

рений. Область применимости соотношения (8) существенно шире области применимости формулы рефракционной поправки работы [4], поскольку результаты, полученные в [4] для частного случая плоско-слоистой среды, обобщены в настоящей статье на общий случай среды с произвольной неоднородностью.

Л и т е р а т у р а

- [1] К р а в ц о в Ю.А., О р л о в Ю.И. Геометрическая оптика неоднородных сред. М.: Наука, 1980. 304 с.
- [2] К р а в ц о в Ю.А., Ф е й з у л и н З.И., В и н о г р а д о в А.Г. Прохождение радиоволн через атмосферу Земли. М.: Радио и связь, 1983. 224 с.
- [3] В и н о г р а д о в а М.Б., Р у д е н к о О.В., С у х о р у к о в А.П. Теория волн. М.: Наука, 1979. 384 с.
- [4] П р о к о п о в А.В. - Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, в. 24, с. 1526-1529.
- [5] Б е р е з и н И.С., Ж и д к о в М.П. Методы вычислений, ч. 1. М.: Наука, 1966. 632 с.
- [6] П р и л е п и н М.Т., Г о л у б е в А.Н. Инструментальные методы геодезической рефрактометрии. - Итоги науки и техники. Серия Геодезия и аэросъемка. М.: ВИНТИ, 1979. 91 с.

Поступило в Редакцию
22 сентября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 2

26 января 1988 г.

АНОМАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА В ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННОМ РАЗРЯДЕ

А.Н. К о н д р а т е н к о, Е.И. Л у ц е н к о,
В.П. О л е ф и р, Ю.В. С и д о р е н к о

Пучково-плазменный разряд (ППР) является одним из распространенных видов разряда [1] и часто используется при исследованиях коллективного взаимодействия пучков заряженных частиц с плазмой. В таких случаях обычно реализуется пучковые неустойчивости, основанные на эффекте Черенкова и аномальном эффекте Доплера. Существенными при этом являются ширина и состав спектра возбуждаемых колебаний. Эксперименты, проведенные на различных установках, показывают, что характер спектра может быть разнообразным и является следствием целого ряда причин: независимого возбуждения волн, принадлежащих различным ветвям дисперсионной характеристики [2], их нелинейным взаимодействиям [3], нестационарностью параметров ППР. При работе в режиме самовозбуждения

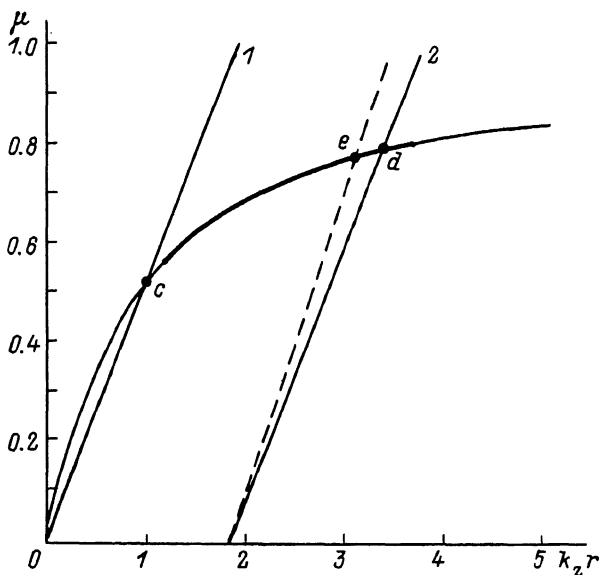


Рис. 1. Расчетная дисперсионная характеристика плазменного волновода. Выделенный участок соответствует проверенному в эксперименте. Параметры неустойчивого режима в точке e : $\Omega_e = 7 \cdot 10^9$, $\omega_H = 7.2 \cdot 10^9$, $V_b = 2.9 \cdot 10^9$, $k_z = 4.2$, $\Omega_b = 8 \cdot 10^8$, $f = 875$ МГц, $\gamma \approx 0.09$.

чаще наблюдаются многопиковые, дискретные спектры, расшифровка которых затруднена. Учитывая богатую динамику ППР [4], необходимо, на наш взгляд, прежде всего знать дисперсионные характеристики разряда, без которых невозможно осуществление контроля и управления возникающими неустойчивостями. Как показывает анализ расчетов [5], на дисперсию плазменного волновода значительно влияют величина магнитного поля, плотность плазмы и поперечные размеры системы.

В настоящей работе представлены результаты измерений плазменной ветви дисперсионной характеристики для медленных аксиально-симметричных объемных потенциальных волн системы плазма-вакуум-металлический волновод при отсутствии внешней модуляции пучка и проводится ее сравнение с расчетной (рис. 1), полученной для фиксированного отношения радиусов металлического и плазменного волноводов $R/r = 2.4$ при значении параметра $u = \omega_H \Omega_e^{-1} = 1$, где ω_H , Ω_e — электронные циклотронная и лэнгмюровская частоты плазмы. Наклонные прямые 1 и 2 относятся к черенковской и циклотронной сносным ветвям пучка. Эксперименты осуществлялись на установке, аналогичной [6]. Импульсный пучок электронов с энергией 3 кэВ и плотностью тока до 1 А·см⁻² обеспечивал плотность плазмы до $5 \cdot 10^{10}$ см⁻³. Длительность импульса

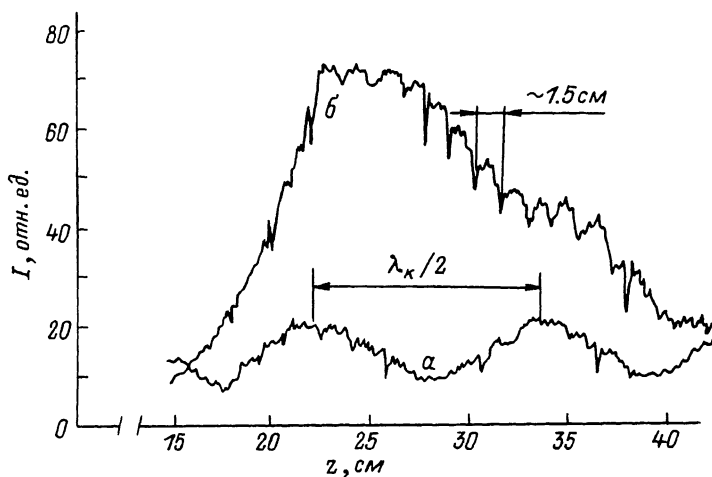


Рис. 2. Распределение интерференционного сигнала H_{φ} -составляющей поля волны на частоте 875 МГц в случае отсутствия неустойчивости (а) и при неустойчивости (б) на аномальном эффекте Доплера. z - расстояние от электронной пушки.

30 мкс, частота следования 50 Гц. Диаметр пучка и плазмы 14 мм. Напряженность магнитного поля 100–1000 э. Измерялись спектры возбуждаемых колебаний, длина волны, плотность плазмы и инкременты неустойчивости при различных параметрах разряда. Соблюдая условие $\mu = \text{const}$ и изменяя скорость пучка, систему можно было перестраивать по частоте возбуждаемых колебаний в пределах $0.55 \leq \mu \leq 0.8$, где $\mu = \frac{\omega}{\Omega_e}$, $\omega = 2\pi f$, f - фиксируемая частота. Измерения длины волны и инкремента нарастания колебаний показали, что механизмом возбуждения чаще всего является эффект Черенкова (точка пересечения c на рис. 1). Экспериментальные значения дисперсии системы согласовывались с теоретическими в пределах погрешности измерений.

Однако в ходе исследований выяснилось, что эффект Черенкова имеет место не во всем диапазоне наблюдаемых частот. При некоторых режимах разряда черенковский резонанс отсутствовал. На рис. 2 (кривая α) проведено стационарное распределение интерференционного сигнала на частоте 875 МГц, полученного суммированием от двух ВЧ-зондов - неподвижного и медленно движущегося вдоль z - для определения длины волны. Такое распределение аналогично клистронному эффекту при скоростной модуляции пучка на частоте 875 МГц, когда в пучке присутствуют быстрая и медленная волны пространственного заряда с фазовыми скоростями $V_{\varphi 1,2} = V_B \pm \Delta V$ (V_B - скорость пучка). При этом в системе отсчета, связанной с пучком, образуется стоячая волна скорости c

характерной длиной $\lambda_k = \frac{2\pi V_b}{\Omega_b}$, где Ω_b — ленгмюровская частота пучка. Усиления колебаний нет, и можно предположить, что пучок промодулирован на частоте, лежащей в нерезонансной зоне дисперсионной характеристики (точка e , рис. 1), где инкремент пучковой неустойчивости равен нулю, т.е. рабочая точка e находится между точками c и d , отвечающими соответственно резонансам на эффекте Черенкова и аномальном эффекте Доплера. В результате модуляции пучка на нерезонансной частоте в точке e возможные неустойчивости в точках c и d оказались подавленными. При увеличении скорости пучка появился резонанс на той же частоте, выразившийся в нарастании амплитуды волны вдоль направления распространения пучка, рис. 2, б. Частота возбуждения стала удовлетворять условию $\omega \approx k_z V_b - \omega_H$ аномального эффекта Доплера. Действительно, увеличение скорости пучка привело к увеличению наклона циклотронной сносной ветви пучка (пунктирная прямая, рис. 1) и сближению резонансной точки d с рабочей точкой e , определяемой частотой модуляции пучка. Инкремент неустойчивости оказался близок к расчетному. Заметим также, что переход от клистронного эффекта к развитию неустойчивости можно было наблюдать, уменьшая внешнее магнитное поле при неизменной скорости пучка. По-видимому, при черенковском резонансе также существовала предварительная модуляция пучка, и при настройке мы совмещали рабочую точку e с точкой c , однако выделить специально наличие модуляции в этом случае не удавалось.

Предполагается, что в системе существует положительная обратная связь, организованная обратным потоком частиц из зоны взаимодействия в сторону пушки, вызывая колебания потенциала вблизи анода на электронной частоте примыкающей к нему плазмы. Эта плазма имеет меньшую плотность и слабо зависит от параметров основной плазмы в зоне взаимодействия. Продольный градиент плотности плазмы вблизи электронной пушки вызван тем, что газ подается в камеру взаимодействия, отделенную от объема электронной пушки вакуумным переходом. Эти обстоятельства и позволили реализовать при определенных условиях неустойчивость на аномальном эффекте Доплера, несмотря на то что ее инкремент ниже по сравнению с черенковским. Определить наличие колебаний возле источника не представлялось возможным ввиду конструктивных особенностей установки.

Полученные результаты указывают на новые возможности управления спектром колебаний в ППР и могут иметь практическое значение при исследовании пучковых неустойчивостей.

Л и т е р а т у р а

- [1] Лебедев И.М., Онищенко И.Н., Ткач Ю.В., Файнберг Я.Б., Шевченко В.И. — Физика плазмы, 1976, т. 2, № 3, с. 407–413.

- [2] Левитский С.М., Шаповал В.З., Шашурин И.П. В кн.: Колебания и волны в плазме. Минск: Наука и техника, 1971, с. 88-90.
- [3] Шашурин И.П., Незлин М.В. - Письма в ЖЭТФ, 1967, т. 6, № 8, с. 787-790.
- [4] Кочмарев Л.Ю., Чмиль А.И., Шустин Е.Г. - Физика плазмы, 1985, т. 11, № 10, с. 1231-1239.
- [5] Кондратенко А.Н., Олефир В.П., Сидоренко Ю.В., Савченко И.С. - УФЖ, 1986, т. 31, № 6, с. 857-862.
- [6] Безъязычный И.А., Уллшмид И., Березин А.К., Курилко В.И. В сб.: Физика плазмы и проблемы УТС. Киев: Наукова думка, 1971, в. 1, с. 124-129.

Харьковский государственный университет им. А.М. Горького

Поступило в Редакцию
4 мая 1987 г.
В окончательной редакции
20 октября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 2 26 января 1988 г.

ФОТОМАГНЕТИЗМ КРИСТАЛЛОФОСФОРОВ
 $CaS - Eu$ И $SrS - Eu$

М.Н. Агапов, М.-Л.Ю. Аллсалу,
М.И. Данилкин, С.О. Климонский,
В.Д. Кузнецов, И.Е. Кузнецов,
В.В. Михайлин, Э.Ю. Педак

Материалы на основе CaS и SrS давно известны в качестве основания эффективных люминофоров [1]. Варьируя активатор, можно в широких пределах менять оптические свойства получаемого материала. Люминофоры $CaS - Eu$ и $SrS - Eu$ являются перспективными для телевизионных систем нового поколения. Eu^{2+} , замещающая катион Ca^{2+} или Sr^{2+} , имеет практически тот же ионный радиус и находится в регулярных узлах кубической решетки типа $NaCl$. Из-за выполнения принципа зарядовой и объемной компенсации легко образуется твердый раствор $CaS - EuS$ и $SrS - EuS$ [2].

Наши образцы приготовлены по методике, описанной в [3]. Основание кристаллофосфора высокой степени фазовой чистоты активировалось EuS (концентрация 0.01-0.1 мол. %). Образцы получались в виде порошка с размером кристалликов 2-5 мкм.

Красное свечение Eu^{2+} представляет собой широкую полосу (полуширина $\Delta \geq 0.2$ эВ) с максимумом 1.88-2.0 эВ в зависимости от основания (CaS или SrS) и температуры, соответствующую $4f^6 5d \rightarrow 4f^7$ переходу в ионе Eu^{2+} . Свечение эффективно возбуждается в активаторной полосе 2.2-3.0 эВ, пере-