


18
ж-91
915

213



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

А.А. Журавлев, В.И. Котов, Э.А. Мяз, В.А. Обозный,
Ю.Л. Обухов, Э. Фишер

915

ЗАХВАТ ЭЛЕКТРОНОВ
В РЕЖИМ ИНДУКЦИОННОГО УСКОРЕНИЯ
В КОЛЬЦЕВОМ ФАЗОТРОНЕ

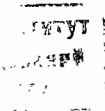
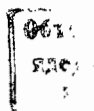
ЖТЭ, 1962, №6, с 21-24.

1404/2 '88.

А.А. Журавлев, В.И. Котов, Э.А. Мяз, В.А. Обозный,
Ю.Л. Обухов, Э. Фишер^{х/}

**ЗАХВАТ ЭЛЕКТРОНОВ
В РЕЖИМ ИНДУКЦИОННОГО УСКОРЕНИЯ
В КОЛЬЦЕВОМ ФАЗОТРОНЕ**

х/ Сотрудник ЦЕРН^а /Женева/.



А н н о т а ц и я

В работе исследуется захват электронов в режим индукционного ускорения в кольцевом фазотроне. Излагается методика экспериментов и обсуждаются их результаты.

В в е д е н и е

Исследованию захвата электронов в режим индукционного ускорения посвящено значительное количество работ, выполненных на небольших бетатронах. Накопленный экспериментальный материал и в особенности довольно полные исследования, содержащиеся в ^{/1-3/}, способствовали созданию теории бетатронного захвата ^{/4,5/}, качественно описывающей закономерности процесса и дающей возможность сформулировать основные требования на инжекционные устройства при проектировании ускорителей.

В данной работе приводится ряд экспериментальных результатов по захвату электронов в режим индукционного ускорения в новом типе ускорителя — кольцевом фазотроне. Поскольку условия захвата электронов в данном ускорителе иные, чем в бетатроне /постоянное во времени магнитное поле, сильная фокусировка/, то этот вопрос представляет определенный интерес. Эксперименты были выполнены на кольцевом фазотроне Объединенного института ядерных исследований ^{/6/}. При их проведении авторы не преследовали цели всестороннего исследования проблемы. Основной упор был сделан на определение эффективности захвата в зависимости от изменения таких параметров, как ток эмиссии, "промашка" и прирост энергии за оборот.

§ 1. Методика экспериментов

Эксперименты по захвату электронов в индукционный режим ускорения проводились при импульсном питании инжектора. Осциллограмма импульса напряжения на инжекторе приведена на рис. 1.

Угловой растреп инжектируемого пучка составлял $\pm 7^\circ$ в радиальном и вертикальном направлениях. В соответствии с приведенной формой пучка растреп по энергиям в пучке был довольно значительным. Естественно, что при данных условиях большая часть частиц погибает, не совершив одного оборота. Измерения для разных токов эмиссии и различных режимов магнетрона магнитного поля показали, что число частиц в конце первого оборота со-

тавляет $\sim 10\%$ всего инжектируемого пучка. Энергетический разброс пучка в конце первого оборота определялся по измерениям его радиальных размеров на азимуте, соответствующем полуволновому $/2,5/$ числу колебаний по радиусу. В этом месте пучок имел фокус по углам и его ширина зависела лишь от энергетического разброса. При энергии инжекции $W_i = 20$ Кэв энергетический разброс составлял $\sim \pm 4,0$ Кэв.

Для данного энергетического разброса при указанной на рис. 1 форме импульса инжекции эффективная длительность инжекции составляет $\sim 1,5$ мксек. Однако, при наличии дополнительного вихревого электрического поля $^{/8/}$ "форсировки", длительность импульса которого в нашем случае составляет $\sim 0,6$ мксек, время инжекции в основном будет определяться этой величиной. Отсюда следует, что лишь $2/5$ всех электронов, совершивших первый оборот, могут быть эффективно захвачены в режим ускорения.

В связи с этим коэффициент захвата в дальнейшем определяется как отношение числа электронов, захваченных в ускорение, к $2/5$ пучка, совершившего первый оборот. Естественно, что при определении коэффициента захвата без "форсировки" число захваченных частиц необходимо относить ко всем электронам, совершившим первый оборот.

Количество электронов измерялось цилиндром Фарадея и системой, состоящей из сцинтиллятора, светопровода и фотоумножителя. Цилиндр Фарадея использовался для измерения числа электронов в неускоренном пучке и, кроме того, — для калибровки фотоумножителя. Поскольку цилиндр Фарадея находился в магнитном поле ускорителя, то оказалось возможным с помощью небольших козырьков практически устранить влияние на измерения вторичной эмиссии электронов. Для подавления фона, особенно при измерениях вблизи инжектора, цилиндр Фарадея был защищен заземленным экраном. При измерениях величины тока использовался усилитель постоянного тока ионизационного вакуумметра ВИ-3, предел измерения которого был расширен до диапазона $10^{-4} - 10^{-9}$ а. При этом обеспечивалась точность измерения среднего тока $\pm 1\%$. Постоянная времени входной цепи усилителя составляла 0,1 сек при частоте работы ускорителя $400 \div 500$ гц.

Количество ускоренных электронов определялось с помощью фотоумножителя, градуировка которого осуществлялась следующим образом. Цилиндром Фарадея измерялся весь ток электронов в конце первого оборота, а затем часть пучка перекрывалась сцинтиллятором. Тогда уменьшение тока с цилиндра Фарадея соответствовало величине сигнала с фотоумножителя. Так как шаг за оборот при ускорении незначителен, то рабочей частью сцинтиллятора является его край, для которого и проводилась градуировка. Для большей точности градуировки были выполнены также измерения с диафрагмированным пучком. При этом дно цилиндра Фарадея покрывалось тонким слоем сернистого цинка, что позволяло наблюдать изображение пучка, попадающего в цилиндр, и, следовательно, точнее фиксировать момент его перекрытия. На рис. 2 представлена зависимость величины сигнала с катодного повторителя фотоумножителя от числа электронов, попадающих на сцинтиллятор, для ряда значений напряжения, питающего фотоумножитель.

§ 2. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Наибольший интерес при исследовании захвата в индукционный режим ускорения представляет зависимость захваченного тока от тока инжекции. Экспериментальные кривые при двух значениях величины "форсировки" приведены на рис. 3. Коэффициент захвата электронов η для кривой /а/ достигает величины 0,5% в области одноэлектронного захвата и составляет 2,5÷3,5% в области коллективного захвата. При этом, если в области одноэлектронного захвата число захваченных частиц прямо пропорционально числу инжектируемых, то при коллективном взаимодействии захваченный ток растет значительно быстрее. Кривая /б/ снята при тех же условиях, что и /а/, только без "форсировки". В этом случае захват определяется исключительно коллективным взаимодействием. Следует отметить, что при других значениях величины "форсировки" и изменении рабочей точки ускорителя, меняется лишь коэффициент захвата, а форма кривых, в основном, сохраняется. Для коэффициентов η , как в области одноэлектронного, так и в области коллективного захвата, были проведены теоретические расчеты. Используя методику, изложенную в ^{/4/}, при тех же предположениях для области одноэлектронного захвата получаем

$$\eta = \frac{r}{\pi^2 T} \frac{\Delta W}{W_i} \arctg \frac{\sqrt{a_r^2 \max - (a_i - h)^2}}{a_r \max - a_r \min} \left(1 - e^{-\frac{r \Delta}{r h}}\right) e^{-\frac{r_i}{r}}$$

где T - период оборота, r - время жизни электронов, равное, примерно, длительности пяти оборотов, W_i - энергия инжекции, ΔW - прирост энергии за оборот, a_r - амплитуда радиальных колебаний, a_i - расстояние от края инжектора до орбиты в момент инжекции, Δ - "промах", т.е. расстояние по радиусу от центра катода до края инжектора; h - шаг орбиты за оборот, r_i - длительность инжекции. Расчеты по этой формуле при величине "форсировки" 400 в/об дают $\sim 0,6\%$. Кроме этого были проведены численные расчеты потерь частиц из-за соударения с инжектором на протяжении 10 оборотов для ряда значений частот радиальных свободных колебаний. Из данных расчетов для того же случая, что и выше, коэффициент захвата получается равным $\sim 1\%$.

Оценки в области коллективного захвата проводились по формулам работы /5/ и дали по порядку величины согласие с экспериментальными результатами. Так, например, коэффициент захвата, соответствующий максимуму кривой а/ на рис. 3, составляет $\sim 2,5\%$, в то время как теоретические оценки при различных допущениях относительно условий инжекции дают значение 2-12%.

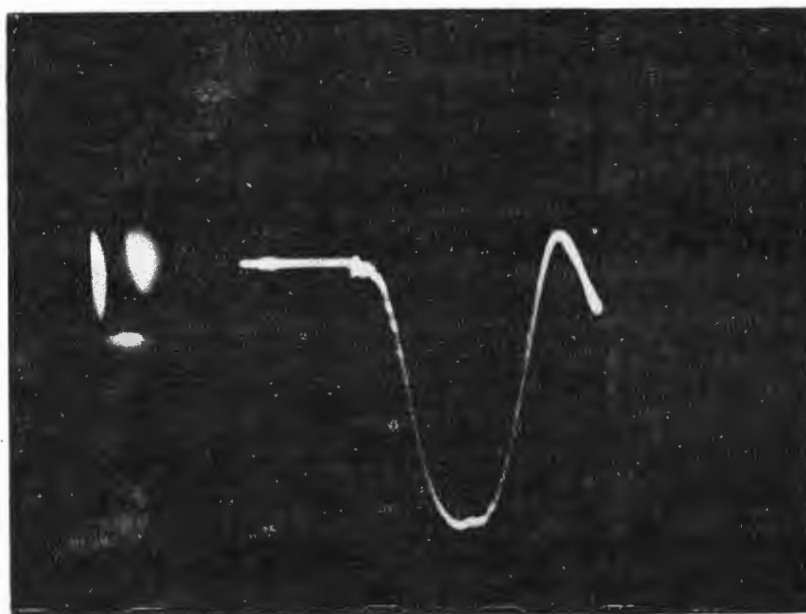
Другая серия экспериментов относилась к определению влияния величины "промашки" на захват. Величина "промашки" изменялась с помощью заслонки, вводимой на азимуте инжектора. Экспериментальные кривые приведены на рис. 4. Кривые в случае /а/ показывают влияние "промашки" при различных величинах ЭДС "форсировки" для области коллективного взаимодействия, а в случае /б/ - влияние "промашки" для различных токов эмиссии при постоянной величине "форсировки". Из графиков рис. 4б. видно, что для тока эмиссии, соответствующего области одно-электронного захвата, действие заслонки начинает сказываться, как только она выступает за край инжектора. В

области же коллективного взаимодействия "промашка" может быть увеличена до 3,5 мм и при этом величина захваченного тока практически не меняется. Следует отметить, что вид кривых не зависит от азимута расположения заслонки.

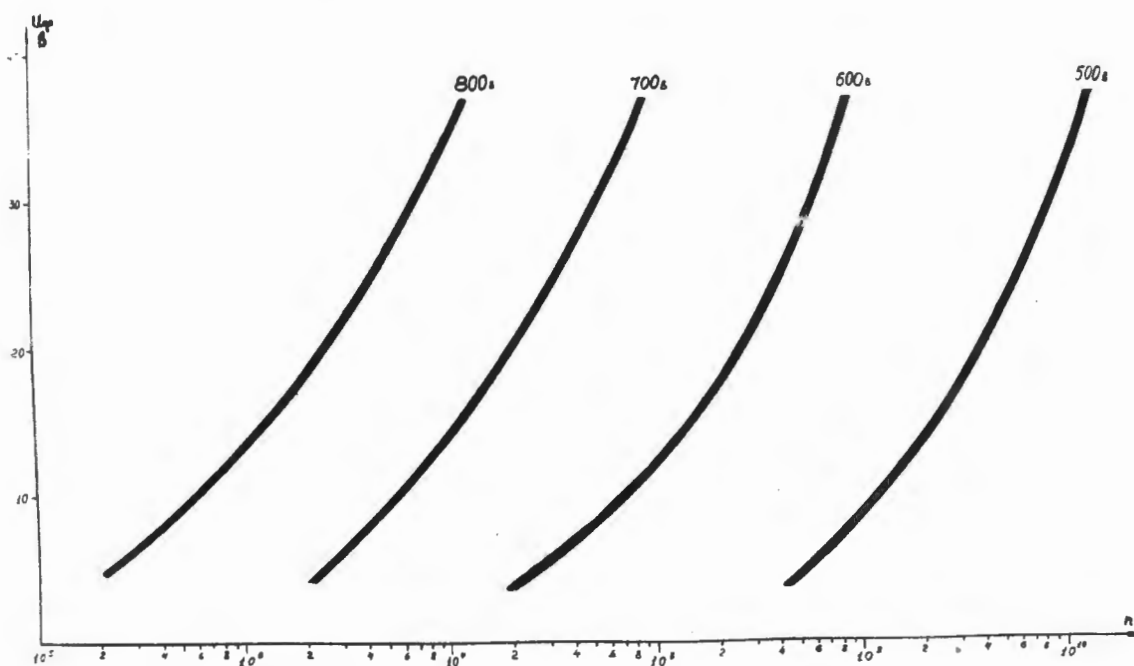
В большинстве работ по бетатронному захвату отмечается, что в области коллективного взаимодействия условия захвата на разных участках импульса инжекции различны. В нашем случае оказалось возможным исследовать данное явление благодаря малой длительности импульса "форсировки" по сравнению с импульсом инжекции. На рис. 5 приведена кривая интенсивности ускоренного пучка в зависимости от временного сдвига импульса "форсировки" относительно середины импульса инжекции, из которой видно, что оптимальные условия захвата соответствуют заднему фронту импульса инжекции.

Из описанных выше экспериментов вытекают основные закономерности и количественные характеристики захвата электронов в режим индукционного ускорения в кольцевом фазотроне. Полученные данные качественно согласуются с результатами работ по бетатронному захвату.

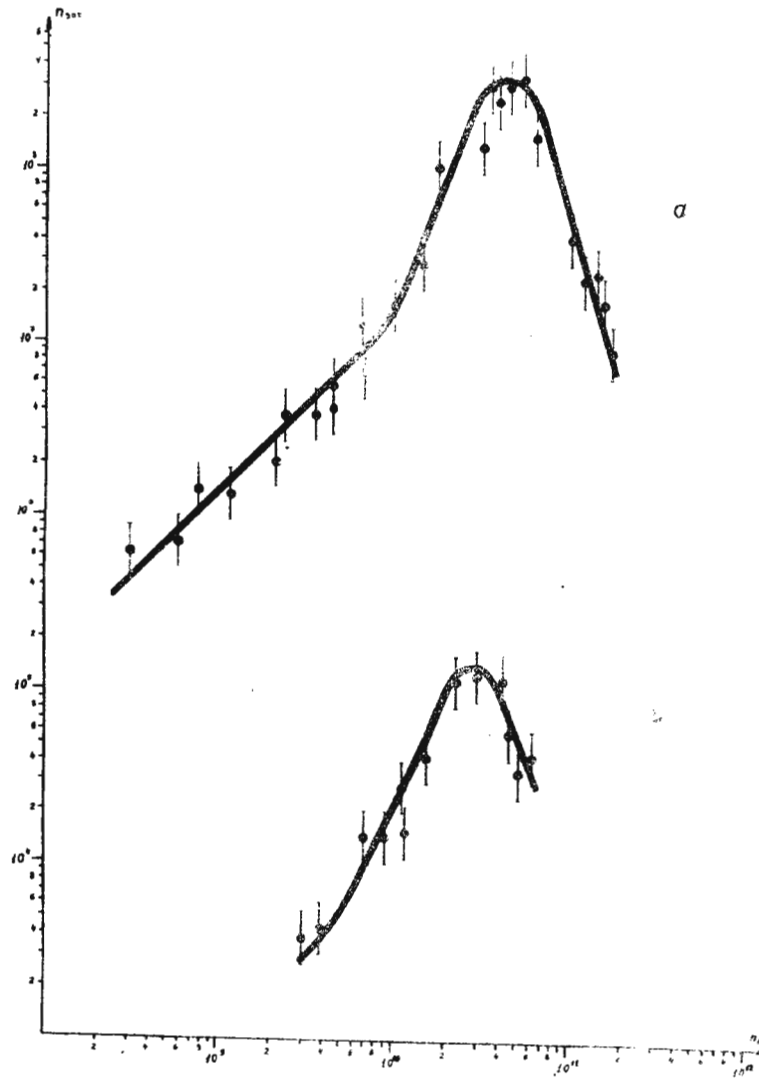
В заключении авторы признательны проф. В.А. Петухову за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения, а также Л.В. Светову и Ю.А. Чернышову за четкое обслуживание установки.



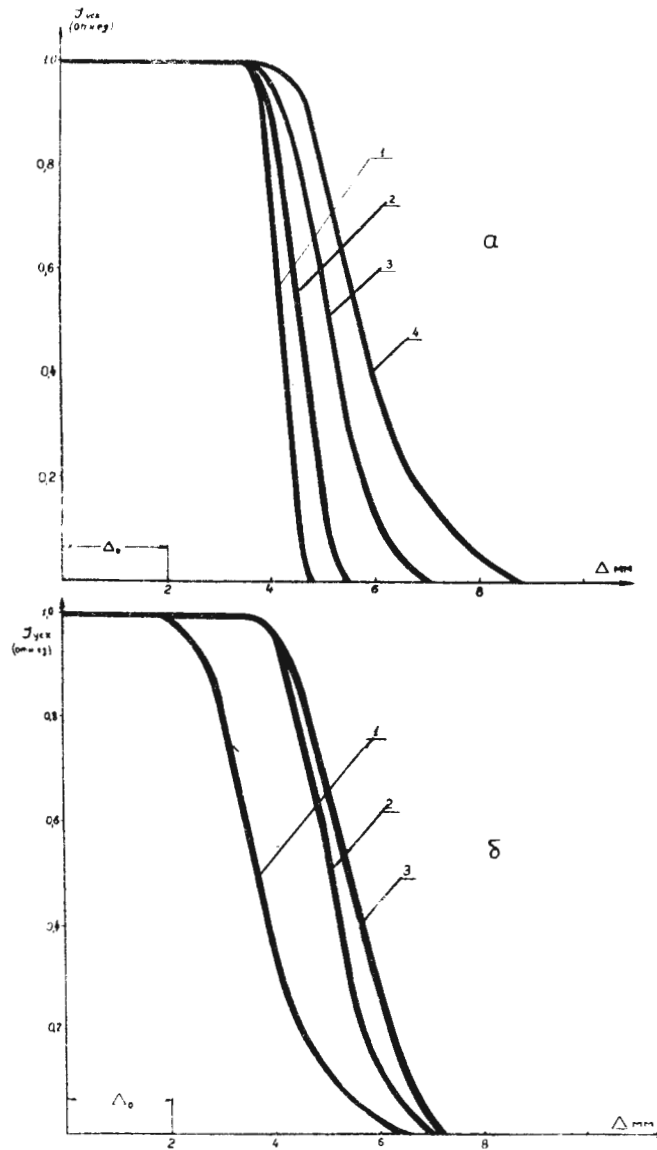
Р и с. 1. Осциллограмма импульса инжекции. Масштаб времени - 1 мксек/см.



Р и с. 2. Зависимость сигнала с фотоумножителя от числа попадающих на сцинтиллятор электронов.



Р и с. 3. Зависимость числа ускоренных электронов от числа электронов, совершивших первый оборот
 а/ - при ЭДС "форсировки" - 400 в/об.
 б/ - без "форсировки".



Р и с. 4.

Зависимость числа захваченных частиц от "промашки" Δ
 а/ при $n_I = 4.10^{10}$ и различных величинах ЭДС
 "форсировки";

1. 0 в/об; 2. 200 в/об; 3. 400 в/об; 5. 600 в/об.

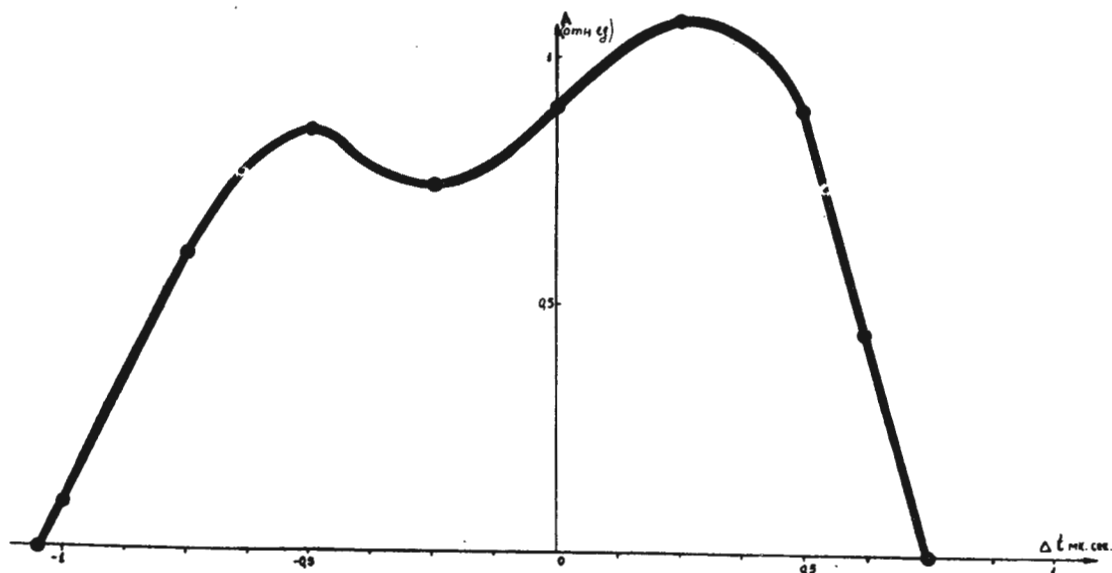
б/ при величине ЭДС "форсировки" 400 в/об и различных значениях тока инъекции;

1. $n_I = 4.10^8$

2. $n_I = 4.10^{10}$

3. $n_I = 1.5.10^{11}$

Δ_0 — естественная "промашка" инжектора.



Р и с. 5. Зависимость числа захваченных частиц от положения импульса "форсировки" относительно центра импульса инъекции.

Л и т е р а т у р а

1. В.Н. Логунов, Е.П. Овчинников, В.Д. Русанов. ЖЭТФ, 27, 1135 /1957/.
2. В.Д. Русанов. Диссертация ФИАН /1956/.
3. Ю.Н. Лобанов, В.А. Петухов. Приложение к журналу Атомная энергия 4, /1957/.
4. Л.М. Коврижных, А.Н. Лебедев. ЖЭТФ, 34, 984 /1958/; ЖЭТФ, 29, 732 /1959/.
5. А.Н. Лебедев. ЖТФ, 29, 1339 31959/.
6. Ф. Бенда, И. Габанец, И. Добиащ, А.А. Журавлев, М. Кармасин, В.И. Котов, М. Марек, Э.А. Мяз, Ю.Л. Обухов, В.А. Петухов, Л.В. Светов, В.Сохор, Т. Фукатко, Ю. Цирак, ЖТФ, 31, 1253 /1961/.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 февраля 1962 г.