

К. 90

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

препринт

Г.Н.Кулипанов, А.А.Наумов, С.Г.Попов.
А.Н.Скринский, Г.М.Тумайкин

**Экспериментальные данные по
взаимодействию пучков при встрече**

НОВОСИБИРСК 1965

V

А н н о т а ц и я

Приведены результаты экспериментальных исследований взаимодействия пучков при встрече на электронном накопителе ВЭП-1.

Эффекты электромагнитного взаимодействия встречных пучков ("эффекты встречи"), по-видимому, накладывает наиболее принципиальные ограничения на достижимую светимость установки. Экспериментальное изучение этих эффектов поэтому является, по-видимому, наиболее существенным в ускорительной части программы исследований в установках со встречными пучками. В связи с этим в настоящем докладе приводится предварительный обзор результатов изучения "эффектов встречи", полученных на электрон-электронном накопителе ВЭП-1. Описание установки и основные параметры электронных пучков в накопителе (величины накопленных токов, время жизни, фазовые и поперечные размеры сгустков) приведены в /1/.

Эксперименты проводились при энергиях встречающихся пучков 43 Мэв. Из-за практических удобств изучение "эффектов встречи" проводилось по наблюдению за поведением пучка в верхней дорожке. Добавим здесь, что магнитное поле на этой дорожке имеет следующие нелинейности: квадратичную $\frac{\partial V}{\partial R} = 1,5 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{см}}$ и кубичную $\frac{\partial^2 V}{\partial R^2} = 4 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{см}^2}$. При накоплении каждого из пучков равновесные орбиты разводятся в месте встречи. После накопления нужного тока сведение пучков осуществляется с помощью специальных устройств /2/.

"Эффекты встречи" тонким образом зависят от значений частот бетатронных колебаний ν . Поэтому было изучено поведение пучка на каждой из дорожек в зависимости от ν . Рабочей областью его по ν в нашем накопителе является область от $\nu_2 = 3/4$ до $\nu_2 = 4/5$ (рис.1). Оказалось, что при прохождении пучка через нелинейные резонансы $\nu_2 = \frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$; $\nu_R = \frac{2}{3}$; $\frac{3}{5}$ за времена порядка 1 сек (время радиационного затухания колебаний), его аксиальные или радиальные размеры сильно возрастают и он теряется.

При других значениях V (для $V_2 = 0,792$) наблюдалось увеличение поперечных размеров пучка, резонансно зависящее от величины напряжения на резонаторе. Максимальное "раздувание" соответствует при этом V , отстоящему от соответствующего резонансного значения ($V_2 = \frac{4}{5}$) на $\frac{\Omega}{\omega_0}$, где ω_0 - частота обращения, а Ω - частота синхротронных колебаний, что указывает, по-видимому, на проявление синхробетатронных резонансов. При остальных значениях V в рабочей области пучок сохраняет "естественные" размеры /1/.

Время жизни пучка также зависит от V (рис.4) и сильно уменьшается при приближении к $V_2 = \frac{3}{4}$; $\frac{4}{5}$; $V_R = \frac{2}{3}$; $\frac{3}{5}$. При этом обнаруживаются и эффекты типа синхробетатронных резонансов.

Влияние встречного пучка проявляется в основном в изменении распределения плотности электронов по сечению пучка (так называемое "раздувание" пучков) и уменьшении времени жизни частиц в накопителе. Никаких фазовых эффектов встречи при нашей точности измерений /2/ не обнаружено.

Все исследования проводились при лобовом пересечении пучков (угол пересечения не более 10^{-3} радиана). Наклоны равновесных орбит в аксиальном направлении заметно на результаты, как и ожидалось, не повлияли, т.к. при создаваемых величинах углов пересечения пучков (10^{-2} радиана) относительно поперечное смещение пучков на длине области взаимодействия меньше соответствующего размера сгустка.

Способ сведения пучков после накопления (по радиусу, в аксиальном направлении или по фазе) на установившиеся эффекты встречи также не влияет.

Степень проявления "эффектов встречи" сильно зависит от величины тока встречного пучка и очень чувствительна к изменениям значений частот собственных бетатронных колебаний. Возможны условия, при которых увеличение размеров или уменьшение времени жизни наблюдается в пучке с гораздо большим накопленным током. От величины тока на своей дорожке "эффекты встречи" не зависят, или зависят очень слабо, если при этом встречный пучок не "раздувается" сам.

Измерения светимости установки по рассеянию электронов на электронах на малый угол показали, что увеличение размеров пучка из-за "эффектов встречи" уменьшает ее величину. Это уменьшение светимости однозначно определяется изменением распределения плотности частиц по поперечному сечению сгустка и легко учитывается обычным образом. Внешнее изменение поперечного размера дало также совпадение изменения значения светимости с расчетом (распределение частиц по сечению сгустка считалось гауссовским) с точностью не худшей точности измерения (статистическая точность и точность измерения размеров пучка около 10%). Эти факты подтверждают отсутствие при встрече когерентных эффектов специального вида (типа "эффекта облетания").

На рис.2 приведены фотографии различных типов "раздувания" пучка в рабочем диапазоне частот бетатронных колебаний, а на рис.3 - распределение плотности частиц по сечению пучка, измеренное с помощью вращающейся щели /2/. Характер раздувания пучка при различных значениях V неодинаков.

Так вблизи нелинейных резонансов $V_2 = \frac{7}{9}$ и $V_R = \frac{5}{8}$ возникает раскачка колебаний по Z при $V_2 = \frac{7}{9} + \delta V$ или по R при $V_R = \frac{5}{8} + \delta V$ (здесь записаны частоты бетатронных колебаний,

измеренные для одного пучка в отсутствии встречного, но при тех же условиях). Диапазон δU , в котором существует раскачка соответствует, по видимому "сдвигу частоты, вносимому встречным пучком. Величина раздувания не зависит при этом от напряжения на "своем" резонаторе.

Таковыми же свойствами обладает "раздувание" при $V_2 = \frac{11}{14}$. Вблизи других резонансных значений V , например, при $V_2 = \frac{4}{5} - \delta U$ величина раздувания пучка при встрече резонансным образом зависит от напряжения на своем резонаторе, причем раздувание максимально при частоте синхротронных колебаний, равной расстройке $\delta V \omega_0$.

Оценки времени установления поперечных размеров пучка при встрече дают величину порядка времени, за которое данную амплитуду бетатронных колебаний за счет однократного и многократного рассеяния на атомах остаточного газа приобретает достаточная доля частиц.

В некоторых случаях, при достаточно больших токах встречного пучка (около 50 ма) видимое увеличение размеров пучка исчезает, хотя другой эффект встречи - уменьшение времени жизни - продолжает усиливаться.

Время жизни пучка при встрече для фиксированного значения тока в нем сильно зависит от тока встречного пучка, "своей" частоты бетатронных колебаний и, в некоторых случаях, от напряжения на "своем" резонаторе. Соответствующие зависимости приведены на рис. 4, 5, 6. Видно, что время жизни пучка при встрече сильно уменьшается вблизи некоторых нелинейных резонансов, причем также обнаруживаются эффекты типа синхробетатронных резонансов.

Зависимость времени жизни пучка при встрече от аксиальной и радиальной апертуры, приведенная на рис. 7, подтверждает, что потеря частиц, вызываемая присутствием встречного пучка, происходит, в основном, из-за увеличения амплитуд бетатронных колебаний.

Отметим, что в наших экспериментах мы не обнаружили зависимости времени жизни и установившихся размеров пучков от относительной расстройки частот бетатронных колебаний сталкивающихся пучков.

Подробного исследования эффектов встречи при других энергиях пока не проводилось. Можно только сказать, что общий характер эффектов сохраняется, а их сила убывает с повышением энергии (при одинаковых условиях).

На основании описанных исследований для проведения экспериментов по рассеянию электронов на электронах при энергии 43 Мэв были выбраны следующие рабочие точки: $V_2 = 0,768$ на верхней дорожке и $V_2 = 0,776$ на нижней. При этих условиях удается поддерживать средний ток на каждой дорожке около 30 ма без заметного увеличения размеров пучков и уменьшения времени жизни из-за эффектов встречи. Средняя светимость установки при этом составляет порядка $10^{27} \text{ см}^{-2} \text{ сек.}^{-1}$.

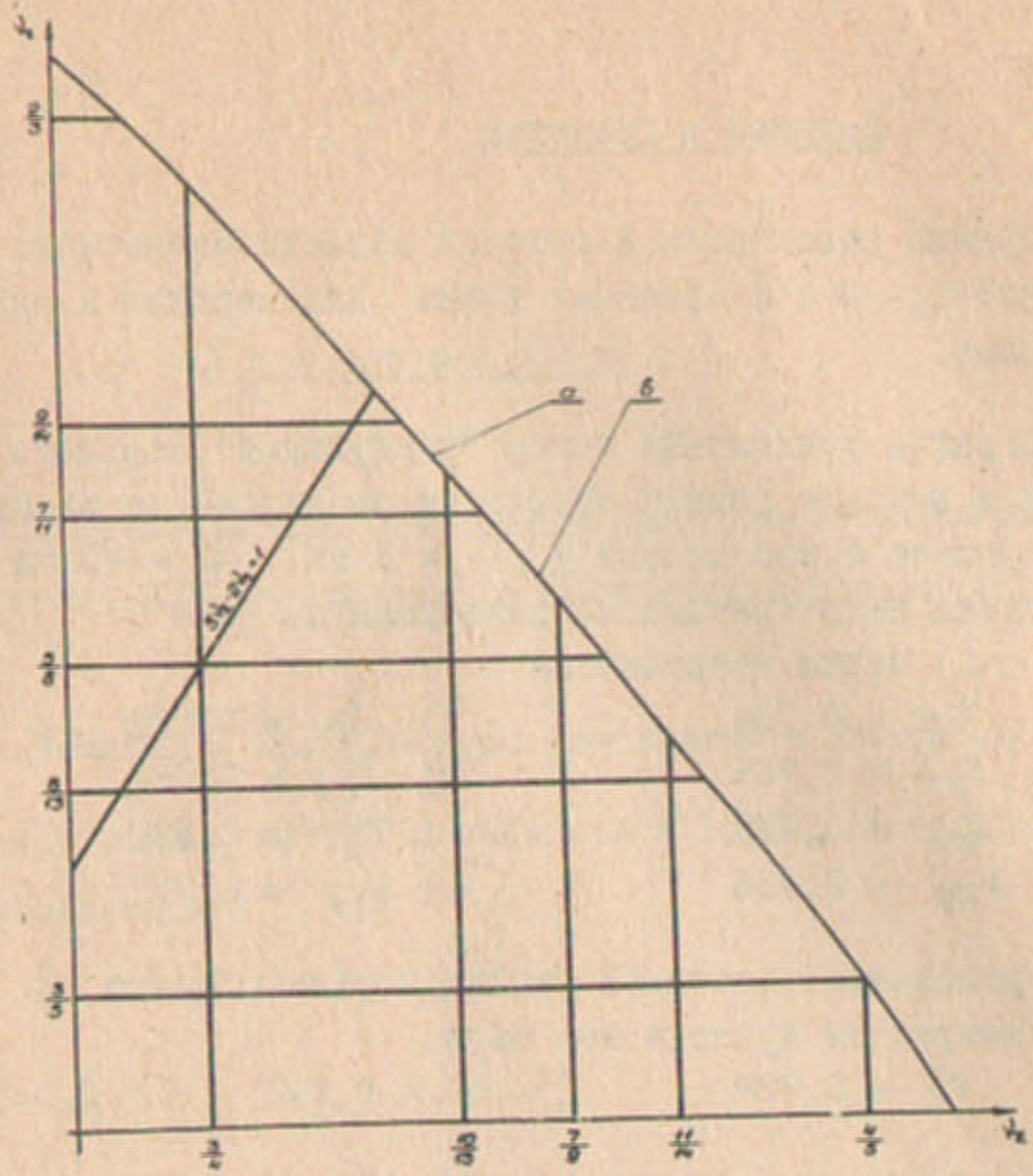


Рис 1

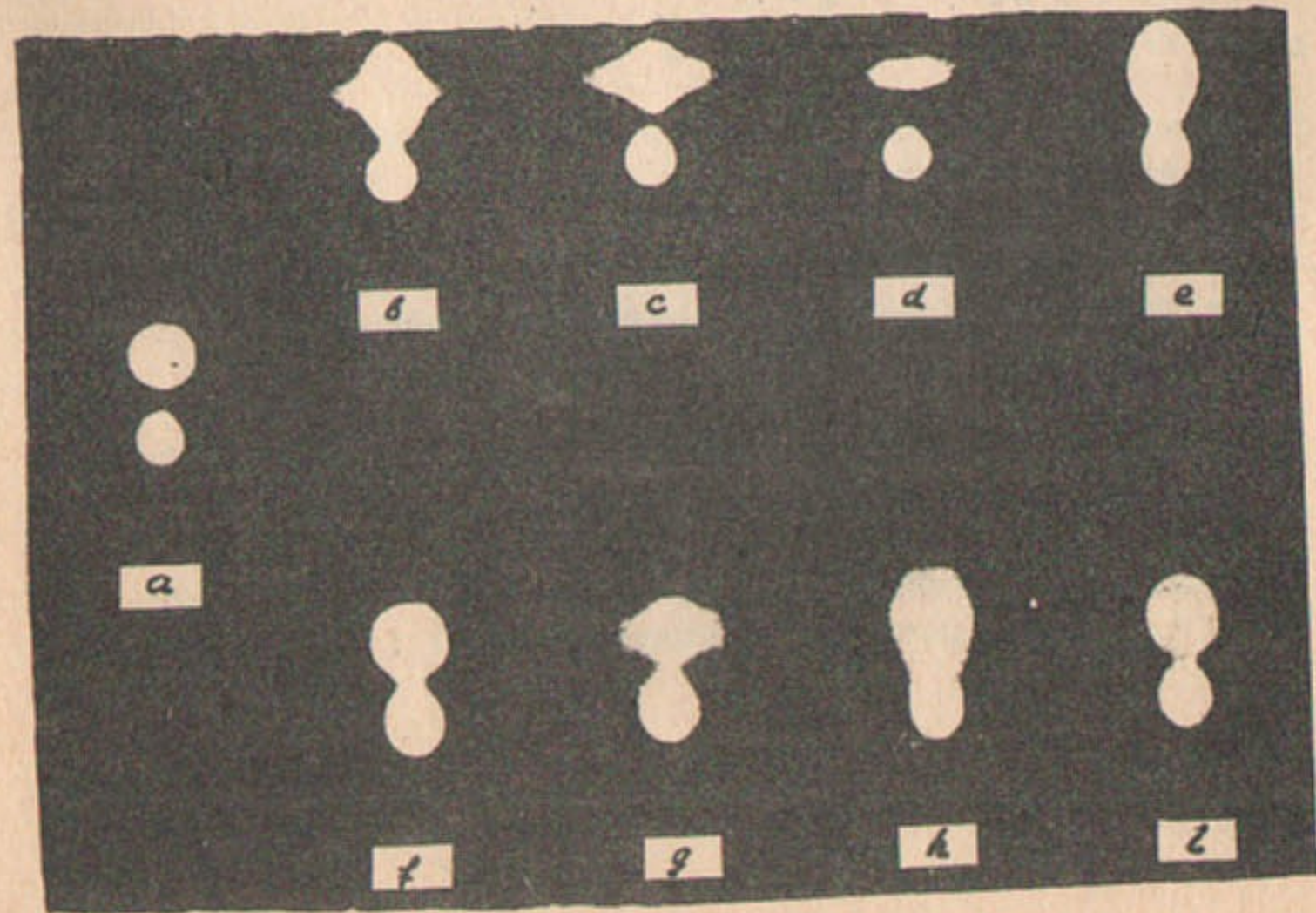


Рис 2

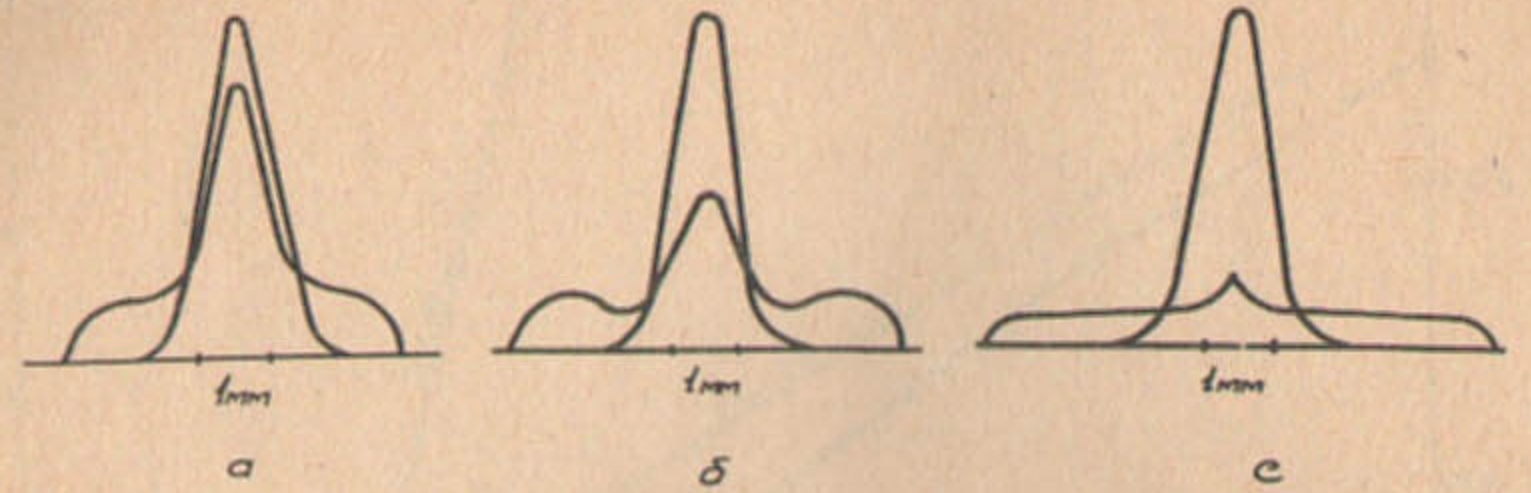


Рис 3

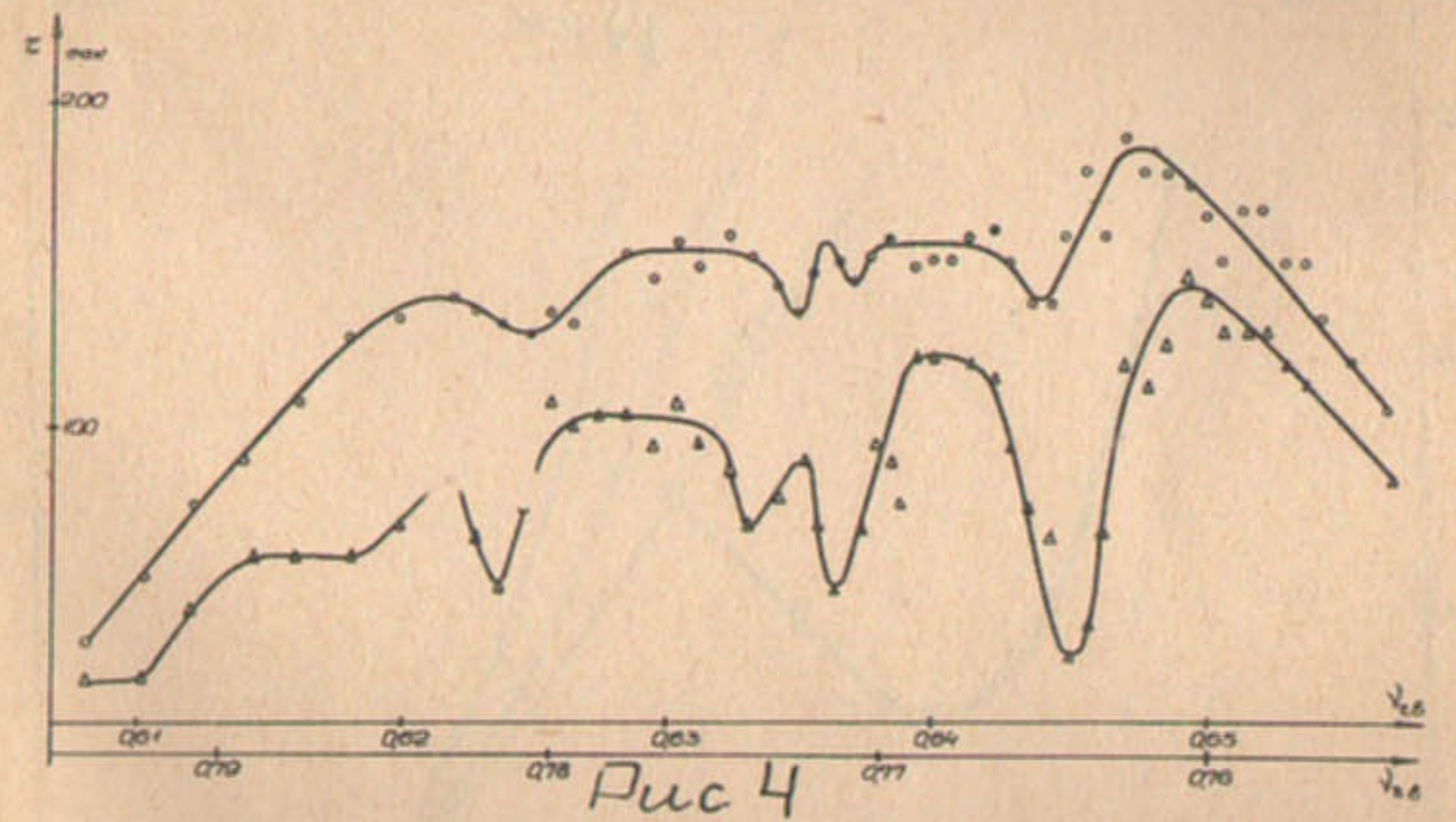


Рис 4

