

СПЕКТР КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ТУРБУЛЕНТНЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ПЛОТНОСТИ ПЛАЗМЫ В ТОКАМАКЕ ^{*)}

^{1,2,3}Кукушкин А.Б., ¹Куличенко А.А.

¹НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, Kukushkin_AB@nrcki.ru,

²НИЯУ «МИФИ», Москва, Россия,

³МФТИ (НИУ), Москва, Россия.

Ранее [1, 2] было показано, что флуктуации плотности плазмы, наблюдаемые в токамаке Т-10 с помощью кросс-корреляционной рефлектометрии ЭМ волн [3, 4], могут иметь турбулентное происхождение. Показатель спада в распределении Леви для вероятности длины свободного пробега флуктуаций плотности, найденный в формализме интегро-дифференциальных уравнений нелокального переноса флуктуаций в режиме типа «прогулок Леви», оказался близок к его аналогу в эмпирическом законе Ричардсона [5] для гидродинамической турбулентности газов и жидкостей. В [1, 2] также получено универсальное описание связи наблюдаемой квази-когерентной компоненты [3, 4] в спектре рассеянных ЭМ волн в плазме токамака Т-10 с процессом типа рассеяния Мандельштама-Бриллюэна.

В настоящей работе получены следующие результаты.

1. Получен общий аналитический результат для спектра удельной кинетической энергии флуктуаций плотности турбулентной среды в модели стационарной квазиоднородной (не обязательно изотропной) гидродинамической турбулентности. Спектр имеет универсальную зависимость от функции распределения по длине свободного пробега флуктуаций плотности плазмы в заданной квазиоднородной среде. Поскольку указанный спектр удельной кинетической энергии прямо связан с наблюдаемым спектром рассеяния ЭМ волн на флуктуациях плотности, из спектра рассеяния можно надежно определить характерные параметры кинетической энергии флуктуаций плотности.

2. Обобщена формула [1, 2] для кросс-корреляционной функции рефлектометрического зондирования флуктуаций плотности квазиоднородной турбулентной среды на случай неизотропности среды. Этот результат охватывает случай плазмы в однородном магнитном поле и применим к измерениям кросс-корреляций в токамаке на, например, нескольких сантиметрах в плазме, вдали от периферии плазменного шнура с малым радиусом ~ 30 см.

3. Рассчитан спектр удельной кинетической энергии флуктуаций плотности плазмы по экспериментальным данным [4] на токамаке Т-10 и проведено сравнение с соответствующим спектром Колмогорова [6] для стационарной однородной гидродинамической турбулентности. Показано, что спектр энергии близок к колмогоровскому в крыле спектральной линии, называемой квази-когерентной компонентой [3] и соответствующей, как показано в [1, 2], рассеянию зондирующего излучения на флуктуациях плотности, движущихся по малому радиусу плазменного шнура (т.е. поперек сильному магнитному полю) в обоих направлениях – внутрь и наружу плазменного шнура – со средней скоростью $\sim 10^4\text{--}10^5$ см/с.

Литература

- [1]. Kukushkin A.B., Kulichenko A.A. 2022 *Symmetry* **14**(6), 1265 (32 pages).
- [2]. Кукушкин А.Б., Куличенко А.А. 2022 Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез **45**(2), 105-122.
- [3]. Vershkov V.A., Soldatov S.V., Dreval V.V. 1999 *Rev. Sci. Instrum.* **70**, 1700.
- [4]. Urazbaev A.O., Vershkov V.A., Soldatov S.V., Shelukhin D.A. 2006 *Plas. Phys. Rep.* **32**, 443–460.
- [5]. Richardson L.F. 1926 *Proc. Roy. Soc.* **110**, 709.
- [6]. Kolmogorov A.N. 1941 *C.R. Acad. Sci. U.R.S.S.* **30**, 301.

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)