

# Дисперсии лучевых скоростей звездных группировок в М 67

С.В. Верещагин, Н.В. Чупина  
Институт астрономии РАН

Лучевые скорости, высокоточные измерения которых выполнены для М67, использованы для оценки дисперсий внутри звездных группировок в короне. Подтвердилась обнаруженная ранее особенность

для одной из групп (гр.60), заключающаяся в практически полной идентичности пространственных скоростей звезд. Обсуждаются возможности работы с группировками по каталогу проекта GAIA.

## Данные

Звездные группировки располагаются в областях с низкой плотностью дальней короны (или гало) М67, включают от 5 до 11 звезд и имеют средние размеры от 0,5 до 1,2 пк. М67 – ближайшее к нам среди старых РЗС (7.0±0.5 Gyr, Jiaxin e.a. 2015). Расположено в рукаве Ориона, что свидетельствует о различных динамических взаимодействиях, которые могли привести к дополнительной диссипации звезд из скопления.

В Geller e.a. 2015 измерены лучевые скорости для 13776 звезд (из них 1278 являются кандидатами в состав М67), размер площадки составляет 2.5° x 1.5°. Измерения лучевых скоростей, которые мы использовали, характеризуются средней ошибкой менее 1 км/с, Geller e.a. 2015, вместо обычной величины 3 км/с.

Уточненные собственные движения Nardiello e.a. 2016 мы не использовали. Они получены лишь для центральной части скопления (34'x33') до V ≈ 22 mag. Мы же использовали область размером 2° x 2°. Малая площадь обусловила малое число совпавших звезд с нашей выборкой. С каталогом Фролов, Ананьевская, 1986 отождествилось 218 звезд, из них только 14 звезд в группах. Сравнение каталогов Фролов, Ананьевская, 1986 и Nardiello e.a., 2015 показало необходимость ревизии наших старых результатов, так как разброс сравниваемых РМ (приблизительно равный 3σ) составил до 10 mas.

На Рис.1 показано распределение звезд из каталога Фролов, Ананьевская, 1986 на небесной сфере. Отметим, в Vereshchagin e.a. 2014 рассматривалась только центральная часть скопления и соответственно получены иные результаты.

## Дисперсии лучевых скоростей

Выборка 627 звезд с P>=60% по Geller e.a. 2015 дала величину <Vr>=33.58±0.86 км/с. Таким же образом мы определили дисперсии скоростей для группировок, показанных на Рис.1. Результаты приведены в Таблице 1. С помощью Рис.1 из Churina, Vereshchagin, 1998 мы определили средние размеры <l> группировок, которые также приведены в Таблице 1. Их значения заключены в пределах от 1.85 до 3.01 пк. Поскольку очертания группировок имеют неправильную форму, то брались средние значения между наибольшим и наименьшим диаметрами. В гр. 32 звезда с номером 4046 не отбрасывалась, в гр. 33 и 44 нашлись только по одной звезде и дисперсия не определена.

## О физических моделях группировок

Оценка дисперсии скоростей для статистически стационарного скопления с параметрами схожими с М67 (взяв 1000 звезд одинаковой массы равной солнечной (Msun)) дает

$$\langle \sigma_V^2 \rangle = \frac{\gamma \cdot M_{cluster}}{R_{cluster}}$$

Для радиуса <R<sub>cluster</sub>>= 100 пк дисперсия = 0.14 км/с. Для группы численностью 10 звезд и радиусом 1.5 пк, получим практически такую же оценку дисперсии = 0.0463\*sqrt(10/1.5) = 0.12 км/с. Таким образом, для скопления в целом и для групп для устойчивости требуется значение в пределах 0.12 – 0.14 км/с. Наблюдаемые дисперсия в Таблице 1 значительно превосходят теоретические, даже для гр. 60 с минимальным значением 0.5 км/с. Возможно, это связано с тем, что рассматриваемые группировки не находятся в стационарном состоянии. Существуют несколько подходов, каждый из которых проливает свет на эту проблему. В звездных системах с малой дисперсией скоростей взаимная гравитация способна приводить к появлению парных и кратных корреляций положений и скоростей звезд. Современные расчеты приводят к многообразным вариантам проявления нестабильности РЗС и появлению субструктур. Так, по расчетам задачи N тел Поляченко Е.В., 2015 в моделях сферических звездных систем на поздних стадиях эволюции скопления, когда возраст скопления превышает время релаксации, оно может стать неоднородным, образуя области с повышенной звездной плотностью.

В расчетах динамики РЗС могут выделяться группы или потоки звезд по траекториям с близкими кинематическими и динамическими характеристиками, Данилов, 2002 и 2005, Данилов, Лесков 2005. Причинами формирования групп звезд с близкими периодами колебаний траекторий на периферии скопления (Данилов, 2005, 2006) могут служить колебания силового поля. Обобщить влияние неустойчивостей на динамику РЗС и кинематику групп звезд в скоплении позволяет рассмотрение колебаний фазовой плотности скопления и их спектров. Этот аппарат дает возможности судить о формировании волн плотности и групп звезд с разными кинематическими и динамическими характеристиками, Данилов, 2015 и Данилов, Путков, 2013 и 2014.

## Обсуждение и выводы

1) В Таблице 1 выделяется гр.60 с малой дисперсией 0.5 км/с. Это значение близко пределу точности лучевых скоростей одиночных звезд, связанному с движениями газа в атмосферах звезд (грануляция и пр.). Схожий результат и для тангенциальных скоростей, Churina, Vereshchagin, 1998. Также гр.60 отличается низким содержанием гигантов и сверхгигантов на фоне скопления в целом.

2) Оценка значимости. Принимаем нулевую гипотезу: дисперсии для гр.60 (0.5 км/с) и скопления в целом (0.86 км/с) совпадают. По критерию Фишера-Снедекора F = 0.86 / 0.5 = 1.72. Степени свободы: k1 = 627 – 1 = 626 (все скопление), k2 = 7 – 1 = 6 (гр. 60). Выберем уровень значимости равный α = 0.05. Fкр (626;6;0.05) = 2.1. Таким образом, F < Fкр и нулевая гипотеза не отвергается.

3) В проекте Gaia, точность собственных движений составляет до 20 микросекунд (σPM ≈ 20 μas), de Bruijne et al. 2010.

Перевод в км/сек для расстояния от Солнца для М67 равного 890 пк дает Vt=4.74\*(My/π) [км/сек] = 4.74\*(0.00020\*890) = 0.08 км/с. Если, для сравнения взять ошибку в 1 mas для собственных движений каталога Hipparcos (HIP), то получим значительно большую величину vt=4.74\*0.001\*830=3.9 км/с.

Какое количество звезд М67 имеется в каталоге GAIA? Рассмотрим поверхностные звездные плотности для М67 и для каталогов GAIA. В последнем она разная, поскольку параметры Vr, РМ, π определены для разного количества звезд.

Для GAIA это 24240 звезд/ кв. град. для звезд с РМ и около 5000 звезд/ кв. град. для звезд с параллаксами π. Плотность звезд в М67 значительно меньше и составляет примерно 318 звезд/кв. град. Таким образом, скорее всего в GAIA мы найдем не только РМ, но и параллаксы для всего М67.

4) О сходстве и различиях наших групп и иерархических систем. Например, среднее расстояние между Мицаром и Алькором составляет около 0.64 пк. Различие с нашими группами состоит в том, что здесь две звезды-главные компоненты расположены на большом расстоянии, а остальные вблизи них. В группировках все звезды в среднем равноудалены.

5) Возникает вопрос о том, существуют ли группировки отдельно или столь же малонаселенные скопления, что и группировки? Каковы их размеры? В Таблице 2 приведены самые маленькие РЗС по числу входящих в их состав звезд. Выборка из каталога MWSC II, Kharchenko e.a., 2013. Брались скопления расположенные не слишком далеко (не дальше 1 кпк от Солнца) – расстояния сравнимого с М67. Взяты их угловые размеры (r2) и с помощью расстояний (dist) получены их линейные размеры (r, pc). Из Таблицы 2 видим, что r и размеры группировок (<l> в Таблице 1) совпадают.

6) В каталоге Frolov V.N., Ananyevskaya J.K., 1986 обнаружена высокоскоростная звезда в короне. Ее данные - номер по каталогу Фролова 1007, α=133.70202, δ =+12.51210 (J2000), V=11.18 mag, μx=-0.3085, μy=-0.2211, "/уг. Хотя вероятность вхождения в состав скопления была оценена 3 %, возможен пересмотр этой величины, поскольку в М67 наблюдаются высокоскоростные звезды. (В каталогах Nardiello e.a., 2015 Geller e.a. 2015 эта звезда также отсутствует). Интересно отметить, что в составе М67 обнаружены звезды с экзопланетами, Brucalassi et al., 2014.

**Благодарности.** Эта работа частично поддержана грантом РФФИ (грант 16-52-12027 ННИО\_а). Авторы благодарны А.В. Локтину и В. М. Данилову за помощь.

## Введение

Звездные группировки из-за небольшой численности своего состава не показывают заметной концентрации звезд в пространстве. Для их поиска разработаны специальные алгоритмы, которые путем анализа распределения звездной плотности распознают группы звезд. Также эффективен поиск областей концентрации звезд путем наблюдений в рентгеновском, Hα и других диапазонах, позволяющих заглянуть внутрь и за пределы газовых облаков, скрывающих звезды. Таким образом, наблюдаемая картина звездного фона обманчива и многое проявляется с помощью фильтров и изучения распределений звезд специальными методами. Конкретным нашим вкладом в результаты работы в этих направлениях является обнаружение группировок в короне рассеянного звездного скопления (РЗС) М67 Churina, Vereshchagin, 1998 и группы 189 вблизи NGC1977 Churina, Vereshchagin, 2000. Отметим, что одна из первых работ по этой теме была опубликована почти сорок лет назад - Латышев, 1977. Тема группировок обсуждается в Mamajek et al. 2015.

Для подтверждения реальности звездных группировок необходимо множество дополнительных проверок, в том числе, на возможность того, что мы имеем дело со случайными флуктуациями звездной плотности. Также необходимы оценки статистической значимости отличий наблюдаемых параметров, например, собственных движений и лучевых скоростей. Уточнение данных наблюдений повышает надежность таких проверок.

Рис 1. Распределение звезд М67 на небесной сфере. Выделены (красным) звезды группировок с измерениями Vr.

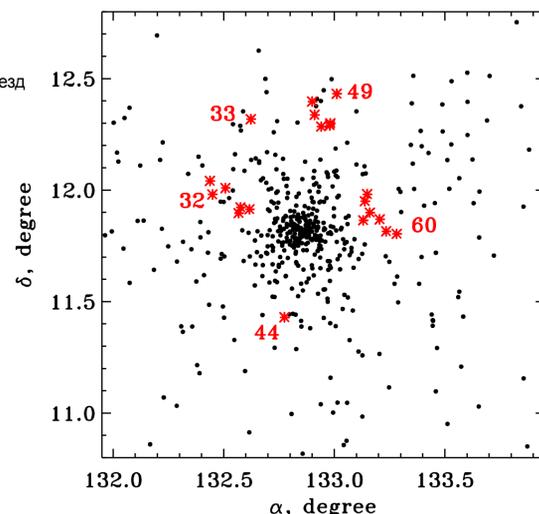


Таблица 1. Параметры звездных группировок

Номер группы/Номер звезды по каталогу Geller	V	Vr	e_Vr	<Vr>	σ(Vr)	<l>, mm	<l>, pc
clump 32				35.9	5.1	12.47	3.01
10055	13.52	32.60	0.20				
7051	13.34	35.00	0.21				
4046	13.35	6.78	0.31				
4035	12.86	33.66	0.14				
13035	9.98	45.00	0.10				
11030	14.18	33.35	0.30				
clump 33						7.66	1.85
5066	12.54	35.00	0.06				
clump 44						6.79	1.64
5048	13.55	33.62	0.46				
clump 49				41.0	15.0	12.47	3.01
6070	14.36	34.88	0.24				
4063	12.96	33.60	0.13				
1058	11.34	49.47	0.13				
3059	10.87	27.44	0.13				
3060	13.01	33.14	0.15				
1077	10.02	67.65	0.15				
clump 60				33.0	0.5	12.47	3.01
4034	13.71	33.38	0.16				
12038	14.44	32.54	0.30				
5041	13.41	33.10	0.24				
5039	13.64	33.60	0.14				
5043	13.50	32.88	0.19				
2046	12.59	32.26	0.26				
8052	13.67	33.39	0.29				

Таблица 2. Выборка малонаселенных скоплений из MWSC II

ra	dec	MWS C num	name	N r0	N r1	N r2	r° core	r° central	r° cluster	r, pc cluster	dist	lg(t)
084.4755	-06.9560	0607	KMS_35	5	6	7	0.018	0.060	0.095	1.4	636	6.600
084.6825	-02.6000	0612	Sigma_Ori	2	6	9	0.030	0.280	0.400	5.8	390	6.100
086.6775	+00.1000	0664	NGC_2068	0	5	9	0.020	0.075	0.140	2.0	747	6.450
093.5100	-09.3750	0807	FSR_1120	3	7	9	0.020	0.075	0.140	2.0	830	7.300
110.9835	-25.3590	1205	FSR_1293	2	8	10	0.010	0.037	0.080	1.2	962	9.005
269.9325	-28.2070	2769	Trumpler_31	2	6	12	0.018	0.090	0.165	2.4	830	8.635
308.4585	+40.1150	3367	Kronberger_59	3	8	12	0.010	0.045	0.075	1.1	844	8.000
110.6550	-05.1150	1194	FSR_1157	2	8	14	0.010	0.045	0.090	1.3	926	7.700
260.1705	-35.8830	2575	vdBergh-Hagen_223	3	9	15	0.015	0.045	0.070	1.0	895	8.450
086.7915	+00.3000	0665	NGC_2071	2	8	16	0.020	0.090	0.140	2.0	953	6.550
268.1250	-30.1050	2727	Basel_5	1	6	16	0.020	0.120	0.200	2.9	995	8.850
264.4725	-08.0850	2650	Mamajek_2	3	8	17	0.060	0.190	0.310	4.5	174	8.100
139.2000	-47.9450	1645	DBSB_36	1	10	18	0.015	0.070	0.130	1.9	748	7.500
328.3725	+47.2650	3571	IC_5146	1	5	18	0.020	0.080	0.165	2.4	770	6.000
130.4700	-79.0450	1535	Mamajek_1	1	5	19	0.030	0.190	0.420	6.1	112	6.990

## Список статей

Churina, N.V., Vereshchagin, S.V., 1998. A&A 334, 552.  
Churina, N. V., Vereshchagin, S. V. In: Star formation from the small to the large scale. ESA&A symposium, Edited by F. Favata, A. Kaas, and A. Wilson. ESA SP 445, Noordwijk, The Netherlands: ESA, 2000: 347-349.  
Латышев И.Н. 1977. Астрон. Цирк. № 969, 7.  
Mamajek, E. E., In: Young Stars and Planets, Proc. IAU Symposium No. 314, 215, J.H. Kastner, B. Stelzer and S.A. McGehee, eds.  
Geller, A. M., Latham, D.V., and Mathieu R.D. AJ, 150, 97, 2015.  
Jiaxin e.a. 2015 AJ, 150, 61.  
Nardiello, D., Libertato, M., Bedin, L. R., Pisto, G., Ochser, P., Cunial, A., Borotto, L., Granata, V. MNRAS, 2016, 455, 3, 2337-2344.  
Frolov V.N., Ananyevskaya, J.K., 1986. Photometry and proper motions in the open cluster M67 (NGC 2682), Cent. Don. Stell., Strasbourg, Catalogue number 3052.

Vereshchagin, S. V., Churina, N. V., Sariya, Devesh P., Yadav, R. K. S., Kumar, Brijesh, 2014. New Astronomy, Volume 31, p. 48-50.  
Поляченко Е.В. 2015, частное сообщение.  
Данилов В.М. Астрон. журн. Т. 79, С.986, 2002.  
Данилов В.М. Астрон. журн. Т. 82, С.978, 2005.  
Данилов В.М., Лесков Е.В. Астрон. журн. Т. 82, С.219, 2005.  
В.М.Данилов, Астрон. журн., Т. 83, С.263, 2006.  
Danilov V.M., Putkov S.I. Astrophysical Bulletin, Vol. 70, P.71, 2015.  
Danilov V.M., Putkov S.I. Astrophys. Bulletin, V.68, P.154-168, 2013.  
Danilov V.M., Putkov S.I. Astrophysical Bulletin, Vol. 69, P.27-39, 2014.  
GAIA, 2016 (<http://www.cosmos.esa.int/gaia/>), <https://www.cosmos.esa.int/gaia/gaia%20scientific%20de%20bruijne%20et%20al%202010>  
ESA 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogues, ESA SP-1200 - Cit 1 / 239  
Kharchenko N.V., Piskunov A.E., Schnach E., Roeser S., Scholz R., MWSC. Milky Way global survey of star clusters. II. 2013, A&A, 558, 53  
A. Brucalassi et al. These planetary companions around M67 stars A&A, 2014.