

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**доктора физико-математических наук**  
**Ильина Антона Сергеевича**

**на тему: «Стохастический транспорт в изотропных потоках»**  
**по специальности 1.3.3. Теоретическая физика**

Диссертационная работа А.С.Ильина посвящена очень важному и чрезвычайно своеобразному разделу физики, а именно переносу различных полей в случайных потоках. В этой области интенсивные исследования проводятся не одно десятилетие, а среди авторов написанных на эту тему работ представлена целая галерея выдающихся физиков. Результаты, которые были получены в этой области, востребованы в самых разнообразных аспектах. Однако все эти, очень интересные во многих отношениях, исследования далеко не исчерпали проблематику проблемы. Важно, что в работах диссертанта эта проблемы поднята на совершенно новый уровень ее осознания как с точки зрения понимания физики явлений, так и с точки зрения понимания математической природы задачи. Возможность подобного развития многократно исследованной темы связана не только с многогранностью ее возможных приложений и аспектов, в которых тема стохастического переноса интересна, но и совершенно необычным соотношением физических и математических идей, привлечение которых совершенно необходимо для адекватного раскрытия темы.

Задачи, возникающие при описании случайных потоков, являются крайне **актуальными и востребованными** в теории турбулентности, в теории кинематического динамо и многих других разделах современной физики и математики.

Для того, чтобы не быть голословным, я позволю себе описать лишь один, но, как мне кажется, яркий фрагмент необычного сочетания физики и математики, необходимого для работы в области стохастического переноса. Все знают, что для восстановления траектории материальной точки по известной скорости нужно решить несложное дифференциальное уравнение. С точки зрения математического обоснования этого восстановления скорость



при этом должна быть непрерывной функцией времени. Тогда траектория восстанавливается как интеграл с переменным верхним пределом от скорости. Если же мы хотим восстановить траекторию машины, которая первый час ехала в заданном направлении со скоростью, скажем, 70 километров в час, а второй – со скоростью 80 километров в час, то нам, строго говоря, придется разъяснить, как мы понимаем решение нашего дифференциального уравнения в точке, где произошел скачек скорости, поскольку здесь у интеграла с переменным верхним пределом нет производной. Придется сформулировать понятие обобщенного решения и применить его для обоснования общеизвестного вывода. Мне никогда не приходилось слышать, чтобы кто-нибудь серьезно анализировал эту проблему в стандартных разделах физики, справедливо полагая, что желающие могут додумать эту математическую тонкость самостоятельно. Своеобразие задач о стохастическом транспорте состоит, в частности, в том, что в них подобные скачки скорости происходят в каждый (или практически в каждый) момент времени, а очевидный рецепт разрешения этой тонкости, намеченный выше, расщепляется на два подхода к пониманию смысла уравнения переноса. Одни из этих подходов, отталкивающихся от точки зрения, естественной для физика, был исторически сформулирован Р.Л.Стратоновичем, а альтернативный подход, отталкивающийся от математических концепций, был сформулирован японским математиком К.Ито. Эти подходы при решении конкретных уравнений приводят к несовпадающим результатам. Естественно, известен способ, позволяющий интерпретировать результаты, полученные в рамках одного подхода, а рамках альтернативного подхода, однако проведение подобной переинтерпретации в каждом конкретном случае требует тщательного отслеживания всех возникающих в этой связи тонкостей.

Подчеркну, что здесь описан лишь один аспект совершенно нестандартного сочетания идей различной природы, необходимого для изучения поднимаемых диссертантом задач.

В диссертации сформулирована ясная и убедительная концепция того, как этот пласт математических тонкостей и изюминок применяется для решения актуальных физических задач.

Можно обсуждать вопрос о том, насколько сформулированный автором рецепт общезначим и исчерпывает все аспекты теории стохастического



переноса. По этому поводу диссертант привел убедительные доводы, поддерживающие защищаемый им подход. Мне кажется, что в таких областях формальное доказательство никогда не бывает полностью исчерпывающим, однако уже сейчас ясно, что мы имеем дело с интеллектуальным прорывом, который является определяющим не только для теоретической физики, но и для математики.

В определенном смысле диссертационную работу можно рассматривать не только как работу, определяющую развитие целого раздела физики случайных сред, но и как создание нового поля исследований в математике.

Если не вдаваться в детали, то автору удалось оторваться от гипотезы гауссовости, которая так или иначе возникала при анализе явлений переноса в большинстве работ. Разумеется, в этом контексте взгляд автора на место, которое занимает концепция гауссовости в исследованиях предшествовавших авторов, можно обсуждать с различных точек зрения. Далеко не всегда классики науки исчерпывающим образом описывали интересующие их физические модели, так что при обсуждении вопроса о том, что именно следует называть, скажем, колмогоровской турбулентностью, могут быть высказаны различные мнения. Мне кажется, что обсуждение именно этого аспекта проблемы непродуктивно, а **новизна** и яркость сформулированного и развитого диссертантом подхода представляется мне очевидной.

Конечно, предлагаемая автором концепция допускает и требует очевидного расширения как в плане физики, так и математики. В этой связи мне представляется принципиально важным, что диссертационная работа представляет собой не узкое изолированное исследование, а опирается на работу большой (естественно, по меркам теоретической физики) научной группы, разрабатывающей идеи диссертанта и предлагающей свои концепции, возникающие в рамках подобного развития.

Мне представляется, что основная сила диссертационного исследования состоит не в отдельных, очень ярких результатах (они, конечно, есть в работе), но в основной концепции исследования, которая состоит в последовательном и математически строгом учете негауссовой природы случайных потоков.

Если же сосредоточиться на отдельных результатах, то меня, естественно, привлекает прежде всего цикл результатов о росте мелкомасштабного магнитного поля, отталкивающихся от работ А.П.Казанцева и его



последователей. Основной выигрышный момент здесь состоит в принципиальном отрыве от рассмотрения гауссовских моделей турбулентности. Конечно, и здесь можно обсуждать вопрос о том, почему турбулентное поле скорости не стоит считать непременно гауссовским. Мне, например, больше нравится не то соображение, которое приводит диссертант, а мысль о том, что гауссовское поле, будучи неограниченным по величине, несовместимо с представлениями о скорости света, как предельной скорости переноса вещества. Однако подобные мелкие разночтения, конечно, совершенно несущественны на общем впечатляющем фоне работы.

Отмечу также несколько других ярких результатов работы. Предложено негауссово обобщение модели Казанцева-Крайчнана, в рамках которой оказывается возможным учесть  $T$ -неинвариантность стохастического потока [В рамках этой модели вычислены показатели затухания скалярного и магнитного локализованных возмущений на вязком этапе эволюции. Изучен эффект насыщения высших моментов, связанный с сильной перемежаемостью таких систем. Эффекты нарушения  $P$ -инвариантности хорошо известны в данном круге работ, но нарушение  $T$ -инвариантности – новое и интересное развитие сюжета.

Эти результаты получены достаточно строгими математическими методами, что делает их хорошо **обоснованными и достоверными**; кроме этого, они находятся в согласии с другими известными результатами.

Жанр отзыва требует, чтобы я сформулировал, кроме приведенных выше замечаний общего характера, какие-нибудь технические замечания. Разумеется, в диссертации можно при желании найти примеры неудачных фраз, недостаточно явно сделанных оговорок и т.п. В качестве такого технического замечания отмечу, что автор цитирует книгу Я.Б.Зельдовича с соавторами “Магнитные поля в астрофизике” по русскому изданию, отделенному от английского оригинала двумя десятилетиями, что создает не вполне прозрачную перспективу развития событий. Конечно, подобные технические огрехи не меняют общего положительного впечатления от диссертации.

Работа прекрасно опубликована в научных журналах самой высокой категории. Таким образом, результаты диссертации признаны научным сообществом, что также говорит об их достоверности, обоснованности и новизне.

Суммируя, можно сказать, что диссертация “Стохастический транспорт в изотропных потоках” отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации N 842 от 24 сентября 2013 г., которые относятся к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор Ильин Антон Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.3. – теоретическая физика.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Официальный оппонент: доктор физико-математических наук, профессор кафедры математики отдела прикладной математики физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

 Соколов Дмитрий Дмитриевич

13.05.2024

Почтовый адрес: 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2, физический факультет

тел.: +7 495 939-16-82, e-mail: [info@physics.msu.ru](mailto:info@physics.msu.ru)

Телефон 8-915137-86-65

Адрес электронной почты: [Sokoloff.dd@gmail.com](mailto:Sokoloff.dd@gmail.com)

Специальность докторской диссертации официального оппонента 01.04.02 – теоретическая и математическая физика.

Подпись Соколова Д.Д. удостоверяю:

И.о. декана физического факультета МГУ

профессор

 В.В.Белокуров



Список основных публикаций официального оппонента по теме рассмотренной диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. V N Obridko, A S Shibalova, D D Sokoloff Cyclic variations of the structure and energetics of solar magnetic fields *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 529, 2846 – 2853, 2024.
2. I. Abushzada, E. Yushkov, P Frick and D Sokoloff Small-scale Kazantsev-Kraichnan dynamo in a MHD shell approach, *Physica Scripta*, Volume 98, Number 11, 115966, 10 p., 2023.
3. V.N. Obridko, D.D. Sokoloff, M.M. Katsova, Relating photometric and magnetic properties of structures at solar surface, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Volume 252, November 2023, 106152, 2023 ().
4. R. Okatev, P. Frick, D. Sokoloff Can the observable solar activity spectrum be reproduced by a simple dynamo model? *Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics*, 2023, VOL. 117, NO. 6, 437–454.
5. P. Charbonneau, D. Sokoloff, Evolution of Solar and Stellar Dynamo Theory, *Space Science Reviews* (2023) 219 (5):35, 37 p.
6. V.N. Obridko, A.S. Shibalova, D.D. Sokoloff The extended solar cycle and asymmetry of the large-scale magnetic field, *MNRAS*, Volume 523, Issue 1, pp.982-990, 2023 ().
7. EA. Illarionov, D.D. Sokoloff, Relative efficiency of three mechanisms of vector fields growth in a random media, *Phys. Rev. D.*, Vol. 107, No. 4, 044110, 2023 ().
8. Куценко В.А., Соколов Д.Д., Яровая Е.Б., Неустойчивости в случайных средах и режимы с обострением, *Журнал экспериментальной и теоретической физики*, 2023, Т 163, No. 4, стр. 561–573, 2023,
9. А.Ю. Серенкова, Д.Д. Соколов, Е.В. Юшков Нелинейный параметрический резонанс в простейшей модели солнечного динамо, *ЖЭТФ*, 2023, 136, No. 4, pp. 456–464.
10. E. Maiewski, H. Malova, V. Popov, D. Sokoloff, E. Yushkov. Migrating Dynamo Waves and Consequences for Stellar Current Sheets, *Solar Physics*, 297, 150, id. 150, 2022.

11. Obridko V.N. , Sokoloff D.D., Katsova M.M., Shelting B.D., Livshits I.M. Clarifying Physical Properties of Magnetic Fields in Sunspots, *Solar Phys.*, 2022, 297, 10, 131. P. 1 - 11.
12. A. Zhukova, D. Sokoloff, V. Abramenko, A. Khlystova The north-south asymmetry of active regions of different magnetomorphological types in solar cycles 23 and 24, *Advances in Space Research*, V. 71, N 4, p. 1984-1994, 2023/
13. Obridko, V. N. ; Katsova, M. M. ; Sokoloff, D. D. Solar and stellar activity cycles -- no synchronization with exoplanets, *MNRAS* , 516, Issue 1, October 2022, 1251–1255.
14. Katsova, M. M. ; Obridko, V. N. ; Sokoloff, D. D. ; Livshits, I. M. Solar and stellar flares: frequency, active regions and stellar dynamo, *ApJ*, 2022, 936, 1, id. 49 (9pp).
15. A. Zhukova, A. Khlystova, V. Abramenko, D. Sokoloff Synthetic solar cycle for active regions violating the Hale's polarity law, *MNRAS*, 512, 1, 1365 -- 1370, 2022.