

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Сизовой Марии Дмитриевны

«Сближение Солнечной системы со звездными скоплениями», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Диссертационная работа «Сближение Солнечной системы со звездными скоплениями» посвящена изучению особенностей движения рассеянных звездных скоплений (РЗС) в Галактике и оценке их возможного гравитационного влияния на объекты Солнечной системы. РЗС являются типичными представителями диска Галактики, недалеко от плоскости симметрии которого располагается и наша Солнечная система, поэтому вопросы изучения близких от нас прохождений рассеянных скоплений в прошлом и будущем представляются весьма **актуальными**. Особенный интерес у исследователей вызывает близкое прохождение звезд или других космических объектов от комет облака Оорта, так как на таком расстоянии (порядка 0.5 пк) кометы имеют слабую гравитационную связь с Солнцем. Сближение звезды или скопления с облаком Оорта может изменить орбиту кометного потока и направить его во внутреннюю область Солнечной системы.

Актуальность работ по исследованию сближений звезд и скоплений с Солнечной системой в настоящее время связана, конечно, и с появлением каталогов космической миссии GAIA (DR1, DR2, DR3), которые содержат высокоточные данные о собственных движениях, положениях, расстояниях для почти 2 млрд. звезд, в том числе в полях более 7 тыс. рассеянных скоплений, и которые позволяют надежно вычислять орбиты РЗС в Галактике.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и двух приложений, первое из которых содержит текст программы для расчета сближений Солнечной системы со звездным скоплением, а второе – различные каталоги.

В кратком введении описаны цели и задачи работы, её актуальность, новизна и достоверность полученных результатов, их научная и практическая значимость. Указаны положения, выносимые на защиту, отмечен личный вклад автора в совместные работы. Приведен список публикаций по теме диссертации, перечислены конференции, на которых прошла апробация работы.

В первой главе автор описывает трехкомпонентную модель Галактики, которая была выбрана для расчета орбит исследованных рассеянных скоплений. Приводятся уравнения, характеризующие распределение плотности в балдже, диске и гало. Для расчета орбитального движения использовались готовые пакеты программ, причем и звезды, и скопления рассматривались как точечные объекты. Описано, как выбирался шаг интегрирования и как его значение влияет на конечные результаты: минимальное расстояние между объектами и момент времени, когда это происходит. В этой главе также выполнена проверка метода интегрирования орбит путем исследования изменения энергии системы с течением времени, которая подтвердила достоверность и надежность

использованного метода, а значит и **достоверность** полученных с помощью него результатов.

Во второй главе описаны результаты исследования кинематики двух далеких рассеянных скоплений: NGC 2158 по данным каталога Gaia DR2 и King 11 по данным каталога Gaia EDR3. Для каждого РЗС выделены звезды, принадлежащие к скоплению, вычислены среднее собственное движение и средняя лучевая скорость, сделана оценка возраста и расстояния. **Новым** результатом является построение орбит скоплений и расчет положения каждого из РЗС относительно Солнца в прямоугольной системе координат, а также определение минимального расстояния от скопления до Солнечной системы в определенный момент времени в прошлом.

Третья глава посвящена поиску сближений рассеянных скоплений с Солнцем среди достаточно большой выборки РЗС, для которых в литературе имеются данные об их основных физических параметрах и о полной пространственной скорости.

Рассчитаны положения апексов движения 16 РЗС, расположенных ближе 200 пк от Солнца, и проведено сравнение положений их антиапексов относительно афелиев долгопериодических комет. **Новым** и интересным результатом является обнаружение 7 комет с афелиями, расположенными ближе 10 градусов к антиапексу движения какого-либо из скоплений, что предполагает динамическое воздействие РЗС на комету.

Для 129 рассеянных скоплений были найдены минимальные расстояния до Солнечной системы и моменты времени в прошлом, соответствующие этим расстояниям. Сделана оценка частоты сближений Солнечной системы с РЗС в зависимости от расстояния, на которое они сближаются. Для 17 скоплений, расположенных ближе 200 пк от Солнечной системы, вычислены максимальные приращения скорости комет облака Оорта, вызванные гравитационным воздействием со стороны РЗС. Эти результаты также являются **новыми**.

Самое близкое к Солнцу скопление – Гиады изучено в третьей главе более детально. Найдено минимальное расстояние 24.8 пк, на котором Солнце находилось от центра скопления 870 тысяч лет назад. Для каждого из 283 членов скопления построены орбиты по данным каталогов Gaia DR2 и EDR3 и найдены минимальные расстояния до Солнечной системы, которые для пяти самых близких звезд заключены в пределах от 2 до 10 пк. Доказано, что сближение Солнечной системы и скопления Гиад в прошлом могло послужить причиной появления в окрестностях Солнца долгопериодических комет и межзвездных объектов.

В заключении дается краткая сводка полученных в работе результатов и описываются планы будущих исследований. Список литературы содержит 141 ссылку.

Все положения, выносимые на защиту, обоснованы и подтверждены проведенными расчетами и модельными построениями.

Перечислю недостатки и замечания по диссертации:

- Понять ход работы и сделанные выводы из текста диссертации очень непросто: пропущены многие пояснения, определения вводимых переменных, значений для параметров, единицы измерения величин; нарушены логические связи в изложении; автор временами противоречит сам себе, путает номера рисунков, номера ссылок, дает неправильные ссылки. Например, на стр. 25 сказано: «На этом графике [2.3] не применялся критерий принадлежности звезды скоплению.», а на стр. 28 написано: «Отобранные звезды с вероятностью принадлежности скоплению $P(\mu) > 90\%$ показаны на диаграмме собственных движений рис. 2.3». В формуле (2.2) на стр. 30 не дано объяснения, что такое σ_{bg} . Параметр V_p вводится без объяснения. Единицы измерения V_p в таблице 18 значатся как «с⁻¹», в таблице 24 – как «км/с», в таблице 25 – как «м/с», но одна и та же звезда имеет $V_p = 0.0019$ км/с (табл. 24) и $V_p = 0.029$ м/с (табл. 25). Остальные параметры (d_{min} , t_{min} , V_r) также имеют отличающиеся значения для звезд с одинаковым идентификатором в таблице 24 и в таблице 25. При этом таблица 24 не описана в тексте. На стр. 11 указано: «При массе галактики, меньшей $10^{10} M_\odot$ (ур. (7) из [31]), эффект трения незначителен.», но в работе [31] нет такого уравнения.

На стр. 53 сказано, что параметры для 58 P3C, выведенные по данным Gaia DR2 взяты из работы [109]. Однако в списке литературы под этим номером приводится следующая работа: «Soubiran C., et al. VizieR Online Data Catalog: Gaia DR2 radial velocity standard stars catalog (Soubiran+, 2018) // VizieR Online Data Catalog. — 2019. — Авг. — J/A+A/616/A7.». Нужной работы в списке литературы нет. И т.д., и т.п.
- Непонятно, откуда автор взял расстояния до скоплений NGC 2158 и King 11, которые используются при вычислениях. Возможно, что оценил самостоятельно, так как к научной новизне работы отнесено в том числе уточнение физических параметров скоплений, а в тексте имеется только описание определения возраста. К тому же в разделе 2.1.5 диссертации имеется пункт под названием «Возраст и расстояние от Солнца до скоплений». Но в этом пункте речь идёт только об определении возраста.
- Вероятности принадлежности звезд к скоплению находились методом, предложенным в работе Vasilevskis S. et al. (1958) для относительных собственных движений, так как точных абсолютных собственных движений в то время было мало. В диссертации алгоритм Василевскиса был применен к абсолютным собственным движениям, взятым из каталога Gaia, поэтому параметры (μ_{xc}, μ_{yc}) , найденные методом максимального правдоподобия, которые задают центр распределения звезд скопления на плоскости собственных движений, должны совпадать или незначительно отличаться от окончательных значений средних собственных движений скоплений. Однако, значения (μ_{xc}, μ_{yc}) , приведенные в таблице 3, кардинально отличаются от найденных средних собственных движений NGC 2158 и King 11, так что даже выходят за пределы поля на рис. 2.5 и 2.6, на которых построены диаграммы собственных движений всех звезд в поле каждого из скопления. Так, для NGC 2158 $(\mu_{xc}, \mu_{yc}) = (0.6, 0.9)$ мсд/год,

$(\mu_\alpha, \mu_\delta) = (-0.203, -1.990)$ мсд/год. Такое же различие и для King 11. Кроме того, параметр σ_c , который задает дисперсию распределения собственных движений звезд скопления в таблице 3 для NGC 2158 равен 0.98 мсд/год, а полуширина на половине высоты гауссианы на рис. 2.9 равна примерно 0.20 мсд/год как для распределения μ_α , так и μ_δ .

- Неясно, почему в таблицах 11 и 12, автор сравнивает полученные в диссертации параметры скоплений NGC 2158 и King 11 с величинами из работ конца прошлого века, но не дает сравнения с параметрами из работы Hunt E. L. & Reffert S. (2023), в которой используются данные Gaia DR3 и которая в списке литературы в диссертации значится под номером 1.
- Многие авторы занимались поиском звезд, которые приближаются к Солнцу. Например, Bailer-Jones C.A.L. опубликовал цикл работ, посвященных поиску сближений звезд с Солнечной системой, используя данные каталогов Hipparcos (2015, A&A 575, A35), TGAS (2018, A&A 609, A8) и Gaia (2018, A&A 616, A37). Необходимо было показать, в чем преимущество поиска сближений именно со звездами, входящими в РЗС, и исследовать, имеются ли среди списка из 3379 звезд из каталога сближений по данным Gaia (Bailer-Jones et al. 2018) члены скоплений, исследованных в диссертации, чтобы сравнить результаты.
- Непонятно, как определялось расстояние, на которое сближаются скопление и Солнечная система: как расстояние между Солнцем и границей приливного радиуса скопления, между Солнцем и центром скопления, как-то ещё?
- Параметры скоплений, которые найдены в MWSC (Харченко и др. 2013), ненадежны, так как средние собственные движения в нем выведены по собственным движениям из каталога PPMXL (Roser et al. 2010), а физические параметры определены автоматической подгонкой изохрон и заметно отличаются от тех, которые оценивались разными авторами по данным каталога Gaia (Cantat-Gaudin et al. 2018, 2020; Dias et al. 2021 и др.).
- В приложении Б нет обещанного каталога сближений для 129 скоплений. Вместо него в диссертации приводится список из 960 РЗС (вместе со значениями расстояния и возраста), для которых в каталоге Харченко и др. (2013) имеются лучевые скорости. В то время как в пункте 3 положений, выносимых на защиту, указано: «Создан каталог, содержащий эти параметры.»

Перечисленные выше замечания не умоляют научной значимости выполненной работы. Полученные М. Д. Сизовой результаты представляют большой практический интерес и будут востребованы в различных астрономических

учреждениях России, таких как ГАИШ МГУ, ИНАСАН, САО РАН, СПбГУ, ЮФУ, КрАО РАН, а также за рубежом.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Результаты, выносимые на защиту, опубликованы в четырёх статьях в рекомендованных ВАК журналах. Кроме того, результаты диссертации были представлены на семи конференциях и студенческих конкурсах.

Диссертация «Сближение Солнечной системы со звездными скоплениями» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Сизова Мария Дмитриевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Доктор физико-математических наук,
доцент кафедры астрофизики и звездной астрономии
физического факультета Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова)

доцент

Глушкова Елена Вячеславовна

07 августа 2025 г.

Почтовый адрес:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д.1, стр.2,

МГУ имени М.В. Ломоносова,

физический факультет

Телефон: +79037220899

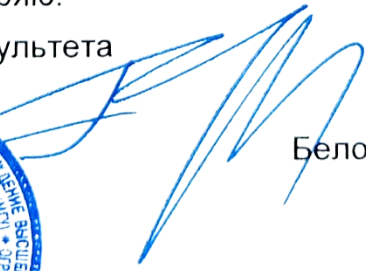
Эл. адрес: glushkovaev@my.msu.ru

Подпись Е.В. Глушковой заверяю.

И. о. декана физического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова

профессор



Белокуров Владимир Викторович