Метод восстановления нелокальных характеристик флуктуаций плотности плазмы токамака по корреляционной рефлектометрии [[1]](#footnote-1)\*)

1,2Кукушкин А.Б., 1Куличенко А.А.

1НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия  
2Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

Одним из важнейших свойств стохастических нелинейных процессов, включая турбулентность гидродинамического движения непрерывных сред, являются далекие пространственные корреляции. Для их описания был предложен подход [1], основанный на линейном интегро-дифференциальном уравнении с медленно спадающим ядром, что соответствует супердиффузионному (нелокальному) переносу в режиме «прогулок Леви» (т.е. полетов Леви с учетом конечной скорости переносчиков). Полученные законы подобия позволили на качественном уровне установить связь с законом Ричардсона *r* ~ *t*3/2 для пространственно-временной корреляционной функции гидродинамической турбулентности и законом Колмогорова для однородной изотропной турбулентности.

Здесь сформулирован близкий подход, основанный на применении концепции прогулок Леви к описанию нелокальных свойств флуктуаций плотности турбулентной среды. Такой подход позволяет сформулировать задачу определения этих свойств по спектрам рассеяния электромагнитных (ЭМ) волн и кросс-корреляционной рефлектометрии. Предложена система уравнений для флуктуаций плотности, сводящаяся в частных случаях к интегральному уравнению для парной корреляционной функции флуктуаций плотности плазмы. Это уравнение выражается через функционал Холстейна, характерный для широкого круга процессов нелокального переноса, включая перенос резонансного излучения в плазме и газах в модели Бибермана-Холстейна (см, напр., [2, 3]). Получено универсальное описание связи наблюдаемой квази-когерентной компоненты в спектре рассеянных ЭМ волн в плазме с процессом типа рассеяния Мандельштама-Бриллюэна. Показано, что нелокальность пространственных корреляций в турбулентной среде, соответствующая отклонению парной корреляционной функции флуктуаций плотности плазмы от гауссовской, обусловлена длиннопробежными переносчиками флуктуаций плотности среды, для которых функция распределения по длине свободного пробега описывается распределением Леви.

Эффективность предлагаемого метода показана на примере интерпретации данных кросс-корреляционной рефлектометрии ЭМ волн радиочастотного диапазона для диагностики турбулентной плазмы в установках магнитного удержания термоядерной плазмы, включая данные экспериментов на токамаке T-10 [4,5]. Использована степенная модель функции Холстейна и соответствующие решения уравнения переноса для прогулок Леви [6-8].

Литература

1. M.F. Shlesinger, B.J. West, J. Klafter 1987 Phys. Rev. Lett. 58, 11.
2. Л.М. Биберман, В.С. Воробьев, И.Т. Якубов 1982 Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы, Наука, Москва.
3. В.А. Абрамов, В.И. Коган, В.С. Лисица 1982 Перенос излучения в плазме, в сб. Вопросы теории плазмы, Энергоатомиздат, Москва, вып. 12, с. 114.
4. V.A. Vershkov, D.V. Sarychev, G.E. Notkin, *et al.* 2017 Nucl. Fusion 57 102017.
5. A.O. Urazbaev, V.A. Vershkov, S.V. Soldatov *et al.* 2006 Plasma Physics Reports, vol. 32, no. 6, pp. 443–460.
6. А.А. Куличенко, А.Б. Кукушкин 2020 ЖЭТФ, т. 157, с. 1036–1050.
7. А.Б. Кукушкин, А.А. Куличенко, А.В. Соколов 2021 ЖЭТФ, т. 159, с. 978–996.
8. A.B. Kukushkin, A.A. Kulichenko, V.S. Neverov, P.A. Sdvizhenskii; A.V. Sokolov, V.V. Voloshinov 2021 Symmetry, 13(3), 394.

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLIX/Mu/en/BW-Kukushkin_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)