



# ZÁKLADY ASTRONOMIE 2

## Praktikum 6.

### VLASTNOSTI GALAXIE

#### 1 Úvod

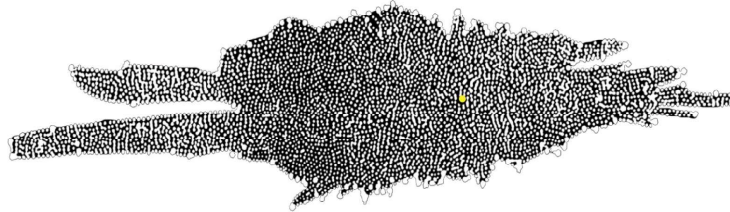
Za jasné bezměsíčné noci můžeme na pozorovacím stanovišti bez rušivého osvětlení pozorovat stříbrný pás Mléčné dráhy. O tom, že je tvořen ohromným množstvím hvězd, spekovali už antičtí učenci před dvěma a půl tisíci lety. Pozorováním to jako první prokázal až roku 1609 Galileo Galilei. Ale až v 18. století se objevilo správné vysvětlení. Nejprve první myšlenky v dílech Swedenborga a Wrighta, které završil v roce 1755 Imanuel Kant. Mléčná dráha v podobě pásu na obloze je podle něj důsledkem toho, že Slunce patří do obrovské soustavy hvězd ve tvaru disku držných u sebe gravitací podobně jako Sluneční soustava jen v mnohem větším měřítku. Důkaz založený na pozorování předložil jako první roku 1785 William Herschel, který počítáním hvězd v různých částech hvězdné oblohy vytvořil první mapu rozložení hvězd v galaxii a tedy i první model naší Galaxie (viz obrázek 2). Slunce v něm umístil poblíž středu.



Obr. 1: Centrální část Mléčné dráhy, pohled ke středu Galaxie. Snímek byl převzato ze stránek <http://www.czechnationalteam.cz/>

Takové místo poblíž středu Galaxie ale Slunci nenáleží. Počátkem minulého století odsunul Slunce dále od středu Galaxie Harlow Shapley. Tento výsledek vycházel z jeho studia rozložení kulových hvězdokup v Galaxii. Shapley vyslovil dle svých slov "troufalý a ukvapený předpoklad", že kulové hvězdokupy tvoří jakousi kostru naší Galaxie. Z jejich rozložení by pak mělo být možné určit polohu středu Galaxie. Tento způsob také využijeme při řešení části naší praktické úlohy. Když už budeme mít rozložení kulových hvězdokup v Galaxii, nabízí se srovnání jejich rozmístění s otevřenými hvězdokupami. Poloha hvězdokup do jisté míry souvisí s jejich stářím a stářím jejich členů - jednotlivých hvězd. Proto je důležité vědět, zda se

sledované objekty nacházejí kolem středu Galaxie, v galaktické rovině nebo jsou rovnoměrně rozptýleny po galaktickém halu. Dalším úkolem v praktické úloze bude tedy prozkoumat rozložení jasných zářivých hvězd spektrálního typu O a B, nejjasnějších hvězd na hvězdné obloze a také otevřených a kulových hvězdokup v naší Galaxii.



Obr. 2: Tvar naší galaxie, jak jej odvodil W. Herschel v roce 1785. Obrázek byl převzat z <http://www2.astro.psu.edu>.

## 2 Pracovní postup

### 2.1 Vzdálenost středu Galaxie

V této části praktické úlohy budeme v podstatě opakovat Shapleyho postup, ale samozřejmě využijeme novějších fotometrických dat. Vyjdeme z předpokladu, že kulové hvězdokupy jsou v Galaxii rozloženy středově symetricky. Zjistíme-li prostorové rozložení kulových hvězdokup, můžeme určit také naši vzdálenost od středu Galaxie. Obecně jsou rozměry kulových hvězdokup vzhledem k jejich vzdálenostem od nás malé, takže můžeme všechny hvězdy z jedné hvězdokupy považovat za stejně vzdálené. Pak stačí zjistit nebo znát vzdálenost třeba jen jedné hvězdy hvězdokupy a známe vlastně vzdálenost celé hvězdné soustavy.

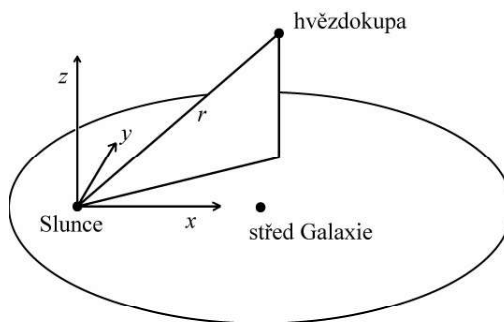
Kulové hvězdokupy jsou uskupení tvořená zejména staršími hvězdami populace II. Řada hvězd už opustila hlavní posloupnost HR diagramu. Pro nás je nyní důležitá zejména tzv. horizontální větev v HR diagramu. Na ní se nacházejí pulsující hvězdy typu RR Lyrae. Jenže právě kvůli změnám jasnosti se do HR diagramu většinou nezakreslují. Tím vzniká v horizontální větvi mezera (viz obrázek 4), která nám prozradí, jakou střední pozorovanou hvězdnou velikost mají v té které hvězdokupě právě hvězdy typu RR Lyrae. Přitom absolutní hvězdná velikost je pro všechny tyto hvězdy přibližně stejná ( $M = 0,6$  mag), takže lze snadno vypočítat jejich vzdálenosti a tím i určit vzdálenost celé hvězdokupy. A navíc - protože víme, v jakých směrech se na naší hvězdné obloze hvězdokupy nacházejí, můžeme (při známé vzdálenosti) zjistit prostorové rozložení kulových hvězdokup. Je však třeba mít na paměti, že je tu ještě jeden výrazný faktor, který může podobu rozložení hvězdokup výrazně ovlivnit, a to mezihvězdná extinkce. Při zpracování tedy pozorovanou hvězdnou velikost opravte o vliv extinkce. Vždyť v rovině Galaxie ve směru ke středu dosahuje ve vizuální oblasti spektra hodnotu  $A_V = +30$  mag! Promyslete si, zda se extinkční koeficient přičítá nebo odečítá.

Jestliže znáte pozorovanou hvězdnou velikost  $m$ , opravíte ji o extinkci, je snadné počítat pomocí vztahu pro modul vzdálenosti vzdálenost objektu. Samotná vzdálenost ale nestačí. Je třeba převést galaktické souřadnice  $l, b$  na pravoúhlé souřadnice  $x, y, z$ .

Transformační vztahy lze odvodit z obrázku 3:

$$\begin{aligned} x &= r \cos l \cos b, \\ y &= r \sin l \cos b, \\ z &= r \sin b. \end{aligned} \tag{10}$$

Vynesete-li polohy kulových hvězdokup z tabulky 20 ve dvou rovinách - v řezech  $x - z$  a  $x - y$ , můžete v každé rovině určit vzdálenost středu Galaxie od našeho pozorovacího stanoviště. Kulové hvězdokupy v tabulce 20 představují jen část z více než stovky známých galaktických kulových hvězdokup. Nicméně i tak se podívejme, jak se změní určená poloha



Obr. 3: Poloha objektu.

středu Galaxie přidáním 12 kulových hvězdokup, ležících poblíž galaktického rovníku (viz tabulka 21). Zastínění způsobené jádrem galaxie je po jejich vynesení do grafů jasně patrné.

## 2.2 Rozložení objektů v Galaxii

Při studiu rozložení objektů v Galaxii je nejvhodnější používat galaktické souřadnice. To byl ostatně jeden z důvodů jejich vzniku. Přestože jsme galaktické souřadnice v předchozí části praktické úlohy už použili, podívejme se na ně nyní detailněji. Tento souřadný systém je definován pomocí roviny galaktického disku, galaktického rovníku a směru ke středu Galaxie. S pomocí mapy určete, kterými souhvězdími prochází galaktický rovník, kde leží střed Galaxie a ve kterých souhvězdích se nacházejí galaktické póly. Při studiu rozložení objektů v naší galaxii se nejdříve podívejme na samotné hvězdy. V tabulce 22 je uvedeno 10 nejjasnějších hvězd severní i jižní hvězdné oblohy a v tabulce 23 20 jasných hvězd spektrálního typu O a B. Vyneste polohy hvězd obou skupin do grafu a porovnejte jejich rozložení.

Podobně zaneste do grafu galaktické souřadnice 30 nejjasnějších kulových hvězdokup z tabulky 24 a 16 mladých otevřených hvězdokup (tabulka 25). Porovnejte a diskutujte jejich rozložení. Porovnejte také populace hvězd kulových a otevřených hvězdokup.

Vykreslení poloh hvězd i hvězdných uskupení v galaktických souřadnicích by mělo zafixovat vaše poznatky o rozložení určitých tříd objektů v naší Galaxii a poukázat na souvislost jejich polohy a stáří.

## Použité zdroje a další materiály ke studiu

Astronomical Picture of the Day, <http://apod.nasa.gov/apod/ap010223.html>

A. Hirshfeld: Laboratory Exercises in Astronomy – How Far is the Galactic Center? (Sky and Telescope 68, 1984, č. 6, 498-502)

Pokorný, Z., Vademecum. Hvězdárna a planetárium M. Koperníka v Brně, 2006

<http://www.julda.cz/2009/04/milimetrovy-papir-k-vytisknuti-vzor-ke-stazeni/>

## Úloha: Vlastnosti Galaxie

Jméno: . . . . .

Datum odevzdání: . . . . .

### Shrnutí úkolů:

1. V tabulce 20 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.

. . . . .

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 20. Veškeré výpočty i vykreslování můžete dělat i na počítači. Data z tabulek jsou k dispozici v elektronické podobě.

2. Z galaktických souřadnic  $l, b$  hvězd typu RR Lyrae v tabulce 20 a jejich vzdáleností  $r$  vypočítejte pravouhlé souřadnice  $x, y, z$ , které budete nadále používat, a jejich hodnoty pravouhlých souřadnic vepište do tabulky 20.
3. Do grafu na obrázku řezu v rovině  $x-z$  (obr. 5) vynesete ve vhodném měřítku souřadnice  $x, z$  všech hvězdokup z tabulky 20. Souřadnice můžete vynášet, jak do milimetrového papíru v obrázku 5, tak i na počítači. V případě počítačového zpracování tohoto a dalších úkolů praktické úlohy, nezapomeňte příslušné grafy vytisknout a přiložit k protokolu.
4. 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.

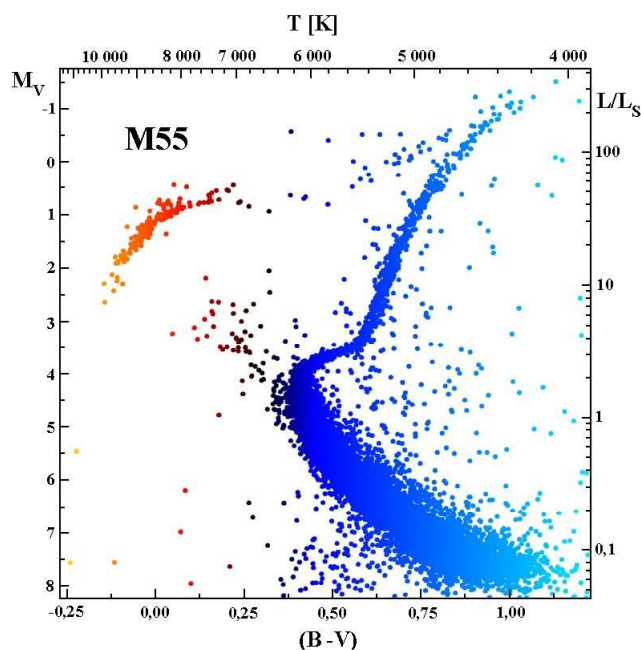
Vzdálenost Slunce – střed Galaxie: . . . . .

5. Do stejného grafu ještě vynesete odlišným způsobem (barvou, tvarem značek) souřadnice 12 kulových hvězdokup, ležících poblíž galaktického rovníku uvedené v tabulce 21. Jak by se změnila určená vzdálenost ke středu Galaxie, pokud bychom vzali v úvahu i tyto kulové hvězdokupy?

6. Výše uvedený postup zopakujte i pro řez Galaxií v rovině  $x - y$ . Využijte milimetrový papír na obrázku 5 nebo počítače.

Vzdálenost Slunce – střed Galaxie: . . . . .

7. Nalezněte v literatuře nebo na internetu současnou hodnotu, která se udává pro vzdálenost středu Galaxie. Porovnejte s vámi získanými hodnotami a diskutujte nepřesnost určení vzhledem například k přesnosti dat nebo metodě určení středu rozložení kulových hvězdokup.



Obr. 4: 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, kde leží střed Galaxie, ve kterých souhvězdích se nacházejí galaktické póly.

Galaktický rovník prochází souhvězdími: . . . . .

. . . . .

Střed Galaxie je v souhvězdí: . . . . .

Severní galaktický pól se nachází v souhvězdí: . . . . . a jižní v souhvězdí: . . . . .

Kdy je z Brna vidět nejvíce souhvězdí, kterými prochází galaktický rovník? . . . . .

Tabulka 20: Tabulka hvězd typu RR Lyrae

Hvězdokupa	RR Lyr	Extinkce	Vzdálenost	Galakt. souř.		Pravoúhlé souřadnice		
	$m$ [mag]	$A_V$ [mag]	$r$ [kpc]	$l$ [°]	$b$ [°]	$x$	$y$	$z$
47 Tucanae	14,0	0,13		305,9	-44,9			
NGC 288	15,3	0,10		149,7	-89,4			
NGC 2298	16,4	0,36		245,6	-16			
M 68	15,6	0,10		299,6	36			
NGC 5466	16,5	0,17		42,1	73,6			
IC 4499	17,7	0,79		307,4	-20,5			
NGC 5824	17,9	0,46		332,6	22,1			
Palomar 5	17,3	0,10		0,9	45,9			
NGC 5897	16,2	0,20		342,9	30,3			
M 5	15,1	0,10		3,9	46,8			
M 80	15,9	0,69		352,7	19,5			
M 13	14,9	0,07		59	40,9			
NGC 6356	17,7	0,90		6,7	10,2			
M 54	17,7	0,46		5,6	-14,1			
NGC 6723	15,3	0,03		0,1	-17,3			
M 75	17,4	0,56		20,3	-25,8			
M 72	16,9	0,10		35,2	-32,7			
NGC 7006	18,7	0,43		63,8	-19,4			
M 15	15,8	0,38		65	-27,3			
M 30	15,2	0,03		27,2	-46,8			

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

9. V tabulce 22 je uvedeno 10 nejjasnějších hvězd našeho hvězdného nebe, ale chybí v ní jejich běžně užívaná jména. Doplňte je. Většinu byste měli zvládnout i bez nápovědy. Doplňte také, kdy je možné danou hvězdu nejlépe pozorovat z České republiky. Stačí s přesností měsíců.
10. Použijte opět síť milimetrového papíru z obrázku 5 nebo vhodný program na počítači a zakreslete do grafu polohy hvězd z tabulky 22 a také z tabulky 23, kde jsou uvedeny polohy 20 jasných hvězd spektrálního typu O a B. Polohy hvězd těchto skupin označujte různou barvou nebo různými symboly. Dávejte pozor na správnou orientaci os. Pokud použijete počítač, nezapomeňte vytisknutý graf přiložit k protokolu.  
Liší se nějak rozložení desítky nejjasnějších hvězd a hvězd typu O a B? Diskutujte.

Tabulka 21: Kulové hvězdokupy poblíž galaktického rovníku.

Hvězdokupa	Pravouhlé souřadnice [kpc]		
	$x$	$y$	$z$
NGC 5286	5,7	-6,5	1,6
NGC 6139	8,5	-2,7	1,1
M 10	3,9	1	1,7
M 62	5,8	-0,7	0,8
NGC 6304	5,2	-0,4	0,5
NGC 6401	6,3	0,4	0,4
NGC 6517	6,9	2,4	0,9
NGC 6541	6,6	-1,2	-1,3
NGC 6569	7,6	0,1	-0,9
NGC 6642	5,2	0,9	-0,6
NGC 6760	3,1	2,2	-0,3
M 71	2,2	3,3	-0,3

11. Analogicky k předchozímu úkolu zobrazte polohy 30 nejjasnějších kulových hvězdokup a 16 mladých otevřených hvězdokup z tabulek 24 a 25. Opět odlište tyto dvě skupiny pomocí různého značení. Diskutujte jejich rozložení v Galaxii. Odpovídá získané rozložení našim znalostem o poloze těchto tříd 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?

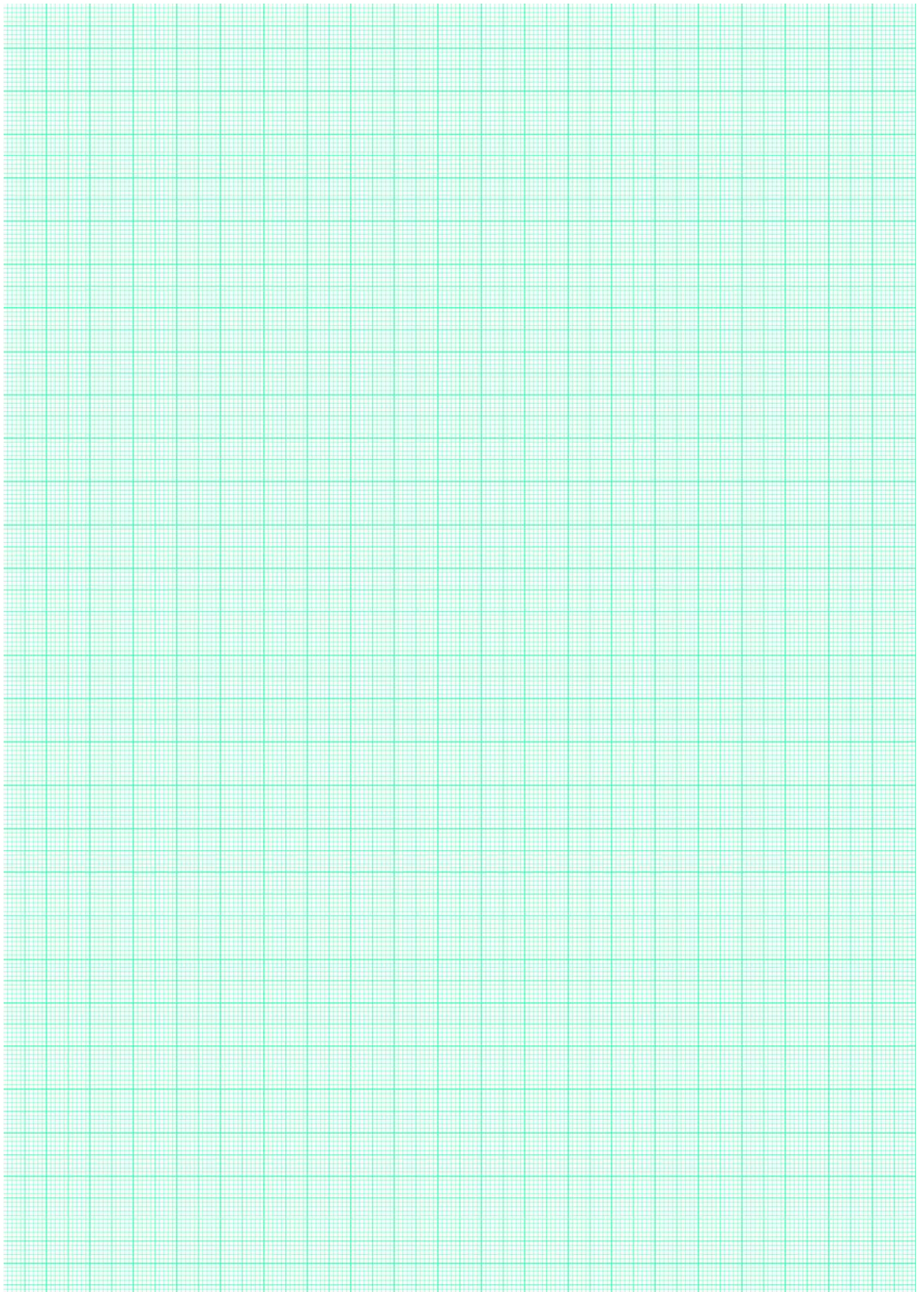
Tabulka 22: Deset nejjasnějších hvězd

Označení	Jméno hvězdy	$l$ [°]	$b$ [°]	Pozorovatelnost
$\alpha$ Tau		181	-20	
$\alpha$ Aur		163	5	
$\beta$ Ori		209	-25	
$\alpha$ Car		261	-25	
$\alpha$ CMa		228	-8	
$\alpha$ Cru		300	-1	
$\alpha$ Vir		317	50	
$\alpha$ Boo		15	69	
$\alpha$ Cen		316	-1	
$\alpha$ Lyr		68	19	

Tabulka 23: 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





Obr. 5: Milimetrový papír pro konstrukci řezu Galaxie v rovinách  $x - z$  a  $x - y$ .

Tabulka 24: 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 25: 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