



УТВЕРЖДАЮ: *И. Ихсанов*  
Директор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки  
Главной (Пулковской) астрономической  
обсерватории Российской академии наук

д.ф.-м.н.  
Ихсанов Назар Робертович  
“10” 08 2020 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Главной (Пулковской) астрономической обсерватории на диссертацию ТКАЧЕНКО Романа Валерьевича «Особенности химической эволюции галактического диска», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

В диссертации **Романа Валерьевича Ткаченко** изучается распределение химических элементов в Галактике. Автор строит численные модели синтеза кислорода и железа в галактическом диске и проводит их сравнение с новейшими спектроскопическими данными о содержании этих химических элементов в цефеидах. Актуальность работы не вызывает сомнений.

В введении к диссертации дано краткое описание работы, сформулирована ее актуальность, определены цели и задачи работы, обсуждается новизна, практическая и теоретическая значимость выполненных исследований, представлены основные результаты работы и положения, выносимые на защиту.

В первой главе автор описывает особенности в распределении кислорода в галактическом диске. Предлагается численная модель синтеза кислорода, которая учитывает совместное влияние коротационного резонанса и турбулентной диффузии на обогащение диска тяжелыми элементами. Такая модель позволяет объяснить нелинейный характер радиального распределения кислорода в галактическом диске. Само распределение построено автором с использованием данных о 362 цефеидах. Характер этого распределения таков, что при общем падении содержания кислорода с увеличением

галактоцентрического расстояния, наблюдается отчетливое плато в области 7-9 кпк. Модель предполагает, что основным поставщиком кислорода в межзвездную среду являются сверхновые второго типа, то есть короткоживущие массивные звезды, эволюция которых, как правило, протекает в спиральных рукавах Галактики. В рамках этой модели предполагается, что плато в радиальном распределении кислорода формируется в области коротации, где близки скорости вращения Галактики и спиральной волны плотности. В этой области минимальной является скорость звездообразования.

В результате численного решения “химического” уравнения получены оценки важнейших параметров модели. В частности, найдены значения вновь синтезированного кислорода  $P_0$  в расчете на одну вспышку сверхновой второго типа для двух временных шкал. Оценены предельные начальные массы прародителя сверхновой второго типа. Показано, например, что предельные начальные массы вращающихся предшественников составляют  $22\text{-}24 M_{\odot}$  для случая короткой временной шкалы  $t_f$  около 2 млрд лет. А для моделей невращающихся предшественников их массы могут составлять  $40 M_{\odot}$  и более.

Во второй главе автор предлагает модель для объяснения локальных провалов, те областей с пониженным содержанием кислорода в наблюдаемом радиальном распределении кислорода с характерным размером около 1 кпк. Автор связывает такие особенности с выпадением межгалактического низкометаллического газа на диск Галактики. Включение таких локальных потоков с массой  $2\text{-}5 \times 10^8 M_{\odot}$  в общую модель, описанную в первой главе, привело к хорошему согласию с наблюдаемым распределением.

В третьей главе автор описывает особенности в распределении железа в галактическом диске. Для построения радиального распределения этого элемента здесь также использованы данные о цефеидах. Выборка содержит 442 звезды. Показано, что общий характер распределения железа и кислорода совпадает. Поэтому в основе интерпретации радиального распределения железа, также как и в предыдущей главе, лежит комбинированный эффект коротационного резонанса и турбулентной диффузии тяжелых элементов. Отличие же заключается в том, что основным поставщиком железа в межзвездную среду являются сверхновые первого типа (СН Ia). На основе данного подхода получены ограничения на среднюю массу выбрасываемого железа для различных временных шкал (50 млн лет и 100 млн лет). Сделан вывод о том, что сверхновые СН Ia в общей сложности обеспечивают для галактического диска около 50-70% железа.

В четвертой главе данные об эволюции скорости звездообразования и содержании железа используются для изучения распределения металличности долгоживущих маломассивных звезд из околосолнечной окрестности. Здесь автор при помощи разработанного им ранее метода предлагает метод решения известной проблемы G-карликов. Суть проблемы заключается в том, что в

околосолнечной окрестности наблюдается значительно меньшее количество маломассивных низкометаллических звезд по сравнению с ожидаемым, предсказанным теоретически. На этапе моделирования наблюдаемого распределения металлическости автор переопределяет начальную функцию масс так, чтобы она приводила к наблюдаемому распределению звезд по массам. В итоге удается достигнуть хорошего согласия между теоретической и наблюдаемой функциями распределения масс.

Основные результаты работы сформулированы в заключении.

### ЗАМЕЧАНИЯ.

- Рис.1.1 и Рис.3.1 очень похожи качественно. Оба они построены по данным о цефеидах. Однако видно, что положение плато на Рис.3.1 примерно на 1 кпк расположено дальше от галактического центра. То есть на Рис.3.1 и перегиб и начало плато смешены примерно на 1 кпк от предполагаемого положения коротации. Как это может быть связано с конкретным значением радиуса коротации? Может быть конкретное значение радиуса коротации не 7 кпк, а 8 кпк или еще больше?
- При описании выборки цефеид интересно было бы узнать предельные значения координаты  $z$ . Известно, что некоторые цефеиды расположены достаточно высоко, выше 1 кпк. Такие желательно сразу отбрасывать при изучении тонкого диска Галактики.
- Стр. 34 кривая вращения из работы Clemens (1985) является надежной только для внутренней области Галактики, где имелись высокоточные данные о водороде в тангенциальных точках.

Результаты, представленные в диссертации достаточно полно отражены в пяти публикациях, четыре из которых опубликованы в высокорейтинговых журналах, входящих в международную базу данных Astrophysics Data System, а также в список рекомендованных ВАК для публикации результатов кандидатской диссертации. Личный вклад диссертанта четко указан как в диссертации, так и в автореферате. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации будут использоваться в исследованиях, проводимых в ГАИШ, ИНАСАН, САО РАН, ГАО РАН и других астрономических учреждениях России, СНГ и других стран.

Сделанные замечания не меняют общей положительной оценки работы. Диссертация Романа Валерьевича Ткаченко «Особенности химической эволюции галактического диска» удовлетворяет всем критериям, установленным Положением ВАК о порядке присуждения степени кандидата наук, а ее автор Роман Валерьевич Ткаченко, заслуживает присуждения ему

ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Отзыв составил Бобылев Вадим Вадимович, заведующий лабораторией динамики Галактики ГАО РАН, доктор физ.-мат. наук, Россия, 196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе дом 65 корпус 1, эл. почта [vbobylev@gaoran.ru](mailto:vbobylev@gaoran.ru), тел. +7 921 4233953.

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория, Россия, 196140, Санкт-Петербург,  
Пулковское шоссе д. 65 корп. 1, эл. почта [map@gaoran.ru](mailto:map@gaoran.ru), сайт [www.gaoran.ru](http://www.gaoran.ru),  
тел. +7 (812) 363-7207.

Зав. Лабораторией динамики ГАО РАН,  
доктор физ.-мат. Наук

В.В. Бобылев

Подпись В.В. Бобылева удостоверяю,  
Ученый секретарь ГАО РАН,  
кандидат физ.-мат. наук

Т.П. Борисевич

20.08.2020 г.

