
Българска Академия на Науките
Институт по Астрономия
с Национална Астрономическа Обсерватория

Изследване на възможно двойни
разсеяни звездни купове в нашата
Галактика

Валентин Станчев Копчев

АВТОРЕФЕРАТ на ДИСЕРТАЦИЯ
за
присъждане на образователната и научна степен „ДОКТОР“

Научна специалност:
01.04.02 Астрофизика и звездна астрономия

София, 2012 г.

Дисертационният труд съдържа 98 страници, включващи 28 фигури, 15 таблици и 62 цитирани заглавия. Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита на Научния семинар на Института по астрономия с Национална астрономическа обсерватория, проведен на 10 декември 2012 г. Дисертантът работи като физик в Института по астрономия с Национална астрономическа обсерватория, отдел Галактики и космология.

Съдържание

1	Увод	5
1.1	Разсеяни звездни купове и тяхното значение за астрофизиката	5
1.2	Възникване на двойни разсеяни звездни купове и критерии за двойственост	6
2	Цели и структура на дисертационния труд	8
3	Дефиниране на извадка от възможно двойни разсеяни звездни купове и метод на изследване	11
4	Определяне възрастта на възможно двойния разсеян звезден куп King 14/NGC 146	13
4.1	J и Ks 2MASS фотометрия и определяне възрастта на King 14 и NGC 146	14
5	Определяне възрастта на възможно двойния разсеян звезден куп NGC 2383/NGC 2384	16
5.1	Предшестващи изследвания и основни данни за куповете NGC 2383 и NGC 2384	16
5.2	J и Ks 2MASS фотометрия и определяне възрастта на куповете NGC 2383 и NGC 2384	17
6	Определяне възрастта на възможно двойния разсеян звезден куп Pismis 6/Pismis 8	19
6.1	Предшестващи изследвания и основни данни за куповете Pismis 6 и Pismis 8	19
6.2	J и Ks 2MASS фотометрия и определяне възрастта на куповете Pismis 6 и Pismis 8	20
7	BV фотометрия на вероятната двойка от разсеяни звездни купове NGC 7031/NGC 7086	22

7.1	Предшестващи изследвания и основни данни за куповете NGC 7031 и NGC 7086	22
7.2	Наблюдателни данни и тяхната обработка	23
7.3	Диаграми цвят-величина и определяне на основните пара- метри	24
8	Основни резултати и научни приноси	28
9	Публикации, на които се основава дисертационният труд	31
	Библиография	31
	Abstract	33

Глава 1

Увод

1.1 Разсеяни звездни купове и тяхното значение за астрофизиката

Разсеяните звездни купове се наблюдават единствено в спиралните и неправилните галактики. Пространствената им локализация в спиралните галактики основно е в галактичната равнина или близо до нея. Повече от 1700 разсеяни звездни купа са известни в нашата Галактика (Dias et al. 2002).

Важността на изследването на разсеяните звездни купове се определя от това, че звездите в тях имат почти еднаква възраст, химичен състав и отстоят на еднакво разстояние от нас. Поради това всички разлики в изменението на спектрите и звездните величини, които ние наблюдаваме, се дължат на различието в техните маси. Това позволява най-непосредствено да се прояви зависимостта между масата на звездите и темпа на еволюция, което е от голямо значение за проверката и уточняването на теорията за вътрешния строеж и еволюцията на звездите.

Основните физични параметри на разсеяните звездни купове освен това са важен инструмент за разбиране на формирането и еволюцията на галактичния диск. Малък брой от известните ни разсеяни звездни купове в нашата Галактика имат прецизно определени разстояние, почервяване, възраст, металичност, радиална скорост и собствени движения. Определянето и уточняването на тези параметри е една от основните задачи при изследване на звездни купове.

1.2 Възникване на двойни разсеяни звездни купове и критерии за двойственост

Един възможен начин за възникване на двойни и кратни системи от разсеяни звездни купове е представен от Ehlerová et al. (1997) и Theis (1998). Взрив на свръхнова близо до центъра на газово прахов комплекс (ГПК) води до образуването на ударна вълна, която се разпространява във всички посоки от центъра навън. Съществува вероятност тази ударна вълна да раздели първоначалния ГПК на две, три, или няколко под-области (фрагменти) и е възможно във всяка една от под-областите да се стартират процеси на звездообразуване.

Изследванията на Fujimoto & Kumai (1997), Bekki et al. (2004) показват, че колкото е по-голям броят на фрагментите, които трябва да се обединят в устойчива система, толкова вероятността за нейното образуване е по-малка и съответно времето и на живот ще бъде по-малко.

При това едновременно образуване на двата разсеяни звездни купа, съставлящи двойката, те са гравитационно свързани, движат се заедно в Галактичното гравитационно поле, имат сравними възрасти и еднакъв химичен състав. Такава система, в която двата звездни купа са „генетично“ свързани поради общия си произход, се нарича първично двоен (primordial binary) звезден куп.

Освен предположението, че двата купа се образуват от един ГПК, съществува и възможност за образуване на двойни купове чрез гравитационен захват. Ако двата купа са възникнали на различни места в галактиката, но при своето движение в галактичното поле са се приближили достатъчно един до друг, то това позволява на взаимните им сили на привличане да образуват гравитационно-свързана система. Този механизъм е дискутиран от van den Bergh (1996). В този случай двата купа ще имат различен химичен състав и големи разлики във възрастта.

Възможен е и случай на визуално-двойни звездни купове. Както в звездния случай визуално-двойните звезди не са физически двойни, така и двойствеността на звездни купове, които имат малко ъглово отстояние един от друг, може да е само проекционен ефект. Визуално-двойните звездни купове нямат обща кинематика и е възможно да имат значителни разлики във възрастта, разстоянието и химичния състав.

В нашето изследване ние използваме следния критерий за двойственост:

Два купа образуват първично-двоен звезден куп, ако разстоянието помежду им е ≤ 20 pc и разликата във възрастта им е ≤ 10 Myr.

Обосновката на така формулирания критерий се основава на следните две съображения:

- Пространствената близост на двата купа (≤ 20 pc) елиминира проекционните ефекти (визуално-двойни) и гарантира, че куповете са гравитационно свързани, и че се движат заедно в гравитационното поле на Галактиката.
- Близката възраст (≤ 10 Myr) показва, че двата купа са възникнали почти едновременно от един ГПК.

Към настоящия момент в нашата Галактика има само един общоприет разсеян двоен куп, въпреки че физическото разстояние между компонентите му е >200 pc (Uribe et al. (2002), Kharchenko et al. (2005), de la Fuente Marcos & de la Fuente Marcos (2009)). И това е $h + \chi$ Persei, който се състои от два млади и богати на звезди купа NGC 869 ($\log(\text{age}) \approx 7.069$ (11.7 Myr)) и NGC 884 ($\log(\text{age}) \approx 7.032$ (10.8 Myr)). Разстоянието на $h + \chi$ Persei до Слънцето е малко повече от 2 kpc.

Глава 2

Цели и структура на дисертационния труд

Изследването на двойните разсеяни звездни купове в нашата Галактика и двойните звездни купове в съседните галактики – Large Magellanic Cloud (LMC) и Small Magellanic Cloud (SMC) е тясно свързано исторически. В малко известна статия Rozhavskii et al. (1976) предполагат, че кратните системи измежду разсеяните звездни купове в нашата Галактика са около 20%. Този резултат е бил широко пренебрегван, докато не е било оценено количеството на двойните звездни купове в Magellanic Clouds (MC). Първите изследвания на двойни звездни купове в LMC са на Bhatia & Hatzidimitriou (1988), а в SMC на Hatzidimitriou & Bhatia (1990) и показват, че броят на двойните звездни купове е почти 10%. Малко по-голяма стойност, 12%, получават Pietrzyński & Udalski (2000). Тези резултати по-късно са потвърдени от обширната работа на Dieball et al. (2002). На базата на тези оценки възникват следните въпроси:

- Как, къде и при какви условия се образуват двойните купове?
- Как еволюират?
- Съществуват ли двойни купове в нашата Галактика и ако да, какъв е техният брой?
- Съществуването на обекти като двойни купове казва ли ни нещо за процесите на формиране и еволюция на галактиките?

Subramaniam et al. (1995) използват каталога на Lyngå (1987), съдържащ около 1400 разсеяни звездни купа, от които 416 са с определени разстояния и възрасти. Приемайки, че два купа образуват двойка и имат общ произход, ако са на разстояние ≤ 20 pc един от друг, те пресмятат

пространственото разстояние до най-близкия съсед на всеки куп и получават извадка, съдържаща 18 двойки възможно двойни разсеяни звездни купа, която е представена в Таблица 2.1. Те достигат до заключението, че около 8% от разсеяните звездни купове могат да бъдат истински двойки, и следователно система от два разсеяни купа не е нещо необикновено в нашата Галактика. Въпреки това, броят на кандидат двойните купове в нашата Галактика е по-малък от този в Магелановите облаци.

Таблица 2.1: Възможно двойни разсеяни звездни купове Subramaniam et al. (1995), по данни на Lyngå (1987).

Cluster name	R.A.(2000)	Decl.(2000)	Distance [pc]	Age [Myr]	Separation [pc]
King 14	00 31.9	+63 10	2600	16	8.64
NGC 146	00 33.1	+63 18	2900	13	
NGC 869	02 19.0	+57 09	2200	6	18.93
NGC 884	02 22.4	+57 07	2300	3	
NGC 1513	04 10.0	+49 31	820	430	19.00
NGC 1545	04 20.9	+50 15	800	200	
NGC 1907	05 28.1	+35 20	1380	440	14.12
NGC 1912	05 28.7	+35 51	1320	220	
NGC 1981	05 35.2	-04 26	400	-	19.38
Coll 70	05 35.5	-01 06	430	-	
Basel 8	06 34.2	+08 05	1300	-	7.17
NGC 2251	06 34.7	+08 22	1550	300	
NGC 2383	07 24.8	-20 56	2000	32	5.84
NGC 2384	07 25.1	-21 02	2000	1	
Haff 18	07 52.5	-26 22	6900	1	15.76
Haff 19	07 52.7	-26 15	6900	6	
Pismis 6	08 39.3	-46 13	1600	32	12.97
Pismis 8	08 41.5	-46 17	1400	32	
NGC 3247	10 24.3	-57 46	1400	50	15.53
IC 2581	10 27.4	-57 38	1660	10	
Hogg 10	11 10.7	-60 22	2200	2	3.9
Hogg 11	11 11.5	-60 22	2300	6	
Basel 18	13 28.3	-62 22	1556	160	11.04
Coll 271	13 29.7	-64 11	1600	63	
NGC 6152	16 32.7	-52 37	1030	-	14.00
NGC 6208	16 49.5	-53 49	1000	1000	
NGC 6383	17 34.8	-32 34	1380	4	6.06
Tr 28	17 36.8	32 29	1500	200	
NGC 6755	19 07.8	+04 14	1500	40	12.45
NGC 6756	19 08.7	+04 41	1650	50	
NGC 6996	20 56.5	+44 38	500	-	11.88
Call 428	21 03.2	+44 35	480	-	
NGC 7031	21 07.2	+50 53	1000	63	16.60
NGC 7086	21 30.5	+51 35	1200	80	
NGC 7429	22 55.9	+59 59	1920	-	18.15
Mark 50	23 15.3	+60 27	2250	10	

Точността на данните за разсеяните звездни купове е изследвана от Raunzen & Netopil (2006). Те стигат до заключението, че разстоянието до куповете е параметъра, който се определя с най-голяма точност. За 80% от 395 най-добре изучени звездни купа, абсолютната грешка на разстоянието е $< 20\%$. Докато за възрастта на куповете ситуацията е обратна: само 11% от най-добре изучените обекти имат грешка $< 20\%$, а 30% имат абсолютна грешка $> 50\%$.

Следователно преопределянето и уточняването на параметрите на разсеяните звездни купове само по себе си е важна задача, тъй като всички заключения и хипотези, засягащи изследването на разсеяните звездни купове, се базират на оценките и точността на тези основни параметри.

Основната цел на настоящата дисертация е: базирайки се на вече определена извадка от възможно двойни разсеяни звездни купове (Таблица 2.1), да изследваме избрани двойки звездни купове, да преопределим техни основни параметри с по-голяма точност и да ги изследваме за двойственост, прилагайки критерия за първично-двоен звезден куп.

Съдържанието на дисертацията е организирано по следния начин:
В глава §1 представяме въведение в проблематиката и определяме целите на дисертационния труд.
В глава §2 дефинираме извадката от потенциално двойни звездни купове, които ще изследваме, както и методиката на изследване.
В главите §3, §4, §5, §6 получаваме основните параметри на разсеяните звездни купове и правим изводи относно двойствеността им.
Глава §7 е посветена на дискусията на нашите резултати.
Заключението е представено в глава §8.
На края са представени публикациите, на които се базира дисертационният труд, приложения и резюме на английски език.

Глава 3

Дефиниране на извадка от възможно двойни разсеяни звездни купове и метод на изследване

За нашето изследване ние избираме следните четири вероятни двойки от разсеяни звездни купове: King 14/NGC 146, NGC 2383/NGC 2384, Pismis 6/Pismis 8, NGC 7031/NGC 7086.

Те присъстват в извадката на Subramaniam et al. (1995), която е представена в Таблица 2.1. Определящи за нашия избор са следните две съображения:

1. Възможност за получаване на собствени наблюдателни данни за дадена двойка купове.
2. Пълнота и точност на J, H, K_s фотометрия, получена от 2MASS¹ обзора.

Методиката, чрез която ще изследваме двойствеността на избраните възможно двойни разсеяни звездни купове, включва следните основни стъпки:

1. Получаване на фотометрия (от наши наблюдения или от 2MASS) за дадена двойка купове.
2. Определяне на основните параметри на куповете: почервявяване, разстояние и възраст.

¹Обзорът Two Micron All-Sky Survey е извършен с два автоматизирани 1.3 m телескопа в инфрачервената област J (1.25 microns), H (1.65 microns), и K_s (2.17 microns)

3. Прилагане на критерия за двойственост и получаване на съответни изводи за дадената двойка.

Глава 4

Определяне възрастта на възможно двойния разсеян звезден куп King 14/NGC 146

Основни данни за куповете King 14 и NGC 146 са представени в Таблица 4.1.

Parameter	King 14	NGC 146
R.A.(2000)	00:31:54	00:33:03
Decl.(2000)	+63:10:00	+63:18:06
Distance (pc)	2593	3032
Ang. diam (arcmin)	6.0	7.0
E(B-V) (mag)	0.414	0.480
log(age)	7.924	7.822

Таблица 4.1: Основни параметри на куповете King 14 и NGC 146 (Dias et al. 2002).

Целта, която си поставяме, е чрез използване на най-новите фотометрични данни в J и Ks филтър от проекта 2MASS да определим отново възрастта на двата купа. Това би ни дало увереност по-категорично да се произнесем относно тяхната двойственост.

4.1 J и Ks 2MASS фотометрия и определяне възрастта на King 14 и NGC 146

J и Ks 2MASS фотометрията на King 14 и NGC 146 получихме, използвайки базата данни VizieR¹. Около центъра на всеки куп описваме кръг с радиус 3.0 arcmin за King 14 и 3.5 arcmin за NGC 146. Така полученият диаметър на кръга, от който получаваме фотометрията, е равен на видимия ъглов диаметър на всеки от куповете.

Използвайки закона за междузвездната екстинкция на Rieke & Lebofsky (1985):

- $\frac{A_J}{A_V} = 0.282$
- $\frac{A_K}{A_V} = 0.112$

както и данни за разстоянието и почервяването на двата купа от Таблица 4.1, ние получихме почервяване:

$$E_{(J-K_S)} = 0.22 \pm 0.02 \text{ за King 14}$$
$$E_{(J-K_S)} = 0.25 \pm 0.02 \text{ за NGC 146.}$$

Диаграмите цвят-звездна величина M_J , $(J - K_S)_0$ за King 14 и NGC 146 са представени на Фигура 4.1.

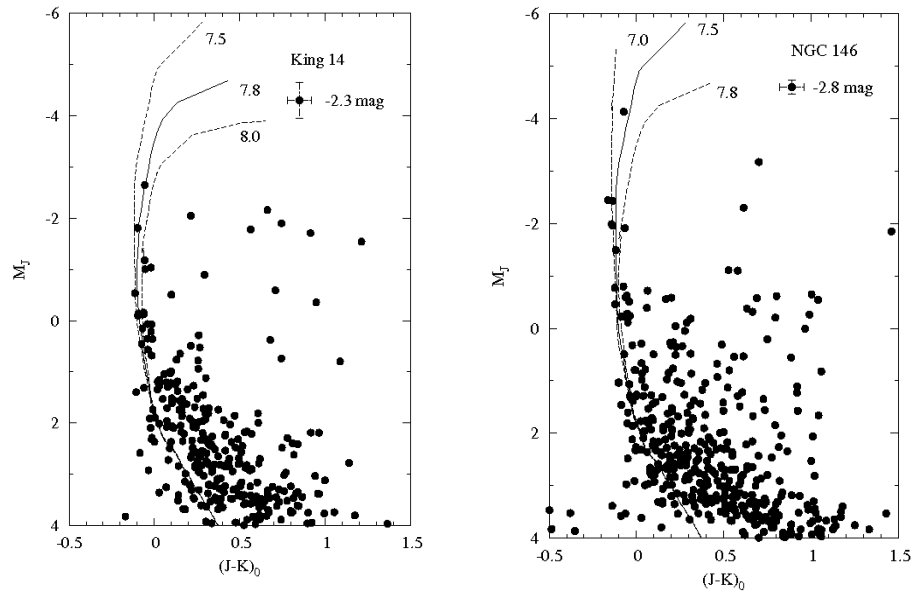
Възрастта на куповете определяме чрез „налагане“ на изохрони върху M_J , $(J - K_S)_0$ диаграмите на двата купа. Изохроните са базирани на звездни модели на „Женевската група“ Schaefer et al. (1993) с $Z = 0.008$, което съответства на металичност $[Fe/H] = -0.3$ dex.

За King 14 определяме възраст от $\log(\text{age}) = 7.8$ или 63 ± 8 Myr, а за NGC 146 $\log(\text{age}) = 7.5$ или 32 ± 8 Myr.

Така определената от нас възраст на двата купа по стойност попада по средата между цитираните от двата каталога: на Lyngå (1987) ($\log(\text{age}) = 7.2$ (15.8 Myr) за King 14 и $\log(\text{age}) = 7.1$ (12.6 Myr) за NGC 146 и на Dias et al. (2002) ($\log(\text{age}) = 7.9$ (83.9 Myr) за King 14 и $\log(\text{age}) = 7.8$ (66.4) за NGC 146.

За разликата във възрастите на двата купа получаваме 31 Myr, което е два пъти над възприетия критерий за двойственост.

Базирайки се на тази наша оценка на разликите във възрастите, както и на разликите в разстоянията между двата купа, можем да направим извода, че критерият за двойственост не се удовлетворява, и следователно двата купа King 14/NGC 146 най-вероятно не образуват първично двоен разсеян звезден куп.



Фигура 4.1: M_J , $(J-K_S)_0$ диаграми на разсеяните звездни купове King 14 и NGC 146. Показани са също и най-добре фитиращите ги изохрони.

¹<http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

Глава 5

Определяне възрастта на възможно двойния разсеян звезден куп NGC 2383/NGC 2384

5.1 Предшестващи изследвания и основни данни за куповете NGC 2383 и NGC 2384

В Таблица 5.1 са представени основните параметри на NGC 2383 и NGC 2384, така както са дадени от Dias et al. (2002) в „The new catalogue of open clusters in the Galaxy“.

Parameter	NGC 2383	NGC 2384
R.A.(2000).....	07:24:41.0	07:25:12.0
Decl.(2000).....	-20:56:42	-21:01:24
Distance (pc).....	1655	2116
Ang. diam (arcmin)	5	5
E(B-V) (mag).....	0.213	0.255
log(age)	7.167	6.904

Таблица 5.1: Основни параметри на куповете NGC 2383 и NGC 2384 („The new catalogue of open clusters in the Galaxy“ Dias et al. 2002).

В Таблица 5.2 са представени данни от предходни изследвания на двата разсеяни звездни купа NGC 2383 и NGC 2384.

Name	Citation	Distance pc	Age Myr	E(B-V) mag
NGC 2383	V&M	1970		0.27
.....	S&S	3340 ±490	400	0.22 ±0.05
NGC 2384	V&M	3280		0.29
.....	S&S	2925 ±430	20	0.28 ±0.05

Таблица 5.2: Данни от предходни изследвания на NGC 2383 и NGC 2384. Обозначения: (V&M) Vogt & Moffat (1972); (S&S) Subramaniam & Sagar (1999).

Целта на нашето изследване е чрез използване на J и Ks фотометрия от 2MASS да преопределим възрастта на двата разсеяни звездни купа NGC 2383 и NGC 2384 и да направим изводи относно вероятната им двойственост.

5.2 J и Ks 2MASS фотометрия и определяне възрастта на куповете NGC 2383 и NGC 2384

Видимият ъглов диаметър на NGC 2383 и NGC 2384 е 5.0 arcmin. Затова около центъра на всеки куп описваме кръг с радиус равен на видимия му ъглов диаметър и от него чрез VizieR получаваме J и Ks 2MASS фотометрията на всеки от куповете.

Използвайки закона за междузвездната екстинкция на Rieke & Lebofsky (1985):

- $\frac{A_J}{A_V} = 0.282$
- $\frac{A_K}{A_V} = 0.112$

и данни за разстоянието и почервяването на куповете от Subramaniam & Sagar (1999):

$$V - M_V = 13.3 \pm 0.3 \text{ и } E_{B-V} = 0.22 \pm 0.05 \text{ за NGC 2383}$$

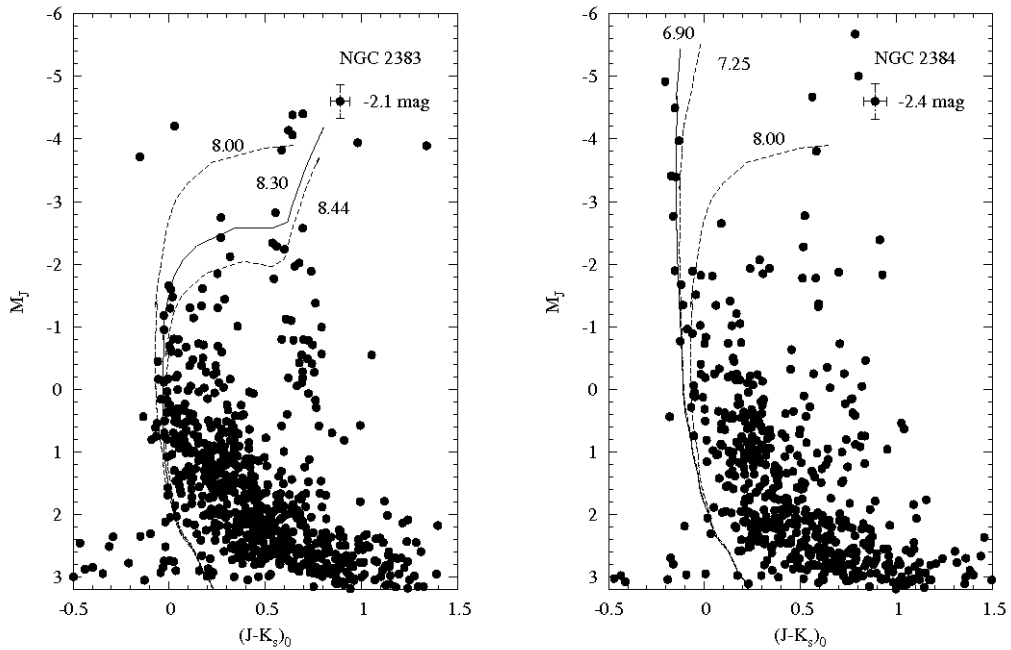
$$V - M_V = 13.2 \pm 0.3 \text{ и } E_{B-V} = 0.28 \pm 0.05 \text{ за NGC 2384}$$

ние получихме почервяване:

$$E_{J-K_S} = 0.12 \pm 0.05 \text{ за NGC 2383}$$

$$E_{J-K_S} = 0.15 \pm 0.05 \text{ за NGC 2384}$$

Диаграмите цвят-звездна величина $M_J, (J-K_S)_0$ за NGC 2383 и NGC 2384 са представени на Фигура 5.1. Възрастта на куповете определяме чрез „налагане“ на изохрони върху $M_J, (J-K_S)_0$ диаграмите. Изохроните са базирани на звездни модели на „Женевската група“ Schaerer et al. (1993) с $Z = 0.008$, което съответства на металичност $[Fe/H] = -0.3$ dex. За NGC 2383 определихме възраст от $\log(\text{age}) = 8.3$ (200 ± 6 Myr), а за NGC 2384 $\log(\text{age}) = 6.9$ (8 ± 6 Myr). И за двата купа определената от нас възраст е по-малка от цитираната в Subramaniam & Sagar (1999) (400 и 20 Myr), но разликата във възрастта между тях остава голяма и не покрива критерия за двойственост. Следователно можем да направим заключението, че тези два купа най-вероятно не са се образували от един ГПК и не са първично двоен звезден куп.



Фигура 5.1: $M_J, (J-K_S)_0$ диаграми на разсеяните звездни купове NGC 2383 и NGC 2384. Показани са също и най-добре фитиращите ги изохрони.

Глава 6

Определяне възрастта на възможно двойния разсеян звезден куп Pismis 6/Pismis 8

6.1 Предшестващи изследвания и основни данни за куповете Pismis 6 и Pismis 8

В Таблица 6.1 са представени основните параметри на Pismis 6 и Pismis 8 така както са дадени от Dias et al. (2002) в „The new catalogue of open clusters in the Galaxy“.

Parameter	Pismis 6	Pismis 8
R.A.(2000).....	08:39:04.0	08:41:36.0
Decl.(2000).....	-46:13:36	-46:16:00
Distance (pc).....	1668	1312
Ang. diam (arcmin)	3	3
E(B-V) (mag).....	0.380	0.706
log(age)	7.283	7.427

Таблица 6.1: Основни параметри на куповете Pismis 6 и Pismis 8 („The new catalogue of open clusters in the Galaxy“ Dias et al. 2002).

В Таблица 6.2 са представени данни от предходни изследвания на двата разсеяни звездни купа Pismis 6 и Pismis 8.

Целта на нашето изследване, както вече беше отбелязано, е чрез използване на J и Ks фотометрия от 2MASS да преопределим възрастта на

Name	Citation	Distance pc	Age Myr	E(B-V) mag
Pismis 6	V&M	1650		0.40
.....	Fitz	1700 ±200	30	0.40
.....	B&C		32	0.41
.....	F&S	1850 ±100	8	0.46 ±0.04
Pismis 8	V&M	1420		0.74
.....	Fitz	1700 ±200	30	0.74

Таблица 6.2: Данни от предходни изследвания на Pismis 6 и Pismis 8. Обозначения: (V&M) Vogt & Moffat (1973); (Fitz) Fitzgerald et al. (1979); (B&C) Battinelli & Capuzzo-Dolcetta (1991); (F&S) Forbes & Short (1994).

двата разсеяни звездни купа Pismis 6 и Pismis 8 и да направим изводи относно вероятната им двойственост.

6.2 J и Ks 2MASS фотометрия и определяне възрастта на куповете Pismis 6 и Pismis 8

Видимият ъглов диаметър на Pismis 6 и Pismis 8 е 3.0 arcmin. Затова около центъра на всеки куп описваме кръг с радиус равен на видимия му ъглов диаметър и от него чрез VizieR получаваме J и Ks 2MASS фотометрията на всеки от куповете.

Използвайки закона за междוזвездната екстинкция на Rieke & Lebofsky (1985):

- $\frac{A_J}{A_V} = 0.282$
- $\frac{A_K}{A_V} = 0.112$

и данни за разстоянието и почервяването на куповете от Fitzgerald et al. (1979):

$$V - M_V = 11.2 \pm 0.20 \text{ и } E_{B-V} = 0.41 \pm 0.06 \text{ за Pismis 6}$$

$$V - M_V = 11.0 \pm 0.25 \text{ и } E_{B-V} = 0.76 \pm 0.06 \text{ за Pismis 8}$$

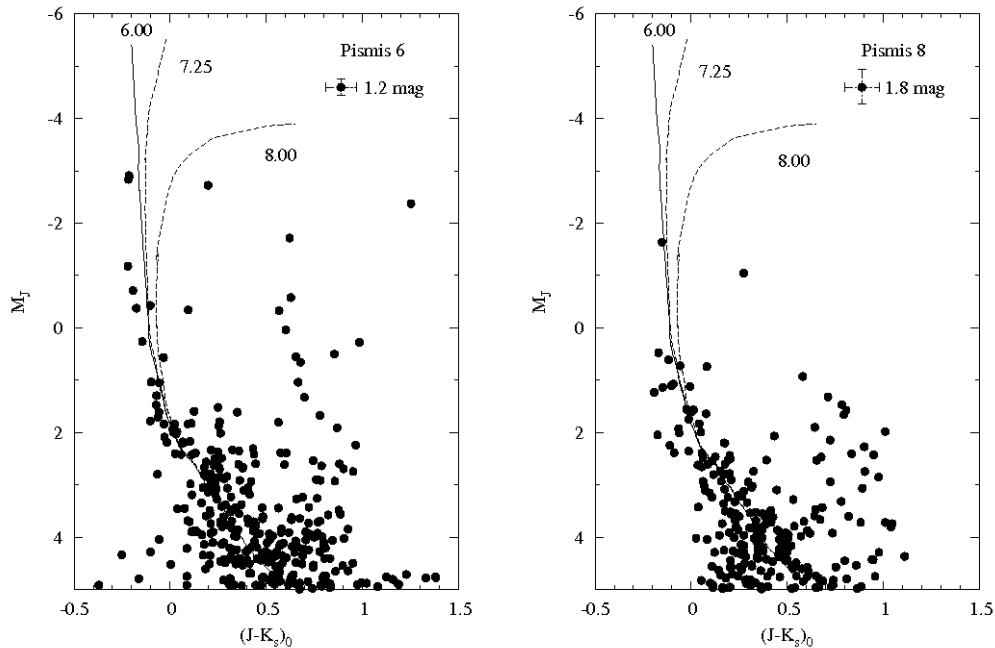
ние получихме почервяване:

$$E_{J-K_S} = 0.25 \pm 0.10 \text{ за Pismis 6}$$

$$E_{J-K_S} = 0.40 \pm 0.10 \text{ за Pismis 8}$$

Диаграмите цвят-звездна величина M_J , $(J - K_S)_0$ за Pismis 6 и за Pismis 8 са представени на Фигура 6.1. Възрастта на куповете определяме чрез „налагане“ на изохрони върху M_J , $(J - K_S)_0$ диаграмите. Изохроните са базирани на звездни модели на „Женевската група“ Schaerer et al. (1993) с $Z = 0.008$, което съответства на металичност $[Fe/H] = -0.3$ dex.

За двата купа Pismis 6 и Pismis 8 получаваме една и съща възраст от $\log(\text{age}) = 6 - 7$ (1 - 10 Myr). Тя е сравнима с цитираната (8 Myr) от Forbes & Short (1994). Fitzgerald et al. (1979) получават и за двата купа също една и съща възраст от 30 Myr, а Battinelli & Capuzzo-Dolcetta (1991) получават за Pismis 6 32 Myr. От съвпадението на възрастите може да се заключи, че има голяма вероятност Pismis 6/Pismis 8 да са се образували от един и същ ГПК и следователно са добър кандидат за първично двоен звезден куп.



Фигура 6.1: M_J , $(J - K_S)_0$ диаграми на разсеяните звездни купове Pismis 6 и Pismis 8. Показани са също и най-добре фитиращите ги изохрони.

Глава 7

ВV фотометрия на вероятната двойка от разсеяни звездни купове NGC 7031/NGC 7086

7.1 Предшестващи изследвания и основни данни за куповете NGC 7031 и NGC 7086

В Таблица 7.1 са представени основните параметри на NGC 7031 и NGC 7086, така както са дадени от Dias et al. (2002) и в базата данни WEBDA.

Parameter	NGC 7031	NGC 7086
R.A.(2000)	21:07:12	21:30:27
Decl.(2000)	+50:52:30	+51:36:00
Distance (pc)	900	1298
Ang. diam (arcmin)	14.0	12.0
E(B-V) (mag)	0.854	0.807
log(age)	8.138	8.142

Таблица 7.1: Основни параметри на куповете NGC 7031 и NGC 7086 („The new catalogue of open clusters in the Galaxy“ Dias et al. 2002) и базата данни WEBDA.

Данни от предшестващите фотографически изследвания на NGC 7031 и NGC 7086 са представени в Таблица 7.1.

Целта на нашето изследване е:

Name	Citation	Distance pc	Age Myr	E(B-V) mag
NGC 7031	Svolopoulos (1961)	760		1.03
.....	Hoag et al. (1961)	900	137	0.85
.....	Lindoff (1968)	910	56	
.....	Hassan & Barbone (1973)	710	56	0.71
.....	Ruprecht et al. (1981)		280	
.....	Janes & Adler (1982)	700		0.71
NGC 7086	Hassan (1967)	1170	600	0.69
.....	Lindoff (1968)	1205	85	
.....	Janes & Adler (1982)	1200		0.70

Таблица 7.2: Данни от предшестващи изследвания на NGC 7031 и NGC 7086.

1. Да определим почервявяването, разстоянието и възрастта на двата купа чрез BV фотометрия.
2. Да приложим критерия за двойственост, чрез който да направим изводи относно вероятността двата купа да образуват първично двоен куп.

7.2 Наблюдателни данни и тяхната обработка

Куповете са наблюдавани през нощта на 30 май 2006 година с 2-m Ritchey-Chretien телескоп на Националната Астрономическа Обсерватория – Рожен. Използвани са стандартни Johnson BV филтри и 1340x1300 VersArray 1300B CCD камера с 20 μm размер на пиксела, съответстващо на 0.26 arcsec. Така полученото поле върху небето е 5x6 arcmin².

Ъгловото отстояние между центровете на двата купа е приблизително 1 deg и затова не можем да ги наблюдаваме заедно на едно изображение. По време на наблюденията seeing е в интервала 1.6-1.9 arcsec. Първичната обработка на изображенията извършихме със стандартните IRAF процедури, а фотометрията на куповете беше получена с пакета DAOPHOT II. Инструменталната фотометрия трансформирахме в стандартна Johnson-Cousin система, като използвахме стандарти в полето на кълбовидния звезден куп M92 (Majewski et al. (1994)).

Калибровъчните уравнения, които използвахме, имат следната форма:

$$b = B - (0.049 \pm 0.006) + (0.28 \pm 0.02)X - (0.114 \pm 0.006)(B-V)$$

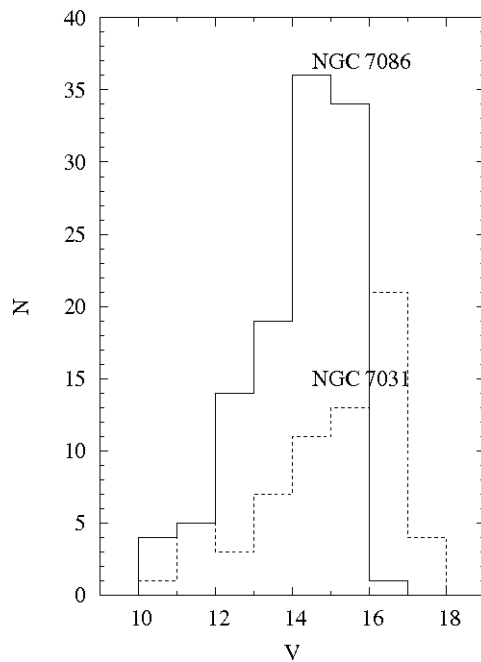
$$v = V - (0.737 \pm 0.006) + (0.16 \pm 0.02)X - (0.038 \pm 0.006)(B-V)$$

където с X е обозначена въздушната маса, с главните букви представяме стандартните величини и цветове, а с малки букви – инструменталните.

7.3 Диаграми цвят-величина и определяне на основните параметри

Функциите на светимост за двата купа са представени на Фигура 7.1, с прекъснатата линия за NGC 7031 и с непрекъснатата за NGC 7086.

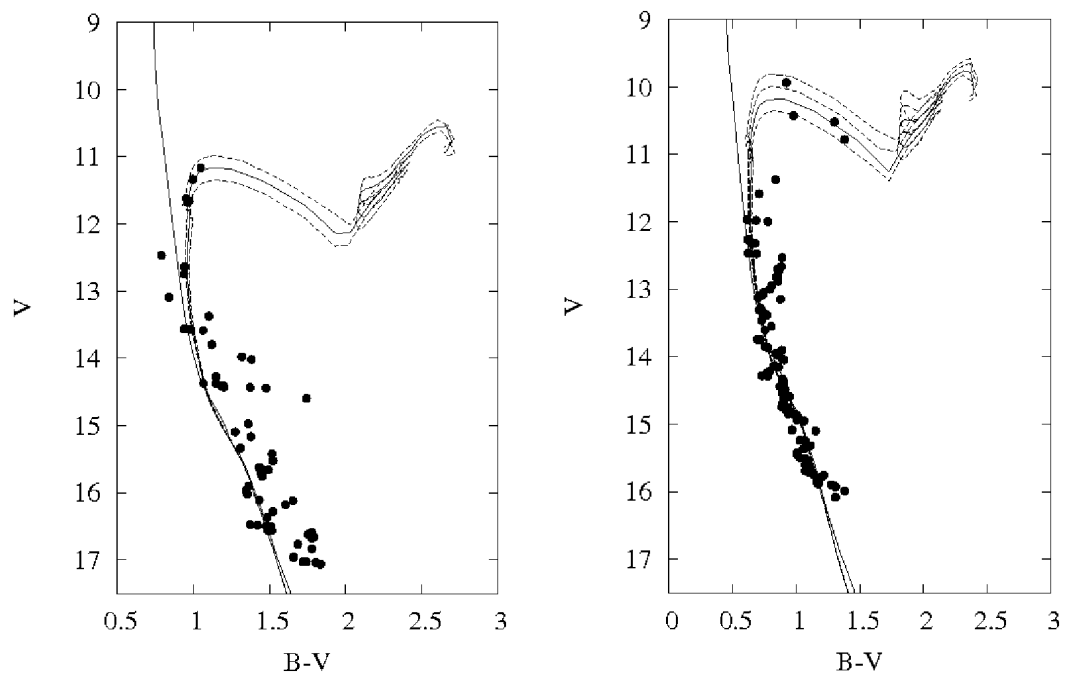
Диаграмите V , $(B-V)$ за NGC 7031 и NGC 7086 са представени на Фигура 7.2. Показани са също нулево-възрастовата главна последователност (ZAMS) на Schmidt-Kaler (1982) с непрекъснатата линия, както и най-добре фитиращите ги изохрони. И двете диаграми показват сравнително широка и слабо еволюирала главна последователност, което е типично за ранните и средните по възраст разсеяни звездни купове. Главната последователност се простира на повече от 6 звездни величини, а пълнотата на фотометрията е до около $V = 15$. За целите на нашето изследване е нужно да имаме фотометрия на младите и масивни звезди, а не на всички звезди от купа, затова тази пълнота на фотометрията е добра.



Фигура 7.1: Функция на светимостта на NGC 7031 (прекъснатата линия) и NGC 7086 (непрекъснатата линия).

Замърсяването от фонови звезди оценихме (подобно на Bonatto & Vica (2008)), като използвахме модела на синтетични звездни населения в Галактиката на Besancon¹. Симулацията показва колко фонови звезди може да очакваме в полето на всеки куп. За NGC 7031 получаваме, че в интервал от звездни величини $V = 11-12$ нямаме замърсяване от фонови звезди, но за NGC 7086 симулацията дава замърсяване от една фонова звезда в интервала $V = 10-11$.

¹<http://bison.obs-besancon.fr/modele/>



Фигура 7.2: Наблюдателни V , $(B-V)$ диаграми на разсеяните звездни купове NGC 7031 (ляво) и NGC 7086 (дясно). Показани са също и най-добре фитиращите ги изохрони.

Модулът на разстоянието, почервявяването и възрастта определихме като наложихме върху наблюдателната V , $(B-V)$ диаграма изохрони от „Женевската група“ Schaller et al. (1992) с металичност $Z = 0.020$. Определените от нас параметри на двата купа са представени в Таблица 7.3.

Parameter	NGC 7031	NGC 7086
E(B-V) (mag)	1.05 ± 0.05	0.75 ± 0.05
(m-M) _v	9.6 ± 0.2	9.9 ± 0.2
Distance (pc)	831 ± 72	955 ± 84
log(Age)	8.35	8.25
Age (Myr)	224 ± 25	178 ± 25

Таблица 7.3: Определени параметри на разсеяните звездни купове NGC 7031 и NGC 7086.

Разликата във възрастта на двата купа NGC 7031 и NGC 7086 според нашите оценки е 46 Myr, а разликата в разстоянията по лъча на зрение е 124 pc. Формалното прилагане на критерия за двойственост води до заключението, че най-вероятно тези два купа не са се образували от един ГПК и не образуват първично двоен звезден куп.

Съществува обаче и възможност за удовлетворяване на критерия за двойственост. Ако минимизираме грешките по възраст между двата купа ($224\text{Myr} - 25\text{Myr} = 199\text{Myr}$ за NGC 7031 и $178\text{Myr} + 25\text{Myr} = 203\text{Myr}$ за NGC 7086) ще получим, че разликата във възрастта на куповете е 4 Myr, което удовлетворява критерия по възраст.

Критерият по разстояние се удовлетворява при следните две условия:

- допускане, че разстоянието от наблюдателя до двата купа е 893 pc ($(831\text{pc} + 955\text{pc})/2 = 893\text{pc}$);
- допускане, че ъгловото отстояние между центровете на двата купа е 1 deg.

Така получаваме пространствено разстояние между двата купа 15 pc.

Имайки предвид тази възможност ние правим заключението, че вероятността двойката NGC 7031/NGC 7086 да образува първично двоен разсеян звезден куп не бива да се отхвърля.

Глава 8

Основни резултати и научни приноси

Изследвани бяха следните четири двойки от разсеяни звездни купове:

King 14/NGC 146
NGC 2383/NGC 2384
Pismis 6/Pismis 8
NGC 7031/NGC 7086

Определихме техните основни параметри (почервяване, разстояние, възраст) с по-голяма точност, и това ни позволява по-уверено и обосновано да се произнесем относно тяхната възможна двойственост.

I. За куповете King 14 и NGC 146 получихме следните резултати:

1. Определихме почервяване:

$$E_{(J-K_S)} = 0.22 \pm 0.02 \text{ за King 14}$$

$$E_{(J-K_S)} = 0.25 \pm 0.02 \text{ за NGC 146}$$

2. Определихме възрасти:

$$\log(\text{age}) = 7.8 \text{ (} 63 \pm 8 \text{ Myr) за King 14}$$

$$\log(\text{age}) = 7.5 \text{ (} 32 \pm 8 \text{ Myr) за NGC 146}$$

Разликата във възрастта на двата купа е 31 Myr, което е 2 пъти над възприетия критерий за двойственост. Базирайки се на тази наша оценка за възрастта, а също и разликите в разстоянието, ние правим извода, че критерият за двойственост не се удовлетворява, и следователно двата

купа King 14/NGC 146 най-вероятно не образуват първично двоен разсеян звезден куп.

II. За куповете NGC 2383 и NGC 2384 получихме следните резултати:

1. Определихме почервяване:

$$E_{J-K_S} = 0.12 \pm 0.05 \text{ за NGC 2383}$$

$$E_{J-K_S} = 0.15 \pm 0.05 \text{ за NGC 2384}$$

2. Определихме възрасти:

$$\log(\text{age}) = 8.3 \text{ (} 200 \pm 6 \text{ Myr) за NGC 2383}$$

$$\log(\text{age}) = 6.9 \text{ (} 8 \pm 6 \text{ Myr) за NGC 2384}$$

Разликата във възрастта на куповете NGC 2383/NGC 2384 е 192 Myr и не покрива критерия за двойственост. Следователно може да направим заключението, че тези два купа най-вероятно не са се образували от един ГПК и не са първично двоен звезден куп.

III. За куповете Pismis 6 и Pismis 8 получихме следните резултати:

1. Определихме почервяване:

$$E_{J-K_S} = 0.25 \pm 0.10 \text{ за Pismis 6}$$

$$E_{J-K_S} = 0.40 \pm 0.10 \text{ за Pismis 8}$$

2. Определихме възрасти:

$$\log(\text{age}) = 6 - 7 \text{ (} 1 - 10 \text{ Myr) за Pismis 6}$$

$$\log(\text{age}) = 6 - 7 \text{ (} 1 - 10 \text{ Myr) за Pismis 8}$$

От съпадението на възрастите може да се заключи, че има голяма вероятност Pismis 6/Pismis 8 да са се образували от един и същ ГПК и следователно са добър кандидат за първично двоен звезден куп.

IV. За куповете NGC 7031 и NGC 7086 получихме следните резултати:

1. Определихме почервяване:

$$E_{B-V} = 1.05 \pm 0.05 \text{ за NGC 7031}$$

$$E_{B-V} = 0.75 \pm 0.05 \text{ за NGC 7086}$$

2. Определихме разстояние:

$$(m - M)_v = 9.6 \pm 0.2 \text{ (831} \pm 72 \text{ pc)} \text{ за NGC 7031}$$

$$(m - M)_v = 9.9 \pm 0.2 \text{ (955} \pm 84 \text{ pc)} \text{ за NGC 7086}$$

3. Определихме възрасти:

$$\log(\text{age}) = 8.35 \text{ (224} \pm 25 \text{ Myr)} \text{ за NGC 7031}$$

$$\log(\text{age}) = 8.25 \text{ (178} \pm 25 \text{ Myr)} \text{ за NGC 7086}$$

Разликата във възрастта на двата купа NGC 7031 и NGC 7086 според нашите оценки е 46 Myr, а разликата в разстоянията по лъча на зрение е 124 pc. Формалното прилагане на критерия за двойственост води до заключението, че най-вероятно тези два купа не са се образували от един ГПК и не образуват първично двоен звезден куп.

Съществува обаче и възможност за удовлетворяване на критерия за двойственост. Ако минимизираме грешките по възраст между двата купа ($224\text{Myr} - 25\text{Myr} = 199\text{Myr}$ за NGC 7031 и $178\text{Myr} + 25\text{Myr} = 203\text{Myr}$ за NGC 7086) ще получим, че разликата във възрастта на куповете е 4 Myr, което удовлетворява критерия по възраст.

Критерият по разстояние се удовлетворява при следните две условия:

– допускане, че разстоянието от наблюдателя до двата купа е 893 pc ($(831\text{pc} + 955\text{pc})/2 = 893\text{pc}$);

– допускане, че ъгловото отстояние между центровете на двата купа е 1 deg.

Така получаваме пространствено разстояние между двата купа 15 pc.

Имайки предвид тази възможност ние правим заключението, че вероятността двойката NGC 7031/NGC 7086 да образува първично двоен разсеян звезден куп не бива да се отхвърля.

Глава 9

Публикации, на които се основава дисертационният труд

1. **V. Kopchev**, G. Petrov, *Astron. Nachr.* / AN 329, No. 8, 845 - 848 (2008) / DOI 10.1002/asna.200711009
"BV photometry of a possible open star cluster pair NGC 7031/NGC 7086"
2. **V. Kopchev**, P. Nedialkov, G. Petrov, *Bulg. J. Phys.* 2006, 33, 68
"Age determination of possible binary open clusters NGC 2383/NGC 2384 and Pismis 6/Pismis 8"
3. **V. Kopchev**, P. Nedialkov, G. Petrov, *Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences* 2005, 58, 12, 1363
"Age determinations of the open star clusters King 14 and NGC 146"
4. **V. Kopchev**, G. T. Petrov, L. Slavcheva-Mihova, *Bulg. J. Phys.* 2007, 34, 236
"UBVRI Photometry of the Possible Binary Open Star Cluster NGC 6755/NGC 6756"
5. **V. Kopchev**, G. Petrov, *Bulgarian Astronomical Journal* 2006, 8, 157
"BV photometry of a possible open star cluster pair NGC 7031/NGC 7086"
6. Petrov G., **Kopchev V.**, *Publ. Astr. Soc. "Rudjer Bošković"* 2009, 9, 405
"Bulgarian virtual observatory. Multicolor observations of open clusters in our Galaxy"

Библиография

- [1] Battinelli P., Capuzzo-Dolcetta R., 1991, MNRAS 249, 76
- [2] Bekki K., Beasley M. A., Forbes D. A., Couch, W. J. 2004, ApJ 602, 730
- [3] Bhatia R. K., Hatzidimitriou D., 1988, MNRAS 230, 215
- [4] Bonatto C., Bica E., 2008, A&A 479, 741
- [5] Dias W. S., Alessi B. S., Moitinho A., Lèpine, J.R.D, 2002, A&A 389, 871
- [6] Dieball A., 2002, "Binary star clusters in the Large Magellanic Cloud" , Ph.D. Thesis, University of Bonn
- [7] de la Fuente Marcos R., de la Fuente Marcos C., 2009, A&A 500, L13
- [8] Ehlerová S., Palouš J., Theis Ch., Hensler G., 1997, A&A 328, 121
- [9] Fujimoto M., Kumai Y., 1997 AJ, 113, 249
- [10] Fitzgerald M. P., Boudreault R., Fich M., Luiken M., Witt A. N., 1979, A&AS 37, 351
- [11] Forbes D., Short S., 1994, AJ 108, 594
- [12] Hatzidimitriou D., Bhatia R. K., 1990, A&A, 230, 11
- [13] Hassan S. M., 1967, Z. Astrophysik 66, 6
- [14] Hassan S. H., Barbon R., 1973, MSAI 44, 39
- [15] Hoag A. A., Johnson H. L., Iriarte B., Mitchell R. I., Hallam K. L., Sharpless S., 1961, Publ. US. Nav. Obs. 17, 347
- [16] Janes K., Adler D., 1982, ApJS 49, 425

- [17] Kharchenko N. V., Piskunov A. E., Röeser S., Schilbach E., Scholz R. D., 2005, *A&A* 438, 1163
- [18] Lindoff U., 1968, *Arkiv för Astronomi* 5, 1
- [19] Lyngå G., 1987, *Catalogue of open star cluster data*
- [20] Majewski S. R., Kron R. G., Koo D. C., Bershadsky M. A., 1994, *PASP* 106, 1258
- [21] Paunzen E., Netopil M., 2006, *MNRAS* 371, 1641
- [22] Pietrzyński, G., Udalski A., 2000, *Acta Astronomica* 50, 355
- [23] Rieke H. G., Lebofsky M. J., 1985, *ApJ* 288, 618
- [24] Rozhavskii F. G., Kuźmina V. A., Vasilevskii A. E., 1976, *Astrophys.* 12, 204
- [25] Ruprecht J., Balazs B., White R., 1981, Budapest: Akademiai Kiado, "Catalogue of star clusters and associations"
- [26] Schaerer D., Meynet G., Maeder A., Schallerat G., 1993, *A&AS* 98, 523
- [27] Schaller G., Schaerer D., Meynet G., Maeder A., 1992, *A&AS* 96, 269
- [28] Schmidt-Kaler T.S., 1982, *Landolt-Bornstein Group 6, Vol.2b*
- [29] Subramaniam A., Gorti U., Sagar R., Bhatt H. C., 1995, *A&A* 302, 86
- [30] Subramaniam A., Sagar R., 1999, *AJ* 117, 937
- [31] Svolopoulos S. N., 1961, *ApJ* 134, 612
- [32] Theis Ch., 1998, in "Dynamics of Galaxies and Galactic Nuclei" , Proc. Ser. I.T.A., Vol. 2, eds. Wolfgang J. Duschl and Christian Einsel, p. 223.
- [33] Uribe A., Garcia-Varela J.-A., Sabogal-Martinez B. E., Higuera G. M. A., Brieva E., 2002, *PASP* 114, 233
- [34] van den Bergh S., 1996 *ApJ* 471, L31
- [35] Vogt N., Moffat A., 1972, *A&AS* 7, 133
- [36] Vogt N., Moffat A., 1973, *A&AS* 9, 97

Abstract

We analyzed the possibility of the existence of binary open star clusters in our Galaxy. Four possible pairs were studied: King 14/NGC 146, NGC 2383/NGC 2384, Pismis 6/Pismis 8, NGC 7031/NGC 7086. In our study we used the following criterion for a binary cluster:

Two clusters form a primordial binary cluster if the distance between them is ≤ 20 pc, and the difference in their age is ≤ 10 Myr.

For the open star clusters King 14, NGC 146, NGC 2383, NGC 2384, Pismis 6 and Pismis 8 we used 2MASS J and Ks photometry and fitted their colour-magnitude diagrams (CMDs) with isochrones based on the Geneva models with metallicity $Z = 0.008$.

We found:

King 14: $\log(\text{age}) = 7.8$ (63 ± 8 Myr)
 NGC 146: $\log(\text{age}) = 7.5$ (32 ± 8 Myr)
 NGC 2383: $\log(\text{age}) = 8.3$ (200 ± 6 Myr)
 NGC 2384: $\log(\text{age}) = 6.9$ (8 ± 6 Myr)

The difference in age between King 14/NGC 146 is 31 Myr, and the one between NGC 2383/NGC 2384 is 192 Myr. Both differences are bigger than our criterion for a binary cluster, so we conclude that the two pairs of clusters above most likely do not form primordial binary clusters.

For Pismis 6/Pismis 8 we found similarity of age: $\log(\text{age}) = 6 - 7$ (1 - 10 Myr), and we conclude that they are a good candidate for a binary cluster.

For NGC 7031/NGC 7086 we used B and V Johnson-Cousin photometry and fitted their CMDs with isochrones with metallicity $Z = 0.020$.

We found also:

$(m - M)_v = 9.6 \pm 0.2$ (831 ± 72 pc) for NGC 7031
 $(m - M)_v = 9.9 \pm 0.2$ (955 ± 84 pc) for NGC 7086
 $\log(\text{age}) = 8.35$ (224 ± 25 Myr) for NGC 7031
 $\log(\text{age}) = 8.25$ (178 ± 25 Myr) for NGC 7086

Our estimation of the age difference between NGC 7031 and NGC 7086 is 46 Myr, and the difference in distance along the line of sight is 124 pc. The formal application of the criterion for binary clusters makes us conclude that most likely the two clusters were not formed together from the same giant molecular cloud, and are not a true binary cluster. However, it is possible that the criterion for binary clusters is satisfied. If we minimize the errors in the age determination of the two clusters ($224\text{Myr} - 25\text{Myr} = 199\text{Myr}$ за NGC 7031 и $178\text{Myr} + 25\text{Myr} = 203\text{Myr}$ за NGC 7086), we shall obtain a difference in the age of the clusters of 4 Myr which satisfies the age criterion.

The distance criterion is satisfied under the following two conditions:

- assuming that the distance between the observer and the two clusters is 893 pc ($(831\text{pc} + 955\text{pc})/2 = 893\text{pc}$);
- assuming that the angular separation between the centers of the clusters is 1 degree.

Thus, the separation between the two clusters becomes 15 pc.

Given this possibility we conclude that the probability of the two clusters NGC 7031/NGC 7086 forming a true binary cluster should not be ruled out.)