

ДРЕЙФОВОЕ САМОВЫСТРАИВАНИЕ ИОНОВ В ПЛАЗМЕ

С.А.Казанцев, А.Г.Петрашень, Н.Т.Полежаева,
В.Н.Ребане, Т.К.Ребане

Впервые зарегистрировано явление самовыстраивания (спонтанной квадрупольной ориентации) угловых моментов электронных оболочек дрейфующих в плазме ионов, связанное с анизотропным характером столкновительной релаксации.

В настоящей работе впервые зарегистрировано самовыстраивание угловых моментов ионов в плазме, обусловленное их дрейфом. Гипотеза о таком самовыстраивании была выдвинута в ¹, где была теоретически исследована анизотропная столкновительная релаксация упорядоченности угловых моментов ионов, обусловленная наличием преимущественного направления их столкновений с нейтральными атомами — антипараллельного дрейфу.

Эксперименты были поставлены на газовом разряде в полой катод (диаметр 3 см, длина 5 см) в аргоне при разрядном напряжении 100 — 400 В. С помощью магнитного поляризатора — спектрометра, основанного на эффекте Ханле, измерялись сигналы интенсивностей спонтанного излучения, линейно поляризованных вдоль оси дрейфа (I_z) и в перпендикулярном направлении (I_y) для различных линий атомарного и ионизованного аргона в направлении оси симметрии катода. Чувствительность прибора позволяла уверенно регистрировать степени поляризации на уровне $10^{-3} - 10^{-4}$ при времени накопления информации порядка 20 мин.

Мерой самовыстраивания угловых моментов возбужденных состояний излучающих частиц является разность интенсивностей $I_z - I_y$, в то время как сумма интенсивностей $I_z + I_y$ пропорциональна заселенностям этих состояний. На линиях Ar^+ , соответствующих переходам с уровней, принадлежащих к блокам близко расположенных по энергии состояний тонкой структуры, в узкой области давлений (0,1 — 0,5 торр) и токов разряда (10 — 60 мА), были зарегистрированы четкие сигналы разностей интенсивностей $I_z - I_y$, с определенностью указывающие на выстроенность верхних уровней исследуемых переходов ионов. Пространственное распределение самовыстраивания и заселенностей возбужденных состояний внутри полого катода обнаруживало характерную радиальную зависимость, изображенную на рис. 1. Максимальное выстраивание $I_z - I_y$ наблюдалось в окрестности границы темного прикатодного пространства, а максимальная заселенность уровня приходилась на центральную область отрицательного свечения. Существенно, что в последней области, где максимальна плотность быстрых электронов, возбуждающих и ионизирующих атомы, сигнал самовыстраивания минимален. Это означает, что прямое электронное возбуждение ² не является причиной наблюдаемого самовыстраивания ионных состояний. Этот вывод подкрепляется также анализом ширины экспериментальных контуров сигналов в эффекте Ханле: в случае наведения самовыстраивания механизмом, не зависящим от давления, экстраполяция ширины сигналов к нулевому давлению дает радиационное время жизни верхнего уровня данного перехода. На опыте наблюдалось существенное различие между результатами такой экстраполяции и значени-

ями времен жизни уровней, известными из независимых измерений. Поэтому наблюдаемое самовыстраивание состояний ионов существенно связано с их столкновениями с атомами газа.

Наиболее прямым доказательством дрейфового механизма выстраивания ионов является сравнение сигналов $I_z - I_y$ для весьма ярких линий нейтральных атомов и более слабых ионных линий аргона. Эти сигналы для атомарных линий были на порядок (или более) меньше, чем для ионных линий. Отсюда с определенностью следует, что дрейф ионов в плазме, приводящий к анизотропной столкновительной релаксации упорядоченности угловых моментов возбужденных ионов, действительно является причиной наблюдаемого самовыстраивания ионных состояний.

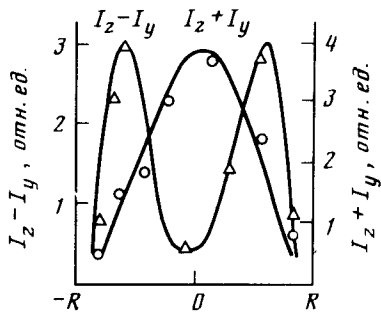


Рис. 1. Радиальные зависимости самовыстраивания $I_z - I_y$ и заселенности $I_z + I_y$ $4p^2 P_{3/2}^0$ уровня Ag^+ ($\lambda = 4764 \text{ \AA}$) в разряде в полном катоде ($p = 0,3$ торр, $i = 30$ мА)

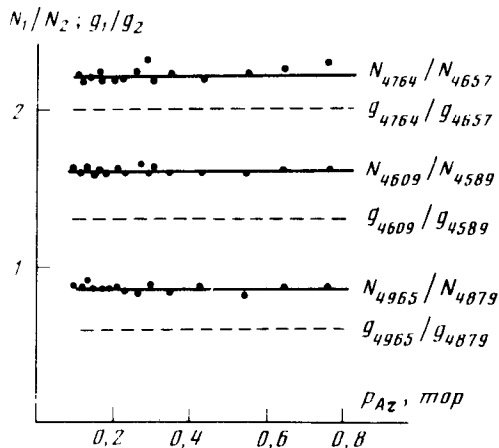


Рис. 2. Зависимости соотношения заселенностей компонент ионных дублетов Ag^+ от давления в разряде в полном катоде ($i = 40$ мА)

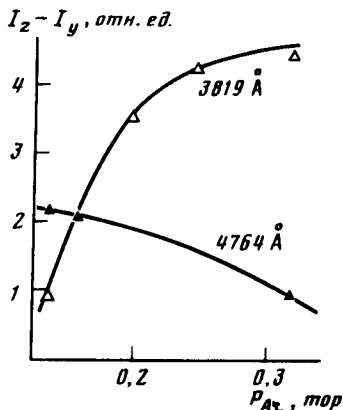


Рис. 3. Зависимости линейной поляризации ионных линий аргона 3819 и 4764 Å от давления ($i = 30$ мА)

Наши эксперименты подтвердили также правильность более детальных предсказаний теоретической модели, разработанной в ¹. Согласно этой модели, возникающее самовыстраивание существенно связано со столкновительным смешиванием подуровней тонкой структуры ионов, а сигнал самовыстраивания своим происхождением обязан отклонению относительных заселенностей этих подуровней N_1/N_2 от отношения их статистических весов g_1/g_2 . Прямыми измерениями интенсивностей тонких компонент линий были найдены отношения заселенностей N_1/N_2 для ряда ионных дублетов аргона. Типичные результаты представлены на рис. 2. Из него видно, что в области низких давлений отношения заселенностей подуровней дублетов заметно отклоняются от отношения статистических весов. Наконец, в ¹ была предложена модель комбинированного дисперсионного и ион-поляризационно-квадрупольного взаимодействия, определяющая расщепление вырожденных магнитных подуровней воз-

бужденного иона при его столкновении с нейтральным атомом. В этой модели оказалось, что столкновительное самовыстраивание ионных состояний немонотонно зависит от параметра

$$S = n_a \alpha_a^{-0,3} \left(\frac{3 |Z_e Q_e^2| \alpha_a + C_{\parallel} - C_{\perp}}{\hbar} \right)^{0,4}$$

достигая максимума при некотором оптимальном значении S . Здесь n_a — плотность нейтральных атомов, α_a — их поляризуемость, Z_e и Q_e — заряд и электрический квадрупольный момент иона, $C_{\parallel} - C_{\perp}$ — анизотропия постоянных дисперсионного взаимодействия иона с атомом.

Так как величины Q_e и $C_{\parallel} - C_{\perp}$ зависят от электронного состояния иона, то дрейфовое самовыстраивание ионных уровней носит селективный характер: различные группы тонких уровней испытывают максимальное самовыстраивание при различных давлениях, а при заданном давлении самовыстраивание различных групп уровней будет различным. Это подтверждается нашими экспериментами (рис. 3). На рисунке приведены типичные зависимости от давления сигналов самовыстраивания $I_z - I_y$ дублетов Ar^+ .

Совокупность проведенных экспериментов позволяет утверждать, что в настоящей работе впервые зарегистрировано новое явление — дрейфовое самовыстраивание состояний ионов в плазме. Использование этого явления позволит расширить возможности поляризационных оптических методов диагностики плазмы для широкого класса лабораторных и астрофизических объектов.

Литература

1. Петрашень А. Г., Ребанс В. Н., Ребанс Т. К. Оптика и спектроскопия. 1985, 58, 785.
2. Казанцев С. А. Письма в ЖЭТФ, 1983, 37, 131.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступила в редакцию
28 октября 1986 г.