

## Úloha: Vlastnosti Galaxie

Jméno: ... Artem Gorbunov .....

Datum odevzdání: 01.05.23.

Shrnutí úkolů:

- V tabulce 18 je uvedena pozorovaná hvězdná velikost hvězd typu RR Lyrae ve 20 vybraných kulových hvězdokupách a mezihvězdná extinkce ve směru k nim. Uveďte vztah pro modul vzdálenosti obsahující mezihvězdnou extinkci.

$$m - M = 5 \log d - 5 + A_v \Rightarrow d = 10^{0.2(m-M+A_v)}$$

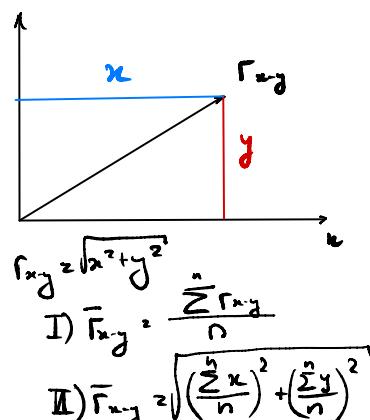
Vztah nyní upravte a použijte pro výpočet vzdáleností hvězd. Absolutní hvězdná velikost všech hvězd typu RR Lyrae je přibližně stejná,  $M = 0.6$  mag. Vypočtené údaje zapište do tabulky 18. Data z tabulek jsou k dispozici i v elektronické podobě.

- Z galaktických souřadnic  $l, b$  hvězd typu RR Lyrae v tabulce 18 a jejich vzdáleností  $r$  vypočítejte pravoúhlé souřadnice  $x, y, z$ , které budete nadále používat, a jejich hodnoty pravoúhlých souřadnic vepište do tabulky 18.
- Vyneste do grafu souřadnice  $x, z$  všech hvězdokup z tabulky 18. V případě počítacového zpracování tohoto a dalších úkolů praktické úlohy, nezapomeňte příslušné grafy vytisknout a přiložit k protokolu.
- Zvolte si metodu a určete střed rozložení kulových hvězdokup v řezu galaxie v rovině  $x - z$ . Můžete postupovat graficky, např. dělením na symetrické části, nebo výpočtem. Zvolený postup popište. Určený střed odpovídá podle Shapleyho předpokladu středu Galaxie.

K určení polohy rozkladného středu hvězdokupy použijí následující geometrickou metodu:

I) Protože známe vzdálenosti hvězdokupy ve dvou na sebe kolových osách, lze vzdálosti k ní v rovině os najít pomocí Pythagorovy věty. Pak můžeme najít aritmetický průměr všech získaných vzdáleností a určit polohu středu rozkladné hvězdokupy.

II) Postupuje stejně, ale nejprve vypočítáme sítědru habudu souřadnic a pak zjistíme vzdálenost.



Vzdálenost Slunce – střed Galaxie: I) 11802 pc, II) 8440 pc

- Do stejného grafu ještě vyneste odlišným způsobem (barvou, tvarem značek) souřadnice kulových hvězdokup ležících poblíž galaktického rovníku. Data jsou k dispozici v souboru GCs-galrovník.txt na stránce předmětu. Jak by se změnila určená vzdálenost ke středu Galaxie, pokud bychom vzali v úvahu i tyto kulové hvězdokupy? Diskutujte.

Prověříme-li stejně výpočty s údaji z dokumentu, získáme následující hodnoty pro rovinu  $x-z$  a  $x-y$ :

$$\text{I)} \bar{r}_{xz} = 7013 \text{ pc}$$

$$\bar{r}_{xy} = 7013 \text{ pc}$$

$$\text{II)} \bar{r}_{xz} = 6930 \text{ pc}$$

$$\bar{r}_{xy} = 6934 \text{ pc}$$

Z toho patrné, že výsledky se blíží hodnotě uváděnou v literatuře  
(angl.: [wikipedia.org/wiki/Milky\\_Way](https://en.wikipedia.org/wiki/Milky_Way) =  $(7935 \pm 277)$  pc)

To lze vysvětlit větším množstvím dat a jejich menší blízkostí k kolu galaxie.

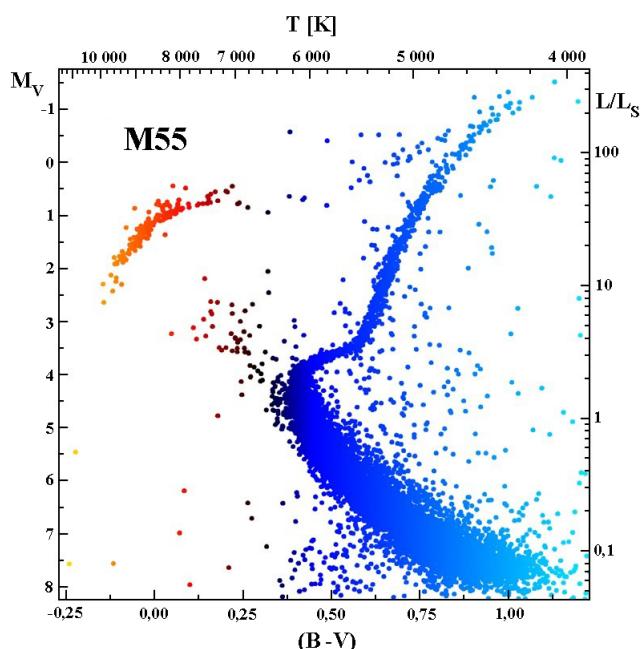
6. Výše uvedený postup zopakujte i pro řez Galaxií v rovině  $x - y$ .

Vzdálenost Slunce – střed Galaxie: I) 11566 pc, II) 8482 pc

7. Vyhledejte v literatuře vědecký článek udávající současnou hodnotu pro vzdálenost středu Galaxie (měl by být méně než 5 let starý). Přesnou citaci uveďte do praktika. Porovnejte s vámi získanými hodnotami a diskutujte nepřesnost určení vzhledem například k přesnosti dat nebo metodě určení středu rozložení kulových hvězdokup.

Z článku 2204.12551 arxiv.org vyplývá, že vzdálenost do středu galaxie měřena pozorováním kinematiky galaktického shoku  $R_0 = (8,23 \pm 0,12)$  kpc.

V úhlu cca 5° je již vycvičil, proč mohou být výsledky nepřesné.



Obr. 26: Barevný diagram kulové hvězdokupy M55. Mochejska (CfA) a Kaluzny (CAMK). 1m Swope Telescope.

8. Pomocí mapy hvězdné oblohy nebo nějakého z programů jako např. Stellarium, který je volně ke stažení na <http://www.stellarium.org/> určete, kterými souhvězdími prochází galaktický rovník (alespoň 10), kde leží střed Galaxie, ve kterých souhvězdích se nachází galaktické póly.

Galaktický rovník prochází souhvězdími: *Aquila (Aql)*, *Canis Major (CMa)*, *Ophiuchus (Oph)*, *Sagittarius (Sgr)*, *Scorpius (Sco)*, *Cygnus (Lyr)*, *Supernus (Sup)*, *Vulpecula (Vel)*, *Ara (Ara)*, *Kochab (Koc)*

Střed Galaxie je v souhvězdí: *Sagittarius (Sgr)*

Severní galaktický pól se nachází v souhvězdí: *Coma Berenices (Com)* a jižní v souhvězdí: *Scutum (Scl)*

Ve kterém ročním období je nejlépe pozorovatelný z České republiky severní galaktický pól a kdy střed Galaxie?

*Severní galaktický pól je nejlépe pozorovatelný v letních měsících a střed galaxie koncem léta a začátkem podzimu.*

9. V tabulce 19 je uvedeno 10 nejjasnějších hvězd našeho hvězdného nebe, ale chybí v ní jejich běžně užívaná jména. Doplňte je. Většinu byste měli zvládnout i bez návodů. Doplňte také, kdy je možné danou hvězdu nejlépe pozorovat z České republiky. Stačí s přesností měsíců.

10. Zakreslete do grafu polohy nejasnějších hvězd z tabulky 19 a také hvězd spektrálního typu O a B z tabulky 20. Polohy hvězd těchto skupin označujte různou barvou nebo různými symboly. Liší se nějak rozložení hvězd těchto skupin? Diskutujte. (Návod: spočítejte průměr a standardní odchylku těchto rozdělení v souřadnici  $b$ .)

Z analýzy souřadnic  $b$  pro oba soubory hvězd vyplývá, že hvězdy v tabulce 19 jsou převážně vysoko nad galaktickým diskem než hvězdy v tabulce 20, které jsou převážně blíže pod ravinou galaktického disku. To znamená, že hvězdy spektrálního typu O a B jsou mladé a nacházejí se blíže ravině galaktického disku.

Z analýzy souřadnic  $l$  je patrné, že hvězdy z obou souborů se nacházejí převážně za Sluncem a mimo výšku od něj vzhledem ke středu Galaxie.

Souřadnice akty uvažuje, že hvězdy v tab. 19 jsou od sebe vzdáleny prakticky více než hvězdy v tab. 20.

$$\begin{array}{ll} \bar{b}_{19} = 6,3^\circ, \sigma_{19} = 30^\circ & \bar{b}_{20} = 206^\circ, \sigma_{20} = 102^\circ \\ \bar{b}_{20} = -0,35^\circ, \sigma_{20} = 10^\circ & \bar{b}_{20} = 259^\circ, \sigma_{20} = 87^\circ \end{array}$$

11. Analogicky k předchozímu úkolu zobrazte polohy 30 nejjasnějších kulových hvězdokup a 16 mladých otevřených hvězdokup z tabulek 21 a 22. Opět odlište tyto dvě skupiny pomocí různého značení. Diskutujte jejich rozložení v Galaxii. Odpovídá získané rozložení našim znalostem o poloze těchto tří objektů v Galaxii? Při podrobnějším pohledu ale zjistíte, že například krásná otevřená hvězdokupa Plejády má oproti ostatním otevřeným hvězdokupám z našeho vzorku relativně velkou galaktickou šířku. Jak je to možné?

Z analýzy souřadnic  $b$  je patrné, že hvězdokupy z obou tabulek se nacházejí převážně v ravnině gal. disku. Z analýzy souřadnic  $l$  vyplývá, že hvězdokupy z tab. 21 se nacházejí převážně ve směru gal. osy, zatímco hvězdokupy z tab. 22 se nacházejí rovnoměrně v ravnině disku.

Tyto výsledky plně odpovídají našim představám o umístění hvězdokup v galaxii. Nejstarší hvězdokupy jsou starší, nacházejí se blíže středu Galaxie, obklopují ji. Mladé hvězdokupy jsou neopakem rovnoměrně a poskytují směrem ke středu galaxie.

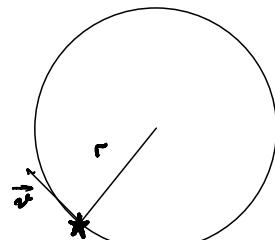
Pokud učtueme o Plejádech, můžeme předpokládat, že vzhledem k tomu, že jsou poměrně mladé, vznikly z molekulárního mravena nacházejícího se daleko v ravnině disku galaxie. A jsou k němu doké blízko.

12. Slunce obíhá kolem středu naší Galaxie rychlostí přibližně 230 km/s. Na základě spočtené vzdálenosti Slunce, určete jeho oběžnou dobu za předpokladu, že situaci můžeme approximovat jako pohyb po kružnici.

$$r = 8461 \text{ pc}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v}$$

$$T = \frac{2\pi \cdot 8461 \cdot (3,086 \cdot 10^{16} \text{ m}) \cdot 3}{230 \cdot 10^3 \text{ m}} = 7,133 \cdot 10^5 \approx 226,000,000 \text{ let.}$$



Tabulka 18: Tabulka hvězd typu RR Lyrae

Hvězdokupa	RR Lyr	Extinkce	Vzdálenost	Galakt. souř.		Pravoúhlé souřadnice		
	$m$ [mag]	$A_V$ [mag]	$r$ [kpc]	$l$ [ $^{\circ}$ ]	$b$ [ $^{\circ}$ ]	$x$	$y$	$z$
47 Tucanae	14.0	0.13	4,5	305.9	-44.9	1873	-2587	-3182
NGC 288	15.3	0.10	8,3	149.7	-89.4	-75	44	-8317
NGC 2298	16.4	0.36	12,1	245.6	-16	-4863	-10720	-3376
M 68	15.6	0.10	9,5	299.6	36	3816	-6718	5613
NGC 5466	16.5	0.17	14	42.1	73.6	2932	2649	13426
IC 4499	17.7	0.79	18,3	307.4	-20.5	10400	-13603	-6102
NGC 5824	17.9	0.46	23,3	332.6	22.1	18195	-5350	8779
Palomar 5	17.3	0.10	20,9	0.9	45.9	14538	228	15004
NGC 5897	16.2	0.20	12	342.9	30.3	9821	-3052	6066
M 5	15.1	0.10	7,6	3.9	46.8	5181	353	5530
M 80	15.9	0.69	8,4	352.7	19.5	7113	-1001	2783
M 13	14.9	0.07	7	59	40.9	2731	4545	4593
NGC 6356	17.7	0.90	17,4	6.7	10.2	16887	1986	3077
M 54	17.7	0.46	21,3	5.6	-14.1	20542	2014	-5185
NGC 6723	15.3	0.03	8,6	0.1	-17.3	8202	14	-2855
M 75	17.4	0.56	17,7	20.3	-25.8	14947	5528	-7704
M 72	16.9	0.10	17,4	35.2	-32.7	11850	8430	-8388
NGC 7006	18.7	0.43	34,2	63.8	-19.4	14241	28942	-11353
M 15	15.8	0.38	9,2	65	-27.3	3457	7413	-4222
M 30	15.2	0.03	8,2	27.2	-46.8	4385	2567	-5880

Tabulka 19: Deset nejjasnějších hvězd

Označení	Jméno hvězdy	$l$ [°]	$b$ [°]	Pozorovatelnost
$\alpha$ Tau	<i>Aldebaran</i>	181	-20	<i>Proseč, Lešen, Únor</i>
$\alpha$ Aur	<i>Capella</i>	163	5	<i>Lisopad</i>
$\beta$ Ori	<i>Rigel</i>	209	-25	<i>Proseč, Lešen, Únor</i>
$\alpha$ Car	<i>Canopus</i>	261	-25	<i>Nepozorovatelné</i>
$\alpha$ CMa	<i>Sirius</i>	228	-8	<i>Proseč, Lešen, Únor</i>
$\alpha$ Cru	<i>Acrux</i>	300	-1	<i>Nepozorovatelné</i>
$\alpha$ Vir	<i>Spira</i>	317	50	<i>Březen, Duben, Květen</i>
$\alpha$ Boo	<i>Arcturus</i>	15	69	<i>Červen, Červenec, Srpen</i>
$\alpha$ Cen	<i>Alpha Centauri</i>	316	-1	<i>Nepozorovatelné</i>
$\alpha$ Lyr	<i>Vega</i>	68	19	<i>Červen, Červenec, Srpen</i>

Tabulka 20: Dvacet jasných hvězd spektrálního typu O a B.

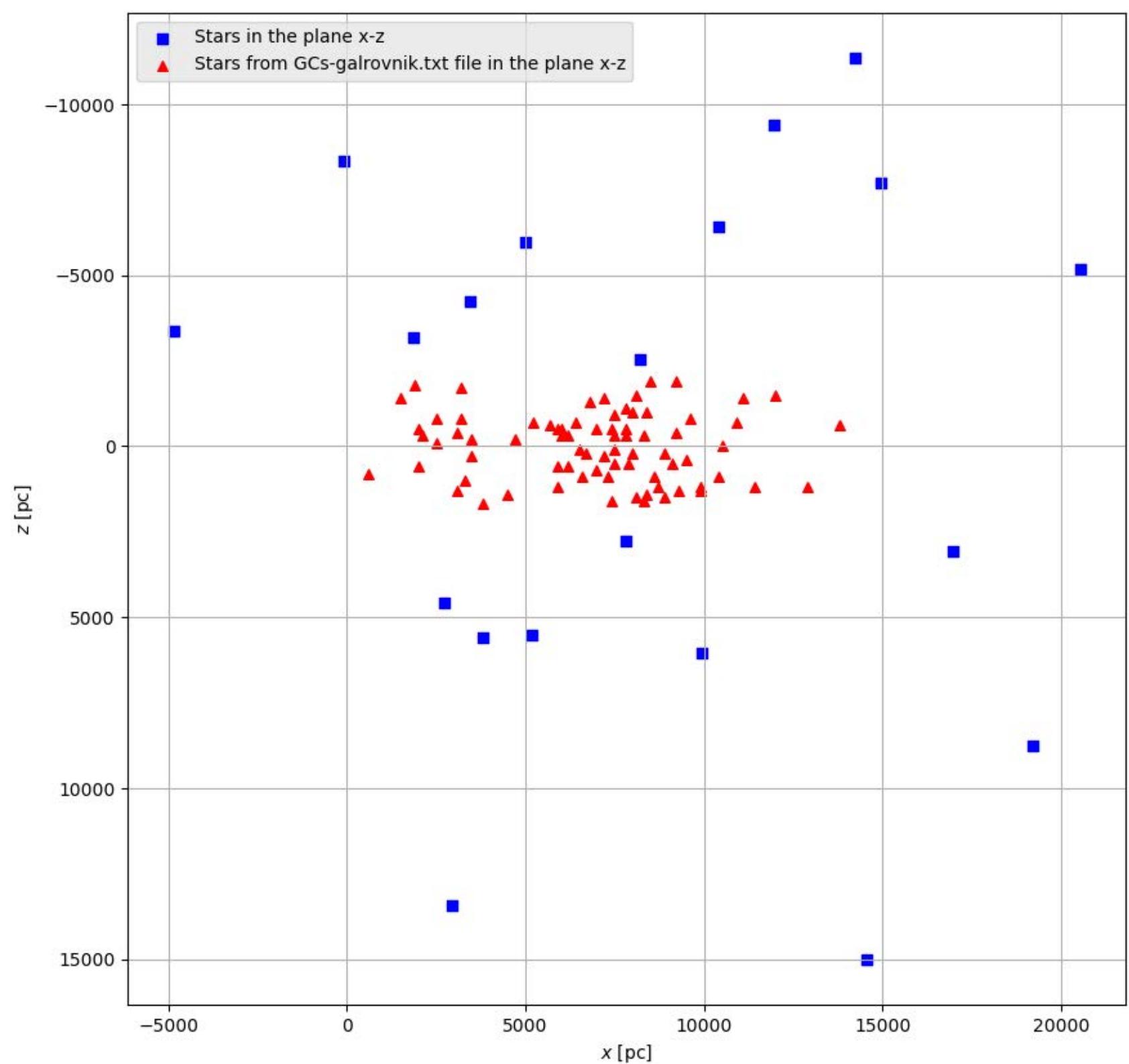
Označení	$l$ [°]	$b$ [°]	Označení	$l$ [°]	$b$ [°]
$\gamma$ Cas	124	-2	$\beta$ Cru	303	3
$\delta$ Ori	204	-17	$\varepsilon$ Cen	311	8
$\varepsilon$ Ori	205	-17	$\zeta$ Cen	315	14
$\zeta$ Ori	207	-16	$\beta$ Cen	312	1
$\kappa$ Ori	215	-18	$\eta$ Cen	323	16
$\beta$ CMa	226	-14	$\delta$ Sco	350	22
$\varepsilon$ CMa	240	-11	$\beta$ Sco	353	23
$\eta$ CMa	243	-6	$\zeta$ Oph	7	23
$\zeta$ Pup	256	-4	$\lambda$ Sco	352	-3
$\kappa$ Vel	276	-4	$\kappa$ Sco	351	-5

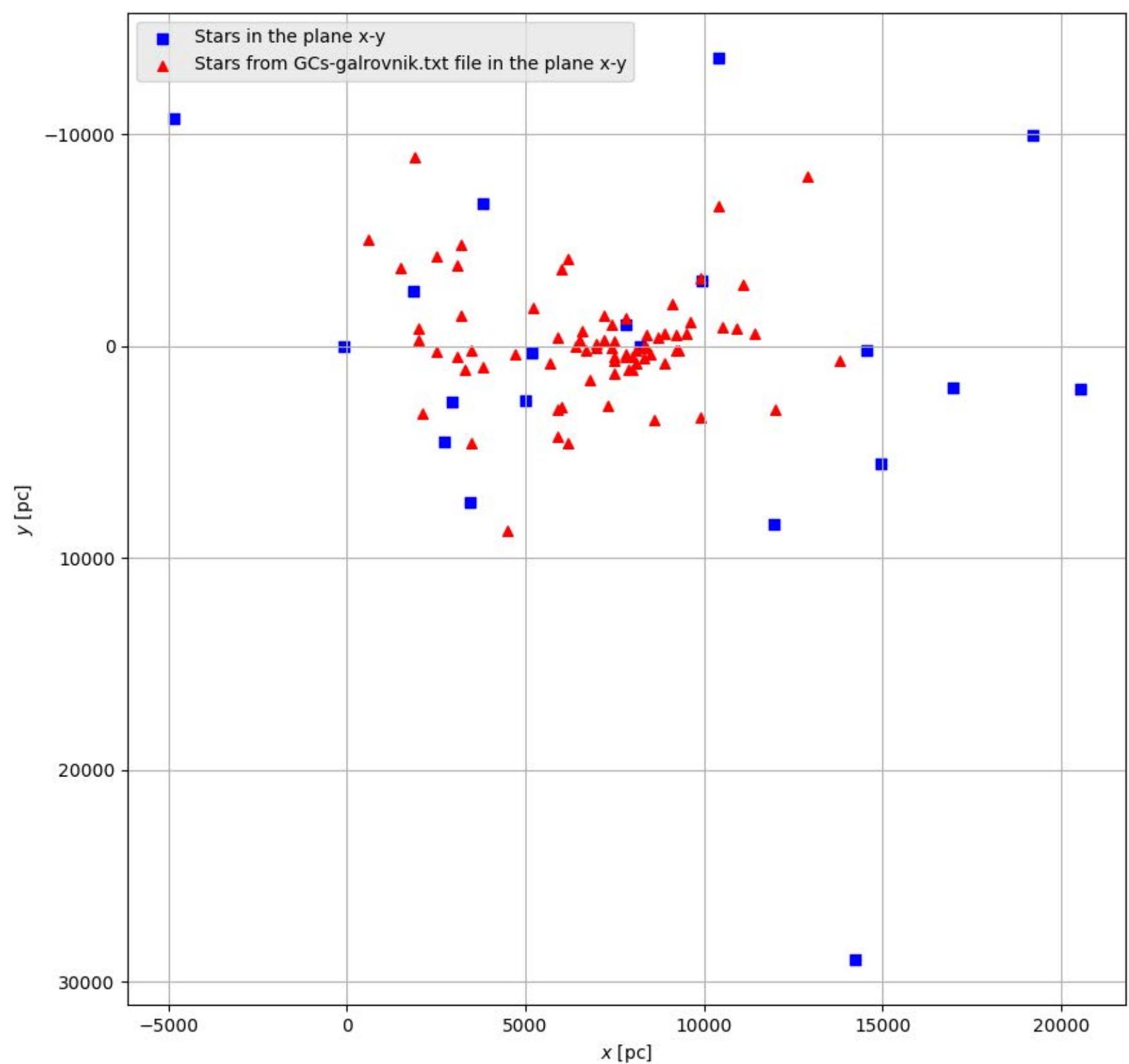
Tabulka 21: Třicet nejjasnějších kulových hvězdokup.

Označení	$l$ [°]	$b$ [°]	Označení	$l$ [°]	$b$ [°]
NGC 104 (47 Tuc)	306	-45	M 62	354	7
NGC 1851	244	-35	M 19	357	9
NGC 2808	282	-11	M 92	68	35
NGC 3201	278	9	NGC 6352	342	-8
NGC 4833	304	-8	NGC 6388	346	-7
NGC 5139 ( $\omega$ Cen)	310	-50	NGC 6397	338	-13
M 3	41	78	NGC 6441	354	-6
M 5	4	47	NGC 6541	350	-12
NGC 5986	337	13	M 28	8	-6
M 80	353	19	M 22	10	-8
M 4	351	15	NGC 6723	0	-17
M 13	59	41	NGC 6752	337	-26
M 12	16	26	M 55	9	-24
NGC 6235	359	13	M 15	65	-27
M 10	15	22	M 2	54	-36

Tabulka 22: Mladé otevřené hvězdokupy (mladší než  $10^8$  let)

Označení	$l$ [°]	$b$ [°]	Označení	$l$ [°]	$b$ [°]
M 103	128	-1	NGC 2362	238	-6
NGC 869 (h Per)	135	-3	IC 2391	271	-7
NGC 884 ( $\chi$ Per)	134	-3	IC 2602	290	-5
Mel 20 (Perseus)	147	-7	NGC 4755	304	2
M 45 (Plejady)	167	-23	M 21	8	-1
M 38	173	1	M 16	17	0
M 36	175	2	M 11	28	-3
NGC 2264	203	3	M 39	93	-2





■ Brightest star clusters (Table 21)  
▲ Young star clusters (Table 22)

