

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЛИНЕЙЧАТОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ СИЛЬНОТОЧНОГО ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА

*В.А. Веретенников, А.Е. Гурей, А.Н. Долгов,
В.В. Корнеев, О.Г. Семенов*

Методом брэгговских кристаллических анализаторов обнаружена поляризация линейчатого рентгеновского излучения многозарядных ионов железа плазмы импульсного сильноточного разряда, вызванная поперечным по отношению к оси разряда потоком надтепловых электронов.

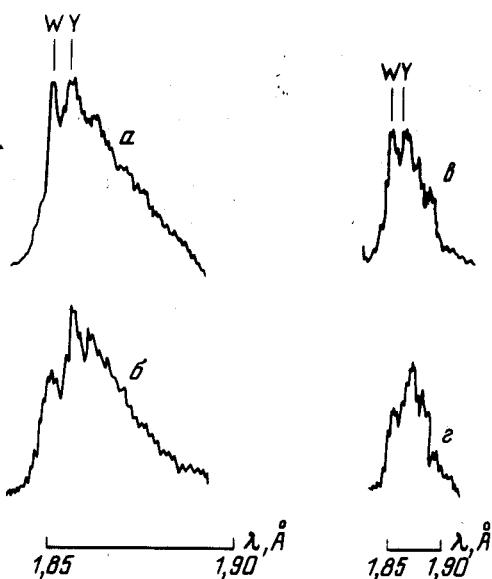
Образование в плазме сильноточных импульсных разрядов типа Z -пинч локальных областей, являющихся интенсивным источником мягкого рентгеновского излучения¹, связывают либо с локальным пинчеванием плазменного шнура разряда до микроскопических размеров (явление микропинчевания) в результате так называемого радиационного сжатия², либо с развитием ускорительных процессов и релаксацией электронного пучка в ограниченном объеме пинчующейся плазмы^{3, 4}.

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что, с одной стороны, наблюдаемая динамика плазмы сильноизлучающего в рентгеновском диапазоне Z -пинчевого разряда согласуется с моделью радиационного сжатия^{5, 6}, с другой, имеются свидетельства присутствия в плазме разряда надтепловых электронов, распространяющихся вдоль оси разряда^{4, 7}.

Одним из эффективных методов изучения параметров потоков надтепловых электронов в плазменной среде является измерение поляризации рентгеновского излучения.

Например, измерение поляризации тормозного рентгеновского излучения лазерной плазмы привело к обнаружению в ней направленных потоков электронов⁸.

Выполненные в^{9,10} расчеты возбуждения линий высокоионизованных ионов в плазме в присутствии потока высокозэнергичных электронов показали, что вследствие различной вероятности возбуждения M -компонент проекции вектора орбитального момента на направление распространения электронного потока, линейчатое излучение поляризовано, причем степень и направление поляризации различно для разных переходов. Измерение поляризации линейчатого рентгеновского излучения многозарядных ионов с успехом было использовано для изучения направленных потоков электронов в плазме солнечной короны⁹.



Денситограммы спектров рентгеновского излучения плазмы железа в сильноточном импульсном разряде (W – резонансная, Y – интеркомбинационная линия гелиеподобного иона) при различных значениях угла между осью разряда и плоскостью падения φ и угла скольжения θ : $a - \varphi = 0^\circ$, $\theta = 28^\circ$; $b - \varphi = 90^\circ$, $\theta = 28^\circ$; $b - \varphi = 90^\circ$, $\theta = 13^\circ$; $g - \varphi = 90^\circ$, $\theta = 52^\circ$.

Для определения параметров плотной высокотемпературной плазмы в сильноточных импульсных разрядах используют как правило, спектроскопические методы, в частности, электронная температура и плотность определяются, обычно, по отношению интенсивностей резонансной линии и ее сателлитов в гелие- и водородоподобных ионах^{10,11}.

В данной работе исследовалось линейчатое излучение гелиеподобного иона железа в микропинчевом разряде со стальным анодом⁶. Как демонстрируют расчеты⁹, в присутствии надтепловых электронов линии гелиеподобного иона железа – резонансная, соответствующая переходу $1s2p^1P_1 - 1s^2\ ^1S_0$, и интеркомбинационная, соответствующая переходу $1s2p^3P_1 - 1s^2\ ^1S_0$ – поляризованы, причем вектор поляризации резонансной линии совпадает с направлением распространения электронного пучка, в то время как направление вектора поляризации интеркомбинационной линии зависит от энергии электронов, причем степень поляризации этих линий различна и зависит от параметров электронного пучка различным образом.

Отражательная способность кристаллических диспергирующих элементов для поляризованного рентгеновского излучения с вектором E , лежащим в плоскости падения, зависит от угла скольжения θ между направлением распространения излучения и плоскостью кристалла⁹. Анализ спектра осуществлялся с помощью брэгговских кристаллов, отличающихся периодом решетки и ориентацией относительно оси разряда^{9,12}. Пере распределение относительной интенсивности линий в регистрируемых спектрах при изменении угла скольжения θ или угла φ между осью разряда и плоскостью падения свидетельствует о поляризации исследуемого излучения. На основании расчетных данных¹² можно оценить, что в плазме разряда на стадии существования ионов гелиеподобного

железа присутствует поток надтепловых электронов с энергиями $7 \div 30$ кэВ, плотность которого составляет порядка процента от величины электронной штотности плазмы излучающей области. Интересно отметить, что плоскость поляризации регистрируемого излучения соответствует потоку электронов, двигающихся преимущественно, ортогонально оси разряда. Этот результат, по-видимому, связан с тем, что при величине разрядного тока порядка 100 кА электроны с энергиями $10 \div 30$ кэВ имеют радиус ларморовского вращения много меньше размеров излучающей области (микропинча), поэтому они движутся преимущественно по винтовым траекториям вдоль силовых линий магнитного поля, то есть поперек оси разряда. Смещение же этих электронов вдоль оси разряда носит характер дрейфа в неоднородном магнитном поле, скорость которого на два порядка меньше скорости движения вдоль силовых линий поля. Таким образом, при регистрации излучения, плазменного объекта цилиндрической геометрии с током φ -я цилиндрическая координата оказывается выделенной.

Оценка параметров надтепловой электронной компоненты свидетельствует о том, что диссипация ее энергии в плазме пинча не может обеспечить наблюдаемую мощность нагрева плазмы в микропинчевой области, однако может играть существенную роль в динамике радиационного сжатия, поскольку энергия, уносимая надтепловыми электронами из скимающейся области в результате дрейфового движения, сравнима с энергией осевого вытекания плазмы.

Обнаружение поляризации линейчатого излучения высокоионизованной плазмы весьма важно с методической точки зрения. Как упоминалось выше, параметры плазмы сильно-точных разрядов определяются по отношению интенсивности соответствующих линий. Поэтому следует по-видимому, пересмотреть выполненные ранее измерения температуры и плотности плазмы в разрядах с учетом этого эффекта, и кроме того оптимизацию спектроскопического метода в сторону уменьшения влияния поляризации линий на измерение параметров плазмы.

Литература

1. Веретенников В.А., Долгов А.Н., Крохин О.Н., Семенов О.Г. Физика плазмы, 1985, 11, 1007.
2. Вихрев В.В., Иванов В.В., Кошелев К.Н. Физика плазмы, 1982, 8, 1211.
3. Choi P., Dongor A.E., Deeney C. et al. Rev. Sci. Instrum., 1986, 57, 2162.
4. Jones L.A., Kanio D.R. Phys. Rev. Lett., 1985, 55, 1993.
5. Веретенников В.А., Грибков В.А., Кононов Э.Я. и др. Физика плазмы, 1981, 7, 455.
6. Веретенников В.А., Исаков А.И., Крохин О.Н., Семенов О.Г., Сидельников Ю.В. Препринт ФИАН № 59, 1983.
7. Beier R., Bachmann C., Burhenn R. J. Phys. D: Appl. Phys., 1981, 14, 643.
8. Блаженков В.В., Захаров С.Д., Киркин А.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 350.
9. Krutov V.V., Korneev V.V., Mandelstam S.L., Shlyaptseva A.S., Urnov A.M. Preprint of P.N. Lebedev Physical Institute, № 133, 1981.
10. Кононов Э.Я., Кошелев К.Н., Сафонова У.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 720.
11. Кононов Э.Я., Кошелев К.Н., Сидельников Ю.В. Физика плазмы, 1977, 3, 663.
12. Shlyaptseva A.S., Urnov A.M., Vinogradov A.V. Preprint of P.N. Lebedev Physical Institute, № 193, 1981.