



NEVIDIDITELNÁ RUKA vesmíru

Temná energie nejenže urychluje expanzi vesmíru, ale svým působením ovlivňuje také tvary a vzdálenosti jednotlivých galaxií.

CHRISTOPHER J. CONSELICE

PROČ NÁM TO TRVALO TAK DLOUHO? Teprve v roce 1998 astronomové zjistili, že pohřešují téměř tři čtvrtiny obsahu vesmíru. Takzvaná „temná energie“ - neznámá forma energie, která obklopuje všechno kolem, působí na nás téměř neznatelně, ale zároveň má „ve své moci“ osud celého vesmíru – je síla, vůči které jsme byli až dosud téměř úplně slepí. Po pravdě řečeno, někteří vědci existenci takové energie sice předpovídali, ale dokonce i ti vám řeknou, že její objev patří mezi největší kosmologické objevy 20. století. Nejenže tvoří podstatnou část našeho vesmíru, ale její existence, pokud ob stojí ve zkoušce času, si pravděpodobně vyžádá vypracování úplně nové fundamentální fyzikální teorie.

Vědci už začali dlouhý proces zkoumání, co to vlastně temná energie je a jaké jsou její důsledky pro náš svět. Jeden poznatek se však již vynořil: ačkoli temná energie prozrazuje svou existenci hlavně působením na vesmír jako celek, může také ovlivňovat vývoj jednotlivých částí vesmíru – hvězd, galaxií a galaktických kup. Astronomové možná celá desetiletí pozorovali její dílo, aniž by si to uvědomili.

Paradoxně právě díky jejímu vše prostupujícímu charakteru je tak těžké uvědomit si její existenci. Na rozdíl od hmoty se totiž temná energie nekonzcentruje

na některých místech vesmíru více než na jiných. Díky své podstatě se rovnoměrně rozprostírá všude. V kterémkoli místě vesmíru, ať je to třeba vaše kuchyň nebo pustý mezigalaktický prostor, má temná energie vždy stejnou hustotu - asi 10^{-26} kilogramu na krychlový metr, což odpovídá několika vodíkovým atomům. Veškerá temná energie nacházející se v naší sluneční soustavě dává dohromady hmotnost malého asteroidu, což z ní dělá naprosto bezvýznamného hráče na úrovni planet. Její vliv se začne projevat teprve na obrovské vzdálenosti prostoru a času.

Díky objevu, který učinil americký astronom Edwin Hubble, víme, že kromě nejbližších galaxií se všechny ostatní od nás velkou rychlostí vzdalují, přičemž rychlost jejich pohybu je přímo úměrná jejich vzdálenosti od nás: čím jsou galaxie vzdálenější, tím rychleji se od nás vzdalují. Tato závislost nám napovídá, že galaxie se nepohybují vesmírem v klasickém smyslu, ale spíše jsou unášeny stále se roztahujícím tkanivem vlastního prostoru (*viz* „Misconception about the Big Bang“ (Mylné představy o Velkém třesku), Charles H. Lineweaver a Tamara M. Davisová, Scientific American, březen 2005). Desítky let se astronomové snažili zodpovědět následující logickou otázku: Jak se tato expanze mění v čase?

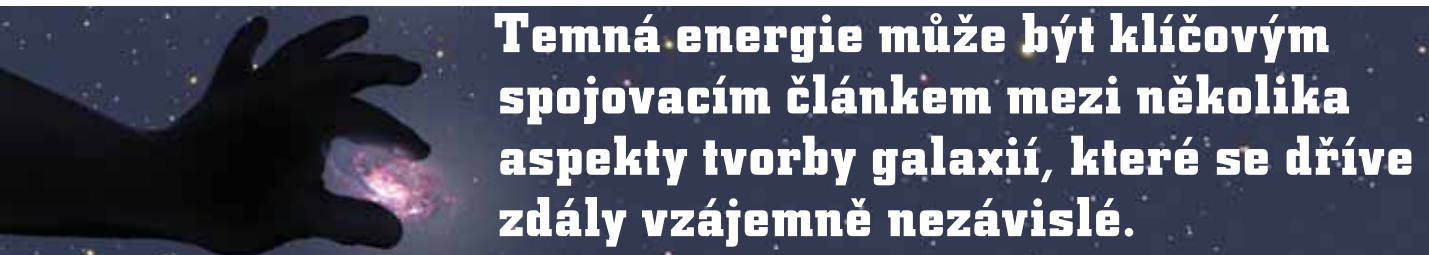
Domnívali se, že by se expanze měla zpomalovat, protože gravitační síla, kterou se galaxie navzájem přitahují, by nakonec měla jejich expanzi překonat.

První jasné důkazy o změně rychlosti expanze přinesla pozorování vzdálených supernov - velmi hmotných explodujících hvězd, které lze použít jako milníky k měření expanze, podobně jako ze sledování dřeva plovoucího na hladině můžeme zjistit rychlost říčního proudu. Tato pozorování jasně ukázala, že v minulosti byla expanze pomalejší než nyní, a že tím pádem se náš vesmír rozpíná stále rychleji. Přesněji řečeno, v minulosti se rozpínání vesmíru zpomalovalo, ale v určitém okamžiku došlo k nějaké změně a nyní se expanze naopak zrychluje (viz „Surweying Space-time with Supernovae“ (Zkoumání prostoru a času pomocí supernov), Craig J. Hogan, Robert P. Kirshner a Nicholas B. Suntzeff, Scientific Ameri-

Avšak častěji přijímanou hypotézou je, že zákony gravitace jsou univerzální a že spíše „vzdoruje“ nějaká doposud neznámá forma energie, která dokonce překonává vzájemnou přitažlivost galaxií a odpuzuje je. Ačkoli je tedy působení temné energie uvnitř naší galaxie (a tím spíše ve vaší kuchyni) zcela zanedbatelné, ve skutečnosti je to nejmocnější síla ve vesmíru.

Kosmický sochař

KDYŽ ASTRONOMOVÉ ZKOUMALI tento nový jev, zjistili, že kromě předurčení celkové rychlosti expanze vesmíru uplatňuje temná energie svůj dlouhodobý vliv také v menších měřítkách. Když se z celkového pohledu na celý pozorovatelný vesmír přibližujete k menším detailům, první skutečnosti, které si všimnete je, že v kosmických měřítkách je hmota rozprostřena v pavučinovém vzoru -



Temná energie může být klíčovým spojovacím článkem mezi několika aspekty tvorby galaxií, které se dříve zdály vzájemně nezávislé.

can, leden 1999, a „From Slowdown to Speedup“ (Od zpomalování ke zrychlování), Adam G. Riess a Michael S. Turner, Scientific American, únor 2004). Tyto překvapivé výsledky byly ověřeny nezávislými měřeními tzv. „kosmického pozadí“ - reliktního mikrovlnného záření, které pochází z dob krátce po vzniku vesmíru - například sondou WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), která mapovala anizotropii (fluktuace) tohoto záření.

Jedno z možných vysvětlení by mohlo být, že gravitační zákony fungují v supergalaktických měřítkách jinak než v menších rozměrech, takže gravitační působení mezi galaxiemi ve skutečnosti neklade odpor jejich expanzi.

ZÁKLADNÍ POJMY

- Temná energie je nejznámější jako předpokládaný urychlovač expanze vesmíru - neidentifikovaná substance, která působí na vesmír jako celek určitým druhem antigravitační síly.
- Méně známým je poznatek, že temná energie má také druhotný vliv na materiál uvnitř vesmíru. Pomohla otisknout charakteristický jemný pavučinový vzorek do velkorozměrové struktury hmoty. V menších prostorových měřítkách zřejmě „příškrtila“ vzrůst kup galaxií před nějakými šesti miliardami let.
- V ještě menších měřítkách temná energie zřejmě snížila četnost, s jakou se galaxie ovlivňují, srážejí a slučují navzájem. Tyto interakce formují tvary galaxií. Pokud by byla temná energie slabší nebo naopak silnější, v naší Galaxii by asi vznikalo méně hvězd, takže těžké chemické prvky, ze kterých je utvořena naše planeta i my sami, by možná nikdy nevznikly.

jemných a složitě organizovaných vláknec dlouhých desítky milionů světelných let, střídaných oblastmi prázdnoty o podobných rozměrech. Simulace ukázaly, že ke vzniku této struktury je nutná přítomnost jak temné hmoty, tak i temné energie.

Tyto objevy však nejsou až tak překvapivé. Vlákna a prázdná místa v prostoru nejsou žádné soudržné objekty, jako například planety nebo galaxie. Nejsou izolované od celkové expanze vesmíru a vytvořily si svou vlastní vnitřní rovnováhu sil. Spíše jsou to objekty vytvořené soupeřením mezi celkovou expanzí vesmíru (a všemi silami, které ji ovlivňují) a svou vlastní gravitací. V našem vesmíru žádný z hráčů této gigantické kosmické „přetahované“ nemá výraznou převahu nad ostatními. Pokud by temná energie byla silnější, expanze by zvítězila a hmota, namísto koncentrace do vláken, by se rovnoměrně rozprostřela v prostoru. Pokud by temná energie byla naopak slabší, hmota by byla ještě více zkoncentrovaná než dnes je (viz obrázek na straně 28).

Jakmile se dále přibližujete k měřítku galaxií a galaktických kup, situace se ještě více komplikuje. Galaxie, včetně té naší, totiž neexpandují v čase. Jejich rozměry jsou určovány rovnováhou mezi gravitací a momentem hybnosti hvězd, plynu a ostatního materiálu, který je tvoří. Zvětšují se pouze tehdy, když získají nový materiál z mezigalaktického prostoru nebo se sloučí s jinou galaxií. Globální expanze vesmíru má na ně zanedbatelný vliv. Není proto vůbec zřejmé, že by temná energie měla mít nějaký význam při jejich vytváření. Totéž platí o kupách galaxií - největších vázaných objektech ve vesmíru, složených z tisíců galaxií vložených do obrovského mračna horkého plynu a vázaných svou gravitací.

Nyní se ukazuje, že temná energie může být klíčovým spojovacím článkem mezi několika aspekty tvorby galaxií a galaktických kup, které se ještě donedávna zdály být nezávislé. Důvodem je, že vznik a vývoj těchto systémů je částečně ovládan vzájemnými inter-

akcemi a slučováním galaxií, což zase může být silně ovládáno temnou energií.

Abychom lépe pochopili vliv temné energie na tvorbu galaxií, zopakujme si nejprve představu astronomů o tom, jak galaxie vznikají. Současné teorie jsou založeny na myšlence, že existují dva základní typy hmoty. První je ona obyčejná hmota, kterou všichni známe, jejíž základní částičky ochotně interagují mezi sebou ochotně interagují mezi sebou a také s elektromagnetickým zářením. Astronomové nazývají tento druh hmoty „baryonová“, protože se skládá hlavně z protonů a neutronů, čili baryonů. A pak zde máme „temnou hmotu“ (jenž je odlišná od temné energie), která tvoří asi 85 procent celkové hmoty ve vesmíru a jejíž nejviditelnější vlastností je to, že je tvořena částicemi, které neinteragují se zářením. Gravitační vlastnosti temné hmoty jsou však naprosto stejné jako hmoty obyčejné.

Podle kosmologických modelů se temná hmota začala shlukovat okamžitě po Velkém třesku a vytvářet kulovité oblaky, které astronomové označují jako „halo“. Naopak baryonům zpočátku bránily ve shlukování vzájemné interakce mezi sebou a zářením a zůstávaly proto v horké plynné fázi. Jakmile však vesmír dále expandoval, tento plyn se ochlazoval a baryony se mohly začít shlukovat. První hvězdy a galaxie začaly vznikat ze shluků tohoto horkého plynu několik set milionů let po velkém třesku. Nevznikly však na náhodných místech, ale právě v centrech hal z temné hmoty, která již byla nějakou dobu zformována.

Od roku 1980 řada teoretických vědců provedla podrobné počítačové simulace těchto procesů, včetně skupin vedených Simonem D. M. Whitem z Planckova institutu pro astrofyziku v německém Garchingu a Carlosem S. Frenkem z Univerzity v Durhamu v Anglii. Závěry ukázaly, že většina prvních struktur vesmíru byla malá a málohmotná hala z temné hmoty. Protože raný vesmír byl velmi hustý, tato málohmotná hala (a galaxie, které obsahovala) se navzájem slučovala do hmotnějších systémů. Tímto způsobem probíhala výstavba galaxií „zdola nahoru“, podobně jako když z kostiček Lega postupně skládáte domeček pro panenky. (Alternativní způsob by byl „shora dolů“, ve kterém bychom domeček museli nejprve rozložit, abychom získali jednotlivé kostičky.) Se svými kolegy jsem zkusil tyto modely testovat pozorováním vzdálených galaxií a jejich slučování v průběhu kosmického času.

Tvorba galaxií ustává

PODROBNÉ STUDIE UKAZUJÍ, že galaxie změny svůj tvar, pokud se sloučí s jinou galaxií. Nejstarší galaxie, které můžeme pozorovat, existovaly v době, kdy vesmír byl starý asi miliardu let a mnohé z nich opravdu vypadají, že se slučují. S postupem času se však spojování masivních galaxií stalo stále méně častým. V období mezi dvěma až šesti miliardami let po Velkém třesku, tj. v první polovině historie vesmíru, klesl podíl masivních galaxií prodávajících slučování z poloviny téměř na nulu. Od té doby distribuce galaktických tvarů zůstává stálá, což nasvědčuje tomu, že jejich srážky a slučování jsou relativně vzácné.

Ve skutečnosti plných 98 procent masivních galaxií v dnešním vesmíru má buď pouze spirálový nebo eliptický tvar, který by v případě sloučení s jinou galaxií musel být narušen. Tyto galaxie jsou stabilní a obsahují většinou staré hvězdy, což nám napovídá, že mu-



DŮKAZY TEMNÉ ENERGIE

EXPLOZE SUPERNOV

V expandujícím vesmíru se galaxie od sebe vzdalují rychlostí, která závisí na vzdálenosti mezi nimi. Supernovy nabíjí způsob, jak tuto expanzi změřit. Jejich posuv k červené straně spektra udává rychlost, s jakou se od nás vzdalují, a jejich zdánlivá jasnost pak odpovídá vzdálenosti od nás. Ukázalo se, že se galaxie před miliardami let pohybovaly pomaleji, než by naznačovala jednoduchá extrapolace současné rychlosti expanze do minulosti. Znamená to, že rychlost expanze galaxií, a tím i rozpínání celého vesmíru, se s časem zvyšuje - což je projev působení temné energie.

KOSMICKÉ MIKROVLNNÉ RELIKTNÍ ZÁŘENÍ

Snímky reliktního mikrovlnného záření vesmíru ukazují body, jejichž velikost odráží celkovou geometrii prostoru, a tím i hustotu vesmíru. Tato hodnota převyšuje množství celkové hmoty ve vesmíru (jak obyčejné, tak i exotické), takže nějaká neznámá složka, například temná energie, musí deficit vyrovnávat. Navíc bylo reliktní záření slabě proměněno gravitačními poli kosmických struktur. Velikost této proměny závisí tom, jak se v průběhu minulosti měnila rychlost expanze, a odpovídá působení temné energie.

USPOŘÁDÁNÍ GALAXIÍ

Galaxie nejsou jen tak náhodně „rozházeny“ po vesmíru. Namísto toho jsou uspořádány do struktur, jedna se podobá rozmístění bodů v mikrovlnném reliktním záření. Toho lze využít k měření celkové hmoty ve vesmíru a potvrzení působení temné energie.

OHYB SVĚTLA NA GRAVITAČNÍCH ČOČKÁCH

Nahromadění hmoty může fungovat jako čočka ohýbající světlo svým gravitačním působením. Pokud zdroj světla leží přímo za čočkou, tato čočka může vytvářet i vícenásobné obrazy (podobně jako v zrcadlovém bludišti). Takovéto uspořádání je tím pravděpodobnější, čím větší je vesmír, což opět závisí na množství temné energie v něm. Nicméně i slabší čočky mohou ohýbat světlo o malý úhel, který závisí na jejich hmotnosti. Studie těchto procesů odhalily, jak se shluky hmoty postupem času zvětšovaly, a našly v nich otisk temné energie.

KUPY GALAXIÍ

Pozorování rentgenového záření umožnilo vysledovat vývoj hmoty v galaktických kupách. Pro vysvětlení kdy a jak se kupy galaxií tvořily je zapotřebí vzít v potaz temnou energii.

sely vzniknout již dávno a svůj pravidelný morfologický tvar si drží už po nějakou dobu. Pár galaxií se sice i dnes slučuje, ale obvykle jde o galaxie s malým obsahem hmoty.

Zdánlivý konec slučování galaxií není jediným projevem toho, že přibližně v polovině svého současného stáří jako by vesmíru už došel dech. Vznik nových hvězd se stal také stále vzácnější. Většina hvězd, které dnes existují, se narodila v první polovině historie vesmíru, což poprvé přesvědčivě dokázalo již v 90. letech několik výzkumných týmů vedených například Simonem J. Lilly, tehdy působícím na Univerzitě v Torontu, Pierem Madau, tehdy půso-

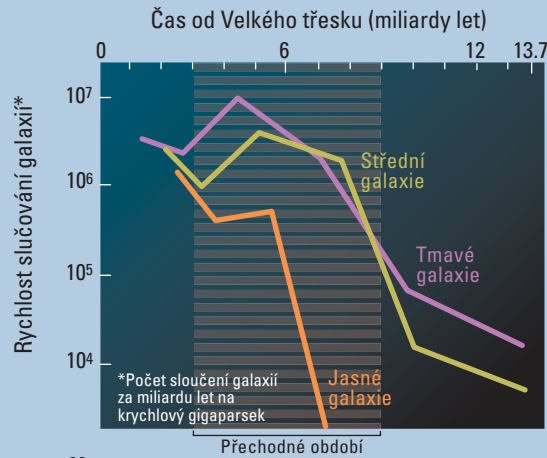
Temná energie přebírá vládu

I přes svůj rychlý rozběh po Velkém třesku stavební aktivita ve vesmíru brzy ustala. Zpočátku se galaxie čile slučovaly, měnily své tvary a vytvářely mnoho nových hvězd, ale

během období, kdy se síly temné energie vyrovnaly s hmotou (hnědé plochy na grafech), tyto děje vymizely. Pouhá náhoda?

GALAXIE SE PŘESTALY SLUČOVAT

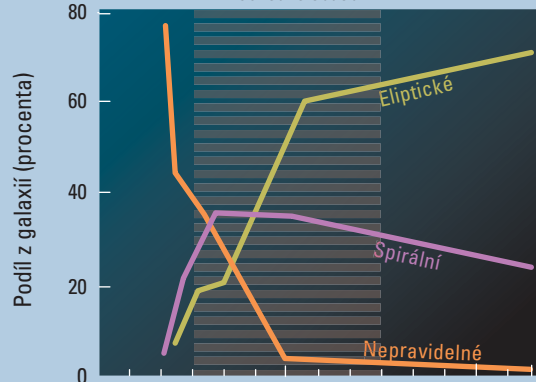
Nejjasnější galaxie se přestaly srážet a slučovat asi po šesti miliardách let od Velkého třesku. Méně svítivé galaxie se sice stále ještě mohou slučovat, ale pravděpodobnost těchto jevů se značně snížila.



Slučující se galaxie NGC 4676

GALAXIE SE USTÁLILY V PRAVIDELNÝCH TVARECH

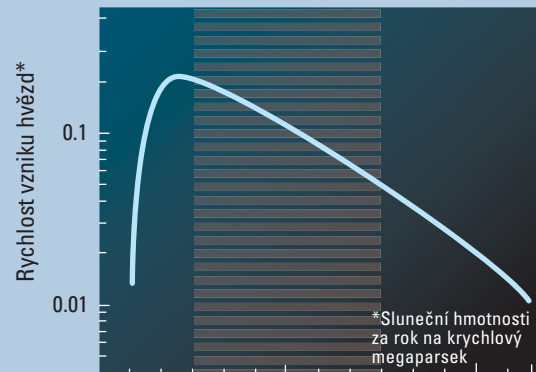
Zpočátku měla většina galaxií zvláštní nepravidelné tvary - příznak vzájemného slučování. Jakmile se slučování galaxií stalo vzácnější, začaly převládat spirálové a eliptické tvary.



Hicksonova kompaktní skupina galaxií 87

VZNIK HVĚZD JE STÁLE VZÁCNĚJŠÍ

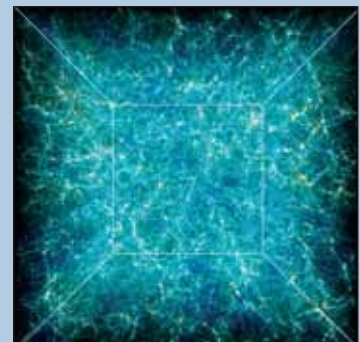
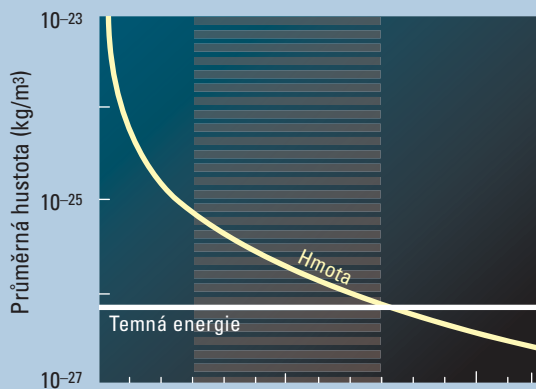
Raný vesmír byl bohatou lánou nových hvězd, avšak rychlost jejich vzniku brzy dosáhla vrcholu a poté již jen upadala. Dnes vznikají nové hvězdy méně často než kdykoli předtím.



Nové hvězdy ve skupině hvězd Trapez

TEMNÁ ENERGIE SE STÁVÁ VÝZNAMNÝM HRÁČEM

Všechny tyto pozorované trendy souvisí s jedním prostým faktem: Jak se vesmír rozpíná, jeho hmota se tím zředuje. Jakmile se hustota hmoty přiblížila hustotě temné energie (která je v nejjednodušším modelu stále konstantní), rychlost expanze vesmíru se změnila ze zpomalování na zrychlování. Galaxie se nyní od sebe vzdalují stále rychleji, takže pravděpodobnost jejich srážek se snížila, jakož i pravděpodobnost, že se shromáždí dostatečný objem plynu pro vznik nových hvězd.



Simulace distribuce hmoty

LUCY READING - IKKANDA (grafy): ANDREW HOPKINS, Univerzita v Sydney (zdroj údajů pro graf rychlosti vzniku hvězd); NASA/ESA/STScI/HUBBLE HERITAGE TEAM (Foto Researchers, Inc. (Hicksonova skupina galaxií); NASA/K. L. LUHMAN, Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics; A. G. SCHNEIDER, E. YOUNG, G. RIEKE, A. COTERA, H. CHEN, M. RIEKA, R. THOMPSON, Steward Observatory, Univerzita v Arizoně (hvězdokupa Trapez); GENEROVÁNÍ OBRÁZKU: VISUALIZATION INSTITUTE UNIVERSITY VE STUTTGARTU, DATA POCHAZÍ Z VIRGO SUPERCOMPUTING CONSORTIUM OF THE MAX PLANCK SOCIETY IN GARCHING A THE INSTITUTE FOR COMPUTATIONAL COSMOLOGY (simulace distribuce hmoty)

bícím na Space Telescope Science Institute a Charlesem C. Steidellem z Kalifornského technologického institutu. V poslední době se výzkumníci také dozvěděli, jak tento trend nastal. Ukázalo se, že vznik hvězd v masivních galaxiích se zastavil velmi brzy. Jakmile vesmír dosáhl poloviny svého současného stáří, v tvorbě významnějšího množství hvězd pokračovaly jen lehčí galaktické systémy. Tento posun dějiště vzniku hvězd z velkých do menších galaxií se nazývá zmenšování galaxií rodících hvězdy (viz „The Midlife Crisis of the Cosmos“ /Vesmír kdysi prošel krizí středního věku/, Amy J. Barger, Scientific American, leden 2005). Zdá se to být paradoxní. Teorie vzniku galaxií předpovídá, že nejprve by se měly vytvořit menší galaxie a postupně se slučovat na stále větší. Historie vzniku hvězd však ukazuje opak: hlavními líhněmi hvězd jsou zpočátku masivní galaxie a postupně jejich práci přebírají galaxie menší.

Tyto děje by mohly být snad zodpovědné za zmenšování populace galaxií. Nejmasivnější hala z temné hmoty, jakož i do nich vložené galaxie, jsou zároveň nejvíce seskupené a leží v blízkosti ostatních masivních hal. Pravděpodobnost, že „zaťukají na dveře souseda“ je tedy větší, než u méně hmotných systémů. Jakmile se tak stane, zažijí prudký nárůst vzniku nových hvězd. Nově vzniklé hvězdy se zažehnou a poté explodují, zahřejí tak okolní plyn, čímž mu zabrání v kolapsu, který by mohl vést k vytvoření nových hvězd. Tímto způsobem proces vzniku nových hvězd vlastně sám sebe jakoby „přibrzdí“: hvězdy zahřívají plyn, ze kterého vznikají, a tím brání vzniku nových hvězd. Černá díra v centru galaxie také funguje jako „tlumič“ vzniku hvězd. Slučování galaxií zásobuje černou díru plynem, díky čemuž díra do svého okolí vystřeluje proudy částic a záření (jety), které zahřívají okolní plyn v systému a zabraňují tak v jeho ochlazování a tím i vzniku nových hvězd.

Už v polovině svého dnešního věku jakoby vesmíru došel dech. Srážky galaxií ustaly a černé díry se zklidnily.

Další zvláštností je, že růst superobřích černých děr, nacházejících se v centrech galaxií, se zřejmě výrazně zpomalil. Takovéto černé díry pohání kvasary a ostatní typy aktivních galaxií, které jsou však v současném vesmíru vzácné. V naší i ostatních galaxiích jsou černé díry zřejmě již v klidu. Mají všechny tyto trendy ve vývoji galaxií něco společného? Je možné, že jejich hlavní příčinou je právě temná energie?

V pevném sevření temné energie

NĚKTEŘÍ ASTRONOMOVÉ PŘIŠLI S TEORIÍ, že zastavení vzniku galaxií a hvězd by mohly mít na svědomí interní procesy probíhající uvnitř galaxií, jako například energie uvolňovaná černými děrami a supernovami. Avšak temná energie se ukázala jako pravděpodobně nejdůležitější viník, který všechno navzájem propojuje. Základním důkazem je přibližná časová shoda mezi ukončením tvorby většiny galaxií a galaktických kup s počátkem dominance temné energie ve vesmíru. Obojí se odehrálo v období, kdy vesmír překročil přibližně polovinu svého současného stáří.

A až do té doby byla totiž hustota hmoty vesmíru natolik vysoká, že přitažlivé gravitační síly mezi galaxiemi dominovaly nad působením temné energie. Galaxie se potkávaly, srážely a často vzájemně slučovaly. Z jejich srážejících se plynných oblaků vznikaly uvnitř galaxií nové hvězdy a černé díry v centrech do sebe vtahovaly plyn, čímž se zvětšovaly. Jak však vesmír postupem času expandoval, hmota se zředovala a její gravitační síla tím klesala, zatímco síla temné energie zůstávala stále konstantní (nebo téměř konstantní). Neúspěšný posun rovnováhy mezi hmotou a temnou energií pak způsobil změnu rychlosti expanze vesmíru ze zpomalování na zrychlování. Struktury, ve kterých galaxie leží, začaly být poté roztahovány a díky tomu se slučování galaxií stalo postupně stále vzácnější. Podobně i mezigalaktický plyn byl méně vtahován do galaxií a černé díry, které se ocitly bez paliva, se zklidnily.

Je zjevné, že jakmile je vznik nových hvězd v masivních galaxiích „vypnut“, už znovu nenaskočí. Nejpravděpodobnější příčinou je vyčerpání zásob plynu nebo takové jeho ohřátí, které mu zabrání v koncentraci potřebné pro vznik hvězd. Tyto masivní galaxie se sice stále mohou slučovat, ale kvůli nedostatku studeného plynu v nich vzniká už jen málo nových hvězd. Zatímco tedy masivní galaxie stagnují, menší galaxie se stále slučují a vytváří nové hvězdy. Výsledkem je, že tvary masivních galaxií se ustálí dříve než malé galaxie, což právě pozorujeme. Temná energie tento proces zřejmě reguluje určováním stupně seskupení galaxií a rychlosti jejich slučování.

Temná energie by mohla také vysvětlit vývoj kup galaxií. Starobylé galaktické kupy, vzniklé v době, kdy vesmír byl starý méně než polovinu svého současného věku, byly stejně masivní jako jsou dnešní kupy, což znamená, že za posledních šest až osm miliard let se kupy galaxií nikterak dramaticky nezvětšily. Tato stagnace růstu indikuje, že koncentrace galaxií do kup byla v období poloviny dnešního stáří vesmíru něčím narušena. To může být jasným důkazem, že temná energie ovlivňuje způsob, jak spolu galaxie interagují ve velkých měřítkách. Astronomové věděli již od poloviny 90. let, že za

[AUTOR]

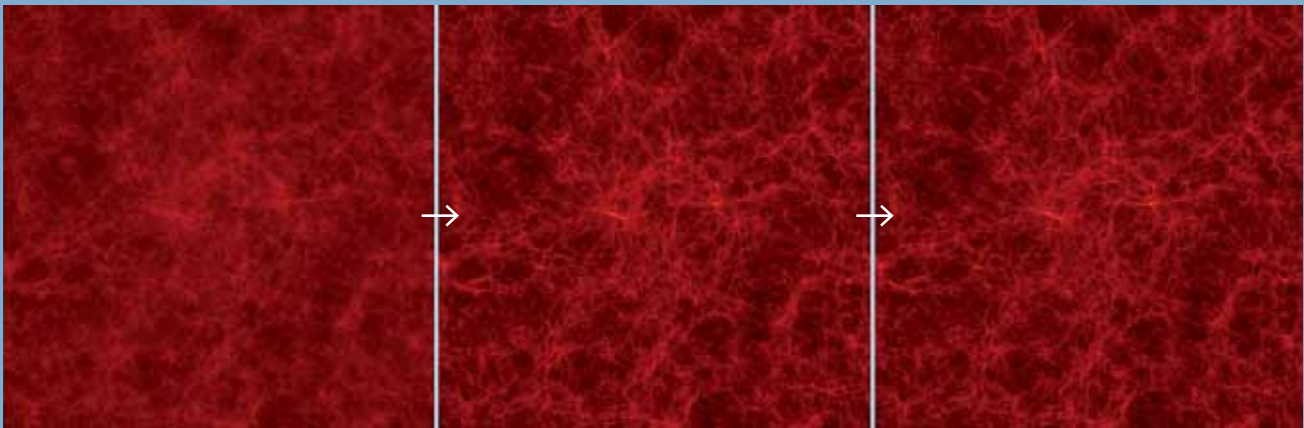
CHRISTOPHER J. CONSELICE je astronom a odborný asistent na univerzitě v anglickém Nottinghamu, kam nedávno přešel z Kalifornského technologického institutu. Specializuje se na vznik galaxií a vede několik pozorovacích programů v infračerveném i viditelném světle na teleskopech nacházejících se jak na Zemi, tak i ve vesmíru. Milovník nebes (ale také pozemského života) pochází z pensylvánské farmářské rodiny a svůj volný čas tráví plavbou na lodích, rybolovem, cyklistikou a speleologií.

Hypotetické scénáře

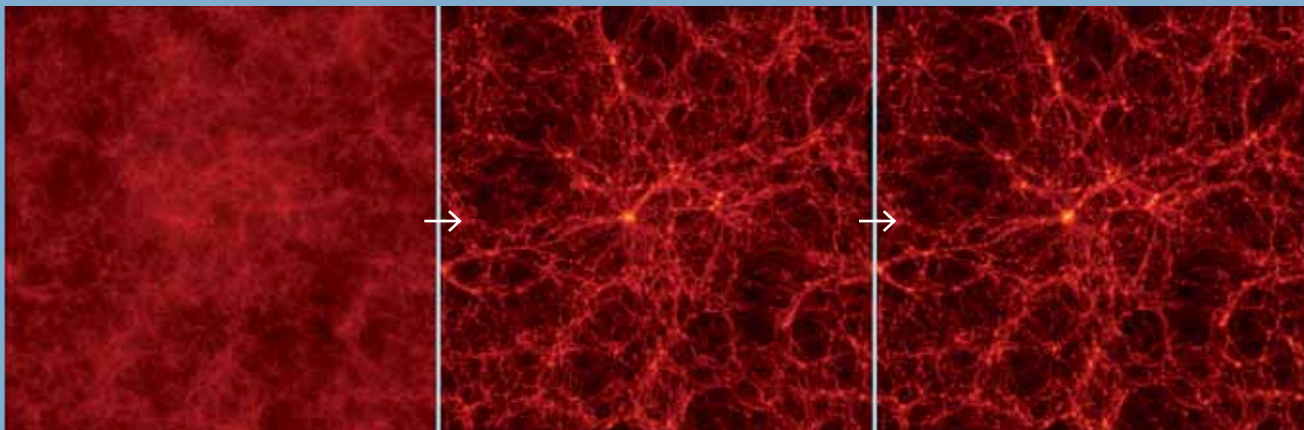
Pokud by vesmír obsahoval více temné energie, než v něm je, vypadal by úplně jinak. Zrychlování expanze vesmíru by začalo dříve, materiál by byl od sebe odtažován rychleji a vytváření velkorozměrových struktur hmoty by bylo přerušeno už od samého počátku. Opačný děj by nastal, pokud by vesmír obsahoval temné energie méně. Každý z následujících

čtverečků zobrazuje oblast vesmíru o současné velikosti jedné miliardy světelných let a obsahuje 27 miliónů částeček, z nichž každá reprezentuje jednu galaxii. Tyto simulace předpokládají, že hustota temné hmoty je v prostoru a čase konstantní. Hodnota Ω_Λ je hlavní kosmologický parametr a udává dnešní hustotu temné energie.

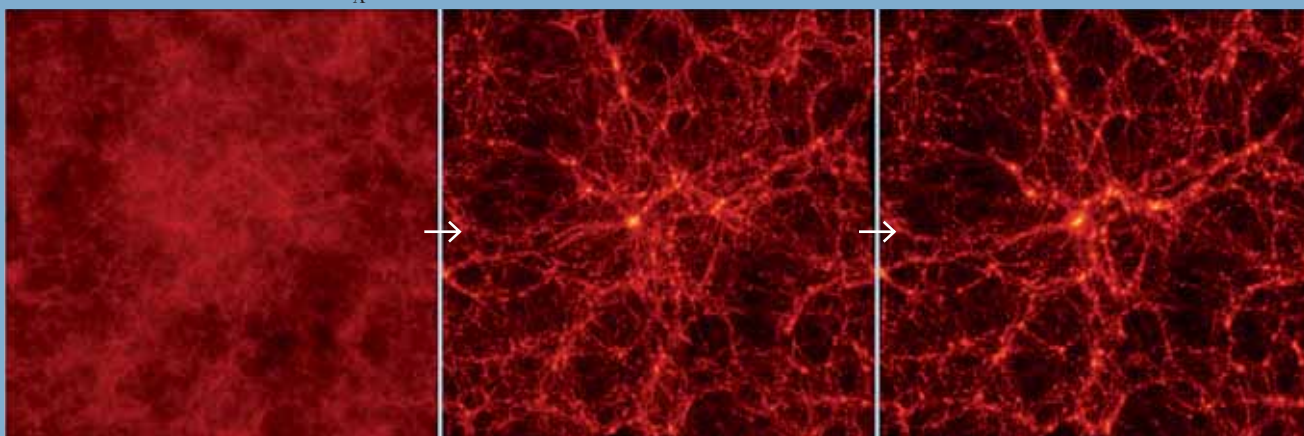
VÍCE TEMNÉ ENERGIE $\Omega_\Lambda = 0.99$



POZOROVANÉ MNOŽSTVÍ TEMNÉ ENERGIE $\Omega_\Lambda = 0.75$



ŽÁDNÁ TEMNÁ ENERGIE $\Omega_\Lambda = 0$



RANÝ VESMÍR: Když má vesmír šestinu své současné velikosti, ve všech třech scénářích je hmota distribuována rovnoměrně. Temná energie zatím neuplatňuje svůj vliv.

PŘECHODNÉ OBDOBÍ: Jakmile má vesmír 75% své současné velikosti, vliv temné energie se již začíná výrazně projevovat. Ve scénáři s vysokým obsahem temné energie (nahore) vesmír vypadá neuspořádaně. V ostatních dvou scénářích stále pokračuje vytváření velkorozměrových pavučinových struktur.

DNEŠEK: Ve vesmíru s dnes pozorovaným obsahem temné energie (*uprostřed*) skončilo vytváření velkorozměrových struktur hmoty a pavučina zůstává stabilní. Ve scénáři s nulovým obsahem temné energie pavučina hmoty stále pokračuje ve svém vývoji.

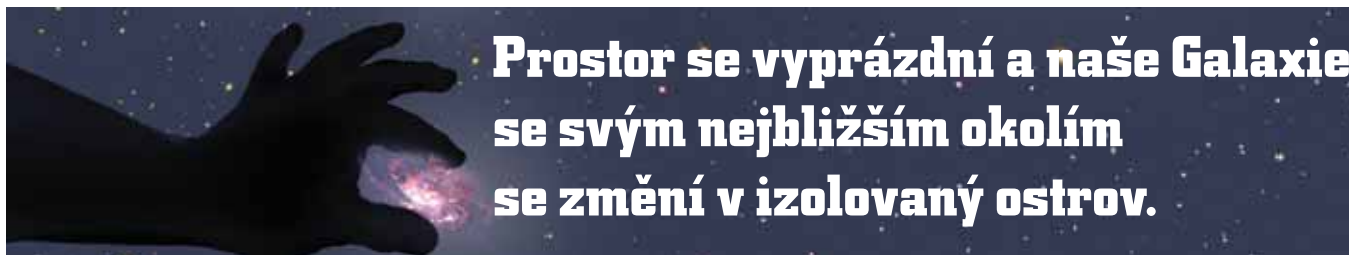
posledních osm miliard let se kupy galaxií příliš nezvětšily a přisuzovali to nižší hustotě hmoty, než předpovídala teorie. Objev temné hmoty tak umožnil vyřešit nesoulad mezi pozorováním a teorií.

Příkladem, jak temná energie ovlivňuje historii galaktických kup, je osud galaxií v naší bezprostřední blízkosti, známých jako Místní skupina. Ještě před pár lety si astronomové mysleli, že naše Galaxie a její nejbližší velký soused, galaxie v Andromedě, spolu s družinou menších satelitů narazí na nejbližší galaktickou kupu v souhvězdí Panny. Nyní se však zdá, že se nám podaří uniknout tomuto osudu a nikdy se nestaneme součástí velké galaktické rodiny. Díky temné energii se totiž bude vzdálenost mezi námi a Virgem zvětšovat rychleji, než ji dokáže Místní skupina dostihnout.

Přítlumením vývoje galaktických kup temná energie řídí také složení galaxií uvnitř kupy. Prostředí uvnitř kupy totiž umožňuje

a málohmotné nepravidelné trpasličí galaxie by byly četnější, protože v průběhu času by se méně slučovaly. Kupy galaxií by byly méně masivní nebo by se možná nevyskytovaly vůbec. Je také pravděpodobné, že by vznikalo méně hvězd a vysoký podíl baryonové hmoty našeho vesmíru by se stále nacházel v plynném stavu.

Ačkoli se tyto procesy mohou zdát na první pohled od nás vzdálené, způsob, jakým se galaxie vytvářejí, ovlivňuje také naši vlastní existenci. Hvězdy jsou zapotřebí k výrobě prvků těžších než lithium, ze kterých se utváří planety pozemského typu a také samotný život. Menší počet vznikajících hvězd by znamenal, že vesmír by měl dispozici méně těchto těžkých prvků, takže planety by byly vzácné a život by možná nikdy nevznikl. Tímto způsobem může mít temná energie závažný vliv na různé zdánlivě nesouvisející aspekty vesmíru a možná i na podrobnou historii naší vlastní planety.



Prostor se vyprázdní a naše Galaxie se svým nejbližším okolím se změní v izolovaný ostrov.

vznik různorodého „zvěřince“, jako jsou takzvané čočkovité galaxie, gigantické eliptické galaxie a trpasličí eliptické galaxie. Regulováním schopnosti galaxií připojit se ke kupě tak temná energie ovlivňuje relativní výskyt těchto typů galaxií v kupě.

Teorie vypadá náramně dobře, ale je skutečně pravdivá? Galaxie se slučují, aktivity černých děr a vznik nových hvězd stejně jednou ustane a velmi pravděpodobně jsou na sobě nějak závislé. Avšak astronomové mají před sebou ještě hodně práce. V současnosti probíhající výzkumy pomocí Hubbleova kosmického dalekohledu, rentgenové observatoře Chandra a pozemskými observatořemi (snímky i spektroskopie) tyto závislosti v nejbližších letech prověří. Jedním ze způsobů jak to udělat, je shromáždit velký soubor vzdálených aktivních galaxií a u každé určit dobu, kdy naposledy prošla sloučením s jinou galaxií. Tyto analýzy si vyžadají vývoj nových teoretických nástrojů, které bychom však měli mít k dispozici už v příštích letech.

Hledání rovnováhy

ZRYCHLUJÍCÍ SE VESMÍR ovládaný temnou energií je přirozeným vysvětlením všech pozorovaných změn v populaci galaxií, a sice ukončení slučování galaxií a jejich mnoha důsledků, jako například prudkých vzniků hvězd nebo galaktických proměn. Pokud by temná energie neexistovala, slučování galaxií by pravděpodobně pokračovalo déle a dnešní vesmír by obsahoval mnohem více masivních galaxií se starými populacemi hvězd. Také by obsahoval méně systémů s nižší hmotností. Spirální galaxie, jako je například naše Galaxie, by byly vzácné (protože jejich spirály nepřežijí proces slučování galaxií). Velkorozměrové struktury galaxií by byly pevněji svázány gravitací, takže by se častěji slučovaly a zvětšovaly získáním nového materiálu.

A naopak, pokud by temná energie byla ještě silnější než je dnes, vesmír by zažíval méně slučování galaxií, a díky tomu by obsahoval méně masivních galaxií a galaktických kup. Naproti tomu spirální

Temná energie však v žádném případě ještě neukončila své působení. Může mít kladný vliv na život ve vesmíru. Zrychlené rozpínání vesmíru zabrání jeho následnému kolapsu zpět do nulového bodu, čehož se astronomové ještě nedávno obávali. Ale temná energie může přinášet i rizika. Nakonec totiž odtáhne vzdálené galaxie tak daleko od sebe, že s nimi navždy ztratíme kontakt. Prostor se vyprázdní a naše Galaxie s nejbližším okolím se bude měnit ve stále více izolovaný ostrov. Galaktické kupy, galaxie a dokonce samotné hvězdy budou osamocněně bloudit mezi galaktickým prostorem a jejich gravitační vliv nebude o moc větší, než jejich vlastní rozměry.

A co horšího, temná energie se může vyvíjet ještě dále. Některé modely předvídají, že pokud se temná energie postupem času stane nejdominantnější silou vesmíru, může rozrvat gravitačně vázané objekty, jako galaktické kupy nebo jednotlivé galaxie. A nakonec planeta Země bude oloupena o své Slunce a roztrhána na kusy, spolu se vším na jejím povrchu. Dokonce i atomy budou zničeny. Temná energie, kdysi se skrývající ve stínu hmoty, tak vykoná na hmotě svou konečnou pomstu. SA

➔ CHCETE-LI VĚDĚT VÍCE:

A Direct Measurement of Major Galaxy Mergers at $z \leq 3$.

Christopher J. Conselice, Matthew A. Bershady, Mark Dickinson a Casey Papovich v *Astronomical Journal*, díl 126, č. 3, strany 1183–1207; září 2003. www.arxiv.org/abs/astro-ph/0306106

Dark Energy. Robert R. Caldwell v *Physics World*, díl 17, č.5, strany 37–42; květen 2004. <http://physicsweb.org/articles/world/17/5/7>

The Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Cosmos. Robert P. Kirshner. Princeton University Press, 2004.

The Infinite Cosmos: Questions from the Frontiers of Cosmology. Joseph Silk. Oxford University Press, 2006.