



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

А.А. Журавлев, В.И. Котов, Э.А. Мяз, В.А. Обозный

P-914

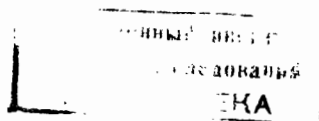
ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ
В КОЛЬЦЕВОМ ФАЗОТРОНЕ

ЖТНЭ, 1962, № 6, с 18-20.

А.А. Журавлев, В.И. Котов, Э.А. Мяз, В.А. Обозный

P-014

14/77, 28.
ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ
В КОЛЬЦЕВОМ ФАЗОТРОНЕ



А н н о т а ц и я

Описан метод ускорения электронов в кольцевом фазотроне, основанный на комбинации вихревого электрического поля с в.ч. полем постоянной частоты. Приведены экспериментальные результаты и дано их сравнение с теорией.

В кольцевом фазотроне имеется возможность реализации как высокочастотного и индукционного методов ускорения, так и их комбинации. В частности для ускорения электронов в кольцевом фазотроне Объединенного института ядерных исследований^{/1/} использована комбинация вихревого электрического поля с в.ч. полем постоянной частоты. Вихревое электрическое поле, сообщаемое электронам энергию ~ 9 эв/об, создается изменением магнитного потока в сердечнике, охватывающем вакуумную камеру. Напряжение в.ч. от специального генератора подается на участок вакуумной камеры с угловым размером 30° , изолированный от остальной ее части. В.ч. генератор собран по схеме с заземленной сеткой и катодным и анодным контурами коаксиального типа. Подробнее о в.ч. системе см. в^{/2/}. Процесс ускорения при этом осуществляется следующим образом. Генератор высокой частоты включается в конце цикла индукционного ускорения и электроны захватываются в область устойчивости. Когда скорость изменения магнитного потока в индукционном сердечнике имеет противоположное направление, в.ч. поле компенсирует действие тормозящего вихревого электрического поля, так что ускоренный пучок остается на постоянном радиусе. С началом следующего цикла индукционного ускорения в.ч. генератор выключается, происходит ускорение новой порции электронов одновременно с первой, энергия которой к концу цикла удваивается. Схема, иллюстрирующая данный режим ускорения, представлена на рис. 1.

Для осуществления такого режима был проведен ряд экспериментов по определению влияния в.ч. напряжения постоянной частоты на пучок электронов, ускоряемых вихревым электрическим полем. Аналогичные вопросы обсуждались в работах^{/3,4/}. Эксперименты, описанные ниже, проводились при следующих условиях. Момент включения в.ч. был сдвинут относительно начала инъекции на 600 мксек, что соответствовало энергии электронов ~ 300 Кэв и частоте их обращения 87,5 МГц. Время нарастания амплитуды высокой частоты было меньше периода фазовых колебаний. При исследовании использовался относительно короткий импульс в.ч. / ~ 150 мксек/, что позволяло практически исключить зависимость результатов измерений от рассеяния частиц на остаточном газе. При этом результат влияния высокой частоты можно было наблюдать в конце того же цикла индукционного ускорения.

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента высокочастотного захвата от величины расстройки между частотой генератора и частотой обращения электронов в момент включения в.ч. Там же приведена теоретическая кривая, рассчитанная в предположении мгновенного захвата и равномерного распределения частиц в пучке. Коэффициент захвата определялся как отношение площади, занимаемой пучком внутри области устойчивости, ко всей площади пучка. Границы области устойчивости, согласно ^{15/}, определяются формулой:

$$\delta E = \pm \left(\frac{E e V_0}{\pi F} \right)^{1/2} \sqrt{\sin \phi + \sin \phi_0 - (\phi + \phi_0) \cos \phi_0}, \quad /1/$$

где E - полная энергия частиц, V_0 - амплитуда в.ч., ϕ - фаза в.ч., при которой частица проходит "ускоряющую" щель, $\cos \phi_0 = \frac{1}{c V_0} \frac{\partial \Phi}{\partial t}$, Φ - магнитный поток в индукционном сердечнике, $F = \frac{(k+1)(1-\beta^2)-1}{(k+1)\beta^2}$, причем k - средний показатель поля, β - отношение скорости частицы к скорости света c .

На рис. 2 ширина кривой ΔE у основания определяется суммой энергетических размеров области устойчивости и самого пучка. Для разделения этих величин снималась зависимость ΔE от амплитуды высокой частоты и величины форсировки /см. рис. 3/. Следует отметить, что в данном случае энергетический размер пучка определялся только величиной форсировки, длительность которой была значительно меньше длительности инжекции и по времени совпадала с вершиной импульса инжекции. Таким образом, величина ΔE на рис. 3а, соответствующая точке пересечения экспериментальной кривой с осью ординат, определяет размеры области устойчивости при данной амплитуде высокой частоты. При $V_0 = 9$ в область устойчивости стягивается в точку и поэтому величина ΔE на рис. 3б численно равна энергетической ширине пучка для данного значения форсировки. Результаты в обоих случаях хорошо согласуются между собой.

Если область устойчивости образуется вне пучка, то прохождение сепаратрисы через пучок частиц или, наоборот, прохождение ускоряемого пучка мимо сепаратрисы приводит к изменению энергии пучка. Таким образом, на-

блюдая на экране осциллографа смещение пучка во времени /см. рис. 4/, можно определить величину его энергетического смещения. Для увеличения точности определения величины смещения форма импульса ускоренного пучка дифференцировалась. Зависимость величины смещения от амплитуды высокой частоты представлена на рис. 5; там же для сравнения приведен график размеров области устойчивости /см. рис. 3б/. Теоретические расчеты энергетического смещения пучка проводились по формуле^{/5/}

$$\langle \delta E \rangle = 2/\pi \delta E_{\text{макс}} \eta(\phi_0), \quad /2/$$

где $\langle \delta E \rangle$ - среднее изменение энергии пучка, $\delta E_{\text{макс}}$ - энергетический размер сепаратрисы, получаемый из

/1/ при $\phi = \phi_0$;

$$\eta(\phi_0) = \frac{S}{8 \sqrt{\sin \phi_0 + \phi_0 \cos \phi_0}}, \quad \text{а } S = 2 \int_{-\phi_0}^{\phi_0} \sqrt{\sin \phi + \sin \phi_0 - (\phi + \phi_0) \cos \phi_0} d\phi,$$

причем ϕ_1 определяется из известного трансцендентного уравнения. Результаты этих расчетов приведены на том же рисунке и, как видно, хорошо согласуются с экспериментальными данными.

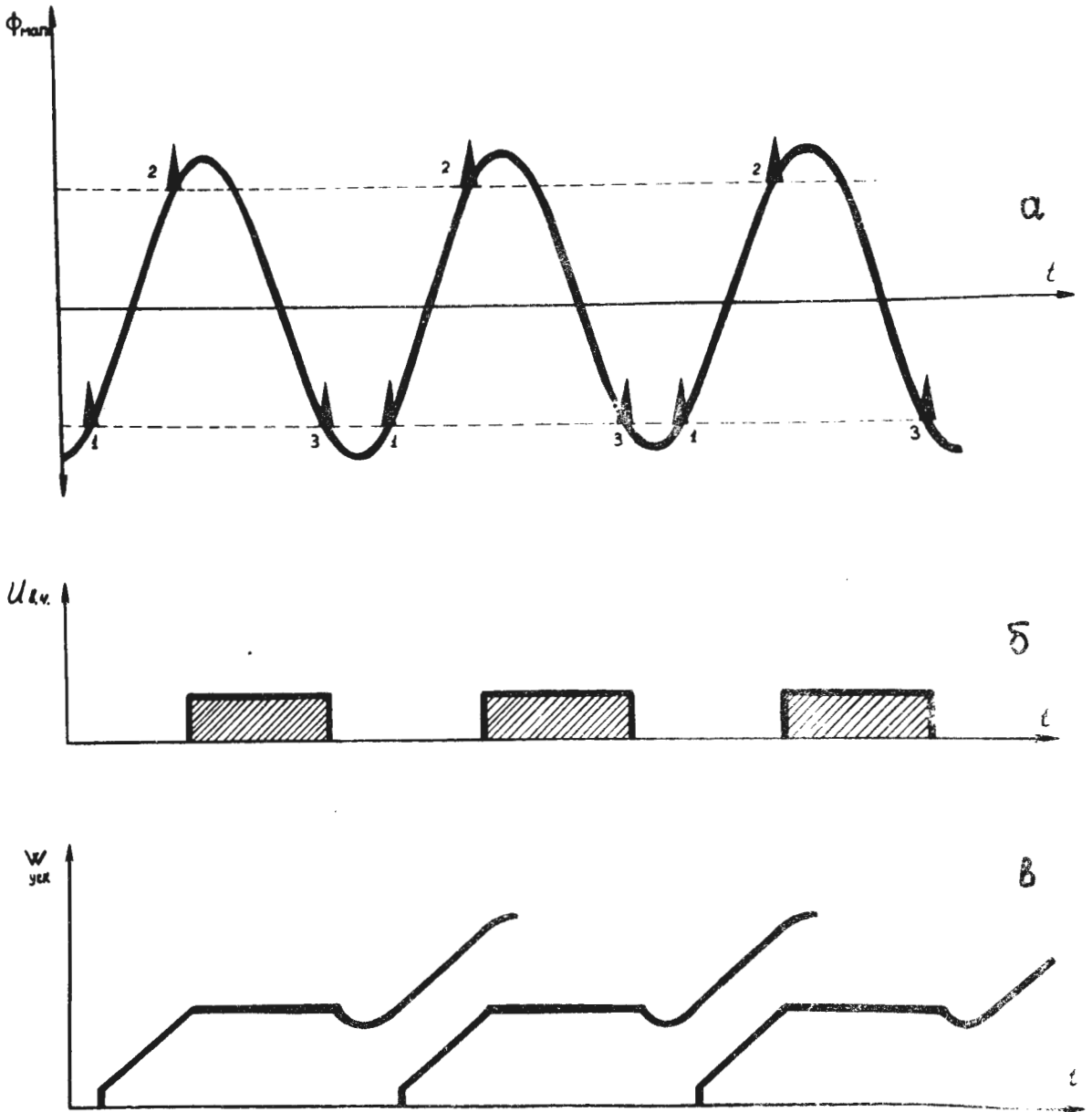
Проведенные эксперименты позволили при оптимальных условиях осуществить описанный выше режим ускорения. Длительность импульса высокой частоты была увеличена. Выключение генератора осуществлялось раньше начала инжекции, что исключало влияние высокой частоты на захват электронов в режим индукционного ускорения. На рис. 6 приведена осциллограмма импульса ускоренных частиц, прошедших два цикла индукционного ускорения. Для большей наглядности при снятии осциллограммы электроны инжектировались через период изменения магнитного потока в индукционном сердечнике. Так как рабочий вакуум при ускорении не превышал $1-2 \cdot 10^{-6}$ мм рт.ст., то рассеяние на остаточном газе играло весьма существенную роль и уменьшало количество ускоренных электронов приблизительно на порядок, что согласуется с оценками по многократному рассеянию.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность проф. В.А.Петухову за постоянное внимание к работе и плодотворные обсуждения.

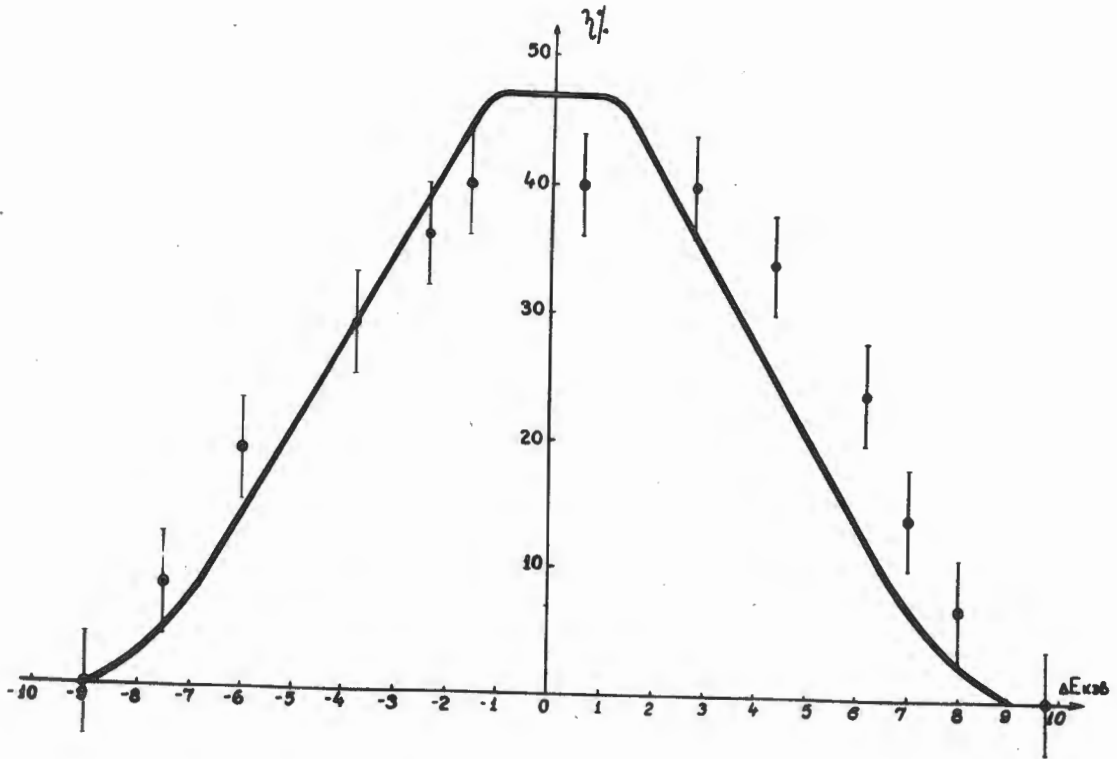
Л и т е р а т у р а

1. Ф. Бенда, И. Габанец, И. Добиаш, 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/.
2. В.А. Петухов, И. Габанец, А.А. Журавлев, М. Кармасин, В.И. Котов, Э.А. Мяз, Ю.Л. Обухов, В. Сохор, Ю. Цирак, Ф. Бенда, И. Добиаш, М. Марек, Л.В. Светов, Т. Фукатко, Препринт ОИЯИ, 572 /1960/.
3. K.M.Terwilliger., L.W. Jones, C.H.Pruett. Rev. Sci. Instr. 28, 987 (1957).
4. L.W.Jones, C.H.Pruett, K.R.Symon, K.M.Terwilliger. International Conference on High-Energy Accelerators and Instrumentation, 58, CERN (1959)
5. K.R.Symon, A.M.Sessler. CERN , Symposium, 1, 44 (1956).

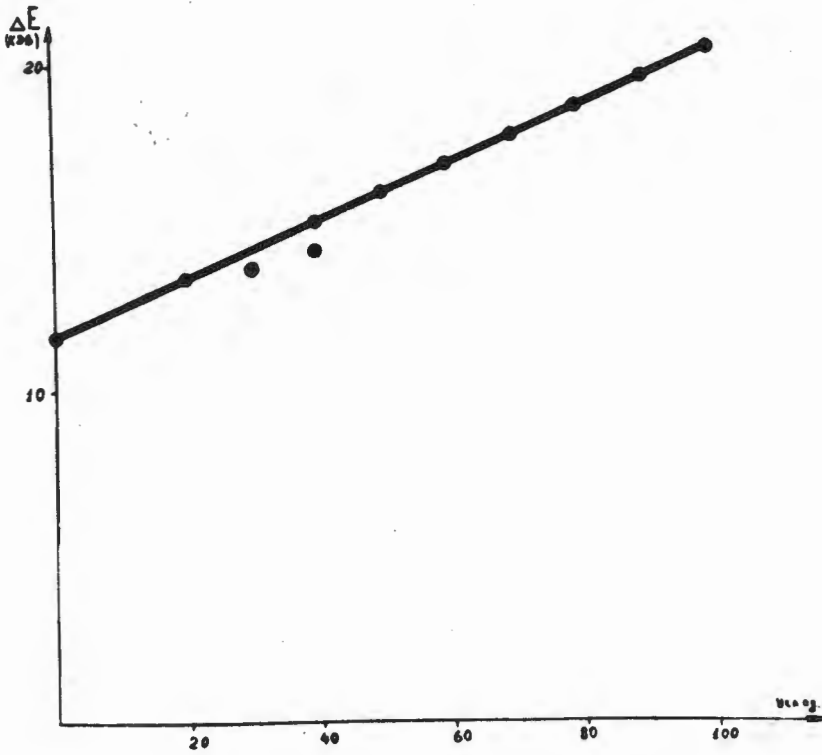
Рукопись поступила в издательский отдел
6 февраля 1962 г.



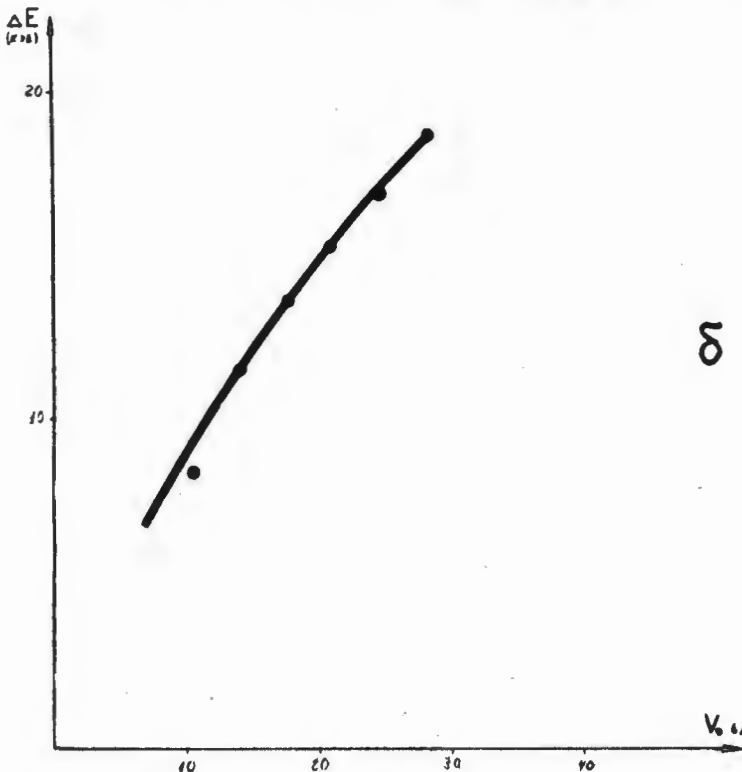
Р и с. 1. Схема ускорения
 а/Изменение магнитного потока в индукционном сердечнике
 1-инжекция, 2-включение генератора в.ч., 3-выключение ге-
 нератора в.ч.
 б/Режим работы генератора в.ч.
 в/Изменение энергии электронов в процессе ускорения.



Р и с. 2. Зависимость коэффициента высокочастотного захвата от величины расстройки между частотой генератора и частотой обращения электронов при значении $V_0 = 28,3\text{я}$ и форсировке 320 в/об. По оси абсцисс величина расстройки отложена в энергетических единицах. Сплошная кривая - теоретическая; точки - результаты эксперимента.

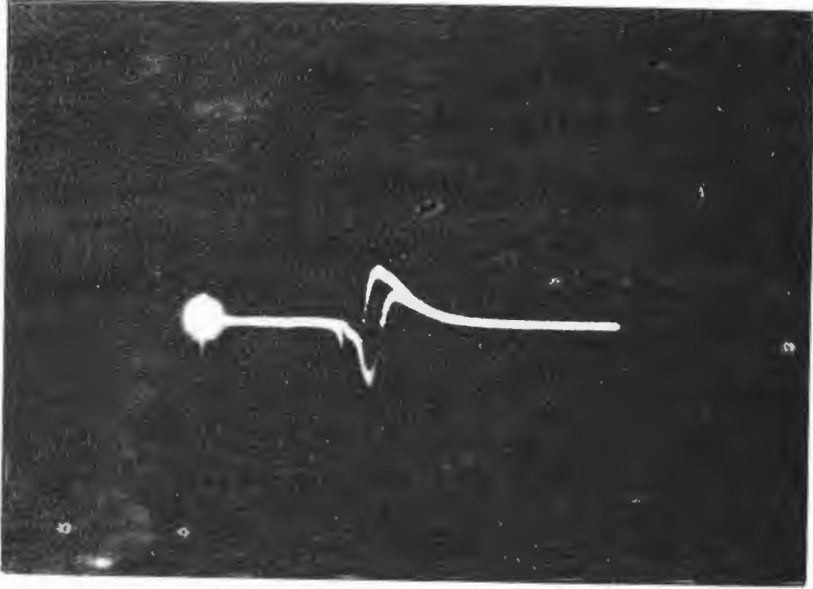


a

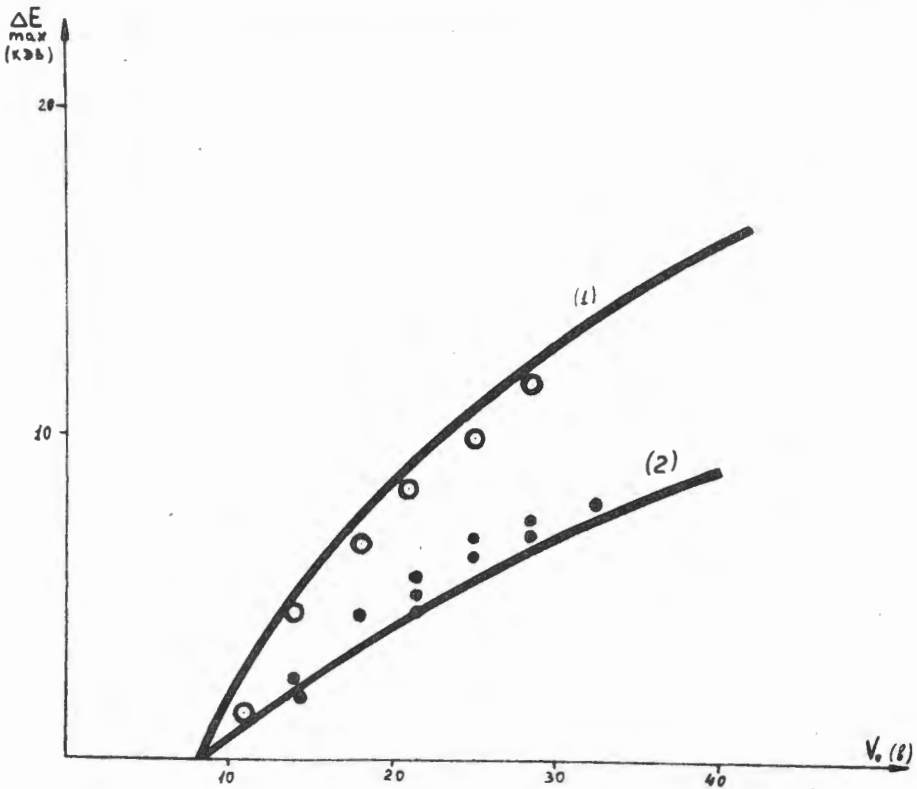


б

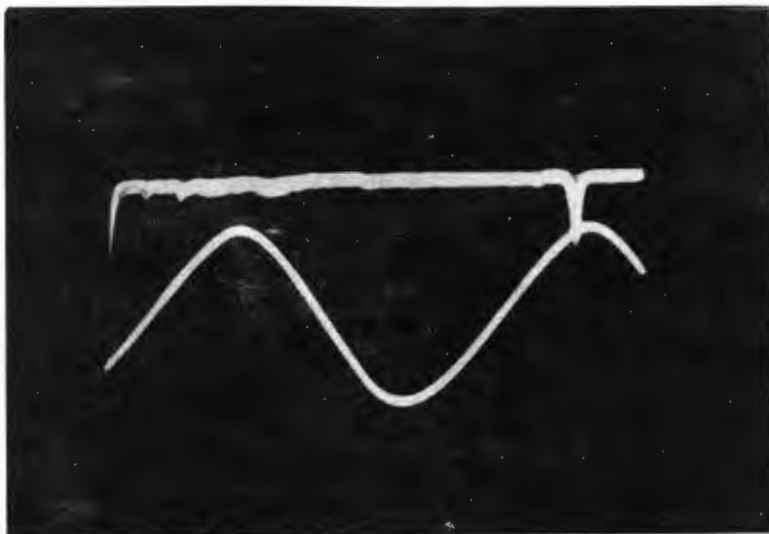
Р и с. 3. Зависимость ΔE от величины форсировки /а/ и амплитуды в.ч. напряжения /б/. Кривая /а/ снята при $V_0 = 28,3$ в; 80 делений по оси абсцисс соответствуют форсировке 320 в/об. Кривая /б/ снята при данном значении форсировки.



Р и с. 4. Смещение пучка при прохождении мимо области устойчивости.



Р и с. 5. Зависимость размеров области устойчивости /1/ и величина энергетического смещения пучка /2/ от амплитуды высокой частоты. Сплошные кривые - теоретические, точки - результаты экспериментов.



Р и с. 6. Осциллограмма импульса электронов, ускорившихся два цикла в индукционном режиме. Сверху - импульс ускоренного пучка, внизу - изменение магнитного потока в индукционном сердечнике.