

Ve víru kosmologických paradoxů

Rozhovor Bc. Jany Žďárské s prof. Michalem Křížkem u příležitosti jeho 65. narozenin

Jana Žďárská¹, Michal Křížek²

¹ tajemnice Kosmologické sekce České astronomické společnosti, ² pracovník Matematického ústavu AV ČR

■ *JŽ: Pane profesore, v tomto roce slavíte významné životní jubileum. Přesto bych se nejprve ráda přenesla do doby mnohem dřívější. Matematika vám učarovala už jako čtyřletému. Vaše maminka prý tehdy váš první numerický výpočet okomentovala slovy: „Á, narodil se nám matematik...“ Byl to právě ten impuls, který vás navedl na vědeckou dráhu?*

MK: Snad ano. Moje maminka si pečlivě zapisovala otázky, kterými jsem ji neustále trápil. Jako čtyřletý chlapec jsem si jednou v tramvaji něco počítal na prstech, a pak jsem se jí zeptal: „Mami, že 3 krát 4 je 12?“ V tu chvíli myslím pochopila, že budu matematikem. Pravdou je, že jsem po maturitě vlastně vůbec neváhal a šel s nadšením studovat numerickou matematiku na Matematicko-fyzikální fakultu. Moji rodiče rovněž absolvovali matematiku a fyziku na Příro-



S duší matematika...

dovědecké fakultě UK v Praze, a tak jsem se měl vždy kam obrátit, když jsem potřeboval rozlousknout nějaký ten matematicko-fyzikální oříšek.

■ *JŽ: Říká se, že matematika je královnou přírodních věd. Vy jste se však nespokojil pouze s jednou královnou a brzy jste oslovil i tu druhou – fyziku...*

MK: Můj otec se zabýval optickými mřížkami v Ústavu fyziky pevných látek ČSAV. Často mě tam jako malého bral a předváděl mi rozmanité fyzikální pokusy s tekutým dusíkem, skleněnými hranoly či polarizačními sklíčky. Už tehdy jsem cítil, že fyzika je ta nejužasnější disciplína, na níž vlastně doslova stojí dnešní civilizace. Pro absolvování MFF jsem nastoupil do Matematické-

ho ústavu Akademie věd, kde se zabývám numerickým řešením problémů matematické fyziky. Takže jsem fyzice vlastně neutekl a jsem jí stále věrný.

■ *JŽ: Matematika, fyzika,... tak to už je skutečně jen maličký krůček k astronomii. A vy jste jej učinil. Čím vás vlastně vesmír okouznil?*

MK: Asi tím, že jsem se do něj narodil... moje srdce si pak už navždy získal ten neuchopitelný prostor nade mnou. Bylo mi asi tak šest let, když mi tatínek postavil můj první dalekohled. Nikdy nezapomenu, jak jsem v něm se zatajeným dechem sledoval polární čepičky na Marsu či hvězdokupu Kuřátka. Maminka mi zase občas vyprávěla o pražském orloji a kupovala různé astronomické knížky. Toto téma jí bylo blízké, neboť vyučovala matematiku a fyziku na střední škole. Bez tohoto rodinného zázemí bych se asi jen těžko k astronomii dostal. Také s oběma dědečky a později i oběma syny jsem mohl diskutovat mnohé otázky týkající se vesmíru. Zásadně mě též ovlivnil Dr. Jiří Grygar svým televizním pořadem *Okna vesmíru dokořán*.



S druhým dědečkem matematikem Bedřichem Šofrem.



Můj dědeček Jaroslav Křížek, ten, který mě nasměroval.

■ *JŽ: O vás se říká, že jste velmi všestranným vědcem, mimo jiné se čile zajímáte o biologii, chemii či historii vědy. Ve druhé polovině vašeho života se k nim přidala i kosmologie. Co vás v této oblasti nejvíce fascinuje?*

MK: Otázka rozpínání vesmíru mě zajímá již dlouho. Zejména se mi líbí, že lze k jeho popisu použít standardní matematický aparát. Proto se i já snažím veškeré své argumenty popsat pomocí matematických vztahů, aby si každý mohl přepočítat, zda mám pravdu, anebo se mýlím. Také se domnívám, že občas nezaškodí, když se na kosmologii podívá i někdo „zvenčí“, kdo není předem zatížen zavedenými postupy a metodami.

■ *JŽ: Čtenářům Československého časopisu pro fyziku jste znám právě svými kritickými články z oblasti kosmologie – který problém byl tím prvotním?*

MK: V roce 1990 jsem v *Přehledu užití matematiky* prof. Karla Rektoryse narazil na vzorec popisující trajektorii hmotného bodu v gravitačním poli. To mě přivedlo k myšlence naprogramovat si úlohu tří těles, která na sebe v rovině gravitačně působí. Příslušný program zobrazující dráhy těles přímo na obrazovce počítače byl pak uveřejněn v *Rozhledech* matematicko-fyzikálních. Později jsem svůj program dále zobecnil do tří rozměrů a na problém více těles. Výsledné trajektorie jsou popsány soustavou obyčejných diferenciálních rovnic. Shodou okolností jsem tehdy pracoval a stále ještě pracuji v oddělení Matematického ústavu, které se zabývá právě numerickým řešením diferenciálních rovnic. Analýzu chyb mě naučili především Ing. Ivan Hlaváček, Dr. Milan Práger, prof. Karel Segeth a Dr. Emil Vitásek. Jím jsem nesmírně zavázán. Ve svých programech jsem používal klasickou Newtonovu mechaniku, kde se předpokládá nekonečná rychlost šíření gravitační interakce. Ta je ovšem v rozporu



Otázka rozpínání vesmíru mě fascinuje.

s kauzalitou, protože rychlost šíření informace je zcela jistě konečná.

■ *JŽ: Vizualizace trajektorie hmotného bodu, kterou jste úspěšně naprogramoval, vás dovedla k překvapivému střetu s klasickou Newtonovou mechanikou. Jak jste se cítil jako kritik Newtonova modelu?*

MK: Ale já nekritizuji Newtonovu mechaniku, protože je to velice elegantní disciplína. Řadu výpočtů podstatně zjednodušuje a je výbornou aproximací reality na kratších časových intervalech. Je však pravda, že jsem v roce 1996 svůj program pro výpočet trajektorií více těles zobecnil na případ konečné rychlosti šíření gravitační interakce. Problém byl popsán soustavou obyčejných diferenciálních rovnic se zpožděním. Pro dvě tělesa a vhodné počáteční podmínky model dával mírně se rozvíjející

spirální trajektorie, což ovšem odporuje zákonu zachování energie. Někde v systému se tedy energie skrytě generovala.

■ *JŽ: Vytrvale jste pracoval na zobecnění výše uvedeného programu. V jednu chvíli jste se dostal na opravdu tenký led. To tehdy, když jste zaregistroval narušení zákona zachování energie. Měl jste pocit, že právě nastala ta správná chvíle, kdy dojde k přepísování fyzikálních učebnic?*

MK: To rozhodně ne, protože se jednalo jen o nepatrné narušení zákona zachování energie. Intuice mi však napovídala, že můj model popisuje realitu lépe než klasická Newtonova mechanika. Začátkem července 1998 jsem o vlastnostech tohoto systému referoval na konferenci *Modelling'98* v Praze a napsal článek, který vyšel v *Mathematics and Computers in Simulation* v roce 1999. Zde jen krátce zmiňuji neplatnost zákona zachování energie. Báľ jsem se totiž, aby článek nebyl zamítnut. Říkat fyzikovi, že je narušen zákon zachování energie, je podobné jako říkat matematikovi, že neplatí Pythagorova věta. Rozdíl je však v tom, že matematici umějí Pythagorovu větu dokázat – a to hned několika stovkami způsobů, zatímco fyzici přijímají platnost zákona zachování energie bez důkazu, pouze na základě měření, pozorování či zkušeností. Zákon zachování energie je vlastně jen zjednodušení reality vyjádřené pomocí matematických vzorců. Dobře jsem si tehdy uvědomoval, že kdybych přímo napsal, že dvě izolovaná a vzájemně se obíhající tělesa ve vesmíru generují energii, a tedy vlastně existuje jakési kosmické perpetuum mobile, byl by článek okamžitě zamítnut. Byl to však první střípek do mozaiky, kterou budeme dále skládat.



S vědou spojeni už navždy...

■ *JŽ: Z neobyčejné záhady se vyklubal model založený na diferenciálních rovnicích se zpožděním, který by mohl smysluplně objasnit rozpínání vesmíru. To by byl jistě náramný krok vpřed, nemyslíte?*

MK: Záhadě jsem se pokoušel přijít na kloub. Hlavní roli zde hrál pojem gravitační aberace. Tělesa totiž na sebe gravitačně nepůsobila ve svých okamžitých polohách, protože jistou dobu trvá, než se přeneše informace o poloze jednoho tělesa ke druhému. Tím vznikne dvojice nerovnovážných gravitačních sil, které nejsou v přímce. To pak způsobí, že mírně narůstá moment hybnosti. Navíc lze takto přirozeně vysvětlit, odkud se bere energie na nepatrné lokální rozpínání gravitačně vázaných systémů a potažmo pak galaxií, galaktických kup, jejich nadkup a rozpínání celého vesmíru. Tuto důležitou otázku totiž jiné modely neumějí zodpovědět a zavádějí jakousi hypotetickou temnou energii, energii vakua, kvintesenci, časově závislé základní fyzikální konstanty apod. Vodítkem pro mě bylo, že měřitelné aberační jevy vykazují i světlo, neboť se také šíří konečnou rychlostí.

■ *JŽ: Pro podporu své teorie jste učinil další výpočty a poté jste se rozhodl otestovat ji na soustavě Země–Měsíc. Gravitační aberace poměrně věrohodně vysvětluje nepatrnou odpudivou sílu – antigravitaci, která by mohla být nezanedbatelnou příčinou rozpínání vesmíru?*

MK: Je tomu skutečně tak. Prvním systémem, v němž jsem se snažil najít projevy gravitační aberace, byla soustava Země–Měsíc. Věděl jsem, že se Měsíc vzdaluje od Země a vesmír se rozpíná. I když se věří, že tyto jevy nemají nic společného, pokusil jsem se obě rychlosti porovnat. Jaké však tehdy bylo moje překvapení, když jsem zjis-



Se slavným numerickým matematikem prof. Ivem Babuškou.

til, že současná průměrná rychlost rozpínání vesmíru daná Hubbleovou konstantou je 2,6 cm na vzdálenost Země–Měsíc, což je řádově stejně velká hodnota, jako je změřená hodnota vzdalování 3,8 cm za rok Měsíce od Země. Někteří fyzikové mi říkali, že je to jen náhodná shoda čísel, jiní mě dokonce obviňovali z numerologie. Na radu doc. Attily Mészároše z Astronomického ústavu UK jsem se tehdy pokusil ze zákona zachování momentu hybnosti vypočítat, kolik činí rychlost vzdalování Měsíce od Země způsobená slapovými silami. Vyšlo mi jen 2,1 cm za rok. Pro zbývajících 1,7 cm nedávala Newtonova mechanika žádné přijatelné vysvětlení. Gravitační aberace, způsobující nepatrnou odpudivou sílu, však mohla být příčinou tohoto přídavného rozpínání.

■ *JŽ: Hovořili jsme sice o kroku kupředu na cestě objevování tajemství vesmíru, také kroky ale občas vedou cestou klikatou. To*

když jste se díky dalším výpočtům dostal postupně do rozporu se všeobecně uznávanými Newtonovými a Keplerovými zákony. Přesto jste se rozhodl svoji teorii zveřejnit, což jistě vyvolalo nemalé pozdvižení ve vědecké obci.

MK: O gravitační aberaci jsem napsal článek, který jsem zaslal do Communications of Computational Physics. Po řadě diskusí se třemi recenzenty byl článek přijat. Dalo mi ovšem dost práce, než jsem je svými argumenty přesvědčil. Jeden z recenzentů mi například napsal, že mnou uváděné rozpínající se spirální trajektorie planet jsou v rozporu s Keplerovými a Newtonovými zákony. Ubezpečil jsem jej, že o tom vím a že právě o tom můj článek je. Pak jsem mu položil otázku: Odkud ví, že může používat Keplerovy zákony na škálách milionů či miliard let? Zatím máme možnost přímo prověřovat platnost Keplerových zákonů přibližně 400 let a drobné odchylky se v průběhu mnoha let mohou nahromadit natolik, že je lze zpětně detekovat. Uznal, že mám pravdu. Další recenzent mi vytýkal, že můj článek je v rozporu s teorií relativity, neboť tělesa by se k sobě měla naopak přibližovat v důsledku vyzařování gravitačních vln. Odpověděl jsem mu, že teorie relativity není žádná finální teorie gravitace, ale že proti ní nejsou. Jen se snažím zabudovat vliv gravitační aberace do matematických modelů tak, aby byly v souladu s pozorovanými daty.

■ *JŽ: V zahraničí jste teorii gravitační aberace prezentoval vcelku úspěšně. Hodina pravdy ale nastala, když jste se rozhodl publikovat získané informace v českých odborných časopisech.*

MK: O problematice gravitační aberace jsem napsal článek též do Pokroků matematiky, fyziky a astronomie. Jeho předběžnou verzi mi četl Dr. Miroslav Brož z Astronomického ústavu UK. Poukázal na to, že pokud se Měsíc vzdaluje od Země v důsledku



Při bádání s prof. Karlem Segethem.



Gravitační aberace způsobuje nepatrnou odpudivou sílu...

jakýchsi odpudivých sil způsobujících lokální expanzi, měl bych podobnou hypotézu dokázat i pro Zemi, Mars apod.

■ *JŽ: Díky tomu jste se vlastně dostal k vaší nejoblíbenější planetě – Marsu, planetě, jejíž polární čepičky jste jako malý kluk prvně spatřil ve svém dalekohledu.*

MK: Hledání argumentů pro Mars bylo poměrně snadné. Nepřímo o tom totiž vypovídá existence vyschlých řečišť na jeho povrchu. Na Marsu je v současnosti průměrná teplota kolem -63 stupňů Celsia. Před třemi až čtyřmi miliardami let na něm ale tekly řeky, i když Slunce mělo jen 75 % svého dnešního výkonu. Mars tedy musel být v minulosti blíže Slunci, jinak by na každý metr čtvereční jeho povrchu dopadala jen třetinová energie ze Slunce v porovnání se Zemí, což odpovídá trvalému dvoutřetinovému zatmění Slunce. Těžko by pak na Marsu mohly téci po miliardu let stovky velkých řek mezi jeho minus padesátou a padesátou rovnoběžkou, jak je patrné z družicových snímků. Vždyť pokles slunečního svitu o pouhá 2 % způsoboval na Zemi doby ledové. Enormní pokles slunečního svitu o 66,6 % existenci řek na Marsu vylučuje, pokud by Mars byl stále na stejné dráze.

■ *JŽ: Na Marsu nepanuje tak výrazný skleníkový efekt jako na Zemi. V minulosti tomu ale mohlo být jinak. Nedala by se teokoucí voda na Marsu vysvětlit právě tímto efektem?*

MK: Skleníkový efekt na Marsu jistě sehrál určitou roli, neboť zde bylo množství obřích činných sopek, které mohly produkovat oxid uhličitý. Na Zemi je hodně uhlíku uloženo ve vápenci. Povrch Marsu je kromě polárních čepiček ale velice chudý na uhlík. Zkoumáním sedimentů starých 3–4 miliardy let rover Curiosity zjistil, že neobsahuje

žádné uhlíkaté sloučeniny. V současnosti skleníkový efekt na Zemi zvyšuje teplotu povrchu v průměru jen o 28 stupňů Celsia. Na Marsu bychom ale potřebovali teplotu alespoň o 75 stupňů vyšší, aby na něm mohly existovat řeky, protože Slunce mělo menší výkon, jak už jsem zmínil. Navíc Mars má zhruba desetkrát menší hmotnost než Země a těžko by si mohl udržet hustou atmosféru. Nesmíme také zapomínat, že Mars musel mít kdysi větší odrazivost, protože v jeho atmosféře byla přítomna oblaka, ze kterých pršelo či sněžilo. Mars tak nebyl jen rudou planetou, protože měl na svém povrchu mnohem více vody, sněhu a ledu. Podle mého názoru samotný skleníkový jev existenci řek Marsu vysvětlit nemůže.

■ *JŽ: Domníváte se, že Mars mohl být blíže ke Slunci a tedy snad – stejně jako Země – i ve zmiňovaném pásu života – tzv. obyvatelné zóně?*



Cenná spolupráce s čínskými univerzitami již nese své ovoce.

MK: Jsem přesvědčen, že Mars se v době svého vzniku nacházel o několik desítek milionů kilometrů blíže Slunci než dnes, což je opět v dobré shodě s lokální expanzí danou Hubbleovou konstantou. Hledání argumentů pro to, že Země kdysi byla blíže Slunci, bylo mnohem obtížnější. Shodou okolností jsem v prosinci 2007 navštívil na MFF UK přednášku Dr. Jiřího Grygara *Žeň objevů*, kde jsem se dozvěděl, že se Země musí pohybovat uvnitř jistého velice úzkého mezikruží – tzv. ekosféry, aby na ní mohl bez přestávky existovat život už tři a půl miliardy let. Musely zde tedy být dlouhodobě velice stabilní podmínky. Během přednášky mě napadlo, že se ekosféra musí s časem rozpínat, protože výkon Slunce pozvolna narůstá. Zároveň tak bylo možno vysvětlit známý paradox horkého mladého Slunce. Aby Země získávala ze Slunce po dobu tří a půl miliardy let téměř konstantní sluneční tok, vycházela rychlost vzdalování Země od Slunce pět metrů za rok. Skutečná rychlost vzdalování mohla být i větší, protože v době vzniku života byla Země mnohem teplejší, než je dnes. Opět tak dostáváme hodnoty řádově srovnatelné s Hubbleovou konstantou.

■ *JŽ: Rozpínání vesmíru na malých škálách vysvětluje i současné oběžné dráhy vzdálenějších planet, například Neptunu. Lokální expanze by tak mohla pomoci vysvětlit i jeho současnou polohu.*

MK: Samozřejmě jsem pokračoval v hledání dalších argumentů podporujících skutečnost, že se vesmír rozpíná všude kolem nás i na docela malých škálách, jako je sluneční soustava. Soustředil jsem se též na Neptun, protože jeho dráha je ze všech planet nejméně rušena ostatními planetami. Projevy gravitační aberace se proto na něm dají dobře studovat. Jak známo, Neptun se nepatrně opožďuje na své dráze vůči trajektorii počítané z Newtonových zákonů. To zase odpovídalo jakési odpudivé síle



Oceněn prof. Jiřím Drahošem.

způsobující lokální expanzi. Kdysi se předpokládalo, že je to způsobeno gravitačním působením Pluta. Později se však ukázalo, že vliv Pluta je zcela zanedbatelný. Navíc bylo záhadou, jak se vůbec tak obrovská planeta, jakou Neptun je, mohla zformovat tak daleko od Slunce, kde jsou veškeré pohyby pomalé a nachází se řídké prostředí.

■ *JŽ: Díky velikosti a dráze Neptunu jsme se opět dostali k ohroženému zákonu zachování energie, že?*

MK: Neptun se však mohl zformovat o mnoho astronomických jednotek blíže Slunci a pak díky lokální expanzi odcestovat dále. Jinými slovy, celková energie Neptunu samovolně narostla, což zjevně odporuje zákonu zachování energie, uvážíme-li, že sluneční soustava je dostatečně izolovaná od vlivu okolních hvězd. Totéž platí i o Uranu a dalších planetách.

■ *JŽ: Podle modelu migrace planet, který byl vytvořen na univerzitě v Nice, se mohla alespoň jedna z obřích planet vydat směrem ke Slunci. Neodporuje to vaší teorii?*

MK: Planety díky různým rezonančním samozřejmě mohou migrovat ke Slunci. Model vytvořený v Nice se však opírá o Newtonovu mechaniku. Pokud se tedy nějaké planety vzdalují od Slunce, musejí se jiné planety k němu přibližovat. Jinými slovy, model z Nice předpokládá absolutní platnost zákona zachování energie na škálách miliard let, což je podle mého názoru chybný předpoklad. Také dělat jakékoliv závěry o vzdálenostech planet před miliardami let z numerických simulací je přinejmenším odvážné, protože problém více těles

je nestabilní vzhledem k nepatrným změnám počátečních podmínek. V tomto případě numerická chyba a též chyba modelu rostou exponenciálně. Ještě bych rád dodal, že se Jupiter jen těžko mohl zformovat dále od Slunce, než je nyní. Mars by totiž narostl do větší velikosti, protože by mu Jupiter neubíral tolik stavebního materiálu.

■ *JŽ: Občas slycháte názor, že by se matematici neměli fyzikům míchat do řemesla. Podobný názor sdílel i váš nizozemský kolega Jan Brandts. To, že jste se k tomu nakonec odhodlal, měl na svědomí jeden nevinný oběd.*

MK: Několika našim geofyzikům a astronomům jsem nabízel, abychom o tématu gravitační aberace a lokální expanze vesmíru napsali společně článek do nějakého specializovaného geofyzikálního či astronomického časopisu. Jejich způsob argumentace a vyjadřování je mi totiž vzdálený a podstatně se liší od stylu psaní matematických článků, tj. motivace, definice, věta, důkaz, aplikace, na který jsem zvyklý. Bohužel mě všichni odmítli. Obrátil jsme se tedy na svého kolegu matematika Dr. Jana Brandtse z Univerzity v Amsterdamu. Ten namítal, že bychom se fyzikům neměli plést do řemesla. Avšak jednou na rohu Žitné a Štěpánské ulice, když jsme šli spolu na oběd, mě inspiroval myšlenkou akumulace malých chyb, kterou lze formulovat zhruba takto: Žádný matematický model nepopisuje realitu naprosto přesně. Pokud se budou skutečné trajektorie nějakého systému dvou či více těles lišit od newtonovského modelu o malé epsilon za rok, pak za miliardu let může být tato chyba poměr-

ně velké číslo, protože se budou kumulovat chyby z předchozích let. Brandts sám tuto myšlenku nepokládal za podstatnou, ale já jsem si uvědomil, že v tom je jádro pudla, tj. hledaný záhadný zdroj pozorovaného lokálního rozpinání může být vlastně způsoben jen chybou newtonovského modelu. Později jsme o tom napsali kapitolu do knihy *Dark Energy, Theory, Implications and Roles in Cosmology*, která vyšla New Yorku.

■ *JŽ: Německý filosof Arthur Schopenhauer kdysi prohlásil, že každý nový objev prochází třemi stadii: v prvním je směšný, ve druhém je potírán a ve třetím je samozřejmý. Ve kterém stadiu se nachází vaše teorie lokální expanze sluneční soustavy?*

MK: Po dvaceti letech sbírání rozličných argumentů si myslím, že končí první stadium a začíná druhé. Nevím, jak dlouho bude trvat, ale každopádně to bude běh na dlouhou trať. Lidé se totiž neradi vzdávají zajatých stereotypů.

■ *JŽ: O stadiu potírání vaší teorie svědčí i problémy s publikováním těchto informací.*

MK: Když jsem nasbíral asi deset observačních argumentů ukazujících, že se pozvolna rozpiná celá sluneční soustava, napsal jsem o tom další článek. Nejprve jsem jej zaslal do prestižního časopisu *Astrophysical Journal*. Po několika měsících mi odepsali, abych jej raději uveřejnil v nějakém více filozofickém časopisu. Žádné periodikum zabývající se filozofickými otázkami v astronomii jsem však nenalezl. Článek jsem tedy nabídl do časopisu *New Astronomy*, jehož zaměření se mi jevílo příhodné. Recenzenti napsali celkem příznivé posudky. Vedoucí redaktor



Vášnivě diskuse s dr. Jiřím Grygarem.

časopisu *New Astronomy* mi pak napsal, že zařadí můj článek jako první do nového ročníku 2012, což mě velice potěšilo. K prokázání lokální expanze potřebujete buď měřit vzdálenosti velice přesně jako v případě Měsíce, nebo musíte uvažovat hodně dlouhé časové intervaly, kdy se drobné odchylky nahromadí tak, že se projeví. Na toto téma mi pak vyšel další článek v časopise *Gravitation and Cosmology* s prof. Lawrence Somerem z Washingtonu, D.C.

■ *JŽ: Vratme se ještě k vaší knize Antigravitace, ve které popisujete i zmiňovanou gravitační aberaci. Tato kniha byla nedávno přeložena do anglického jazyka a její rozšířené vydání vyšlo v Německu.*

MK: Česká verze knížky je volně k dispozici na internetu. Snažil jsem se v ní shromáždit veškeré observační argumenty podporující myšlenku lokální expanze. Bylo zcela nezbytné přeložit ji do angličtiny, protože jen tak se její hlavní myšlenky mohly dostat do celého světa. Samozřejmě řada vědců s mými názory nesouhlasí. Dostal jsem však i desítky pozitivních ohlasů na svoji knížku.

■ *JŽ: O vás je známo, že patříte k odpůrcům standardního kosmologického modelu. Proč mu nevěříte?*

MK: Hlavní problém spočívá v tom, že škálově neinvariantní a nelineární Einsteinovy rovnice se aplikují na celý vesmír, který je o alespoň 15 řádů větší objekt než astronomická jednotka, tj. vzdálenost Země od Slunce. Platnost Einsteinových rovnic na obrovských kosmologických škálách se bere jako samozřejmost a jen málokdo si klade otázku, zda je vůbec možné dělat takové směle extrapolace. Každý matematický model má nutně svá omezení a správnost Einsteinových rovnic se testuje na podstatně menších škálách za mnoha zjednodušujících předpokladů. Platnost zákonů kvanto-



Na posvátné půdě AV a Učené společnosti s doc. Lubošem Perkem.

vé mechaniky přece také nemůžete testovat na kilometrových objektech. Standardní kosmologický model se tak potýká s řadou paradoxů, a proto se komunita jeho odpůrců viditelně rozrůstá.

■ *JŽ: Dříve se vědci – protože neměli pádné důkazy – domnívali, že je Země plochá. Podobné úvahy jsou v této chvíli vedeny i o vesmíru.*

MK: Kdyby byl náš vesmír plochý a měl při lokálním průměrování všude stejnou teplotu, tlak i hustotu v pevném časovém okamžiku, tak by se musela informace šířit nekonečnou rychlostí, což není možné. Plochosť vesmíru se však dovozuje z toho, že součet dvou kosmologických parametrů odpovídajících hustotě temné hmoty a temné energie je přibližně roven 1. To nás však neopravňuje tvrdit, že je vesmír plochý jako eukleidovský prostor. Trochu mi to připomíná středověk, kdy se hlásalo, že Země je

placatá. Podle mého názoru lze vesmír modelovat trojrozměrnou sférou s nepředstavitelně velkým poloměrem, který s časem roste. Homogenní a izotropní rozložení hmoty totiž způsobuje pouze kladné zakřivení prostoru. Přitom vesmír kdysi homogenní a izotropní byl. Později se nemohl skokem změnit na nekonečný vesmír s eukleidovskou či hyperbolickou geometrií.

■ *JŽ: Přejděme nyní k tolik diskutované temné hmotě, kterou trefně přirovnáváte k džinovi, jenž byl vypuštěn z lahve...*

MK: Existenci jakési záhadné temné hmoty, která pohromadě drží galaktickou kupu v souhvězdí Vlasy Bereniky, předpověděl v roce 1933 Fritz Zwicky. Opíral se ovšem o velice nepřesná data a učinil také velké množství nejrůznějších zjednodušujících předpokladů. Například při určování vzdálenosti kupy se spletl o řád, při určování hmotnosti galaxií se spletl o více než dva řády, galaxie nahradil hmotnými body, uvažoval jen klasickou Newtonovu mechaniku, prostor zakřivený tisícovkou galaxií nahradil eukleidovským prostorem, zanedbal relativistické efekty apod. Přesto řada vědců tvrdí, že Zwicky temnou hmotu objevil. Já se domnívám, že Zwicky jen vypustil džina z lahve, kterého do ní zpět už nikdo nezažene.

■ *JŽ: Je známo, že Zwicky měl české kořeny, protože jeho maminka byla Češka. Kdybyste měl možnost se s ním setkat, na co byste ho zeptal?*

MK: Asi bych se ho zeptal, u kterých konkrétních galaxií měřil červený posuv. Zwicky to totiž bohužel ve svých člancích neuvádí, a proto se jeho výpočet nedá věrně zrekonstruovat.

■ *JŽ: Dnes ale máme mnohem přesnější údaje o vzdálenostech či hmotnostech galaxií.*



Kolébka nových teorií.

Jak vypadá hmotnostní bilance oné galaktické kupy dnes?

Hmotnosti a vzdálenosti galaxií v oné kupě jsou zmapovány velice podrobně. V minulém století se totiž věřilo, že pouhá tři procenta hvězd v naší Galaxii jsou červení trpaslíci. To jsou hvězdy, které mají méně než polovinu hmotnosti Slunce. Dnes však víme, že červených trpaslíků je alespoň 70 procent, což podstatně zvyšuje předpokládanou baryonovou hmotnost všech galaxií. Navíc je zde srovnatelné množství hnědých a černých trpaslíků, které za hvězdy ani nepovažujeme. Podle nedávných měření je uvnitř galaktických kup také pětkrát více baryonové hmoty ve formě horkého plynu emitujícího rentgenové záření než baryonové hmoty obsažené v galaxiích. Zwickyův paradox pozorovaných velkých rychlostí tak může mít zcela přirozené vysvětlení.

■ *JŽ: Temná hmota okouzila i jednu velmi zajímavou ženu, vědkyni Věru Rubinovou. Podle vás lze tedy pozorované vysoké rychlosti hvězd na okraji galaxie vysvětlit i bez temné hmoty?*

MK: Věra Rubinová zjistila, že hvězdy neobíhají střed spirálních galaxií podle Keplerových zákonů, a na základě toho také postulovala temnou nebaryonovou hmotu. Zde je však důležité si uvědomit, že spirální galaxie nemají pole centrální síly, jako je tomu ve sluneční soustavě. Naše planety se gravitačně téměř neovlivňují a jejich pohyb je určen především centrální silou Slunce. Naproti tomu dráhy hvězd v galaktickém disku jsou podstatně ovlivňovány sousedními hvězdami, protože centrální výduť obsahuje jen cca 10 procent všech hvězd galaxie. Tvar gravitačního potenciálu plochého disku umožňuje vysvětlit vysoké pozorované rychlosti hvězd na okraji galaxie i bez temné hmoty. Nedávno jsem publikoval několik nových argumentů, které podstat-



Věda s nadhledem – s prof. Lawrenceem Somerem.

ně redukuje předpokládané množství temné nebaryonové hmoty.

■ *JŽ: Co se týče temné hmoty, kupříkladu Douglas Clowe propaguje myšlenku, že její existence je možno dokázat při srážce dvou galaktických kup.*

MK: Ano, Douglas Clowe napsal článek *A direct empirical proof of the existence of dark matter*. Já to však za přímý důkaz nepovažuji, i když si to autor dal do názvu, aby na sebe upozornil. Když si podrobně přečtete jeho původní článek z roku 2006, tak zjistíte, že předpokládá naprosto nerealistickou vzájemnou rychlost obou kup v rozmezí 3 000–4 500 km za sekundu, aby srážka kup vůbec mohla proběhnout v řádu miliard let. Tak obrovské lokální rychlosti galaxií ale ve vesmíru nepozorujeme. Běžné rychlosti jsou většinou desetkrát menší, takže by pak srážka galaktických kup trvala desítky mi-

liard let, což není možné vzhledem ke stáří vesmíru. Clowe ovšem nevysvětluje, jak obě kupy mohly získat tak nesmírně veliké rychlosti, když byl vesmír zprvu dosti homogenní. Nezapomínejme také, že kinetická energie roste se čtvercem rychlosti. Navíc oblasti s domnělou temnou nebaryonovou hmotou Clowe uměle obarvil modře. Zde je však třeba dávat si dobrý pozor na krásné obrázky a lábivě počítačové simulace.

■ *JŽ: Cesta vědeckých objevů bývá nesnadná, prosazovat nové teorie je těžké. Často bývá takový vědec mezi kolegy osamělý, natož aby ho někdo poplácal po rameni. V tu chvíli je dobré připomenout si jedno staré rčení: „Pokud najdeš cestu bez překážek, věz, že jistojistě nevede nikam...“ Vy jste vytrval. Statečně nesete svou kůži na trh. A pomalu se začíná blýskat na lepší časy. Řady příznivců vaší teorie se systematicky rozrůstají...*

MK: Rozhodně to není jen moje teorie. Původně jsem si sice myslel, že za lokální expanzi vesmíru bojuji sám. Postupně jsem však zjistil, že k podobným výsledkům přede mnou dospěli i další badatelé, například George McVitte již v roce 1933. Ze současných vědců bych jmenoval zejména profesora Andrého Maedera ze Ženevy či doktora Jurije Dumina z Moskvy. Vloni jsem proto v našem ústavu zorganizoval mezinárodní konferenci *Cosmology on Small Scales*. Do Prahy se sjela řada specialistů z celého světa. Kupříkladu prof. Igor Karačencev v úvodní přednášce poukázal na základě naměřených dat, že objem do vzdálenosti 10 Mpc od Slunce narůstá v různých směrech různými rychlostmi, které jsou však v průměru srovnatelné s Hubbleovou konstantou. Tato informace mě velice potěšila.

■ *JŽ: Děkuji vám za rozhovor a přeji mnoho kolegů, kteří vám s uznáním na to rameno poklepou.*



Kosmologický model vesmíru z 15. století...