

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТОВ ВСТРЕЧИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ НАКОПИТЕЛЯ

А.Б.Темных

Институт ядерной физики СО АН СССР, Новосибирск

В докладе представлены результаты измерений, которые были сделаны на накопителе ВЭПП-4, и которые отражают картину эффектов встречи на этой установке. Благодаря особенностям детектора МД-1 /1/ здесь имеется возможность быстро и с хорошей точностью измерять светимость установки  $L$ . Зная светимость, величину токов в пучках  $J(+)$ ,  $J(-)$  и частоту обращения  $f_0$ , можно найти эффективную площадь области взаимодействия пучков

$$S = \frac{J(+)\ J(-)}{4\pi e^2 f_0} \frac{1}{L}$$

В системе регистрации, которая используется на ВЭПП-4, имеются счетчики, регистрирующие тормозные  $\gamma$ -кванты, родившиеся в результате взаимодействия частиц пучков с атомами остаточного газа или со стенками вакуумной камеры в экспериментальном промежутке накопителя. В процессе работы было замечено, что уменьшение времени жизни позитронного тока из-за выхода частиц за апертуру накопителя по радиусу или по вертикали всегда сопровождается увеличением скорости счета тормозных фотонов. Это означает, что место, определяющее акцептанс накопителя, находится в пределах прямой видимости счетчика, фиксирующего тормозные фотоны со стороны позитронного пучка.

По этой причине скорость потерь частиц из пучка и скорость счета тормозных фотонов оказались взаимосвязаны.

В экспериментах, результаты которых будут представлены ниже, измерялась зависимость эффективной площади области взаимодействия пучков  $S$  и зависимость скорости потерь частиц из позитронного пучка от положения рабочей точки накопителя на частотной плоскости  $\nu_x$ ,  $\nu_z$ . В процессе измерений (в дальнейшем этот процесс мы будем называть сканированием) рабочая точка "заметала" в плоскости  $\nu_x$ ,  $\nu_z$  квадрат со сторонами  $\Delta\nu_x \times \Delta\nu_z = 0,064 \times 0,064$ . Шаг по  $\nu_x$ ,  $\nu_z$  составлял  $|\delta\nu_x| = |\delta\nu_z| = 1 \cdot 10^{-3}$ . После каждого шага делалось измерение светимости (время набора статистики в одной точке составляло  $\tau = 100 \text{ мс}$ ), скорости счета тормозных фотонов  $N_\phi$ , токов в электронном  $J(-)$  и позитронном  $J(+)$  пучках, вычислялись величины  $S = \frac{J(+)\ J(-)}{4\pi e^2 f_0 L}$ ,  $F = N_\phi / J(+)$ , которые запоминались для последующей обработки и вывода. Процесс сканирования был полностью автоматизирован и продолжался 15 мин.

### "Машинные" резонансы

Ведущее магнитное поле любого накопителя имеет нелинейные компоненты, которые в конечном счете приводят к появлению "машинных" резонансов.

На рис.1 изображена частотная плоскость  $\nu_x$ ,  $\nu_z$  со всеми резонансами, исключая синхробетатронные, до пятого порядка включительно ( $m\nu_x + n\nu_z = k$ ,  $|m| + |n| \leq 5$ ,  $m$ ,  $n$  и  $k$  - целые числа), которые в принципе могли бы проявиться в наших экспериментах. На этом рисунке квадратом ограничена область, которую "заметала" рабочая точка в процессе сканирования, а также обычное положение рабочей точки накопителя ВЭПП-4. Для изучения "машинных" резонансов было

проведено сканирование с "микротоками", т.е. токи в пучках были настолько малы, что эффектами встречи можно было заведомо пренебречь.

На рис.2 представлены результаты сканирования. Здесь по осям, лежащим в горизонтальной плоскости, отложены дробные части бетатронных частот  $\nu_x$ ,  $\nu_z$ . На рис.2а по вертикальной оси отложена эффективная площадь области взаимодействия пучков в от.ед., на рис.2б скорость счета тормозных фотонов, нормированная на ток позитронного пучка  $F = \frac{N\phi}{Jct}$  в ед.  $\frac{к.с.ч}{м.а}$ . Как было отмечено выше, эта величина отражает скорость потерь частиц из позитронного пучка.

На рис.2а видны разностные резонансы связи: линейный  $\nu_x - \nu_z = -1$  и 4-го порядка  $3\nu_x - \nu_z = 16$ .

На рис.2б, где приведена зависимость скорости потерь частиц из позитронного пучка от положения рабочей точки, видны одномерный резонанс 5-го порядка  $5\nu_z = 48$  и суммовый резонанс связи  $4\nu_z + \nu_x = 47$ .

Таким образом видно, что в районе рабочей точки ВЭШ-4 проявляются все "машинные" резонансы до 5-го порядка включительно. Разностные резонансы связи проявляются как увеличение вертикального размера пучков, при этом время жизни не уменьшается. Одномерный резонанс  $5\nu_z = 48$  и суммовый резонанс  $4\nu_z + \nu_x = 47$  проявляются как увеличение скорости потерь частиц, вышедших за апертуру накопителя. При этом вертикальный размер пучков не изменяется.

#### Эффекты встречи

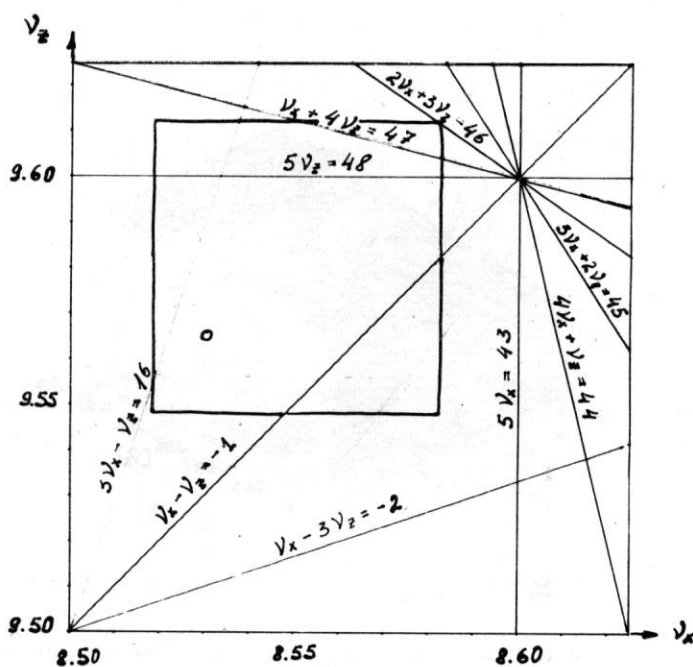
На накопителе ВЭШ-4, где имеется только одно место встречи, в движении частиц, взаимодействующих со встречным сгустком, могут проявляться резонансы типа:  $2m\nu_x + 2n\nu_z = k$ , где  $m$ ,  $n$ ,  $k$  - любые целые числа,  $\rho = 2|m| + 2|n|$  - порядок резонанса. Такое правило отбора обусловлено симметрией электромагнитного потенциала встречного пучка.

На рис.3 представлены результаты измерений при токах  $J(+)=1,2$  мА.  $J(-)=5,8$  мА. Величины параметров  $\xi_x$ ,  $\xi_z$ , которые можно оценить, зная радиальный размер пучков, светимость и токи, были:  $\xi_x \sim 0,009$ ,  $\xi_z \sim 0,035$ . При сравнении рис.3а и 2а видно, что, во-первых, увеличилась сила резонанса  $3\nu_x - \nu_z = 16$ . Во-вторых, появился разностный резонанс 6-го порядка  $4\nu_x - 2\nu_z = 15$ , которого не было на рис.2а. Увеличение вертикального размера пучка на этом резонансе составляет  $\sim 30\%$ .

Заметим, что на рис.3б, где приведена зависимость скорости потерь частиц из позитронного пучка, ни один из разностных резонансов в явном виде не проявляется. При сравнении рис.3б и 2б, где приведены зависимости скорости потерь из позитронного пучка в случае средних токов и "микротоков", соответственно, видно увеличение скорости потерь частиц на "машинных" резонансах  $\nu_x + 4\nu_z = 47$  и  $5\nu_z = 48$ , а также появление новых, одномерных резонансов  $\nu_z = 9,5716$ ,  $\nu_x = 8,555$ ,  $\nu_x = 8,571$ . Увеличение скорости потерь частиц на "машинных" резонансах можно объяснить сложением резонансных гармоник от встречного пучка, которые возбуждают резонансы  $2\nu_x + 8\nu_z = 94$  и  $10\nu_z = 96$  с соответствующими гармониками от нелинейных компонент ведущего магнитного поля. Что касается появления новых одномерных резонансов, то можно было бы предположить, что они чисто пучковые. Если это так, то должны были бы проявиться и пучковые резонансы более низкого порядка. Однако их нет. Это отражено в таблице 2. Поэтому можно сделать вывод о том, что одномерные резонансы  $\nu_x = 8,555$ ,  $\nu_z = 9,571$  проявились только благодаря сложению резонансных гармоник от нелинейных компонент ведущего магнитного поля накопителя с соответствующими гармониками от встречного пучка.

Т а б л и ц а I.

Резонанс		"Машинные" до 10-го порядка	Пучковый	Примечание
$\nu_x$	8,571	7 $\nu_x = 60$	14 $\nu_x = 120$	есть
	8,562	-	16 $\nu_x = 137$	нет
	8,555	9 $\nu_x = 77$	18 $\nu_x = 154$	есть
$\nu_z$	9,583	-	12 $\nu_z = 115$	нет
	9,571	7 $\nu_z = 67$	14 $\nu_z = 134$	есть



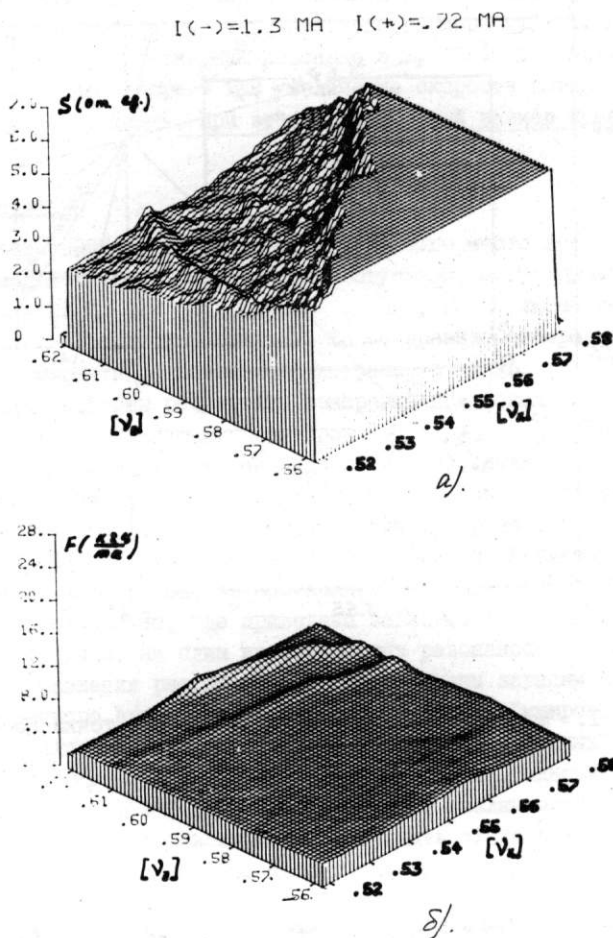
Р и с. I. "Машинные" резонансы. o - рабочая точка ВЭП-4.

Таким образом, экспериментальные данные, представленные в настоящей работе, показывают, что на накопителе ВЭП-4:

I. Проявляются все "машинные" резонансы до 5-го порядка включительно. Разностные резонансы связи проявляются как увеличение вертикального размера пучков. Суммовые и одномерные резонансы нечетного порядка проявляются как увеличение скорости потерь частиц из пучка.

2. При взаимодействии встречных пучков, во-первых, в районе рабочей точки ВЭШ-4 появляется сильный разностный резонанс  $4\nu_2 - 2\nu_1 = 15$ , который приводит к заметному увеличению вертикального размера слабого пучка. Во-вторых, увеличивается скорость потерь частиц из пучка на "машинных" резонансах, а также благодаря сложению резонансных гармоник от нелинейных компонент ведущего магнитного поля с резонансными гармониками от пучка появляются новые резонансы.

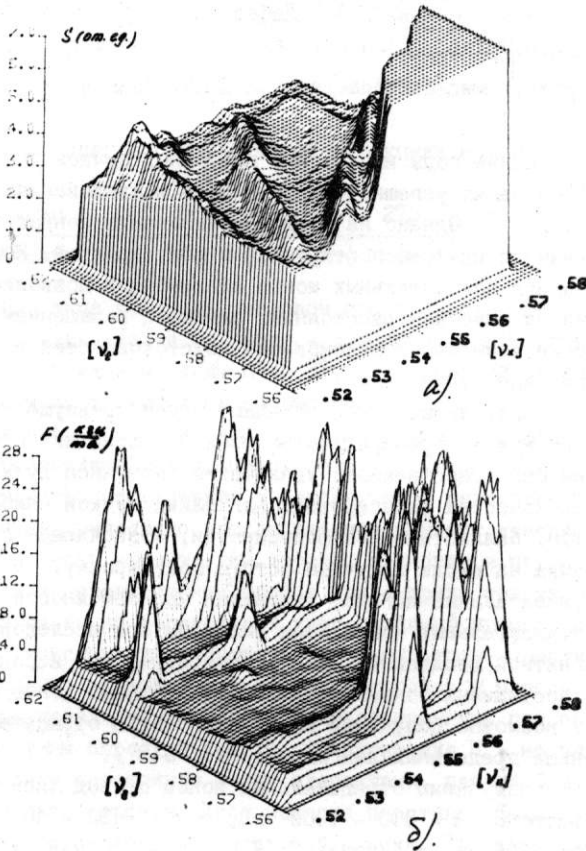
В заключение автор выражает искреннюю благодарность С.И.Мишневу, Г.М.Тумайкину, А.А.Жоленцу за большую помощь в проведении данной работы и полезные обсуждения.



Р и с. 2. Результаты сканирования при "микротоках"  $I(+)=0,72 \text{ MA}$ ,  $I(-)=1,3 \text{ MA}$ .

- а) эффективная площадь области взаимодействия встречных пучков.  
 б) скорость потерь частиц из позитронного пучка.

$I(-) = 5.8 \text{ MA}$   $I(+) = 1.2 \text{ MA}$



Р и с. 3. Результаты сканирования при средних токах  $I(+)=1,2 \text{ MA}$ ,  $I(-)=5,8 \text{ MA}$  ( $\xi_x \approx 0,009$ ,  $\xi_z \approx 0,035$ ).

- а) эффективная площадь области взаимодействия встречных пучков.  
б) скорость потерь частиц из позитронного пучка.

#### Л и т е р а т у р а

- I. S.E. Baru et al. Proc. of the Int. Conf. on Instr. for Colliding Beam Physics. (SLAC, Stanford, 1982) p.241.

□