

УДК 524.45:520.82

## ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЙАННОГО ЗВЕЗДНОГО СКОПЛЕНИЯ NGC 225

© 2022 Л. Н. Ялялиева<sup>1,2\*</sup>, Е. В. Глушкова<sup>1,2</sup>,  
Дж. Карраро<sup>3</sup>, Н. П. Иконникова<sup>2</sup>, Д. Гасымов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

<sup>2</sup>Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

<sup>3</sup>Университет Падуи, Падуя, I-35122 Италия

Поступила в редакцию 07 ноября 2021 года; после доработки 14 декабря 2021 года;  
принята к публикации 14 декабря 2021 года

NGC 225 — это молодое, относительно бедное скопление, для которого наблюдается расхождение оценок возраста, расстояния и избытка цвета, полученных разными авторами. Для определения параметров скопления NGC 225 и изучения закона поглощения в его направлении мы дополнили нашу фотометрию данными больших обзоров (2MASS, WISE, Pan-STARRS). С помощью теоретических изохрон мы получили избыток цвета  $E(B - V) = 0.29 \pm 0.01$ , расстояние  $D = 667 \pm 18$  пк и возраст 100–160 млн. лет. Мы аппроксимировали поглощение в инфракрасном диапазоне согласно степенному соотношению  $\lambda^{-\alpha}$  и нашли  $\alpha = 2.16 \pm 0.34$ .

Ключевые слова: (Галактика): рассеянные скопления и ассоциации: общие свойства — (Галактика): рассеянные скопления и ассоциации: отдельные: NGC 225 — техника: фотометрия

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Исследование Галактики, ее структуры и эволюции всегда было главным и наиболее важным разделом астрономии. Как этап в иерархии формирования звезд, рассеянные звездные скопления (РС) могут служить ключом к более глубокому пониманию процессов, происходящих в Млечном Пути. Звезды, входящие в РС, имеют некоторые общие физические свойства, которые дают возможность исследовать их специальными методами. NGC 225 — это умеренно населенное звездное скопление, для которого были опубликованы очень противоречивые оценки параметров. Разброс оценок возраста этого скопления по данным разных авторов составляет от менее чем 10 млн. лет (Subramaniam et al. 2006) до  $900 \pm 100$  млн. лет (Bilir et al. 2016). Согласно Lattanzi et al. (1991), расстояние до скопления  $d = 525 \pm 73$  пк, в то время как недавний анализ, основанный на Gaia DR2 (Brown et al. 2018), дает  $d = 684.3$  пк (Cantat-Gaudin et al. 2018). Subramaniam et al. (2006), Svoropoulos (1962) опубликовали оценку избытка цвета  $E(B - V) = 0.29$ , а Bilir et al. (2016) нашли, что  $E(B - V) = 0.151 \pm 0.047$ . Цель нашей работы — разрешить имеющиеся противоречия в

оценках параметров и исследовать закон поглощения в направлении NGC 225, используя наши собственные фотометрические наблюдения в полосах  $U, B, V, R_c, I_c$  и данные больших фотометрических обзоров.

### 2. АЛГОРИТМ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Для определения вероятности того, что звезда принадлежит скоплению, мы провели кластерный анализ в трехмерном пространстве. Мы проанализировали данные из каталога Gaia DR2 (Brown et al. 2018) о собственных движениях и параллаксах звезд в пределах площадки радиусом  $25'$  с координатами центра  $\alpha = 00^{\text{h}}43^{\text{m}}31^{\text{s}}$ ,  $\delta = 61^{\circ}47'43''$ . Рассматривались только звезды с ошибками параллакса менее 20%. Применение алгоритмов кластеризации без предварительных знаний свойств изучаемых групп обычно является очень сложной задачей. К счастью, звезды скопления NGC 225 формируют заметную группу на диаграмме собственных движений в области  $\mu_{\alpha}^* \approx -5.3$  мсек. дуги год<sup>-1</sup>,  $\mu_{\delta} \approx -0.15$  мсек. дуги год<sup>-1</sup>, где  $\mu_{\alpha}^* = \mu_{\alpha} \cos \delta$  и  $\mu_{\delta}$  — компоненты собственного движения по прямому восхождению и склонению соответственно. Средняя величина параллакса звезд

\*E-mail: yalyalieva@yandex.ru

Таблица 1. Фотометрические наблюдения NGC 225

Дата	Фильтр	Экспозиция, с	Воздушная масса
17/08/2020	U	3 × 100	1.05
		3 × 150	1.05
	B	3 × 10	1.05
		3 × 30	1.05
	V	3 × 3	1.05
		3 × 5	1.05
	R <sub>c</sub>	3 × 1	1.05
		3 × 2	1.05
	I <sub>c</sub>	3 × 2	1.05
		3 × 3	1.05
15/09/2020	U	5 × 50	1.10
		3 × 150	1.09–1.10
	B	5 × 10	1.10
		3 × 50	1.09
	V	5 × 1	1.10
		3 × 10	1.09
	R <sub>c</sub>	5 × 1	1.10
		3 × 5	1.09
	I <sub>c</sub>	5 × 1	1.10
		3 × 5	1.09

с таким собственным движением составляет  $plx \approx 1.4$  мсек. дуги. В нашей процедуре кластеризации мы взяли эти значения собственного движения как первое приближение для центра скопления.

Мы выбрали написанную на языке Python реализацию алгоритма DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), который входит в библиотеку SCIKIT-LEARN (Pedregosa et al. 2011). DBSCAN разбивает входные данные на группы и точки шума; последние не связаны ни с какой группой. Внутри отдельной группы алгоритм рассматривает все точки либо как основные, либо как соседние с ними. DBSCAN требуется два главных параметра:  $eps$  — максимальное расстояние между двумя точками, которые считаются находящимися в окрестности друг друга, и  $N$  — минимальное количество точек в окрестности точки, которая рассматривается как

Таблица 2. Фотометрические наблюдения NGC 7790

Дата	Фильтр	Экспозиция, с	Воздушная масса
17/08/2020	U	3 × 100	1.05
	B	3 × 60	1.05
	V	3 × 10	1.05
	R <sub>c</sub>	3 × 5	1.05
	I <sub>c</sub>	3 × 5	1.05
15/09/2020	U	3 × 150	1.08–1.09
	B	3 × 60	1.09
	V	3 × 10	1.08
	R <sub>c</sub>	3 × 5	1.08
	I <sub>c</sub>	3 × 10	1.08

центральная. Мы провели процесс кластеризации с параметрами, охватывающими интервалы  $eps = 0.01–0.99$ ,  $N = 1–150$ , что соответствует результатам кластеризации для модели, в которой есть две группы: одна со средними параметрами, как найдено выше для NGC 225, а вторая состоит из звезд переднего плана и шума. Мы нашли 128 звезд с вероятностью принадлежности скоплению больше 50%.

### 3. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Мы провели два сета фотометрических наблюдений, в ночи на 17/18 августа и 15/16 сентября 2020 г., на 60-см телескопе ГАИШ Кавказской Горной обсерватории, используя CCD-камеру Andor iKon-L (2048 × 2048 пикселей, размер пикселя 13.5 мкм, масштаб 0".67 на пиксель) и набор фотометрических фильтров (Verdnikov et al. (2020)). Мы получили снимки центральной части скопления в поле с радиусом около 22' × 22'. Наблюдения были выполнены в полосах U, B, V, R<sub>c</sub>, I<sub>c</sub> в двух режимах, с короткой и длинной экспозициями, для самых ярких и для более слабых звезд, соответственно (таблица 1). Редукция включала учет «электронного нуля» и коррекцию неоднородности чувствительности с помощью кадров нулевой экспозиции и «плоского поля», которые делались каждую ночь. Мы провели PSF-фотометрию (Stetson 1987) с помощью программного обеспечения IRAF DAOPHOT/ALLSTAR PSF. Рассчитывая функцию PSF для каждого кадра отдельно, мы брали 10–20 изолированных ярких звезд по всему кадру, и для всех звезд была сделана поправка за апертуру. Коррекция была определена по данным

апертурной фотометрии тех же звезд, которые использовались в построении PSF.

При переводе инструментальных величин в стандартную систему Джонсона–Крона–Казинса мы взяли информацию из базы данных Stetson<sup>1</sup> для звезд рассеянного скопления NGC 7790, которое мы наблюдали в те же самые ночи (таблица 2). Были получены следующие уравнения перехода:

$$\begin{aligned} u &= U + u_1 + u_2(U - B), \\ b &= B + b_1 + b_2(B - V), \\ v &= V + v_1 + v_2(B - V), \\ r &= R_c + r_1 + r_2(R_c - I_c), \\ i &= I_c + i_1 + i_2(V - I_c), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $u, b, v, r, i$  — инструментальные величины,  $U, B, V, R_c, I_c$  — стандартные величины,  $u_1, u_2, b_1, b_2, v_1, v_2, r_1, r_2, i_1$  и  $i_2$  — вычисленные коэффициенты. Как видно из таблиц 1 и 2, оба скопления наблюдались на одинаковой воздушной массе, поэтому зависимость от воздушной массы мы из уравнений исключили. Астрометрическая привязка (преобразование прямоугольных координат в экваториальную систему — прямое восхождение и склонение на эпоху J2000.0) была сделана с помощью Astrometry.net tool (Lang et al. 2010).

В итоге мы получили фотометрию в полосах фильтров  $U, B, V, I_c$  и  $R_c$  для 29, 36, 40, 39 и 54 звезд соответственно. Оказалось, что сигнал для четырех самых ярких звезд перекоплен, поэтому их величины в  $V$ -фильтре мы вычислили через цветовой индекс ( $V - I_c$ ). Полученные нами фотометрические данные для членов скопления доступны по указанной ссылке<sup>2</sup>.

Мы сравнили наши фотометрические результаты с фотоэлектрической  $UBV$ -фотометрией из работы Hoag et al. (1961) и обнаружили пересечение с данными для 11 звезд в фильтре  $V$  и для семи — с цветовыми индексами  $B - V$  и  $U - B$ . Сравнение показало следующие различия (в дальнейшем мы приводим разности между результатами нашей фотометрии и данными из литературы):

$$\begin{aligned} \Delta V &= -0.060 \pm 0.013, \\ \Delta(B - V) &= -0.056 \pm 0.011, \\ \Delta(U - B) &= 0.294 \pm 0.012. \end{aligned} \quad (2)$$

<sup>1</sup><https://www.canfar.net/storage/list/STETSON/Standards>

<sup>2</sup>[http://www.sai.msu.ru/groups/cluster/cl/Ngc225\\_photometry/](http://www.sai.msu.ru/groups/cluster/cl/Ngc225_photometry/)

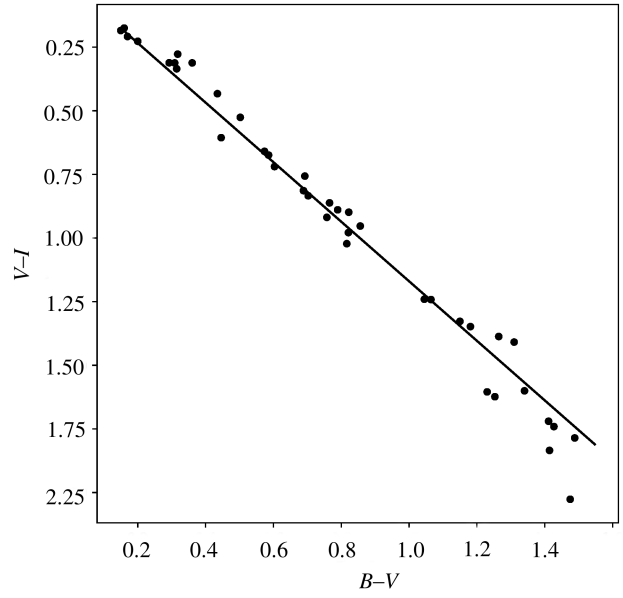


Рис. 1. Диаграмма «цвет–цвет» ( $V - I$  от  $B - V$ ).

Как упоминалось выше, в полосе  $B$  звезды s1, s2, s3 и s4 были перекоплены, поэтому мы взяли их цветовые индексы  $U - B$  и  $B - V$  из Hoag et al. (1961). Заметим, что  $\Delta(U - B)$  намного больше, чем соответствующие различия в  $V$  и  $B - V$ . Чтобы убрать эту разницу между нашими данными и данными  $U - B$ , полученными в работе Hoag et al. (1961), мы сместили наши цветовые индексы в соответствии с разницей.

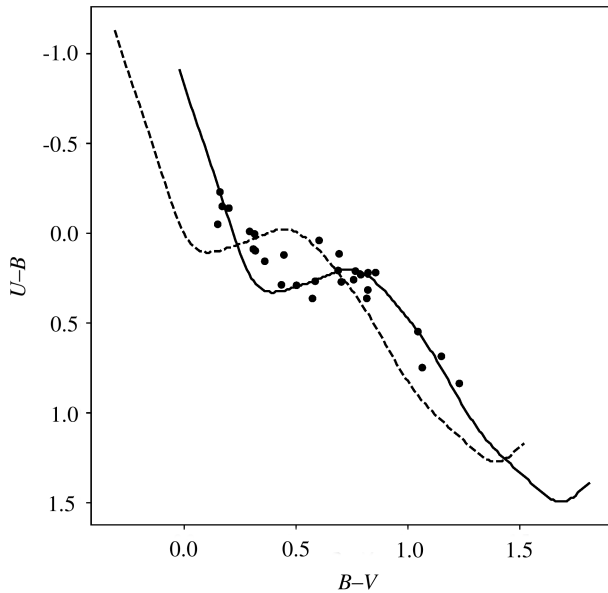
Мы сравнили наши результаты с данными из обзора APASS (The AAVSO Photometric All Sky Survey) (Henden et al. 2015) и нашли пересечение для 25 звезд в полосе  $V$ , и для 21 звезды с цветовыми индексами  $B - V$ . Сравнение показало следующие результаты:

$$\begin{aligned} \Delta V &= -0.050 \pm 0.006, \\ \Delta(B - V) &= -0.014 \pm 0.015. \end{aligned} \quad (3)$$

Мы также использовали уравнения для преобразования величин в фильтрах Gaia  $G, B_P$  и  $R_P$  в фотометрическую систему Джонсона–Казинса<sup>3</sup>, и получили следующую разницу с полученными нами фотометрическими данными:

$$\begin{aligned} \Delta V &= 0.030 \pm 0.008, \\ \Delta I &= 0.030 \pm 0.009, \\ \Delta R &= -0.019 \pm 0.009. \end{aligned} \quad (4)$$

<sup>3</sup><https://gea.esac.esa.int/archive/documentation/GDR2/>

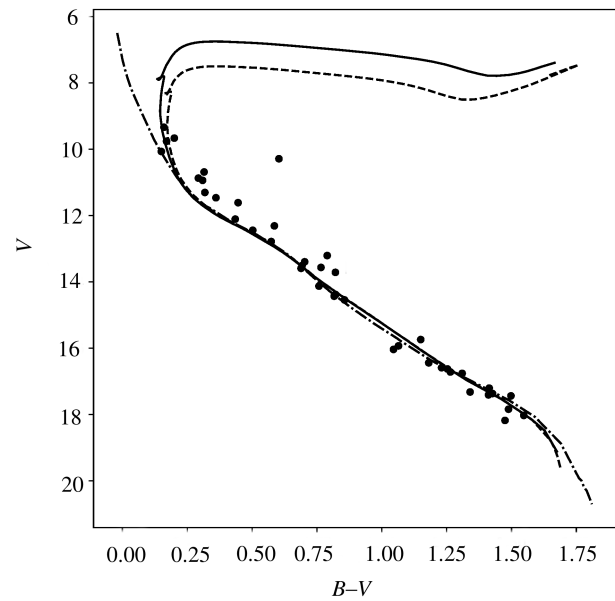


**Рис. 2.** Диаграмма  $U - B$  от  $B - V$ . Штриховая и сплошная линии показывают собственную и смещенную с учетом покраснения ZAMS, соответственно.

#### 4. ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ РАССТОЯНИЕ И ВОЗРАСТ

Чтобы найти фотометрические расстояния и изучить условия в ближайшей окрестности скопления, мы следовали подходу, описанному в статье Yalyalieva et al. (2020). Сначала мы вычислили отношение полного поглощения к селективному в направлении скопления  $R_V = A_V/E(B - V)$ , и наклон вектора покраснения  $(U - B)/(B - V)$  при помощи уравнений для оптического и ближнего инфракрасного (NIR) диапазонов из работы Cardelli et al. (1989). С этой целью наклон вектора покраснения  $(V - I)/(B - V)$  мы определили путем взвешенной аппроксимации по методу наименьших квадратов для диаграммы «цвет–цвет» ( $(V - I)$  от  $(B - V)$ ), где звезды распределены вдоль прямой линии (рис. 1). Мы нашли значения  $R_V = 3.03 \pm 0.02$  и  $(U - B)/(B - V) = 0.767 \pm 0.001$ . Очень близкое значение  $R_V = 3.04$  для этого скопления ранее было получено в работе Turner (1976).

Мы подобрали к нашей диаграмме «цвет–цвет» ( $(V - I)$  от  $(B - V)$ ) теоретическую главную последовательность нулевого возраста (ZAMS) (Turner 1996), для того чтобы оценить избыток цвета  $E(B - V) = 0.29 \pm 0.01$  (рис. 2). Затем мы учли эту оценку избытка цвета при определении модуля видимого расстояния с помощью ZAMS для диаграммы «цвет–звездная величина»  $V$  от  $(B - V)$  и нашли  $(m - M)_V = 10^m 0 \pm 0^m 05$  (рис. 3). Используя эти результаты, мы определили модуль расстояния до скопления  $(m - M)_0 = 9^m 12 \pm 0^m 06$



**Рис. 3.** Диаграмма «цвет–звездная величина»  $V$  от  $B - V$ . Штриховая и сплошная линии показывают смещенные изохроны с  $\lg \text{Age} = 8.0$  и  $\lg \text{Age} = 8.2$ . Штрих-пунктирная линия показывает сдвинутую ZAMS.

и расстояние  $D = 667 \pm 18$  пк, и с помощью совмещения с теоретическими изохронами PARSEC + COLIBRI (Bressan et al. 2012) получили оценку возраста  $\lg \text{Age} = 8.0 - 8.2$ .

Мы сравнили наше фотометрическое расстояние с данными Bailer-Jones et al. (2021). Медианное значение ( $r_{geo}$ ), 16-й процентиль ( $b_{r_{geo}}$ ) и 84-й процентиль ( $B_{r_{geo}}$ ) геометрического расстояния равны 682, 664 и 707 пк соответственно, и очень хорошо согласуются с нашей оценкой. Полученное расстояние также в хорошем согласии с оценкой  $d = 684.3$  пк (Cantat-Gaudin et al. 2018).

Примечательно, что в цветовом диапазоне  $0^m 3 < (B - V) < 0^m 8$  последовательность возможных двойных звезд хорошо заметна (рис. 3). Доля двойных звезд в рассеянных скоплениях меняется от одного скопления к другому и может достигать 70% (Sollima et al. 2010). Для определения доли двойных звезд в NGC 225 необходимо провести дальнейшее исследование, что выходит за рамки данной работы.

#### 5. ПОГЛОЩЕНИЕ В БЛИЖНЕМ ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ

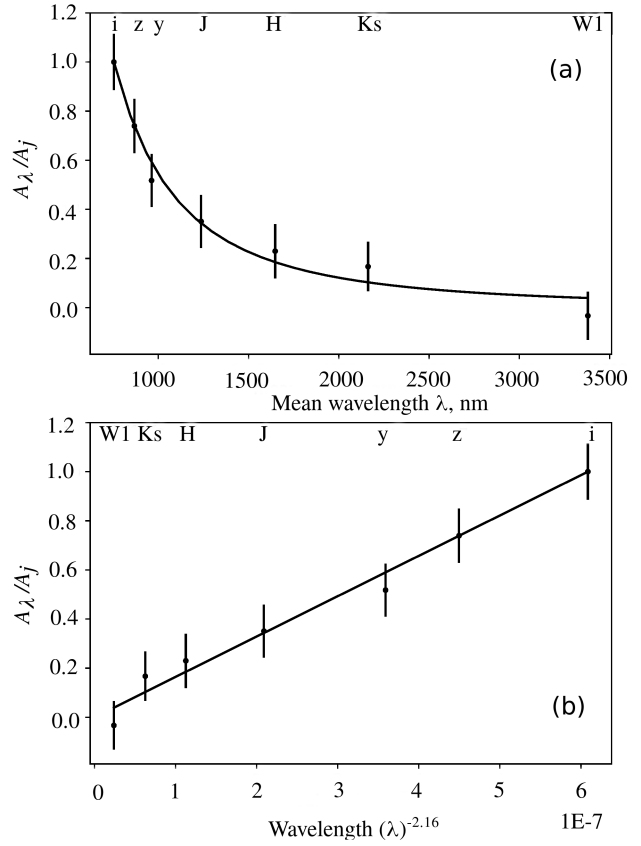
Предполагается, что поглощение в ближнем инфракрасном диапазоне достаточно хорошо описывается степенной функцией  $A_\lambda \propto \lambda^{-\alpha}$ . В своей классической работе Cardelli et al. (1989) нашли значение  $\alpha = 1.61$  для диапазона длин волн

**Таблица 3.** Среднее значение длины волны  $\lambda$  для используемых фильтров

Обзор	Фильтр	$\lambda$ , мкм
Pan-STARRS	<i>i</i>	0.75
	<i>z</i>	0.87
	<i>y</i>	0.96
2MASS	<i>J</i>	1.24
	<i>H</i>	1.65
	<i>K<sub>s</sub></i>	2.16
WISE	<i>W1</i>	3.38

$0.9 \text{ мкм} < \lambda < 3.3 \text{ мкм}$ . Однако величины  $\alpha$ , опубликованные разными авторами за многие годы, разбросаны в интервале  $1.5 \lesssim \alpha \lesssim 2.3$ , включая даже такие большие, как  $\alpha \approx 2.6$  (Matsunaga et al. 2018). Для того, чтобы вычислить  $\alpha$  в направлении скопления NGC 225, мы использовали фотометрию в ближнем инфракрасном диапазоне в следующих фильтрах: *J*, *H*, *K<sub>s</sub>* из обзора 2MASS (Cutri et al. 2003), *y*, *z*, *i* из обзора Pan-STARRS (Chambers et al. 2016) и в фильтре *W1* из обзора WISE (Cutri and et al. 2012). Средние значения длин волн этих фильтров приведены в таблице 3. Мы не рассматривали данные WISE в фильтре *W2* (средняя длина волны  $\lambda = 4.6 \text{ мкм}$ ) из-за возможного пика абсорбции, который предполагается около  $4.5 \text{ мкм}$  (Gontcharov 2016).

Мы провели фотометрические наблюдения в фильтрах *U*, *B*, *V* только для области размером порядка  $22' \times 22'$ , в то время как радиус скопления составляет примерно  $25'$ . Поэтому мы предпочли взять за основу в наших вычислениях величины  $G_{\text{Gaia}}$ , используя Gaia в качестве нашего основного каталога для идентификации членов скопления. Мы следовали процедуре, описанной в работе Yalyaliev et al. (2018). Мы использовали оценку модуля расстояния  $(m - M)_0$  для расчета модуля видимого расстояния в *G*-фильтре Gaia и нашли, что он равен  $(m - M)_G = 9^m 86$ . Затем с помощью изохрон из работы Bressan et al. (2012) приписали каждой звезде оценку температуры в соответствии с абсолютной величиной в *G*-фильтре. С учетом температуры мы можем вычислить абсолютные величины  $M_\lambda$  в фильтрах, указанных в Таблице 3. Чтобы получить видимые величины  $m_\lambda$ , мы сопоставили наш список потенциальных членов скопления с каталогами, задав радиус кросс-матча  $r = 1''5$ . Мы нашли 125 звезд, общих с каталогами 2MASS и Pan-STARRS, и 110 — с WISE.



**Рис. 4.** На панели (a) показана зависимость экстинкции  $A_\lambda/A_i$  от  $\lambda$ . Сплошная линия соответствует степенному закону  $A_\lambda \propto \lambda^{-2.16}$ . На панели (b) показана зависимость экстинкции  $A_\lambda/A_i$  от  $\lambda^{-2.16}$ .

Затем мы использовали известный модуль расстояния  $(m - M)_0$ , чтобы вычислить поглощение в каждом фильтре для каждой звезды, используя  $A_\lambda = (m - M)_\lambda - (m - M)_0$ . Затем мы вычислили среднее поглощение для скопления. Для этого мы применили к распределению  $A_\lambda$  ядерную оценку плотности с оптимальной полосой пропускания, подобранной методом перекрестной проверки. Мы использовали процедуру минимизации, чтобы найти значение  $A_\lambda$ , соответствующее максимуму распределения. Для учета погрешностей в определении звездных величин мы добавили их к звездным величинам и повторили вычисления. Рассматривая разницу между полученными значениями поглощения как неопределенность  $\sigma_\lambda$ , мы аппроксимировали средние значения  $A_\lambda$  степенной функцией  $A_\lambda \propto \lambda^{-\alpha}$ , используя веса  $1/\sigma_\lambda^2$ . В результате мы нашли, что  $\alpha = 2.16 \pm 0.34$  (рис. 4).

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой работе мы представили результаты фотометрического исследования рассеянного

звездного скопления NGC 225. Мы использовали как нашу собственную фотометрию в полосах  $U, B, V, R_c, I_c$ , так и инфракрасные данные из обзоров 2MASS, WISE, Pan-STARRS. Мы получили список возможных членов скопления, применив алгоритм кластеризации DBSCAN в трехмерном пространстве собственного движения и параллакса. С помощью диаграмм «цвет–цвет» ( $(U - B)$  от  $(B - V)$ ) и «цвет–звездная величина» ( $V$  от  $(B - V)$ ) мы получили оценки избытка цвета  $E(B - V) = 0.29 \pm 0.01$ , расстояния  $D = 667 \pm 18$  пк, и возраста скопления  $\lg \text{Age} = 8.0 - 8.2$  или 100–160 млн. лет. Чтобы изучить закон поглощения в ближнем инфракрасном диапазоне, мы использовали данные 2MASS, Pan-STARRS и WISE. Предполагая, что он может быть аппроксимирован степенной функцией  $A_\lambda \propto \lambda^{-\alpha}$ , мы получили  $\alpha = 2.16 \pm 0.34$ .

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Андрея Дамбиса за помощь в подготовке статьи для публикации. В этой работе использовались данные из миссии *Gaia* Европейского Космического Сообщества (ESA) (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>), подготовленные Консорциумом по Обработке и Анализу Данных *Gaia*, Data Processing and Analysis Consortium (DPAC, <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). Финансирование DPAC было обеспечено национальными институтами, в частности теми, которые участвуют в соглашении *Gaia* Multilateral Agreement. Эта публикация использует данные из обзора Two Micron All Sky Survey, который является совместным проектом Массачусетского Университета и IPAC (Infrared Processing and Analysis Center)/California Institute of Technology, который финансируется NASA и NSF. Эта публикация использует данные обзора Wide-field Infrared Survey Explorer, который является совместным проектом Калифорнийского Университета (Лос-Анджелес) и Лаборатории Реактивного Движения (JPL) (Калифорнийский Технологический Институт), и который финансируется NASA. Обзоры Pan-STARRS1 (PS1) и научный архив общего доступа PS1 стали возможны благодаря вкладу таких институтов и организаций, как the Institute for Astronomy, the University of Hawaii, the Pan-STARRS Project Office, the Max Planck Society and its participating institutes, the Max Planck Institute for Astronomy, Heidelberg and the Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching, The Johns Hopkins University, Durham University, the University of Edinburgh, the Queen's University Belfast, the Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, the Las Cumbres Observatory

Global Telescope Network Incorporated, the National Central University of Taiwan, the Space Telescope Science Institute, the National Aeronautics and Space Administration (грант № NNX08AR22G, выдан отделом Планетных исследований научного директората NASA), the National Science Foundation (грант № AST-1238877), the University of Maryland, Eotvos Lorand University (ELTE), the Los Alamos National Laboratory, и the Gordon and Betty Moore Foundation.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-32-90124.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. A. L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Fouesneau, et al., *Astron. J.* **161** (3), 147 (2021).
2. L. N. Berdnikov, A. A. Belinskii, N. I. Shatskii, et al., *Astronomy Reports* **64** (4), 310 (2020).
3. S. Bilir, Z. F. Bostancı, T. Yontan, et al., *Advances in Space Research* **58** (9), 1900 (2016).
4. A. Bressan, P. Marigo, L. Girardi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **427** (1), 127 (2012).
5. A. G. A. Brown et al. (Gaia Collaboration), *Astron. and Astrophys.* **616**, A1 (2018).
6. T. Cantat-Gaudin, C. Jordi, A. Vallenari, et al., *Astron. and Astrophys.* **618**, A93 (2018).
7. J. A. Cardelli, G. C. Clayton, and J. S. Mathis, *Astrophys. J.* **345**, 245 (1989).
8. K. C. Chambers, E. A. Magnier, N. Metcalfe, et al., arXiv:1612.05560 (2016).
9. R. M. Cutri and et al., *VizieR Online Data Catalog II/311* (2012).
10. R. M. Cutri, M. F. Skrutskie, S. van Dyk, et al., *VizieR Online Data Catalog II/246* (2003).
11. G. A. Gontcharov, *Astrophysics* **59** (4), 548 (2016).
12. A. A. Henden, S. Levine, D. Terrell, and D. L. Welch, in *Amer. Astron. Soc. Meet. Abstracts*, **25**, 336.16 (2015).
13. A. A. Hoag, H. L. Johnson, B. Iriarte, et al., *Publ. U.S. Naval Observatory Second Series* **17**, 344 (1961).
14. D. Lang, D. W. Hogg, K. Mierle, et al., *Astron. J.* **139** (5), 1782 (2010).
15. M. G. Lattanzi, G. Massone, and U. Munari, *Astron. J.* **102**, 177 (1991).
16. N. Matsunaga, G. Bono, X. Chen, et al., *Space Sci. Rev.* **214** (4), 74 (2018).
17. F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, et al., *J. Machine Learning Research* **12**, 2825 (2011).

18. A. Sollima, J. A. Carballo-Bello, G. Beccari, et al., Monthly Notices Royal Astron. Soc. **401** (1), 577 (2010).
19. P. B. Stetson, Publ. Astron. Soc. Pacific **99**, 191 (1987).
20. A. Subramaniam, B. Mathew, and S. S. Kartha, Bull. Astron. Soc. India **34** (4), 315 (2006).
21. S. N. Svolopoulos, Astrophys. J. **136**, 788 (1962).
22. D. G. Turner, Astron. J. **81**, 1125 (1976).
23. D. G. Turner, ASP Conf. Ser., **90**, 443 (1996).
24. L. Yalyalieva, G. Carraro, R. Vazquez, et al., Monthly Notices Royal Astron. Soc. **495** (1), 1349 (2020).
25. L. N. Yalyalieva, A. A. Chemel, E. V. Glushkova, et al., Astrophysical Bulletin **73** (3), 335 (2018).

### Photometric Study of the Open Cluster NGC 225

L. N. Yalyalieva<sup>1,2</sup>, E. V. Glushkova<sup>1,2</sup>, G. Carraro<sup>3</sup>, N. P. Ikonnikova<sup>2</sup>, and D. Gasymov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Physics Department, Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

<sup>2</sup>Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

<sup>3</sup>Department of Physics and Astronomy, Padova University, Vicolo Osservatorio 3, I-35122, Padova, Italy

NGC 225 is a young moderately populated cluster with discrepant age, distance, and color excess estimates reported by different authors. We combine our photometry with the data from large surveys (2MASS, WISE, Pan-STARRS) to derive the parameters of NGC 225 and study the extinction law in the near infrared in the direction of the cluster. We use theoretical isochrones to infer the color excess  $E(B - V) = 0.29 \pm 0.01$ , distance  $D = 667 \pm 18$  pc, and Age = 100–160 Myr. We fit extinction in the infrared by a power-law relation,  $\lambda^{-\alpha}$ , and find  $\alpha = 2.16 \pm 0.34$ .

Keywords: (*Galaxy*): open clusters and associations: general—(*Galaxy*): open clusters and associations: individual: NGC 225—techniques: photometric