

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу **Воробьева Эдуарда Игоревича** в виде научного доклада на соискание ученой степени «доктор физико-математических наук» по специальности «01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия» (отрасль наук: «физико-математические») на тему  
**«Динамические процессы в газопылевых протопланетных дисках»**

В диссертационной работе (далее – диссертации) Эдуарда Игоревича Воробьева рассмотрен широкий круг вопросов, связанных с динамической и физико-химической эволюцией протозвездных и протопланетных дисков. В последние два десятилетия эта тематика вышла на передний край астрофизических исследований благодаря взрывному увеличению объема наблюдательной информации с телескопов инфракрасного и субмиллиметрового диапазона, а также прогрессу в компьютерном моделировании процесса рождения звезд и планетных систем. Это обстоятельство делает тему диссертации Э.И.Воробьева весьма актуальной.

Основным инструментом исследования в диссертации является двумерный гидродинамический комплекс FEOSAD, разработанный диссертантом для моделирования динамических явлений в аккреционных дисках, возникающих в процессе звездообразования. В первой главе диссертации приводится описание комплекса FEOSAD и его составных частей, позволивших автору рассматривать эволюцию дисков с различной металличностью на всех этапах, по-отдельности прослеживая динамику и изменение физических условий в газовой и пылевой компоненте. Во второй главе автор описывает результаты своих исследований вековой динамической и тепловой эволюции дисков, уделяя особое внимание интерпретации наблюдаемых особенностей их структуры. Ближе всего по научным интересам мне третья глава диссертации, в которой обсуждается комплекс проблем, связанных с причиной и последствиями вспышек фуоров. Весьма важным мне представляется вывод автора о необходимости учитывать эффект адвекции при оценке возраста звезд с возрастом  $\lesssim 1.5$  млн лет. Что касается т. н. «проблемы светимости», то я не уверен, что исследования диссертанта позволяют говорить о ее окончательном решении, но значимость полученных автором результатов не вызывает у меня сомнений. Весьма важным вкладом в космогонию я считаю цикл работ Э.И. Воробьева, посвященный формированию планет-гигантов и коричневых карликов, а также структуры экзопланетных систем в целом – этим вопросам посвящена пятая глава диссертации. В шестой главе наиболее интересным мне представляется вывод о том, что процесс роста пыли начинается на самых ранних этапах эволюции диска.

Несомненное достоинство диссертации – доведение результатов численных расчетов до уровня, позволяющего проводить сравнение расчетов с наблюдениями. Считаю нужным также отметить, что далеко не все результаты, полученные автором за последние полтора десятилетия, вошли в рассматриваемую диссертационную работу. В качестве наиболее близкого мне примера упомяну статью Эдуарда Игоревича (Dong et al., 2022, NatAs 6, 331), посвященную «двойному» фуору Z Cma, результаты которой позволяют объяснить наблюдения, полученные почти четверть века назад (Lamzin et al., 1998, Astron. Rep. 42, 630).

Материал в диссертации хорошо изложен: в каждой главе четко сформулированы решаемые задачи, достаточно полно описано, как они решались, и на качественном уровне пояснен физический смысл полученных результатов. Изложение компактное, но дает достаточно полное представление как об используемых подходах, так и об ограничениях применяемых моделей. Едва ли не единственная претензия к оформлению диссертации (не считая нескольких опечаток и пропущенных запятых) – отсутствие определения понятия

«боллометрическая температура» в разделе 4.9, которое, впрочем, имеется в соответствующей работе автора (Dunham & Vorobyov, 2012).

Основным недостатком научного содержания диссертации я считаю полное пренебрежение влиянием дискового ветра на эволюцию и структуру протопланетных и протозвездных дисков. Между тем в последние годы все больше авторов говорят о важной роли ветра в процессе переноса углового момента в дисках молодых звездных объектов и формировании их структуры – см., например, Zagaria et al., arxiv.org/pdf/2205.10931.pdf и приведенные там ссылки. Понятно, что введение нового фактора существенно усложнило бы расчеты, и вообще, «нельзя объять необъятное», но обходить полным молчанием этот вопрос все же неправильно. Справедливости ради отмечу, что в Заключении автор пишет, что уже начата работа по включению в модель FEOSAD «магнитного дискового ветра, как одного из основных механизмов потери массы и углового момента диском.»

Не понравилось мне и то, что в диссертации совсем не упоминается эффект седиментации пыли, тем более, что эволюции пылевой компоненты посвящен целый раздел – глава 6. Мне кажется стоило бы посвятить этому вопросу хотя бы пару-тройку предложений, указав на роль этого явления и его влияния на наблюдаемую картину.

Однако приведенные выше замечания никоим образом не влияют на мое общее весьма положительное впечатление от научного содержания диссертации Э.И.Воробьева. Все вынесенные автором на защиту положения являются новыми, достаточно обоснованными и нетривиальными. О новизне, достоверности и востребованности результатов исследований соискателя достаточно красноречиво свидетельствует и то, что (по данным ADS) его индекс Хирша равен 34, а общее число цитирований его работ  $\approx 4200$ . Отмечу кстати, что положенные в основу диссертации результаты опубликованы в 33 статьях журналов из списка ТОП-25, неоднократно докладывались на профильных семинарах и международных конференциях. Эти результаты имеют очевидное прикладное значение и могут быть использованы в российских (ГАИШ МГУ, ГАО РАН, ИНАСАН, КраО, КазФУ, САО РАН и др.) и зарубежных институтах, университетах и обсерваториях в исследованиях, связанных с изучением процесса рождения звезд и планет.

На основании всего вышесказанного считаю, что представленный цикл работ Э.В. Воробьева представляет собой новое направление исследований, а также удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, поэтому ее автор, безусловно, заслуживает присвоения искомой степени.

Ведущий научный сотрудник ГАИШ МГУ  
(119991, Москва, Университетский проспект, 13)  
доктор физ.-мат. наук

С.А.Ламзин

Подпись в.н.с. ГАИШ МГУ Сергея Анатольевича Ламзина заверяю

Директор ГАИШ МГУ  
доктор физ.-мат. наук, профессор



К.А.Постнов