

12

препринт 123

В.Г.Пономаренко, Л.Я.Трайнин,
В.И.Юрченко, А.Н.Яснецкий

**Эксперименты по удержанию
в ловушке с магнитными
пробками электронов, траектории
которых охватывают ось**

г.Новосибирск 1967

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе приведены предварительные экспериментальные данные, полученные на установке ЛН, являющейся ловушкой с магнитными пробками /см.(6)/. Исследовалось движение заряженных частиц, траектории которых охватывают ось магнитного поля. Для этой цели был использован способ инъекции, при котором инжектируемые электроны, прежде чем попасть в ловушку, проходили через магнитное поле остроугольной геометрии и пересекали плоскость с $H = 0$. В этом случае время жизни электронов в ловушке не зависит от величины H .

В в е д е н и е

Известно, что (см. /1/, /2/) абсолютное удержание электронов в ловушке с магнитными пробками возможно лишь (при определенных условиях) для частиц, траектории которых охватывают ось магнитной ловушки.

При этом необходимо, чтобы отсутствовала азимутальная асимметрия магнитного поля.

Авторы в /3/ приводят экспериментальный материал, полученный при исследовании движения в магнитной ловушке электронов, траектории которых не охватывают ось системы.

Экспериментально было показано, что адиабатический инвариант M при магнитном поле $H \leq H_{кр}$ изменяется, а это приводит к уменьшению времени удержания электронов в магнитной ловушке. Однако такое уменьшение времени удержания может быть частично отнесено за счет азимутальной асимметрии магнитного поля, составляющей величину 0,5%. Возникает также вопрос о природе стационарных минимумов в спектральном распределении электронов по M и о том, не является ли их причиной азимутальная асимметрия.

Результаты настоящей работы позволяют предполагать, что ответ на оба эти вопроса отрицателен.

Э к с п е р и м е н т

В настоящей работе описаны эксперименты, выполненные в магнитной ловушке с дополнительной катушкой, помещенной за инжектором и включенной так, чтобы магнитное поле, создаваемое дополнительной катушкой, было направлено против основного. Соотношение

токов в катушках было 1:1. На рис.(1) приведены графики зависимости величины магнитного поля основной и дополнительной катушки от расстояния вдоль оси Z . Поле в центре дополнительной катушки составляло ~ 8 эрс/а, а в основных ~ 24 эрс/а. В этом случае между инжектором и основной катушкой возникало магнитное поле остроугольной геометрии.

На рис.(2) приведена схема эксперимента, который проводился при напряжении на инжекторе $U_n \sim 9$ кв, а на инфлекторе $U_k \sim 8$ кв. Расстояние между центрами магнитных пробок равнялось 65 см.

На рис.(3), (4), (5) приведены графики зависимости для полного времени жизни электронов в ловушке $= \tau_n$ (это время определялось по полному исчезновению сигнала на осциллографе), а также для τ_k (это время находилось из осциллограммы при пересечении временной оси касательной, проведенной в точке $\max \frac{dn}{dt}$) от магнитного поля (см./3/). Эти графики получены при включенной (4), (5) и выключенной (3) дополнительной катушке. Из сравнения графиков видно, что спады для времени жизни электронов в магнитной ловушке начинаются при гораздо меньших полях при включенной дополнительной катушке, чем в случае если дополнительная катушка выключена. В последнем случае инжектируемые электроны, по-видимому, не охватывают ось магнитной ловушки траекториями, т.к. инжектор находится от геометрической оси на расстоянии 3 см, а скорость V_{\perp} электронов направлена от оси. Но если включается дополнительная катушка, то при возникновении остроугольной геометрии начинает работать механизм захвата, подробно исследованный в работах /4/, /5/. Авторы этих работ нашли, что частицы, инжектируемые в ловушку с подобной конфигурацией, начинают охватывать ось системы. Это справедливо и для электронов, траектории которых при выбранной системе инжекции, в принципе, не могут охватывать ось, если дополнительная катушка выключена. Выведенное авторами условие, при котором выполняется процесс захвата за ось, представляется в виде:

$$0 < Z < 0,71 \rho_L$$

где Z - радиус инжекции от оси системы, а ρ_L - ларморовский радиус, который имели бы электроны при инжекции поперек магнитного поля в центре дополнительной катушки.

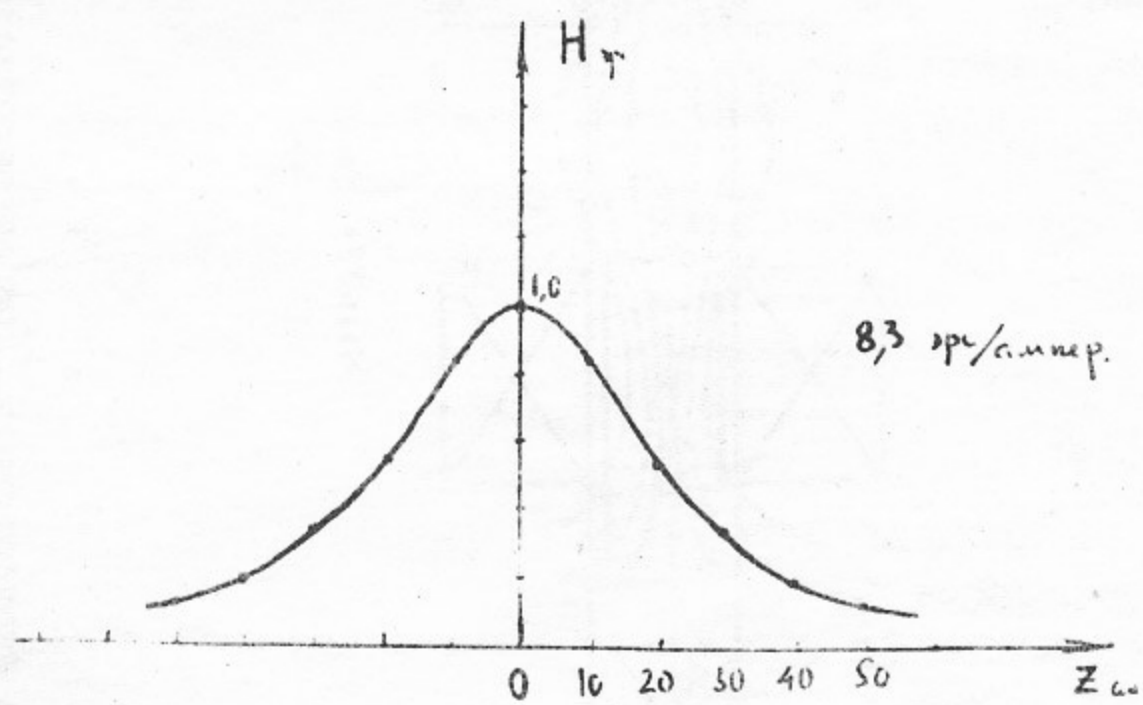
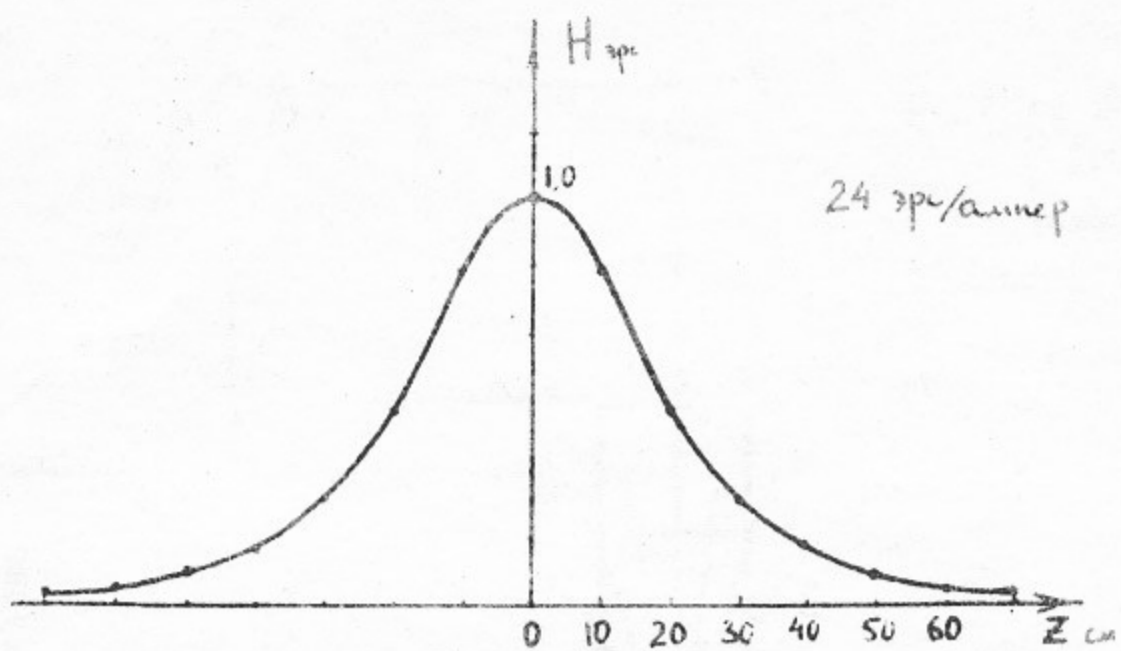


Рис. I.

Зависимость магнитного поля от Z . Сверху для основной катушки. Снизу для дополнительной.

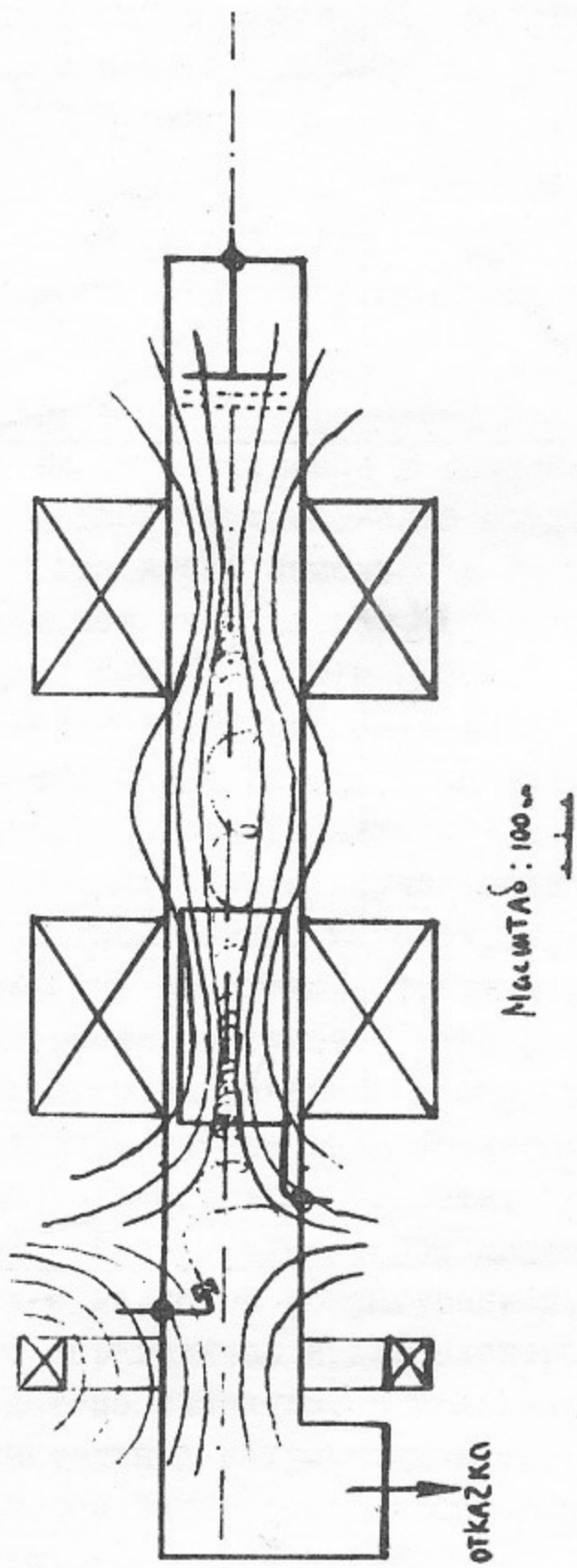


Рис. 2.

Схема эксперимента. Пробоное отношение в ловушке
равнялось 2,4.

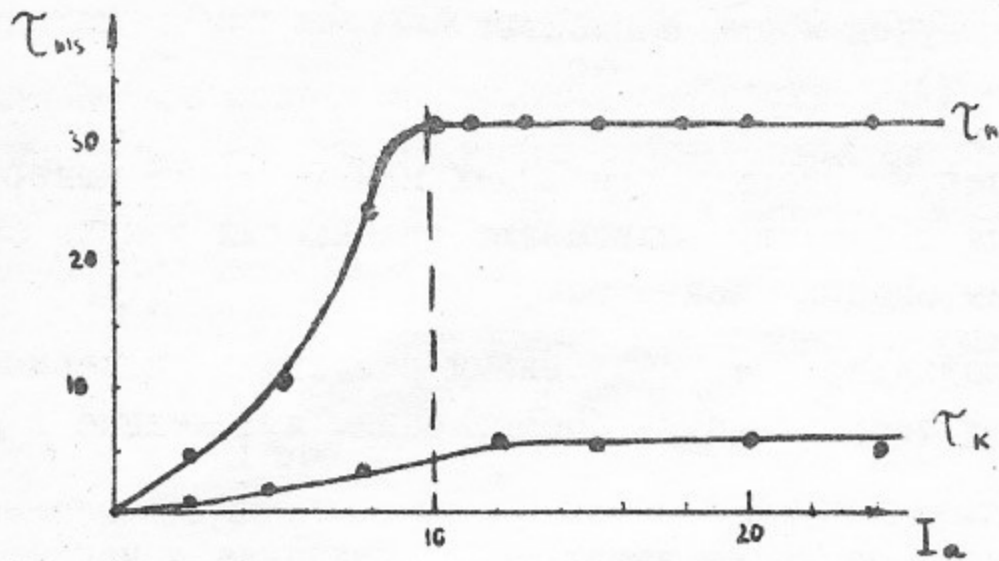


Рис.3.

Типичная зависи-
мость τ (H) при
выключенной допол-
нительной катушке

$$p \sim 2 \cdot 10^{-6} \text{ тор.}$$

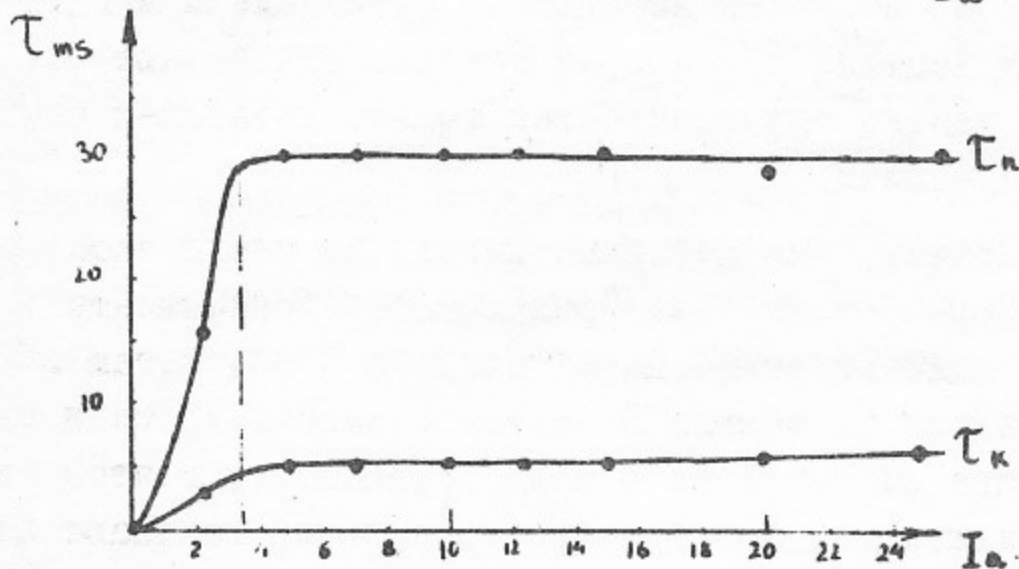


Рис.4.

Зависимость
с включенной допол-
нительной катушкой.
Давление $\sim 2 \cdot 10^{-6}$ тор

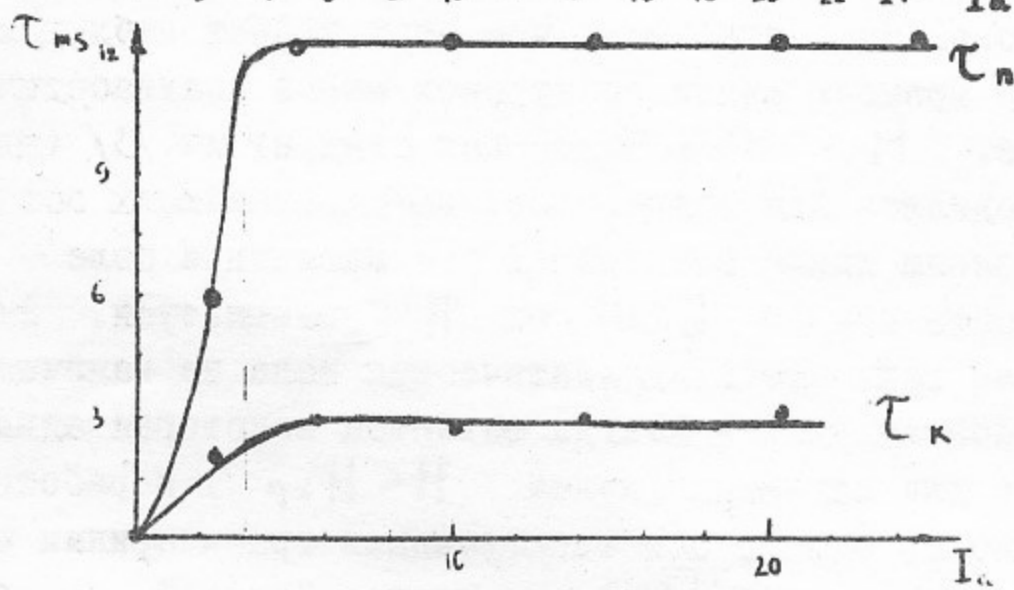


Рис.5.

Зависимость
с включенной допол-
нительной катушкой.
Давление $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ тор.

Для нашего случая можно написать:

$$0 < \tau < \frac{40}{I_a}$$

где I_a ток в амперах. Отсюда, при токах меньше ~ 15 ампер все электроны, попавшие в ловушку, описывают траектории вокруг оси с большим или меньшим эксцентриситетом.

Если это справедливо, то полученный результат экспериментально подтверждает теоретические соображения, изложенные в работах /1/, /2/.

Таким образом, возможно абсолютное удержание в магнитной ловушке заряженных частиц, траектории которых охватывают ось. Время жизни таких частиц ограничивается только давлением остаточных газов, или излучением.

Следует заметить, что подобные выводы из своих экспериментов сделали авторы работы /7/. Проведенные эксперименты в /7/ показали, что при снижении величины магнитного поля, когда лармовский радиус становится больше 3 см, зависимость времени жизни электронов в ловушке от магнитного поля ослабевает. В этом случае, по условиям инжекции, электронные траектории начинают охватывать магнитную ось. Надо отметить, что этот эффект наблюдался уже после снижения времени жизни электронов из-за неадиабатических процессов (т.е. $H < H_{кр}$). Но как следует из /3/ (здесь эксперименты проводились для электронов, не охватывающих ось) после снижения времени жизни электронов при магнитном поле $H < H_{кр}$ зависимость кривой $\tau(H)$ от H уменьшается. Этот эффект был объяснен тем, что неадиабатическая зона не занимает весь объем магнитной ловушки и всегда остается некоторая адиабатическая зона даже для магнитных полей $H < H_{кр}$. В работе /7/ эффекты, вытекающие из охвата оси электронными траекториями и переход кривой $\tau(H)$ при $H < H_{кр}$ на другое "плато", не были разделены.

Если взглянуть на рис. (4), (5) настоящей работы, то можно заметить, что для кривой $\tau(H)$ не происходит какого-либо снижения времени жизни при $H \lesssim H_{кр}$, где поле $H_{кр}$ определялось из рис. (3). Из графиков (4), (5) следует, что уменьшение времени жизни электронов в ловушке от магнитного поля при включенной до-

полнительной катушке начинается, примерно, при 3-х амперах (т.е. магнитное поле в медианной плоскости $H_0 \sim 30$ эрс). А это говорит о том, что начинают сказываться аппаратные эффекты - типа вырезания и осаждения на стенки камеры для электронов, траектории которых охватывают ось.

Тот факт, что время удержания уменьшается только за счет аппаратных эффектов, и не меняется сколько-нибудь заметно при $H_{пр} \sim 240$ эрс указывает на то, что влияние азимутальной асимметрии на результаты работы /3/ отсутствуют.

Т.к. было проведено ограниченное число измерений, то установить детальную картину влияния величины эксцентриситета на время жизни электронов в магнитной ловушке не удалось. О возможном влиянии говорится в работе /1/.

В заключении авторы выражают искреннюю признательность Б.В.Чирикову за внимание и ценные советы.

Л и т е р а т у р а

1. Д.Роуз, М.Кларк. "Физика плазмы и управляемые термоядерные реакции". Госатомиздат, 1963.
2. Л.А.Арцимович. "Управляемые термоядерные реакции". Госатомиздат, 1961.
3. В.Г.Пономаренко, Л.Я.Трайнин, В.Юрченко, А.Яснецкий "Экспериментальное исследование процессов движения отдельных заряженных частиц в ловушке с магнитными пробками". Препринт ИЯФ СО АН СССР, 1967.
4. К.Д.Синельников, Н.А.Хижняк, Н.С.Репалов, П.М.Зейдлиц, В.А.Ямницкий, З.А.Азовская - В кн. "Физика плазмы и проблема термоядерного синтеза", 4 "Наукова думка", К., 388 и 403, 1965.
5. К.Д.Синельников, Н.А.Хижняк, Н.С.Репалов, П.М.Зейдлиц, В.А.Ямницкий, З.А.Азовская. В сб. "Магнитные ловушки", изд. "Наукова думка", 5, 1965.
6. А.Н.Дубинина, Л.Я.Трайнин, Б.В.Чириков. ЖЭТФ, 49, 373, 1965.
7. В.М.Балебанов, Н.Н.Семашко. "Время жизни отдельных заряженных частиц в магнитной ловушке с пробками". Препринт ИАЭ, Москва, 1966.

Ответственный за выпуск Г.Б.Глаголев
Подписано к печати 25.IY-1967 г.
Усл. 0,3 печ.л., тираж 200 экз. Бесплатно.
Заказ № 123

Отпечатано на ротапинтере в ИЯФ СО АН СССР.