohem vyšší hustotou než zářící hmota*“ (1933, 110). Přestože Zwicky vycházel ve svém článku pouze z měření této kupy galaxií, předpokládá zde zároveň, že se jedná o obecný a nevyřešený problém i u ostatních kup galaxií. Další empirická zjištění vysokého rozptylu rychlostí přicházejí až po několika letech, a to jak u další kupy galaxií Virgo (Smith 1936), tak i u rotace zářící hmoty v rámci jedné samotné galaxie M31 (Babcock 1939) a NGC3115 (Oort 1940; podrobněji viz Van Den Bergh 1999). Pozoruhodné je, jak tvrdí Van Den Bergh, že nejen Babcockovy a Oortovy výsledky odchylek rychlostí od očekávané rotační křivky galaxie, ale ani mnohem pozdější výpočty provedené pro galaxii Andromeda (neboli M31) v roce 1970 a 1975 nebyly spojovány s předchozími objevy Zwickyho a Smithe v rámci kup galaxií, a pokud byly vůbec přijaty, tak s velkým skepticismem (Van Den Bergh 1999, 658).

Koncem 60. a počátkem 70. let Vera Rubinová a Kent Ford zkoumali pohyb hvězd ve spirálních galaxiích a zjistili obdobné výsledky jako Oort a Babcock ve třicátých letech. Nicméně ani v tomto případě Rubinová a Ford pravděpodobně zpočátku neznali Oortovy a Babcockovy práce. Rubinová však uvádí, že si vzpomněla na úlohu, kterou museli řešit všichni graduovaní studenti – Zwickyho problém chybějící hmoty. Věnovala potom spolu s Fordem systematické úsilí studiu zhruba šedesáti spirálních galaxií a výzkum prokázal, že spirální galaxie musí obsahovat zhruba desetkrát víc temné hmoty, než bylo odvoditelné z hmoty zářící. Opět převažovala zpočátku neochota mezi astronomy přijmout takové výsledky, ale měření byla nakonec tak jednoznačná a přesvědčivá, že byla přijata.

Vidíme tedy, že přestože existoval po relativně dlouhou dobu dostatek důvodů pro formulaci sjednocující hypotézy chybějící hmoty (k uvedeným je třeba započítat i výpočty týkající se rozdílů rychlostí u párových galaxií) a získání podpory z rozdílných typů pozorování a měření, nestalo se tak zřejmě proto, že anomálie byly v jednotlivých případech ignorovány a nepředstavovaly pro další provoz tzv. normální vědy zásadní překážku.

Přestože se myšlenka, že problém chybějící hmoty může být sjednocujícím fenoménem pro všechny tři případy (samotné galaxie, párové galaxie i kupy galaxií) dis-

² Lorentz v roce 1895 a 1904 učinil pokusy srovnat svou teorii elektronů s výsledky nových experimentů způsobem, který sám považoval za poněkud umělý. *Ad hoc* pomocným předpokladem zavedl deformovatelný a mechanicky nestabilní elektron tak, aby svou teorii uvedl do souladu s experimentem (viz Holton 1999).

kutovala poprvé podrobně již v roce 1961,³ až kolem poloviny 70. let byla většina astronomů přesvědčena, že problém chybějící hmoty má kosmologický význam (viz např. Moore 1999).

Co je tedy jádrem všech těchto rozdílů v pozorování rychlostí oběhu párových galaxií i rychlostí galaxií ve shlucích a dokonce i rychlostí hvězd (a dalšího galaktického materiálu, jako je plyn a prach) v samotných galaxiích? Všechna pozorování a měření docházejí k závěru, že viditelná (zářící) hmota nemůže být zdrojem takového gravitačního působení, aby byly vysvětlitelné takové oběžné rychlosti hvězd v galaxiích nebo oběžné rychlosti galaxií v párech nebo v kupách. Na základě gravitačního zákona by měly například oběžné rychlosti hvězd v galaxiích klesat se vzdáleností od středu galaxie. Pozorování ale ukazují, že rotační křivka galaxie má z tohoto hlediska neočekávaný průběh. Hvězdy rotují kolem centra galaxie s konstantními rychlostmi až do velkých vzdáleností od centra a v některých případech jsou oběžné rychlosti v okrajových částech galaxií dokonce vyšší než hvězd blízko centra galaxie. V každém případě neodpovídá rychlostní průběh hvězd (případně dalšího materiálu) v galaxiích rozložení hustoty pozorovatelné (zářivé) hmoty a vnucuje se tak myšlenka, že je třeba doplnit galaxie dodatečnou nepozorovatelnou temnou hmotou tak, aby pozorovaná rotační křivka galaxie byla ve shodě s celkovým rozložením hustoty zářivé a temné hmoty. To je ve shodě s původní Zwickyho domněnkou, že je samozřejmě možné, aby zářící a temná hmota dohromady poskytly požadovanou podstatně vyšší hustotu. Předpokládá se proto, že temná hmota vytváří obrovské halo, rozkládající se mnohem dále než samotná galaxie a svým gravitačním působením zapříčiňují pozorovaný pohyb hvězd. Zwickyho měření v kupě galaxií vedla k odhadu, že střední hustota až 400× převyšuje hustotu odvozenou ze zářící hmoty. V případě galaxií je to pak velice rozmanité, ale ve spirálních galaxiích, jež zkoumala Rubinová, převyšuje temná hmota zářivou asi desetkrát.

Koncem 70. let nebylo ještě vůbec jasné, v jaké formě lze předpokládat existenci tak vysokého množství temné hmoty. Astronomové se sice zpočátku domnívali, že by chybějící hmotu v galaxiích mohli doplnit různými objekty (od hvězd typu hnědých trpaslíků přes galaktický prach až po černé díry), ale brzy se ukázalo, že většina takových řešení není přijatelná. Detaily těchto diskusí nejsou ale nyní podstatné. Chci se zde soustředit pouze na problémovou situaci, která vznikla díky rozporu mezi pozorováním a teoretickými předpoklady, a na způsob, jakým se věda snažila a snaží tento rozpor eliminovat.

V těchto prvních fázích, kdy čelila astronomie a kosmologie takové anomálii, byl nejčastějším způsobem řešení problému předpoklad, že je třeba doplnit chybějící hmotu v nějaké formě. V principu ale přicházelo do úvahy mnohem více možností, jak se vyrovnat s anomálií:

1. astronomicky stanovená hmotnost galaxií na základě svítivosti vyžaduje korekci;
2. způsob zjišťování rychlostí hvězd a galaxií vyžaduje korekci;
3. galaxie je třeba doplnit skrytou, temnou hmotou;
4. platnost gravitačního zákona vyžaduje korekci na galaktických vzdálenostech.

Pořadí uvedených modifikací odpovídá do jisté míry pravděpodobnosti, s jakou lze předpokládat úspěšnost při snaze získat shodu mezi pozorováním a teorií. Protože hlavními parametry nesouladu je poměrování získaných hmotností a rychlostí, lze očekávat, že způsoby jejich výpočtu by mohly být zatíženy takovými předpoklady, které by k uvedenému nesouladu vedly. Již Zwicky zdůrazňoval, že „*současné odhady hmotnosti mlhovin jsou založeny na pozorování svítivosti a vnitřní rotaci mlhovin. Ukazuje se, že obě tyto metody jsou nespolehlivé a že z pozorované svítivosti z extragalaktických systémů lze získat pouze nižší limity pro hodnoty jejich hmotností a že ze samotných interních rotací není možné určit hmotnosti mlhovin*“ (Zwicky 1937, 217). Podobně je možné problematizovat i způsoby stanovení oběžných rychlostí hvězd a galaxií, které se provádí na základě analýzy posuvu spektrálních čar, tzv. Dopplerova jevu. I zde jsou tedy určité předpoklady, které by mohly vést ke zjištěnému nesouladu a jejichž korekci by bylo možné anomálii řešit. Samozřejmě jako vhodné strategie řešení nesouladu se ukazují pouze ty, které mají nějakou empirickou oporu v pozorování a jejichž korekce by nevedla k destrukci jiných oblastí vědy, kde jsou takové metody běžné a s profitem využívány, a tedy i průběžně ověřovány. Z tohoto hlediska se proto zdá, že v prvních dvou možnostech nebylo možné hledat uspokojivé řešení anomálie a že tyto postupy přes nepochybné metodologické obtíže, s kterými se musely vyrovnávat, nenabízely cestu, jak anomálii řešit. Jako nepřijatelnější způsob vyrovnání se s anomálií se jevila třetí možnost. Postulovat existenci skryté, temné (nezářivé) hmoty, která by byla zdrojem takového gravitačního působení, jemuž se zářivá či svítící hmota evidentně podrobuje. Poslední čtvrtá možnost je na první pohled intuitivně nepřijatelná. Vyžaduje korekci gravitačního zákona, a to jak v jeho nerelativistické (newtonovské), tak v relativistické podobě. Avšak víra vědců v ustálené a přijaté teorie, které byly mnohokrát testovány v přísných empirických testech a které predikují s dříve nedosažitelnou přesností mnoho empirických jevů, neumožňuje benevolentně měnit základní východiska těchto teorií ve chvíli, kdy čelí nějaké anomálii.

Z hlediska metodologie vědy se nabízí možnost srovnat tuto situaci se stávajícími metodologickými koncepcemi a prověřit je tak zpětně z hlediska jejich metodologické úspěšnosti. Poskytují známé metodologické koncepce odpovídající nástroje pro závazné postupy či alespoň doporučení pro chování vědců v těchto situacích, kdy je

³ Na konferenci v Santa Barbaře o stabilitě systémů galaxií (viz Van Den Bergh 1999).

třeba čelit nějaké anomálii? Např. Lakatosova koncepce vědeckých výzkumných programů (Lakatos 1968, 1970) pracuje s heuristikami, jež mají vědci umožnit racionální kroky v takovém případě. Negativní heuristika zakazuje provádět změny v tvrdém jádře teorie (tj. v základních rovnicích a fundamentálních předpokladech) a pozitivní heuristika vede naopak vědce k takovým povoleným modifikacím, které se týkají ochranného pásu teorie (tj. v zásadě všech dodatečných předpokladů, jež je třeba vždy přijmout, abychom mohli teorii vůbec nějak srovnat se skutečností). To v zásadě odpovídá většinové strategii ve zmíněných případech, kdy většina vědců nepředpokládá, že by bylo třeba vzhledem k anomálii modifikovat gravitační zákon, protože ho chápe jako součást tvrdého jádra výzkumného programu.

Bylo by tak uspokojivé zjistit, že většinová reakce vědců v otázce temné hmoty byla v souladu s Lakatosovým modelem vědeckého vývoje, což by jistě posílilo racionální koncepcí vývoje vědeckého myšlení vzhledem k jejich postmoderním a víceméně iracionálním konkurentům. Nechci nyní tvrdit, že tomu tak bohužel není, ale chci se pokusit ukázat, že situace je poněkud složitější, než by se na první pohled mohlo zdát. Než se ale pokusím srovnat 3. a 4. možnost vyrovnání se s anomálií, je třeba představit 4. možnost podrobněji.

4 Temná hmota a alternativní hypotézy

Na rozdíl od zmiňované většinové strategie, která byla zvolena pro vyrovnání se s anomálií v 70. letech, když byly touto většinou přijaty mnohé interpretace nejrůznějších pozorování, která jsme zmiňovali výše, existovala minorita těch, kteří s přijatou strategií nesouhlasili a hledali řešení anomálie (tj. dynamického rozporu v pohybech na galaktických a větších vzdálenostech) právě v korekcích gravitačního zákona. V roce 1983 publikoval Mordehai Milgrom modifikaci newtonovské dynamiky (tzv. teorii MOND) jako možnou alternativu k hypotéze skryté hmoty (Milgrom 1983, 1983a, 1983b). V úvodu tvrdí: „Uvažuji možnost, že ve skutečnosti neexistuje mnoho skryté hmoty v galaxiích a systémech galaxií. Pokud se určitá modifikovaná verze newtonovské dynamiky použije k popisu pohybu těles v gravitačním poli (např. galaxie), pozorovatelné výsledky lze reprodukovat bez potřeby předpokladu značného množství skryté hmoty. Rozličné charakteristiky galaxií vyplývají bez dalších předpokladů“ (Milgrom 1983, 365). Milgrom zde jednoduše předpokládá, že Newtonův druhý zákon nepopisuje pohyb objektů v podmínkách galaxií a systémech galaxií. Setrvačnost podle jeho názoru není úměrná zrychlení objektu, ale je jeho obecnější funkcí. V zásadě Milgrom modifikuje platnost druhého zákona pouze pro velmi malá zrychlení a pro mnohem větší zrychlení, než je akcelerační konstanta (a_0 – zavedena v rámci MOND), dostáváme opět Newtonův druhý zákon (Milgrom 1983, 366).

Taková úprava druhého Newtonova zákona je pro vědeckou většinu nepřijatelná nejen proto, že jde o změnu mnohokrát testovaného zákona a zároveň jádra

Newtonovy teorie, ale především proto, že jde o *ad hoc* modifikaci teorie. Akcelerační konstanta, jejíž velikost je zavedena účelově tak, aby teorie souhlasila s pozorováním, nemá žádný jiný fyzikální význam a nevyplývá z ničeho jiného než z požadavku sladit pozorované jevy s teorií. Neznamená to, že by takový postup nemohl být úspěšný, ale z hlediska normativní metodologie vědy patří k těm postupům, od nichž by se měla racionálně budovaná věda oprostit. Na druhé straně ale na vymezení platnosti teorie pouze pro určitý rámec či oblast není obecně nic špatného. Obdobným způsobem přechází relativistická fyzika do newtonovské v případě rychlostí mnohem menších, než je rychlost světla, či kvantová teorie do makroskopické fyziky. Na předpokladu, že gravitace od určitých vzdáleností, v kterých navíc nebyla zatím přímo testována, funguje pozměněným způsobem, není zase tak nic nepřijatelného. Rozdíl mezi Einsteinovou teorií relativity a Milgromovou teorií MOND spočívá z hlediska metodologie v tom, že Einstein dosáhl své teorie tím, že vyšel z určitých fyzikálních principů, jež měly být splněny ve všech inerciálních systémech a takový požadavek ho dovedl k formulaci teorie, zatímco v případě MOND je modifikována fundamentální část Newtonovy teorie jen proto, abychom zajistili soulad s pozorovanými jevy. Sám Milgrom si je vědom této skutečnosti a také proto charakterizuje svou teorii jako „limitovanou fenomenologickou teorii“, čímž se snaží vyjádřit to, že „teorie není motivována a konstruována z fyzikálních principů“ (Milgrom 2002, 50). Takové strategie nemají často většinovou důvěru.

Obecně není tedy na myšlenke, že by se gravitace (a tedy i zrychlení) mohla chovat na dostatečně velkých vzdálenostech jinak než na vzdálenostech, s kterými jsme zatím měli bezprostřední zkušenost, nic fyzikálně nepřijatelného. Ostatně pro určitou část vědců je mnohem přitažlivějším způsobem (ne nutně ale teorií MOND), jak bychom se mohli vyrovnat s anomálií. Např. sama Rubinová, která přijala a podporuje mainstreamovou koncepci skryté hmoty, řekla: „Kdybych si mohla vybrat, chtěla bych se učít, že Newtonův zákon musí být modifikován, aby správně popisoval gravitační interakce na velkých vzdálenostech. To je mnohem působivější než vesmír vyplněný novým typem subnukleární částice“ (Brooks 2005, 30).

Bohužel v otázce volby strategie se nemůžeme dočkat podpory ani od obdobných historických případů v astronomii. Ty sice existují, ale nepreferují tu či onu strategii a nelze proto na jejich základě formulovat nějaký obecný princip, jenž by měl heuristickou úlohu v problémových situacích vědy. Oba dále zmiňované případy jsou sice klasickými případy *ad hoc* řešení (podrobněji viz Havlík 2008), jak se vyrovnat s jevy, ovšem s radikálně odlišnými výsledky. Prvním případem je známá hypotéza existence extra planety za planetou Uran. Adams a Le Verrier nezávisle na sobě v letech 1844 až 1846 postulovali existenci další planety (v té době neznámé planety Neptun) za Uranem, aby vysvětlili jejím gravitačním působením perturbace v pohybech Uranu. Strategií bylo srovnat gravitační teorii s pozorovanými jevy a v tomto případě bylo *ad hoc* řešení – postulování chybějící hmoty (tj. planety) na další oběžné dráze tak, aby její gravitační působení bylo ve shodě s pozorovaným pohybem planety Uran – úspěšnou predikcí, protože

vedlo k následnému objevu nové planety na předpovězeném místě. Ve druhém případě postupoval Le Verrier obdobně a postuloval v roce 1856 existenci planety Vulkán, aby vysvětlil stáčení perihelia Merkuru. Když ale nebyla planeta pozorována ve vypočtených místech, modifikoval Le Verrier hypotézu planety na drobné planetoidy (obtížněji pozorovatelné) a později dokonce na *nepozorovatelnou hmotu*, aby dosáhl souhlasu se stávající Newtonovou gravitační teorií. Druhý případ je také *ad hoc* řešením, ale na rozdíl od prvního neúspěšným. Stáčení perihelia Merkuru není způsobeno žádnou další hmotou a je možné ho vysvětlit až modifikací Newtonova gravitačního zákona v rámci Einsteinovy obecné relativity.

Zdá se tedy, že pro volbu strategie 3 nebo 4 neexistuje jiný než empirický důvod. Obě se ukázaly být v těch správných případech progresivní, ale předem neexistovaly žádné náznaky či důvody, proč by v tom či onom případě měla být jedna úspěšnější než druhá. Navíc postupné modifikace druhé Le Verrierovy hypotézy planety Vulkán působí poněkud bizarně a nepřesvědčivě, když ve výsledku postulují *nepozorovatelnou hmotu*, která má stáčení perihelia Merkuru způsobovat. Ve skutečnosti to je ale stejná strategie jako v případě současné hypotézy skryté (temné) hmoty. Jistě jsou tu rozdíly. Le Verrier dvakrát změnil svou hypotézu Vulkánu vzhledem k absenci pozorování a tato „evoluce“ hypotézy ji činí mnohem více *ad hoc*, než je tomu v případě skryté hmoty. Dalším důvodem, proč nelze chápat hypotézu skryté hmoty jako čistě *ad hoc* řešení, je, že empirická podpora hypotézy je sice stále problematická, ale existuje více teoretických předpokladů, s nimiž je v souladu. V takovém širším rámci je pak hypotéza skryté hmoty mnohem přesvědčivější než Le Verrierův postup od Vulkánu k nepozorovatelné hmotě.

Srovnáme-li tedy 3. a 4. strategii bez ohledu na širší rámec a evoluci modifikací hypotéz, jsou samy o sobě rovnocenné. Buď postulujeme existenci takové entity, jež se *neprojevuje žádným jiným způsobem* než pouze požadovaným gravitačním působením (tj. neexistují žádné jiné empirické důsledky, než ty, pro které byla entita zavedena), nebo vhodným způsobem modifikujeme gravitační působení. V tomto smyslu jsou obě řešení plně rovnocenná a neodlišitelná. V prvním případě sice dochází ke zmnožení substancí či entit, což je podle metodologického principu úspornosti či Occamovy břitvy přijatelné až po vyčerpání všech úspornějších řešení. Praxe moderní částicové fyziky ale naopak ukazuje, jak je to běžný postup. Zde se často zavádí nové pole vždy, když je příležitost. Obě uvažované strategie jsou tedy v této úzké perspektivě neodlišitelné. Ovšem s ohledem na širší rámec a evoluci hypotéz zde existují teoretické předpoklady, jež zatím preferují hypotézu skryté (temné) hmoty. Jaké to jsou?

Hypotéza temné hmoty totiž umožňuje řešit i problém chybějící hmoty v kosmologickém měřítku. Převládající model inflačního vesmíru předpokládá plochý vesmír, jehož celková hustota energie se musí rovnat určité kritické hodnotě, jež odlišuje uzavřený (pozitivně zakřivený) a otevřený (negativně zakřivený) vesmír. O podobě vesmíru svědčí mnohá přesná pozorování drobných odchylek v teplotě mikrovlnného pozadí (experimenty COBE, WMAP), která představují empirickou podporu pro plochý vesmír s kritickou

hodnotou hustoty energie. I přes veškeré obtíže s určováním a odhadem množství hmoty ve vesmíru se pozorování drasticky rozcházel s přijatými modely. Původní představy vedly k rozdělení na pouhých 4 % pozorovatelné hmoty ve vesmíru a 96 % neznámé temné hmoty. Později, po zjištění přechodu rozpínání vesmíru k akcelerované expanzi, bylo třeba nalézt mechanismus, jenž je za zrychlující expanzi zodpovědný. Na scénu nastoupila další temná stránka kosmologie ve formě temné energie, která je na rozdíl od temné hmoty sebeodpudivá a zůstává uniformně rozložena ve vesmíru. Obě složky tak spojuje to, že jsou temné, protože neemitují ani neabsorbují světlo, a stejně tak jsou obě také stále neznámé povahy. Objevy akcelerované expanze a pozorování mikrovlnného pozadí vedly k přijetí stávajícího kosmologického modelu, v kterém mají obě temné komponenty své nezastupitelné místo (viz Reiss 1998, Perlmutter 1999, Wang 2000, Ostriker a Steinhardt 2003). Procentuální rozložení základních komponent ve vesmíru (4 % baryonová hmota, 23 % temná hmota, 73 % temná energie) se zhruba od roku 2000 nezměnilo (Ostriker a Steinhardt 2003; Peter 2012).

V tomto širším kontextu se tedy zdá, že existují nepřímé empirické důsledky pro volbu strategie temné hmoty. Její postulování neřeší pouze lokální problém pohybu hvězd a plynu v galaxiích a zároveň vzájemné pohyby galaxií v párech či kupách, ale řeší i globální problém chybějící hmoty v kosmologickém měřítku. Přijetím hypotézy existence temné hmoty se tak řeší obtíže na více úrovních a daří se i dosáhnout shody v rámci soudobého kosmologického modelu.

To je v případě hypotézy temné hmoty specifické a lze říci, že jde o problémovou situaci vědy, která nemá v dosavadní historii vývoje vědeckého poznání obdobu. Nejen proto je ale srovnání se stávajícími metodologickými koncepcemi obtížné. Zdánlivá shoda s Lakatosovou koncepcí vědeckých výzkumných programů, tak jak jsem ji výše naznačil, není při podrobnější analýze příliš přesvědčivá. Pokud bychom se pokusili nějak zahrnout koncepcí pracující s temnou hmotou pod Lakatosovu koncepci vědeckých výzkumných programů, jaké obtíže bychom museli řešit?

5 Temná hmota, alternativní hypotézy a metodologické koncepce vývoje vědy

Například, jak by byl takový program identifikovatelný na základě tvrdého jádra teorie? Patřila by hypotéza skryté, temné hmoty do tvrdého jádra nebo do ochranného pásu teorie? Mohla by se stát alternativní strategie založená na modifikaci Newtonovské dynamiky (MOND) alternativním výzkumným programem? Obecné výhrady vznesené proti vágnosti Lakatosova modelu Kuhnem a Feyrabendem se v tomto konkrétním případě potvrzují. Lakatosův model je dobře aplikovatelný na vyhraněné, většinou fyzikální teorie. Z hlediska Newtonovy či Einsteinovy fyziky by nebyl problém identifikovat tvrdé jádro teorie s fundamentálními rovnicemi teorie a všechny aproximace a zanedbání posunout do ochranného pásu. Jak ale postupovat v případě, kdy řešíme problém chybějící hmoty?

Pokud bychom řekli, že hypotéza je v kompetenci výzkumného programu newtonovské nebo einsteinovské teorie (pro většinu výpočtů galaktických pohybů není třeba kalkulovat s relativistickými efekty), pak bychom museli brát problém chybějící hmoty jako anomálii, jíž program čelí. Podle heuristik bychom nesměli modifikovat jádro (fundamentální rovnice), ale pouze provést vhodné změny v ochranném pásu teorie. Patřilo by k těmto změnám postulování temné hmoty, která nemá žádné jiné empirické důsledky než řešení pozorovaného gravitačního působení nebo by to již bylo krokem vedoucím ke stagnaci programu a případně, po tak dlouhé době nejasností kolem temné hmoty, i k jeho degeneraci? Pokud bychom to připustili, pak bychom Milgromovu teorii MOND museli chápat jako alternativní výzkumný program. Pracuje s takovým tvrdým jádrem, jež se odlišuje od newtonovské (a v relativistickém tvaru⁴ od einsteinovské) fyziky, a zakládá tedy odlišný výzkumný program.

Milgrom v jeho rámci předložil sérii tří článků, v kterých se pokusil vysvětlit dynamiku galaxií a systému galaxií prostřednictvím modifikované Newtonovy dynamiky. Kromě pozoruhodné shody, které docílil, jak jsem se snažil ukázat, poněkud příliš *ad hoc* předpokladem o zrychlení a gravitaci v galaktických podmínkách, se mu podařilo vysvětlit bez hypotézy působení dodatečně skryté hmoty většinu rozporů galaktické dynamiky, ať již v samotných galaxiích nebo mezi galaxiemi.⁵ Součástí jeho tří článků je i seznam sedmi predikcí, které z teorie MOND vyplývají a mohou být empiricky ověřovány a dále i zdůraznění dodatečných aspektů, které jsou idejemi MOND silně ovlivněny: 1) formování galaxií; 2) evoluce galaxií; 3) otázka stability galaktických disků (Milgrom 1983a, 381–383). Milgrom si cení té skutečnosti, že „mnoho predikcí MOND vyplývá přímo ze základních premis a nevyžadují žádnou další speciální teorii“ (Milgrom 2009, 5). Takovému (případnému) alternativnímu výzkumnému programu chybí již jen kosmologické důsledky, které dominantní výzkumný program temné hmoty obsahuje. Ale i v tomto případě Milgrom upozorňuje na to, že od relativistického rozšíření MOND, které je nutné, protože kosmologická expanze souvisí s formováním struktur ve vesmíru, lze očekávat i kosmologické důsledky (Milgrom 2001, 14). Zdálo by se tak, že se pravděpodobně jedná o úspěšný výzkumný program, který předkládá řešení anomálie včetně dalšího empirického růstu teorie, a splňuje tak Lakatosova kritéria pro program v progresivní fázi. Skutečnost je však opačná. Naprostá většina fyziků, astrofyziků, astronomů a kosmologů se přiklání ke konceptu temné hmoty a nejrůznějšími způsoby se snaží o odhalení její podstaty.

4) Nyní již existují i relativistické varianty MOND, např. TeVeS (Bekenstein 2005, Bekenstein a Sanders 2005), ale je znáto, že v této formě se nejedná o konečnou teorii (Milgrom 2009, 5, 12).

5) Milgrom přiznává, že MOND plně nevysvětluje chybějící hmotu v kupách galaxií. Sice podstatně redukuje potřebné množství chybějící hmoty, ale stále zbývá rozdíl mezi požadovaným a pozorovaným množstvím hmoty v kupách (Milgrom 2009, 12).

Reálně je tak tento program v progresivní fázi, zatímco program MOND, pokud přímo nestagnuje, pak je při vzájemném srovnání v útlumu.

Obtíže při aplikaci Lakatosova modelu ale neznamenají, že aplikace jiné koncepce by byla úspěšnější. Například z hlediska kuhnovské představy paradigmat (Kuhn 1962) bychom pravděpodobně byli vedeni snahou označit možný přechod od stávajícího paradigmatického vidění vesmíru vyplněného temnou hmotou jako mnohem četnější substancí, než je baryonová hmota, zpět k vesmíru, jaký se nám jeví. Např. Milgrom se o své teorii MOND zpočátku zmiňoval v souvislosti s Kuhnem tak, že mu při četbě jeho díla evokovala paradigmatickou změnu. Nebyl si pouze jist, zda změna Newtonova druhého zákona a modifikace gravitačního působení je dostatečně fundamentální pro takovou změnu paradigmatu. Avšak později již označuje MOND přímo jako „čtvrt století staré paradigma“ (Milgrom 2009, 1) a obdobně i koncepci temné hmoty za „paradigma, které jen těžko může vést k nějakým predikcím bez dalšího určení povahy temné hmoty“ (Milgrom 2009, 4). Je to však spíše jen důsledkem obecného trendu užívat termínu paradigma i v případech, kdy by postačil termín koncepce nebo hypotéza.

Jedním z Kuhnových požadavků ohledně paradigmatu je, že *sjednocuje* vědeckou komunitu jak v názoru na obsah a způsob vědecké činnosti, tak i na vidění světa. MOND jistě vykazuje určité paradigmatické znaky, kterými by potenciálně takový konsensus ve vědecké komunitě mohl být dosažen, ale je těžké si představit roli paradigmatu v rámci Kuhnovy koncepce vědeckých revolucí, které v krizové fázi vědy nevíťezilo a přitom přežívá čtvrtstoletí jako „stínové“ paradigma během fáze tzv. „normální vědy“ rozpracovávané v rámci paradigmatu skryté (temné) hmoty. Možná je náš odhad příliš revoluční a to, co považujeme za vítězství paradigmatu (tj. sjednocení vědecké komunity v otázce existence temné hmoty koncem 70. a počátkem 80. let), je spíše jen počátek krizové fáze vědy, který trvá dodnes a žádné z diskutovaných paradigmat zatím nevíťezilo.

Není problém nalézt argumenty ve prospěch toho či onoho názoru: problém temné hmoty je přijat na všech úrovních fyzikálního výzkumu (od fyziky elementárních částic až ke kosmologii) a detekci jsou věnovány nákladné a náročné experimenty. Evidentní znak paradigmatického sjednocení vědy. Trvalý neúspěch v empirické i teoretické oblasti (temná hmota není detekována, není jasné její složení a ze simulací se nedaří získat ani její vlastnosti, jež by nebyly v rozporu s nějakým pozorováním) svědčí spíše o hluboké krizi před revoluční změnou než o „puzzle solving“ v rámci normální vědy. Takto vzájemně se vylučující interpretace jsou dokladem toho, že aplikace metodologického ideálu vývoje vědy je v konkrétním případě velice obtížná, pokud má plně odpovídat analyzované konkrétní historické události. Dosažení podobnosti v dílčích aspektech není problémem pro žádnou z metodologických koncepcí, ale cílem nemůže být nacházení těchto dílčích identifikací, protože jednotlivé metodologické koncepce vývoje vědy se vzájemně nedoplňují, ale vylučují. Cílem by tedy mělo být buď nalezení takové existující

metodologické koncepce, jíž analyzovaný případ plně odpovídá, nebo vyvození důsledků z toho, že plné shody dosáhnout nelze.

Je třeba nyní přiznat, že omezení se na výše diskutované alternativy, tj. na plně podporovanou koncepci temné hmoty a modifikovanou Newtonovu dynamiku MOND, může skutečnou situaci ve vědě poněkud zjednodušovat. Ve skutečnosti existuje několik více či méně ambiciózních pokusů, jak se s anomáliemi vypořádat bez zavedení entity temné hmoty (viz např. Britten 1998, Moffat 2005, Van Nieuwenhove 2007, Asgari a Safari 2010), případně zavedením předpokladu temné hmoty i modifikované gravitace zároveň (viz např. Zhao 2008, Rossi 2009). Tato situace by měla být také zohledněna v případě, že požadujeme přesvědčivý souhlas s metodologickou koncepcí vývoje vědy. Nebylo by tedy východiskem respektování této skutečnosti rozmanitosti návrhů k řešení anomálie? Nejsme v tomto případě svědky přímo flagrantního případu proliferační teorii? Mohla by být tato Feyerabendova metodologická maxima (Feyerabend 1975) naplňována v této snaze o vyrovnání se s problémem chybějící hmoty?

Feyerabend požaduje proliferační teorie takovým způsobem proto, abychom je vzájemně vystavily co nejvíce konkurenčnímu tlaku. Protože je podle Feyerabenda empirické vždy plně určeno teorií, neexistuje reálná možnost, jak porovnat teorii s empirickým světem. To, co je pozorovatelné, je určeno teoretickým pozadím a nezbývá tedy než porovnávat teorie pouze vůči sobě navzájem. V proliferační teorii vidí Feyerabend jedinou možnost, jak neustrnout v dosaženém stavu vědění a jak zajistit vývoj vědy. Mohl by snad tento model odpovídat analyzované situaci? Možná. Ale plně uspokojivý metodologický model to také není. Nezdá se totiž, že by alternativní teorie byly vytvářeny i vzhledem k přijatým a ověřeným teoriím. Navíc v tomto případě není ani proliferační tím hlavním cílem. Alternativní teorie se nevytváří vzhledem k nějaké teorii, ale primárně vzhledem k řešení diskrepance mezi pozorováním a teorií, a je otázkou, zda by vytváření takových teorií pokračovalo, i kdyby byl rozpor vyřešen. Pravděpodobně by se s vyřešením rozporu ztratila i motivace. Konečně ani těch skutečně alternativních teorií řešení rozporu není tolik, kolik bychom očekávali od záměrné proliferační. Také důvod, proč většina uvažuje o teorii temné hmoty a MOND jako o jediných skutečných alternativách, nespočívá v tom, že by MOND byla více propagována než její protivníci, ale spíše v tom, že přes uváděné výhody nabízí jednoduché a konzistentní vysvětlení galaktické dynamiky.

6 Závěr

Jaké závěry bychom měli vyvodit z nelehkého hledání metodologického modelu v tomto konkrétním případě? Používáme zde vlastně problémovou situaci vědy k testování jednotlivých metodologických modelů. Je však oprávněné testovat modely prostřednictvím výjimečných případů? Situace je sice obdobná již zmiňovaným hypotézám planet za Uranem a Merkurem, ale je výjimečná z hlediska trvání, šíře a intenzity výzkumu.

Jestliže o Le Verrierových hypotézách rozhodl celkem brzy dalekohled,⁶ o detekci temné hmoty se vědci snaží nejrůznějšími prostředky od konsenzuálního přijetí hypotézy, tj. více než třicet let. Prokázání Le Verrierových hypotéz byla záležitost pozorovací astronomie, zatímco prokázání detekce temné hmoty je úsilí na široké platformě nejen pozorovacích metod soudobé astronomie, ale také částicové fyziky, experimentů na velkých urychlovačích a v neposlední řadě i numerických simulací a modelů. Detekce a vysvětlení povahy temné hmoty vyžaduje také teoretické zpracování hypotetických částic, jež mají temnou hmotu vytvářet, do stávajícího standardního modelu částic. Jedná se tedy o velmi komplexní vědecký problém, jehož empiricko-teoretické řešení má důsledky na mnoha úrovních vědecké interpretace skutečnosti. Taková výjimečná situace, svědčící mimo jiné o specifické provázanosti a komplexnosti soudobé vědy, by ale měla být metodologickými koncepcemi vývoje vědy uchopitelná a vysvětlitelná, aby tak mohla svými signifikantními rysy inspirovat řešení příštích analogických problémových situací vědy. V případě, že by se potvrdilo, jak jsem se snažil výše jen zhruba naznačit, že stávající metodologické koncepce plně nevystihují takto zajímavou situaci výzkumné praxe, bylo by vhodné uvažovat o jejich modifikaci do takové podoby, která by to umožnila. Možná je ale třeba s takovými závěry počkat, až temné stránky kosmologie budou čitelnější.

Summary

The Dark Side of Cosmology

The currently adopted cosmological model has achieved an agreement among scientists from diverse fields only at the price of admitting that we do not know 96% of the universe. This unknown part of the universe supposedly consists of dark matter and dark energy.

The aim of this paper is to provide not only a genealogy of the concept of dark matter, but also to demonstrate the strategies of ad hoc modification of a theory in the face of anomalies. I take this historical situation as a remarkable model for the methodology of science and I try to compare its details with the prominent methodological conceptions of the development of science. I argue that we are dealing here with a moment in the history of science which is out of ordinary not only for the length of the period during which it the choice among alternative ad hoc hypotheses – e.g., dark matter vs. the MOND theory – has remained open, but also for the strong theoretical ties which the hypothesis of dark matter established to other fields of science.

In the first part of the paper, I outline the history of the hypothesis of dark matter since the 1930s, and try to show how individual observations of anomalies in various areas of astronomy – e.g., of the stars in a galaxy, of galaxies in pairs, and in clusters – slowly and

6) Stáčení perihelia Merkuru bylo sice vysvětleno až po šedesáti letech, ale o osudu Le Verrierových hypotéz bylo rozhodnuto mnohem dříve přímým pozorováním.

independently led to the hypothesis of dark matter. One of the reasons for this relatively long period from the first observations to the commonly accepted hypothesis was the reluctance on the part of many scientists to accept the measurement results. Although the idea that the missing mass could unify many instances of observation was discussed in detail ever since 1961 until the mid-1970s, most astronomers believe that the problem of the missing mass has a cosmological significance.

There were in principle a few other possibilities how to deal with this kind of anomalies. Since the basis of astronomy is the observation, there is a chance that we could find an agreement between theory and the measurement results, if we changed theoretical presuppositions of observations, and also our interpretation of the measured values.

There was also a more radical hypothesis available, namely Milgrom's MOND theory, which tries to achieve the agreement between theory and experiment by means of the changes in the gravitational law for cosmological distances. Milgrom proposed that the Newton's laws must be modified in order to correctly describe gravitational interactions at large distances. But it seems that this type of modification is unacceptable for the majority of scientists, because it has an ad hoc character. As for me, I attempt to show that the hypothesis of dark matter is ad hoc in a similar way. Only when we compare the broader framework of these two ad hoc hypotheses, the dark matter conception turns out to be preferable for its cosmological consequences.

In the second part of the paper, I compare this interesting historical situation in cosmology with the prominent methodological conceptions of development of science. However, I argue that the well-known conceptions of scientific progress – such as those of Kuhn, Lakatos and Feyerabend – are not helpful with respect to the current situation in cosmology. And I think this might motivate us to look for a modification in these methodological conceptions themselves. Yet I conclude that when it comes to this task, we should probably wait for the moment when the dark side of cosmology becomes more legible.

Literatura

- ASGARI, Solmaz a SAFARI, Reza (2010): A Model of $f(R)$ Gravity as an Alternative for Dark Matter in Spiral Galaxies. *Applied Physics Research*, roč. 2, č. 1, arXiv:1010.1840 [gr-qc], 1. 9. 2012.
- BABCOCK, Horace W. (1939): The Rotation of the Andromeda Nebula. *Lick Obs. Bull.*, č. 498, s. 41–51.
- BEKENSTEIN, Jacob D. (2005): Modified gravity vs dark matter: relativistic theory for MOND. PoS JHW2004 012, arXiv:astro-ph/0412652, 1. 9. 2012.
- BEKENSTEIN, Jacob, D. a SANDERS, Robert, H. (2005): A Primer to Relativistic MOND Theory. arXiv:astro-ph/0509519v1, 1. 9. 2012.
- BRITTEN, Roj J. (1998): A Gravitational Diffusion Model without Dark Matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, roč. 95, č. 7, s. 3351–3355.
- BROOKS, Michael (2005): 13 things that do not make sense. *New Scientist*, 2491/2005, s. 30 (<http://www.newscientist.com/article/mg18524911.600-13-things-that-do-not-make-sense.html>), 1. 9. 2012).

- FEYERABEND, Paul K. (1975): *Against Method*. London: New Left Books.
- HAVLÍK, Vladimír (2008): Status ad hoc hypotéz ve vědě. In: Zouhar, Marián (ed.): *Jednotliviny, všeobecniny, významy*. Bratislava: Filozofický ústav Slovenskej akadémie vied, s. 94–110.
- HOLTON, Gerald (1999): *Věda a antivěda*. Praha: Academia.
- KUHN, Thomas S. (1962): *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- LAKATOS, Imre (1968): Criticism and the Methodology of Scientific Research Programmes. In: *Proceedings of the Aristotelian Society*, roč. 69, s. 149–86.
- LAKATOS, Imre (1970): Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. In: Lakatos, Imre a Musgrave, Alan (eds.): *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press, s. 91–195.
- MILGROM, Mordehai (1983): Modification of the Newtonian Dynamics as a Possible Alternative to the Hidden Mass Hypothesis. *The Astrophysical Journal*, roč. 270, s. 365–370.
- MILGROM, Mordehai (1983a): Modification of the Newtonian Dynamics: Implications for Galaxies. *The Astrophysical Journal*, roč. 270, s. 371–383.
- MILGROM, Mordehai (1983b): Modification of the Newtonian Dynamics: Implications for Galaxy Systems. *The Astrophysical Journal*, roč. 270, s. 384–389.
- MILGROM, Mordehai (2001): MOND-a pedagogical review. arXiv:astro-ph/0112069v1, 1. 9. 2012.
- MILGROM, Mordehai (2002): Does Dark Matter Really Exist? *Scientific American*, Aug. 2002, s. 42–50, 52.
- MILGROM, Mordehai (2009): MOND: time for a change of mind? arXiv:0908.3842v1, 1. 9. 2012.
- MOFFAT, John W. (2005): Gravitational Theory, Galaxy Rotation Curves and Cosmology without Dark Matter. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, arXiv:astro-ph/0412195, 1. 9. 2012.
- MOORE, Ben (1999): Dark Matter. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, roč. 357, č. 1763, Science into the Next Millennium: Young Scientists Give Their Visions of the Future. Part 1: Astronomy and Earth Sciences, s. 3259–3276.
- OORT, Jan H. (1940): Some Problems Concerning the Structure and Dynamics of the Galactic System and the Elliptical Nebulae NGC 3115 and 4494. *Astrophysical Journal*, 91, 273–306.
- OSTRIKER, Jeremiah P. a STEINHARDT, Paul J. (2003): New Light on dark Matter. *Science*, roč. 300, 1909–1914.
- PERLMUTTER, Saul et al. (1999): Measurements of Omega and Lambda from 42 High-Redshift Supernovae. *Astrophysical Journal*, 517, 565–586, arXiv:astro-ph/9812133, 1. 9. 2012.
- PETER, Annika H. G. (2012): Dark Matter: A Brief Review. arXiv:1201.3942v1 [astro-ph.CO], 1. 9. 2012.
- REISS, Adam et al. (1998): Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant. *Astronomical Journal*, 116, 109.
- ROSSI, Nicola (2009): Dark Halo or Bigravity? arXiv:0902.0072v1, 1. 9. 2012.
- RUBIN, Vera C. a FORD, Kent W. (1970): Rotation of the Andromeda Nebula from a Spectroscopic Survey of Emission Regions. *Astrophysical Journal*, 159, s. 379.
- SMITH, Sinclair (1936): The Mass of the Virgo Cluster. *Astrophysical Journal*, roč. 83, s. 23.
- VAN DEN BERGH, Sidney (1999): The Early History of Dark Matter. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 111, s. 657–660.

VAN NIEUWENHOVE, Rudi (2007): Vacuum Modified Gravity as an explanation for flat galaxy rotation curves. arXiv:0712.1110 [physics.gen-ph], 1. 9. 2012.

WANG, Limin et al. (2000): Cosmic Concordance and Quintessence. *Astrophysical Journal*, 530, 17–35.

ZHAO, HongSheng (2008): An ecological approach to problems of Dark Energy, Dark Matter, MOND and Neutrinos. *Journal of Physics: Conference Series*, arXiv:0811.3465 [astro-ph], 1. 9. 2012.

ZWICKY, Fritz (1933): Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln. *Helvetica Physica Acta*, 6, 110–127.

ZWICKY, Fritz (1937): On the Masses of Nebulae and of Clusters of Nebulae. *Astrophysical Journal*, roč. 86, s. 217.

Eliška Květová

Emergentní evoluce a emergentní mysl¹

Abstract:

The concept of emergence is generally described as a specific kind of dependency relationship between two levels of properties. The term emergence figures in a number of disciplines beyond its traditional area of the philosophy of mind, for instance in artificial intelligence, the leading discipline of cognitive sciences. The proposed contribution aims to highlight the fact that philosophy is not the only origin of the modern concept of emergence. There is also a biological motivation of the development of the theory of emergence and that is why British emergentism and Darwinism should be mentioned. Life as an emergent property of biological structures could be a source of artificial life conceptions in current artificial intelligence studies. Attention should be paid to the impact of a new description or new interpretation of nature and its development (the theory of evolution) on the interpretation of the mind phenomenon.

Keywords: emergence, evolution, emergent evolution, cognitive science, philosophy of mind, artificial intelligence, Darwinism, theory of mind

1) Tento článek vznikl za podpory Studentské grantové soutěže ZČU v rámci grantového úkolu SGS-2012-083.