

энергии электромагнитного поля в среде  $\left(\varepsilon \frac{E^2}{16\pi} \text{ вместо } \frac{d}{d\omega}(\varepsilon\omega) \frac{E^2}{16\pi}\right)$  и отброшен последний член в выражении для свободной энергии, связанной с увеличением энергии при сжатии.

### Литература

[1] А. А. Веденов, Е. П. Велихов, Р. Э. Сагдеев. УФН, 73, 701, 1961. — [2] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред, гл. 2, ГИТТЛ, М., 1959. — [3] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Статистическая физика, гл. 2, ГИТТЛ, М., 1951. — [4] В. Л. Гинзбург. Распространение электромагнитных волн в плазме. М., 1960. — [5] М. Ericson. J. Phys. e rad., 23, 145, 1962.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
6 августа 1963 г.

УДК 533.9 : 620.087 : 535.2

## ОБ ИЗМЕРЕНИИ МГНОВЕННОЙ СКОРОСТИ СГУСТКА

*Р. Х. Куртмуллаев, Ю. Е. Нестерихин и А. Г. Пономаренко*

При изучении плазменных сгустков одним из параметров, подлежащих измерению, является скорость сгустка. Существующие методы измерений этой скорости обычно сводятся к определению временного сдвига сигналов, получаемых от двух датчиков (электрические и свч зонды, ФЭУ и т. д.), располагаемых на некотором расстоянии вдоль направления движения сгустка. При этом невозможно получение мгновенного значения скорости из-за связанного с данной методикой усреднения на отрезке пути между датчиками. Более того, вид сигналов, получаемых с двух датчиков, может заметно различаться в результате процессов, связанных с изменением структуры сгустка при его транспортировке. В этом случае невозможна уверенная идентификация деталей указанных сигналов, и поэтому вычисление скорости производится по каким-либо двум подобным участкам (например, фронту или максимуму), а информация об остальных частях сгустка, скорости которых могут существенно различаться, теряется.

Примененный в ряде работ<sup>[1, 2]</sup> метод определения скорости по доплеровскому смещению частоты при зондировании в торец трубы, транспортирующей сгусток, дает мгновенное значение скорости, однако эта величина относится только к одному участку сгустка (сечению с критической плотностью на фронте) и только к концу трубы.

При вбрасывании сгустков в объем (ловушку) эта схема вообще неприменима.

В наших экспериментах с коническими источниками плазмы, подобными<sup>[3]</sup>, была применена методика, свободная от описанных выше недостатков. Схема (рис. 1) использует доплеровское смещение частоты при наклонном падении электромагнитной волны на движущуюся проводящую поверхность

$$\Delta f = 2f_0 \frac{v}{c} \cos \alpha, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — угол падения;  $\frac{v}{c} \ll 1$ .

Сигнал со смещенной частотой  $f$  принимается рупором, ориентированным по закону зеркального отражения относительно облучающегося



рупора. При этом, в отсутствие плазмы, непосредственная передача сигнала из облучающего рупора в приемный исключена. Для выделения разности частот  $\Delta f = f - f_0$  отраженный сигнал смешивается на смесительной головке с частью опорного сигнала, ответвляемого тройником, и напряжение частоты  $\Delta f$  подается на вход импульсного осциллографа, синхронизованного с процессом.

На рис. 2, а приведена типичная осциллограмма, полученная в описанной схеме ( $f_0 = 37\,000$  мгц,  $\alpha = 40^\circ$ , напряжение на источнике  $U_c = 2$  кв);

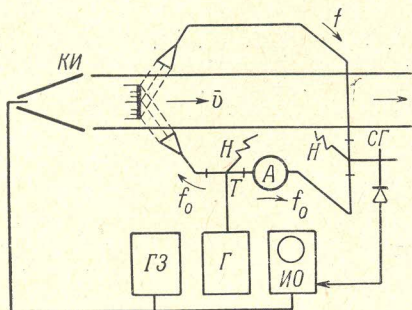


Рис. 1. Блок-схема измерений.

КИ — конический источник; Г — свч генератор; ИО — импульсный осциллограф; ГЗ — генератор запускающих импульсов; Т — двойной тройник; СГ — смесительная головка; А — аттенуатор; Н — нагрузка.

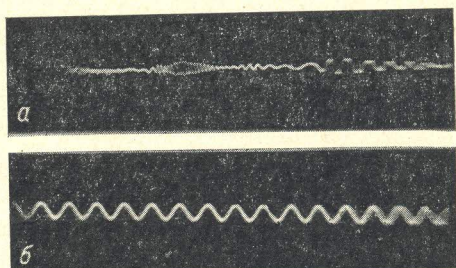


Рис. 2.

на рис. 2, б — калибровочная синусоида  $F = 500$  кгц. На данной установке не было принято мер по защите от помех, поэтому измерения

скорости на больших напряжениях на источнике были затруднены, так как доплеровский сигнал попадал в область развертки с сильной помехой. Несколько последовательных дуг колебаний на рис. 2, а соответствуют существованию в сгустке ряда слоев с различными скоростями. Подобная структура сгустка видна на приведенной на рис. 3 СФР-грамме

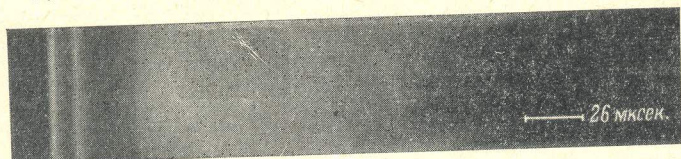


Рис. 3.

при напряжении  $U_c = 8$  кв (четкой СФР-граммы для малых напряжений получить не удалось из-за недостаточного свечения плазмы, однако основные черты сгустка сохранялись). Следует отметить, что разрядный ток конического источника носил аperiodический характер со временем порядка  $7.5 \cdot 10^{-6}$  сек. Как следует из рис. 2, а и формулы (1), наблюдается существенное уменьшение поступательной скорости вдоль сгустка уже в его головной части. Это обстоятельство является важным при оценке распределения различных параметров сгустка (например, массы) вдоль его длины по осциллограммам, представляющим собой развертку только во времени.

Рис. 2, а, помимо мгновенного значения скоростей различных частей сгустка, дает временное ( $t_i$ ) и пространственное ( $t_i v_i$ ) разделение слоев плазмы.

Выбор частоты, угла зондирования и элементов волноводной схемы определяется параметрами процесса и требуемой степенью разрешения. Определенное удобство данной схемы заключается в том, что при фиксированных зондирующей частоте и скорости сгустка возможно



заметное изменение величины  $\Delta f$  выбором угла  $\alpha$ . Поэтому при больших  $\alpha$  благодаря понижению доплеровского смещения частоты возможно зондирование на миллиметровых волнах с хорошим пространственным разрешением при одновременном использовании относительно длинных („обзорных“) разверток осциллографа.

Изменение плоскости или направления зондирования может быть использовано при исследовании сгустков с иной структурой.

#### Литература

[2] S. W. Kash. Magnetohydrodynamics ed. by Rolf. K. M. Landshoff. Stanford, California, 1957. — [2] M. A. Heald. The Application of Microwave Techniques to Stellarator Research. *MATT-77*, 83, 1959. — [3] Н. А. Борзунов, Д. В. Орлинский, С. М. Осовец. *ЖЭТФ*, 36, 717, 1959.

Поступило в Редакцию  
31 августа 1963 г.