

Исследование поляризации излучения многозарядных ионов и тормозного континуума микропинча в области K_{α} – K_{β} плазмообразующего элемента

А. Н. Долгов*, Н. А. Клячин⁺, Д. Е. Прохорович*¹⁾

⁺Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, 115409 Москва, Россия

*Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Духова, 127055 Москва, Россия

Поступила в редакцию 25 сентября 2013 г.

После переработки 26 марта 2014 г.

Методами поляризационно-чувствительной дифракционной спектроскопии рентгеновского излучения микропинчевого разряда обнаружены некоторые особенности радиационного сжатия токового канала.¹⁾

DOI: 10.7868/S0370274X14090045

Незаменимым источником информации о протекающих процессах и значениях физических параметров в высокотемпературной плазме является дифракционная рентгеновская спектроскопия высокого разрешения. В лазерной плазме, плазменном фокусе, вакуумной искре была зарегистрирована поляризация рентгеновского излучения, в том числе излучения многозарядных ионов [1]. В рентгеновской области спектра причиной поляризации излучения могут служить анизотропия функции распределения электронов по скоростям или присутствие сильных электромагнитных полей. Таким образом, исследование поляризации излучения в различных частях спектра, формирующихся на разных стадиях изучаемого процесса, способно дать дополнительную информацию об особенностях динамики этого процесса.

Авторы настоящей работы провели спектрополяриметрическое исследование рентгеновского излучения быстрого Z-пинча в среде тяжелых элементов в области характеристического спектра плазмообразующего элемента – железа. Разряд осуществлялся в устройстве типа низкоиндуктивной вакуумной искры. Был реализован режим микропинчевания, т.е. сжатие токового канала собственным магнитным полем до образования области микронных размеров (микропинча), характеризующейся температурой 2–3 кэВ и плотностью порядка 10^{28} м^{-3} . Длительность так называемого радиационного сжатия, в котором формируется микропинч, составляет порядка 10^{-10} с. Это делает проведение прямых временных измерений (с пикосекундным разрешением)

сложной технической задачей [2, 3]. Для исследования поляризации излучения использовалась методика брэгговского отражения излучения от анализирующего кристалла под углами, близкими к углу Брюстера [4].

С помощью фокусирующего по схеме Иоганна кристаллического спектрографа на фотоэмульсионном детекторе при многоимпульсной экспозиции (серия из 50 разрядов при неизменной величине достигаемой в разряде силы тока) регистрировался спектр излучения в области K_{α} – K_{β} железа для одного из двух случаев пространственной ориентации плоскости дисперсии кристалла. В первом случае плоскость дисперсии анализирующего кристалла была ортогональна оси разряда, во втором – параллельна ей. При этом в первом случае выделяется компонента вектора напряженности электрического поля падающей волны, направленная параллельно оси разряда, во втором – поперек оси разряда (рис. 1). Характер источников рентгеновского излучения контролировался по изображениям плазмы разряда, формируемым с помощью камеры-обскуры. Образование микропинча, являвшегося наиболее ярким источником, происходило в каждом разряде. На рис. 2 и 3 представлены денситограммы зарегистрированных спектров. Повторяемость спектров, регистрируемых в различных сериях разрядов для каждой из двух пространственных ориентаций плоскости дисперсии кристалла, оказалась вполне удовлетворительной для проведения их сравнительного анализа.

На спектрограммах ярко выражено преобладание продольной ориентации электрического поля волны для тормозного континуума и излучения водородоподобного иона FeXXVI. Преимущественно продоль-

¹⁾e-mail: prokhorovich73@mail.ru

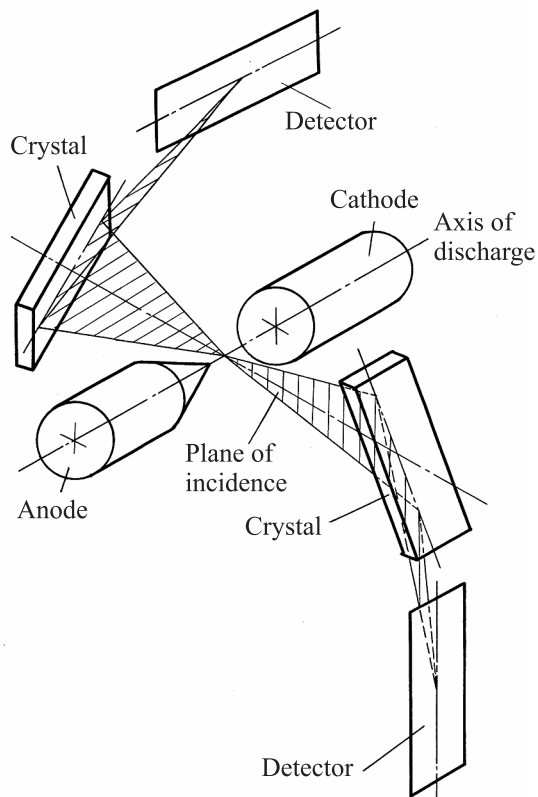


Рис. 1. Схема регистрации спектра излучения

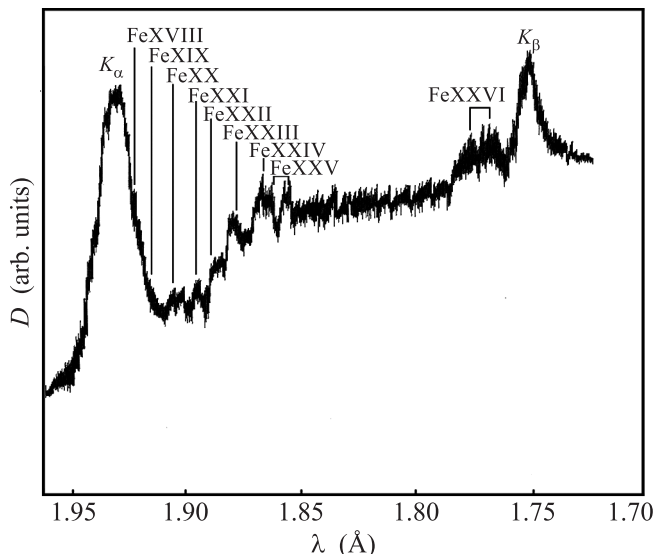


Рис. 2. Денситограмма зарегистрированного спектра излучения при ортогональной относительно оси разряда ориентации плоскости дисперсии

ная ориентация наблюдается и для излучения K_α -линии и сливающихся с ней линий ионов низкой кратности. В излучении ионов FeXVIII и FeXIX преобладает поперечная ориентация электрического поля волны. В излучении ионов FeXXIII–FeXXV вклад обеих компонент сопоставим.

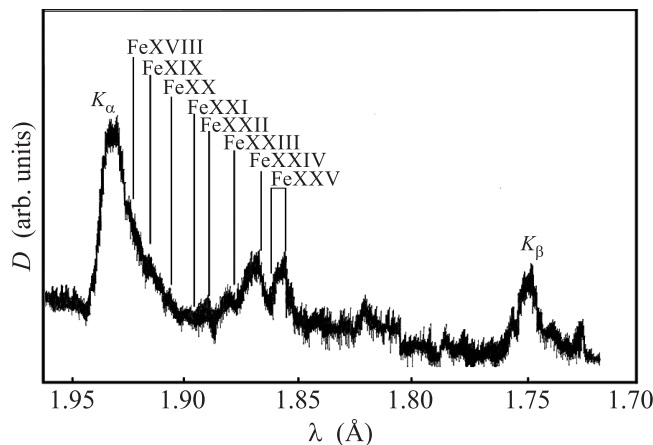


Рис. 3. Денситограмма зарегистрированного спектра излучения при параллельной относительно оси разряда ориентации плоскости дисперсии

Характер поляризации тормозного континуума и линейчатого излучения ионов низкой кратности при его анализе на основе имеющихся данных о динамике и параметрах микропинчевых разряда [5, 6] свидетельствует о том, что в плазме перетяжки, образующейся в результате первого (МГД) сжатия, развивается процесс ускорения электронов в осевом направлении под действием электростатического поля резистивной природы. Протекание второго (радиационного) сжатия сопровождается раскачкой поперечных колебаний плазмы и возникновением сильных поперечных электрических микрополей, оказывающих влияние на поляризацию излучения ионов FeXVIII–FeXXV. Завершение сжатия и дальнейший разлет плазмы перетяжки на фоне продолжающегося разогрева под действием аномального сопротивления ведут к затуханию колебаний. При этом условия существования продольного электрического поля сохраняются. Как следствие имеет место выраженная продольная ориентация электрического поля волны в излучении иона FeXXVI.

1. T. Fujimoto and A. Iwamae, *Plasma Polarization Spectroscopy*, Springer, N.Y. (2007), p. 384. P.
2. Ch. K. Erbert, K. N. Koshelev, and H.-J. Kunze, *J. Quant. Spectr. Radiat. Transfer* **65**, 195 (2000).
3. D. B. Sinars, S. A. Pikuz, T. A. Shelkovenko, K. M. Chandler, and D. A. Hammer, *Rev. Sci. Instrum* **72**(7), 2948 (2001).
4. Е. О. Баронова, А. Н. Долгов, Л. К. Якубовский, ПТЭ **6**, 1 (2004).
5. К. Н. Кошелев, Ю. В. Сидельников, В. В. Вихрев, В. В. Иванов, *Спектроскопия в горячей плазме многозарядных ионов*, Наука, М. (1991), 205 с.
6. С. А. Пикуз, *X-пинч. Экспериментальные исследования*, Дисс. На соиск. степени д.ф.-м.н., Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, М. (2007), 238 с.