

Накопление новых знаний о внутреннем устройстве рассеянных звездных скоплений на основе интенсивного использования данных

© С.В. Верещагин

© Е.С. Постникова

Институт астрономии Российской академии наук,
Москва, Россия

svvs@ya.ru

es_p@list.ru

Аннотация. Предложена методика исследования движений звезд внутри рассеянных звездных скоплений. Она позволяет выявить детали устройства скопления на основе точных измерений астрометрических параметров звезд. На основе последовательного перебора множества скоплений и применения единой методики строится конвейер. Анализ результатов массовой обработки позволит выявить закономерности и связи внутреннего устройства скоплений с их параметрами и положением в Галактике. Актуальности проблеме добавляет то обстоятельство, что запущенный недавно космический телескоп GAIA исследует, в частности, звезды скоплений.

Ключевые слова: звездные каталоги, звездные группы, рассеянные звездные скопления, реестр наименований скоплений, номера звезд, входящих в скопления, AD-диаграмма, апекс звезды.

Accumulation of New Knowledge about the Internal Structure of an Open Star Clusters on the Basis of Intensive Use of Data

© S.V. Vereshchagin

© E.S. Postnikova

Institute of Astronomy of Russian academy of Science,
Moscow, Russia

svvs@ya.ru

es_p@list.ru

Abstract. A technique for studying the motions of stars inside open star clusters is proposed. It allows revealing the details of the cluster device on the basis of precise measurements of the astrometric parameters of the stars. Successively scanning a lot of clusters and applying a uniform technique, a processing pipeline is built. Analysis of the results of mass processing will reveal the patterns and relationships of the internal arrangement of clusters with their parameters and position in the Galaxy. Actuality of the problem is added by the fact that the recently launched space telescope GAIA investigates, in particular, star clusters.

Keywords: catalogues, star reviews, star groups, open star clusters, register of clusters names, star numbers into clusters, AD-diagram, star apex.

1 Введение

Рассеянные звездные скопления (РЗС) – важные представители населения Млечного Пути. Фундаментальные астрофизические параметры скоплений, такие, как возрасты и массы, могут быть определены надежнее и точнее, чем для отдельных звезд. С их помощью изучают, с одной стороны, образование и начальные стадии эволюции звезд, а с другой – динамическую, фотометрическую и химическую эволюцию Галактики.

В ближайшие годы есть перспектива открыть до ста тысяч скоплений. Учитывая, что в состав скопления входят от десятков до тысяч звезд, становится понятно, что мы имеем дело с большими данными. Этот фактор важен в данной работе, поскольку мы изучаем именно внутреннюю структуру отдельных скоплений. Огромную роль играют уже накопленные знания, без которых использование вновь получаемых данных неэффективно. Это намного увеличивает объем обрабатываемой информации.

Накопления знаний о внутреннем устройстве скоплений имеет как теоретический, так и наблюдательный аспекты. Учитывая широту материала и специфику работы, рассмотрим лишь наблюдательный аспект. В рамках наблюдений

перспективными представляются исследования звездного состава скоплений, обнаружение разного рода особенностей в их строении, а также необычных звезд и экзопланет. Последнее связано с тем, что любое скопление представляет ансамбль звезд различных масс и светимостей, сосредоточенных, как правило, на небольшом участке звездного неба. Это позволяет исследователям одновременно видеть на небольшой площади и изучать звезды с различными свойствами.

Мало изученной с точки зрения наблюдений является внутренняя структура скоплений. Давно известно, что распределение звезд в рассеянных и даже шаровых скоплениях, а также в поле Галактики не является строго однородным, наблюдения показывают звездные сгустки разных масштабов. Их природа пока не до конца выяснена. Перспективное направление – это поиск ранее неизвестных субструктур среди населяющих скопление звезд. Задача обнаружения и каталогизации таких объектов представляет интерес и рассматривается в данной статье. Первичным источником информации здесь являются массовые обзоры звездного неба. По объему они, несомненно, принадлежат к категории больших данных и требуют технологий интенсивного использования.

Мы рассматриваем лишь рассеянные звездные скопления, которые наиболее близки по расстояниям к Солнцу. Шаровые скопления расположены значительно дальше и к ним, как правило, наши методики не применимы. Кроме того, для близких скоплений данные измерений наиболее надежны, что позволяет рассчитывать на достоверные результаты и изучать детали их внутренней структуры. Близкие скопления служат для изучения многих аспектов, включая формирование звезд, звездные структуры, звездное разнообразие и околозвездные процессы, в том числе и формирование планет [25].

Цель работы – построение конвейерной системы отбора и обработки данных о потенциально интересных объектах. Это позволит получить новые знания о строении рассеянных звездных скоплений, эволюции Галактики и ее подсистем. Наилучший вариант первичного рассмотрения с точки зрения надежности наблюдений – это ближайшие к Солнцу звездные потоки и скопления с достаточным набором данных об их звездном составе. Скопления, для которых составлены каталоги с определением необходимого набора параметров, также рассматриваются.

Есть различные методы изучения звездных скоплений, например, метод «движущегося скопления» [18], [12]. Этот метод хорошо подходит до расстояний от Солнца в несколько сотен парсек. Метод тригонометрических параллаксов применим также к достаточно близким скоплениям [20]. Известны методы,

опирающиеся на химический состав предполагаемых звезд скопления [16], Интересны методы автоматического и визуального поиска флуктуаций звездной плотности по астрометрическим и фотометрическим данным [6], [10].

Как уже понятно, изучение звездных скоплений мы ведем, отталкиваясь не только от задач, но и от данных, рост которых в последние годы обещает быть очень большим. Особенно это актуально после публикации в открытом доступе первых результатов телескопа GAIA (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) [11].

Центральное место в нашем исследовании занимает метод АД диаграмм, основанный на поиске закономерностей в пространственных движениях звезд внутри скоплений. Он позволяет изучать внутреннюю структуру скоплений и выявлять различные закономерности в движениях звезд членов скопления. Метод был апробирован на многих объектах и требует более тщательной алгоритмизации с использованием средств работы с большими данными.

Структура статьи такова. Во втором разделе дано представление об объекте исследования, в третьем разделе приведены названия публичных архивов данных. Четвертый раздел посвящен динамике увеличения количества данных о скоплениях. В пятом разделе рассмотрены апробированная методика и перспективы выстраивания обработки в последовательность однотипных действий – конвейер, направленный на применение к среде больших данных о скоплениях. В шестом разделе представлены обсуждение и выводы.

2 Рассеянные звездные скопления

2.1 Современное состояние исследований

Звездные скопления традиционно изучаются либо как подсистема объектов Галактики, либо как гравитирующая звездная система. Детали внутреннего устройства РЗС, такие, как группы звезд, изучаются не столь давно и представляют собой интерес. Понятие «группа звезд» появилось, по крайней мере, в 1969 году [34]. Вопрос существования пространственных и кинематических групп звезд в коронах РЗС пока малоизучен, хотя набирает популярность в связи с ожиданием астрометрических результатов миссии GAIA [19]. Об истории вопроса см. [37].

Интересна и другая сторона медали – найдены ли какие-либо физические процессы, которые приведут к образованию групп? Существует несколько подходов, каждый из которых проливает свет на эту проблему.

Впервые ван Альбада в 1968-м году в [29] показал возможность формирования широких двойных и кратных звезд с характерными размерами примерно 10 а.е. и более. Такое событие может происходить в результате распада

небольших звездных групп с размерами от 10×2 до 10×5 а.е. Для справки добавим, что 1 а.е. составляет 149 597 871 км и 1 пк = 206264.8 а.е. Максимальный размер получается равным примерно 0.5 пк.

Об образовании звездных систем высокого порядка кратности в звездных скоплениях: в обзоре Ларсона [15] показано, что большинство звезд в окрестности Солнца (одиночных, двойных и устойчивых кратных) могло образоваться в результате распада неиерархических малых групп звезд, содержащих от нескольких десятков до нескольких десятков объектов. Процесс образования кратных систем в скоплениях рассмотрен в [30].

Существуют группы более высокого порядка, состоящие из скоплений, они обнаружены в [9]. Выделены четыре структуры, видимые в вэйвлет пространстве, которые соответствуют потоку Геркулеса, Плеядам и Гиадам, группе Сириуса. Соответствующие динамические модели свидетельствуют об их резонансном происхождении в точках Лагранжа балджа Галактики, от спиральных ветвей или комбинации этих воздействий. Исследование [9] подтверждает резонансную природу происхождения потоков Плеяд, Гиад и Большой Медведицы (Сириуса).

2.2 Поиски неизвестных скоплений

Картина неба, видимая глазом, обманчива – мы легко находим Плеяды, но не видим многие тысячи подобных скоплений, которые либо малы, либо расположены достаточно далеко от Солнца и сливаются со звездным фоном. На небесной сфере условно можно выделить две звездные фракции – фон и флуктуации звездной плотности. На Рис. 1 показаны РЗС в созвездии Персея – NGC 869 и NGC 884 (New General Catalogue of Nebulae and Clusters of Stars), известные также как двойное скопление в Персее. Для наблюдателя они выглядят как флуктуации звездной плотности. Поиск подобных флуктуаций является основой, лежащей в открытии ранее неизвестных скоплений.

Флуктуации могут иметь генетическую природу или носить случайный характер. Искусство ученого заключается не только в том, чтобы суметь ее найти, но и определить, что найдена именно физически связанная группировка. Для этого применяются критерии, основанные на общности собственных движений звезд на небе. Дополнительные критерии основаны на определении и использовании возрастов и химических составов звезд, а также их фотометрических характеристик. Вся совокупность перечисленной информации может свидетельствовать о том, что перед нами физически связанная группа – звездное скопление.

Вид скопления на небе определяется двумя факторами – расстоянием от Солнца и физическими размерами. Многие скопления без дополнительных тестов затруднительно отличить

от случайных флуктуаций плотности. Так, крупное скопление, расположенное близко к наблюдателю, может занимать настолько большую площадь на поверхности неба, что будет неотличимо от фона.

Часто необходимо понять, что обнаружено новое, ранее неизвестное скопление. Для этого нужно провести отождествление найденной группы звезд по каталогам с данными об известных скоплениях. Если среди известных скоплений ее нет, то выдвигается предположение о том, что обнаружено новое скопление. Более детально эти вопросы рассмотрены в [22], где опубликованы результаты поиска неизвестных скоплений по видимым уплотнениям на небе.

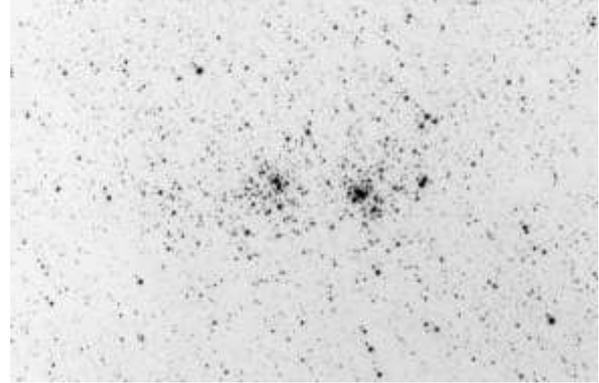


Рисунок 1 Так выглядят рассеянные звездные скопления в небольшой телескоп. Фрагмент фотопластины с изображением скопления h and χ Персея. Фотопластина получена на 40-см Астрографе Звенигородской обсерватории. Наблюдатель В.П. Осипенко

В [23] представлен результат поиска неизвестных скоплений. Использован анализ пространства скоростей, где звезды обнаруженной группировки выделяются совместным движением в Галактике.

3 Архивы данных по скоплениям

Существует множество баз данных (БД), где можно найти каталоги скоплений, например, Vizier [31], SIMBAD (Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data) [26]. Есть БД, содержащие публикации статей, такие, как ADS NASA (Astrophysics Data System) [27], ScienceDirect (данные издательства Elsevier) [24], IOPscience [13], Wiley Online Library [33]. Самая крупная – ADS NASA – включает информацию более чем о 7 млн. документов. Упомянем еще БД и каталоги – это WEBDA (A site Devoted to Stellar Clusters in the Galaxy and the Magellanic Clouds) [32], Линга [17], Альтер и Рупрехт [1], Бархатова [35], Пискунов 0, которые имеют в основном исторический интерес, хотя в рамках нашей задачи информация из них актуальна для сравнения результатов. Наименования скоплений в разных каталогах различны, что создает проблемы для

отождествления. Эти наименования представляют метаданные, соответствие между которыми имеются, например, в SIMBAD [26].

Не все из перечисленных БД и каталогов пополняются новыми данными. БД Диас [5] представляет собой приятное исключение и продолжает пополняться новыми данными. Она ценна также тем, что в ней использованы активные ссылки (в каждой строке) на WEBDA [32], Линга [17], Харченко и др. [14]. Также эта БД включает библиотечные коды публикаций.

Коллективом авторов (список участников см. в [14]) создается Глобальный обзор звездных скоплений Млечного Пути (Milky Way Global Survey of Star Clusters, MWSC). Он включает десять каталогов и содержит данные обо всех скоплениях, известных к настоящему времени. Система каталогов MWSC является наиболее полной и часто цитируемой в современных исследованиях скоплений. Основные результаты приведены в [14] – это каталог, содержащий все значения метаданных скоплений. По астрометрии это: экваториальные координаты, диаметр скопления, собственные движения и лучевые скорости звезд, их возрасты, покраснения, расстояния от Солнца, приливные радиусы. Активными в каталоге [14] для каждого из скоплений являются дополнительные страницы со звездными картами и диаграммами цвет–величина. Эти диаграммы позволяют узнать звездный состав и возраст скопления. Сейчас к MWSC активно подключаются данные GAIA [11].

4 Рост данных, проект GAIA

В последнее время в астрофизике и других научных дисциплинах все более популярным становится направление “data science” – извлечение научных фактов из больших массивов данных. Увеличение их объема идет за счет роста числа новых открытий и роста информации за счет новых наблюдений и публикаций параметров о каждом из известных скоплений.

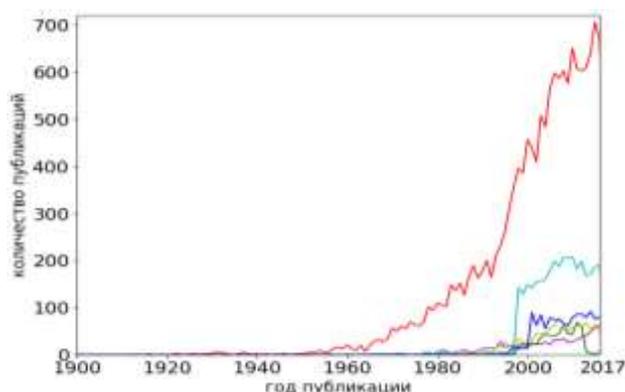


Рисунок 2 Результат поиска статей по ключевым словам “open&cluster”. Верхняя кривая – для ADS (всего 15261 публикаций). В середине – IOPscience (3489). Менее максимума в сто публикаций – Scince Direct (858), Wiley Online Library (625), VizeR (1152), A&A [2] (1365)

Разнообразие состава и рост объема информации (измеренной в публикациях) о скоплениях показано на Рис. 2. Резкий скачок числа публикаций начался, как видим на Рис. 2, с 2000-х годов. Это понятно – ведь рост данных в астрономии связан с введением в строй новых дорогостоящих телескопов. Таким образом, не удивительны скачки роста информации в периоды появления известных телескопов, что мы видим на Рис. 2.

Статистика строительства телескопов такова: рефракторы с диаметром объектива больше 70 см (это 11 телескопов) были построены в период 1880–1917 гг., телескопы-рефлекторы с диаметром зеркала 6 м и более (14 телескопов) – в период 1975–2005 гг. Известный Паломарский 5.1-м телескоп им. Хейла был введен в строй в 1948 г. Именно с этого момента начался заметный рост информации (верхняя кривая на Рис. 2). Появление новых БД (все прочие кривые) началось с появлением больших телескопов. Нынче запущено множество космических аппаратов с телескопами на борту. Особое место занимает проект GAIA. Обзор GAIA [11] включает приблизительно 1 млрд. звезд, что уже сравнимо с населением Галактики и составляет приблизительно 1% ее звездного населения. Предельная звездная величина равна 20 в системе G (на интервале длин волн от 400 до 1000 нм). Микросекундная точность измерений позволяет получить новую информацию о движениях звезд внутри скоплений. Точность достигнута во многом благодаря сверхдальному (более 1 млн. км от Земли) расположению ИСЗ в точке Лагранжа (L2), исключающей влияние на положение аппарата гравитации от Земли–Луны и Солнца. Исключаются также засветка отраженным светом Солнца от Земли и Луны, а также влияние переходов из света в тень. Такие переходы мешают работе околоземных аппаратов, таких, как телескоп Хаббл. Кроме того, поддержание аппарата в точке L2 энергетически выгодно.

В упомянутом каталоге [14] каталогизировано 3754 РЗС. Это составляет всего 0.3% скоплений галактического диска. В обзоре GAIA степень охвата РЗС составляет около 1%, предоставляя возможность открыть еще 10 тыс. скоплений. В составе Млечного Пути может быть, как минимум, 100 тыс. скоплений. В нашей работе [36] сделана оценка числа скоплений, которые даст проект GAIA в целом. В далеком будущем можно открыть около 1 млн. скоплений, которые расположены в пределах Млечного Пути, состоящем из приблизительно 100 млрд. звезд.

5 Применение АД-диаграмм

Замечено, что существует множество закономерностей движений звезд в Галактике. Так, например, они участвуют во вращении галактического диска. Есть звезды, образующие потоки, и есть «убегающие» звезды, которые

необъяснимо быстро движутся относительно Солнца. Координаты точки пространства, в направлении которой наблюдается движение звезды, называется ее апексом. Рассмотрим метод диаграмм апексов (AD-диаграмм). AD-диаграмма представляет собой распределение апексов звезд в экваториальной системе координат. Координаты звездных апексов получаются из решения геометрической задачи, в которой находятся пересечения векторов пространственных скоростей звезд с небесной сферой, при этом начала векторов перемещены в точку наблюдений. По аналогии с обычным апексом координаты этих точек в экваториальной системе обозначены как A для прямого восхождения и D – для склонения. Их можно назвать индивидуальными апексами звезд. Формальное описание метода, техника построения диаграмм и формулы для определения эллипсов ошибок можно найти в [3]. Отметим, что эллипсы ошибок (важных в любой работе) можно определить только для звезд каталога Hipparcos, в котором имеются необходимые коэффициенты корреляции между астрометрическими параметрами. Этот метод применялся для исследования Гиад, Яслей, скоплений и групп в Орионе и еще некоторых скоплений. Картинка, представляющая собой распределение апексов звезд, позволяет выявить закономерности движений звезд не только внутри скопления, но и в околосолнечном пространстве. Так, на Рис. 3 показано распределение 249603 звезд с наиболее точно измеренными скоростями и расстояниями от Солнца ([21], [8]) на плоской координатной проекции.

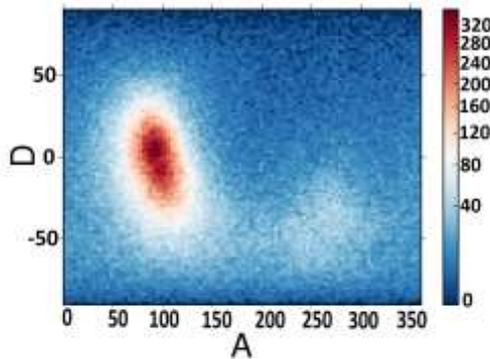


Рисунок 3 АД-диаграмма звезд окрестностей Солнца. Плотности звезд показаны на шкале в правой части рисунка

Наряду с классическими методами исследования наш подход позволяет уделить особое внимание именно внутренней кинематической структуре скоплений.

6 Обсуждение и выводы

6.1 Структура конвейера по накоплению знаний о внутреннем устройстве скоплений

На Рис. 4 представлена схема конвейерной обработки данных по РЗС в рамках предлагаемой

парадигмы. Почему такая обработка возникла и стала возможной? Открыто, как уже было отмечено, достаточно много скоплений, для которых возможно применение единой методики обработки методом АД-диаграмм. Скопления различаются по возрастам, числу звезд, диаметрам, степени концентрации звезд к центру и многому другому. Кроме того, они различаются положениями в пространстве относительно Солнца, спиральных ветвей Галактики и т.п. Естественно, что скопления различаются также и диаграммами апексов (в частности, наличием или отсутствием движущихся в них субструктур или групп). Конвейерная обработка позволит накопить информацию об АД-диаграммах множества скоплений. Далее путем сравнительного анализа можно сделать выводы о связи внутренней структуры с другими метаданными. Это в свою очередь позволит получить новые знания и сделать открытия новых закономерностей, касающиеся населения диска Галактики.

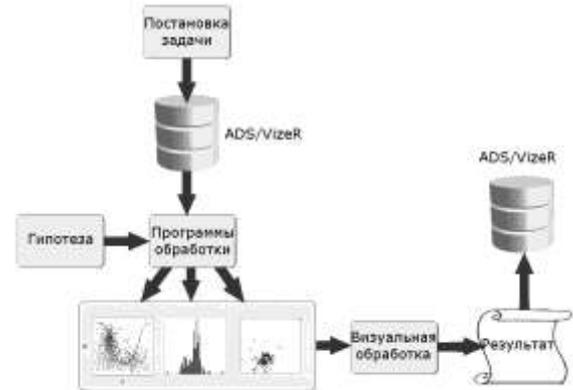


Рисунок 4 Конвейер обработки информации.

Включает постановку задачи на основе анализа больших данных (здесь ADS [27] и VizieR [31]) и выдвигаемой гипотезы. В центре – обработка информации по заданным алгоритмам. Полученный ряд изображений проходит визуальную обработку и получение новых результатов. В случае успеха результаты публикуются и в итоге попадают в те же большие данные

На основе отработанных методик проводится анализ устройства рассеянных звездных скоплений. При выборе скоплений учитываются не только физические многообразие скоплений, но и эффекты, связанные с различиями их положений в пространстве как относительно Солнца, так и внутри Галактики.

Основу обработки составляет метод АД-диаграмм. Он позволяет определить общее направление движения скопления в пространстве и находить возможные внутренние структуры внутри скопления. Накопление результатов о группах в скоплениях осуществляется как в публикациях (в итоге в ADS [27] и VizieR [31]), так и размещением полученных данных в SIMBAD [26].

6.2 Метаданные

По теме и вопросам, затронутым в этой работе, можно выделить метаданные. Это звездные каталоги, звездные группы, рассеянные звездные скопления, реестр наименований скоплений, номера звезд, входящих в скопления, AD-диаграмма, апекс звезды.

6.3 Выводы

Точные позиционные наблюдения представляют собой особую ценность. Они позволяют делать выводы о звездном составе и морфологии скоплений. Данный проект направлен на дальнейшее расширение и улучшение данных о подсистеме звездных скоплений Галактики. Основой являются каталоги нового поколения, которые создаются по наблюдениям космического телескопа GAIA. Конечной целью проекта является накопление информации о строении скоплений в едином формате путем конвейерной обработки данных. Такая информация создаст базу для выявления звездных субструктур внутри скоплений как основы новых знаний о звездных системах. Эти выводы можно распространить и на скопления других галактик. Таким образом, в ближайшее время будут получены большие объемы новых данных, и предлагаемая методика позволит эффективно их обрабатывать для извлечения новых знаний о скоплениях и Галактике в целом.

Звездные потоки в нашей Галактике активно изучаются. Их кинематика и структура проливают свет на детали процесса формирования звездного гало. Тематика проекта очень актуальна.

Создана и применяется система конвейерной обработки данных о скоплениях, Рис. 4. Система включает отбор подходящих скоплений, определение необходимых параметров и выдвижение гипотез. Автоматизированные методы позволяют получать результаты, которые могут содержать новые знания и быть опубликованы. В рамках парадигмы применения диаграмм апексов показан пример открытия субструктур в короне потока БМ [4]. Примеры работы с конвейером – NGC 188, M67 [7], [28]. Удобным хранилищем данных является БД VizieR.

К методическим результатам работы относится разработка процесса исследований индивидуальных скоплений для создания справочного каталога апексов скоплений, а также уникальных научных веб-приложений. С помощью накопленной информации предполагается изучить также аспекты кинематики диска Галактики с выходом на построение его деталей и определение других физических параметров.

Благодарности

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект

16-52-12027). Е. С. Постникова частично поддержана грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации, грант НШ-9951.2016.2. Мы использовали базу данных SIMBAD, работающую в CDS, Страсбург, Франция. Авторы благодарны рецензентам за ценные замечания и рекомендации.

Литература

- [1] Alter, G., Israel, B. Y., Ruprecht, J.: Catalogue of Star Clusters and Associations. Astronomical Institute Czechoslovakia, Prague (1964). doi: 1964cscs.book.....A
- [2] Astronomy & Astrophysics. Worldwide Astronomical and Astrophysical Research. <https://www.aanda.org>
- [3] Chupina, N.V., Reva, V.G., Vereshchagin, S.V.: The Geometry of Stellar Motions in the Nucleus Region of the Ursa Major Kinematic Group. *Astron. Astrophys.* 371, pp. 115-122 (2001). doi: 10.1051/0004-6361:20010337
- [4] Chupina, N.V., Reva, V.G., Vereshchagin, S.V.: Kinematic Structure of the Corona of the Ursa Major Flow Found Using Proper Motions and Radial Velocities of Single Stars. *Astron. Astrophys.* 451, pp. 909-916 (2006). doi: 10.1051/0004-6361:20054009
- [5] Dias, W.S., Alessi, B.S., Moitinho, A., Lepine, J.R.D.: New Catalog of Optically Visible Open Clusters and Candidates. *Astron. Astrophys.* 389, pp. 871 (2002). doi: 10.1051/0004-6361:20020668
- [6] Drake, A.J.: Cluster Candidates from the USNO-A2.0 Catalogue. *Astron. Astrophys.*, 435 (2), pp. 545-550 (2005). doi: 10.1051/0004-6361:20041568
- [7] Elsanhoury, W.H., Haroon, A.A., Chupina, N.V., Vereshchagin, S. V., Sariya, Devesh P., Yadav, R.K.S., Jiang, Ing-Guey: 2MASS Photometry and Kinematical Studies of Open Cluster NGC 188. *New Astron.*, 49, pp. 32-37 (2016). doi: 10.1016/j.newast.2016.06.002
- [8] Famaey, B., Jorissen, A., Luri, X., Mayor, M., Udry, S., Dejonghe, H., Turon, C.: Local Kinematics of K and M Giants from CORAVEL/Hipparcos/Tycho-2 Data. Revisiting the Concept of Superclusters. *Astron. Astrophys.*, 430, pp. 165-186 (2005). doi: 10.1051/0004-6361:20041272
- [9] Famaey, B., Siebert, A., Jorissen, A.: On the Age Heterogeneity of the Pleiades, Hyades, and Sirius Moving Groups. *Astron. Astrophys.*, 483 (2), pp. 453-459 (2008). doi: 10.1051/0004-6361:20078979
- [10] Froebrich, D., Scholz, A., Raftery, C. L.: A Systematic Survey for Infrared Star Clusters with $|b| < 20^\circ$ using 2MASS. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 374, p. 399 (2007). doi: 10.1111/j.1365-2966.2006.11148.x

- [11] GAIA DR1 (Gaia Collaboration 2016) A. G. A. Brown et al.: Gaia Data Release 1 Summary of the Astrometric, Photometric, and Survey Properties. *Astron. Astrophys.*, 595, id.A2, 23, pp. (I/337/tgas) (2016). doi: 10.1051/0004-6361/201629512
- [12] Galli, P.A.B., Moraux, E., Bouy, H., Bouvier, J., Olivares, J., Teixeira, R.: A Revised Moving Cluster Distance to the Pleiades Open Cluster. *Astron. Astrophys.*, 598, A48, p. 22 (2017). doi: 10.1051/0004-6361/201629239
- [13] IOPscience. <http://iopscience.iop.org>
- [14] Kharchenko, N.V., Piskunov, A.E., Schilbach, E., Röser, S., Scholz, R.-D.: Global Survey of Star Clusters in the Milky Way. II. The Catalogue of Basic Parameters. *Astron. Astrophys.*, 558 (A53), pp. 1-8 (2013). doi: 10.1051/0004-6361/201322302
- [15] Larson, R.B.: Implications of Binary Properties for Theories of Star Formation. The Formation of Binary Stars. Proc. of IAU Symp. 200, held 10–15 April 2000, Potsdam, Germany, Ed. H. Zinnecker and R. D. Mathieu, p. 93 (2001)
- [16] Liu, F., Yong, D., Asplund, M., Ramírez, I., Meléndez, J.: The Hyades Open Cluster is Chemically Inhomogeneous. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 457 (4), pp. 3934-3948 (2016). doi:10.1093/mnras/stw247
- [17] Lynga, G.: VizieR On-line Data Catalog. Open Cluster Data. VII/92A. 5th Edition (1987). Originally published in: Lund Observatory (1995)
- [18] Mamajek, E.E.: A Moving Cluster Distance to the Exoplanet 2M1207b in the TW Hydrae Association. *Astrophys. J.*, 634 (2), pp. 1385-1394 (2005). doi: 10.1086/468181
- [19] Mamajek, E.E.: A Pre-Gaia Census of Nearby Stellar Groups. In: Young Stars & Planets Near the Sun, Proc. of the Int. Astronomical Union, IAU Symposium, 314. pp. 21-26 (2016). doi: 10.1017/S1743921315006250
- [20] Melis, C., Reid, M.J., Mioduszewski, A.J., Stauffer, J.R., Bower, G.C.: A VLBI Resolution of the Pleiades Distance Controversy. *Science*, 345 (6200), pp. 1029-1032 (2014). doi: 10.1126/science.1256101
- [21] Kunder, A., and 53 coauthors: The Radial Velocity Experiment (RAVE): Fifth Data Release. *Astron. J.*, 153 (2), article id. 75, 30 p. (2017). doi: 10.3847/1538-3881/153/2/75
- [22] Schmeja, S., Kharchenko, N.V., Piskunov, A.E., Röser, S., Schilbach, E., Froebrich, D., Scholz, R.-D.: Global Survey of Star Clusters in the Milky Way. III. 139 New Open Clusters at high Galactic Latitudes. *Astron. Astrophys.*, 568 (A51), pp. 1-9 (2014). doi: 10.1051/0004-6361/201322720
- [23] Scholz, R.-D., Kharchenko, N.V., Piskunov, A.E., Röser, S., Schilbach, E.: Global Survey of Star Clusters in the Milky Way. IV. 63 New Open Clusters Detected by Proper Motions. *Astron. Astrophys.*, 581 (A39), pp. 1-15 (2015). doi: 10.1051/0004-6361/201526312
- [24] Science direct. <http://www.sciencedirect.com/>
- [25] Sieglar, N., Muzerolle, J., Young, E.T., Rieke, G.H., Mamajek, E.E., Trilling, D.E., Gorlova, N., Su, K.Y.L.: Spitzer 24 μ m Observations of Open Cluster IC 2391 and Debris Disk Evolution of FGK Stars. *Astrophys. J.*, 654, pp. 580-594 (2007). doi: 10.1086/509042
- [26] SIMBAD Astronomical Database. <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- [27] The SAO/NASA Astrophysics Data System. <http://www.adsabs.harvard.edu>
- [28] Vereshchagin, S.V., Chupina, N.V., Sariya, D.P., Yadav, R.K.S., Kumar, B.: Apex Determination and Detection of Stellar Clumps in the Open Cluster M 67. *New Astron.* 31, pp.43-50 (2014). doi: 10.1016/j.newast.2014.02.008
- [29] van Albada, T.S.: The Evolution of Small Stellar Systems and its Implications for the Formation of Double Stars. *Bull. Astron. Inst. Netherlands*, 20, p. 57 (1968)
- [30] van den Berk, J., Portegies Zwart, S.F., McMillan, S.L.W.: The Formation of Higher Order Hierarchical Systems in Star Clusters. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 379 (1), pp. 111-122 (2007). doi: 10.1111/j.1365-2966.2007.11913.x
- [31] VizieR Catalogue Service. <http://vizier.u-strasbg.fr>
- [32] WEBDA. A Site Devoted to Stellar Clusters in the Galaxy and the Magellanic Clouds. <http://www.univie.ac.at/webda/webda.html>
- [33] Wiley Online Library. <http://onlinelibrary.wiley.com>
- [34] Walker, M.F.: Studies of Extremely Young Clusters. V. Stars in the Vicinity of the Orion Nebula. *Astrophys. J.*, 155, p. 447 (1969). doi: 10.1086/149881
- [35] Бархатова, К.А.: Атлас диаграмм цвет – светимости рассеянных звездных скоплений. М.: Изд-во АН СССР, 127 с. (1958)
- [36] Верещагин, С.В., Чупина, Н.В., Фионов, А.С.: Звездные скопления: развитие знаний на основе интенсивного использования данных. Труды XVIII Межд. конф. «Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных», DAMDID/ RCDL'2016, под ред. Л.А. Калиниченко, Я. Манолопулоса, С.О. Кузнецова, сс. 323-327 (2016)
- [37] Рубинов, А.В., Орлов, В.В.: Задача N тел в звездной динамике. Учебное пособие. Санкт-Петербург: Изд-во С-Пб. университета, 97 с. (2008)
- [38] Пискунов, А.Э.: Каталог масс и возрастов 68 рассеянных скоплений. М.: Изд-во «Астрономический Совет АН СССР» (1977)