



ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Закускина Александра Сергеевича
«Лабораторное моделирование и диагностика газоплазменных сред,
представляющих астрофизический интерес» представленной на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.4.4. – Физическая химия**

Диссертационная работа посвящена разработке и применению лабораторного моделирования с использованием лазерно-индуцированной плазмы (ЛИП) для воспроизведения условий в плазменных источниках космического происхождения, в частности, при метеорных явлениях. Это комплексный, междисциплинарный подход, объединяющий лазерно-спектральные методы, диагностику плазмы для изучения высокотемпературных процессов и современные вычислительные методы машинного обучения.

Автором разработана и собрана экспериментальная установка, позволяющая проводить измерения при различных давлениях с высоким пространственным разрешением в плазме по сигналам томсоновского рассеяния, лазерно-индуцированной флуоресценции и ее собственному излучению. Впервые предложены схемы нерезонансной флуоресценции для ряда атомов и молекул (Ca, Fe, Ti, CaO), позволившие регистрировать насыщенные сигналы флуоресценции и выявлять пространственные закономерности распределения частиц. Для обработки сильно зашумлённых сигналов предложено использование вейвлет-преобразований.



Особо следует отметить создание ансамблей моделей машинного обучения для предсказания штарковских параметров атомных и ионных линий. Автору удалось достигнуть точности предсказаний, сопоставимую с погрешностью использованных для обучения экспериментальных данных, что открывает широкие перспективы для более точного моделирования эмиссионных спектров и повышения надежности определения параметров плазмы. Еще одним важным достижением является достижение условий в лабораторном эксперименте, соответствующих метеорам на высоте около 39 км. Это позволило предположить, что возможно давление в хвосте существенно превышает атмосферное на соответствующей высоте.

Диссертация обладает чётко сформулированной целью и задачами, логичной структурой, опирается на современный теоретический и методологический аппарат. Полученные результаты убедительно подтверждены экспериментальными данными, соответствуют мировому уровню исследований в соответствующих областях. Следует отметить и высокую теоретическую и практическую значимость работы, поскольку полученные результаты могут быть использованы как в астрофизике, плазмохимии и в спектральном анализе.

Наиболее близкой к моей области научных интересов является часть, посвященная моделированию штарковских параметров атомов в ЛИП. Необходимо отметить, что данная часть работы выполнена на очень высоком научном уровне и с глубоким пониманием подходов и лучших практик



моделирования. Тем не менее, я хотел бы отметить несколько замечаний к этой части работы:

1. Учитывая разброс данных, которые отличаются на порядки величин, имело смысл моделировать логарифмические параметры, что авторами и было сделано. Однако, на этапе анализа ошибок и выбора оптимальных моделей, автор перешел назад в исходную шкалу и использовал параметры RMSE и MRE, которые при таком характере распределения не отражают истинных показателей предсказательной способности. Имело смысл отбирать модели, не переходя в исходную шкалу величин, используя метрики в логарифмической шкале и рассматривать RMSE и MRE в исходной шкале лишь как демонстрационные. Примером корректного анализа можно считать Рисунок 43, где предсказанные и экспериментальные показатели сравнены в логарифмической шкале. Также для анализа моделей имело смысл рассмотреть непараметрические показатели качества, такие как коэффициент Спирмена.
2. Предложенный способ аугментации добавлением шума в температуру не несет новой информации для модели, а только побуждает методы машинного обучения обращать меньшее внимание на температуру. Это, согласно Рисунку 44, имеет под собой практическое обоснование, поэтому игнорирование параметра температуры не приводит к существенному ухудшению



- моделей. В связи с этим эксперименты, связанные с аугментацией данных, и связанные с этим выводы, хоть и обоснованы данными, но являются артефактом выбранного способа аугментации.
3. Неясно, почему авторы исключили результаты модели TabNet и не упоминают их в результатах. Возможно, я упустил этот момент из внимания, но я не увидел объяснения. Неясно, зачем в этом случае вообще упоминать этот метод машинного обучения как один из использованных подходов.
 4. Неплохо было бы разработать способ оценки домена применимости полученных моделей, что является классической практикой при моделировании такого рода.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Закусина А.С. По актуальности темы, научной новизне, объему выполненных исследований и значимости полученных результатов представленная диссертационная работа соответствует критериям, определенным пп. 2.1-2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова», а ее автор, Закусин Александр Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.4. - Физическая химия.



Маджидов Тимур Исмаилович, к.х.н., д.х.н. (хабилитация)

Старший менеджер по продукту Reaxys™, Отдел инноваций в химии,
Департамент решений для наук о жизни, компания Elsevier
*Reaxys Senior Product Manager, Chemistry Innovations, Life Science Solutions,
Elsevier*

Рабочий адрес: *Elsevier Ltd, Nielsen House, John Smith Drive, OX4 2WB, Oxford,
United Kingdom*

«30» мая 2025 г.

(Т.И.Маджидов)