

Distribution of Galactic globular clusters

Zahra Farahzadi¹
Mozhan Zahirirad¹
Mehdi Khakian Qomi^{1*}

Received: 2016-1-26
Accept: 2018-03-14

Abstract

Globular Clusters are the oldest star populations of our Galaxy, which their stars have unique characteristics. With a very good approximation, similar initial mass, equal age and equal distance from us are common characteristics of stars in a globular cluster. Distribution of the globular clusters is very interesting. Most of them are in galactic halo; concentrated in halo near the galactic center. We have presented a list of 157 Globular clusters and found the distribution of these clusters in galactic coordinate system. Also, a list of globular clusters which don't obey from Gaussian distribution function is presented. They are far from Galactic center and their distribution are quite different in comparison with other globular clusters.

Keywords: *Globular Clusters, Milky way Galaxy, M13, Omega Centauri.*

¹ Department of Physics, Amirkabir University of Technology, Iran.

* Corresponding Author; E-mail: mehdi.khakian@gmail.com

توزیع خوشه‌های کروی در کهکشان^۱

زهرا فرحزادی^۲، موژان ظهیری‌راد^۲، مهدی خاکیان قمی^{۲*}

تاریخ ارسال: ۹۴/۱۱/۶

تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۲/۲۳

چکیده

خوشه‌های کروی جمعیت‌های ستاره‌ای پیر کهکشان ما هستند که خصوصیات بسیار منحصربه‌فردی را در ستاره‌های خود دارند. با تقریب خوبی می‌توان گفت ستاره‌های یک خوشه دارای ویژگی‌های مشترک مواد اولیه مشابه، سن برابر و فاصله‌ی یکسان از ما هستند. توزیع خوشه‌های کروی در کهکشان بسیار جالب است. عمده‌ی خوشه‌های کروی در هاله‌ی کهکشان، مخصوصاً در هاله‌ی اطراف مرکز کهکشان هستند. در این نوشتار فهرستی ۱۵۷ تایی از خوشه‌های کروی کهکشان راه شیری ارائه نمودیم و توزیع این خوشه‌ها را در دستگاه مختصات کهکشانی به دست آوردیم. همچنین فهرستی از خوشه‌هایی را که در دستگاه مختصات کهکشانی از تابع توزیع گوسی انحراف داشتند، ارائه نمودیم. دیده شد که این خوشه‌ها در فواصل دور از مرکز کهکشان قرار داشته و توزیع متفاوتی نسبت به توده‌ی خوشه‌های کروی موجود در مرکز هاله کهکشان دارند.

واژه‌های کلیدی: خوشه‌های کروی، کهکشان راه شیری، صورت‌های فلکی

^۱ شناسه دیجیتال (DOI): 1022051/jap.2018.8406.1028

^۲ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده‌ی مهندسی انرژی و فیزیک.

* نویسنده مسئول: mehdi.khakian@gmail.com

۱. خوشه‌های ستاره‌ای

خوشه‌های ستاره‌ای مجموعه‌ای از ستاره‌ها هستند که تحت گرانش یکدیگر در یک محل تجمع یافته‌اند. خوشه‌های ستاره‌ای دو نوعند: باز و کروی.

خوشه‌های باز کم‌جمعیت و جوان هستند. تعداد ستاره‌های آنها حدود چند صد تا چند هزار است و شکل خاصی ندارند، این خوشه‌ها از ستاره‌های جوان تشکیل شده‌اند و درصد عناصر فلزی آنها (عناصری غیر از هیدروژن و هلیوم) زیاد بوده و به طور متوسط حدود ۱ تا ۳ درصد است. خوشه‌های کروی پرجمعیت‌تر و پیرتر از خوشه‌های باز هستند. جمعیت آنها حدود چند صد هزار تا چند میلیون ستاره است. همانطور که از نامشان نیز پیداست توزیع فضایی آنها به شکل کره نزدیک است. معمولاً این خوشه‌ها از ستاره‌های کم‌جرم تشکیل می‌شوند و فلزی بودن آنها نیز کمتر از حدود ۰/۱٪ است. معمولاً در این خوشه‌ها ماده‌ی میان‌ستاره‌ای، گاز یا غبار بین‌ستاره‌ای، کم‌یاب است؛ که نشانگر توقف ستاره‌زایی در این خوشه‌هاست. این خوشه‌ها از یک ابر گازی بزرگ در زمان‌های ابتدایی تشکیل کهکشان به وجود آمدند. در این نوشتار، ما سعی داریم که به دسته‌بندی اجمالی از خوشه‌های کروی نزدیک مرکز کهکشان و خوشه‌های دور از آن پردازیم. این دسته‌بندی می‌تواند در بررسی‌های آتی، در تحول خوشه‌های نزدیک، خوشه‌های دور و تأثیر گرانشی مرکز کهکشان در آنها به ما کمک کند. معمولاً خوشه‌های نزدیک به مرکز کهکشان، به دلیل نیروی گرانش خارجی ناشی از مرکز کهکشان سریع‌تر تحول می‌یابند.

۲. ویژگی‌های ستاره‌های خوشه‌های کروی

اولین خوشه‌ی کروی در سال ۱۶۶۵ توسط یک منجم آماتور به نام آبراهام ایل کشف شد، که بعداً در کاتالوگ مسیه، M22 نام گرفت. خوشه‌های بعدی به ترتیب در سال‌های بعد کشف شدند، که خوشه‌های کشف شده‌ی اولیه به ترتیب زمانی در جدول ۱ آمده است [۱].

جدول ۱: نام خوشه‌های کروی که رصد آنها از نظر تاریخی زودتر از بقیه رخ داده است.

نام خوشه	نام راصد	سال رصد
M22	Abraham Ihle	1665
w Cen	Edmond Halley	1677
M5	Gottfried Kirch	1702
M13	Edmond Halley	1714
M71	Philippe Loy de Cheseaux	1745
M4	Philippe Loy de Cheseaux	1746
M15	Jean-Dominique Maraldi	1746
M2	Jean-Dominique Maraldi	1746

با مشاهده‌ی دقیق‌تر خوشه‌ها دیده می‌شود که ستاره‌های یک خوشه سن و ترکیب شیمیایی تقریباً یکسانی دارند؛ حتی فاصله‌ی آنها از ما نیز یکسان است (ابعاد یک خوشه‌ی کروی حدود یک تا چند پارسک است، در حالی که فاصله‌ی آن از ما حدود چند کیلوپارسک است). تنها تفاوت جدی که بین ستاره‌های یک خوشه کروی وجود دارد، جرم اولیه‌ی آنهاست. پس تفاوت‌های بین ستاره‌های یک خوشه را می‌توان بیش‌تر متوجه جرم آن‌ها دانست. حد پایین سن خوشه‌های کروی حدود ۷ یا ۸ میلیارد سال و حد بالای آن نیز در حدود عمر عالم، حدوداً ۱۴ میلیارد سال است. ابعاد متوسط خوشه‌های کروی در حدود ۱۰ پارسک است و عمده‌ی این اجرام آسمانی در هاله‌ی مرکزی کهکشان (اطراف بالج یا توده‌ی کهکشان) قرار گرفته‌اند.

۳. پراکندگی خوشه‌های کروی در صورت فلکی

از مجموع ۱۵۷ خوشه کروی که در جدول ۴ دسته بندی شده است، دیده می‌شود که ۳۱ خوشه فقط در سه صورت فلکی قوس، مارافسای و عقرب قرار گرفته‌اند که نشان از نایک‌نواختی توزیع آن‌ها در کهکشان دارد.

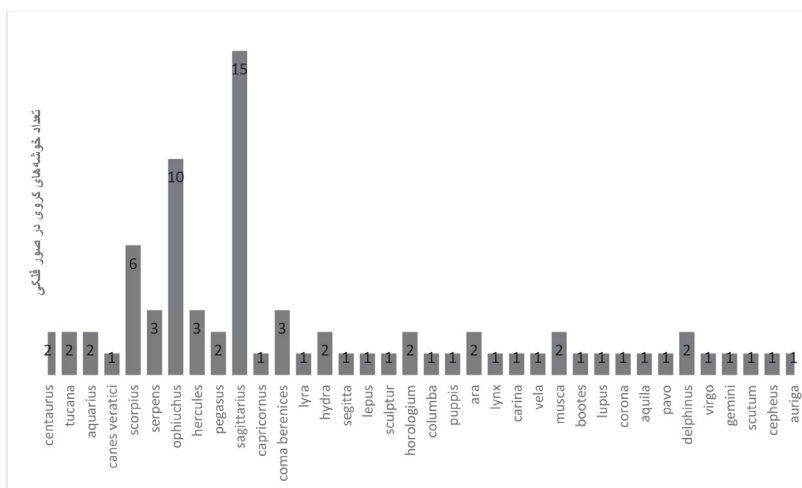
جدول ۲ فهرست صورت‌های فلکی که خوشه‌های کروی مورد بررسی، در آن‌ها قرار گرفته است.

1	قنطورس	7	حوا	13	شلیاق	19	کبوتر	25	مگس	31	دلنین
2	توکان	8	جائی	14	شجاع	20	کشتی دم	26	عوا	32	ستبله
3	دلو	9	فرس اعظم	15	تیر(سهم)	21	آنشدان	27	گرگ	33	دو پیکر
4	تازی‌ها	10	قوس	16	خرگوش	22	سیاهگوش	28	تاج	34	سپر
5	عقرب	11	جدی	17	حجار	23	شاه تخته	29	عقاب	35	قیفاووس
6	مار	12	گیسو	18	ساعت	24	بادبان	30	طاووس	36	برسآوش

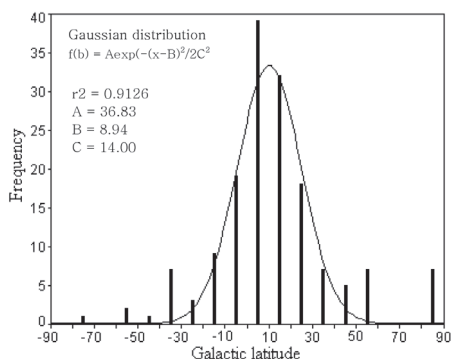
۴. بررسی توزیع خوشه‌های کروی در طول و عرض کهکشانی

دسته‌بندی‌های متفاوتی از خوشه‌های کروی کهکشان استفاده شده است [۲-۶]. در هر کدام از این دسته‌بندی‌ها تعدادی از خوشه‌های کروی فهرست شده‌اند. در این بررسی ۱۵۷ خوشه کروی کهکشان راه شیری را بررسی کرده‌ایم.

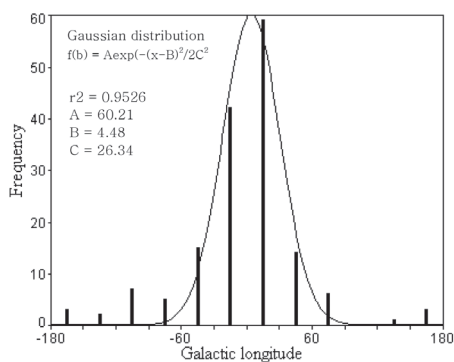
در شکل‌های ۲ و ۳ توزیع خوشه‌های کروی کهکشان به ترتیب برحسب عرض (b) و طول (l) کهکشانی داده شده است، که نشان می‌دهد عمده‌ی این خوشه‌ها در عرض‌های ۲۰- تا ۲۰ درجه و طول‌های ۳۰- تا ۳۰ درجه قرار گرفته‌اند، که به معنی تراکم این خوشه‌ها در هاله‌ی اطراف مرکز کهکشان است. همچنین دیده می‌شود که توزیع این خوشه‌ها در جهت مقابل مرکز کهکشان، یعنی طول ۱۸۰ درجه بسیار کم است ولی صفر نیست. پس توزیع خوشه‌ها در بازوهای کهکشان و هاله‌های اطراف آن نیز وجود دارد.



شکل ۱ تعداد خوشه‌های کروی موجود در صورت‌های فلکی؛ فهرست این صورت‌های فلکی در جدول ۲ درج شده است.



شکل ۲ فراوانی خوشه‌های کروی در عرض کهکشانی؛ این فراوانی همخوانی خوبی با توزیع گوسی دارد. مواردی که از این توزیع پیروی نمی‌کنند، عموماً در فواصل دور از صفحه‌ی کهکشان قرار دارند.



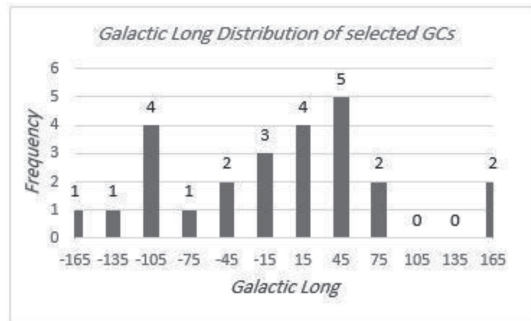
شکل ۳ فراوانی خوشه‌های کروی در طول کهکشانی؛ این فراوانی همخوانی خوبی با توزیع گوسی دارد. این توزیع نشان می‌دهد که خوشه‌های کروی عمدتاً در اطراف مرکز کهکشان توزیع شده‌اند.

در این بررسی، خوشه‌های کروی برحسب عرض کهکشانی آن‌ها ترسیم شدند. با برآزش این توزیع با تابع گوسی، میانگین عرض کهکشانی ۹۴/۸ و نیم‌پهنای آن ۱۴/۰۰ به دست آمد. تفاضل عرض کهکشانی هر رخداد را از میانگین آوردیم و اعداد به‌دست آمده را با انحراف معیار مقایسه نمودیم. در نهایت ۲۵ خوشه کروی را، که تفاضل عرض کهکشانی آن‌ها از عرض کهکشانی میانگین بیش از نیم‌پهنای توزیع بودند، جدا کردیم، که در بررسی‌های بعدی استفاده شدند. برای این ۲۵ خوشه، طول و شعاع کهکشانی را هم به‌دست آورده و نمودار توزیع هر یک را رسم کردیم. نکته-ی جالب این است که در کهکشان، ۱۵ خوشه‌ی کروی پالومار وجود دارد که از خوشه‌های دور از مرکز هستند و ۹/۵٪ کل خوشه‌های کروی کهکشان را تشکیل می‌دهند، اما در این دسته‌بندی، از مجموع ۲۵ داده‌ی انتخاب‌شده، ۶ خوشه‌ی پالومار وجود دارد که ۴۰٪ کل این خوشه‌ها را تشکیل می‌دهد [۷]. خوشه‌های کروی پالومار، خوشه‌های کم‌نوری هستند که در دهه‌ی ۱۹۵۰ و با پروژه‌ی مساحی تلسکوپ پالومار از آسمان، توسط افراد معروفی چون ادوین هابل، والتر باده، فریتز زویبکی، هالتون آرپ و جورج ایبل کشف شدند.

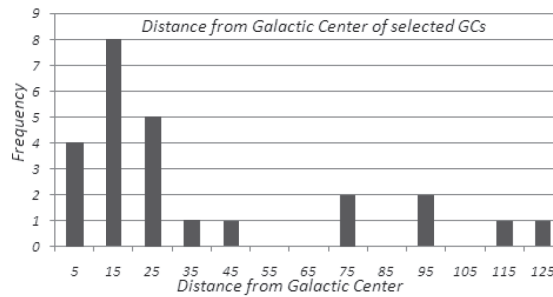
خوشه‌های انتخاب شده عبارتند از:

جدول ۳ مشخصات ۲۵ خوشه‌ی متمایز.

GC	b	l	R _{gc}
NGC 288	-89/4	152.3	12
NGC 7492	-63/5	53.4	25.3
Whiting 1	-60/76	161.22	34.5
NGC 1261	-52/1	270.5	18.1
AM 1	-48/47	258.34	124.6
Palomar 12	-47/7	30.5	15.8
M30	-46/8	27.2	7.1
NGC 362	-46/3	301.5	9.4
47 Tucanae	-44/9	305.9	74
Palomar 13	-42/7	87.1	26.9
Eridanus	-41/33	218.1	95
NGC 6229	40/3	73.6	29.8
M13	40/9	59	8.4
Palomar 3	41/9	240.1	95.7
Palomar 14	42/2	28.8	71.6
Palomar 5	45/9	0.9	18.6
M5	46/8	3.9	6.2
NGC 5634	49/3	342.2	21.2
Ko 1	70/75	260.99	49.3
Palomar 4	71/8	202.3	111.2
NGC 5466	73/6	42.2	16.3
NGC 4147	77/2	252.9	21.4
M3	78/7	42.2	12
NGC 5053	78/9	335.7	17.8
M53	79/8	333	18.4



شکل ۴ فراوانی خوشه‌های کروی در طول کهکشانی برای خوشه‌های جداشده.



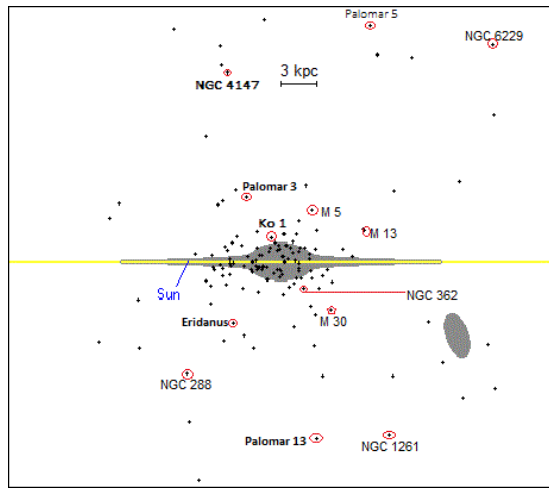
شکل ۵ فراوانی خوشه‌های کروی در فاصله از مرکز کهکشان برای خوشه‌های جداشده.

۵. نتیجه‌گیری

مزیت خوشه‌های انتخاب شده عبارت است از:

- ۱) این خوشه‌ها از مرکز کهکشان دور بوده و رصد آنها در زمینه‌ی تاریک آسمان امکان‌پذیرتر است.
- ۲) این خوشه‌ها به اندازه‌ی کافی از مرکز کهکشان فاصله دارند، بنابراین می‌توان آنها را به عنوان خوشه‌هایی ایزوله و مستقل از اثرات کشندی مرکز کهکشان تحلیل کرد.
- ۳) این خوشه‌ها در کل آسمان گستره شده‌اند به همین سبب می‌توان طی یک پروژه در طول سال به اعضای مختلفی از این فهرست دسترسی داشت و آنها را بررسی کرد.
- ۴) در آخر می‌توان شناسه‌های آنها را به عنوان خوشه‌های بیرونی نسبت به کل خوشه‌ها ارزیابی کرده و رفتار کلی آنها را با رفتار عمومی خوشه‌های نزدیک مرکز کهکشان مقایسه کرد.

تعدادی از این خوشه‌ها در شکل ۶ نشان داده شده‌اند.



شکل ۶ ترسیم تعدادی از خوشه‌های کروی انتخاب شده بر روی نقشه‌ی کلی خوشه‌های کروی راه شیری.

جدول ۴ اسامی، مختصات کهکشانی و فاصله از مرکز کهکشان ۱۵۷ خوشه‌ی کروی راه شیری.

Name	<i>l</i>	<i>b</i>	R_{gc}	Name	<i>l</i>	<i>b</i>	R_{gc}	Name	<i>l</i>	<i>b</i>	R_{gc}
1 NGC 288	152.3	-89.4	12	54 NGC 6760	36.1	-3.9	4.8	107 M4	351	16	5.9
2 NGC 7492	53.4	-63.5	25.3	55 NGC 6453	355.7	-3.9	3.7	108 Palomar1	130.1	19	17.2
3 NGC 1261	270.5	-52.1	18.1	56 NGC 6380	350.2	-3.4	3.3	109 M80	352.7	19.5	3.8
4 Palomar 12	30.5	-47.7	15.8	57 NGC 6540	3.3	-3.3	2.8	110 NGC 5824	332.6	22.1	25.9
5 M30	27.2	-46.8	7.1	58 Djorgovski 1	356.69	-2.47	5.7	111 M107	3.4	23	3.3
6 NGC 362	301.5	-46.3	9.4	59 NGC 6583	5.3	-3	2.2	112 M10	15.1	23.1	4.6
7 47 Tucanae	305.9	-44.9	7.4	60 NGC 6544	5.8	-2.2	5.1	113 Palomar 15	18.9	24.3	38.4
8 Palomar 13	87.1	-42.7	26.9	61 Terzan 6	358.6	-2.2	1.3	114 NGC 2419	180.4	25.2	89.9
9 M2	53.4	-35.8		62 Terzan 12	8.4	-2.1	3.4	115 M12	15.7	26.3	4.5
10 NGC 1851	244.5	-35	16.6	63 Terzan 9	3.6	-2	1.1	116 NGC 5897	343	30.3	7.4
11 M72	35.2	-32.7	12.9	64 Terzan 10	4.4	-1.9	2.3	117 NGC 5694	331.1	30.4	29.4
12 M79	227.2	-29.4	18.8	65 2MASS-GC02	9.8	-0.6	3.2	118 M92	68.3	34.9	9.6
13 M15	65	-27.3	10.4	66 Liller1	354.8	-0.2	0.8	119 M68	299.6	36.1	10.2
14 M75	20.3	-25.8	14.7	67 Terzan 1	357.6	1	1.3	120 NGC 6229	73.6	40.3	29.8
15 NGC 6752	336.5	-25.6	5.2	68 Terzan 4	356	1.3	1	121 M13	59	40.9	8.4
16 Terzan 8	5.8	-24.6	19.4	69 Terzan 5	3.8	1.7	1.2	122 Palomar 3	240.1	41.9	95.7
17 M55	8.8	-23.3	3.9	70 Palomar 6	2.1	1.8	2.2	123 Palomar 14	28.8	42.2	71.6
18 Terzan 7	3.4	-20.1	15.6	71 Terzan 2	356.3	2.3	0.8	124 Palomar 5	0.9	45.9	18.9
19 NGC 7006	63.8	-19.4	38.5	72 Palomar 10	52.4	2.7	6.4	125 M5	3.9	46.8	6.2
20 NGC 6934	52.1	-18.9	12.8	73 NGC 6256	347.8	3.3	3	126 NGC 5634	342.2	49.3	21.2
21 NGC 6362	325.6	-17.6	5.1	74 NGC 6401	3.5	4	2.7	127 NGC 6638	7.90	-7.15	2.2
22 NGC 6723	0.1	-17.3	2.6	75 NGC 5946	327.6	4.2	5.8	128 Palomar 4	202.3	71.8	111.2
23 NGC 6584	342.1	-16.4	7	76 NGC 5927	326.6	4.9	4.6	129 NGC 5466	42.2	73.6	16.3
24 NGC 2298	245.6	-16	15.8	77 NGC 6304	355.8	5.4	2.3	130 NGC 4147	252.9	77.2	21.4
25 NGC 6101	317.8	-15.8	11.2	78 NGC 6355	359.6	5.4	1.4	131 M3	42.2	78.7	12
26 Palomar 11	31.8	-15.6	8.2	79 Palomar 7	21.8	5.7	3.7	132 NGC 5053	335.7	78.9	17.8
27 M 54	5.6	-14.1	18.9	80 NGC 6316	357.2	5.8	2.6	133 M53	333	79.8	18.4
28 M70	2.9	-12.5	2.2	81 NGC 6517	19.2	6.8	4.2	134 1636- 238	351.91	12.1	2.1
29 NGC 6397	338.2	-12	6	82 NGC 6539	20.8	6.8	3	135 2MS- GC01	10.48	0.11	4.5
30 NGC 6652	1.5	-11.4	2.7	83 NGC 6139	342.4	6.9	3.6	136 AM 1	258.34	-48.47	124.6
31 NGC 2808	282.2	-11.3	11.1	84 NGC 6749	36.20	-2.21	5.0	137 AM 4	320.28	33.51	27.8
32 ESO 280-SC06	346.9	-11.1	14	85 Pyxis GC	261.3	7	41.4	138 Arp 2	8.55	-20.79	21.4
33 NGC 6541	349.5	-11.1	2.1	86 M62	353.6	7.3	1.7	139 BH 176	328.41	4.34	12.9
34 Palomar 9	12.9	-10.9	2.4	87 NGC 6293	357.6	7.8	1.9	140 BH 261	3.36	-5.27	1.7
35 M69	1.7	-10.3		88 NGC 6325	1	8	1.1	141 Djorg 1	356.69	-2.47	5.7
36 NGC 6496	348	-10	4.2	89 M56	62.7	8.3	9.2	142 Djorg 2	2.77	-2.5	1.8
37 NGC 6426	28.09	16.23	14.4	90 NGC 3201	277.2	8.6	8.8	143 E 3	292.27	-19.02	9.1
38 NGC 4372	301	-9.9	7.1	91 Terzan 3	345.1	9.2	2.5	144 Eridanus	218.1	-41.33	95
39 Palomar2	170.5	-9.1	35	92 M19	356.9	9.4	1.7	145 FR1735	339.19	-1.85	3.7
40 NGC 4833	303.6	-8	7	93 NGC 6342	4.9	9.7	1.7	146 GLIMPSE01	31.31	-0.1	4.9
41 NGC 6624	2.8	-7.9	1.2	94 NGC 6284	358.4	9.9	7.5	147 GLIMPSE02	14.4	-0.64	3
42 M22	9.9	-7.6	4.9	95 NGC 6356	6.7	10.2	7.5	148 HP 1	357.44	2.12	0.5
43 NGC 6352	341.4	-7.2	3.3	96 NGC 6440	7.73	3.8	1.3	149 IC 1257	16.54	13.15	17.9
44 Palomar 8	14.1	-6.8	5.5	97 NGC 6535	27.2	10.4	3.9	150 IC 4499	307.35	-20.47	15.7
45 NGC 6388	345.6	-6.7	3.1	98 NGC 5286	311.6	10.6	8.9	151 Ko 1	260.99	70.75	49.3
46 NGC 6642	9.8	-6.4	1.7	99 M9	5.5	10.7	1.7	152 Ko 2	195.12	25.54	41.9
47 NGC 6558	0.2	-6	1	100 NGC 6287	0.1	11	2.1	153 Lynga 7	328.77	-2.8	43
48 M28	7.8	-5.6	2.7	101 NGC 5986	337	13.3	4.8	154 Rup 106	300.88	11.67	18.5
49 NGC 6441	353.5	-5	3.9	102 NGC 6235	358.9	13.5	4.2	155 Ton 2	350.8	-3.42	1.4
50 M71	56.7	-4.6	6.7	103 M14	21.3	14.8	4	156 UKS 1	5.13	0.76	0.7
51 NGC 6712	25.4	-4.3	3.5	104 □ centauri	309.2	15	6.4	157 Whiting 1	161.22	-60.76	34.5
52 NGC 6528	1.1	-4.2	0.6	105 NGC 6144	351.9	15.7	2.7				
53 NGC 6522	1	-3.9	0.6	106 NGC 6366	18.4	16	5				

مراجع

- [1] N. A. Sharp, "M22, NGC6656", REU Program/NOAO/AURA/NSF (2006).
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/Globular_cluster.
- [3] <http://www.atlasoftheuniverse.com/globular.html>.
- [4] W. E. Harris, "Catalog of parameters for milky way Globular Clusters", *Astronomical Journal* **112** 1487 (1996).
- [5] W. E. Harris, G. L. H. Harris, M. Alessi, "A Catalog of Globular Cluster Systems: What Determines the Size of a Galaxy's Globular Cluster Population?", *The Astrophysical Journal* **722** 82H (2013).
- [6] W. E. Harris, S. van den Bergh, "The distant globular clusters Palomar 14 and Palomar 15", *Astronomical Journal* **89** 1816H (1984).
- [7] <http://www.astronomy-mall.com/Adventures.In.Deep.Space/palglob.htm>.