

В.А. Белопольский (5 курс, каф. ФП), В.М. Тимохин, асп.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ ОБЛАКА ИСПАРЯЮЩЕЙСЯ УГЛЕРОДНОЙ ПЕЛЛЕТЫ МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Методы инъекции макрочастиц (пеллет), широко распространенные в исследованиях по УТС, используются для управления и диагностики разряда высокотемпературной плазмы [1]. Одним из важных диагностических приложений пеллет-инъекции является исследование дрейфовых потоков примесей в плазменном шнуре. Информацию о таких дрейфах можно получить анализируя структуру облака испаряющейся макрочастицы [2]. Для исследования дрейфов полезно не только иметь фотографии испаряющегося облака, но и картину трехмерного распределения свечения испаренного вещества. Широко распространенные в настоящее время томографические методы позволяют судить о трехмерном распределении свечения в объекте по отдельным его проекциям [3]. До настоящего времени, в данной области физических исследований, томографические методы не применялись.

Основными задачами работы являлись разработка, реализация и применение алгоритма томографической обработки экспериментальных данных для исследования трехмерной структуры облака испаряющейся углеродной макрочастицы. В работе обрабатывались данные экспериментов по углеродной пеллет-инъекции, которые были получены осенью 2000г. на стеллараторе Wendelstein 7-AS (W7-AS) [4]. Наблюдение за пространственной и временной динамикой процесса испарения макрочастицы и формой облака испаренного вещества на W7-AS осуществлялось с помощью нескольких быстрых ПЗС (CCD) камер, видеокамеры и широкообзорного диода, перед которыми устанавливались светофильтры с центром полосы пропускания на длине волны 720 нм, соответствующей линии СII. Излучение светящегося облака вблизи испаряющейся пеллеты регистрировалось с двух направлений. Во-первых, со стороны нижнего патрубка, под углом примерно 45° к траектории пеллеты. Во-вторых, сзади, вслед макрочастице. Мгновенные фотографии, получаемые с CCD-камер, являются проекциями излучения плазмы в соответствующее направление. Таким образом, перед нами стояла задача ультрамалоракурсной трехмерной томографии.

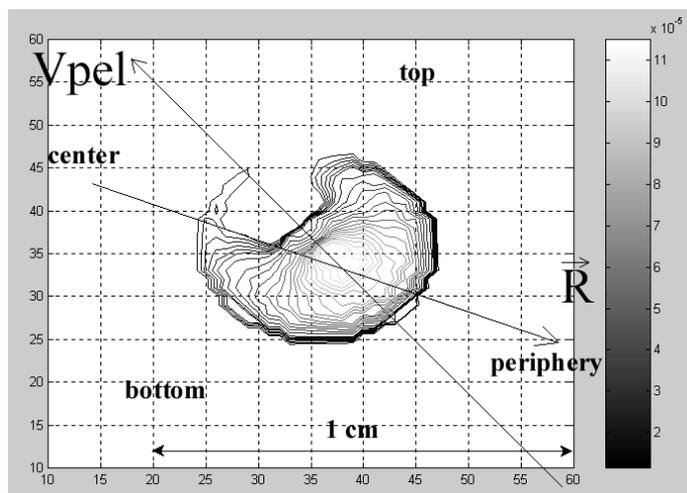
Первое упрощение, которое допускает задача – это редукция трехмерной задачи к N двумерным. Двумерные массивы интенсивностей с двух ракурсов должны быть разбиты на пары векторов, определяющих распределение интенсивности излучения в соответствующей плоскости. Исходя из предположений, что в отсутствии дрейфа разлет частиц перпендикулярно линиям магнитного поля изотропен, было сделано предположение о применимости для нашей задачи модели восстанавливаемого распределения в виде системы деформированных окружностей. В этом случае, модель восстанавливаемого распределения задается следующим образом:

$$g(r, \theta) = g_0(r) + rg_1(r) \sin \theta + rg_2(r) \cos \theta, \quad (1)$$

где $g_0(r)$ описывает систему изолиний в виде концентрических окружностей, а $g_1(r)$ и $g_2(r)$ – проекции возмущений на оси x и y , соответственно [5]. Исходя из данной модели, было сделано преобразование экспериментальных проекций для нахождения функций $g_0(r)$, $g_1(r)$ и $g_2(r)$ [6]. Тем самым мы свели задачу обращения преобразования Радона к 3-м задачам обращения преобразования Абея, являющегося его частным случаем для радиально-симметричной восстанавливаемой функции. Для численной реализации алгоритма был разработан пакет PEL_TOMOS, реализованный в

среде MathLab 5.2. Для проверки корректности работы пакета было произведено тестирование на ряде модельных задач.

На рисунке приведен пример восстановленного распределения интенсивности в



сечении облака поперек магнитного поля. Сечение соответствует приблизительно середине облака. Линии магнитного поля направлены перпендикулярно плоскости рисунка. Направление скорости пеллеты и большого радиуса установки показаны стрелками.

Из приведенного распределения свечения видно, что присутствует асимметрия облака в пространстве, особенно ярко выраженная для изолиний низкой интенсивности (менее 10% от максимума). Облако асимметрично вдоль большого радиуса и вытянуто в сторону сильного поля. Такая форма облака не

может быть объяснена особенностями геометрии системы регистрации или выгибанием облака вместе с магнитной поверхностью, поэтому было сделано предположение о наличии дрейфового потока примеси углерода вдоль большого радиуса в сторону сильного поля. Направление этого дрейфа противоположно тому, что наблюдалось в экспериментах на токамаке ASDEX-Upgrade [7], где плазма облака водородной макрочастицы дрейфовала в направлении слабого поля. Физический механизм обнаруженного явления пока остается непонятным.

Выводы. Разработан пакет для томографической обработки данных экспериментов по углеродной пеллет-инжекции на стеллараторе W7-AS. Произведено тестирование пакета и первая обработка экспериментальных данных. Результаты первой обработки свидетельствуют в пользу наличия асимметрии облака испаряющейся макрочастицы в пространстве, которую мы связываем с наличием дрейфа примеси в сторону сильного поля.

ЛИТЕРАТУРА:

1. B.V. Kuteev, P.T. Lang, S. Sudo *et al.*, Impurity pellet injection systems for tokamak diagnostics and burn control *Fusion technology* 26, 1994, pp. 938-944.
2. V.Yu. Sergeev, V.M. Timokhin, O.A. Bakhareva, B.V. Kuteev, V.A. Belopolsky, R. Burhenn, L. Ledl and the WVII-AS team. Studies of C-pellet ablation cloud structure on Wendelstein 7-AS stellarator, 28th EPS Conf. on Contr Fusion and Plasma Phys., Vol. 25A, 2001, pp. 1953-1956.
3. В.В. Пикалов, Т.С. Мельникова *Томография плазмы / Низкотемпературная плазма Т. 13* –Н.: Наука 1995.
4. L. Ledl, R. Burhenn, V. Sergeev, S. Egorov, B. Kuteev, L. Lengyel, S. Skokov, F. Wagner and W7-AS team, ECRH Group, NBI Group, Carbon Pellet Injection Experiments at the Stellarator W7-AS. 26th EPS Conf. on Contr Fusion and Plasma Phys., 1999 Vol.23J, pp. 1477-1480.
5. В.В. Пикалов, Н.Г. Преображенский *Реконструктивная томография в газодинамике и физике плазмы*- Н: Наука, 1987.
6. B.V. Kuteev, M.V. Ovsishcher Investigation of light impurities transport in tokamak using small-view optical tomography, 18th EPS Conf. on Contr Fusion and Plasma Phys. 1991, Vol.4, pp. 241-244
7. H.W Muller., K. Buchl, M. Kaufmann *et al.* High- β plasmoid drift during pellet injection into tokamaks. *Phys. Rev. Lett.*, 1999 V. 83 No 11 p.2199.