

Vesmírné struktury největších rozměrů.

Ivan Havlíček

Zlínská astronomická společnost

Ve dvacátém století se astronomové dostali téměř až na samu hranici viditelného vesmíru. Ve velkých vzdálenostech na škálách stamiliónů a miliard světelných roků dnes pozorujeme struktury, které vyplňují dosud nezmapovaný prostor a zároveň se pohybují a mění se v čase. Pohyby a struktury velkých měřítek jsou tím nejrozsáhlejším kartografickým a astrofyzikálním projektem, ke kterému dosud astronomové dospěli.

Trocha historie

Vesmír je strukturován na nejrůznějších měřítkových úrovních. Od světa sluneční soustavy lze postupovat ke stále větším a vzdálenějším objektům, přes hvězdné systémy až ke galaxiím. Galaxie jsou obří soustavy hvězd, plyných a prachových mračen, které se objevují jako astrofyzikální objekty v literatuře již téměř sto let. Galaxie se však také ve vesmíru vyskytují ve skupinách, které jsou označovány jako kupy, nadkupy, vlákna či galaktické stěny. Terminologie není příliš jednotná a v různé literatuře jsou občas tytéž útvary označovány rozdílně. Mezi galaxiemi je v prostoru nepředstavitelně řídké prostředí, s rozvojem pozorovací techniky však byl objeven mezigalaktický plyn zářící uvnitř galaktických soustav v rentgenovém oboru a také temná hmota, která mění obrazy vzdálených objektů a z těchto změn pak lze zpětně určit i rozložení neviditelné hmoty. Jelikož ale nejnápadnějšími a pozorovatelsky nejdostupnějšími stavebními kameny ve vesmíru jsou právě galaxie, struktury na velkých měřítkových škálách byly nalezeny nejprve v prostorovém rozmístění galaxií.

Na obloze lze takové útvary ještě stále spatřit i malými dalekohledy. Jsou zde oblasti, kde se velké hvězdné systémy vyskytují častěji a jejich seskupení jsou mnohem nápadnější než jinde. Téměř každý amatérský pozorovatel zná Kupu galaxií v souhvězdí Panny nebo Kupu ve Vlasech Bereniky. Všiml si toho už William Herschel, aniž tušil, o jaké objekty jde, když v roce 1784 oznámil, že většina mlhovin se nachází v pásu kolmém na Mléčnou dráhu. Když začátkem dvacátých let minulého století Edwin Hubble rozlišil ve Velké mlhovině v Andromedě cefeidy, a bezpečně tak určil, že jde o hvězdný systém nepatřící do Mléčné dráhy, astronomové začali sestavovat první výhradně galaktické katalogy.

Tyto přehlídky byly pořizovány obřími dalekohledy své doby, zejména na hvězdárně na Mount Wilsonu. V roce 1917 zde byl postaven obří stopalcový Hookerův reflektor, který byl největším přístrojem až do roku 1949, kdy jeho prvenství převzal palomarský pětimetr. Jižní obloha byla v té době snímána také 24palcovým Bruceovým dalekohledem hvězdárny v Bloemfontein v jižní Africe. Přehlídky galaxií byly prováděny fotograficky a stejně tak byly i prostřednictvím fotografického záznamu spekter určovány astrofyzikální charakteristiky zaznamenaných objektů. Vzdálenost objektů byla tedy měřena na základě Hubbleova zákona z posuvu spektrálních čar do červené oblasti. Trochu problematičtější sice, až téměř do konce dvacátého století, zůstávala nejistota kolem Hubbleovy konstanty, ale poměrná škála vzdáleností jednotlivých objektů a náznaky velkorozměrových struktur byly rozeznatelné už v prvních přehlídkách.

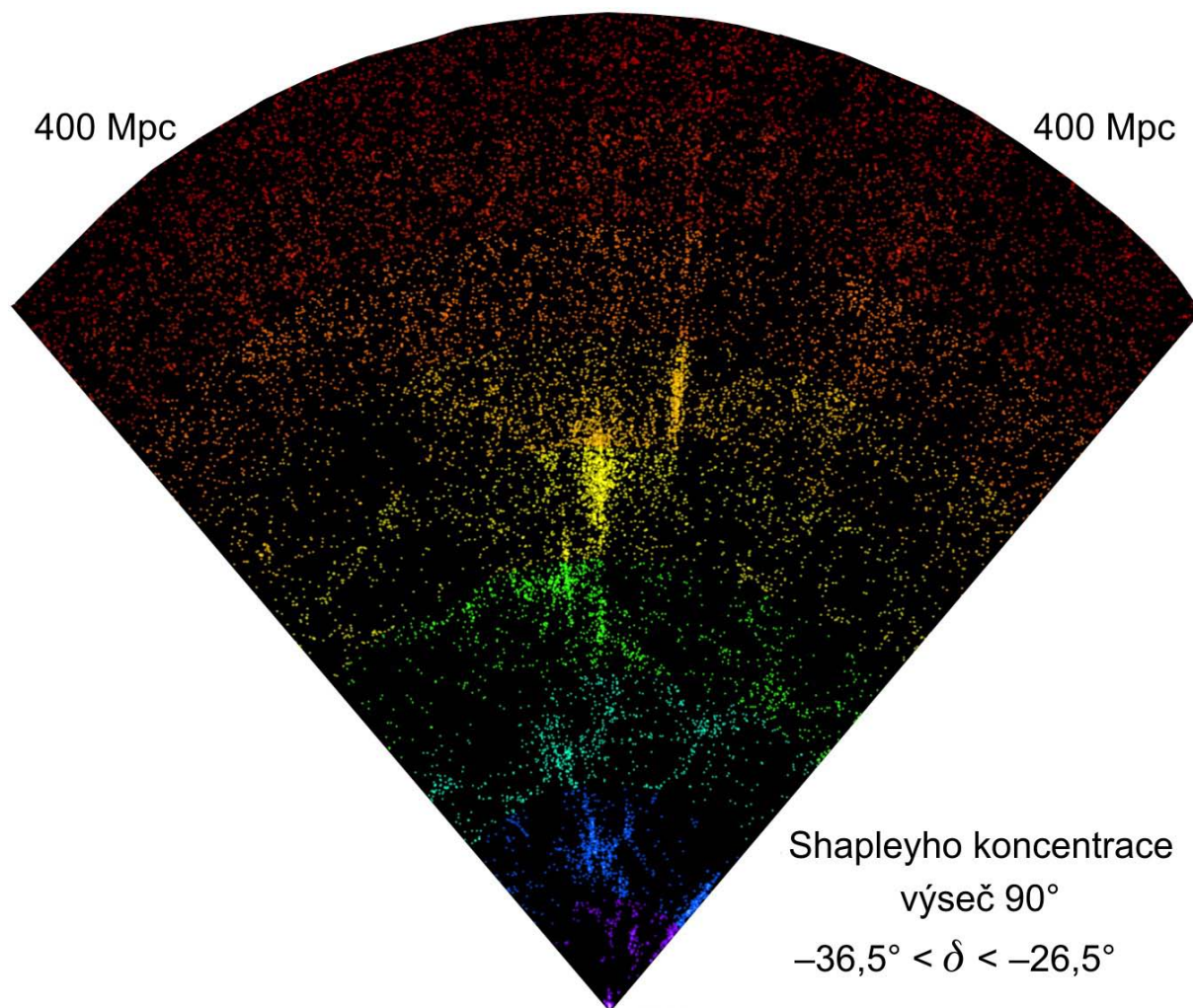
Situace tak trochu připomínala dobu před Cassiniho určením vzdálenosti Země od Slunce. Astronomové tehdy sice znali dostatečně přesně poměrné vzdálenosti mezi jednotlivými planetami, avšak nedokázali k této škále přiložit reálné absolutní měřítko. Navíc až do devadesátých let minulého století, kdy k určování vzdáleností na velkých škálách byly

nezávisle na červeném posuvu využity i měření supernov Ia, byl Hubbleův zákon jediným měřítkem vzdálenosti, které se zde dalo použít. Astronomové tedy použili pro určení vzdálenosti červený posuv spektrálních linií popřípadě jeho převod na rychlost vzdalování, která je ze spektra, za určitých předpokladů, měřitelná přímo.

Pro zjednodušení, možnost porovnání napozorovaných výsledků z různých dob a zdrojů, a pro nezávislost na nejisté hodnotě Hubbleovy konstanty H se vzdálenosti udávají buď přímo v hodnotách červeného posuvu, nebo v rychlosti vzdalování. Standardním metrem je tedy tzv. Hubbleův tok, který je definován jako rychlost kosmické expanze. Znamená to, že jakmile by byla přesně určena konstanta vzdalování, bylo by možné rychlosti přiřadit i příslušnou vzdálenost v délce, pokud to pro prostorovou představivost velkorozměrových struktur uznáme za nutné. Také se pro zjednodušení jednotkových převodů používá redukováná Hubbleova konstanta $h = H/H_0$. Redukovaná h je dělená normujícím faktorem $H_0 = 100 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, je bezrozměrná a její hodnota z měření WMAP je dnes udávána $0,71 \pm 0,04$. Z fyzikálního hlediska je ale jedno, zda rozměry vesmíru udáváme v míře délkové nebo pomocí změřené rychlosti vzdalování – tedy prostřednictvím červeného posuvu.

Hromadění obrazů nebeských objektů

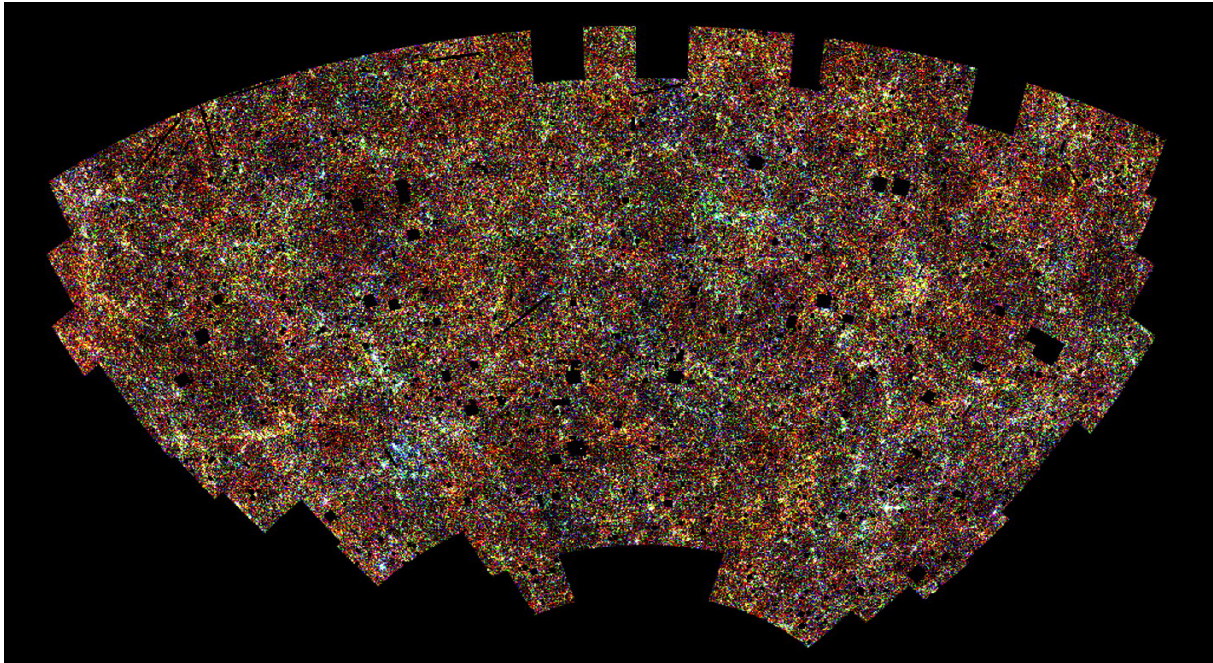
Pokud ale u galaxií a jejich skupin změříme vzdálenost pomocí jejich radiálního pohybu, který je pak interpretován jako funkce vzdálenosti, velmi obtížně se určuje, která část změřeného radiálního pohybu je zapříčiněna rozpínáním prostoru a která je jen vlastním pohybem měřeného objektu uvnitř galaktické kupy způsobeným vzájemným gravitačním ovlivňováním. Protože se některé galaxie uvnitř kupy pohybují směrem k nám, a jiné se zase ze stejného důvodu vzdalují rychleji, než by odpovídalo jen prostorové expanzi, zákonitě se stane, že obrazy vzdálených galaktických soustav jsou radiálně „rozmazány“. Zobražíme-li totiž takto získané polohy galaxií do prostorového rozložení, za předpokladu rovnoměrného přírůstku rychlosti vzdalování se vzdáleností, sečtou se vlastní pohyby objektů s rychlostí expanze a kupa náhodně pohybujících se galaxií kolem společného těžiště soustavy se touto projekcí bude promítat protažená v radiálním směru. Už z prvních galaktických přehlídek tak byly patrné protáhlé struktury ve směru pozorovacího paprsku, které byly označovány jako „boží prsty“.



1. Struktura zobrazená pomocí měření červeného posuvu. Hraniční vzdáleností je $z \sim 0.1$ (400 Mpc), danou katalogem galaxií 2MASS. Ve směru rektascenze jde o výsek veliký 90° směrem na rektascenzi cca 13h, deklinace je zobrazena v intervalu $(-36,5^\circ; -26,5^\circ)$. Rozhraní mezi barevnými mezikružšími odpovídají vzdálenosti po 0,01 z . Zřetelné jsou „boží prsty“ radiálních rychlostí. Uprostřed je žlutě zobrazená galaktická kupa Abell 3558 a v popředí se táhne přes modré odstíny nadkupa Hydra – Centaurus směrem k Shapleyho koncentraci. Thomas H. Jarrett, Caltech.

V současných přehlídkách, i když jsou prováděny mnohem přesněji a lze kombinovat data z mnoha přístrojů a překrývat i různé spektrální obory, toto radiální protažení přetrvává. Pouze se od Shapleyových a Abellových dob posunulo do větší vzdálenosti. Vlastní pohyby jednotlivých členů lze dnes sice nejrůznějším způsobem redukovat, aby byl obraz nalezené struktury „věrnější“ skutečnosti, nepřesnosti v určení vzdálenosti však se vzdáleností rostou. Navíc vzrůstají problémy se zachycením jednotlivých objektů pro úbytek jejich světla. Výběrovým efektem se na velkých vzdálenostech prosazují jasnější objekty, které je nutno astrofyzikálně charakterizovat. Blízkými objekty velkoplošné oblohové přehlídky tak mohou být galaxie, vzdálenějšími pak aktivní galaktická jádra, kvazary a jiné exotické, extrémně zářící objekty. Jednotlivé přehlídky oblohy proto mají většinou stanovenou jen hranici jasnosti objektů, které jsou ještě spolehlivě do seznamu zařazeny a u kterých lze ještě s dostatečnou přesností určit požadované astrofyzikální charakteristiky. Při stanovení prostorového rozložení velkorozměrových struktur jde v první řadě o určení vzdálenosti

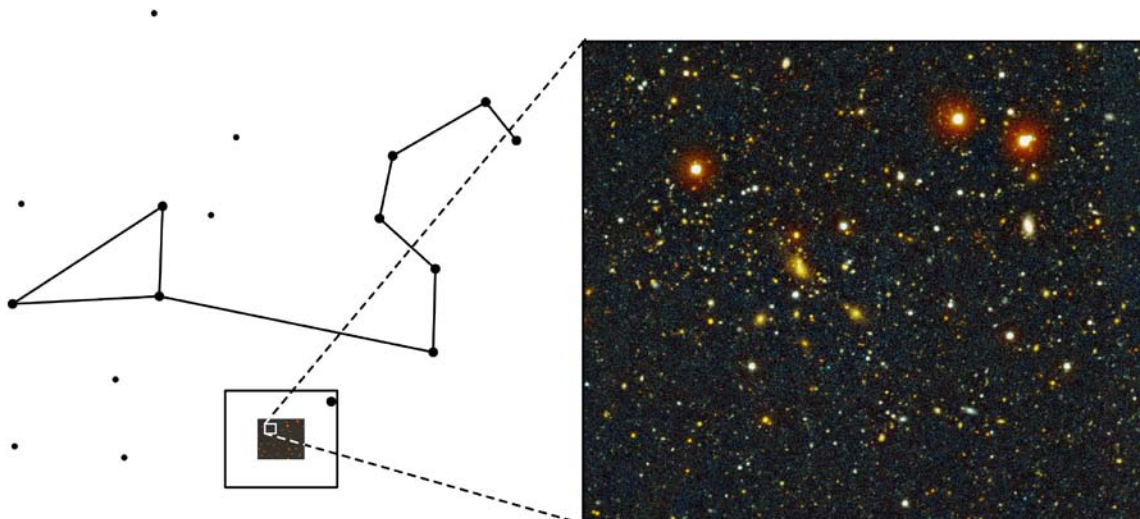
objektu a jeho spektrum. Například přehlídka APM Galaxy Survey, jejíž výsledky byly publikovány v roce 1990, je vytvořena skenováním 185 fotografických polí získaných anglickým Schmidtovým dalekohledem v Siding Spring v Austrálii. Limitní magnituda pro detekci obrazu je 21,5 a pro spektrální klasifikaci hvězd 20,5.



2. APM Galaxy Survey je počítačem vytvořená přehlídka oblohy více jak 2 milionů galaxií a 10 milionů hvězd pokrývající cca 1/10 celé oblohy kolem jižního galaktického pólu. Obrázek zachycuje oblast $100 \times 50^\circ$. Intenzita každého pixelu je měřítkem počtu galaxií od modré přes zelenou do červené pro jasné, střední a slabé galaxie. Malá černá místa odpovídají jasným blízkým objektům – hvězdám a kulovým hvězdokupám. 2dF Galaxy Redshift Survey.

Svět se pohybuje a velké struktury se pohybují příliš rychle

V roce 1987 objevila skupina sedmi astronomů (Alan Dressler, Sandra Moore Faber, Donald Lynden-Bell, Roberto Terlevich, Roger Davies, Gary Wegner a David Burstein) koordinovaný pohyb stovek galaxií, který se vymykal Hubbleovu toku, tedy pohybu objektů způsobenému rozpínáním vesmíru. „Cosi“ o hmotnosti $\sim 5.4 \times 10^{16} M_\odot$ způsobovalo pohyb stovek galaxií směrem k $l = 307^\circ$ a $b = 9^\circ$, kde l je galaktická šířka a b je galaktická délka. Vzdálenost této neobvykle hmotné, ale prozatím neviditelné struktury, která je alespoň dvacetinásobkem hmotnosti celé kupy galaxií v Panně, byla určena rychlostí $4\,350 \pm 350 \text{ km s}^{-1}$ v Hubbleově toku. Tato rychlost odpovídá vzdálenosti kolem 150 milionů světelných roků. Struktura byla nazvána Velký atraktor a Dresslerova skupina si objevem atraktoru vysloužila přezdívku Sedm samurajů podle amerického westernu Sedm statečných (nebo podle A. Kurosawy, který natočil jeho japonskou verzi o šest let dříve). Pokud vztáhneme pohyby známých galaktických kup v bezprostředním okolí k pozadí reprezentovanému reliktním zářením, Velký atraktor přitahuje Místní skupinu galaxií a s ní i Mléčnou dráhu včetně naší sluneční soustavy rychlostí 600 km s^{-1} .



3. Největší dosud známá galaktická nadkupa v souhvězdí Lva. Struktura zabírá na obloze $5^\circ \times 2^\circ$, je ve vzdálenosti 6,5 miliardy světelných roků, což značí, že je dlouhá cca 600 milionů světelných roků. NASA/GSFC.

Pro studium rozměrných mimogalaktických struktur byl vytvořen nejrozsáhlejší systém souřadnic – supergalaktické souřadnice. Základní rovinu definoval Gerard de Vaucouleurs podle Shapleyho –Amesova katalogu galaxií už v roce 1953 jako rovinu protínající nejhustší oblasti galaxií našeho okolí. Rovina protíná vláknitou strukturu obsahující Místní nadkupu galaxií, nadkupu ve Vlasech Bereniky, nadkupu v Rybách a Velrybě, Shapleyho koncentraci, a dvě oddělené prázdné oblasti – Severní a Jižní místní obří bubliny. Počátek je stanoven v rektascenzi 2h 49m 14s, deklinaci $+59^\circ 31' 42''$, a supergalaktický severní pól má souřadnice $\alpha = 18\text{h } 55\text{m } 01\text{s}$, $\delta = +15^\circ 42' 32''$ (ekvinokcium 2000), kde α je rektascenze a δ deklinace. V kombinaci s reliktním zářením kosmického pozadí lze tak získat referenční soustavu, k níž pak můžeme vztáhnout prostorové rozložení a pohyby velkorozměrových struktur. Pojdme se tedy seznámit s velkoprostorovým mapováním vesmíru kolem nás. Od devadesátých let minulého století proběhlo několik velkoplošných přehlídek oblohy s cílem pořádit prostorovou mapu velkorozměrových struktur v našem okolí, kam až lze dohlédnout. Následující výčet uvádí jen některé klíčové projekty.

Přehlídkové projekty oblohy

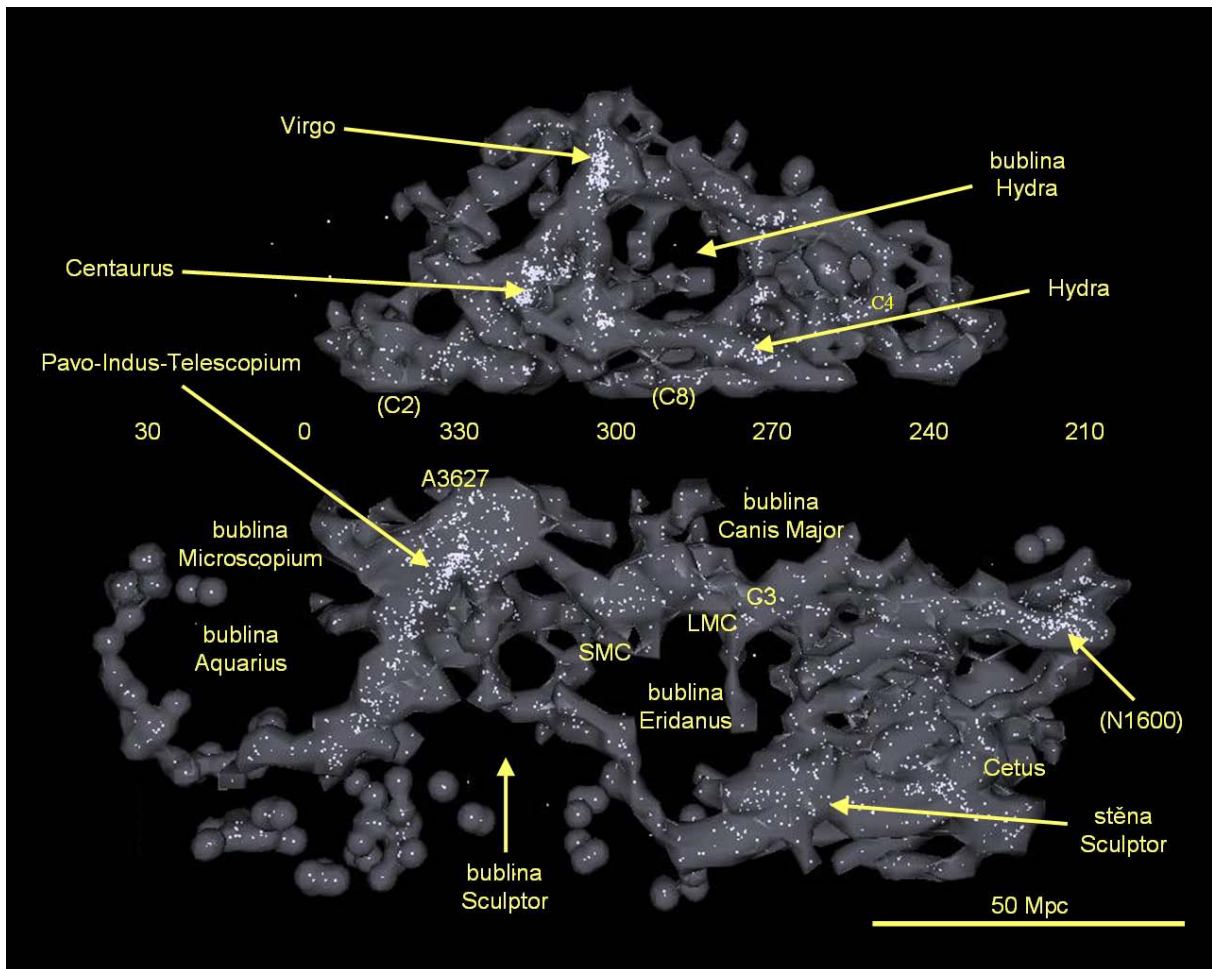
Přehlídka 2MASS proběhla v rozsahu celé oblohy. Je jednou z mála skutečně celooblohových přehlídek, která zároveň zachytila vzdálené velkorozměrové struktury galaktických kup a nadkup. Snímkování bylo prováděno poblíž infračervené oblasti spektra J ($1,25 \mu\text{m}$), H ($1,65 \mu\text{m}$) a Ks ($2,16 \mu\text{m}$). Byly použity dva opticky srovnatelné dalekohledy, jeden pro severní část oblohy na Mt. Hopkins v Tusconu v Arizoně a druhý pro jižní část oblohy na observatoři Cerro Tololo poblíž La Serena v Chile. Oba Cassegrainovy reflektory měly průměr 1,3 m a rozlišení $2,0''$. Přehlídka začala na Mt. Hopkins v červnu 1997. Jižní observatoř začala pracovat od března 1998. Projekt byl ukončen v roce 2001. Odečtením světla Mléčné dráhy a některých dalších blízkých zdrojů byly získány obrazy vláknitých struktur vzdálených extragalaktických zdrojů, které se staly vodítkem pro další přehlídky.

V roce 1998 byla publikována přehlídka červeného posuvu 15 500 galaxií „IRAS PSC redshift survey“ v katalogu „IRAS Point Source Catalogue“ pokrývajícím 83 % oblohy. Přehlídka byla pořizena družicí IRAS z roku 1983, která snímala oblohu v oboru 12, 25, 60 a $100 \mu\text{m}$.

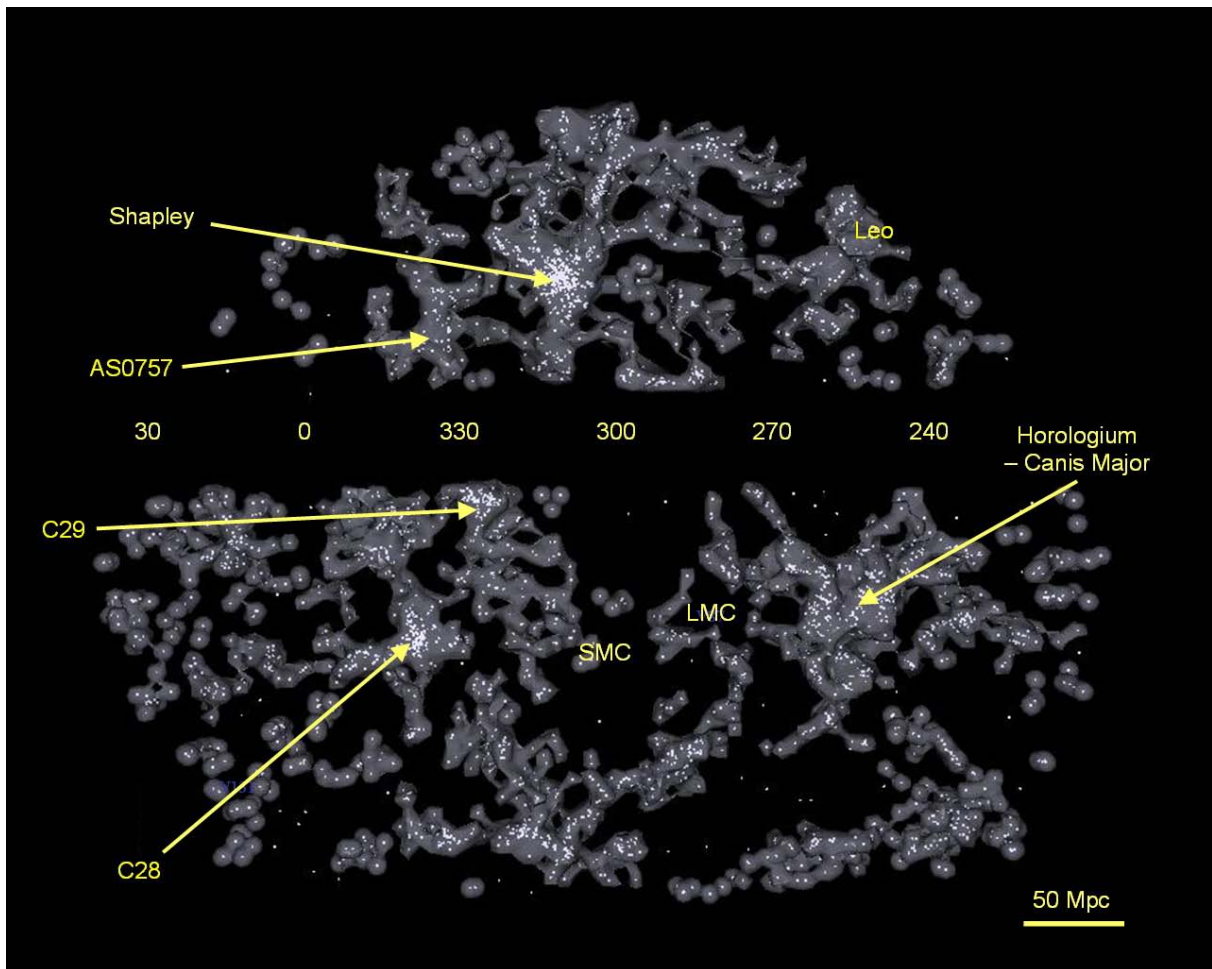
2dFGRS (2 degree Field Galaxy Redshift Survey) je velkoplošná spektrální přehlídka prováděná v letech 1997 až 2002 čtyřmetrovým Anglo-australským dalekohledem (AAT) umístěným v Austrálii. Přehlídka 2dFGRS zobrazuje galaktické objekty do vzdálenosti s kosmologickým posuvem $z = 0,22$, což odpovídá skutečné vzdálenosti 2 miliardy světelných roků. V těchto výsecích jsou zahrnuta spektra 245 591 objektů, převážně galaxií, které dosahují jasnosti alespoň $19,45^m$. Spolehlivě je červený posun stanoven pro 221 414 galaxií. Zobrazená plocha zabírá 1 500 čtverečných stupňů ve třech výsecích vybraných tak, aby byly zobrazeny zejména oblasti poblíž severního a jižního galaktického pólu, tedy takové, kde ve výhledu nebrání blízká látka Mléčné dráhy.

Na přehlídce 2dFGRS navazuje přehlídka „2dF QSO Redshift Survey“ (2QZ), což je obdobný projekt probíhající na téže přístroji, který ale zobrazuje ještě vzdálenější objekty. Jde o kvazary do kosmologického posuvu $z = 3,0$.

Velkoplošná přehlídka mapující téměř polovinu oblohy 6dFGS (6 degree Field Galaxy Survey) probíhá také na AAT v Austrálii. Jde o pokračování předchozího dvoustupňového projektu, zobrazení čítá 136 304 spekter zahrnujících 110 256 nových červených posuvů a nový katalog čítající 125 071 galaxií. Díky změřeným vlastním pohybům u 11 000 galaxií je možné určovat jejich hmotnosti a vzájemné pohybové a gravitační vztahy. Projekt dobíhá v roce 2009, v březnu byly publikovány první celkové výsledky. Projekt 6dF zobrazil bublinovitou strukturu vesmíru na dosud největších prostorových škálách. Téměř všechny nalezené galaxie se shlukují do síťové struktury kolem velkých bublin. V bublinách se nachází jen zhruba 1 % galaxií. Bubliny jsou řádově velké desítky Mpc. Byly objeveny složité struktury (cratons = hrachovina) sestávající z velmi hustých a dlouhých vláken, proděravěných bublinami a oddělených od sebe řídkými oblastmi. „Hrachovina“ v oblasti koncentrace Horologium – Canis Major je dlouhá 250 Mpc. „Hrachovina“ koncentrace Horologium – Pictor s ní tvoří v prostoru paralelní strukturu a bublina mezi nimi má na průměr 100 Mpc.



4. Celou snímanou oblast přehlídky 6dFGS lze rozdělit podle vzdálenosti vyjádřené kosmologickým červeným posuvem. Na snímku jsou ukázány poměrně blízké struktury. Z červeného posuvu lze vyčíst rychlost vzdalování v intervalu $4\,000 \div 5\,000 \text{ km s}^{-1}$. Nezobrazený prázdný pruh uprostřed je zastíněn Mléčnou dráhou.



5. Vzdálenější slupka ukazuje část Shapleyho koncentrace, rychlost vzdalování těchto struktur je v intervalu $14\,000 \div 15\,000 \text{ km s}^{-1}$. Vizualizaci na základě dat 6dFGS a 2MRS provedl Tony Fairall z Kapské univerzity v červenci 2007.

SDSS (Sloan Digital Sky Survey) je dnes jedním z předních přehlídkových projektů. Optika hlavního dalekohledu je navržena pro viditelné pozorovací okno s přesahem do infračervené oblasti: $350 \div 930 \text{ nm}$. SDSS neustále systematicky mapuje jednu čtvrtinu oblohy, měří polohu a jasnost více jak 100 miliónů objektů na obloze. Také určuje vzdálenost více jak 930 000 nejbližších galaxií v prostorovém objemu tisíckrát větším, než jsme znali před započítím projektu. SDSS zaznamenává vzdálenosti 120 000 kvazarů. Přehlídka probíhá od roku 2000 (SDSS-I: 2000–2005; SDSS-II: 2005–2008). Pokračování projektu probíhá od července 2008 s označením SDSS-III a je rozvrženo až do roku 2014.

Už nestačí jen zaznamenávat viditelné objekty na obloze

Jako logické pokračování nejrůznějších celooblohových přehlídkových projektů mapujících hvězdy a galaxie v mnoha dostupných spektrálních oborech byl v roce 2001 spuštěn projekt MACS (MASSive Cluster Survey) pod vedením Havajské univerzity. Jde o vyhledávání velmi vzdálených a tedy i nutně velmi zářivých plošných zdrojů v RTG oboru, u kterých se díky velké vzdálenosti očekává, že budou také velmi hmotné. Cílem projektu je nalézat obří nadkupy galaxií s červeným kosmologickým posuvem alespoň $z > 0,3$. Výchozím vodítkem se stal Katalog zářivých zdrojů ROSAT čítající více jak 5 000 RTG zdrojů na ploše 22 735 čtverečných stupňů oblohy. V projektu MACS se nejrůznějším způsobem využívají veškeré dostupné digitalizované přehlídky a kombinace dat získané nejen pozemskými, ale i

kosmickými observatořemi od rádiového oboru až po data v RTG oboru. Na kompilaci výsledných obrazů se pak cíleně podílí 2,2m dalekohled Havajské univerzity, dalekohled Subaru, síť radioteleskopů v milimetrové oblasti BIMA nebo např. Keckův dalekohled. Dnes je v projektu vytipováno spektroskopicky bezpečně určitelných 101 galaktických kup a nadkup, které odpovídají intervalu $0,3 < z < 0,6$; více jak dvě třetiny jsou oblasti nově objevené. Oproti dosavadním přehlídkám jde o statisticky velmi významné rozšíření oblasti, kterou je tak možno prozkoumat.

Výše uvedené prostorové přehlídky však dohlédnou spolehlivě někam do vzdálenosti dvou miliard světelných roků, a to ještě jen ve vybraných výsecích oblohy. Dál je prostor již natolik zaplněn blízkými objekty, že se stává neprostupným. Ve výhledu brání buď přímo blízké objekty, za které přímo nevidíme, nebo mezigalaktická látka, které už je na tu vzdálenost tolik, že spolehlivě pohltí světlo vzdálenějších zdrojů. Možnost podívat se dál máme tedy jen ve velmi vzácných úzkých výsecích oblohy, které obsahují na tak dlouhý sloupec prostoru zastíňující látky jen velmi málo. Pokud bychom předpokládali, že vesmír je v zásadě na všechny strany stejný, jen ty vzdálenější objekty díky blízkým strukturám nevidíme, může i takový úzký výhled dírou ve stěně plné galaxií a mezigalaktického plynu stačit pro představu, jak vesmír vypadá daleko od nás.

Projekt tohoto druhu proběhl od roku 2002 jako první časoprostorová prohlídka ve vybrané oblasti oblohy pod názvem COSMOS (Cosmic Evolution Survey). Prohlídka oblohy na časoprostorové škále miliard světelných roků by se mohla stát základem pro poznání vývoje obřích soustav, jakými galaxie a galaktické kupy jsou. Jde o první pokus zmapovat vývoj vesmíru v tak obrovském měřítku. Projekt COSMOS je výjimečný zejména tím, že pomocí rozložení hmoty, která je klíčová pro strukturu vesmíru, mapuje utváření prostorových charakteristik, které mohou být podstatné pro vývoj vesmírných objektů a jejich uskupení. Světlo přicházející z extrémních vzdáleností je ovlivňováno na své dráze od zdroje k pozorovateli prostředím, kterým prošlo. Z míry tohoto ovlivnění, pokud máme k dispozici extrémně velké soubory světelných zdrojů, lze určit vlastnosti vesmírného prostředí. Pokud předpokládáme, že vesmírné prostředí je nejvíce strukturováno právě temnou hmotou, pak mapa „ovlivňování světla“ je hledanou mapou prostorového rozložení temné hmoty. První výsledky byly publikovány v lednu 2007.

Na projektu COSMOS se podílely nejlepší týmy a astronomické přístroje dnešní doby: Hubbleův vesmírný dalekohled, největší japonský dalekohled SUBARU, Evropská jižní observatoř VLT a RTG observatoř XMM Newton. Výsledkem je prostorová mapa „temné hmoty“ ve vazbě na hmotu svítící, která zabírá na obloze výřez zhruba 3×3 průměry Měsíce. Prostorová mapa vznikla sloučením 575 obrazových polí pořízených HST pomocí širokoúhlých kamer ACS a WFPC. Jde o největší souvislou oblast, která byla kdy dalekohledem HST snímána. Data byla získána během 1 000 hodin pozorovacího času. K vytvoření mapy byly použity zkreslené obrazy 500 000 vzdálených galaxií. Vzdálenosti galaxií byly určovány spektroskopicky pomocí teleskopů SUBARU a VLT. K prostorovému rozložení mezigalaktického plynu posloužila pozorování rentgenového dalekohledu XMM Newton. Výsledkem je časoprostorová struktura oblasti v hloubce od 3,5 do 6,5 miliard světelných roků. Kombinace výše uvedených pozorování tak dostává do velkorozměrových struktur vesmíru další velmi důležité části látky, z níž se skládá námi pozorovaný vesmír. Temná hmota tvoří 23 % hmoty ve vesmíru. Je to tedy několikanásobek atomární látky dosud přímo pozorované celooblohovými přehlídkami.

Budoucnost je v pochopení uviděného

V roce 2005 byly publikovány výsledky do té doby nejrozsáhlejší počítačové simulace Millennium, která zahrnuje veškeré známé komponenty vesmíru včetně temné hmoty a obřích kup galaxií. Původně stejnorodá směs vesmírné látky zde v rozmezí několika miliard roků vytváří vlákna temné hmoty, v jejichž uzlech se postupně usazují svítící struktury galaxií a tvoří tam zhušťující se galaktické kupy. Struktury, které zde byly vytvořeny, velmi nápadně připomínají propletence galaktických nadkup vypořizované přehlídkou 6dFGS a výsledky obou projektů jsou v současnosti vzájemně porovnávány. Koncem osmdesátých let vystoupilo sedm samurajů s objevem pohybů stovek galaxií někam, kde nic není vidět. V té době nebylo nic známo o rozložení temné hmoty v prostoru a jejím významu pro utváření velkorozměrových struktur. Dnešní astronomie je o krůček dál a je jisté, že tak obrovské soubory napozorovaných dat, které oblohové přehlídky nabízejí, je možné srozumitelně uchopit jen se zpětnou vazbou pomocí počítačových simulací jako je Millennium. Zároveň bude nutné započítat i struktury temné hmoty, když už tušíme, jak je možné ji ve vesmíru zobrazit.

Literatura:

- [1] R. Powell: *An Atlas of The Universe*; 2006, online: <http://www.atlasoftheuniverse.com>
- [2] W.Saunders et al.: *The PSCz catalogue*; ArXiv: astro-ph/0001117v2, 2000
- [3] M. Hudson, G. Lewis: *Powers of Two*; 1999, online: <http://astro.uwaterloo.ca/~mjhudson/PowersOfTwo/>
- [4] CalTech: *The Two Micron All Sky Survey at IPAC homepage*, online: <http://www.ipac.caltech.edu/2mass/>
- [5] *The Sloan Digital Sky Survey homepage*; online <http://www.sdss.org>
- [6] *The 2dF Galaxy Redshift Survey homepage*; online <http://www.mso.anu.edu.au/2dFGRS>
- [7] *The 2dF QSO Redshift Survey (2QZ) homepage*; online <http://www.2dfquasar.org/>
- [8] AAO: *6dF Galaxy Survey*; online <http://www.aao.gov.au/local/www/6df>
- [9] H. Ebeling et al.: *Scores of Newly Discovered Galaxy Clusters Have Broad Implications for Cosmology*; University of Hawaii press release, 2000, online: <http://www.ifa.hawaii.edu/~ebeling/press/macs/>
- [10] CalTech: *COSMOS (Cosmic Evolution Survey) homepage*; online <http://cosmos.astro.caltech.edu>
- [11] V. Springel et al.: *Simulating the joint evolution of quasars, galaxies and their large-scale distribution*; ArXiv: astro-ph/0504097v2, 2005

napísáno pro Českoslvenský časopis pro fyziku 5/2009