

K88

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

препринт

90

А.М.Кудрявцев, Н.С.Бучельникова

**Взаимодействие электронного и ионного
пучка с калиевой плазмой**

г.Новосибирск 1967

А Н Н О Т А Ц И Я

Исследовано взаимодействие электронного и ионного пучка с плазмой при условиях $V_0 \gg V_{Te}$, $\omega_{ne} > \omega_{oe}$

Обнаружено, что электронный пучок возбуждает электронные циклотронные колебания, причем механизм возбуждения черенковский.

При взаимодействии с плазмой ионного пучка возбуждения колебаний с амплитудами, большими 10^{-12} вт в диапазоне частот 3-4000 мгц не обнаружено.

Исследованию взаимодействия пучков заряженных частиц с плазмой посвящено значительное число теоретических и экспериментальных работ /1/. Однако, практически все эксперименты с электронными пучками выполнены в условиях, когда плазма создается самим пучком. Экспериментов с быстрыми ионными пучками ($V_{0i} > V_{Te}$, где V_{Te} - тепловая скорость электронов плазмы) нет.

В настоящей работе исследовано взаимодействие электронного и протонного пучков с сильноионизованной калиевой плазмой, создаваемой независимо от пучка.

Описание установки

Схема установки показана на рис. 1. Вакуумная камера представляет собой охлаждаемую водой трубу (1) из нержавеющей стали внутренним диаметром 15 см и длиной 144 см. Труба соединена с объемом (2) через фланец (3), имеющий окно с подвижной шторкой и "градиентную трубку" (4). При закрытой шторке регулировкой натекания можно довести давление в трубе до 10^{-2} тор при давлении в объеме (2) 10^{-5} тор. Это позволяет использовать установку для работы с плазмой, образованной самим пучком. Рабочее давление в трубке при открытой шторке и отсутствии натекания составляет $1 \cdot 10^{-6}$ тор.

Магнитное поле, направленное вдоль оси трубы, создается системой катушек (5). Питание катушек импульсное, длительность импульса тока ~ 15 мсек. Магнитное поле может меняться от 0,6 до 6 кэ. Неоднородность поля вдоль оси не превышает 2%. Длина зоны однородного поля ~ 100 см.

Щелочная плазма создается при термической ионизации паров калия на вольфрамовом ионизаторе (6) диаметром 4 см, имеющем температуру $\sim 2000^\circ\text{K}$. Ионизатор расположен в зоне однородного поля. Столб плазмы ограничен по длине подвижной сеткой (7), находящейся обычно на расстоянии ~ 50 см от ионизатора. На сетку подается потенциал, равный потенциалу плазмы. Плотность плазмы максимальна на оси и спадает по радиусу. Распределение плотности плазмы по радиусу и по длине представлено на рис. 2 и рис. 3. Эксперименты проводились при плотности плазмы

$1 \cdot 10^9 - 7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ (плотность измерялась на оси столба в 10 см от ионизатора).

Электронный пучок создается трехэлектродной пушкой (8), расположенной в объеме (2), вне магнитного поля. Пушка работает в импульсном режиме, длительность импульса 100 мксек. Энергия пучка 2-23 кев, максимальный ток в районе ионизатора 300 мА (плотность тока $\sim 1 \text{ а/см}^2$). Диаметр пучка 6 мм, разброс по энергии определенный с помощью электростатического анализатора, составляет $\sim 1\%$. Смещение пучка относительно оси трубы, определенное с помощью флуоресцирующего экрана, не превышает 2 мм.

При работе с ионными пучками вместо электронной пушки устанавливается тот или иной источник. Один из них - импульсный водородный дуговой источник /2/, обладающий следующими параметрами: энергия пучка 1,5 - 6 кев, ток в районе ионизатора - 20 мА (плотность тока $40 \frac{\text{мА}}{\text{см}^2}$), диаметр пучка 7-8 мм,

длительность импульса 100 мксек. Второй источник - "дуоплазмотрон" - имеет следующие параметры: энергия пучка 20-50 кев, ток в районе ионизатора - 30 мА (плотность тока $\frac{40 \text{ мА}}{\text{см}^2}$), диаметр пучка 9-10 мм, длительность импульса 100 мксек. В обоих случаях пучок инжектируется строго по оси.

Плотность плазмы измерялась одиночными лэнгмюровскими зондами (13), перемещающимися по радиусу.

Высокочастотные колебания в плазме измерялись штывевыми, дипольными и магнитными зондами - антеннами (10-12). В качестве измерительных приемников использовались приемники типа П5-1 - П5-7, перекрывающие диапазон частот 20-7000 мГц и обладающие чувствительностью $10^{-11} - 10^{-12}$ вт, а также селективный усилитель с диапазоном измеряемых частот 0,5 - 25 мГц и чувствительностью $\sim 10^{-12}$ вт.

Результаты эксперимента

В ряде работ, посвященных исследованию взаимодействия электронного пучка с плазмой /3-7/, показано, что в плазме, образованной пучком и имеющей малую плотность ($\omega_{пк} \gg \omega_{сг}$), возбуждается неустойчивость на электронной циклотронной частоте. При

этом было обнаружено, что возбуждение происходит в ограниченной области магнитных полей и энергий пучка. В качестве контрольного эксперимента мы повторили эксперимент /3/. Параметры последнего таковы: энергия пучка 1-4 кэв, ток 50 мА, диаметр пучка 5 мм, магнитное поле 500-2000 эрстед, давление 10^{-2} - 10^{-3} тор, длина области взаимодействия $L \leq 40$ см.

Параметры нашего эксперимента: энергия пучка 3 кэв, ток 50 мА, диаметр 6 мм, магнитное поле 600-2500 эрстед, давление $4 \pm 6 \cdot 10^{-3}$ тор, длина области взаимодействия 50 см. Отличие, практически, заключалось лишь в том, что пучок импульсный, с длительностью 100 мксек.

В результате было получено удовлетворительное согласие с экспериментом /3/. Действительно, в диапазоне магнитных полей 1-2,5 кэ наблюдалось возбуждение циклотронной частоты и некоторой области частот вблизи нее. Типичный спектр колебаний приведен на рис.4. Отметим, что максимальные амплитуды, измеренные штывревым зондом (длина 6 мм, диаметр 0,5 мм), в районе оси пучка достигают величины $\sim 0,5$ мвт (полоса пропускания измерительного приемника 3 мГц). Плотность плазмы в этих экспериментах не измерялась.

При исследовании взаимодействия электронного пучка с калиевой плазмой параметры плазмы и пучка были выбраны так, что выполнялись следующие неравенства; $V_0 \gg V_{te}$, $n_0 \gg n_1$, $f_{ne} > f_{ce}$ где

$V_0 - 2,5 \pm 8,5 \cdot 10^9$ см/сек - скорость электронов пучка (2 - 23 кв).

$V_{te} - 2,4 \cdot 10^7$ см/сек - тепловая скорость электронов плазмы.

$n_1 - 1 \pm 3 \cdot 10^8$ см $^{-3}$ - плотность электронов пучка ($I = 100$ мА).

$n_0 - 1 \pm 70 \cdot 10^9$ см $^{-3}$ - плотность электронов плазмы.

$f_{ce} - 0,3 \pm 2,2 \cdot 10^9$ мГц - ленгмюровская частота плазмы.

$f_{ne} - 1,7 \pm 6 \cdot 10^9$ мГц - электронная циклотронная частота (H=0,6-2,2 кэ).

При таких условиях можно было ожидать возбуждения циклотронной неустойчивости, а также неустойчивости в области плазменных частот /1/, /8/, /9/. Действительно, циклотронная неустойчивость была обнаружена при малых магнитных полях ($H < 1,2$ кэ) и при больших энергиях ($\sim 18-20$ кев) электронов пучка. Одновременно с циклотронной частотой возбуждается и сплошной спектр более низких частот, который тянется до 150-200 мГц. Типичные спектры представлены на рис.5. Зависимость наблюдаемой частоты пика от магнитного поля хорошо согласуется с расчетной (рис.6). Колебания локализованы вблизи оси плазменного столба и занимают область диаметром около 1 см (рис.7).

Амплитуда колебаний на циклотронной частоте возрастает с ростом плотности плазмы (рис.8) и ростом тока пучка (рис.9) и падает с ростом магнитного поля (рис.10). Следует отметить, что максимальные амплитуды, наблюдавшиеся в этом эксперименте, не превышали 10^{-7} вт (для того же зонда и того же измерительного приемника, что в случае "пучковой" плазмы).

С помощью подвижной сетки, ограничивающей плазменный столб по длине, можно было менять длину столба от 66 см до 34 см. Зависимость амплитуды циклотронной частоты, измеренной неподвижным штывревым зондом, от длины столба показана на рис.11 (зонд расположен в 20 см от ионизатора). Видна четкая периодичность в изменении амплитуды с длиной столба, причем длина периодичности оказывается равной. $\lambda_H = \frac{V_0}{\omega_{ce}}$

Характерные частоты в области плазменных или кратных им частот, зависящие от плотности плазмы, обнаружены не были, несмотря на то, что в поисках оптимального режима их возбуждения снимались семейства спектральных кривых при различных магнитных полях и энергиях электронов пучка. Магнитное поле менялось от 0,7 кэ до 2,5 кэ через 0,4 кэ, энергия пучка - от 2,5 кев до 23 кев через 3-4 кев. При этом плотность плазмы составляла $1 \cdot 10^{10}$ см⁻³, ток пучка 60 мА. Изменения характера спектров, а также мощности излучения не обнаружено. Типичные спектры приведены на рис.12. Максимальная амплитуда не превышает при этом $10^{-9} - 10^{10}$ вт. Следует отметить, что с ростом плотности плазмы граница спектра

несколько смещается в сторону более высоких частот и амплитуды колебаний незначительно увеличиваются. С ростом тока пучка амплитуды растут почти пропорционально току.

При исследовании взаимодействия с плазмой ионного пучка выполнялись те же условия, что и для электронного:

$$V_0 > V_{Te}, \quad n_0 > n_1, \quad f_{He} > f_{oe}$$

При этом

$$V_0 - 5 \cdot 10^7 - 1 \cdot 10^8 \text{ см/сек (энергия 1,5 - 6 кев)}$$

$$n_1 - 2,5 \cdot 10^9 - 5 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3} \text{ (ток 20 мА)}$$

$$V_0 - 1,8 \cdot 10^8 - 2,8 \cdot 10^8 \text{ см/сек (энергия 20 - 50 кев)}$$

$$n_1 - 9 \cdot 10^8 - 1,4 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3} \text{ (ток 30 мА)}$$

$$n_0 - 2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$$

$$f_{oe} - 1400 \text{ мгц}$$

$$f_{He} - 560 - 7000 \text{ мгц (200-2500 эрстед)}.$$

В диапазоне частот 3-4000 мгц возбуждения колебаний не обнаружено.

Пучок более быстрых ионов (20-50 кев) возбуждает в плазме сравнительно низкочастотные колебания (до 2,5-3 мгц) с амплитудами $\sim 10^{-7}$ вт. В нашем эксперименте эти колебания не исследовались, но можно предположить, что они связаны с ионными плазменными частотами.

Обсуждение результатов

Теоретические исследования вопроса о взаимодействии пучка заряженных частиц с плазмой, проведенные рядом авторов, показывают, что система плазма-пучок неустойчива по отношению к колебаниям, как правило, продольным и лежащим на частотах, близких к характерным частотам плазмы, таким, как электронная циклотронная частота ω_{He} , плазменная электронная частота ω_{oe} , "гибридная" частота $(\omega_{He} \omega_{oe})^{1/2}$ и т.д. /1/. Вопрос о взаимодействии ограниченного пучка с плазмой того же диаметра, находящейся в магнитном поле, рассмотрен в /8/. Неограниченная задача рассмотрена в работе /9/. В обоих случаях показано, что механизмом возбуждения неустойчивости может быть черенковский эффект или аномальный эффект Доплера. Возбуждаемые частоты лежат вблизи ω_{He} и ω_{oe}

(при $\omega_{He} > \omega_{oe}$). Аналогичные выводы сделаны в работе /10/ при рассмотрении взаимодействия "тонкого" пучка с плазмой большого диаметра.

Так как в нашем случае колебания сосредоточены в области, занятой пучком, правомерно использовать решения, полученные для пучка и плазмы равного диаметра /8/.

Выражения для инкрементов нарастания колебаний вблизи ω_{oe} и ω_{He} для обоих механизмов возбуждения таковы:

$$\begin{aligned}
 \text{Im} \omega_{\text{зер}} &\sim \left(\frac{\Omega_0^2}{\omega_{oe}^2} \frac{k_z^2 a^2}{\lambda_p^2} \right)^{1/3} \omega_{oe} \sim n_0^{1/6} n_1^{1/3} k_z^{2/3} && \text{условия резонанса } \omega \sim k_z V_0 \\
 \text{Im} \omega_{\text{H зер}} &\sim \left(\frac{\Omega_0^2}{\omega_{He}} \frac{k_z^2 a^2}{\lambda_p^2} \omega_{oe}^2 \right)^{1/3} \sim \frac{n_0^{1/3} n_1^{1/3} H^{1/3}}{V_0^{2/3}} \\
 \text{Im} \omega_{\text{допл}} &\sim \frac{\Omega_0}{2} \left(\frac{\omega_{oe}}{\omega_{He}} \frac{k_z a}{\lambda_p} \right)^{1/2} \sim \frac{n_0^{1/4} n_1^{1/2}}{V_0^{1/2}} && \text{условия резонанса } \omega \sim k_z V_0 - \omega_{He} \\
 \text{Im} \omega_{\text{H допл}} &\sim \frac{\Omega_0}{2} \frac{\omega_{oe}}{\omega_{He}} \frac{k_z a}{\lambda_p} \sim \frac{n_0^{1/2} n_1^{1/2}}{V_0}
 \end{aligned}$$

где Ω_0 - плазменная частота пучка
 k_z - продольная компонента волнового вектора
 V_0 - скорость частиц пучка
 λ_p - числовой параметр порядка $l+2, 4$
 a - радиус пучка.

Численные значения инкрементов для параметров, соответствующих нашему эксперименту, имеют один порядок величины для всех четырех случаев:

$$\text{Im} \omega \sim 1-5, 10^8 \text{ сек}^{-1}, \text{ причем}$$

$$\frac{\text{Im} \omega_{\text{H зеренк}}}{\text{Im} \omega_{\text{H допл}}} \sim 2$$

Таким образом, можно ожидать возбуждения колебаний в районе электронной циклотронной и в районе плазменной частот.

Действительно, обнаружено, что при взаимодействии электронного пучка с калиевой плазмой возбуждаются колебания в районе электронной циклотронной частоты в довольно узком интервале

$$\Delta f \sim 100 \text{ мгц.}$$

Длина волны этих колебаний была измерена в эксперименте с изменением длины плазменного столба. Очевидно, что при возбуждении продольных колебаний в ограниченной по длине системе должны возбуждаться стоячие волны с длиной волны, удовлетворяющей условию $L = n\lambda = n \frac{V\varphi}{f}$, где $n = 1, 2, 3 \dots$

В наших экспериментах при данном магнитном поле возбуждаемая частота постоянна ($f = f_{не}$). Естественно, что при плавном изменении L это условие может выполняться только при изменении фазовой скорости волны. Однако при "уходе" фазовой скорости от скорости частиц пучка амплитуда колебаний должна уменьшаться из-за уменьшения инкремента. Когда $\Delta L = \lambda$, т.е. $L - \Delta L = (n-1)\lambda$, $V\varphi$ снова приближается к V_0 и амплитуда вновь возрастает до максимального значения. Таким образом, определенная в эксперименте λ_n действительно дает длину волны. Оказалось,

что $\lambda_n \approx \frac{V_0}{f_{не}}$
 ($\lambda_{\text{эксп.}} = (4,6 \pm 0,4)$ см; $\lambda_{\text{расч.}} = 4,5$ см),
 откуда следует, что колебания на электронной циклотронной частоте возбуждаются черенковским механизмом. Отметим, что слабая зависимость амплитуды максимумов от длины столба может быть связана с абсолютным характером неустойчивости, что согласуется с теоретическими предположениями /10/.

Можно было ожидать, что зависимость амплитуды колебаний от различных параметров будет соответствовать зависимости от них инкремента. Действительно оказывается, что так же, как и инкремент, амплитуда растет с ростом тока пучка и плотности плазмы. Однако зависимость амплитуды от H и V_0 отличается от ожидаемой. Неустойчивость наблюдается только при больших скоростях пучка (18-20 кв), в то время как

$\text{Im} \omega_{не} \sim \frac{1}{V_0^{2/3}}$, амплитуда колебаний резко падает с ростом магнитного поля, а $\text{Im} \omega_{не} \sim H^{1/3}$.

В области плазменных частот, согласно работам /8/ и /10/, должны возбуждаться колебания в районе ω_{02} и ниже ($\omega \sim \omega_{02} k_z a$, $k_z a < 1$) с инкрементами, растущими при $\omega \rightarrow \omega_{02}$. Выше ω_{02} спектр должен довольно резко обрываться.

В эксперименте наблюдается возбуждение колебаний в весьма широкой области частот ($\Delta f \sim 800$ мГц), в пределах которой лежат и плазменные частоты. Однако в этой области не наблюдаются пики, частота которых зависела бы от плотности. Наблюдаемые пики не зависят ни от каких параметров (n_0, N, n_1, V_0) и, по-видимому, связаны с частотной характеристикой зондов. Наблюдаемое смещение верхней (довольно резкой) границы спектра с увеличением плотности $f_{\text{гран}} \sim n_0^{1/6}$ намного слабее ожидаемого $f_{\text{гран}} \sim n_0^{1/2}$.

Можно предполагать, что отличие от теории в этом случае связано с существованием продольного градиента плотности плазмы, направленного так, что пучок идет в сторону увеличения плотности. При этом может оказаться существенным изменение величины ω_{ce} вдоль пучка, а также возможность отражения возбуждающихся волн от области с большей плотностью. Все это приведет к уширению и сглаживанию спектра.

При прохождении ионного пучка через плазму колебания должны развиваться с меньшими инкрементами за счет большей инерционности ионов пучка (в приведенных выше формулах Ω_{oe} заменяется на Ω_{oi}); но нарастание колебаний по ходу пучка (для конвективной неустойчивости) должно быть примерно таким же как и в случае электронного пучка из-за увеличения времени взаимодействия пучка с плазмой. Отсутствие в эксперименте возбуждения высокочастотных колебаний объяснить в настоящее время не представляется возможным.

Авторы благодарят Б.Н. Золотова и Н.П. Мухортова за помощь в работе.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1. Схема установки

1 - труба, 2 - объем электронной (ионной) пушки, 3 - переходной фланец, 4 - "градиентная" трубка, 5 - катушки магнитного поля, 6 - ионизатор с напылителем калия, 7 - подвижная вольфрамовая сетка, 8 - электронная (ионная) пушка, 9 - линза электронной (ионной) пушки, 10 - магнитный зонд, 11 - дипольный зонд, 12 - штыревой зонд, 13 - лэнгмюровский зонд.

Рис.2. Распределение плотности плазмы по радиусу.

Рис.3. Распределение плотности плазмы по длине.
($z = 0$ - координата ионизатора).

Рис.4. Спектр колебаний пучковой плазмы $H=1,5$ кэ,
 $R=4,1 \cdot 10^{-3}$ тор, $J = 60$ мА, $U_0 = 3$ кв.

Рис.5. Спектры колебаний щелочной плазмы при различных магнитных полях

$$n_0 = 1,3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}, \quad J = 60 \text{ мА}, \quad U_0 = 20 \text{ кв},$$

$$0 - H = 0,6 \text{ кэ}, \quad + - H = 0,8 \text{ кэ}, \quad \Delta - H = 1,1 \text{ кэ}.$$

Рис.6. Зависимость возбуждаемой частоты от магнитного поля.

Прямая $f = \frac{eH}{2\pi mc}$

$$n_0 = 1,2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}, \quad J = 60 \text{ мА}, \quad U_0 = 20 \text{ кв}.$$

Рис.7. Распределение амплитуды циклотронной частоты по радиусу $H = 0,6$ кэ, $n_0 = 1,3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$,
 $J = 60$ мА, $U_0 = 20$ кв.

Рис.8. Зависимость амплитуды циклотронной частоты от плотности плазмы $H = 0,6$ кэ, $J = 60$ мА,
 $U_0 = 20$ кв.

Рис.9. Зависимость амплитуды циклотронной частоты от тока пучка $n_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$, $U_0 = 20 \text{ кв}$,
 $\circ - H = 0,6 \text{ кэ}$, $+ - H = 1 \text{ кэ}$.

Рис.10. Зависимость амплитуды циклотронной частоты от магнитного поля $n_0 = 1,3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$,
 $J = 60 \text{ ма}$, $U_0 = 20 \text{ кв}$.

Рис.11. Зависимость амплитуды циклотронной частоты от длины столба $H = 0,6 \text{ кэ}$, $n_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$,
 $J = 50 \text{ ма}$, $U_0 = 19 \text{ кв}$.

Рис.12. Спектры колебаний щелочной плазмы при разных плоскостях $H = 1,5 \text{ кэ}$, $J = 80 \text{ ма}$,
 $U_0 = 3,5 \text{ кв}$, $\circ - n_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$,
 $+ - n_0 = 1,7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, $\Delta - n_0 = 7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$.

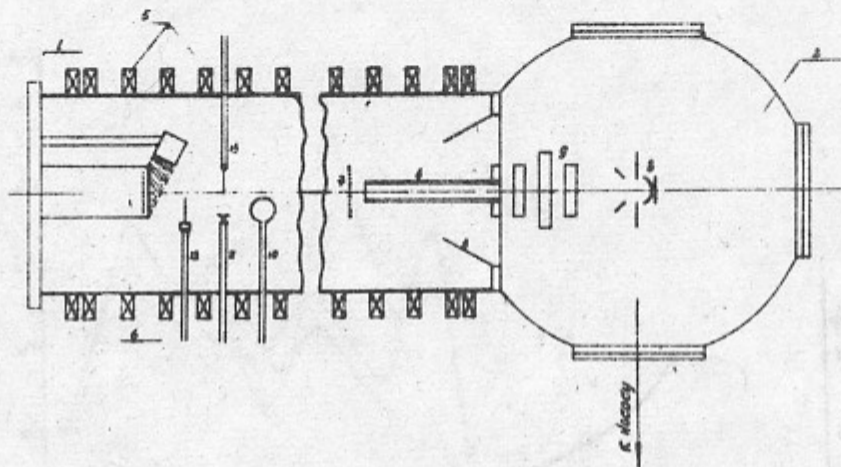


Рис.1

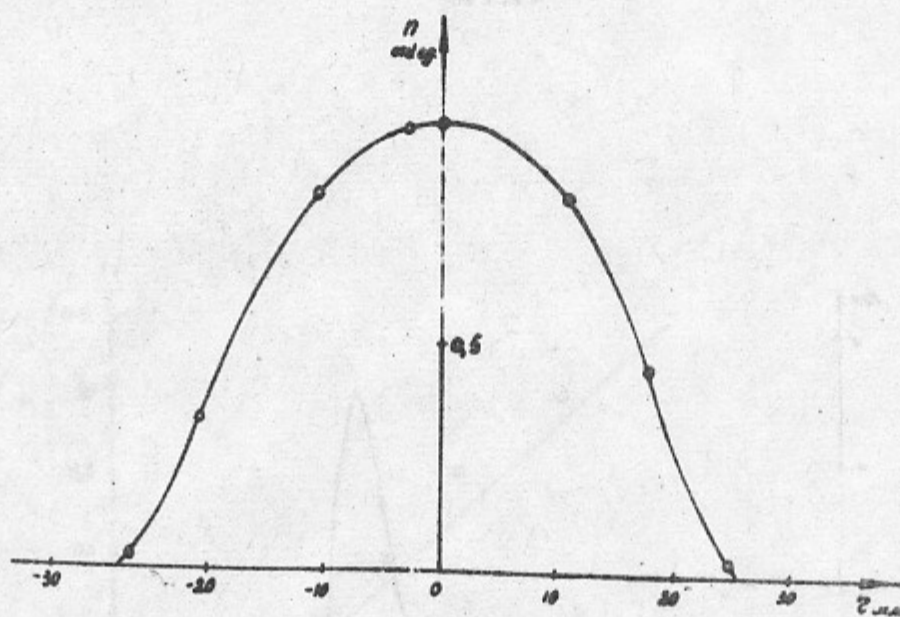


Рис.2

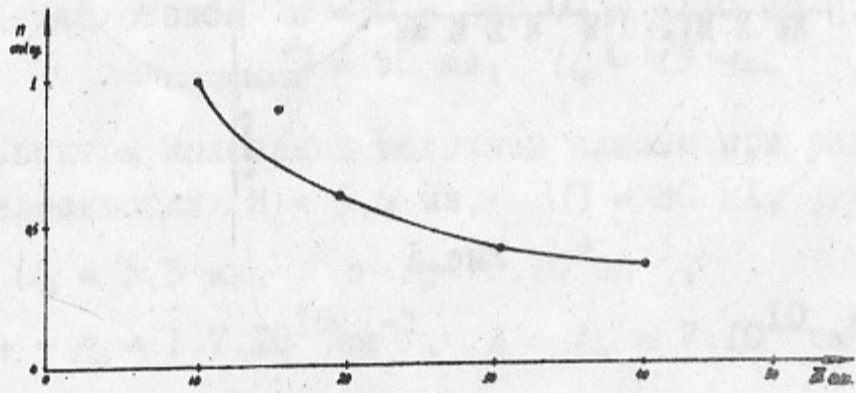


Рис.3

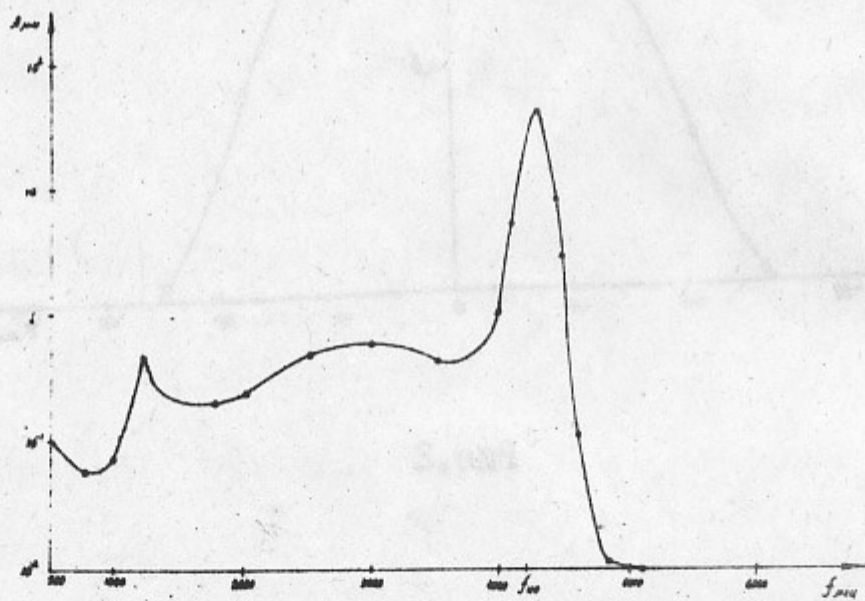


Рис.4

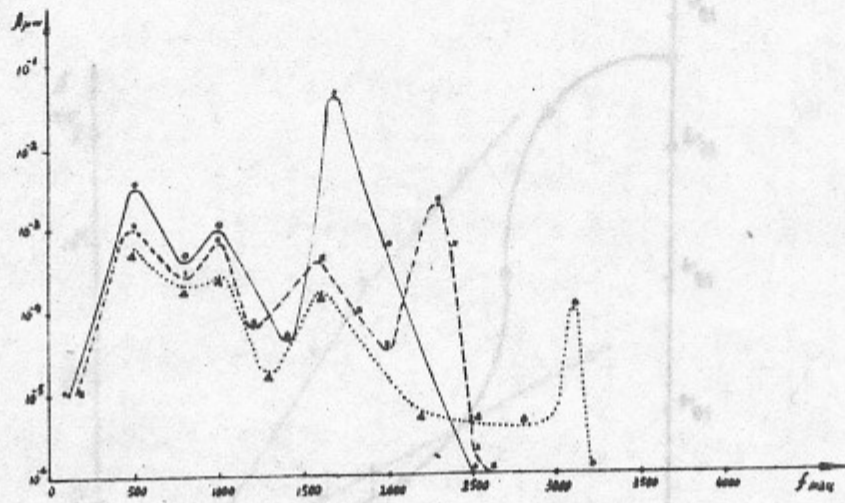


Рис.5

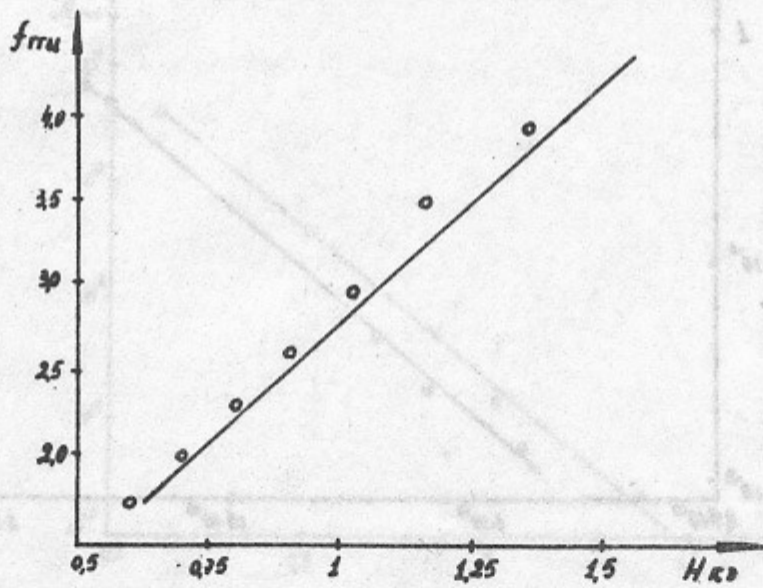


Рис.6

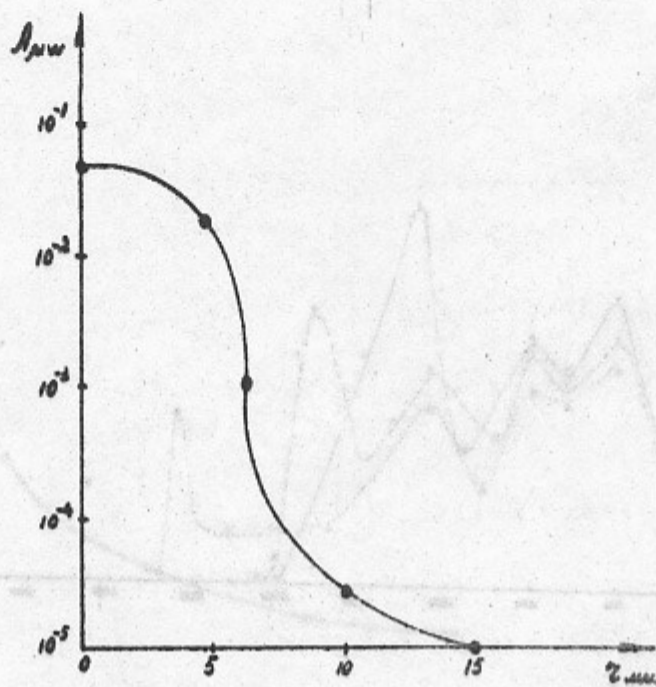


Рис.7

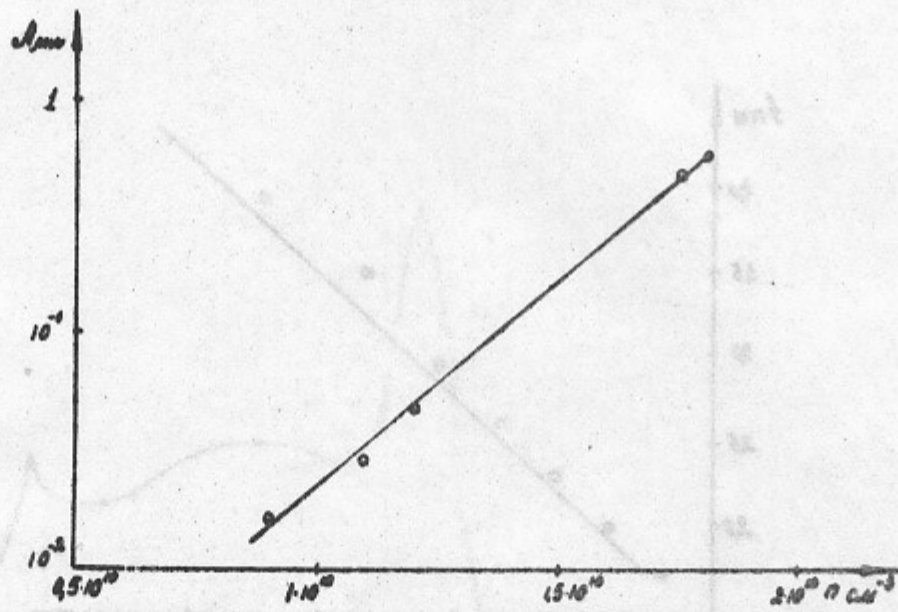


Рис.8

ЛИТЕРАТУРА

1. В.В.Сидоров "Физика плазмы в вакууме ПТО" с.1 стр.50
 Изд-во АН УССР, Киев, 1963 г.

2. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

3. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

4. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

5. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

6. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

7. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

8. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

9. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

10. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

11. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

12. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

13. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

14. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

15. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

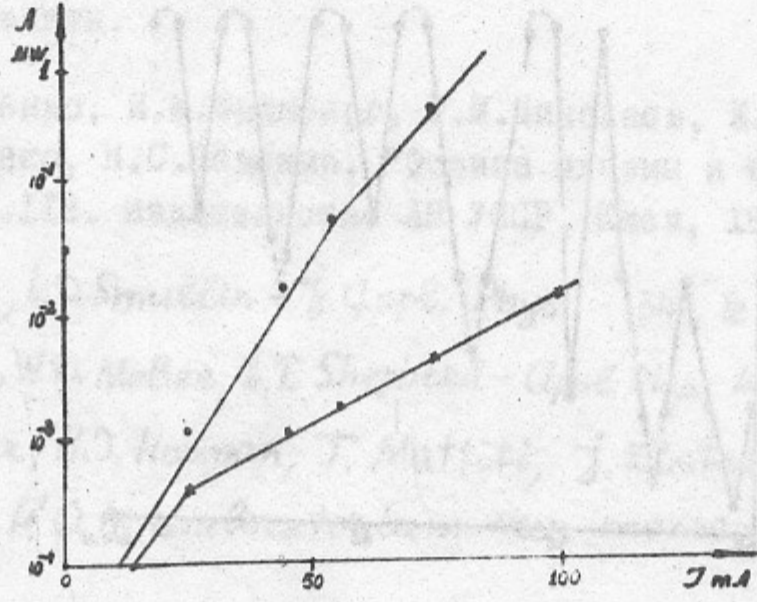


Рис.9

16. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

17. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

18. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

19. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

20. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

21. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

22. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

23. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

24. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

25. В.В.Сидоров, Ю.В.Кохомов, Ю.А.Павленко, В.Г.Сидорович,
 ЖТО, 2 стр.

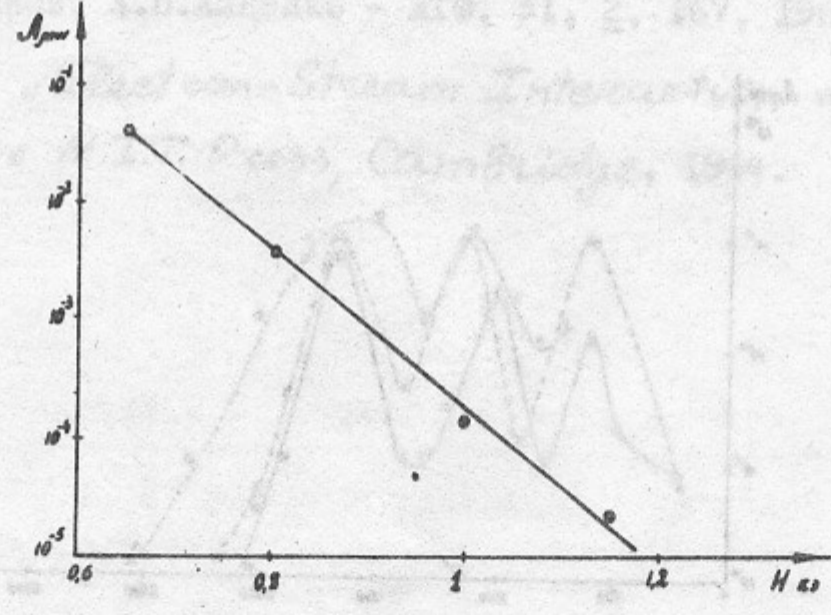


Рис.10

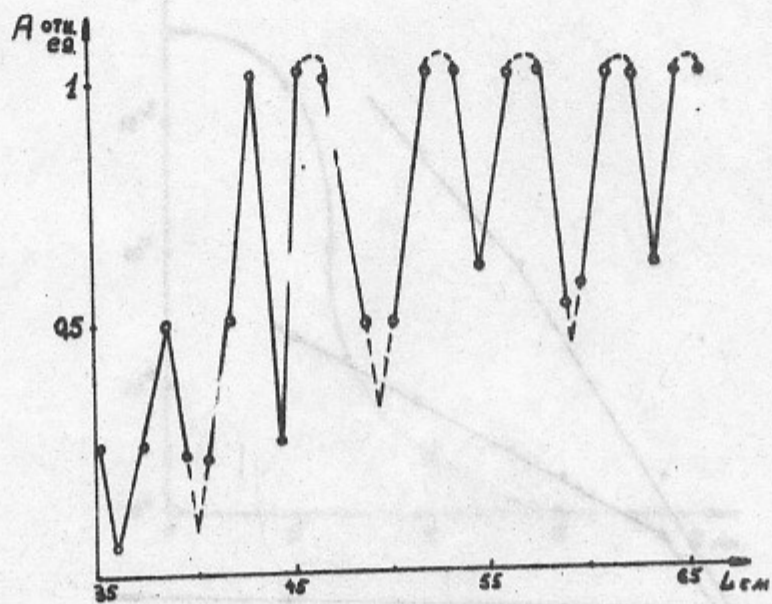


Рис. I1

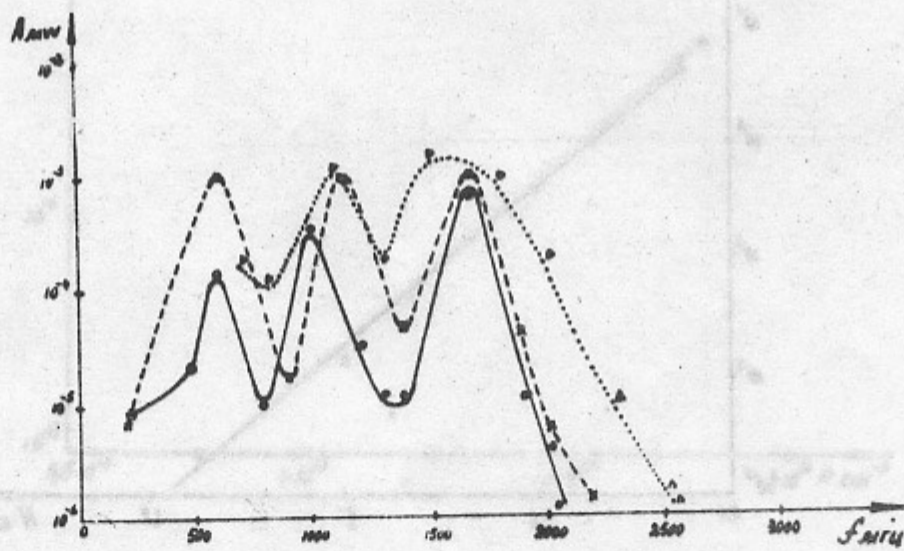


Рис. I2

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Я.Б.Файнберг "Физика плазмы и проблемы УТС" т.2 стр.88
Изд-во АН УССР, Киев, 1963 г.
2. Г.И.Димов, Ю.Г.Кононенко, О.Я.Савченко, В.Г.Шамовский,
ЖТФ, в печати.
3. И.Ф.Харченко, Я.Б.Файнберг, Р.М.Николаев, Е.А.Корнилов,
Е.И.Луценко, Н.С.Пёденко, "Физика плазмы и проблемы УТС",
т.2, стр.118. Издательство АН УССР, Киев, 1963 г.
4. M. D. Getty, L. D. Smullin - *J. Appl. Phys.* 34, № 12, 3421, 1963.
5. S. Gruber, W. D. McVee, L. T. Shepherd - *Appl. Phys. Lett.* 4, 137, 1964.
6. A. Vermeex, H. J. Hopman, T. Mattiti, J. Kistemaker
препринт F. O. M. Laboratorium voor massascheiding, Amsterdam
1965.
7. Е.А.Корнилов, О.Ф.Ковпик, Я.Б.Файнберг, И.Ф.Харченко.
"Физика плазмы и проблемы УТС", т.4, стр.145.
Изд-во "Наукова Думка", Киев, 1965.
8. М.Ф.Горбатенко - ЖТФ, 33, 9, 1070, 1963.
9. К.Н.Степанов, А.Б.Киценко - ЖТФ, 31, 2, 167, 1961.
10. R. Briggs "Electron-Stream Interaction with Plasmas"
The M.I.T. Press, Cambridge, 1964.

