Принципы статистического анализа подобия пространственных профилей плазмы токамака [[1]](#footnote-1)\*)

1,2Кукушкин А.Б., 1Сдвиженский П.А., 1Неверов В.С.

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

Явление самоорганизации плазмы в токамаках, заключающееся в стремлении плазмы сохранить форму пространственных профилей плотности, температуры при внешних воздействиях (включении и выключении сильного дополнительного нагрева плазмы в процессе разряда) ведет свою историю от работы Б. Коппи [1], где высказана идея об универсальных, «канонических» распределениях параметров плазмы как функциях нормированного малого радиуса плазменного шнура («profile consistency»). Эта идея получила подтверждение в последующем анализе экспериментальных данных с различных установок. Так, детальное сравнение экспериментальных профилей с разных установок с круглым сечением плазмы, подтвердившее идеи [1], было проведено в [2] (см. также последующие работы [3, 4]). В литературе приведен ряд решений задачи о МГД-равновесии при конечном градиенте давления для случая гладкого профиля давления и электрического тока плазмы, т.е. для плазмы без внутренних транспортных барьеров. В случае токамака обоснование феномена «самосогласованности профиля» [1] независимо дано в [5–7]. Современное состояние подхода, основанного на развитии идей [1], [5] и [6] с учетом экспериментальных данных с различных установок, представлено в монографии [8]. Однако задача массового статистического анализа экспериментальных данных отнюдь не исчерпана, и ее дополнение и расширение представляет, на наш взгляд, интерес для дальнейшего развития теоретических подходов, использующих в своей аксиоматике концепцию самоорганизации плазмы.

Здесь сформулированы основные принципы статистического анализа пространственных профилей параметров плазмы *f* (температуры, плотности, давления и др.) на стадии квазистационарного плазменного тока (т.н. стадия flat-top). Для всех указанных параметров можно найти универсальные профили $\overbar{G}\_{f}\left(ρ,ρ\_{max},k\right)$ ($ρ$ – нормированный малый радиус плазменного шнура, являющийся меткой магнитной поверхности и определяемый относительно полоидального или тороидального магнитного потока, *k* – номер разряда), получаемых делением профиля на его значение в центре плазменного шнура ($ρ\_{max}=0) $или на среднее значение этого параметра в области $ρ\leq ρ\_{max}=0.5—1$ и последующим усреднением по времени *t* на flat-top стадии каждого разряда. При усреднении по *t* всех разрядов получаются профили $̿\_{f}\left(ρ,ρ\_{max}\right)$. Для каждого разряда можно найти относительное среднеквадратичное (по $ρ\leq ρ\_{max}$ или *t*)отклонение $σ$ нормированного профиля от $\overbar{G}\_{f}\left(ρ,ρ\_{max},k\right)$, а для всей совокупности разрядов найти среднеквадратичное (по *t*)отклонение от $̿\_{f}\left(ρ,ρ\_{max}\right)$. Можно исследовать влияние включения допнагрева на автомодельность профиля. Обсуждается применимость такой программы к существующим базам данных.

Литература

1. Coppi B. 1980 Comments Plasma Phys. Control. Fusion, vol. 5, No. 6, pp. 261-270.
2. Esiptchuk Yu.V., Razumova K.A. 1986 Plasma Phys. Control. Fusion **28** 1253.
3. Dnestrovskij Yu.N., *et al* 2005 Plasma Phys. Rep. **31** 529
4. Razumova K.A., *et al* 2008 Plasma Phys. Control. Fusion **50** 105004 (13pp)
5. Kadomtsev B.B. 1987 Sov. J. Plasma Phys. **13**, 443.
6. Biskamp D. 1986 Comments Plasma Phys. Contr. Fusion, **10**, 165.
7. Hsu J.Y., Chu M.S. 1987 Phys. Fluids, **30**, 1221.
8. Dnestrovskij Yu.N. *Self-Organization of Hot Plasmas. The Canonical Profile Transport Model.* Springer, 2015.
1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLIX/Mu/en/AD-Kukushkin_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)