

# GALAXIA A GALAXIE I. – MLIEČNA CESTA

**1. Ako vyzerá naša galaxia zo Zeme:** Podľa Wikipédie: Všetky hviezdy, ktoré je oko schopné rozlíšiť na nočnej oblohe, sú súčasťou **Galaxie Mliečna cesta**. Zriedkavé výnimky tvoria len príležitostné supernovy v blízkych galaxiách, ako SN 1987 A vo Veľkom Magellanovom mračne. Okrem týchto relatívne blízkych hviezd sa Galaxia javí ako **matné zoskupenie svetiel klenúce sa okolo celej nebeskej sféry**. Toto svetlo pochádza z hviezd a ďalšieho materiálu nachádzajúceho sa vo vnútri galaktickej roviny. Tmavé oblasti vo vnútri tejto skupiny, ako napríklad **Veľká trhlina** a hmlovina **Uhol'né vrece**, sa zhodujú s oblasťami, kde je svetlo zo vzdialených hviezd blokované tmavými hmlovinami. Galaxia má relatívne nízku povrchovú jasnosť vďaka medzihviezdnej hmote, ktorá vyplňa galaktický disk, pričom ten nám bráni v pozorovaní jadra Galaxie. Preto je ťažké pozorovanie Mliečnej cesty z mestských a predmestských pozícií zasiahnutých svetelným znečistením. **Jadro Galaxie** leží **v smere súhvezdia Strelec**, a v tomto mieste je Mliečna cesta najjasnejšia. Od súhvezdia Strelca sa Mliečna cesta javí, že prechádza západne k súhvezdiam Škorpión, Oltár, Pravítko, Južný trojuholník, Kružidlo, Kentaur, Mucha, Južný kríž, Kýl, Plachty, Korma, Veľký pes, Jednorožec, Orión a Blíženci, Býk, Povožník, Perzeus, Androméda, Kasiopeja, Cefeus a Jašterica, Labuť, Líška, Šíp, Orol, Hadonos, Štít a naspäť ku súhvezdiu Strelec. Skutočnosť, že Galaxia rozdeľuje nočnú oblohu na dve pologule, naznačuje, že Slnecná sústava leží v blízkosti galaktickej roviny. Galaktická rovina má inklináciu približne  $60^\circ$  k ekliptike. Je to vysoká inklinácia tak voči rovine zemského rovníka, ako aj voči rovine ekliptiky. Relatívne k nebeskému rovníku, prechádza na sever až k súhvezdiu Kasiopeja a na juh k súhvezdiu Južný kríž. Severný galaktický pól sa nachádza na rektascenzii 12h 49m, deklinácii  $+27,4^\circ$  (B1950) v blízkosti Beta Comae Berenices, a južný galaktický pól sa nachádza v blízkosti Alfa Sculptoris.



**360-stupňová fotografická panoráma Galaxie**

**2. Veľkosť Galaxie:** Galaktický disk Mliečnej cesty má v priemere približne **100 000 svetelných rokov** ( $9 \times 10^{17}$  km alebo  $6 \times 10^{17}$  mi) a predpokladaná priemerná hrúbka je **1 000 ly** ( $9 \times 10^{15}$  km). Odhadované množstvo hviezd je 200 miliárd a možno **až 400 miliárd**. Skutočné číslo závisí od počtu veľmi malých hviezd, ktorý je ťažké odhadnúť a môže byť až porovnateľné s jedným biliómom ( $10^{12}$ ) hviezd v susednej galaxii Androméda. Galaktický disk nemá ostré okraje. **Neexistuje jasná hranica, za ktorou už nie sú žiadne hviezdy** (nie je pevne stanovený polomer), množstvo hviezd rovnomerne ubúda so zväčšujúcou sa vzdialenosťou od centra galaxie. Za polomerom približne **40 000 ly** ( $4 \times 10^{17}$  km) začína množstvo hviezd ubúdať rýchlejšie. Za galaktickým diskom sa nachádza **oveľa menší disk z plynu**. Nedávne pozorovania naznačujú, že plynový disk Mliečnej cesty **má dĺžku okolo 12 000 ly** ( $1 \times 10^{17}$  km) - dvojnásobok predtým predpokladanej hodnoty. Na lepšiu predstavu fyzickej veľkosti Galaxie Mliečna cesta: ak by sme jej veľkosť zredukovali na 10 m, tak veľkosť Slnecnej sústavy vrátane Oortovho mraku by nepresahovala 0,1 mm. Galaktické halo sa rozširuje smerom von z galaxie, ale jeho veľkosť je obmedzená obežnými dráhami dvoch satelitov Mliečnej cesty, Veľkým a Malým Magellanovým mrakom, ktorých apsida je vo vzdialenosti približne **180 000 svetelných rokov** ( $2 \times 10^{18}$  km). V tejto vzdialenosti by obežné dráhy väčšiny objektov galaktického hala boli rušené Magellanovými mrakmi a zrejme by boli vyvrhnuté z dosahu Galaxie.



**360-stupňová panoráma nočnej oblohy klenúca sa ponad Paranal Observatory. Mesiac vychádza a nad ním je viditeľné zodiakálne svetlo.**

**3. Vek Galaxie:** V roku 2007 tím vedcov - Luca Pasquini, Piercarlo Bonifacio, Sofia Randich, Daniele Galli a Raffaele G. Gratton - odhadol hviezde HE 1523-0901 (guľová hviezdokopa NGC 6397) v galaktickom hale vek na 13,2 miliardy rokov, čo je **takmer vek celého vesmíru**. Ako najstarší známy objekt v Galaxii Mliečna cesta v tom čase určil dolnú hranicu veku Galaxie. Tento odhad bol zistený použitím UV-vizuálneho Ellecheovho spektrografu umiestneného na Very Large Telescope na meranie relatívnych síl spektrálnych čiar spôsobených

prítomnosťou tória a ďalších chemických prvkov vytvorených pri R-reakcii. Sila čiar naznačuje prebytok rôznych elementárnych izotopov, z ktorých možno odvodiť vek hviezdy použitím nukleokozmochronológie. Vek hviezd v tenkom galaktickom disku sa dá odhadnúť podobným spôsobom ako pri HE 1523-0901. Merania hviezd v tenkom galaktickom disku ukazujú, že tento disk sa sformoval pred  $8,8 \pm 1,7$  miliardami rokov. Z tohto vzniká predpoklad medzery **5 miliárd rokov** medzi sformovaním galaktického hala a tenkého galaktického disku.



**Jadro Galaxie v smere súhvezdia Strelec. Hlavné hviezdy súhvezdia sú označené červenou farbou.**

**4. Zloženie, hmotnosť a štruktúra Galaxie:** Galaxia sa skladá z oblasti **jadra s priečkou** obklopeného **diskom** plynu, prachu a hviezd formujúcich jednotlivé **špirálové štruktúry ramien** vychádzajúcich zo stredu smerom von v tvare logaritmickej špirály. Rozdelenie hmoty vo vnútri Mliečnej cesty pripomína **triedu Sbc** v Hubblovej schéme, čo je špirálová galaxia s relatívne nevýraznými poškodenými ramenami. Astronómovia si už od začiatku mysleli, že Mliečna cesta je skôr špirálová galaxia s priečkou ako len obyčajná špirálová galaxia. Ich názor bol potvrdený vďaka pozorovaniam Spitzerovho vesmírneho ďalekohľadu **v roku 2005**, keď sa ukázalo, že centrálna priečka Galaxie **je ešte väčšia** ako sa pôvodne predpokladalo. Odhady celkovej hmotnosti Galaxie sa líšia v závislosti od metódy a použitých informácií. Nedávne odhady predpokladajú hmotnosť  **$5,8 \times 10^{11}$  hmotností Slnka ( $M_{\odot}$ )**, čo je trochu menej ako hmotnosť galaxie Androméda. Iné merania, pomocou Very Long Baseline Array (VLBA), objavili rýchlosti vyššie ako 254 km/s u hviezd na okraji Galaxie. Nakoľko obežná rýchlosť je úzko spojená s hmotnosťou, je pravdepodobné že Mliečna cesta je masívnejšia, s hmotnosťou rovnajúcou sa zhruba hmotnosti galaxie Andromédy, čo je  $7 \times 10^{11}$  hmotností Slnka ( $M_{\odot}$ ) vo vnútri 50 kiloparsekov od jej centra. Nedávne merania radiálnej rýchlosti hviezd **galaktického hala** zistili hmotnosť

vo vnútri 80 kiloparsekov na  $7 \times 10^{11}$  hmotností Slnka. Väčšinu hmoty v Mliečnej ceste predstavuje tmavá hmota, ktorá vytvára **tmavé galaktické halo**. Halo sa rozširuje rovnomerne do vzdialenosti za 100 kiloparsekov od jadra Galaxie. Celková hmotnosť celej Mliečnej cesty sa odhaduje na 600-1000 miliárd hmotností Slnka. Táto hmotnosť baryónovej hmoty zahŕňa 200 až 400 miliárd hviezd. Ich komplexná absolútna hviezdna veľkosť bola odhadnutá na -20,9.



### **Umelcova koncepcia špirálovej štruktúry Mliečnej cesty s dvomi hlavnými hviezdными ramenami a priečkou**

**5. Jadro Galaxie:** Galaktický disk, ktorý sa v strede Galaxie vydúva smerom von, má priemer medzi 70 000 až 100 000 ly. Vzdialenosť medzi Slnkom a stredom Mliečnej cesty je podľa **dnešných** odhadov  **$26\,000 \pm 1\,400$  svetelných rokov**, zatiaľ čo staršie odhady uvádzajú túto vzdialenosť **až 35 000 svetelných rokov**. V jadre Galaxie sa nachádzajú objekty s veľmi veľkou hmotnosťou, čo sa zistilo z pohybov materiálu v jadre. Hviezdy v galaktickom disku obiehajú okolo stredu galaxie, o ktorom sa predpokladá, že obsahuje **supermasívnu čiernu dieru**. Silný rádiový zdroj Sagittarius A\* je pokladaný za stred Mliečnej cesty. Vedci sa zhodujú, že najpravdepodobnejším kandidátom na pozíciu tejto čiernej diery **je práve Sagittarius A\***. Rýchlosť obiehania jednotlivých hviezd v Galaxii príliš nezávisí od vzdialenosti od stredu Galaxie: vždy je to **medzi 200 a 250 km/s**. Z toho dôvodu je doba obiehania priamo úmerná vzdialenosti hviezdy od galaktického stredu. Predpokladá sa, že väčšina galaxií má vo svojom jadre podobnú supermasívnu čiernu dieru. Priečka Galaxie je asi 27 000 svetelných rokov dlhá, prechádzajúca cez jadro pod  $44 \pm 10$  stupňovým uhlom s líniou



zelenomodrá	3-kpc rameno a rameno Perzea
fialová	Rameno Pravítka a Vonkajšie rameno
zelená	Rameno Štítu-Južného Kríža
ružová	Rameno Strelca
oranžová	Rameno Orióna (v ktorom sa nachádza Slniečna sústava)

Pozorovania uskutočnené v roku 2008 Robertom Benjaminom z University of Wisconsin-Whitewater naznačujú, že Mliečna cesta má **iba dve hlavné ramená**, rameno Perzea a rameno Štítu-Južného kríža. Ostatné ramená sú buď malé alebo prídavné. Toto by znamenalo, že Mliečna cesta **je podobná galaxii NGC 1365**. Mimo hlavných špirálových ramien sa nachádza prstenec Jednorožca (alebo Vonkajší prstenec) - prstenec plynu a hviezd odtrhnutých od iných galaxií pred miliardami rokov. Obežná rýchlosť väčšiny hviezd v Galaxii **nezávisí** na ich vzdialenosti od stredu galaxie. V oblasti mimo jadra alebo vnútorného okraja sa rýchlosť pohybuje medzi **210 až 240 km/s**. Preto je doba obehu typickej hviezdy priamo úmerná dĺžke prejdenej cesty, na rozdiel od situácie v Slniečnej sústave, kde vládne gravitačná dynamika **dvoch telies** s očakávaním rôznych obežných dráh pri podstatne rôznych rýchlostiach. Tento rozdiel je jeden zo základných častí evidencie pre existenciu **tmavej hmoty**. Ďalším zaujímavým aspektom je tzv. „naťahovací problém“ špirálových ramien. Ak vnútorná časť ramien rotuje rýchlejšie ako vonkajšia časť, tak galaxia sa natiahne, pričom špirálová štruktúra by sa mala stenčiť. Ale toto sa u špirálových galaxií nepozoruje, namiesto toho astronómovia prehlasujú, že špirálový vzor galaxií je založený na hustote vln vychádzajúcich z jadra. Toto sa dá prirovnať k pohybujúcej sa dopravnej zápche na diaľnici, všetky autá sa pohybujú, ale vždy je tu oblasť pomalšie sa pohybujúcich áut. Tento model zahŕňa aj zvýšený vznik hviezd vo vnútri alebo v blízkosti špirálových ramien. Stlačené vlny zvyšujú hustotu molekulárneho vodíka, čoho výsledkom je zvýšená pravdepodobnosť vzniku protohviezd.

**7. Galaktické halo:** Galaktický disk je obklopený sféroidným halom **starých hviezd** a **guľových hviezdokôp**, z ktorých 90 % leží vo vnútri priemeru 100 000 svetelných rokov, z čoho sa usudzuje priemer hviezdneho hala 200 000 svetelných rokov, hoci guľové hviezdokopy boli objavené aj vo väčšej vzdialenosti ako 200 000 svetelných rokov, ako napríklad PAL 4 a AM 1. Približne 40 % týchto hviezdokôp má **retrográdnú obežnú dráhu**, čo znamená, že sa pohybujú v opačnom smere ako je rotácia Mliečnej cesty. Môžu sa

pohybovať po Rossetových dráhach v galaxii, ktoré sú opakom eliptických obežných dráh. Zatiaľ čo disk obsahuje plyn a prach, ktorý zahaľuje pohľad pri niektorých vlnových dĺžkach, zložky sféroidu sú **dobře viditeľné**. Hviezdy aktívne vznikajú v disku (hlavne v špirálových ramenách, ktoré predstavujú oblasti s vysokou hustotou), **ale nie v hale**. Otvorené hviezdokopy sa tiež vyskytujú primárne v disku. Objavy 21. storočia nám umožnili lepšie porozumieť štruktúre Mliečnej cesty. S objavom, že disk galaxie Androméda (M31) je viac natiahnutý ako sa pôvodne predpokladalo, sa dá usudzovať, že disk Mliečnej cesty **môže byť tiež viac natiahnutý**, a táto hypotéza je podporená dôkazmi z objavu predĺženia Vonkajšieho ramena ramena Pravítka. S objavom trpasličej galaxie Strelec bol zase objavený pás galaktického odpadu, ktorý vznikol vzájomným pôsobením Mliečnej cesty a trpasličej galaxie pohybujúcej sa po polárnej obežnej dráhe. Podobne, s objavom trpasličej galaxie Veľký pes, bol objavený ďalší prstenec vesmírneho či galaktického odpadu.

**8. Pohyb Slnka Galaxiou:** Vrchol cesty Slnka alebo slnečný vrchol je smer, ktorým sa pohybuje Slnko v priestore Galaxie. Hlavným smerom galaktického pohybu Slnka je smerom **k hvieзде Vega** v blízkosti súhvezdia Herkules pod uhlom približne 60 hviezdnych stupňov k smeru jadra Galaxie. Obežná dráha Slnka po Galaxii je zhruba **eliptická** s občasnými poruchami kvôli špirálovým ramenám a nerovnomernému prerozdeleniu hmoty v Mliečnej ceste. Navyše, Slnko **kmitá smerom nahor a nadol** vzhľadom ku galaktickej rovine približne **2,7-krát za obeh**. Podobá sa to práci jednoduchého harmonického oscilátora bez unášacej sily. Tieto kmitania boli donedávna považované za faktor spôsobujúci masové vyhynutia na Zemi. Ale opakovaná analýza efektov pri preletoch Slnka cez špirálovú štruktúru založená na CO dátach nepotvrdila, že medzi prechodmi Slnka rovinou disku a vyhynutiami druhov existujú súvislosti. Slnečnej sústave trvá jeden obeh okolo stredu Galaxie **225-250 miliónov rokov (galaktický rok)**, takže sa predpokladá, že túto trasu už absolvovala **20–25 krát** počas existencie Slnka. Obežná rýchlosť Slnečnej sústavy **okolo jadra Galaxie** je približne **217 –220 km/s**, čo znamená 1 svetelný rok za približne 1400 rokov.



**Fotografia časti Mliečnej cesty urobená na Cerro Paranal**

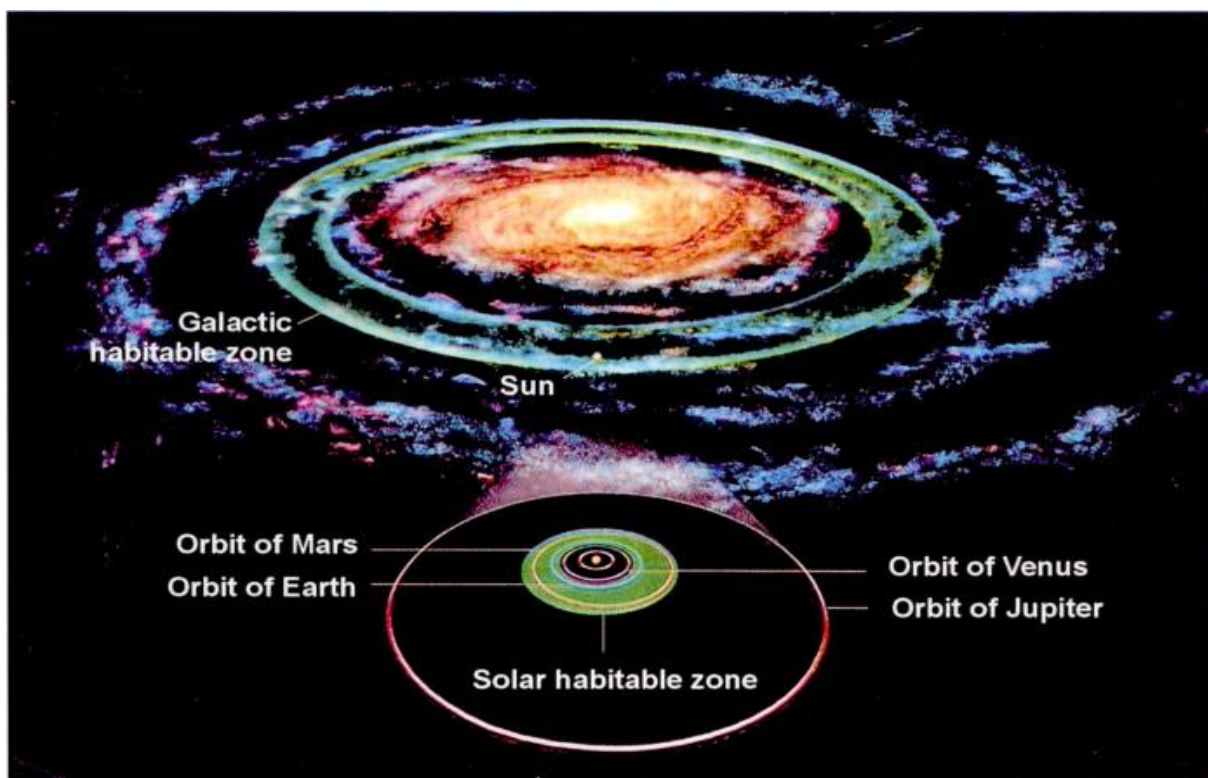
**9. Pohyb Galaxie vesmírom a jej rýchlosť:** Vo všeobecnom chápaní, absolútna rýchlosť objektu vo vesmíre **nie je podľa Einsteinovej špeciálnej teórie relativity dôležitou otázkou**. Špeciálna teória relativity prehlasuje, že neexistuje prioritná inerciálna vzťahná sústava vo vesmíre, s ktorou sa dá porovnať pohyb objektu (pohyb musí byť špecifikovaný s ohľadom na ďalší objekt). Toto je potrebné mať na pamäti pri rozoberaní pohybu galaxie. Astronómovia veria, že Mliečna cesta sa pohybuje relatívnou rýchlosťou 630 km/s **k inej pohybovej vzťažnej sústave**, ktorá sa nachádza **v Hubblovom prúde**. Ak sa Galaxia pohybuje rýchlosťou **600 km/s**, Zem precestuje 51,84 miliónov kilometrov každý deň a viac ako 19,8 miliárd kilometrov každý rok, čo **je viac ako 4,5 násobok najbližšej vzdialenosti od Pluta**. Predpokladá sa, že Mliečna cesta sa pohybuje v smere **Veľkého atraktora**. Miestna skupina galaxií je časťou superkopy galaxií nazývanej Miestna superkopa galaxií nachádzajúcej sa v blízkosti Kopy galaxií Panna. Aj keď sa od seba vzdiaľujú rýchlosťou 967 km/s ako súčasť Hubblovho prúdu, rýchlosť je menšia ako by sa predpokladalo pri vzdialenosti 16,8 milióna pc kvôli gravitačnému priťahovaniu medzi Miestnou skupinou galaxií a Kopou galaxií Panna. Iné referencie poskytujú reliktové žiarenie. Mliečna cesta sa pohybuje rýchlosťou 552 km/s s ohľadom **na fotóny reliktového žiarenia**, rektascenzia 10,5, deklinácia  $-24^\circ$  (epocha J2000) blízko centra súhvezdia Hydra. Tento pohyb je pozorovaný pomocou satelitov ako sú Cosmic Background Explorer (COBE) a Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) **ako dvojpólová podpora reliktového žiarenia**.

**10. Budúcnosť Galaxie:** Je takmer isté, že Galaxia **sa zrazí so susednou Galaxiou Androméda**. Galaxie sa k sebe približujú rýchlosťou približne pol milióna kilometrov za hodinu. Ich vzájomná vzdialenosť je asi 2,2 milióna svetelných rokov. K zrážke teda príde vo vzdialenej budúcnosti, **približne za 3–4 miliardy rokov**. Keď sa obe galaxie priblížia, stlačí gravitačný vplyv oboch galaxií ich molekulové mračná a začne masívna tvorba nových hviezd. Vytvorí sa množstvo modro svietiacich hviezdokôp, oveľa jasnejších ako sú terajšie. Z prachu v oboch diskoch sa začnú gravitačným vplyvom a premiešaním tvoriť nové obrie hviezdy s krátkou životnosťou. Oba disky sa spoja asi za 100 miliónov rokov. Za ten čas už vybuchnú niektoré supernovy **a vymetú plyn a prach von z nového útvaru**. Okolo neho vznikne rovnaký obal, aký pozorujeme **pri eliptických galaxiách**. Z jadra bude vychádzať dlhý výtrysk podobný výtrysku **z galaxie M87**. Predpokladá sa, že naše Slnko, ani žiadne iné hviezdy sa navzájom nezrazia, ale hviezdov tvorba sa následne navždy zastaví.





**Veľká hmlovina v Orióne, v ktorej práve vznikajú nové hviezdy. Od nás je vzdialená asi 1500 svetelných rokov.**



Umelecké zobrazenie **dvoch obývatel'ných zón v našej galaxii**. Obývatel'ná zóna v Mliečnej ceste sa rozprestiera medzi nebezpečnou **vnútornou oblasťou** (charakterizovanou zvýšenou teplotou, ale aj explóziami supernov, väčšou pravdepodobnosťou vzájomných zrážok vesmírnych telies a pod. ) a **vonkajšou oblasťou**, chudobnou na kovové prvky. Je **analogická k obývatel'nej zóne** s oveľa menšími rozmermi v **našej slnečnej sústave** (menší obrázok v dolnej časti). **Ani jedna zóna nemá ostré hranice**. Oblasti, v ktorých vznikajú hviezdy v špirálových ramenách, sú zobrazené modrou a ružovou farbou.

### **Kontrolné otázky:**

- 1. Smerom ku ktorému súhvezdiu treba hľadať jadro našej galaxie?**
- 2. Koľko svetelných rokov má v priemere galaktický disk našej galaxie?**
- 3. Koľko hviezd by malo byť v našej galaxii?**
- 4. Ako dlho asi existuje naša galaxia a na základe čoho vedci dospeli k takémuto jej veku?**
- 5. Aká veľká je časová medzera medzi sformovaním galaktického hala a tenkého galaktického disku?**
- 6. Z ktorých hlavných častí sa skladá naša galaxia?**
- 7. Má naša galaxia priečku?**
- 8. Na koľko slnečných hmotností sa odhaduje celková hmotnosť našej galaxie?**
- 9. Ako ďaleko je približne Slnko od stredu Galaxie Mliečna cesta?**
- 10. Aký objekt sa pravdepodobne nachádza v strede našej galaxie a ako sa presne nazýva?**
- 11. Ako rýchlo sa pohybujú jednotlivé hviezdy okolo stredu Galaxie?**
- 12. Koľko špirálových ramien má naša galaxia a ako sa nazývajú?**
- 13. Akým smerom sa pohybujú staré guľové hviezdokopy z hala?**
- 14. Prečo v galaktickom hale už nevznikajú nové hviezdy?**
- 15. Smerom ku ktorej hviezde sa pohybuje Slnko v Galaxii?**
- 16. Koľko trvá Slnečnej sústave, kým obehne stred Galaxie?**
- 17. S ktorou galaxiou sa takmer iste zrazí Galaxia Mliečna cesta?**
- 18. A kedy sa tak stane, s akými dôsledkami pre hviezdotvorbu?**
- 19. Na základe čoho bola vymedzená galaktická obývatel'ná zóna?**
- 20. Na základe čoho bola vymedzená slnečná obývatel'ná zóna?**