

35

**И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН С С С Р**

И Я Ф 110 - 70

С.Г.Константинов, О.К.Мышкин, А.Ф.Сорокин

Ф.А.Цельник

**РАЗРЯД С ОСЦИЛЛИРУЮЩИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ
В ЛОВУШКЕ С МАГНИТНЫМИ ПРОБКАМИ**

Новосибирск

1970

С.Г.Константинов, О.К.Мыскин, А.Ф.Сорокин,
Ф.А.Цельник

РАЗРЯД С ОСЦИЛЛИРУЮЩИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ
В ЛОВУШКЕ С МАГНИТНЫМИ ПРОБКАМИ

А Н Н О Т А Ц И Я

Показано, что при увеличении потока электронов с торцов скорость вращения плазмы и температура ионов увеличиваются. Плазма становится неустойчивой, если ларморовский радиус ионов достаточно велик.

В работе /1/ показано, что при вращении плазмы в ловушке с пробочной геометрией магнитного поля существуют (при определенных условиях) устойчивые режимы удержания. В этих экспериментах, однако, энергия вращения не превышала 200 эв. Естественно попытаться увеличить напряженность электрического поля в плазме, поместив на торцах источники электронов.

Использовалась установка, описанная в /1/. На одном из торцов были смонтированы инжекторы электронов. Их устройство показано на рис.1. Инжекторы устанавливались на 7 наружных кольцах. На фотографии рис.2 видно расположение источников электронов в плоскости торца.

Изменением потенциала анодной трубки относительно катода можно регулировать поступление электронов в область разряда. В эксперименте на все инжекторы одновременно подавался импульс напряжения с амплитудой до 300 в, длительностью 20 мсек и временем спада около 300 мксек. Максимальный ток каждого инжектора - 50 - 100 ма.

Включая источники с различным сдвигом во времени относительно момента подачи газа в камеру, можно наблюдать эффект от поступления электронов на различных стадиях разряда.

На рис.3 приведены зависимости температуры ионов и скорости вращения плазмы от величины токов источников, измеренные по нейтральным атомам перезарядки. Видно, что при достаточном токе с торца катодное падение становится малым и поперечное электрическое поле в плазме резко возрастает (при полной эквипотенциальности силовых линий отношение напряженностей поля на торце и в центре камеры должно равняться пробочному отношению).

Соответствующая картина наблюдается и при измерении расщепления электрического потенциала по времени пролёта SF_6^- (рис.4). Измерения проводились лишь при малых (около 1 ма) токах инжекторов, т.к. при больших токах не удаётся выделить слабый ($\sim 0,1$ мка) сигнал отрицательных ионов на фоне плазменного шума. Тем не менее из рис.4 видно, что уже и при этих токах анодное падение существенно возрастает.

При давлении нейтрального газа порядка $5 \cdot 10^{-6}$ - $5 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст. плотность плазмы при инжекции электронов практически не из -

меняется. Изменение времени жизни энергии плазмы (τ_e) по мощности в разряде (как это делалось в /1/) также может быть сделано лишь при относительно малом токе инжекторов, так как часть электронов попадает на кольца с другим потенциалом, нагружая источники напряжения на торцах. При условиях, соответствующих рис.4, ток в разряде не превышал 100 мка, что даёт нижнюю оценку для времени жизни энергии в плазме порядка 2 мсек.

Поведение плазмы после окончания инжекторного импульса существенно зависит от величины токов источников во время инжекции. В этой стадии разряда возможно прямое измерение времени жизни по току торцов.

При небольших токах источников (≤ 10 ма) время жизни энергии плазмы около 5 мсек, а время остывания порядка 10 мсек (рис.5). При увеличении токов время жизни резко падает (до 0,5 мсек при 20 - 25 ма).

Анализ сигнала на пристеночных пробниках позволяет утверждать, что по крайней мере при достаточно больших токах инжекторов (≥ 10 ма) и малом ($\leq 5 \cdot 10^{-6}$ мм рт.ст.) давлении газа плазма неустойчива. Структура колебаний видна на осциллограмме рис.6. Форма сигнала соответствует сравнительно медленным (десятки кгц) пульсациям заряда на поверхности плазмы, наложенными на быстрое вращение, скорость которого определяет частоту заполнения.

На пробнике, экранированном металлической сеткой от полей плазмы, наблюдается пульсирующий сигнал от потока плазмы поперек магнитного поля, синхронный с огибающей колебаний. При изменении магнитного поля в пределах 3 - 5 кэ частота огибающей изменяется пропорционально H^{-1} . При $H \geq 5$ кэ регулярный характер колебаний нарушается. Аналогичное разрушение структуры колебаний происходит и при увеличении плотности газа. Увеличение "температуры" электронных пучков (для этого на катоды инжекторов подавалось напряжение ~ 150 в с частотой 5 мгц) не влияет на колебания.

Приведенные выше результаты измерений дают, по-видимому, основание классифицировать наблюдаемые колебания как дрейфовые.

С этой точки зрения возникновение неустойчивости является следствием увеличения энергии и, следовательно, ларморовского радиуса ионов. Колебания раскачиваются, когда отношение характерного размера изменения плотности плазмы к величине ларморовского радиуса ионов становится достаточно малым.

В принципе, возможной причиной неустойчивости может быть и азимутальная асимметрия инжекторов. Для проверки этого предположения инжекторы отключались (разряд без внешних электронов) и в камеру вместо дейтерия подавался воздух. Оказалось, что в отличие от водородной или дейтериевой плазмы /1/, разряд в воздухе неустойчив. При давлении газа $\sim 1,3 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст. время жизни не более 0,1 мсек.

При этом наблюдаются колебания, аналогичные рассмотренным выше, с такой же зависимостью частоты от магнитного поля, но с абсолютным значением частоты втрое меньшим. Отсюда следует, что возбуждение колебаний связано именно с увеличением ларморовского радиуса ионов. Не исключено, что и при разряде в водороде на развитие неустойчивости влияют тяжёлые ионы остаточного газа.

Таким образом, оказывается:

1. Скорость вращения и температура ионов могут быть существенно увеличены при достаточном потоке электронов с торцов.

2. Для подавления неустойчивости следует увеличивать поперечный размер плазмы и напряженность электрического поля (при соответствующем увеличении магнитного), т.к. энергия вращения и температура меняются как E^2/H^2 , а ларморовский радиус как E/H^2 .

Рис. 1. Устройство электрических источников. 1 - торцевые электроды, 2 - выдерживаемый газ, 3 - камера, 4 - анодная трубка.

Л и т е р а т у р а

1. С.Г.Константинов, О.К.Мыскин, А.Ф.Сорокин, Ф.А.Цельник.

"Разряженная вращающаяся плазма в ловушке с магнитными пробками" (в печати).

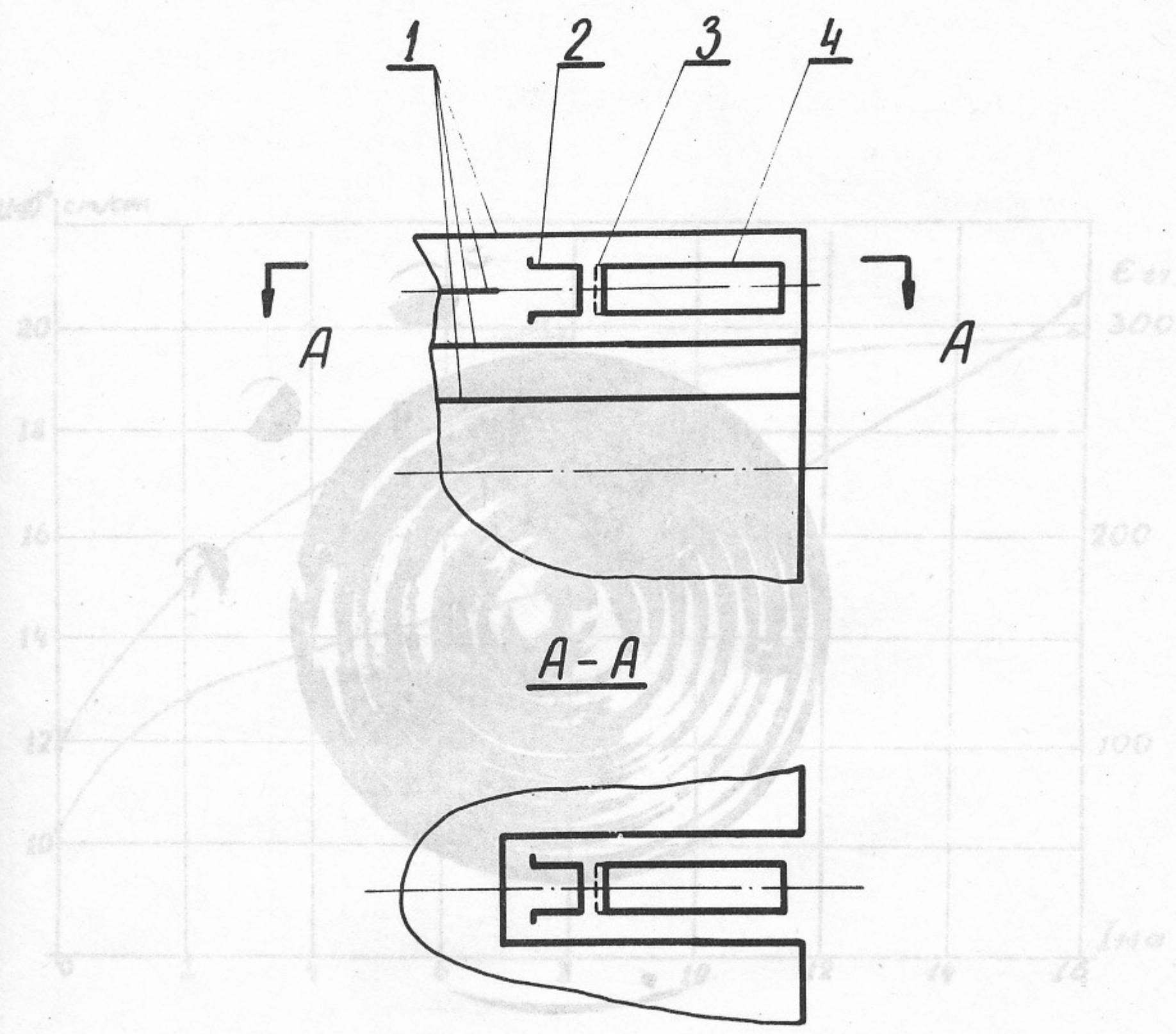


Рис.3. 1 - средняя энергия ионов (эВ), 2 - скорость вращения плазмы (с/сек). Напряжение на торце = 14 кВ; магнитное

Рис.1. Устройство электронных источников. 1 - торцевые электроды, 2 - импрегнированный катод, 3 - сетка, 4 - анодная трубка.

И. С. Г. Косыгина, О. К. Мухомов, А. Ф. Сорокин, Ф. А. Шальник.
"Разрешение эргодичности плазмы в вакууме с магнитным
полем" (в печати).



Рис. 2. Торцевые электроды

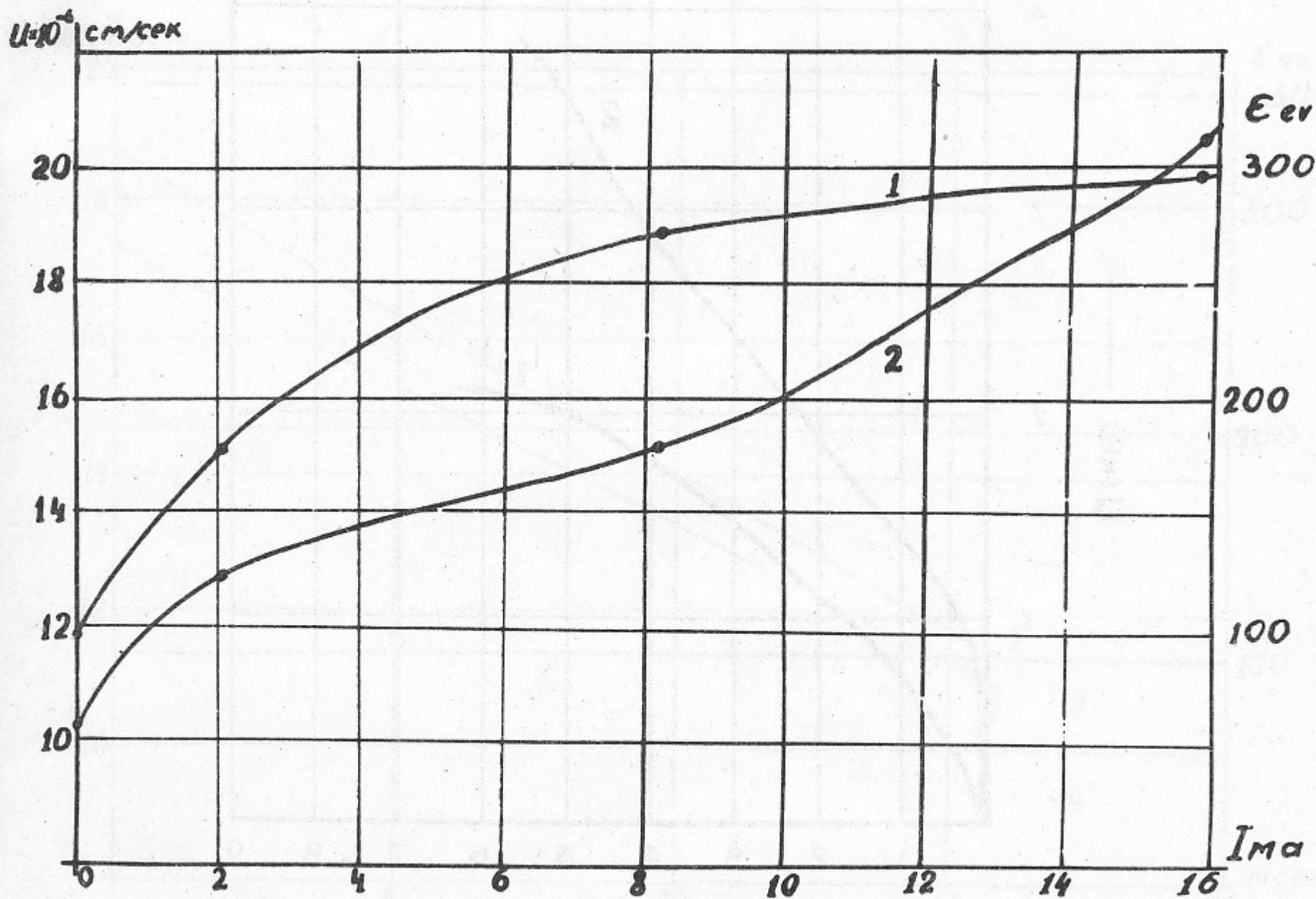


Рис.3. 1 - средняя энергия ионов (эв), 2 - скорость вращения плазмы (см/сек). Напряжение на торце - 14 кв; магнитное поле - 5,4 кэ; давление газа (дейтерий) - $3,5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.

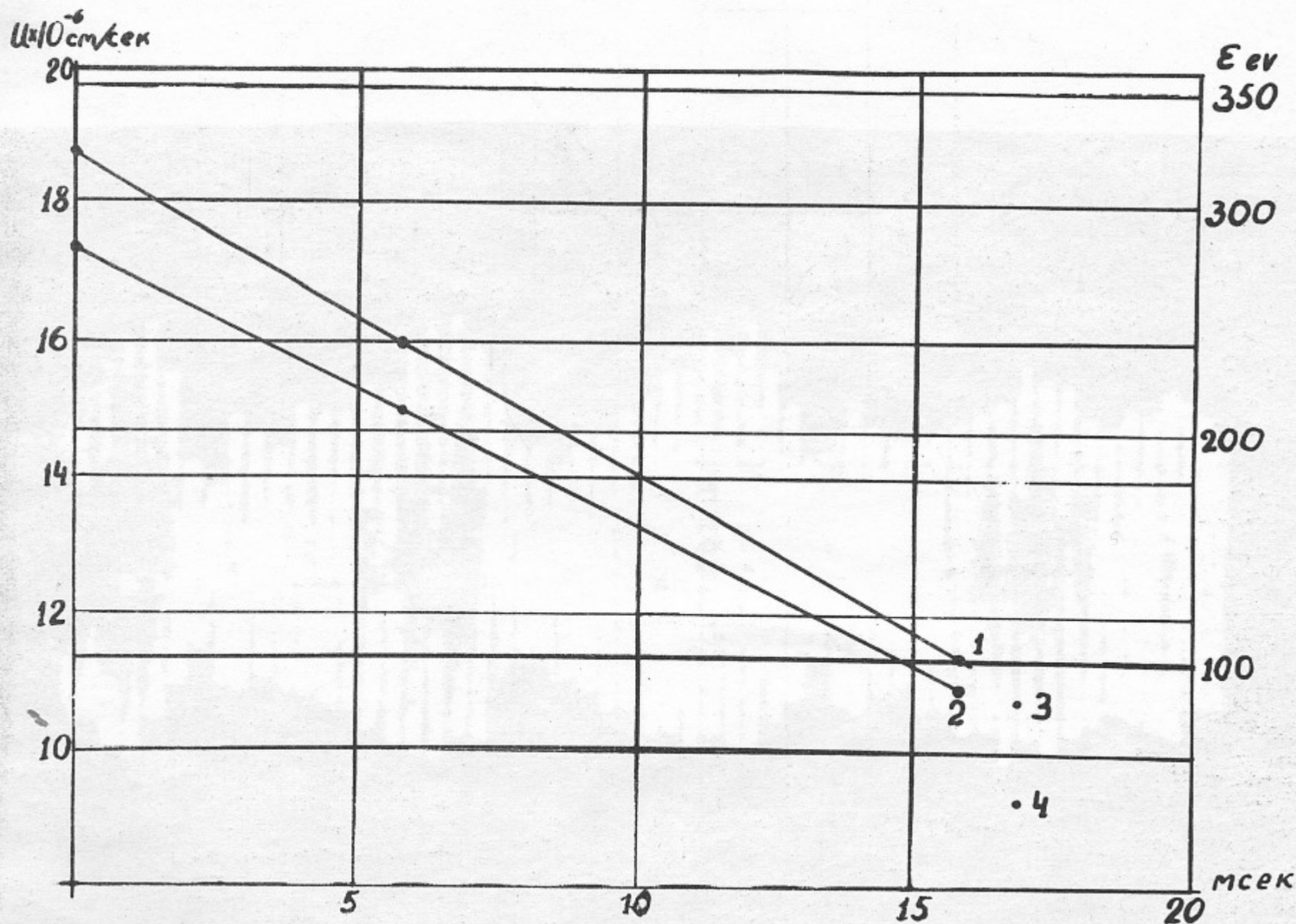


Рис.5. Время отсчитывается от конца инжекторного импульса. Напряжение на торце - 15 кэ; магнитное поле - 5 кэ; давление газа (дейтерий) - $2,5 \cdot 10^{-5}$ мм рт.ст.; ток каждого инжектора - 10 ма. 1 - средняя энергия ионов (эв); 2 - скорость вращения плазмы (см/сек), 3 и 4 - средняя энергия и скорость вращения без инъекции электронов.

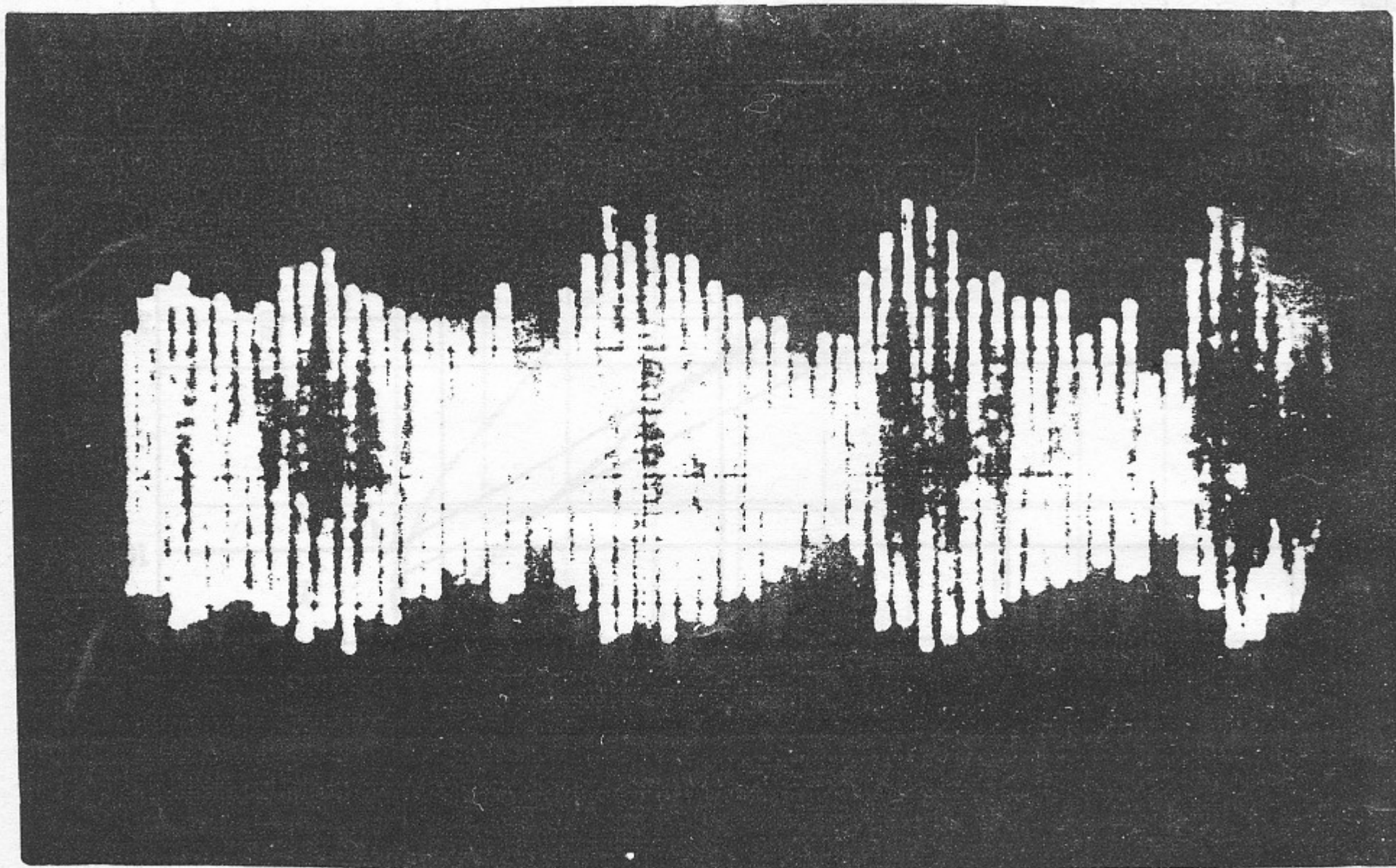


Рис.6. Скорость развертки - 10 мксек/см.

Ответственный за выпуск С.Г. КОНСТАНТИНОВ

Подписано к печати 10.12.70.

Усл. 0,5 печ.л., тираж 150 экз. Бесплатно.

Заказ № 110 . ПРЕПРИНТ

Отпечатано на ротационной машине в ИЯФ СО АН СССР.