

Štruktúra Vesmíru

Hmota vo veľkoškálových štruktúrach je usporiadaná v sieti križujúcich sa vlákien. Sieť je nepravidelná a má rozlične veľké oká. Rôznu dĺžku a hrúbku majú aj jednotlivé vlákna, ktoré sa navzájom križujú. Uzly na križovatkách vlákien sa navzájom líšia veľkosťou aj tvarom, množstvom látky, ktorá sa v nich akumuluje, počtom vlákien, ktoré sa v nich križujú ale aj vzdialenosťou od susedných uzlov. Už v roku 1989 bola na severnej oblohe v súhvezdí Herkula objavená superkopa galaxií, nazývaná aj "Veľký múr", ktorý má dĺžku 500 miliónov, šírku 200 miliónov a hrúbku 15 miliónov svetelných rokov. V roku 2003 však vedci oznámili objav tzv. Sloanovho Veľkého múru, ktorý meria až 1,37 miliardy svetelných rokov. Vlákna (filamenty) a prázdne miesta vytvárajú zrejme v celom Vesmíre špongiovitú štruktúru.

Heslo vypracoval: RNDr. Ladislav Hric, CSc.

Astronomický ústav Slovenskej akadémie vied

hric@ta3.sk

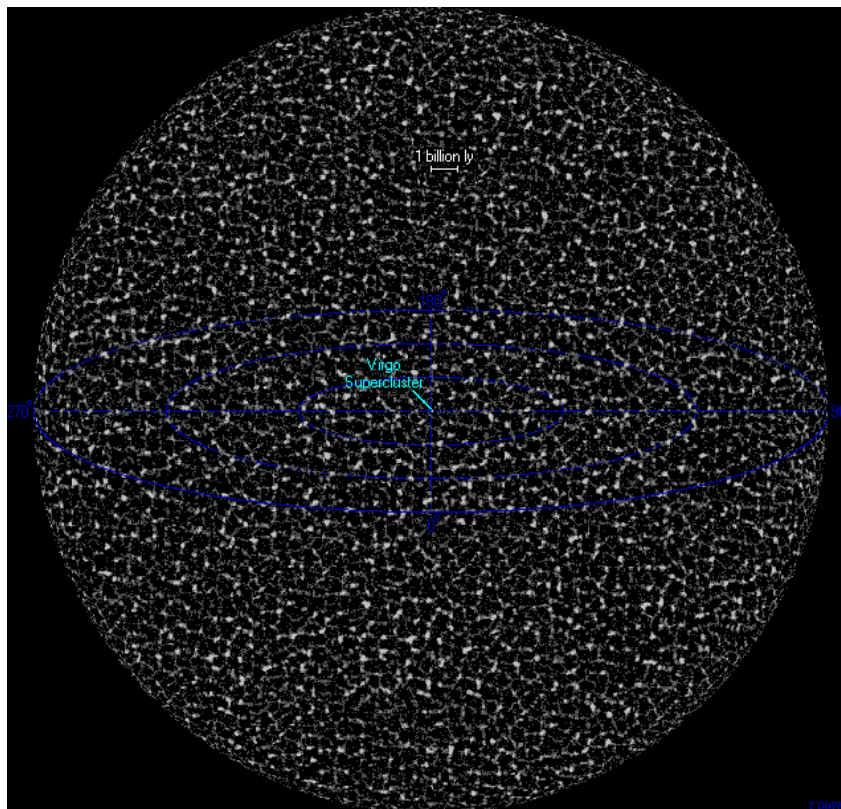
Dátum aktualizácie: august 2009

Štruktúra Vesmíru

Hmota vo veľkoškálových štruktúrach je usporiadaná v sieti križujúcich sa vlákien. Sieť je nepravidelná a má rozlične veľké oká. Rôznu dĺžku a hrúbku majú aj jednotlivé vlákna, ktoré sa navzájom križujú. Uzly na križovatkách vlákien sa navzájom líšia veľkosťou aj tvarom, množstvom látky, ktorá sa v nich akumuluje, počtom vlákien, ktoré sa v nich križujú ale aj vzdialenosťou od susedných uzlov. Už v roku 1989 bola na severnej oblohe v súhvezdí Herkula objavená superkopa galaxií, nazývaná aj "Veľký múr", ktorý má dĺžku 500 miliónov, šírku 200 miliónov a hrúbku 15 miliónov svetelných rokov. V roku 2003 však vedci oznámili objav tzv. Sloanovho Veľkého múru, ktorý meria až 1,37 miliardy svetelných rokov. Vlákna (filamenty) a prázdne miesta vytvárajú zrejme v celom Vesmíre špongiovitú štruktúru.

Doterajšími astrofyzikálnymi metódami dokážeme priamo pozorovať len 1 % hmoty vo Vesmíre a pritom sa pokúšame popisovať jeho štruktúru, ktorá samozrejme závisí aj od hmoty nesvietiacej (3 %), ktorú pozorujeme len nepriamo, skrytej (23 %), ktorej existenciu len tušíme a od tmavej energie (73 %) o ktorej zatiaľ nevieme takmer nič.

Základným kozmologickým predpokladom je, že Vesmír je na veľkých priestorových škálach homogénny a izotropný, čiže rovnaký v každom mieste a v každom smere. Aj keď naše skúsenosti, založené na pozorovaní tomuto silne odporujú, musíme si predstaviť bližšie, aké priestorové škály kozmológia uvažuje. Pri popise súčasného stavu vesmíru sa totiž v kozmológii všetky fyzikálne veličiny usreďujú, a to na priestorových škálach, ktoré zodpovedajú kockám o hrane s rozmerom až 50 Mpc (Mpc - megaparsek; $1 \text{ Mpc} = 3,0856 \times 10^{22} \text{ m}$; $50 \text{ Mpc} = 1,5 \times 10^{24} \text{ m}$). Inak povedané, kozmológia pri popise súčasného vesmíru vychádza z predpokladu, že vesmír je tvorený gigantickými blokmi, ktoré sú úplne rovnaké. Na vytvorenie lepšej predstavy o veľkosti týchto vesmírnych „buniek“ môžeme uviesť, že každá z nich by mala obsahovať 100 000 galaxií. Napriek takémuto veľkému počtu sa ale ukazuje, že rozloženie jednotlivých galaxií je v jednotlivých kockách skutočne štatisticky rovnaké. Celý pozorovateľný vesmír by mal nakoniec pozostávať z 10^6 takýchto kociek.



Obr. 1 – Vesmír je na najväčších škálach homogénny a izotropný.

Štruktúra Vesmíru

Úloha predstaviť si štruktúru Vesmíru je veľmi ťažká z mnohých aspektov. Obrovské vzdialenosti vo Vesmíre si jednoducho so svojimi pozemskými skúsenosťami nedokážeme predstaviť, s tým sa musíme zmieriť. Doterajšími astrofyzikálnymi metódami dokážeme priamo pozorovať len 1 % hmoty vo Vesmíre a pritom sa pokúšame popisovať jeho štruktúru, ktorá samozrejme závisí aj od hmoty nesvietiacej (3 %), ktorú pozorujeme len nepriamo, skrytej (23 %), ktorej existenciu len tušíme a od tmavej energie (73 %) o ktorej zatiaľ nevieme takmer nič. V posledných rokoch sa však uskutočnili pozorovania, ktoré naznačujú na rozloženie hmoty na veľkých škálach vzdialeností, preto sa predsa len môžeme pokúsiť naznačiť aspoň hrubé predstavy, ktoré by mali byť v súlade s najnovšími kozmologickými modelmi.

Základným kozmologickým predpokladom je, že Vesmír je na veľkých priestorových škálach homogénny a izotropný, čiže rovnaký v každom mieste a v každom smere. Aj keď naše skúsenosti, založené na pozorovaní tomuto silne odporujú, musíme si predstaviť bližšie, aké priestorové škály kozmológia uvažuje. Pri popise súčasného stavu vesmíru sa totiž v kozmológii všetky fyzikálne veličiny ustredňujú, a to na priestorových škálach, ktoré zodpovedajú kockám o hrane s rozmerom až 50 Mpc (Mpc - megaparsek; 1 Mpc = 3,0856.1022m _ 50 Mpc 1,5.1024m). Inak povedané, kozmológia pri popise súčasného vesmíru vychádza z predpokladu, že vesmír je tvorený gigantickými blokmi, ktoré sú úplne rovnaké. Na vytvorenie lepšej predstavy o veľkosti týchto vesmírnych „buniek“ môžeme uviesť, že každá z nich by mala obsahovať 100 000 galaxií. Napriek takémuto veľkému počtu sa ale ukazuje, že rozloženie jednotlivých galaxií je v jednotlivých kockách skutočne štatisticky rovnaké. Celý pozorovateľný vesmír by mal nakoniec pozostávať z 10^6 takýchto kociek.

Miestna skupina galaxií

Vráťme sa najprv k menším vzdialenostiam a pokúsme sa vysvetliť si usporiadanie hmoty vo Vesmíre pomocou objektov, ktoré môžeme dobre pozorovať aj na veľkých vzdialenostiach a tými sú galaxie. Naša Galaxia je sprevádzaná štyrmi menšími galaxiami, sú to Veľké Magellanovo mračno (LMC), Malé Magellanovo mračno (SMC), (SMC sú vlastne dve galaxie v zákryte, ktoré zo Zeme pozorujeme ako jednu galaxiu SMC) a trpasličia galaxia v súhvezdí Strelca, ktorá sa nachádza na opačnej strane Galaxie ako my. Obe Magellanove mračná sú pozorovateľné na južnej oblohe. Tieto satelitné galaxie postupne budú pohltené a splynú s našou Galaxiou.

Vyššie 50 ďalších najbližších galaxií spolu s našou Galaxiou vytvára Miestnu skupinu galaxií, z ktorých najjasnejšie sú viditeľné voľným okom, ako napr. Veľká hmlovina v Androméde s priemerom 140 000 svetelných rokov, ktorá je najväčšou, najhmotnejšou a najsvietivejšou galaxiou Miestnej skupiny galaxií a tiež spomínané Magellanove oblaky. Naša Galaxia s priemerom 100 000 svetelných rokov je druhou najväčšou a treťou rozsiahlou v miestnej skupine je galaxia v súhvezdí Trojuholníka s priemerom 55 000 svetelných rokov. Najbližšou známou galaxiou je trpasličia galaxia vzdialená od Slnka len 7,7 kpc a od stredu našej Galaxie 12,9 kpc. Bola objavená len nedávno v roku 2003 a predbežne nazvaná Trpaslík v súhvezdí Malého psa. K blízkym galaxiám patrí aj špirálová galaxia Dwingeloo objavená v roku 1994. Všetky galaxie miestnej skupiny sa nachádzajú v guľovom priestore o priemere do 10 miliónov svetelných rokov.

Galaxie miestnej skupiny nie sú v priestore rozložené rovnomerne, skôr naopak, môžeme rozlíšiť skupinku Mliečnej dráhy a skupinku M31/M33. Miestna skupina je z dynamického hľadiska stále aktívne prostredie.

Z astronomického hľadiska len pred nedávnom sa zistilo, že galaxia M31 sa približuje k našej Galaxii rýchlosťou vyše pol milióna km/hod a zrážka je nevyhnutná, no dôjde k nej až za nejaké 4 miliardy rokov.

Na tejto úrovni však hierarchia usporiadania galaxií nekončí, ale naopak, všetky galaxie sa pôsobením gravitácie zhľukujú do oveľa väčších celkov.

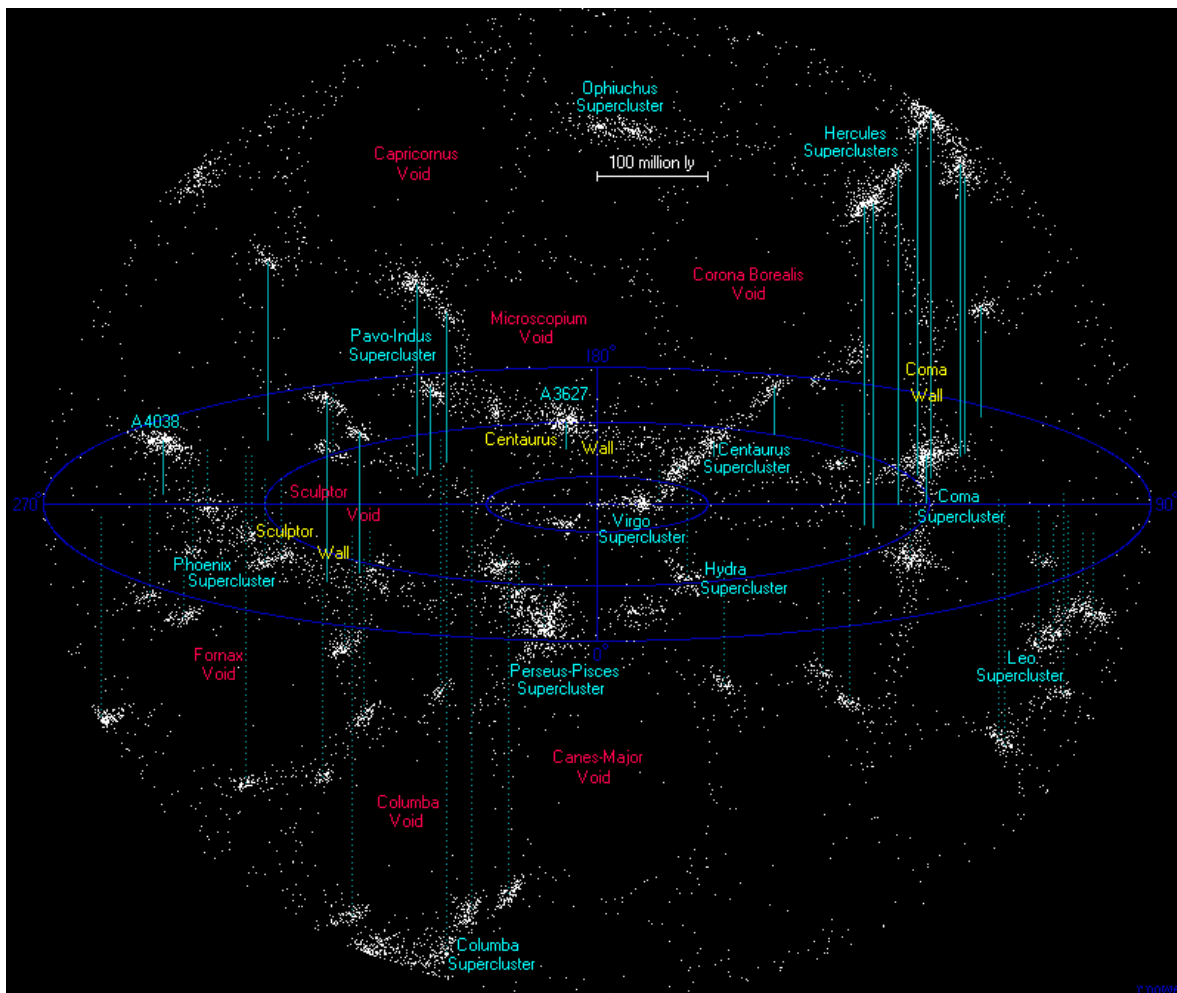
Kopy a nadkopy galaxií

Galaxie často vytvárajú skupiny galaxií, ktoré sa zhlukujú do kôp galaxií. Kopy, ktoré sú bohaté na veľké množstvo galaxií majú obyčajne guľový tvar, pričom jednotlivé galaxie sú v nich rozložené rovnomerne s koncentráciou k stredu kopy. V centre kopy prevládajú eliptické galaxie, na okrajoch sa nachádzajú špirálové a nepravidelné galaxie. Menej početné kopy majú nepravidelný tvar. V strede veľkej kopy galaxií sa často nachádza obria eliptická galaxia, ktorá zväčšuje svoju hmotnosť galaktickým kanibalizmom.

Medzi najbližšie husté kopy galaxií patria kopa galaxií v Panne, vzdialená 45 miliónov svetelných rokov a kopa vo Vlasoch Bereniky, vzdialená 300 miliónov svetelných rokov.

Pravdepodobne najväčšími štruktúrami vo Vesmíre sú nadkopy galaxií. Obsahujú 1000 až 100 000 galaxií, pričom ich rozloženie vo Vesmíre je už značne voľné. Platí, že čím je galaktická štruktúra väčšia, tým je podriadenosť jednotlivých galaxií k tejto štruktúre voľnejšia. Je to spôsobené tým, že gravitačná interakcia sa šíri v priestore konečnou rýchlosťou – rýchlosťou svetla.

Stále sme však nepopísali štruktúru celého Vesmíru. Stručne sa dá konštatovať, že v ešte väčších merítkach až do stoviek miliónov svetelných rokov vytvárajú galaxie vlákna, zhustenia a zriedenia. Nad touto škálou je už vesmír homogénny a izotropný.



Obr. 2 – rozloženie najbližších kôp galaxií v okolí našej kopy v súhvezdí Panny.

Najnovšie pozorovania

Za posledných dvadsať rokov sa kozmológovia dostali do trocha nezvyčajnej situácie – ich počítače sa dostali ďalej ako ďalekohľady. Rýchly vývoj výkonných počítačov a vyspelého softvéru poskytlo teoretikom schopnosť vytvoriť takmer všetko, čo si dokážu predstaviť vo virtuálnom Vesmíre. Štartujúc s rôznymi počiatočnými podmienkami hneď po Veľkom Tresku, môžu sledovať na svojich superpočítačoch, ako sa fiktívne svety rozvíjajú počas miliárd rokov. Tento náskok počítačového modelovania bol vyrovnaný len v posledných rokoch.

Koncom roka 2001 skupina astronómov v ESO a v Dánsku určila vzdialenosť k veľmi slabým galaxiám v susedstve vzdialených kvazarov. Zobrazením ich pozície v trojrozmernej mape zistili, že tieto objekty sú lokalizované vo vnútri úzkych vlákien presne tak, ako súčasné teórie predpokladajú vývoj prvých štruktúr v mladom vesmíre. Objekty sú najpravdepodobnejšie stavebné kamene, z ktorých sú galaxie a skupiny galaxií zostavené. Toto pozorovanie ukázalo veľmi užitočný spôsob, ako pokročiť v štúdiu štruktúry celého vesmíru. Súčasne poskytlo dôkaz o veľkej sile novej triedy optických teleskopov pre kozmologické štúdie. Uvedený tím astronómov pôvodne hľadal kompaktné zhluky vodíka v rannom Vesmíre.

Vodík sa vytvoril počas Veľkého Tresku pred 13,7 miliardami rokov a je zďaleka najbežnejší prvok vo Vesmíre. Keď sa vyformovali hviezdy – zmrštením veľkého, kompaktného zhluku vodíka – okolité vodíkové mračno absorbovalo ultrafialové žiarenie z novozrodených hviezd a toto mračno začalo čoskoro žiariť hlavne na jedinej vlnovej dĺžke (121,6 nm) – „Lyman-alfa“ emisnej čiary vodíka. Táto vlnová dĺžka je v tej časti ultrafialového spektra, pre ktorú je pozemská atmosféra úplne nepriehľadná. Preto sa Lyman-alfa emisia bežne nedá pozorovať pozemskými teleskopmi. Ale ak veľmi vzdialené vodíkové mračno emituje Lyman-alfa žiarenie, potom jeho spektrálna čiara bude mať červený posun z ultrafialovej do modrej, zelenej alebo červenej oblasti spektra. Z tohto dôvodu sa pozorovania Lyman-alfa emisie veľkými pozemskými teleskopmi môžu využiť na identifikáciu slabých objektov, vzniknutých vo vnútri vlákien s veľkým červeným posunom.

Prázdnota

Ďalšie prekvapujúce pozorovania priniesol rok 2007. Astronómia z Univerzity Minnesota prehliadali dáta zaznamenané v priebehu prehliadky oblohy sústavou rádioteleskopov VLA (Very Large Array). Pozreli sa aj na dáta z oblasti „chladnej škvŕny“ v mikrovlnnom pozadí žiarenia (CMB). Tou škvŕnou je anomália v mape CMB, ktorú získala družica WMAP. Fotóny žiarenia sú v smere tejto škvŕny nepatrne chladnejšie, ako by sa očakávalo. Z dát VLA sa ukázalo, že v oblasti tejto škvŕny sa nenachádzajú takmer žiadne zdroje rádiového žiarenia v oblasti o priemere takmer 1 miliarda svetelných rokov. To znamená, že v tejto prázdnote nie sú ani galaxie a ani temná skrytá hmota, ktorá je s nimi spojená. Prázdnota sa nachádza vo vzdialenosti asi 8 miliárd svetelných rokov a má 40x väčší objem, ako dosiaľ najväčšie podobné štruktúry vo Vesmíre, zaznamenané v optickom obore. Táto gigantická prázdnota unikla detekcii pri optických prehliadkách, pretože tie nepokryli dostatočne veľké objemy vesmíru. Existencia obrovskej prázdnoty je zároveň potvrdením úlohy temnej energie vo Vesmíre, ktorá by mala byť zodpovedná za jeho rozpínanie.

Zaujímavé je aj vysvetlenie, prečo sa prázdnota prejavuje ako chladné miesto v CMB. Ak totiž prechádza fotón CMB tzv. gravitačnou studňou, vytvorenou kopou galaxií, najprv získa energiu pri páde do nej a potom ju opäť stráca pri výstupe z nej. Pokiaľ sa ale rozpínanie Vesmíru zrýchľuje, na fotón pri výstupe z gravitačnej studne pôsobí menšia gravitačná sila a fotón získava energiu. Pokiaľ sa ale v danom mieste nenachádza žiadne zoskupenie hmoty, energia fotónov v danom mieste je nižšia. Podľa niektorých kozmológov existencia chladnej škvŕny predstavovala problém. Dnes už vieme, že škvŕna sa mohla vytvoriť až miliardy rokov po veľkom tresku a teda nesúvisí s pôvodným rozložením CMB.



Obr. 3 - VLA je jedno z najväčších rádioastronomických observatórií sveta. Pozostáva z 27 rovnakých pohyblivých rádiových antén rozostavených do tvaru písmena Y. Nachádza sa 80 km západne od mesta Socorro v Novom Mexiku v USA. Každá anténa má priemer 25 m a ich elektronicky integrovaný signál dáva rozlíšenie ako by mala 36 km dlhá anténa a citlivosť ako parabolická anténa o priemere 130 m. (foto L. Hric).

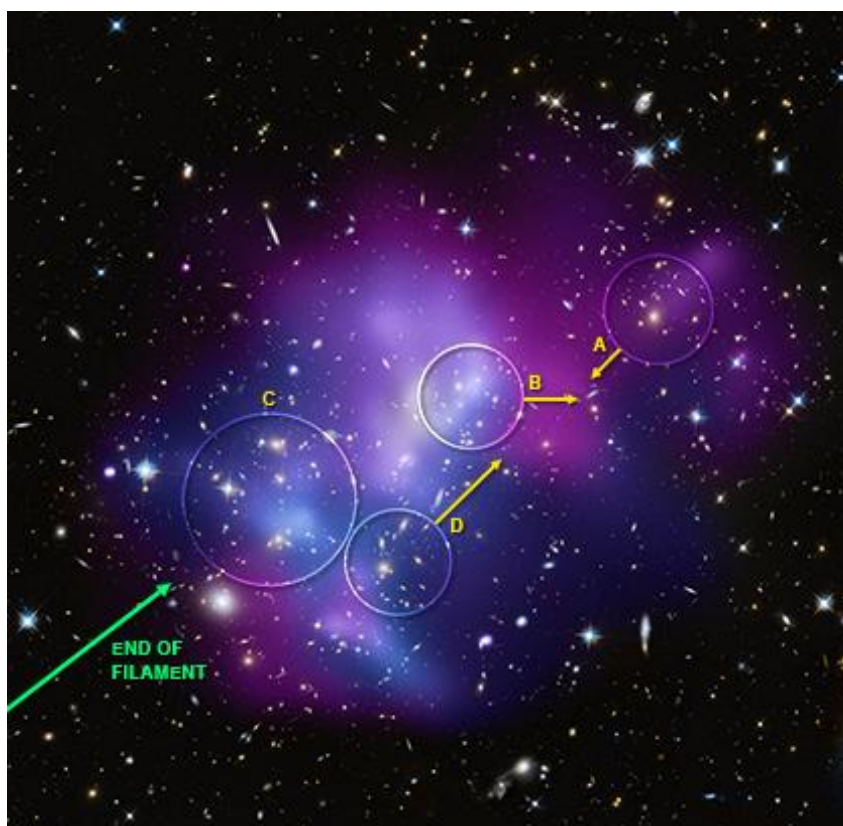
Veľkoškálové štruktúry

Ďalšie veľkoškálové štruktúry pozoroval tím astronómov pomocou japonského ďalekohľadu Subaru s priemerom 8,2 m na Mauna Kea. Tím objavil obrovské trojrozmerné vlákno galaxií a veľké plynové štruktúry. Objavené vlákno sa rozprestiera v dĺžke 200 miliónov svetelných rokov a vzniklo približne už 2 miliardy rokov po veľkom tresku. Táto štruktúra je husto pokrytá viac ako 30 veľkými koncentraciami plynu. Každý z nich je pritom približne 30 krát hmotnejší ako naša Galaxia. Obrovské oblaky plynu sú pravdepodobne predchodcami súčasných masívnych galaxií. Skúmaná oblasť, na ktorú sa zamerl ďalekohľad Subaru je známa veľkou koncentráciou galaxií, leží vo vzdialenosti 12 miliárd svetelných rokov od Zeme. Okolo týchto vlákien boli objavené ďalšie, zatiaľ neznáme štruktúry. Nájdených pritom bolo 33 nových veľkých koncentrácií plynu pozdĺž vlákna štruktúry. Tieto útvary boli označené ako kvapky Lyman-alfa (Lyman alpha blobs) a pravdepodobne súvisia práve so vznikajúcimi galaxiami.

Pozorovania pomocou spektrografu 10 metrového ďalekohľadu Keck II ukázali, že plyn vo vnútri kvapiek sa pohybuje rýchlosťou väčšou ako 500 km/s. Kvapky vykazujú neuveriteľnú rozmanitosť tvarov a jasností. Niektoré pripomínajú tvarom bubliny, čo je v zhode s počítačovými simuláciami galaktických vetrov. Tento objav pomôže lepšie pochopiť procesy vzniku najväčších galaxií.

Ako posledný z najnovších objavov môžeme uviesť kopu galaxií MACS J0717, ktorá je preplnená galaxiami. Je to vlastne zrážka štyroch kôp galaxií vo vzdialenosti 5,4 miliardy

svetelných rokov. Pri tomto pozorovaní bolo potrebné skombinovať dva kozmické ďalekohľady – HST a Chandru a pozemské schopnosti Kecka na Havajských ostrovoch. Tieto pozorovania odhalili trojdimenzionálnu štruktúru 13 miliónov svetelných rokov dlhého vlákna galaxií, prachu a tmavej hmoty, ktoré ústi do akéhosi uzla hmoty.



Obr. 4 - Kopa galaxií MACS J0717.

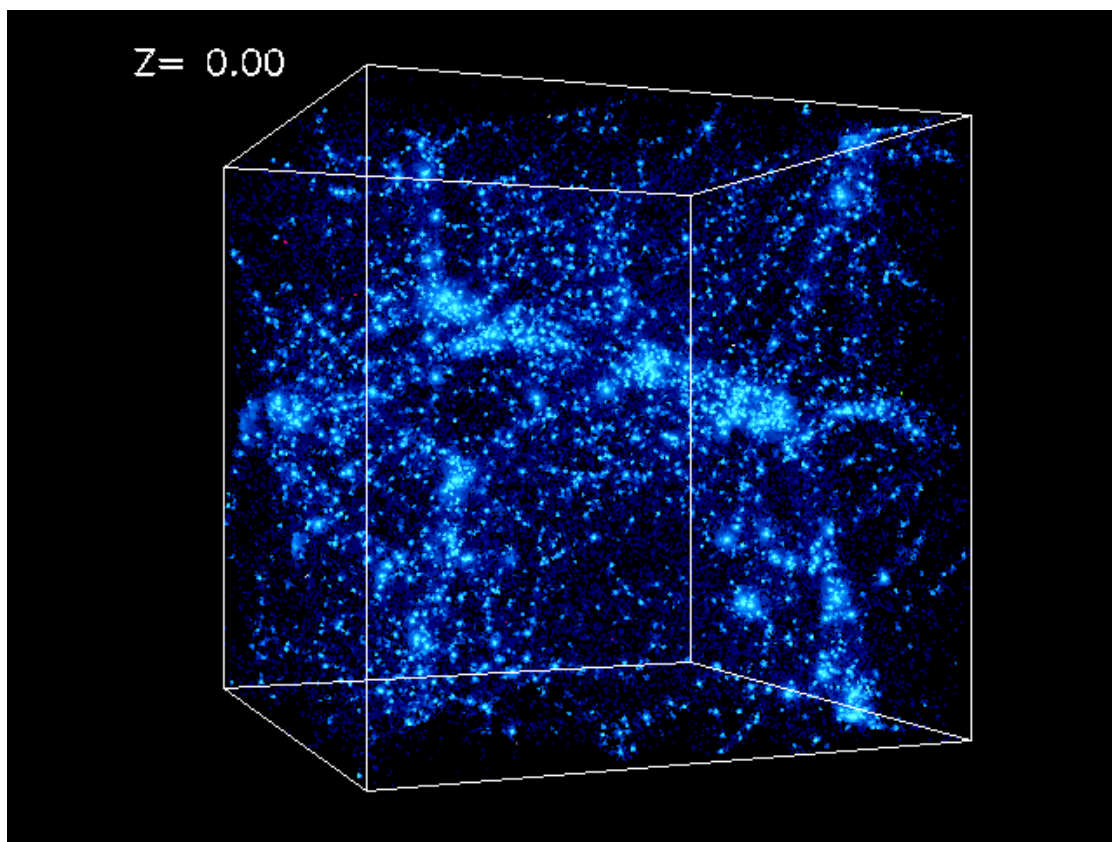
Na základe doterajších pozorovaní, z ktorých pár príkladov sme tu uviedli, môžeme prijať určité zobecnenia pre štúdium štruktúry Vesmíru. Hmota vo veľkoškálových štruktúrach je usporiadaná v sieti križujúcich sa vlákien. Sieť je nepravidelná a má rozlične veľké oká. Rôznu dĺžku a hrúbku majú aj jednotlivé vlákna, ktoré sa navzájom križujú. Uzly na križovatkách vlákien sa navzájom líšia veľkosťou aj tvarom, množstvom látky, ktorá sa v nich akumuluje, počtom vlákien, ktoré sa v nich križujú ale aj vzdialenosťou od susedných uzlov. Už v roku 1989 bola na severnej oblohe v súhvezdí Herkula objavená superkopa galaxií, nazývaná aj "Veľký múr", ktorý má dĺžku 500 miliónov, šírku 200 miliónov a hrúbku 15 miliónov svetelných rokov. V roku 2003 však vedci oznámili objav tzv. Sloanovho Veľkého múru, ktorý meria až 1,37 miliardy svetelných rokov. Vlákna (filamenty) a prázdne miesta vytvárajú zrejme v celom Vesmíre špongiovitú štruktúru. Zatiaľ však stojíme iba na začiatku jej výskumu.

V súčasnosti väčšina kozmológov verí, že pozorovateľný vesmír je takmer plochý s lokálnymi ohybmi, kde masívne objekty narúšajú časopriestor, podobne tak ako je ploché jazero, s lokálnymi vlnkami na hladine. Tento názor bol podporený najnovšími údajmi zo sondy WMAP, ktorá skúmala "akustické oscilácie" v kolísaní teploty CMB.

Podľa štandardného modelu Veľkého tresku nemá vesmír žiadne priestorové hranice, no jednako môže byť priestorovo konečný. Ak je vesmír skutočne neohraničený, avšak priestorovo konečný, potom by cestovanie po „priamej“ dráhe v ľubovoľnom smere teoreticky spôsobilo, že cestovateľ by sa po prejení dráhy rovnajúcej sa obvodu vesmíru nakoniec dostal späť na miesto, odkiaľ vyštartoval (čo je v našom súčasnom chápaní vesmíru nemožné, pretože jeho veľkosť je oveľa väčšia ako veľkosť pozorovateľného vesmíru).

Záverom treba spomenúť, že existujú aj špekulácie, že viacnásobné vesmíry by mohli existovať vo vyššom multiverze (tiež známom ako megaverzum), pričom náš vesmír by bol iba jedným z

nich. Napríklad, hmota, ktorá spadne do čiernej diery v našom vesmíre sa môže objaviť ako „veľký tresk“ a odštartovať tak iný vesmír. Všetky takéto teórie sú však v súčasnosti netestovateľné a nemôžu byť považované za viac ako len domnienky.



Obr. 5 – Predstava o špongiovitej štruktúre Vesmíru.