

03;09;10;12

## Генерация пучками электронов низкочастотного электромагнитного излучения в газовых средах

© Г.Р. Алимов,<sup>1</sup> А.Т. Муминов,<sup>1</sup> Т.М. Муминов,<sup>1</sup> У.С. Салихбаев,<sup>2</sup> А.Н. Сафаров,<sup>3</sup> Р.Р. Усманов<sup>1</sup><sup>1</sup> Научно-исследовательский институт прикладной физики Национального университета Узбекистана, 700174 Ташкент, Узбекистан<sup>2</sup> Институт ядерной физики АН Узбекистана, 702132 Ташкент, Узбекистан<sup>3</sup> Самаркандский государственный университет, 703004 Самарканд, Узбекистан  
e-mail: u\_salikh@suninp.tashkent.su

(Поступило в Редакцию 16 мая 2002 г.)

Наблюдалось сверхнизкочастотное электромагнитное излучение, генерируемое пучком электронов с энергией 13 МэВ в газовой среде стометрового диэлектрического электропровода.

В данной работе приведены результаты исследований сверхнизкочастотного (СНЧ) вторичного электромагнитного излучения (ВЭИ), генерируемого пучками электронов в разреженной газовой среде.

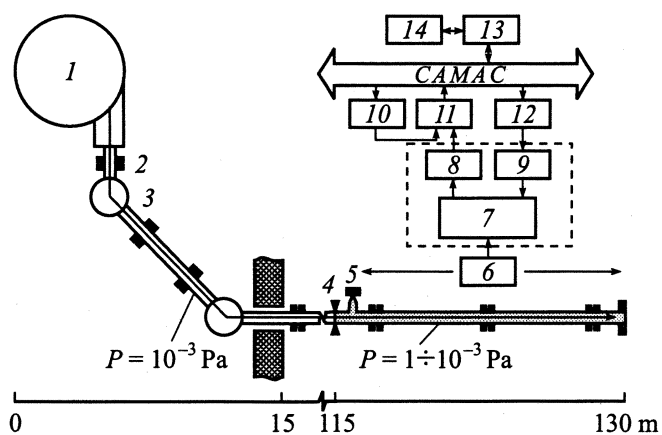
Экспериментальная установка (рис. 1 и 2) включает в себя микротрон МТ-22С, тракт транспортировки выведенного пучка электронов со стометровым участком диэлектрического электропровода (стекло, внутренний диаметр 50 мм, потери интенсивности в конце электропровода 15%, давление остаточного газа  $10^{-3}$  Па), антенно-фидерные устройства и „on-line“ измерительный комплекс на базе анализатора спектров СК4-72, системы КАМАК и IBM компьютера [1,2]. Исследования проводились на пучке электронов (энергия  $E_e = 13$  МэВ, средний ток  $I_e = 1-10$  мкА, длительность импульса

$\tau = 2.5$  мкс, частота следования импульсов  $f = 388$  Нз) на конечном 15-метровом участке диэлектрического электропровода, в котором давление остаточного газа регулировалось в пределах  $1-10^5$  Па. Устройство дистанционного управления антеннами позволяло на этом участке изменять пространственную ориентацию антенн и их положение вдоль ( $L = 0-15$  м) и поперек ( $d = 0.4-1.1$  м) оси электронного пучка.

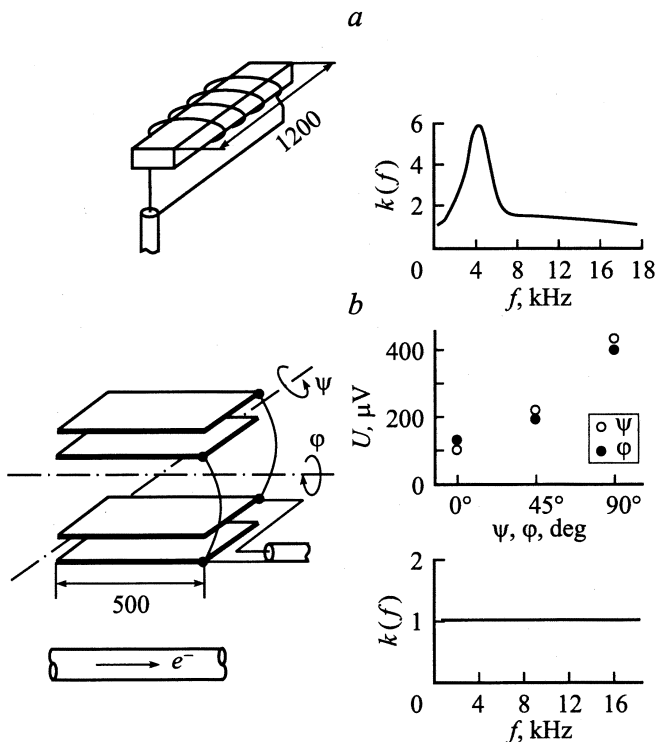
Проведенные исследования показали, что взаимодействие электронного пучка с газовой средой в ближней зоне вызывает генерацию СНЧ ВЭИ с частотами  $f$ , кратными частоте следования импульсов электронного пучка (рис. 3,4). При этом возрастание тока пучка (рост числа ионизированных молекул газа) приводит к линейному возрастанию сигнала ВЭИ —  $U$  (рис. 5); удаление  $d$  антенны от оси пучка (ослабление интенсивности потока ВЭИ, наводящего сигнал в антенне) приводит к линейному ослаблению сигнала  $U$  (рис. 5); увеличения расстояния  $L$  позиции антенны от начала измерительного участка и давления  $P$  остаточного газа в электропроводе (увеличение длины и плотности плазменного образования, взаимодействующего с электронным пучком) приводят к монотонному возрастанию амплитуды  $U$  сигнала (рис. 3 и 6); зависимость амплитуды  $U$  сигнала от ориентации электрической антенны указывает на не совсем понятную горизонтальную поляризацию электрической составляющей ВЭИ (вставка на рис. 2).

Отметим, что использование в измерениях рамочной антенны и биконического вибратора (длиной 100 м) не позволило выявить спектральные линии (из-за значительности размеров антенны и, следовательно, высокого уровня наведенных в ней помех). Кроме того, следует подчеркнуть, что рассматриваемый спектр помимо ВЭИ, генерируемого электронным пучком, содержит вклад, обусловленный процессами облучения антенны излучениями, связанными с рассеянием электронного пучка.

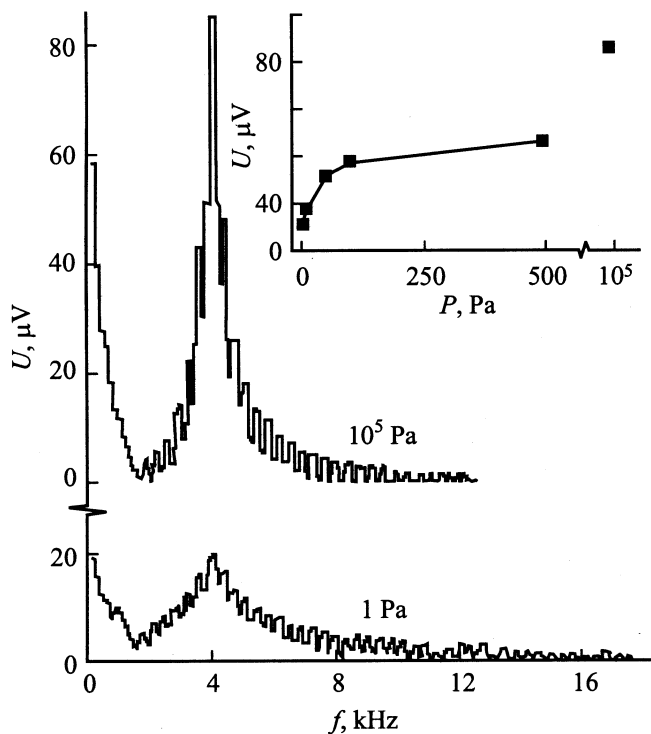
Анализ данных не позволяет сделать выводы о физической природе обнаруженных СНЧ ВЭИ.



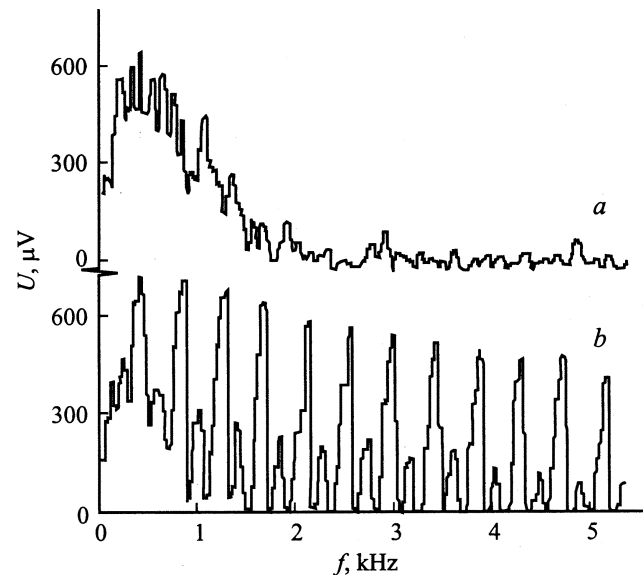
**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки: 1 — микротрон МТ-22С, 2 — дублет квадрупольных магнитных линз, 3 — поворотный магнит, 4 — разделитель вакуума в диэлектрическом электропроводе, 5 — вакуумный нагнетатель, 6 — антенны с устройством перемещения, 7 — анализатор спектра СК4-72, 8 — блок сопряжения аналоговый, 9 — блок сопряжения цифровой, 10 — генератор, 11 — аналого-цифровой преобразователь, 12 — цифро-аналоговый преобразователь, 13 — контроллер крейта КАМАК, 14 — компьютер.



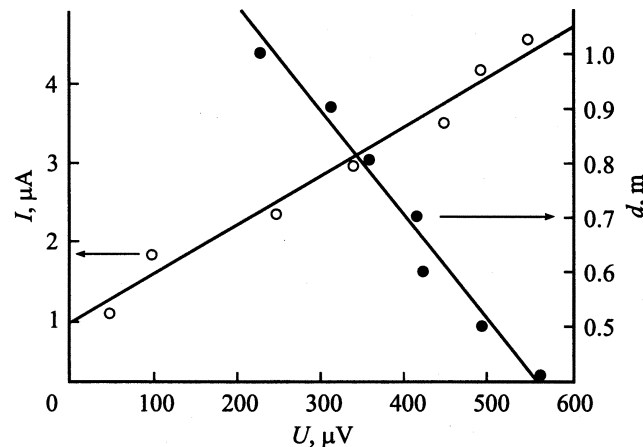
**Рис. 2.** Схема ферритовой (а) и электрической (b) антенн. На вставках — их амплитудно-частотные характеристики ( $k(f)$  — частотный коэффициент передачи) и зависимость амплитуды  $U$  сигнала ВЭИ от углов ориентации  $\psi$  и  $\phi$  для электрической антенны.  $L = 10$  м,  $d = 0.8$  м,  $P = 6$  Па,  $I = 3 \mu\text{A}$ .



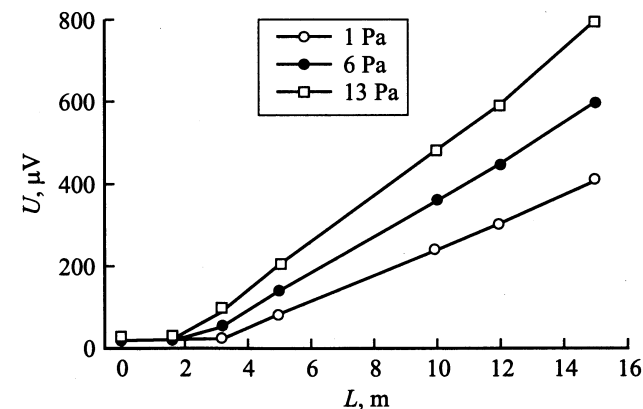
**Рис. 3.** Спектрограммы ВЭИ и зависимости амплитуд (на вставке)  $U$  от давления  $P$  для ферритовой антенны ( $L = 10$  м,  $d = 0.8$  м,  $I = 3 \mu\text{A}$ ).



**Рис. 4.** Спектрограммы фона (а) и ВЭИ с вычетом фона (b), измеренные с помощью электрической антенны.  $L = 10$  м,  $d = 0.8$  м,  $P = 6$  Па,  $I = 3 \mu\text{A}$ .



**Рис. 5.** Зависимости амплитуды  $U$  сигнала ВЭИ от тока  $I$  пучка (при  $d = 0.8$  м) и удаления  $d$  (при  $I = 3 \mu\text{A}$ ) электрической антенны от оси пучка ( $L = 10$  м,  $P = 6$  Па).



**Рис. 6.** Зависимость амплитуды  $U$  сигнала ВЭИ от расстояния ( $L$ ) электрической антенна-начало измерительного участка ( $d = 0.8$  м,  $I = 3 \mu\text{A}$ ).

1) Характер ВЭИ не объясняется возбуждением антенно-фидерных устройств, так как их амплитудно-частотные характеристики не имеют резонансных подъемов в исследованном диапазоне в связи с низкой добротностью образующегося колебательного контура антенно-фидерное устройство – входная цепь анализатора спектра.

2) Амплитуды гармонических составляющих ВЭИ не соответствуют амплитудному спектру периодической последовательности радио и видеосигналов, так как при разложении последних в ряд Фурье их амплитуды должны сильно спадать.

3) Свойства ВЭИ соответствуют излучению со сплошным спектром частот в диапазоне от  $f = 0$  до  $f = 3c\gamma^3/2R$ , где  $c$  — скорость света,  $\gamma = E_e/mc^2$ ,  $R$  — радиус кривизны электронной траектории.

Очевидно, что для выявления природы наблюдаемой генерации ВЭИ импульсными пучками заряженных частиц в газовой среде необходимо проведение детальных исследований на более интенсивных пучках заряженных частиц.

## Список литературы

- [1] Алимов Г.Р., Бараев С.Б., Коваль С.А. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 1993. Т. 57. № 4. С. 66.
- [2] Алимов Г.Р., Кунгуров Ф.Р., Муминов Т.М. и др. // Узбекский физ. журн. 1997. № 4. С. 78.