

Ocena oddaljenosti Sonca od središča Galaksije



DUNJA FABJAN

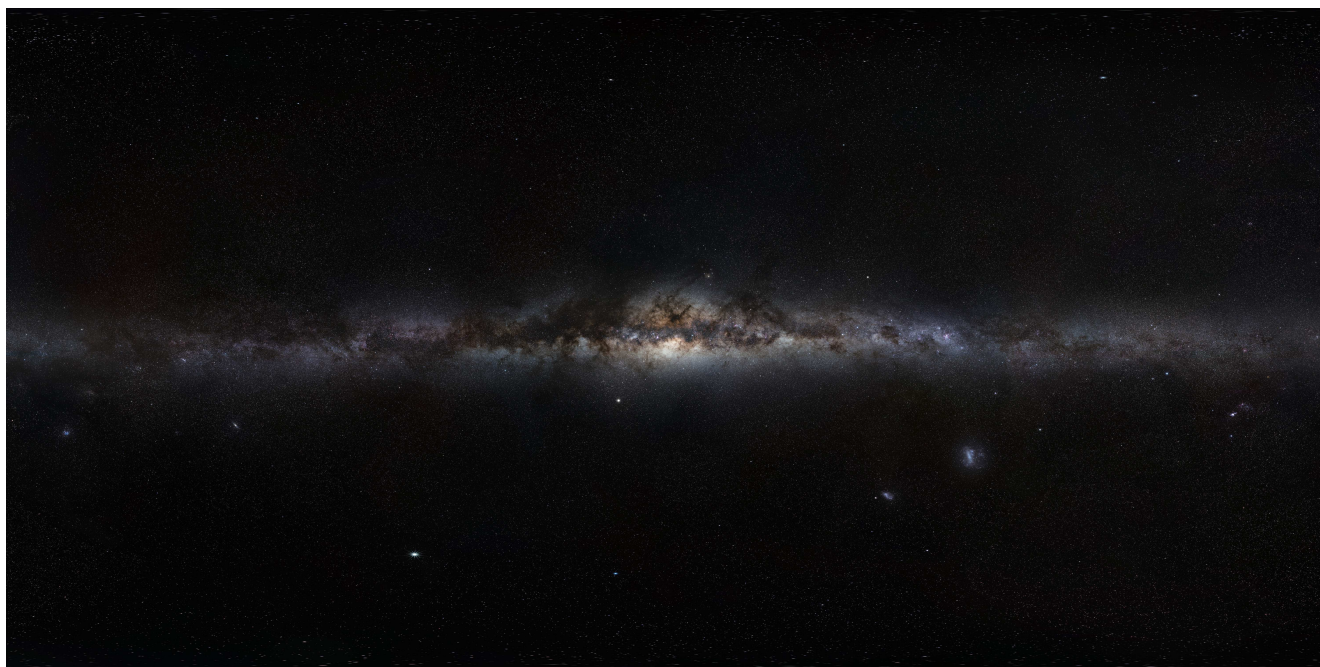
→ Pričujoča naloga je bila del izbirnega postopka za uvrstitev srednješolcev v slovensko ekipo na mednarodno olimpijado iz astronomije in astrofizike 2014. Reševanje naloge zahteva znanje sferne trigonometrije, ki ste jo spoznali v prejšnji številki Preseka, zato lahko služi tudi kot dobra vaja za njeno uporabo v astronomiji.

V pomoč objavljamo še pristop Krištofa Skoka, našega najuspešnejšega astronomskega olimpijca,

k reševanju prvega dela te naloge. Drugi del naloge in ocene napak pa prepuščamo vašemu samostojnemu delu.

Naloga

Iz priloženih podatkov za kroglaste kopice in iz fotografije Rimske ceste oceni razdaljo Sonca od središča Galaksije ob predpostavki, da so te zvezdne kopice sferično razporejene okrog središča naše Galaksije. Določi tudi velikost (polmer) Galaksije.



SLIKA 1.

Rimska cesta 360 stopinj (Foto: NOAO)



V tabeli so navedena imena kopic, njihove ekvatorialne koordinate (rektascenzija in deklinacija) ter oddaljenost kopic od Sonca (v kiloparsekih).

1. Ob zgornji predpostavki za porazdelitev kopic bi bilo Sonce v središču Galaksije v primeru, če bi kopice (kot jih vidimo z Zemlje) bile enakomerno porazdeljene po nebu. Da to ni res, lahko zlahka ugotoviš iz porazdelitve kopic po rektascenziji in porazdelitve po deklinaciji. Nariši oba grafa ter iz obeh porazdelitev oceni, v kateri smeri (na katerih koordinatah) se nahaja središče Galaksije.

2. Iz priloženega posnetka Galaksije določi potek galaktične ravnine, npr. iz primernih svetlih zvezd v tej ravnini. Za take objekte poišči podatek o ekvatorialnih koordinatah in navedi, katere objekte si uporabil. Iz take ocene lahko pridobiš naklon (inklinacijo) galaktične ravnine glede na nebesni ekvator in pretvoriš ekvatorialne koordinate galaktičnih kopic v galaktične koordinate le-teh.

3. Za določanje središča Galaksije (in oddaljenosti Sonca od njega) si pomagaj s projekcijo oddaljenosti posamične zvezne kopice na ravnino Galaksije. Razmisli, kako boš prišel do razdalje Sonca od središča Galaksije in velikosti (polmera) Galaksije.

Zgoraj opisani postopek predstavlja glavno navdilo za izvedbo naloge. Končni rezultat se lahko razlikuje od splošno znanega. Lahko si pomagaš z literaturo, ne smeš pa uporabiti znanih galaktičnih koordinat kroglastih kopic.

Določanje koordinat središča Galaksije in naklona galaktične ravnine

Krištof Skok

Predpostavimo, da so kopice po haloju Galaksije razporejene enakomerno in da je to območje krogelne oblike. Polmer haloja je enak polmeru Galaksije. Če bi bilo Sonce v središču te krogle, bi bila porazdeljenost kopic po nebu enakomerna. Ker pa se ne nahajamo v središču, so kopice po nebu posejane neenakomerno, najgosteje pa so pri pogledu v smeri proti središču Galaksije. Če naredimo razporeditev kopic

glede na rektascenzijo (sliki 2 zgoraj in 2 spodaj), vidimo, da ima največ kopic rektascenzijo okoli 18,2 h. To privzemimo kot rektascenzijo središča Galaksije.

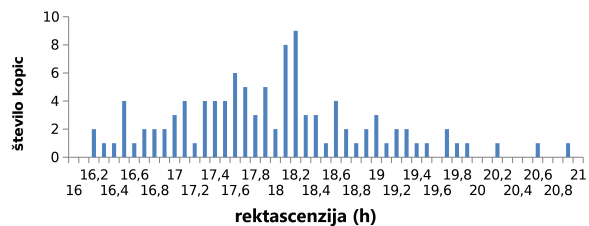
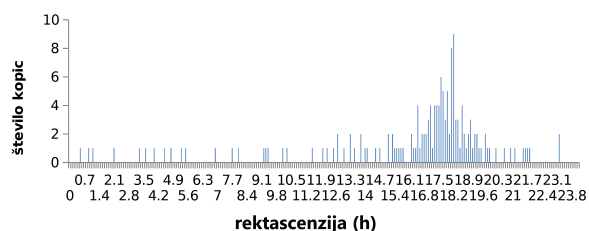
Podobno postopamo za deklinacijo. Oglejmo si histograma 3 zgoraj in 3 spodaj. Največ kopic ima deklinacijo okoli -26° , zato to vrednost prevzemimo kot deklinacijo središča Galaksije.

Rektascenzija središča Galaksije (RaS): 18,2 h.

Deklinacija središča Galaksije (DecS): -26° .

Za določanje nagnjenosti galaktičnega ekvatorja (inklinacija) glede na nebesni ekvator E uporabimo fotografijo Rimske ceste (slika 1). Na fotografiji poiščemo znane zvezde in druge objekte, ki ležijo na galaktičnem ekvatorju. Ker so te zvezde na sredini Rimske ceste, torej v galaktični ravnini oz. na galaktičnem ekvatorju, so njihove galaktične širine b enake 0. Zvezde in objekti, ki so uporabljeni v našem primeru, so: M38, HIP 20234, NGC 663, 57 Cyg, HIP 92946, M16, HIP 82729, HIP 71683, HIP 60718 in meglica Rozeta (NGC 2237) z znanimi ekvatorialnimi koordinatami. Poleg tega smo v prvem delu naloge poiskali še koordinati središča Galaksije, RaS in DecS.

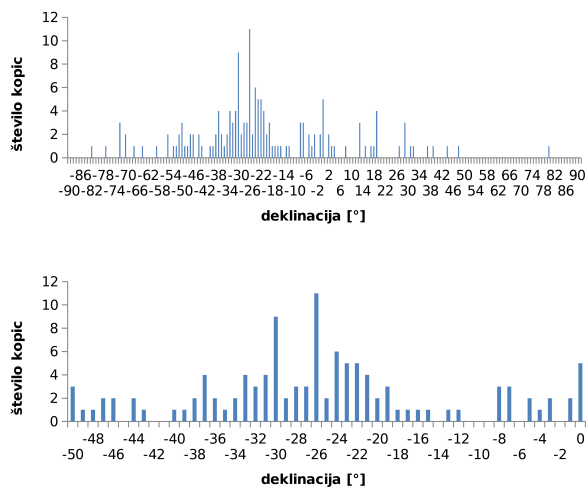
Oglejmo si odsek nebesne krogle, na katerem imamo nebesni ekvator, severni nebesni pol NCP, galak-



SLIKA 2.

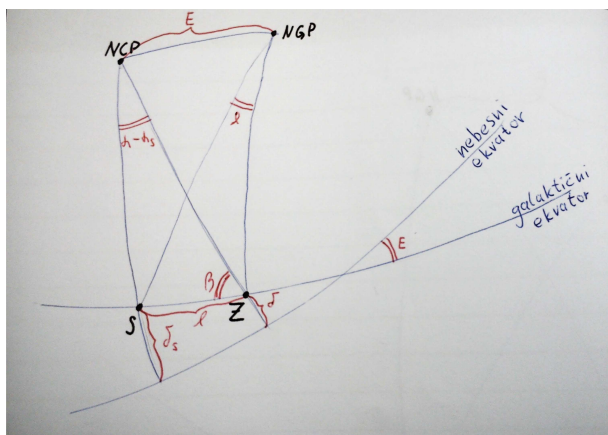
Zgoraj: histogram števila kopic glede na njihovo rektascenzijo. Spodaj: histogram števila kopic glede na njihovo rektascenzijo okoli največje zgostitve.

tični ekvator in severni galaktični pol NGP (slika 4). Iskana inklinacija galaktične ravnine je E . Pola obeh sistemov sta presečišči nebesne sfere in normal osnovnih ravnin, zato je lok med njima dolžine E . Glede na to, da je točka S izhodišče galaktičnega koordinatnega sistema in sta tam obe galaktični koordinati nič, je dolžina loka SZ kar enaka galaktični dolžini zvezde l .



SLIKA 3.

Zgoraj: histogram števila kopic glede na njihovo deklinacijo. Spodaj: histogram števila kopic glede na njihovo deklinacijo okoli največje zgostitve.



SLIKA 4.

Oglejmo si sferni trikotnik z oglišči NCP , S in Z . Poznamo dolžine lokov:

- $NCPZ = 90^\circ - \delta$,

- $NCPS = 90^\circ - \delta_S$

in

- $SZ = l$.

Kot ob NCP je $\alpha - \alpha_S = \Delta\alpha$. Za ta trikotnik zapišimo kosinusni izrek:

- $$\begin{aligned} \cos(l) &= \cos(90^\circ - \delta) \cdot \cos(90^\circ - \delta_S) + \\ &+ \sin(90^\circ - \delta) \cdot \sin(90^\circ - \delta_S) \cdot \cos(\Delta\alpha) = \\ &= \sin(\delta) \cdot \sin(\delta_S) + \\ &+ \cos(\delta) \cdot \cos(\delta_S) \cdot \cos(\Delta\alpha). \end{aligned}$$

Od tod lahko dobimo

- $\sin(l) = \sqrt{1 - (\cos(l))^2}$.

$\sin(l)$ je lahko pozitiven ali negativen, a iz praktičnih razlogov je inklinacija E ostri kot, podobno kot za naklon Zemljine vrtilne osi vedno štejemo ostri kot.

Kot ob Z poimenujmo β in zapišimo sinusni izrek za obravnavani trikotnik:

- $$\begin{aligned} \sin(\beta) / \sin(90^\circ - \delta_S) &= \sin(\Delta\alpha) / \sin(l), \\ \sin(\beta) &= \sin(\Delta\alpha) \cdot \cos(\delta_S) / \sin(l). \end{aligned}$$

Oglejmo si trikotnik z oglišči NGP , NCP in Z . Dolžina loka od galaktičnega pola do zvezde je 90° , saj je izbrana zvezda na galaktičnem ekvatorju. Kot pri Z je koplementaren β .

Zapišimo kosinusni izrek za ta trikotnik in vstavimo prejšnjo zvezo za $\sin(\beta)$:

- $$\begin{aligned} \cos(E) &= \cos(90^\circ) \cdot \cos(90^\circ - \delta) + \\ &+ \sin(90^\circ) \cdot \sin(90^\circ - \delta) \cdot \cos(90^\circ - \beta) = \\ &= \cos(\delta) \cdot \sin(\beta) \\ &= \cos(\delta) \cdot \sin(\Delta\alpha) \cdot \cos(\delta_S) / \sin(l). \end{aligned}$$

S tem izrazom pa lahko izračunamo E , tj. naklon galaktičnega ekvatorja glede na nebesni. Tretjine rezultatov, ki najbolj odstopajo od povprečja, ne upoštevamo in dobimo $E = 72,9^\circ$.





ID	drugo ime	rektascenzija (h:min:s)	deklinacija (°:':")	oddaljenost od Sonca (kpc)
NGC 104	47 Tuc	00:24:05,67	-72:04:52,6	4,5
NGC 288		00:52:45,24	-26:34:57,4	8,9
NGC 362		01:03:14,26	-70:50:55,6	8,6
Whiting 1		02:02:57,00	-03:15:10,0	30,1
NGC 1261		03:12:16,21	-55:12:58,4	16,3
Pal 1		03:33:20,04	+79:34:51,8	11,1
AM 1	E 1	03:55:02,30	-49:36:55,0	123,3
Eridanus		04:24:44,50	-21:11:13,0	90,1
Pal 2		04:46:05,91	+31:22:53,4	27,2
NGC 1851		05:14:06,76	-40:02:47,6	12,1
NGC 1904	M 79	05:24:11,09	-24:31:29,0	12,9
NGC 2298		06:48:59,41	-36:00:19,1	10,8
NGC 2419		07:38:08,47	+38:52:56,8	82,6
Ko 2		07:58:17,00	+26:15:18,0	34,7
Pyxis		09:07:57,80	-37:13:17,0	39,4
NGC 2808		09:12:03,10	-64:51:48,6	9,6
E 3		09:20:57,07	-77:16:54,8	8,1
Pal 3		10:05:31,90	+00:04:18,0	92,5
NGC 3201		10:17:36,82	-46:24:44,9	4,9
Pal 4		11:29:16,80	+28:58:24,9	108,7
Ko 1		11:59:18,50	+12:15:36,0	48,3
NGC 4147		12:10:06,30	+18:32:33,5	19,3
NGC 4372		12:25:45,40	-72:39:32,4	5,8
Rup 106		12:38:40,20	-51:09:01,0	21,2
NGC 4590	M 68	12:39:27,98	-26:44:38,6	10,3
NGC 4833		12:59:33,92	-70:52:35,4	6,6
NGC 5024	M 53	13:12:55,25	+18:10:05,4	17,9
NGC 5053		13:16:27,09	+17:42:00,9	17,4
NGC 5139	omega Cen	13:26:47,24	-47:28:46,5	5,2
NGC 5272	M 3	13:42:11,62	+28:22:38,2	10,2
NGC 5286		13:46:26,81	-51:22:27,3	11,7
AM 4		13:56:21,70	-27:10:03,0	32,2
NGC 5466		14:05:27,29	+28:32:04,0	16,0
NGC 5634		14:29:37,23	-05:58:35,1	25,2
NGC 5694		14:39:36,29	-26:32:20,2	35,0
IC 4499		15:00:18,45	-82:12:49,3	18,8
NGC 5824		15:03:58,63	-33:04:05,6	32,1
Pal 5		15:16:05,25	-00:06:41,8	23,2
NGC 5897		15:17:24,50	-21:00:37,0	12,5
NGC 5904	M 5	15:18:33,22	+02:04:51,7	7,5
NGC 5927		15:28:00,69	-50:40:22,9	7,7
NGC 5946		15:35:28,52	-50:39:34,8	10,6
BH 176		15:39:07,45	-50:03:09,8	18,9
NGC 5986		15:46:03,00	-37:47:11,1	10,4
Lynga 7	BH184	16:11:03,65	-55:19:04,0	8,0
Pal 14	AvdB	16:11:00,60	+14:57:28,0	76,5
NGC 6093	M 80	16:17:02,41	-22:58:33,9	10,0
NGC 6121	M 4	16:23:35,22	-26:31:32,7	2,2
NGC 6101		16:25:48,12	-72:12:07,9	15,4
NGC 6144		16:27:13,86	-26:01:24,6	8,9
NGC 6139		16:27:40,37	-38:50:55,5	10,1
Terzan 3		16:28:40,08	-35:21:12,5	8,2
NGC 6171	M 107	16:32:31,86	-13:03:13,6	6,4
1636-283	ESO452-SC11	16:39:25,45	-28:23:55,3	8,3

ID	drugo ime	rektascenzija (h:min:s)	deklinacija (°:':")	oddaljenost od Sonca (kpc)
NGC 6205	M 13	16:41:41,24	+36:27:35,5	7,1
NGC 6229		16:46:58,79	+47:31:39,9	30,5
NGC 6218	M 12	16:47:14,18	-01:56:54,7	4,8
FSR 1735		16:52:10,60	-47:03:29,0	9,8
NGC 6235		16:53:25,31	-22:10:38,8	11,5
NGC 6254	M 10	16:57:09,05	-04:06:01,1	4,4
NGC 6256		16:59:32,62	-37:07:17,0	10,3
Pal 15		16:59:51,00	-00:32:20,0	45,1
NGC 6266	M 62	17:01:12,80	-30:06:49,4	6,8
NGC 6273	M 19	17:02:37,80	-26:16:04,7	8,8
NGC 6284		17:04:28,51	-24:45:53,5	15,3
NGC 6287		17:05:09,13	-22:42:30,1	9,4
NGC 6293		17:10:10,20	-26:34:55,5	9,5
NGC 6304		17:14:32,25	-29:27:43,3	5,9
NGC 6316		17:16:37,30	-28:08:24,4	10,4
NGC 6341	M 92	17:17:07,39	+43:08:09,4	8,3
NGC 6325		17:17:59,21	-23:45:57,6	7,8
NGC 6333	M 9	17:19:11,26	-18:30:57,4	7,9
NGC 6342		17:21:10,08	-19:35:14,7	8,5
NGC 6356		17:23:34,93	-17:48:46,9	15,1
NGC 6355		17:23:58,59	-26:21:12,3	9,2
NGC 6352		17:25:29,11	-48:25:19,8	5,6
IC 1257		17:27:08,50	-07:05:35,0	25,0
Terzan 2	HP 3	17:27:33,10	-30:48:08,4	7,5
NGC 6366		17:27:44,24	-05:04:47,5	3,5
Terzan 4	HP 4	17:30:39,00	-31:35:43,9	7,2
HP 1	BH 229	17:31:05,20	-29:58:54,0	8,2
NGC 6362		17:31:54,99	-67:02:54,0	7,6
Liller 1		17:33:24,50	-33:23:20,4	8,2
NGC 6380	Ton 1	17:34:28,00	-39:04:09,0	10,9
Terzan 1	HP 2	17:35:47,80	-30:28:11,0	6,7
Ton 2	Pismis 26	17:36:10,50	-38:33:12,0	8,2
NGC 6388		17:36:17,23	-44:44:07,8	9,9
NGC 6402	M 14	17:37:36,10	-03:14:45,3	9,3
NGC 6401		17:38:36,60	-23:54:34,2	10,6
NGC 6397		17:40:42,09	-53:40:27,6	2,3
Pal 6		17:43:42,20	-26:13:21,0	5,8
NGC 6426		17:44:54,65	+03:10:12,5	20,6
Djorg 1		17:47:28,30	-33:03:56,0	13,7
Terzan 5	Terzan 11	17:48:04,80	-24:46:45,0	6,9
NGC 6440		17:48:52,70	-20:21:36,9	8,5
NGC 6441		17:50:13,06	-37:03:05,2	11,6
Terzan 6	HP 5	17:50:46,38	-31:16:31,4	6,8
NGC 6453		17:50:51,70	-34:35:57,0	11,6
UKS 1		17:54:27,2	-24:08:43,0	7,8
NGC 6496		17:59:03,68	-44:15:57,4	11,3
Terzan 9		18:01:38,80	-26:50:23,0	7,1
Djorg 2	ESO456-SC38	18:01:49,10	-27:49:33,0	6,3
NGC 6517		18:01:50,52	-08:57:31,6	10,6
Terzan 10		18:03:36,40	-26:04:21,0	5,8
NGC 6522		18:03:34,02	-30:02:02,3	7,7
NGC 6535		18:03:50,51	-00:17:51,5	6,8
NGC 6528		18:04:49,64	-30:03:22,6	7,9
NGC 6539		18:04:49,68	-07:35:09,1	7,8

Barvni sudoku



→ V 8×8 kvadratkov moraš vpisati začetna naravna števila od 1 do 8 tako, da bo v vsaki vrstici, v vsakem stolpcu in v kvadratih iste barve (pravokotnikih 2×4) nastopalo vseh 8 števil.

							6
4		1					
			2		8		
		3					4
	5		3	2			
	2	4		8			6
			8	7			
7				6			2

REŠITEV BARVNI SUDOKU

2	8	3	9	4	5	1	7
5	1	4	7	8	2	9	3
6	3	5	8	7	4	2	1
1	4	7	2	3	8	5	6
4	2	9	5	1	3	7	8
3	7	8	1	2	6	4	5
7	5	2	3	6	1	8	4
8	6	1	4	5	7	3	2

ID	drugo ime	rektascenzija (h:min:s)	deklinacija (°:':")	oddaljenost od Sonca (kpc)
NGC 6540	Djorg 3	18:06:08,60	-27:45:55,0	5,3
NGC 6544		18:07:20,58	-24:59:50,4	3,0
NGC 6541		18:08:02,36	-43:42:53,6	7,5
2MS-GC01	2MASS-GC01	18:08:21,81	-19:49:47,0	3,6
ESO-SC06	ESO280-SC06	18:09:06,00	-46:25:23,0	21,4
NGC 6553		18:09:17,60	-25:54:31,3	6,0
2MS-GC02	2MASS-GC02	18:09:36,50	-20:46:44,0	4,9
NGC 6558		18:10:17,60	-31:45:50,0	7,4
IC 1276	Pal 7	18:10:44,20	-07:12:27,4	5,4
Terzan 12		18:12:15,80	-22:44:31,0	4,8
NGC 6569		18:13:38,80	-31:49:36,8	10,9
BH 261	AL 3	18:14:06,60	-28:38:06,0	6,5
GLIMPSE02		18:18:30,50	-16:58:38,0	5,5
NGC 6584		18:18:37,60	-52:12:56,8	13,5
NGC 6624		18:23:40,51	-30:21:39,7	7,9
NGC 6626	M 28	18:24:32,81	-24:52:11,2	5,5
NGC 6638		18:30:56,10	-25:29:50,9	9,4
NGC 6637	M 69	18:31:23,10	-32:20:53,1	8,8
NGC 6642		18:31:54,10	-23:28:30,7	8,1
NGC 6652		18:35:45,63	-32:59:26,6	10,0
NGC 6656	M 22	18:36:23,94	-23:54:17,1	3,2
Pal 8		18:41:29,90	-19:49:33,0	12,8
NGC 6681	M 70	18:43:12,76	-32:17:31,6	9,0
GLIMPSE01		18:48:49,70	-01:29:50,0	4,2
NGC 6712		18:53:04,30	-08:42:22,0	6,9
NGC 6715	M 54	18:55:03,33	-30:28:47,5	26,5
NGC 6717	Pal 9	18:55:06,04	-22:42:05,3	7,1
NGC 6723		18:59:33,15	-36:37:56,1	8,7
NGC 6749		19:05:15,30	+01:54:03,0	7,9
NGC 6752		19:10:52,11	-59:59:04,4	4,0
NGC 6760		19:11:12,01	+01:01:49,7	7,4
NGC 6779	M 56	19:16:35,57	+30:11:00,5	9,4
Terzan 7		19:17:43,92	-34:39:27,8	22,8
Pal 10		19:18:02,10	+18:34:18,0	5,9
Arp 2		19:28:44,11	-30:21:20,3	28,6
NGC 6809	M 55	19:39:59,71	-30:57:53,1	5,4
Terzan 8		19:41:44,41	-33:59:58,1	26,3
Pal 11		19:45:14,40	-08:00:26,0	13,4
NGC 6838	M 71	19:53:46,49	+18:46:45,1	4,0
NGC 6864	M 75	20:06:04,69	-21:55:16,2	20,9
NGC 6934		20:34:11,37	+07:24:16,1	15,6
NGC 6981	M 72	20:53:27,70	-12:32:14,3	17,0
NGC 7006		21:01:29,38	+16:11:14,4	41,2
NGC 7078	M 15	21:29:58,33	+12:10:01,2	10,4
NGC 7089	M 2	21:33:27,02	-00:49:23,7	11,5
NGC 7099	M 30	21:40:22,12	-23:10:47,5	8,1
Pal 12		21:46:38,84	-21:15:09,4	19,0
Pal 13		23:06:44,44	+12:46:19,2	26,0
NGC 7492		23:08:26,63	-15:36:41,4	26,3

TABELA 1.

Podatki za kroglaste kopice v Galaksiji.

