

GALAXIE

RNDr. Ladislav Hric, CSc.

hric@astro.sk

Astronomický ústav SAV, 05960 Tatranská Lomnica

Úvod

Vesmír je zložený z veľkého množstva hviezdnych ostrovov, ktoré sú podobné našej Galaxii a ktoré nazývame galaxie. Sú to hviezdne sústavy izolované v priestore, ktoré tvorí niekoľko miliónov až niekoľko miliárd hviezd viazaných gravitačnými silami. Priestor medzi hviezdami je vyplnený medzihviezdnou hmotou (medzihviezdnym prachom a plynom). Galaxie vyplňajú celý pozorovaný objem vesmíru, hrubé odhady uvádzajú, že v celom vesmíre ich je do vzdialenosti 10 mld. svetelných rokov rádovo až 1 bilión (10^{12} !).

Tvary galaxií v menších d'alekohľadoch pripomínajú hmlovité obláčiky, preto boli spočiatku zaradované do skupiny objektov nazývaných hmloviny (predpokladalo sa, že sú to prachovo–plynné hmloviny), alebo boli považované za zhluky hviezd patriace do našej Galaxie. Roku 1924 americký astronóm E.P. Hubble pozoroval vo Veľkej hmlovine v Androméde premenné hviezdy - cefeidy a pomocou ich jasností a vzťahu perióda - svietivosť určil vzdialenosť tejto hmloviny, ktorá značne prevyšovala rozmery Galaxie, čím dokázal, že ide o mimogalaktický objekt - galaxiu.

Odvtedy sa v astronomickej terminológii používa na označenie iných galaxií malé počiatkové písmeno. Galaxie sa označujú rôznym spôsobom. Niekoľkotisíc najjasnejších galaxií je označených podľa katalógu, v ktorom sa nachádzajú: veľkým písmenom M a poradovým číslom (Messierov katalóg), skratkou NGC a poradovým číslom (New General Catalogue), skratkou IC a poradovým číslom (Index Catalogue), niekoľko výrazných galaxií má svoj vlastný názov (napr. Veľká hmlovina v Androméde, Magellanove oblaky, Sombrero).

História výskumu galaxií

Staroveká astronómia nemala ani tušenie o existencii galaxií, aj keď filozofi sa snažili pochopiť a formulovať poznatky o celom vesmíre. Dnes nám úplne smiešnym pripadá názor génia staroveku Aristotela (384 – 322 pred n. l.), že Mliečna cesta sú éterické výpary spôsobené rýchlym pohybom hviezd okolo Zeme. Ďalší výskum galaxií musel čakať na svoju príležitosť celé 2 tisícročia. Po tomto dlhom historickom vývoji ľudstva môžeme ako prvého spomenúť Immanuela Kanta (1724 – 1804), ktorý vo svojom diele „Všeobecné dejiny prírody a teória nebies“ z roku [1755](#) sa až neuveriteľne vo svojich názoroch priblížil k pravde, keď tvrdil, že väčšina hviezd, ktoré vidíme tvoria Galaxiu, časť z nich pozorujeme ako Mliečnu dráhu, Galaxiu považoval za vesmírny ostrov miliónov hviezd, ktoré sú usporiadané do šošovkovitého tvaru a konečne najpokrokovejším názorom bolo tvrdenie, že Galaxia je iba jedným z mnohých podobných hviezdnych ostrovov, ktoré sú vo vesmíre. Samozrejme, že dôkazy k jeho názorom v tej dobe ešte chýbali.

O existencii „ostrovnych vesmírov“ uvažoval aj Sir William Herschel (1738 – 1822). Predpokladal, že vo vesmíre existujú navzájom oddelené sústavy, čo dnes skutočne splňajú galaxie, tak ako ich poznáme. Výskum extragalaktických objektov bol úspešne zahájený až v 19. stor., keď boli postavené dostatočne veľké zrkadlové d'alekohľady. Prvý takýto d'alekohľad „Leviathan“ postavil írsky astronóm William Parsons (1800 – 1867) v 40. rokoch 19. storočia. Po smrti svojho otca v roku 1841 sa stal tretím lordom Rossom a preto niektoré encyklopédie uvádzajú len jeho šľachtické meno. Jeho obrovský d'alekohľad o priemere kovového zrkadla 1,8 m umožňoval pozorovať objekty až do 18. magnitúdy a stal

sa na dlhú dobu najväčším ďalekohľadom na celom svete. Pomohol rozpoznať napríklad špirálovú štruktúru hmloviny (dnes galaxie) M 51 Vír. Aj keď Leviathan v pozorovaných špirálach ešte nedokázal rozlíšiť jednotlivé hviezdy, Parsons správne usúdil, že pozoruje obrovské otáčajúce sa hviezdne sústavy, čo sa potvrdilo až na začiatku 20. stor. Toto obdobie bolo charakteristické prudkým rozvojom stelárnej astronómie. Dokonca v tomto roku uplynulo presne 100 rokov od publikovania vedeckého objavu, ktorý mal už o niekoľko rokov obrovský význam pre štúdium a poznanie vzdialených galaxií. Spomínaným objavom bola práca Henrietty S. Leavittovej, ktorú publikovala v roku 1908 pod názvom: "1777 Variables in the Magellanic Clouds" vo vedeckom časopise *Annals of Harvard College Observatory*, LX(IV) (1908) 87-110.

Henrietta Swanová Leavittová (1868-1921) začala pracovať na Harvard College Observatory v Cambridge, štát Massachusetts, USA od roku 1893. Zaoberala sa meraním a katalogizovaním hviezd na fotografických platniach, získaných na observatóriu. Neskôr zaznamenala tisíce premenných hviezd (hlavne Cefeíd) v Magellanových mrakoch a tieto výsledky publikovala v už spomenutej práci. Bol to veľmi významný výsledok, nakoľko Leavittová si všimla, že jasnosti Cefeíd sú priamo závislé od periód ich premennosti. Tento poznatok neskôr umožnil určovanie vzdialeností nielen v rámci našej Galaxie ale aj vzdialených galaxií. Z nášho pohľadu to bolo aj prvé vedecké pozorovanie a skúmanie premenných hviezd mimo našej Galaxie. V súčasnosti absolútna hviezdna veľkosť (M) Cefeíd vo farbe V závisí na ich perióde (P) v dňoch podľa vzťahu:

$$M_V = -2,81 \times \log P - 1,43$$

pričom neistota v určení jasnosti neprevyšuje 0,1 magnitúdy.

Ako prvý si uvedomil význam tohto objavu dánsky astronóm Ejnar Hertzsprung (1873 – 1967) a už v roku 1913 použil cefeidy na určenie vzdialenosti Malého Magellanovho mráča (SMC). Žiaľ, nakoľko zanedbal medzihviezdnu absorpciu, vzdialenosť SMC mu vyšla len 37 000 svetelných rokov. Harlow Shapley (1885-1972), americký astronóm, prekalibroval škálu absolútnych jasností pre cefeidy a určil vzdialenosť SMC na 95 000 svetelných rokov (v súčasnosti sa vzdialenosť SMC udáva na 210 000 svetelných rokov). H. Shapley použil metódu cefeíd aj na určenie vzdialeností 86 guľových hviezdokôp a určil aj rozmery Galaxie.

Hviezdnu podstatu špirálových hmlovín potvrdil spektroskopicky americký astronóm Vesto Slipher (1875 – 1969), ktorý získal 0,6 m Clarkovým ďalekohľadom vo Flagstaffe v Arizone v r. 1912 – 1917 spektrá niektorých špirálových hmlovín, hlavne M 31. Úžasné boli jeho expozičné doby, nakoľko na jedno spektrum potreboval až 80 hodín čistého pozorovacieho času, čo znamenalo množstvo jasných nocí pozorovania. Iba M 31 vykazovala modrý posuv, ostatných 24 špirál sa podľa Dopplerovho princípu od nás vzdalovali rýchlosťami až do 1000 km/s. Stále však nebolo jasné, kde sa špirálové hmloviny nachádzajú, či patria do našej Galaxie a ako sú od nás vzdialené.

V roku 1919 navrhol George Hale, zakladateľ a riaditeľ hvezdárne na Mount Wilson, aby sa počas výročného zasadnutia Národnej akadémie vied USA riešil problém hviezdnych ostrovov. Organizátori zasadnutia zvolili formu diskusie dvoch známych astronómov. V pondelok 26. apríla 1920 sa vo Washingtone stretli Harlow Shapley z observatória Mount Wilson a Heber Curtis (1872 – 1942), astronóm z Lickovho observatória na tzv. Veľkej debate. Shapley bol presvedčivejší aj keď dnes vieme, že sa v podstate mýlil. Zastával názor, že naša Galaxia má desaťkrát väčší priemer, ako sa vtedy predpokladalo, čo by bolo asi 400 000 svetelných rokov a že všetky špirálové hmloviny sú menšie ako Galaxia, nachádzajú sa bližšie ako uvádzal Curtis a patria spolu s guľovými hviezdokopami do našej Galaxie. Curtis naopak tvrdil, že priemer našej Galaxie nepresahuje 40 000 svetelných rokov, všetky špirálové hmloviny sú podstatne ďalej a čo do veľkosti sú porovnateľné s našou Galaxiou. Veľká debata vtedy nevyriešila problém lokalizácie špirálových hmlovín, no treba povedať, že správny názor počas debaty prezentoval H. Curtis.

Vyriešenie problému však už bolo na spadnutie. 2. novembra 1917 bol uvedený do prevádzky severovýchodne od Los Angeles na Mount Wilson v nadmorskej výške 1742 m 2,5 m zrkadlový Hookerov teleskop, ktorý sa stal na 32 rokov najväčším ďalekohľadom sveta. Po jeho dokončení sa výskum špirál sústredil na tomto 2,5 m obrovi zásluhou Edwina Hubbla (1889 - 1953) a Milтона Humasona (1891 – 1972). Humason pravdepodobne ako prvý objavil a pozoroval cefeidy v špirálovej hmlovine M31. Na ďalší výskum cefeíd sa zamerl Hubble, ktorý ich pozoroval v hmlovine v Andromede (M31) a v hmlovine v Trojuholníku (M33) a určil pomocou nich vzdialenosti týchto hmlovín na 900 000 a 850 000 svetelných rokov. V tej dobe sa ešte nevedelo o galaxiách a aj neskôr sa ešte používali pojmy extragalaktické hmloviny a špirálové hmloviny. Hubble však týmto určením vzdialeností presvedčivo dokázal, že tieto hmloviny sú ďaleko za hranicami našej Galaxie a že v skutočnosti sú to iné galaxie, ktoré nepatria do Mliečnej dráhy. Bol to veľký historický moment, keď sa dramaticky zväčšila škála známeho vesmíru a ľudstvo sa dozvedelo, že naša Galaxia – Mliečna dráha je len jedným z mnohých ostrovov v „nekonečnom“ vesmíre.

Hubble na tomto observatóriu na základe týchto výsledkov v ďalších rokoch uskutočnil kľúčové pozorovania, ktoré ho viedli k objavu slávneho vzťahu medzi červeným posuvom a vzdialenosťou špirálových hmlovín, ako galaxie nazýval Hubble.

Klasifikácia galaxií

Na základe morfológických štúdií vzhľadu galaxií vypracoval Hubble v r. 1927 aj ich klasifikáciu, ktorá je platná ešte aj v dobe kozmických prehliadok oblohy a „deep sky“ fotografií. Podľa tvaru (ktorý býva značne rôznorodý) sa galaxie rozdeľujú na eliptické (E0), šošovkové (S0), špirálové (S), špirálové s priečkou (SB) a nepravidelné (Irr) galaxie. Iba šošovkové galaxie boli do klasifikácie doplnené neskôr. Na obr. 1. je uvedená klasifikácia zobrazená v tvare diagramu, ktorý sa nazýva aj Hubblova schéma alebo podľa tvaru ladičkový diagram (z anglického „tuning fork“). Podľa veľkosti rozoznávame trpasličie galaxie a obrie niektoré ich časti i v infračervenej a röntgenovej galaxie. Galaxie vyžarujú žiarenie vo viditeľnej oblasti elektromagnetického žiarenia, v rádiovnej oblasti elektromagnetického žiarenia žiaria rádiové galaxie.

Vlastnosti galaxií

Všeobecne sa v galaxiách pozorujú rovnaké druhy hviezd a iných objektov ako v našej Galaxii, v rôznych druhoch galaxií sú však rôzne zastúpené rozličné druhy hviezd a objektov. V eliptických galaxiách sa nevyskytujú mladé hviezdy a ani medzihviezdna hmota. Naopak v špirálových a nepravidelných galaxiách sa pozoruje vznik hviezd, pričom najbúrlivejšie evolučné procesy sa pozorujú v oblasti špirálových ramien. Predpokladá sa že vek galaxií sa zhoduje s vekom najstarších hviezd, t. j. 13,8 mld. rokov. Predchodcami galaxií sú protogalaxie, pričom budúci typ galaxie je závislý na rotačnom momente protogalaxie. Základnou vlastnosťou galaxií je ich rotácia; kým jadro galaxie rotuje ako tuhé teleso, hviezdy obiehajú okolo centrálnej časti po keplerovských dráhach a v mnohých prípadoch vytvárajú špirálovú štruktúru galaxie. Rotáciou galaxie je neustále generované jej magnetické pole.

Špirálové galaxie

Nie je možné na tomto malom priestore vymenovať vlastnosti všetkých typov galaxií. Z hľadiska observačného sú bez diskusie najkrajšie špirálové galaxie. Tie najvýraznejšie

a najdokonalejšie špirály dostali v anglickej terminológii aj špeciálne označenie „Grand design spirals“. Navyše aj my s našou Slnecnou sústavou planét žijeme v špirálovej Galaxii, ktorej vlastnosti poznáme najlepšie, preto aspoň pár slov o špirálových galaxiách musíme spomenúť.

Štruktúra špirálových galaxií je veľmi zložitá, v centrálnej časti sa nachádza jadro galaxie, ktoré sa vyznačuje najväčšou hustotou a ostro ohraničenými okrajmi. Ďalším subsystémom je plochá zložka, ktorá v prípade našej Galaxie obsahuje 10% celkovej hmotnosti a je zložená z mladých hviezd, z hviezd v špirálových ramenách, z otvorených hviezdokôp a z medzihviezdneho plynu. Výrazným prvkom špirálovej galaxie je galaktický disk, ktorý obsahuje novy, hviezdy so slabými čiarami kovov, jasných červených obrov a planetárne hmloviny. Vek populácie tohto subsystému je vyše 5 miliárd rokov. Najrozsiahlšie subsystémy sú guľová zložka galaxií a halo alebo koróny galaxií, ktoré obsahujú guľové hviezdokopy a sú vlastne najstaršou populáciou v galaxiách.

Meranie vzdialeností galaxií

Poznanie vzdialeností galaxií je veľmi dôležité, no priame spôsoby ich určovania sú veľmi obtiažne a časovo náročné. V tomto kontexte Hubbleov zákon o expanzii galaxií (metóda červeného posunu) predstavuje jedinečnú nepriamu metódu, ktorá vyžaduje iba jednoduché meranie ich radiálnych rýchlostí. Chybu do celej metódy vnášajú len pekulárne pohyby jednotlivých galaxií napr. okolo stredov kôp galaxií (Virgocentrický tok) alebo v smere k možným atraktorom. Existuje predpoklad, že pre dostatočne veľké vzdialenosti Hubbleova rýchlosť dostatočne prekryje všetky možné pekulárne pohyby. Keďže táto metóda je efektívna pre celý objem pozorovaného vesmíru, galaxie majú dôležitú úlohu pri skúmaní stavby vesmíru.

Prakticky sa teda vzdialenosti galaxií určujú iba nepriamymi metódami, ktoré sa delia na primárne a sekundárne. Pri primárnych metódach sa porovnávajú zdanlivé jasnosti alebo rozmery astronomických objektov v galaxiách s absolútnymi jasnosťami alebo rozmermi podobných objektov nachádzajúcich sa v našej Galaxii. V prípade primárnych metód určovania vzdialeností galaxií používame rôzne indikátory, ktoré musia spĺňať určité vlastnosti: 1. musia mať známe vlastnosti, ktoré závisia na vzdialenosti alebo na prostredí len jednoznačným spôsobom, 2. ľubovoľné variácie takýchto „štandardných sviečok“ musia mať aj nejaké observačné efekty ako napr. závislosť perióda - svietivosť pre Cefeidy alebo korelácia pokles jasnosti – svietivosť pre supernovy (SN) typu Ia., 3. musíme byť schopní kalibrovať všetky indikátory vzdialenosti a to buď priamo alebo pomocou iných indikátorov vzdialenosti, 4. rozptyl výsledkov musí byť malý alebo dobre známy. Sekundárne metódy sa zakladajú na štatisticky zistených absolútnych jasnostiach a rozmeroch jednotlivých typov galaxií.

Na tomto mieste môžeme iba stručne vymenovať metódy na určovanie vzdialeností podľa dosahu, tzv. rebríček vzdialeností.

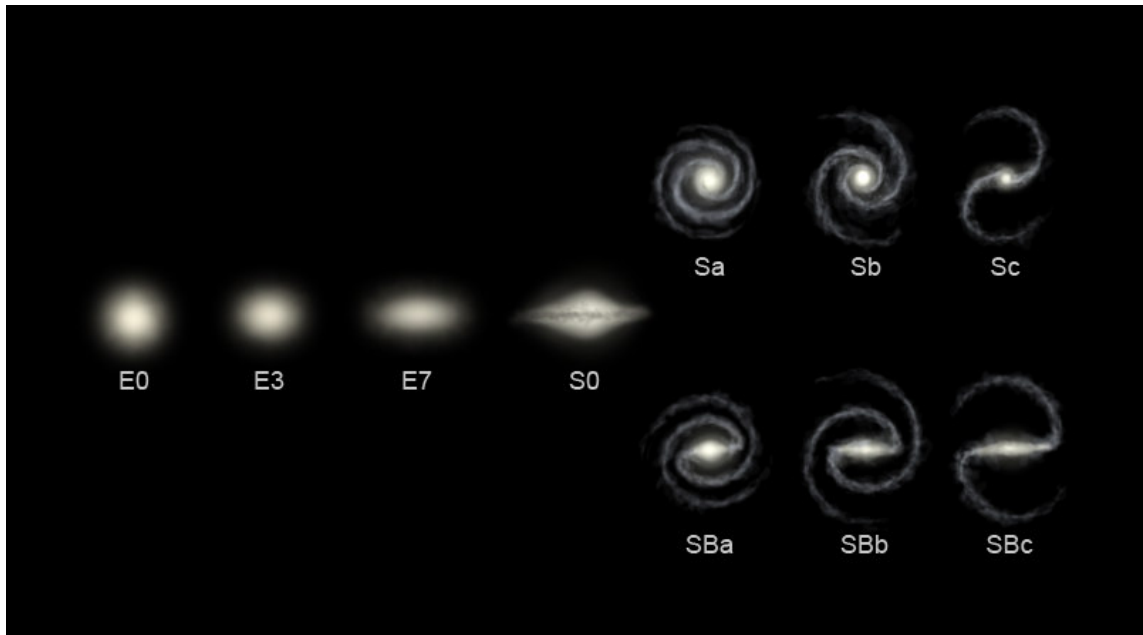
Trigonometrická paralaxa má dosah niekoľko stoviek pc pre jednotlivé hviezdy, ak máme uhlovú presnosť tisíciny oblúkovej sekundy. Takúto presnosť dosiahla sonda Hipparcos pre desiatky tisíc hviezd v Galaxii.

Metóda hviezdnych prúdov v hviezdokopách, kde pohyb jednotlivých hviezd smeruje do konvergentného bodu.

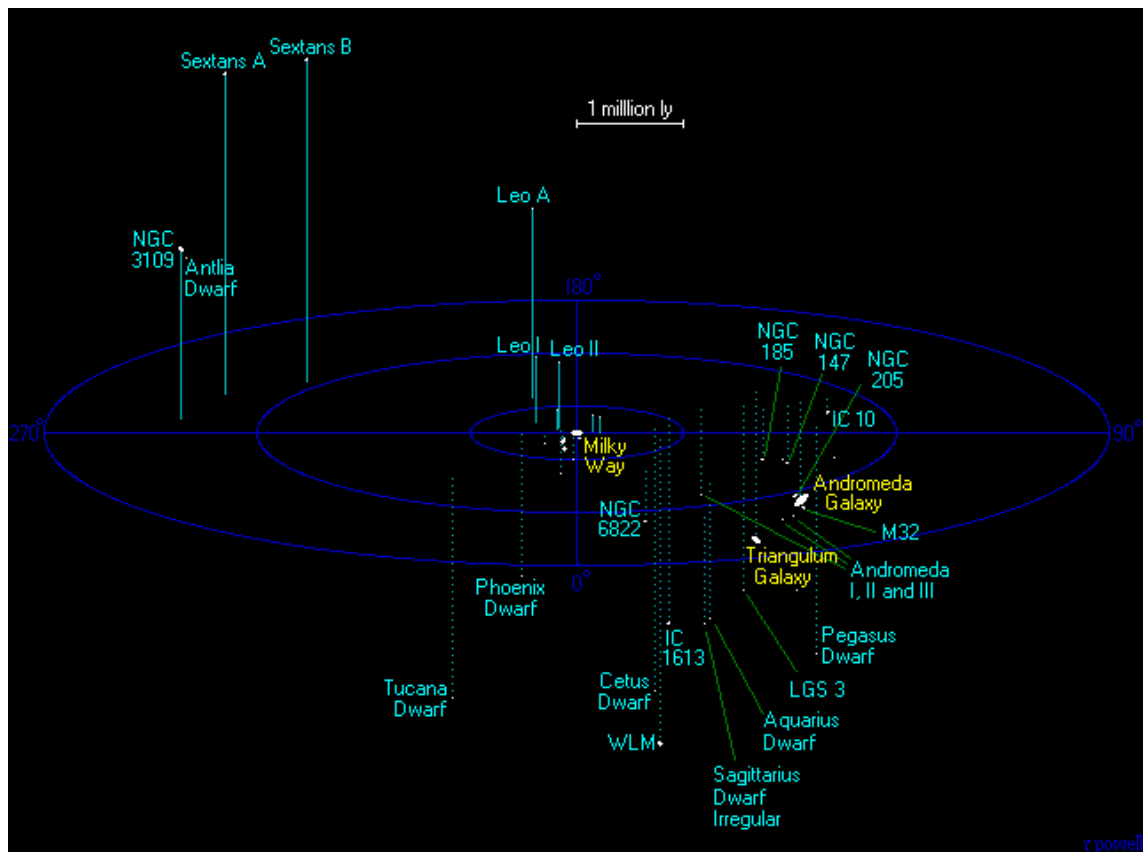
Hviezdy hlavnej postupnosti rovnakých spektrálnych typov majú rovnaké absolútne jasnosti.

Metóda Cefeíd pomocou HST sa dostala do vzdialenosti 25 Mpc, čiže až za hranice kopy galaxií v Panne.

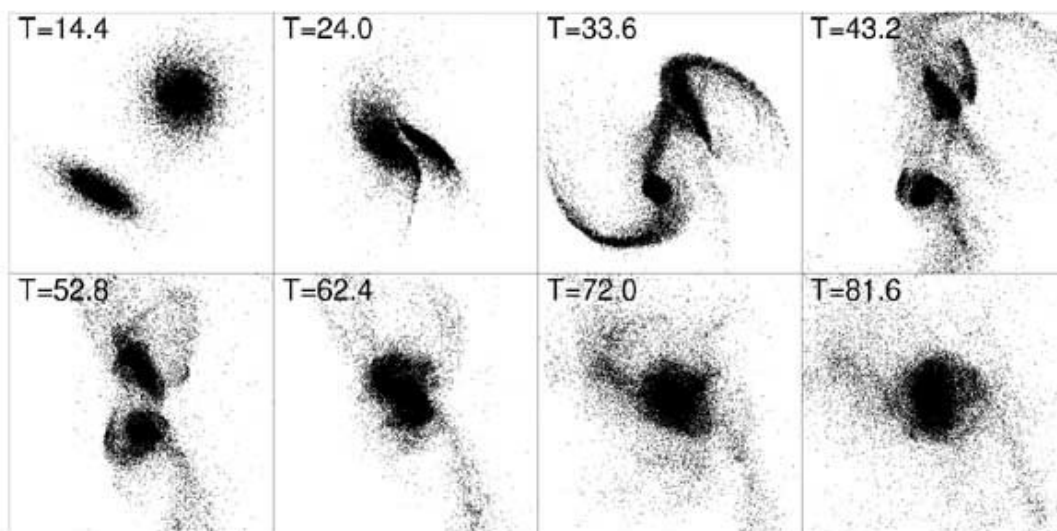
Metóda RR Lyr je založená na poznatku, že všetky premenné typu RR Lyr majú takmer rovnakú absolútnu jasnosť $M_V = 0,75 \pm 0,1$. Čiže nie je potrebné ani určenie periódy jasnosti.



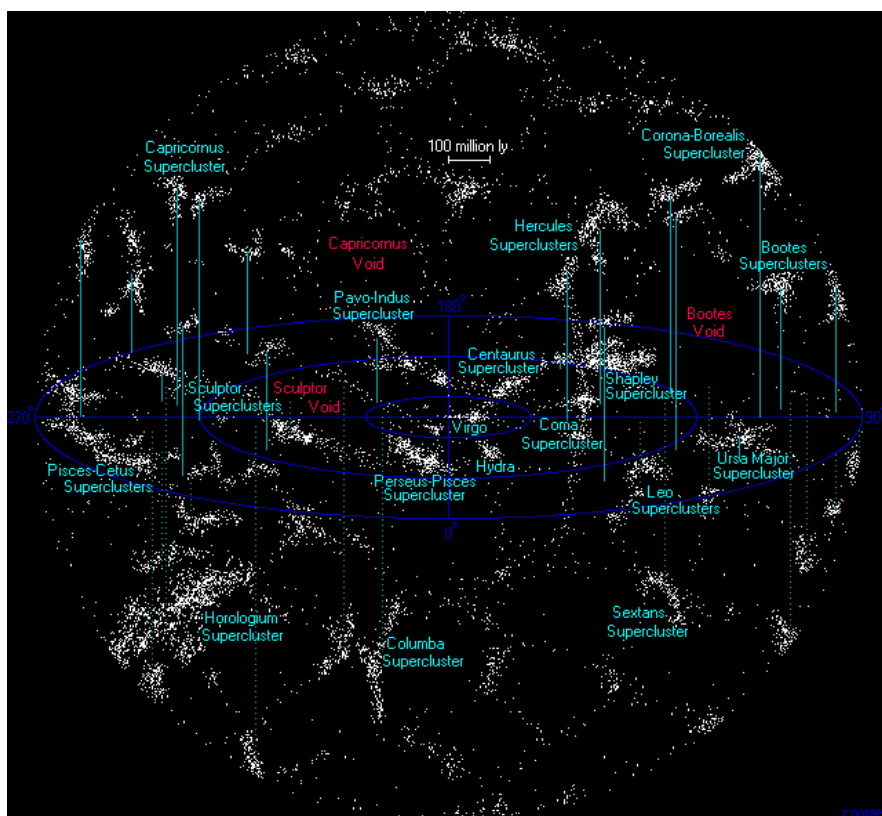
Obr. 1: Klasifikácia galaxií, ktorú zaviedol Edvin Hubble.



Obr. 2: Miestna skupina galaxií.



Obr. 3: Model simulácie zrážky dvoch diskovitých galaxií porovnateľných hmotností. Vývoj takejto zrážky je zobrazený v závislosti na čase, ktorý je uvedený v ľavom hornom rohu každého obrázku v jednotkách 10 miliónov rokov.



Obr. 4: Rozloženie väčšiny známych nadkôp galaxií. Naša Galaxia je okrajovým členom kopy galaxií v Panne a tiež patríme do nadkopy galaxií v Panne. Táto mapa predstavuje približne sedem percent priemeru viditeľného vesmíru.

Problémom je, že tieto premenné hviezdy sú v skutočnosti asi o 2 magnitúdy slabšie než Cefeidy.

Najsvietivejšie modré/červené hviezdy sa podriaďujú závislosti medzi absolútnou jasnosťou galaxie a jasnosťou týchto hviezd.

Novy vytvárajú závislosť medzi absolútnou jasnosťou a rýchlosťou poklesu jasnosti z maxima.

Planetárne hmloviny majú funkciu jasnosti nezávislú a ľahko odvoditeľnú na základe hviezdneho vývoja.

Supernovy typu I môžu byť rozdelené na podskupiny a, b, c v závislosti na spektrách a svetelných krivkách. Podstatou tohto indikátora je rovnaká jasnosť v maxime.

Fluktuácie povrchovej jasnosti galaxií dávajú dobré výsledky v rámci kopy galaxií v Panne. **H II oblasti** dosahujú vo všetkých galaxiách maximálny priemer 800 svetelných rokov.

Štruktúry v galaxiách majú rovnaké alebo kalibrovateľné rozmery, ako napr. **vnútorné prstence**, **šírky špirálových ramien**, **svietivosť guľových hviezdokôp** a rozdelenie centrálnych rýchlostí v eliptických galaxiách tzv. **Faber-Jacksonov vzťah**.

Globálne vlastnosti galaxií sa používajú pre veľmi vzdialené galaxie, pričom vyžadujú extenzívne kalibrovanie pomocou predchádzajúcich indikátorov. Špecifickými indikátormi sú:

Podobnosť s našou Galaxiou alebo s blízkymi galaxiami, pričom sa predpokladá, že tieto podobné galaxie majú podobné aj rozmery a jasnosti.

Triedy svietivosti hlavne systémov Sc.

Tully-Fisherov vzťah je empiricky stanovená korelácia medzi svietivosťou špirálových galaxií a ich maximálnou rotačnou rýchlosťou.

Najjasnejší člen kopy galaxií je možné používať na extrémne veľkých vzdialenostiach.

Okrem uvedených indikátorov vzdialenosti môžeme spomenúť ešte „exotické“ indikátory:

Hubbllov čas nám definuje vek vesmíru nasledovne $\tau_H = 1/H_0$, kde H_0 je Hubblova konštantna určená a dlhodobo spresňovaná z pozorovaní, pričom jej rozmer je km/s Mpc.

Gravitačné šošovky nám umožňujú zistiť ich hmotnosť z rozdelenia rýchlostí v kope galaxií a z oneskorenia obrazov na základe premennosti kvazarov. Potom môžeme určiť vzdialenosť šošovky.

Svetelné echo spočívajúce v dobe osvetlenia cirkumstelárneho prstena nám dáva informáciu nielen o jeho uhlových rozmeroch, ale aj jeho skutočné rozmery.

Emisné a absorpčné obrazy kôp galaxií. Využíva sa rozdielna závislosť emisií a absorpcií na hustote prostredia voči dĺžke dráhy žiarenia. Príkladom je IGM (InterGalactic Medium – medzigalaktická látka), ktorú vidíme v emisii v oblasti röntgenového žiarenia, ale voči mikrovlnnému pozadiu ju vidíme v absorpcii.

Vlastné pohyby v oblastiach formovania hviezd sú pozorované pomocou VLBA (Very Long Baseline Array) vďaka maserovému žiareniu. Pohyby sú spôsobené rotáciou galaxií okolo centrálnych oblastí, čo nám dáva uhlový pohyb len 3 milióntiny oblúkovej sekundy za rok, takže takýto výskum vyžaduje dlhodobé pozorovania aj desiatky rokov.

Ne-hubbllovské pohyby boli identifikované ako rotácia kopy galaxií v Panne, alebo pohyby k veľkému atraktoru. Takéto pohyby hrubo narušajú Hubblov zákon a je potrebné ich započítať, ak ho chceme aplikovať.

Freemanov zákon hovorí, že diskovité galaxie majú konštantnú povrchovú jasnosť.

Veľký atraktor je gravitačná anomália v medzigalaktickom priestore v oblasti superkopy Centaurus. Je to koncentrácia okolo 10 000 hmotností Galaxie v smere súhvezdí Hydra a Centaurus vo vzdialenosti 150 až 250 miliónov svetelných rokov.

Veľkou prekážkou v pozorovaní vesmíru je naša Galaxia, ktorá nám zakrýva časť oblohy a vzniká **zóna prázdnoty**.

Miestna skupina galaxií

Náša Galaxia je sprevádzaná štyrmi menšími galaxiami, sú to Veľké Magellanovo mračno (LMC), Malé Magellanovo mračno (SMC), čo sú vlastne dve galaxie v zákryte, ktoré vidíme ako 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 tretou rozsiahlou v miestnej skupine je galaxia Trojuholník 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.

Je veľmi obtiažne slovne popísať a následne si predstaviť rozloženie miestnej skupiny galaxií, preto zaraďujeme schematický obr. 2, na ktorom je znázornené priestorové rozloženie galaxií miestnej skupiny, nachádzajúcich sa 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.

Galaktický kanibalizmus

Mnohé galaxie sa nachádzajú v tesnej blízkosti iných galaxií alebo skupín galaxií, pričom ich vzájomné gravitačné pôsobenie sa môže prejavovať napr. deformáciou tvaru (interagujúce galaxie). Keďže v priemere vzdialenosti medzi galaxiami sú len desaťkrát väčšie ako ich priemery, pomerne častými javmi sú zrážky galaxií. Rádiové pozorovania pomocou VLA (Very Large Array) ukázali, že najmenej 50 % všetkých diskových galaxií je zdeformovaných. Niektoré deformácie boli spôsobené slapovým pôsobením pri splynutí s menšími satelitnými galaxiami v minulosti.

Môže však dochádzať aj k vzájomnej pomalej kolízii dvoch veľkých galaxií, pri ktorej sa uplatňuje dynamické trenie, ktoré závisí od hmotnosti galaxií, rýchlosti ich pohybu a hustoty okolitého prostredia. Pri rýchlej zrážke galaxií dynamické trenie nie je významné a rastie iba vnútorná kinetická energia obidvoch galaxií. Galaxie trochu expandujú (pri zrážke sa môže zmeniť dráha každej z nich), pričom sa pôsobením slapových síl vytvárajú prúdy hviezd a plynu smerujúce von z obidvoch galaxií. Tento proces sa nazýva **slapové odhalovanie**.

Pohltenie malej galaxie veľkou galaxiou sa nazýva **galaktický kanibalizmus**. Pozorovaním vzdialených a vlastne mladých oblastí vesmíru sa zistilo, že obrie eliptické galaxie rástli v dôsledku postupného pohlcovania malých galaxií. Tento proces pokračuje aj v súčasnosti. Nakoľko dnes už vieme, že naša Galaxia sa zrazí s galaxiou M31, ktorá sa k nám približuje a dôsledkom bude splynutie obidvoch galaxií, na počítačoch sa robia simulácie takejto zrážky. Výsledkom bude vytvorenie obreje eliptickej galaxie, ako je to znázornené na obr. 3.

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 volné. Platí, že čím je galaktická štruktúra väčšia, tým je podriadenosť jednotlivých galaxií k tejto štruktúre volnejšia. Je to spôsobené tým, že gravitačná interakcia sa šíri v priestore konečnou rýchlosťou – rýchlosťou svetla.

Vo veľkých merítkach až do stoviek miliónov svetelných rokov vytvárajú galaxie vlákna, zhustenia a zriedenia. Nad touto škálou je už vesmír homogénny a izotropný.

Od galaxií ku kvazarom

V roku 1943 boli objavené Karlom Seyfertom galaxie s aktívnymi jadrami AGN (Active Galactic Nuclei), ktoré mali jasné jadrá, namiesto absorpcií sa v spektre vyznačovali rozšírenými emisnými čiarami, maximum svietivosti sa propagovalo v IR, UV, röntgenovej alebo γ oblasti a často v toku žiarenia dominovala netermálna emisia. Dostali pomenovanie Seyfertove galaxie.

V marci roku 1963 Američan holandského pôvodu Maarten Schmidt, ktorý sa venoval identifikácii rádiového zdroja 3C 273 (objekt č. 273 v treťom Cambridgeskom katalógu rádiových zdrojov) v súhvezdí Panny zistil, že všetky čiary v spektre tohto zdroja sú výrazne posunuté smerom k červenému koncu spektra. To isté neskôr bolo zistené i pre ostatné podobné objekty. Červené posuvy u týchto objektov však dosahujú neuveriteľné hodnoty, im zodpovedajúce rýchlosti vzdialovania často prekračujú 2/3 rýchlosti svetla.

Tieto objekty nazývame kvazary (podľa kvázistelárny objekt - hviezde podobný objekt) a sú to vôbec najvzdialenejšie objekty aké vo vesmíre dnes pozorujeme.

Stále je však problematické určovanie ich presných vzdialeností. Vieme merať posuv ich spektrálnych čiar a tak poznáme červený posuv objektu, ale samotná hodnota červeného posuvu je nám v prípade tak vzdialených objektov málo nápomocná. Potrebujeme ešte poznať scenár minulého rozpínania vesmíru a ten sme dosiaľ nezistili. Lepšie vieme určiť skutočné rozmery kvazarov. Pozorujeme kolísanie intenzity prichádzajúceho žiarenia v intervaloch dní až mesiacov vo viacerých pozorovacích oknách. Z toho predpokladáme, že telesá nemôžu byť väčšie ako vzdialenosť, ktorú preletí svetlo za niekoľko dní až mesiacov z jedného konca na druhý. Táto vzdialenosť zodpovedá približne 10 000 AU. To sú v porovnaní s galaxiami rozmery veľmi malé. Aby sme však kvazary videli na veľké vzdialenosti, musia mať žiarivý výkon porovnateľný s galaxiami.

Dnes už vieme, že hnacím motorom všetkých fyzikálnych mechanizmov v kvazaroch sú supermasívne čierne diery ktorých hmotnosti dosahujú až 10 miliárd hmotností Slnka. Intenzívny výskum ukázal, že kvazary sa skutočne nachádzajú v kozmologických vzdialenostiach a sú to procesy v galaktických jadrách, kde dochádza k akrecii hmoty na supermasívnu rotujúcu čiernu dieru pričom sa premieňa gravitačná potenciálna energia na žiarenie. Žiarivý výkon takýchto procesov dosahuje až 10^{41} W. Paradoxne, najbližší kvazar je aj v centre našej Galaxie, Mliečnej dráhy. Bol objavený až dosť neskoro. Kvazar za to nemôže, alebo len do určitej miery. Má totiž dosť "malú" hmotnosť - "iba" niekoľko miliónov

slnk. Z toho sa odvíja aj menšia žiarivá energia okolitej hmoty, ktorá "padá" do tejto čiernej diery. Skoršiemu spozorovaniu kvazaru v našej Galaxii zabránilo hlavne množstvo medzihviezdneho prachu a plynu, ktoré sa nachádza medzi Zemou a centrom Mliečnej dráhy.

Nové smery výskumu

Jedným z nevyriešených problémov modernej astrofyziky je pochopenie vzniku a vývoja galaxií, ktoré v súčasnosti pozorujeme. Paradigma chladnej tmavej hmoty predpokladá, že hlavne veľké špirálové galaxie (Grand design spirals) sa formovali akreciou a slapovým narušením satelitných galaxií. Pre štúdium tohoto problému je laboratóriom Miestna skupina galaxií, kde je možné študovať vývoj galaxií s dostatočným rozlíšením. Práve tu je možné odhaľovať fosílie galaktického vývoja v kontexte s priestorovým rozložením, kinematikou a chemickými abundanciami ich najstarších hviezd. Takto vzniká nový smer astrofyzikálneho výskumu, ktorý môžeme nazvať „galaktická archeológia“. Tento smer výskumu v poslednej dobe zaznamenáva kvalitatívny aj kvantitatívny rozvoj v observačnej oblasti pomocou vysoko výkonných pozemských ďalekohľadov, schopných akumulovať signál s vysokým odstupom signálu od šumu. Do problému sa zapája aj HST a na začiatku 21. storočia pribudli veľkoškálové digitálne prehliadky oblohy ako napr. SLOAN (Sloan Digital Sky Survey) a 2MASS (Two Micron All Sky Survey). Možnosť porovnať tieto výsledky s kozmologickými simuláciami vývoja na malej škále zvyšuje význam štúdia „Grand design“ galaxií a ich satelitov v rámci Miestnej skupiny galaxií. Pozorujeme vznik nových výskumných smerov v extragalaktickej astronómii, ktoré zohrajú dôležitú úlohu už v najbližších rokoch.

Záver

V tomto stručnom prehľade o problematike štúdia galaxií nebolo možné spomenúť všetky základné poznatky, ktoré by bolo dobré naštudovať pre lepšie pochopenie uvedenej problematiky. Veľa základných poznatkov sa nachádza v príbuznej téme „Stavba Galaxie“, ktorou sa však táto prednáška nemohla zaoberať. Preto doporučujeme pre komplexnejšie pochopenie problematiky galaxií oboznámiť sa aj s najnovšími výsledkami výskumu našej Galaxie.