

препринт 23

Н.С.Бучельникова, Р.А.Салимов, Ю.И.Эйдельман

**Возбуждение ионно-звуковой неустойчивости
в неоднородной плазме**

НОВОСИБИРСК 1966

А н н о т а ц и я

Исследовалось возбуждение ионно-звуковой неустойчивости при пропускании тока в калиевой плазме. Показано, что наблюдается и жесткий и мягкий режим возбуждения, причем последний в случае, когда одновременно с ионно-звуковой возбуждается дрейфовая неустойчивость.

В связи с изучением турбулентного состояния плазмы представляет интерес исследование характера возбуждения неустойчивостей в плазме.

Известно, что при потере устойчивости системой с одной степенью свободы возможно два типа возбуждения - мягкий и жесткий /1/. Если параметр, с которым связано возбуждение, больше критического, то в мягком режиме амплитуда колебаний плавно меняется при изменении параметра, обращаясь в нуль в критической точке. В жестком режиме при увеличении параметра амплитуда возрастает скачком при критическом значении, а при уменьшении параметра скачком падает до нуля при значении, меньшем критического. Можно ожидать, что два типа возбуждения будут наблюдаться и при развитии неустойчивости в плазме (система с многими степенями свободы) /2/.

В настоящей работе наблюдалось мягкое и жесткое возбуждение при развитии ионно-звуковой неустойчивости в сильноионизованной неоднородной плазме. При этом мягкое возбуждение наблюдалось в системе, где одновременно возбуждается два типа неустойчивостей - ионно-звуковая и дрейфовая, а жесткое в системе, где возбуждается только ионно-звуковая.

Эксперименты проводились на установке /3/, схема которой представлена на рис.1. Плазма образуется при термической ионизации калия на вольфрамовой пластине (ионизаторе) радиусом 2 см. Температура пластины $\sim 2000^\circ\text{K}$. Вторая пластина (электрод) не нагревается. Расстояние ионизатор - электрод 36 см.

Магнитное поле направлено вдоль оси системы. Пределы изменения поля 400 - 2000 эрст.

Плотность плазмы максимальна на оси и спадает по радиусу. Эксперименты проводились при плотности плазмы $10^9 - 10^{10} \text{ см}^{-3}$. Остаточное давление $(2 - 8) \cdot 10^{-7}$ мм рт.ст., так что плазма является сильноионизованной.

Плотность плазмы и амплитуда колебаний плотности измерялись с помощью лэнгмюровских зондов соответственно по постоянной и переменной составляющей ионного тока насыщения.

Спектр колебаний исследовался с помощью селективных микровольтметров с полосой пропускания ~ 200 гц. Отметим, что использованные приборы измеряют эффективную амплитуду.

Скорость дрейфа электронов относительно ионов U при некотором токе определялась по плотности тока j и плотности плазмы n : $U = j/n$. При этом плотность тока определялась по полному току, отнесенному к площади электрода, а плотность плазмы находилась усреднением по сечению плазменного столба вблизи электрода.

Ранее на этой же установке было показано, что в отсутствие тока в неоднородной плазме развивается дрейфовая неустойчивость /4,5/. При развитии неустойчивости в системе с холодным электродом существенную роль играет электрический слой у поверхности ионизатора, определяемый соотношением потоков электронов и ионов. Неустойчивость наблюдается только при ионном слое. При электронном слое азимутальные возмущения компенсируются за счет эффекта типа Саймоновского и дрейфовая неустойчивость не развивается /6/.

Неустойчивость, возбуждающаяся при протекании тока в случае ионного слоя (I), описана в работе /7/. Оказалось, что в этом случае сохраняется дрейфовая ветка (причем амплитуды ее растут) и при некоторой критической скорости дрейфа U_c появляется новая ионно-звуковая ветка. Для дрейфовой ветки частота колебаний обратно-пропорциональна магнитному полю, волны азимутальные, причем азимутальные фазовые скорости всех гармоник одинаковы. Для ионно-звуковой ветки частота не зависит от магнитного поля и меняется обратно-пропорционально длине системы. Фазовая скорость продольной составляющей практически совпадает со скоростью ионного звука. Типичный спектр колебаний представлен на рис.2. Ионно-звуковая ветка имеет меньшие частоты.

В случае электронного слоя (II), когда дрейфовой неустойчивости нет, возбуждается только ионно-звуковая ветка (рис.3). Критическая скорость дрейфа практически одинакова в обоих случаях.

Было исследовано развитие ионно-звуковой неустойчивости в случае ионного и электронного слоя. Роль параметра при развитии этой неустойчивости играет скорость дрейфа электронов.

На рис.4,5 показана зависимость амплитуды колебаний первой гармоники от скорости дрейфа. Видно, что характер зависимости существенно различен в случаях I и II. В случае I амплитуда меняется при изменении скорости дрейфа плавно, при увеличении и уменьшении U точки ложатся на одну кривую, при $U \leq U_c$ амплитуда равна нулю.

В случае II при критическом значении U_c амплитуда скачком возрастает до значения $(\tilde{n}/n)_1$. При уменьшении U она также резко падает от значения $(\tilde{n}/n)_2$ до нуля при значении U , меньшем U_c . Отношение $(\tilde{n}/n)_1 : (\tilde{n}/n)_2 \sim (1,5 \pm 0,6)$. Из рис.6 видно, что амплитуда колебаний плотности нарастает и падает за времена нескольких периодов колебаний.

Наличие гистерезиса в случае II и отсутствие его в I видно также из осциллограмм тока (рис.7,8). Действительно, в случае I критическое значение тока одинаково и при увеличении и при уменьшении его, так что кривая симметрична. В случае II ток, при котором появляются колебания, больше того, при котором они исчезают. Следует отметить, что при возбуждении неустойчивости возрастает диффузия /7/ и, как следствие этого, падает плотность и ток, что и наблюдается на осциллограммах.

Таким образом, в случае I, когда ионно-звуковая неустойчивость развивается одновременно с дрейфовой, осуществляется мягкое возбуждение, а в случае II, когда она развивается одна, - жесткое.

Выражаем благодарность Э.М.Смокотину за помощь в проведении экспериментов.

Л и т е р а т у р а

1. А.А.Андронов, А.А.Витт, С.Э.Хайкин.
Теория колебаний. Физматгиз, 1959.
2. Б.Б.Кадошцев.
Вопросы теории плазмы, т.IV, Госатомиздат, 1964.
3. Н.С.Бучельникова.
Теплофизика высоких температур 2, 309, 1964.
4. Н.С.Бучельникова.
Ядерный синтез 4, 165, 1964.
5. Н.С.Бучельникова.
Доклад на УП Международной конференции по явлениям в ионизованных газах, Белград, 1965.
6. H. Lashinsky
Доклад на II Международной конференции по физике плазмы и исследованиям в области управляемого ядерного синтеза, Калэм, 1965.
7. Н.С.Бучельникова, Р.А.Салимов, Д.И.Эйделман.
"Исследование токовой неустойчивости в неоднородной плазме". Препринт ИЯФ СО АН СССР, 1965.
Ядерный синтез.

Подписи к рисункам

- Рис. 1. Схема установки.
1 - катушки магнитного поля; 2 - ионизатор;
3 - электрод; 4 - напылитель; 5 - подвижный зонд.
- Рис. 2. Спектр колебаний I (ионный слой).
 $N = 1000$ эрст; $n = 4 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$; - - - - уровень шума выше 200 кгц.
- Рис. 3. Спектр колебаний II (электронный слой).
 $N = 1000$ эрст; $n = 3,5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$; - - - - уровень шума выше 200 кгц.
- Рис. 4. Зависимость амплитуды колебаний от скорости дрейфа электронов I.
 $f = 4,9$ кгц; 0 - увеличение U ; x - уменьшение U .
- Рис. 5. Зависимость амплитуды колебаний от скорости дрейфа электронов II.
 $f = 5$ кгц; 0 - увеличение U ; x - уменьшение U .
- Рис. 6. Колебания плотности II.
Нижняя кривая - напряжение на электроде.
- Рис. 7. Осциллограмма тока I.
Верхняя кривая - напряжение на электроде.
- Рис. 8. Осциллограмма тока II.
Верхняя кривая - напряжение на электроде.

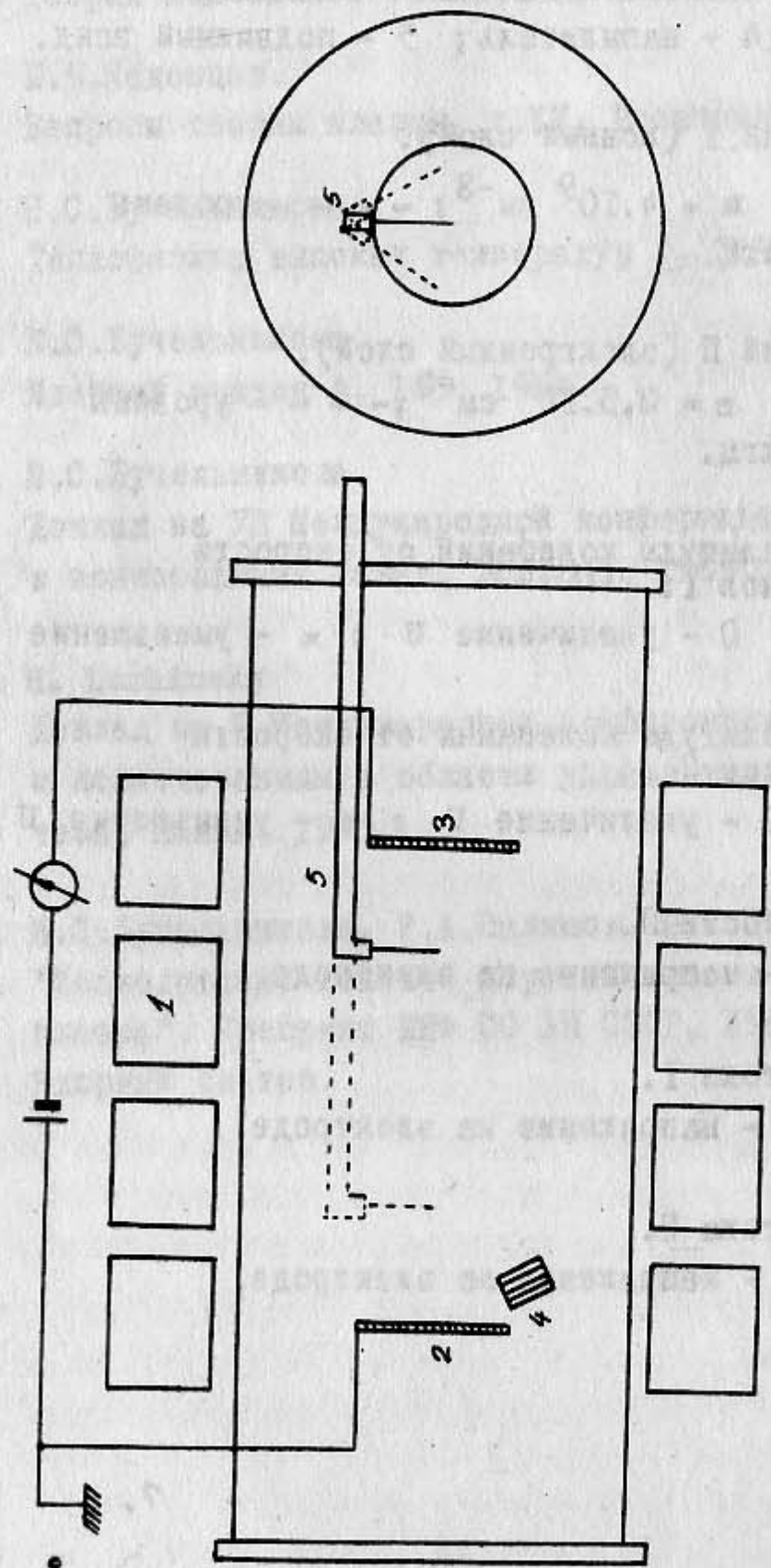


Рис. 1.

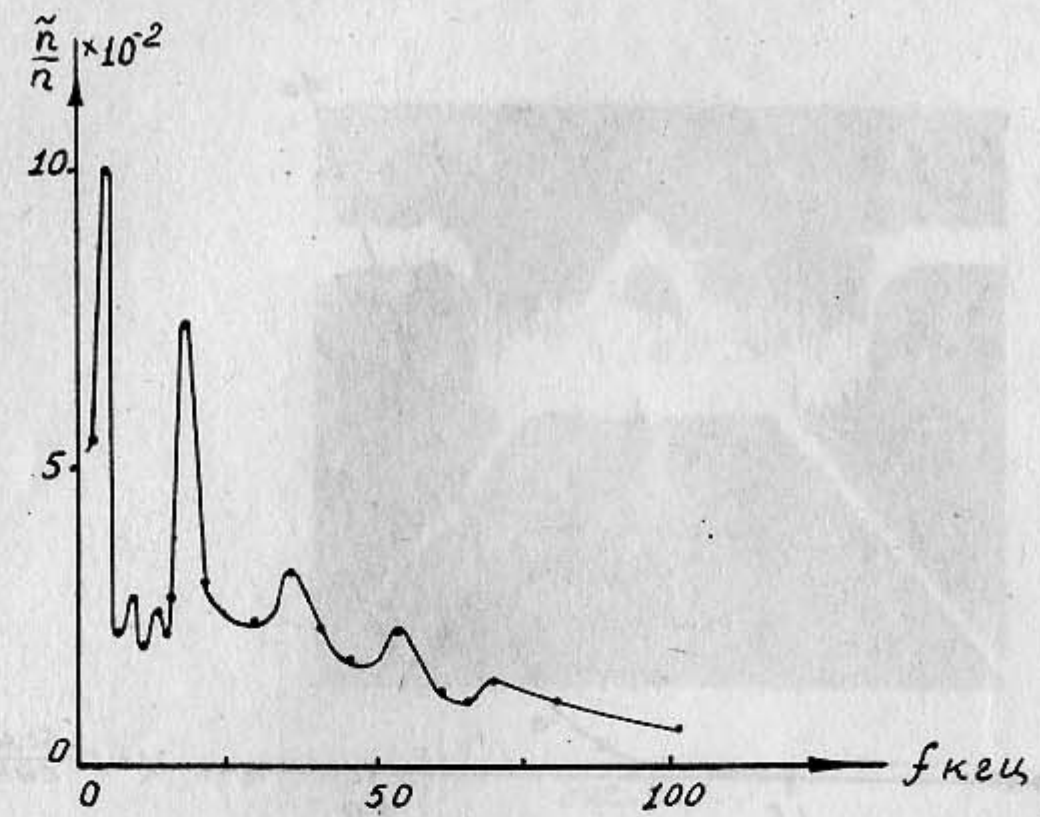


Рис. 2.

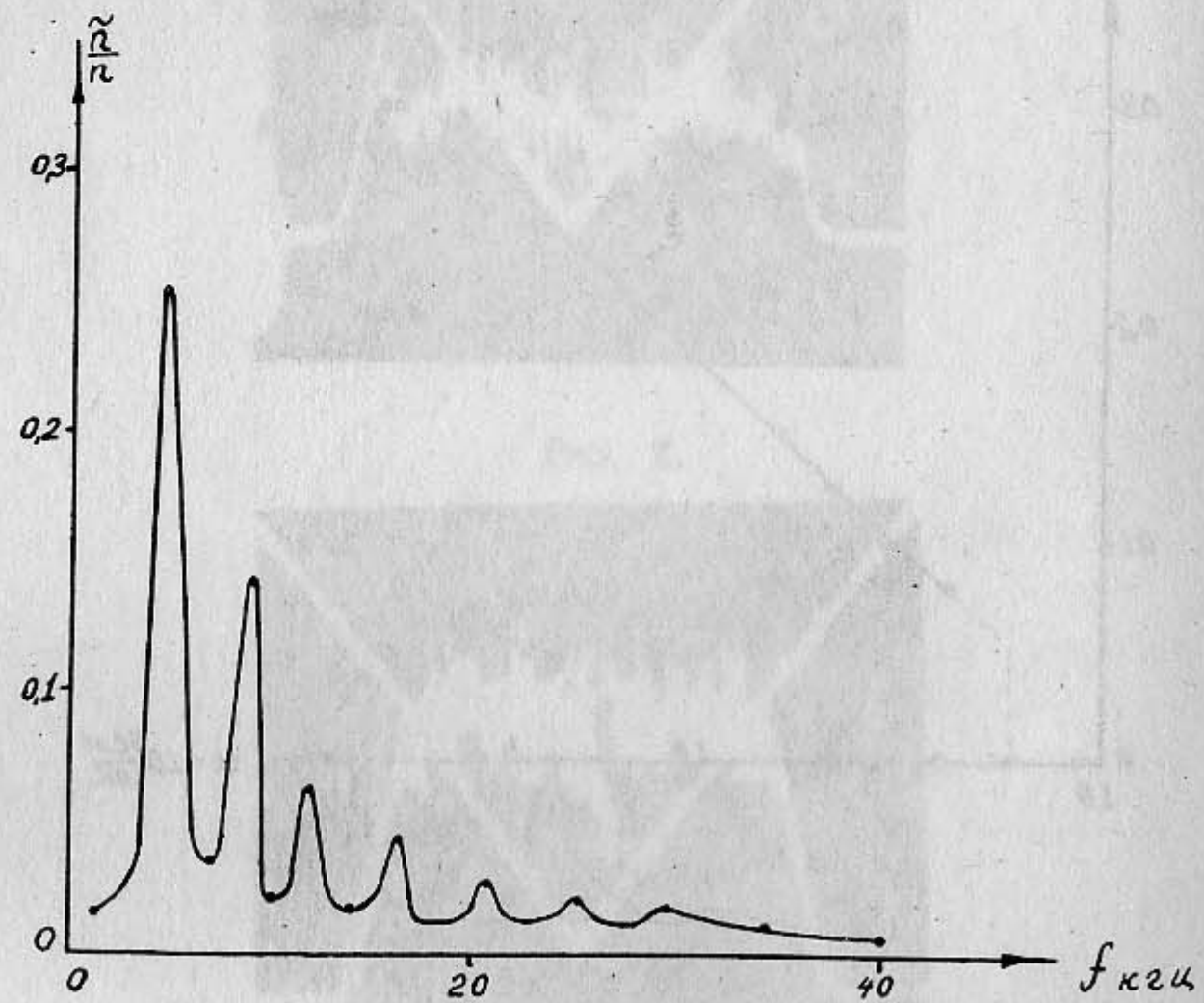


Рис. 3.

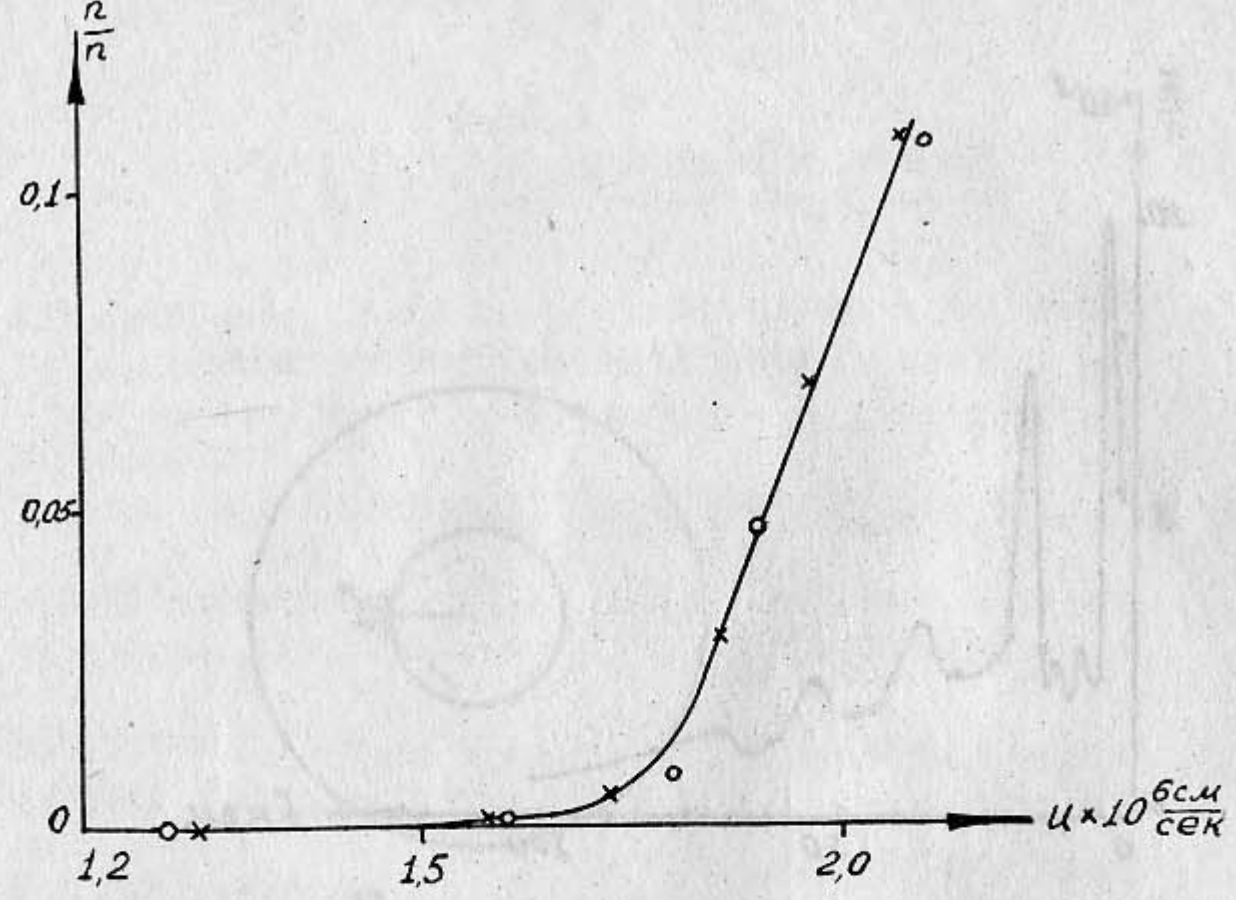


Рис. 4.

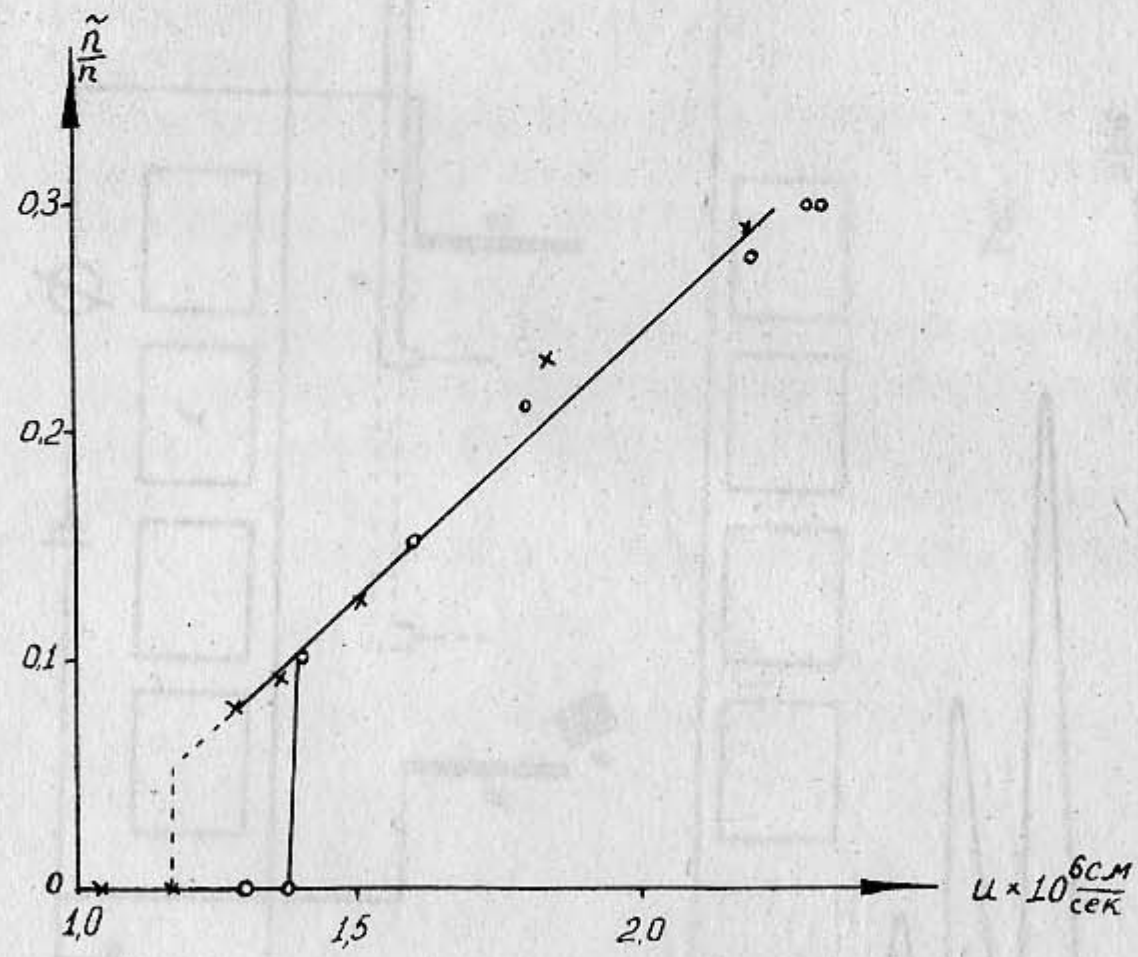


Рис. 5.

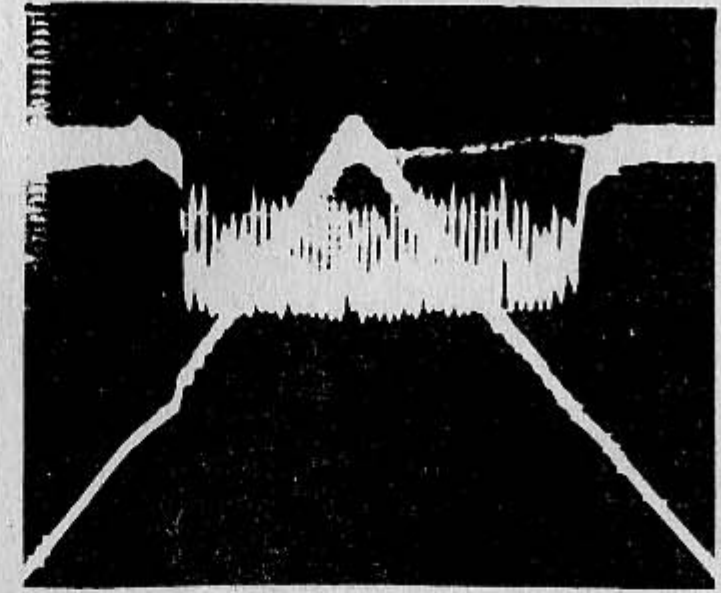


Рис. 6.

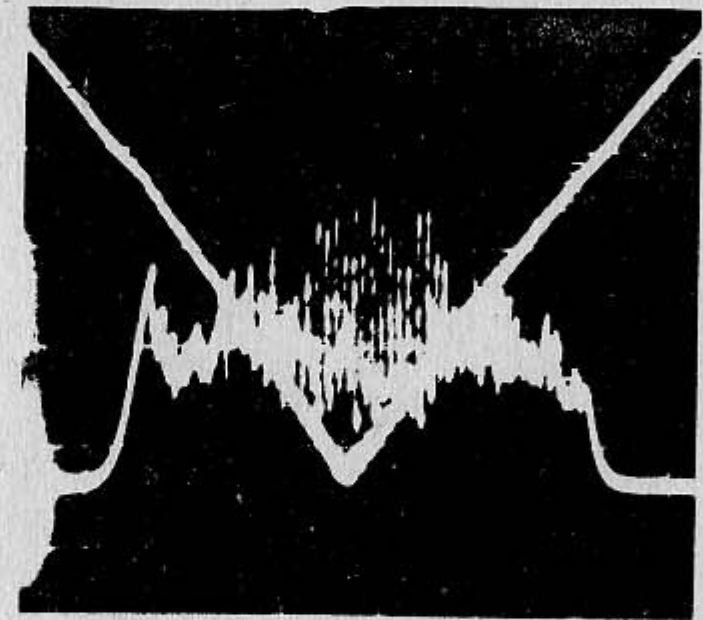


Рис. 8.

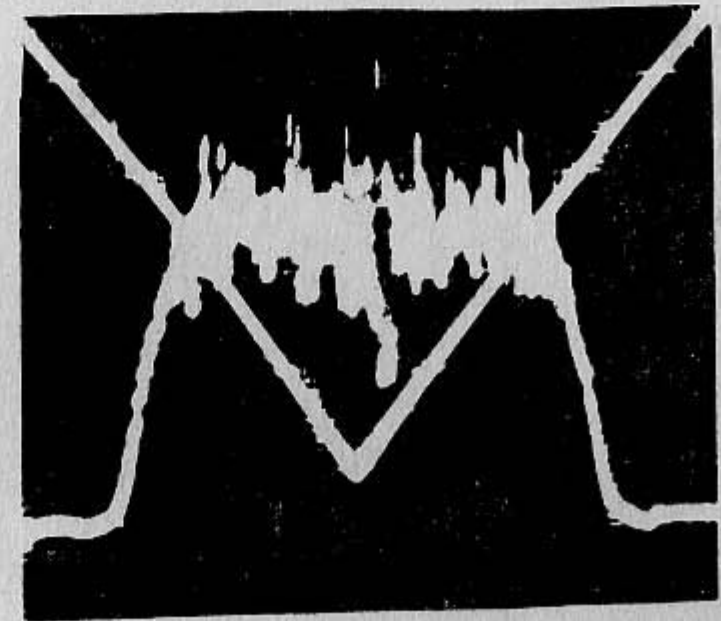


Рис. 7.