

07; 10; 12

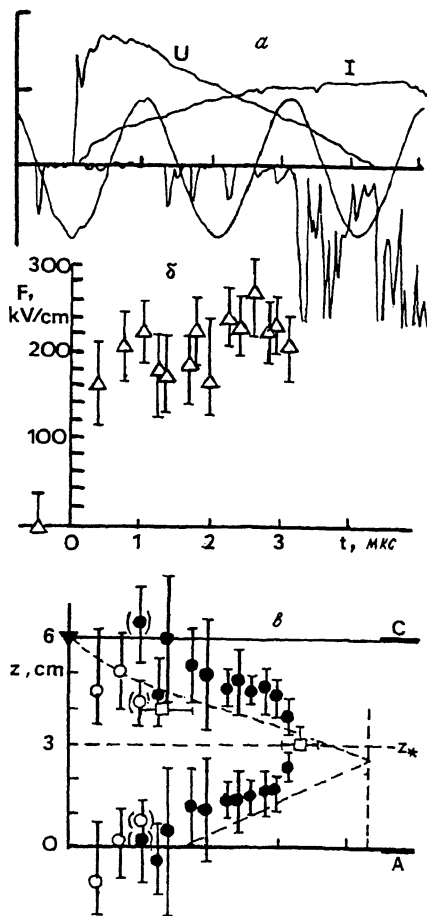
© 1991

ЛОКАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ДИОДЕ ИМПУЛЬСНОГО
ЭЛЕКТРОННОГО УСКОРИТЕЛЯ МЕТОДОМ
АКТИВНОЙ ШТАРКОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИБ.А. Князев, П.И. Мельников,
В.В. Чикунов

В работе [1] для измерения локальных значений напряженности электрического поля F был предложен (а в работе [2] реализован на стенде) метод активной шарковской спектроскопии (АШС). Величина поля определяется по шарковскому расщеплению спектральной линии атома лития, возбуждаемой через каскадные переходы $2S \rightarrow 2P \rightarrow 4D$ двумя лазерами на красителях. Литиевый пучок с энергией около 10 эВ создавался путем лазерного испарения литиевой мишени и инжестировался в исследуемый объем. Вопрос об использовании метода АШС в условиях мощных электромагнитных и световых помех, а также в присутствии электронных, ионных и атомных потоков оставался открытым.

В данной работе впервые сообщается о прямых локальных измерениях напряженности электрического поля в высоковольтном диоде электронного ускорителя. Ускоритель электронов У-1 [3] в описываемых экспериментах работал в режиме: $U = 0.9$ МВ, $I = 55$ кА, $\tau = 4.4$ мкс, полное энергосодержание электронного пучка - 90 кДж.

Экспериментальная установка представляла собой комбинацию установок, описанных в [3] (рисунок, а) и [2] (рис. 4) и включала в себя диодную камеру ускорителя У-1 диаметром 1 м и систему АШС, состоящую из лазерного источника литиевого пучка, широкополосных перестраиваемых импульсных лазеров [4] на кумарине-1 (460 нм) и оксазине-17 (670 нм) и регистрирующей оптической системы со спектральным и временным разрешением. Широкий атомный и сфокусированный лазерный пучки и поле зрения регистрирующей системы пересекались вблизи геометрической оси вакуумного диода на расстоянии Z_* от графитового катода, что обеспечивало локальность измерений. Диаметр катода составлял 18 см, а расстояние от катода до графитового анода 6 см. На входную щель монохроматора МДР-23 проецировался флуоресцирующий объем диаметром менее 1 мм и длиной 3-10 мм, ось которого была направлена параллельно поверхностям электродов. Наблюдение велось под углом 90° по отношению к направлению лазерного пучка и оси вакуумного диода. Спектр регистрировался



а - осциллограммы основных сигналов: U - напряжение на диоде (шкала - 1 МВ), I - ток в диоде, измеренный поясом Роговского (100 кА), синусоида - напряжение на управляющих пластинах диссектора, пики - флуоресценция лития (сигнал диссектора); б - напряженность электрического поля в точке $z_* = 3$ см; в - реконструкция положения эмиссионных границ катодной (вверху) и анодной плазм. Треугольник - геометрический зазор, квадраты - начало свечения лития под действием пучка на соответствующих координатах, вертикальный пунктир - время замыкания диода.

либо электронно-оптическим диссектором ЛИ-602, либо девятиканальной волоконно-оптической системой (ВОС) с блоком фотоумножителей. Ширина щели монохроматора составляла 0.2 мм, спектральная ширина канала ВОС - 0.25 нм.

На рисунке, а приведены сигналы напряжения на катоде U , тока пучка I , синусоидального отклоняющего напряжения на диссекторе, а также зарегистрированные диссектором пики флуоресценции (460 нм). Пики на положительной части синусоидальной развертки означают смещение в сторону больших длин волн и соответствуют трем слившимся компонентам расщепленной линии [2]. На отрицательной части синусоида вследствие ограниченной ширины полосы генерации возбуждающего лазера может быть виден только один самый близкий компонент. Первый пик, наблюдаемый по подачи напряжения на диод, соответствует нерасщепленной линии лития. Все последующие наблюдаемые пики смещены. Интенсивное свечение после 3 мкс связано с приходом плотной плазмы. Заметим, что в течение импульса возбуждения (вне зависимости от наличия напряжения на диоде) некоторые пики флуоресценции на $4D - 2P$ переходе в какие-то моменты пропадают (как это видно и на приведенном рисунке). Разумным объяснением этому может быть временное несовпадение фокусов двух лазерных лучей из-за вариации тепловых неоднородностей активных сред.

Величины напряженности поля F для данных моментов времени определялись путем сравнения измеренных величин смещения штарковских компонент $4D - 2P$ перехода с расчетными значениями [2]. Измеренные в пяти импульсах значения F для $z_* = 3$ см лежат в пределах 160–260 кВ/см и приведены на рисунке, б. Точность определяется погрешностью временной привязки сигналов (систематическая ошибка) и может быть существенно повышена.

Путем сравнения результатов, представленных на рисунке, а, б, с распределением $F(z)$, рассчитанным по релятивистскому „закону $3/2$ “ для каждой точки по времени, были найдены положения эмиссионных границ расширяющихся катодной и анодной плазмы (см. рисунок, в). При этом оказалось, что до момента времени $t = 1$ мкс экспериментально измеренные значения F совместимы только с расчетными распределениями для электронного диода, тогда как после 1.5 мкс – только для биполярного (см. [5]). Сравнение расположения точек и величины „усов“ подтверждает предположение, что приведенная ошибка является, скорее всего, систематической.

Дополнительные данные – зарегистрированные моменты начала свечения атомов на $2P - 2S$ переходе (для этого перехода штарковское расщепление пренебрежимо мало), появляющегося в отсутствие лазерного возбуждения в точках $z_* = 2$ см и 3 см (указаны квадратами), а также момент закорачивания диода, – свидетельствуют, что положение границы соответствует при $t > 2$ мкс, скорее, нижним границам „усов“, что и изображено на рисунке. Поскольку переход из чисто электронного режима в биполярный заведомо происходит через промежуточную стадию ограниченной и неоднородной эмиссии с анода, распределение поля в момент $t = 1-1.5$ мкс не может описываться использованными нами предельными случаями, и соответствующие точки (в скобках) на рисунке, в

носят справочный характер. Заметим, что при непрерывной регистрации $4D-2P$ перехода с помощью волоконно-оптической системы флуоресценция на несмещенной длине волны, как и следовало ожидать, исчезает в момент подачи на диод напряжения, но примерно за одну микросекунду до прихода в точку наблюдения светящейся плазмы литий вновь начинает излучать на несмещенной длине волны (этот момент соответствует началу свечения лития на $2P-2S$ переходе в отсутствие возбуждения, отмеченному квадратом на рисунке, в). Это может означать, что эмиссионная граница прошла через точку наблюдения, но атомы лития еще не успели ионизоваться из-за малой частоты столкновений в плазме низкой плотности.

Эксперименты показали, что метод активной штарковской спектроскопии обладает высокой степенью надежности, позволяет провести многократные перекрестные проверки достоверности сигнала и может успешно применяться для измерения электрических полей (в том числе и очень сильных) в сложных экспериментальных условиях. Следует особо отметить, что эксперименты проведены на крупной установке с высокой импульсной мощностью (до 50 ГВт) и соответствующим уровнем электромагнитных помех и рентгеновского излучения.

Авторы благодарят С.В. Лебедева и М.В. Щеглова за полезные обсуждения, а С.Г. Воропаева и В.П. Савинова за помощь в программном обеспечении экспериментов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] К н я з е в В.А., Л е б е д е в С.В., М е л н и к о в П.И. // Proc. 17th Internat. Conf. on Phenomena in Ionized Gases. Budapest, 1985. V. 1. P. 1008-1010.
- [2] К н я з е в Б.А., Л е б е д е в С.В., М е л ь н и - к о в П.И. / Препринт ИЯФ СО АН СССР 87-60. Новосибирск, 1987. 33 с.; ЖТФ. 1991. Т. 61. № 3.
- [3] В о р о п а е в С.Г., К н я з е в Б.А., К о й д а н В.С. и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 7. С. 431-435.
- [4] К н я з е в Б.А., М е л ь н и к о в П.И. / Препринт ИЯФ СО АН СССР 90-133. Новосибирск, 1990. 4 с.
- [5] М и л л е р Р. Введение в физику сильнооточных пучков заряженных частиц: М.: Мир, 1984. 432 с.

Институт ядерной физики
СО АН СССР, Новосибирск

Поступило в Редакцию
28 февраля 1991 г.