

4. И. М. Капчинский, А. С. Кронрод. Там же, № 3, 26 (1964).
5. Г. И. Жилейко. Высоковольтные электронные пучки. М., «Энергия», 1968.
6. В. А. Баталин и др. «Приборы и техника эксперимента», № 5, 65 (1967).
7. А. Л. Минц. «Вестник АН СССР», № 8, 66 (1968).
8. The Engineer, No. 5811, 880 (1967).

Неустойчивость электронного пучка в пространственно-периодическом электрическом поле

Г. Г. АСБЕВ, Г. Г. КУЗНЕЦОВА, Н. С. РЕПАЛОВ,
В. Г. САФРОНОВ, Н. А. ХИЖНЯК

УДК 533.9

Изучение поведения пучков заряженных частиц и плазмы в пространственно-периодическом электрическом поле представляет интерес со многих точек зрения. В частности, прохождение электронного пучка через продольное электростатическое поле может сопровождаться неустойчивостью на продольных волнах, если выполняется следующее условие [1]:

$$\frac{v_{0п}}{L} = kf_{0п},$$

где k — целое число; $v_{0п}$ — скорость пучка; L — пространственный период электростатического поля; $f_{0п}$ — ленгмюровская частота пучка. В случае резонанса на основной частоте ($k = 1$) должно происходить быстрое увеличение напряженности поля между неподвижными сгустками электронов, которое может значительно превосходить внешнее электростатическое поле. Однако регистрация этого явления затруднительна, поскольку возбуждающее поле имеет стационарный характер. Следствием резонанса на кратных частотах ($k > 1$) является усиление начального уровня продольных колебаний пучка.

В случае прохождения заряженных частиц через плазму, помещенную в пространственно-периодическое электрическое поле, могут возникать специфические эффекты. Наличие вдоль оси системы периодической последовательности точек с экстремумами потенциала должно привести к захвату плазмы вблизи этих точек. При прохождении пучка через такую плазму возможен ряд неустойчивых режимов и, в частности, резонанс на захваченных частицах, который реализуется при совпадении частот волны и собственных колебаний захваченных частиц. При этом возможен нагрев любой из компонент плазмы.

Цель настоящей работы — экспериментальное обнаружение и исследование условий неустойчивости электронного пучка, проходящего через внешнее пространственно-периодическое электростатическое поле. Последнее создавалось системой пластин, схематически изображенной на рис. 1. Радиусы вакуумной камеры R_0 , пластин R_1 , центральных отверстий пластин r_0 и пучка r составляли соответственно 5; 4,3; 1 и 0,6 см. Период системы $L = 3,4$ см. Число периодов электрического поля равно 10. Проведенные расчеты и эксперименты показали, что вакуумный потенциал между пластинами в области пучка составляет $(0,3-0,4) U_0$, где U_0 — напряжение, подаваемое на пластины от внешнего источника. Стационарный электронный пучок проходил через центральные отверстия пластин и попадал на коллектор. Ведущее магнитное поле составляло около 800 э. Относительный уровень ВЧ-излучения пучка и его частотный спектр измеряли с помощью анализатора С4-5, на вход которого поступал сигнал с зонда, помещенного вблизи границы пучка после его выхода

из пространственно-периодического электрического поля.

На рис. 2 приведены зависимости уровня колебаний $A_{ВЧ}$ от тока пучка J_K , напряжения между пластинами U_0 и ускоряющего напряжения пучка U_P при частоте излучения 200 Мгц. Все зависимости имеют резонансный характер.

Начальный уровень ВЧ-излучения в наших условиях создается самим пучком. Как оказалось, в отсутствие пластин при определенных значениях тока и напряжения пучка в нем возбуждается некоторый спектр колебаний, расположенный в областях 50—200 и 300—4000 Мгц.

На рис. 3 точками представлены экспериментальные значения J_K и U_P , соответствующие максимуму амплитуды этих колебаний. Для данной работы важно только наличие начального уровня колебаний пучка, поэтому мы не рассматриваем вопрос об их природе. На этом рисунке черные точки соответствуют максимуму $A_{ВЧ}$ по J_K , U_P и U_0 . При этом уровень колебаний больше чем на два порядка величины превосходит начальный уровень колебаний пучка. В виде кривых даны расчетные значения J_K и U_P , которые были получены из условий резонанса.

Кривые 1, 2, 3 соответствуют резонансу на первой, второй и третьей гармониках ленгмюровской частоты пучка. Нижняя кривая для второй гармоники рассчитана для катода, площадь которого на 20% меньше геометрической площади катода, использованного в эксперименте. Остальные кривые рассчитаны с использованием геометрической площади катода.

Экспериментальные точки достаточно хорошо согласуются с расчетом для случая резонанса на второй гармонике ($k = 2$). Как и ожидалось, в условиях

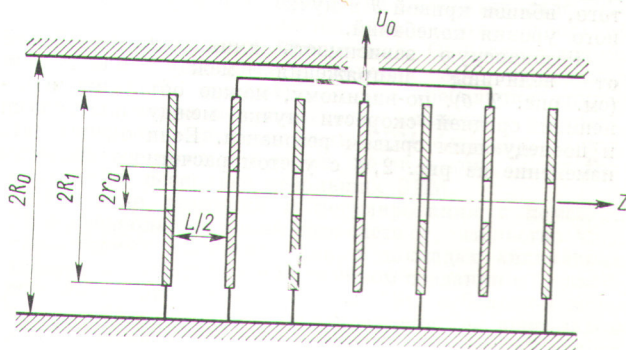
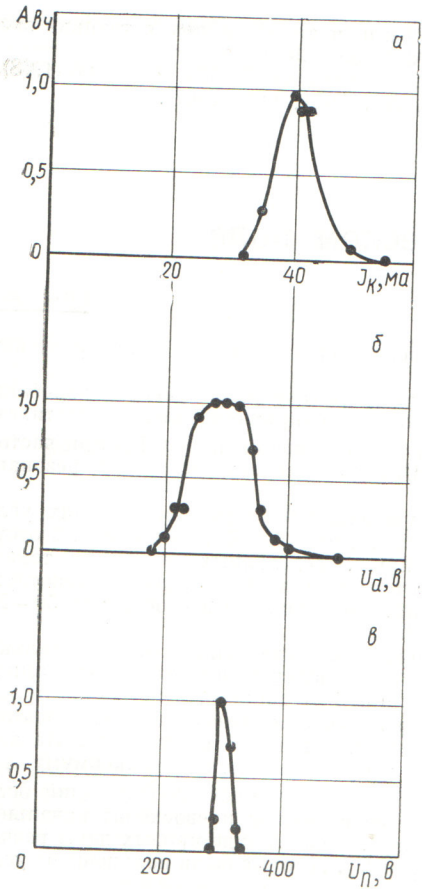


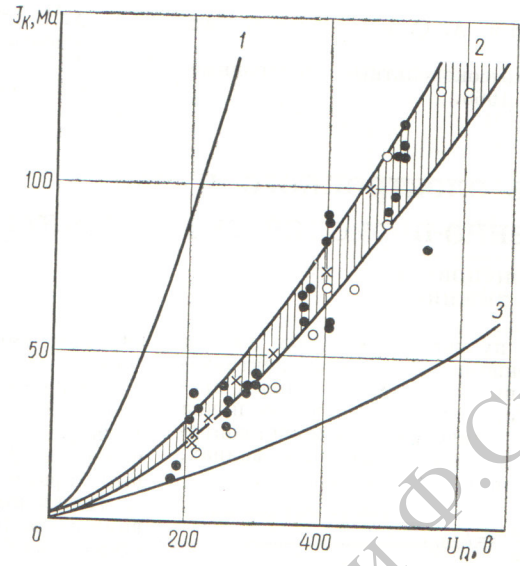
Рис. 1. Схема расположения электродов, создающих пространственно-периодическое электрическое поле.



Р и с. 2. Зависимость амплитуды ВЧ-излучения от параметров пучка и величины электрического поля:
 а — $U_{II} = 300$ в, $U_0 = 300$ в; б — $U_{II} = 300$ в, $J_K = 40$ ма; в — $U_0 = 300$ в, $J_K = 40$ ма.

резонанса на основной частоте усиления не обнаружено. В случае резонанса на третьей гармонике, согласно теории, скорость нарастания амплитуды колебаний должна быть значительно ниже, чем на второй. Кроме того, вблизи кривой 3 в пучке не обнаружено начального уровня колебаний.

Резонансную зависимость амплитуды колебаний от величины напряжения между пластинами (см. рис. 2, б), по-видимому, можно объяснить изменением средней скорости пучка между пластинами и последующим срывом резонанса. Если оценить это изменение из рис. 2, б с учетом расчетного значения



Р и с. 3. Экспериментальная и теоретическая зависимости тока пучка от ускоряющего напряжения в условиях резонанса:
 ○, ● — частота 200 Мгц; × — частота ~ 50 Мгц.

связанными с ними различными видами плазменных неустойчивостей [2].

Проведенные эксперименты позволяют сделать следующие выводы:

1. Пространственно-периодическое электрическое поле в определенных условиях приводит к усилению начального уровня ВЧ-колебаний пучка более чем на два порядка величины.
2. Зависимость амплитуды колебаний от тока, ускоряющего напряжения пучка и от величины электрического поля имеет резонансный характер.
3. Экспериментальные значения тока и ускоряющего напряжения пучка, соответствующие максимуму уровня колебаний при наличии электрического поля, вполне удовлетворительно согласуются с расчетом для случая резонанса на второй гармонике ленгмюровской частоты пучка.

В заключение авторы выражают признательность А. П. Воронину за подготовку установки к работе и помощь при измерениях.

Поступило в Редакцию 16/IX 1969 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Репалов, Н. А. Хижняк. ЖТФ, 36, 219 (1966).
2. Я. Б. Файнберг. «Атомная энергия», 11, 350 (1961).

электрического поля между центрами пластин, то оно вполне удовлетворительно согласуется с полушириной резонанса по U_{II} на рис. 2, в.

Разброс точек на рис. 3 характеризует воспроизводимость результатов, точность измерения параметров, а также степень соответствия одномерной теоретической модели реальным условиям эксперимента. Для улучшения воспроизводимости перед измерениями проводилась длительная тренировка системы пучком максимальной мощности и при максимально возможных напряжениях на пластинах. Этот прием позволил также избежать маскирования изучаемого резонанса предпробойными и пробойными явлениями и