

Отзыв на автореферат диссертации **Кропотиной Юлии Андреевны**
*«ГИБРИДНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНЫХ
УДАРНЫХ ВОЛН В МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ПЛАЗМЕ ОСТАТКОВ
СВЕРХНОВЫХ, СКОПЛЕНИЙ ГАЛАКТИК И СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА»*
на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

В диссертации **Кропотиной Юлии Андреевны** представлены результаты исследований процессов нагрева плазмы и инжекции космических лучей в бесстолкновительных ударных фронтах оболочек сверхновых звезд, которые являются одним из источников космических лучей.

Важно отметить, что **Кропотина Юлия Андреевна** имеет отличную базу для своих исследований в Физико-технический институте им. А. Ф. Иоффе РАН, который является одним из известнейших мировых научных центров.

Кропотина Юлия Андреевна включила в список девять публикаций, которые отвечают высокому уровню. Защита **Кропотиной Юлии Андреевны** не вызывает никаких сомнений, и я ее полностью поддерживаю.

Результаты **Кропотиной Юлии Андреевны** представляются важными, поскольку многие аспекты ускорения космических лучей до сих пор непонятны, несмотря на давнюю историю этой проблемы (более ста лет). Результаты исследований **Кропотиной Юлии Андреевны** дают лично мне возможность узнать и понять больше о механизме ускорения КЛ.

Одним из ключевых процессов является взаимодействие КЛ с флуктуациями неоднородностями магнитных флуктуаций в оболочках сверхновых. В свое время Domiano Carigioli развил численный код для расчета спектров КЛ в бесстолкновительной плазме. **Кропотина Юлия Андреевна** развила оригинальный численный код "Maximus", который позволяет рассчитать спектры и химический состав ускоренных частиц в зависимости угла наклона магнитного поля к нормали и оценить эффективность инжекции частиц.

В качестве примера, мне бы хотелось обсудить проблему ускорения КЛ сверхзвуковой турбулентностью в оболочках СН, ОВ-ассоциациях или скоплениях галактик (см, например комбинацию ускорения Ферми I + Ферми II, Быков и Топтыгин, 1993). Еще в 1960 году А. В. Гуревич предложил объяснение эффективности ускорения частиц из фоновой плазмы, чей поток обогащен тяжелыми ионами. В результате, этот процесс генерирует не только спектры нетепловых частиц, но и искажает распределение равновесных фоновых частиц плазмы. Процессы генерации потока «убегающих» частиц.

Позднее, Petrosian (2001), Wolfe & Melia (2006) и Petrosian & East (2008) показали, что энергия, получаемая частицами, распределяется по фоновой плазме за масштабы времени, намного меньшие, чем время ускорения. В результате, ускорение становится неэффективным и приводит лишь к перегреву плазмы.

Мы в 2012 году показали, что при высоком значении импульса инжекции эффективность ускорения зависит от режима ускорения. В одном случае, единственным эффектом ускорения может быть перегрев фоновой плазмы. В другом случае, убегающий поток частиц охлаждает плазму, и температура

фоновой плазмы падает (аналог демона Максвелла) с заметным увеличением плотности ускоренных частиц. Однако, в наших работах эффективность таких процессов не выводится, а оценивается свободным параметром.

Как не кажется, существенным развитием модели ускорения частиц являются результаты **Кропотиной Юлии Андреевны**, когда параметры этих процессов выводятся «из первых принципов», а не оцениваются довольно произвольно. В диссертации показано, что эффективность нагрева и инжекции в ударных волнах существенно зависит от доли тяжелых ионов в потоке ускоренных частиц. Таким образом, результаты дают ясную физическую картину формирования потоков КЛ в различных астрофизических объектах.

В заключение, я оцениваю диссертацию отличной и могу лишь пожелать дальнейших исследований **Кропотиной Юлии Андреевны** в будущем.

Безусловно, **Кропотина Юлия Андреевна** заслуживает принуждения степени кандидата физико-математических наук.

14 ноября 2021 г.

Профессор, главный научный сотрудник,
Отделения теоретической физики им. И. Е. Тамма
Физического института им. П. Н. Лебедева РАН
В. А. Догель