

70
И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР

ПРЕПРИНТ И ЯФ 76 - 110

А.А.Жоленц, И.Я.Протопопов, А.Н.Скринск ий

ОРГАНИЗАЦИЯ МЕСТ ВСТРЕЧИ ПУЧКОВ
С МАЛОЙ β -ФУНКЦИЕЙ НА НАКОПИТЕЛЕ
ВЭПП-4

Новосибирск

1976

ОРГАНИЗАЦИЯ МЕСТ ВСТРЕЧИ ПУЧКОВ С МАЛОЙ β -ФУНКЦИЕЙ
НА НАКОПИТЕЛЕ ВЭПП-4

А.А.Жоленц, И.Я.Протопопов, А.Н.Скринский

А Н Н О Т А Ц И Я

Приводятся данные о структуре магнитной системы длинного прямолинейного промежутка накопителя. Пятнадцать квадрупольных линзами организовано три места с малыми значениями β -функции, которые могут быть использованы для экспериментов. Ожидаемая светимость на энергии 7 ГэВ до $4 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ ($4 \cdot 10^{29} \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ на 1 мА тока позитронов) в каждом месте встречи.

Электрон-позитронный накопитель ВЭП-4 имеет два полукольца со средним радиусом 45,5 метров, соединенных двумя длинными промежутками /1/. В одном из них, длиной 40 метров, расположен впуск частиц в накопитель, резонаторы ВЧ системы и четыре дублета квадрупольных линз, осуществляющих фокусировку и согласование промежутка с полукольцами.

Второй промежуток длиной около 55 метров предназначен для проведения экспериментов. В нем расположены три места встречи пучков и 15 квадрупольных линз, согласующих промежутки и создающих в местах встречи необходимые параметры пучков. В центральном (А) месте встречи находится магнитный детектор МД-1 с поперечным магнитным полем, изменяющий направление движения частиц на 16° .

При встрече пучков частиц вследствие их электромагнитного взаимодействия имеет место сдвиг частот бетатронных колебаний, выражаемый формулой:

$$\Delta Q_{z,z} = \frac{z_e N \beta_{z,z}}{2\pi \gamma \sigma_{z,z} (\sigma_z + \sigma_z)}$$

где z_e - классический радиус электрона; σ - среднеквадратичные размеры пучка; N - число частиц встречного пучка.

Допустимый сдвиг частот обычно лежит в пределах 0,02-0,1 /2/, /3/. Этот эффект ограничивает светимость накопителя. Максимальная светимость накопителя при ограничении ($\Delta Q_z = \Delta Q_x = \Delta Q$) для случая одного сгустка электронов и позитронов запишется в виде:

$$L_{max} = \frac{\pi \Delta Q^2 \gamma^2 \epsilon_0 t_0}{z_e^2} \left(\frac{1}{\beta_z} + \frac{1}{\beta_x} \right)$$

$\pi \epsilon_0$ - поперечный фазовый объем пучка.

Требуемое число частиц при этом равно:

$$N = \frac{2\pi \gamma \Delta Q \epsilon_0}{z_e}$$

При таком числе электронов и ограничении количеством позитронов, светимость выражается формулой:

$$L = \frac{N^2 \Delta Q \gamma t_0}{2 z_e \beta_z}$$

Таким образом, светимость накопителя определяется значениями β -функций в месте встречи. Минимальные величины β -функций, в свою очередь, ограничиваются требуемой апертурой в ближайших к месту встречи линзах и влиянием их нелинейностей.

Основная трудоемкость в задаче организации мест встречи заключается в выборе такой структуры промежутка (расположения квадрупольных линз и их сил), которая обеспечила бы:

- а) необходимый набор параметров $\beta_2, \beta_2', \alpha_2, \alpha_2', \psi, \psi'$ во всех местах встречи А, В и С;
- б) согласование промежутка с полукольцами по всем параметрам движения;
- в) требуемые частоты бетатронных колебаний;
- г) приемлимую апертуру линз и их удобное размещение для организации экспериментальных участков необходимой длины.

Ввиду несимметрии входных параметров и смещения на 2,3 метра МД-1 от середины промежутка оказалось удобным разбить его на две части: симметричную часть - включающую 12 квадрупольных линз симметрично расположенных относительно центрального места встречи и симметризирующую часть - оставшиеся три линзы, примыкающие к полукольцам.

Такое разбиение упростило решение задачи и облегчило изготовление экспериментального промежутка.

Выбор структуры промежутка проводился оптимизирующей программой VEPD, которая решает задачу методом случайного поиска с выбором направления и шага.

Выбранный вариант экспериментального промежутка и огнивающие пучка показаны на рис.1. Параметры мест встречи приведены в таблице I.

Максимальная светимость в боковом месте встречи показана на рис.2. При больших энергиях светимость ограничена мощностью ВЧ, вкладываемой в пучки. В расчетах принято $\Delta Q = 0.05$.

Таблица I

Параметры мест встречи на ВЭШ-4

Место встречи	Светимость в $10^{28} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$	β_2 (см)	β_2' (см)	ψ (см)	ℓ (метр)	I^- (мА)
А	2,4 I^+ (мА) E(ГэВ)	46	223	100	9,5	1,6КЕ ³
В,С	6,7 I^+ (мА) E(ГэВ)	16,5	195	15	2,8	1,8КЕ ³

Здесь: ℓ - длина участков встречи, свободных от квадрупольных линз; K - коэффициент связи колебаний, $K^2 = \epsilon_2 / \epsilon_2'$; I^- - требуемый электронный ток.

Уменьшая β_2 в местах встречи до 10-15 см, можно с потерей вертикального фазового объема накопителя, поднять светимость до $L = 10^{29} \text{ E(ГэВ)}$ на 1 мА позитронного тока. Это возможно, если осуществить перестройку фокусирующей системы промежутка после накопления пучков, как это было предложено в /4/, /5/.

Для уменьшения электромагнитного взаимодействия пучков орбиты e^+ и e^- могут разводиться с помощью электростатических пластин. Достаточное их количество позволяет проводить эксперименты в произвольном месте встречи, а также в любой их комбинации, разводя пучки в неиспользуемых местах встречи, в том числе и на противоположном азимуте. Разведение орбит осуществляется по вертикали на величину $\geq 10 \sigma_z$, для этого на максимальной энергии требуется приложить к пластинам разность потенциалов не более 50 кв.

Предусмотрена возможность многоступенчатой работы. При определенной кратности длин бетатронной и ВЧ воли, искажением орбиты электростатическими пластинами вне полуколец можно так разместить возможные места встречи вдоль искаженной орбиты, чтобы на всем кольце оказалось хорошее разведение пучков.

Например, при 224 гармонике ВЧ в ВЭШ-4 можно развести таким способом 32 возможных места встречи 16 ступенек, если их равномерно расположить по кольцу в каждой четырнадцатой сепаратрисе. При этом максимальное искажение орбиты лишь вдвое больше

величины разведения пучков.

При N сгустках и разведении их во всех местах встречи, кроме одного, максимальная светимость увеличивается в N раз при сохранении сдвига частоты бетатронных колебаний. Это оказывается особенно полезным на малых энергиях, когда ограничение светимости определяется только поперечным фазовым объемом пучка.

Многосгустковый режим работы с разведением ненужных мест встречи удобен, когда мощность, отдаваемая резонатором в пучок сравнима с запасенной в нем мощностью. Большое число частиц в одном сгустке вызывает сильное уменьшение напряжения ВЧ резонатора в момент пролета сгустка, что приводит к искажению потенциальной ямы и нарушению режима автофазировки. Распределение того же числа частиц на много сгустков позволяет этот эффект значительно уменьшить. Сохранение светимости при этом обеспечивается разведением пучков.

Авторы выражают благодарность за многочисленные полезные обсуждения Буджеру А.М., Онучину А.П., Сидорову В.А., Тумайкину Г.М., Кулипанову Г.Н., Мишневу С.И., Мезенцеву Н.А., Переведенцеву Е.А., Приходько В.П..

Л и т е р а т у р а

1. A.N.Skrinsky, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-20, NO.3, 756 (1973).
2. И.Б.Вассерман и др. Получение высокой светимости на ВЭШ-2М. Представлено на V Всесоюз. сов. по ускор. Дубна. 1976.
3. F.Ashman, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-20, NO.3, 858 (1973).
4. Status report on electron-positron storage ring VEPP-3. The VIII inter.conf. on High Energy Accelerators. CERN. 1971.
5. Г.Н.Кулипанов и др. Труды третьего Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц (Москва, 2-4 октября 1972г.), том I, стр.324-327, М., "Наука", 1973.

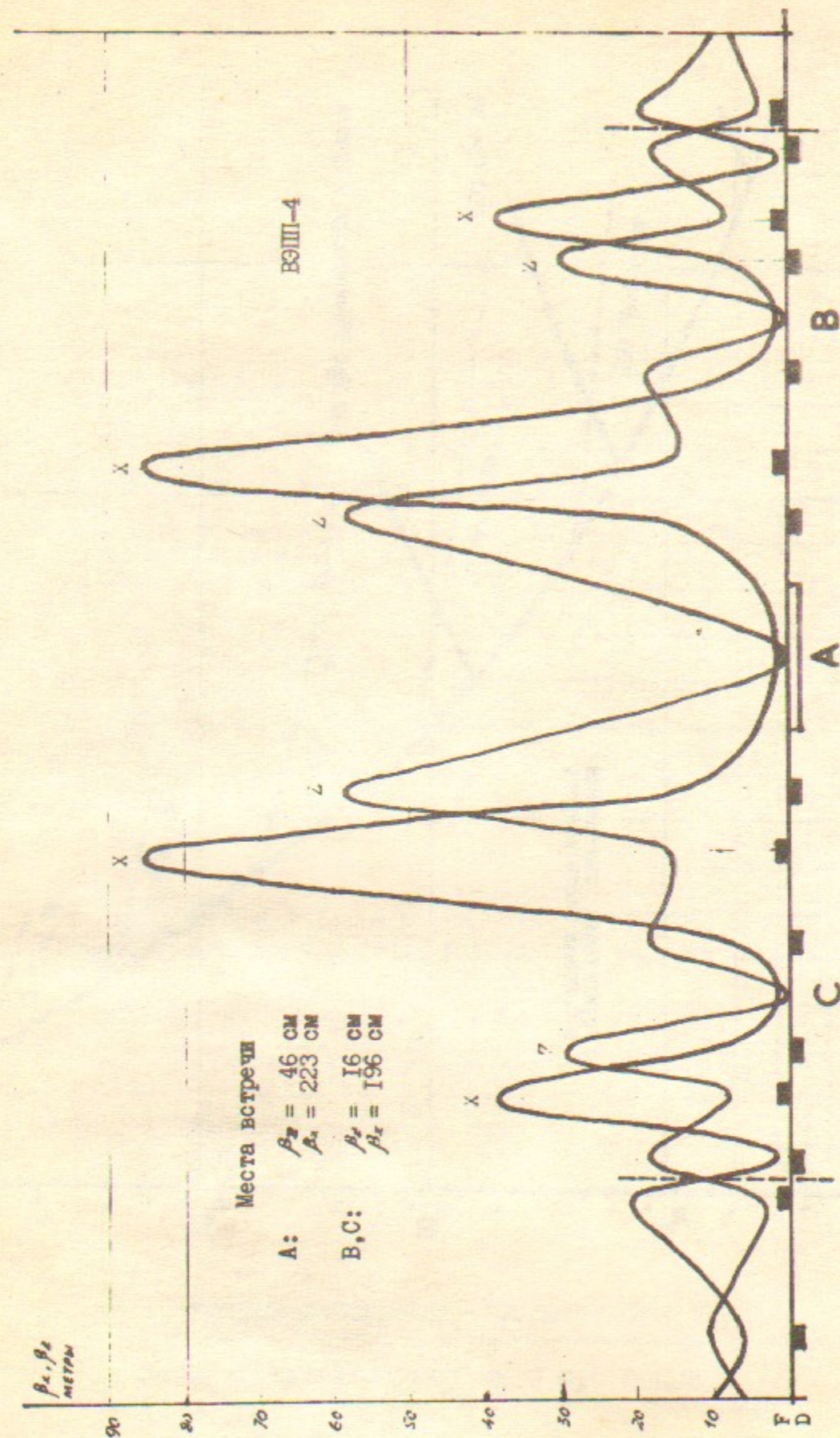
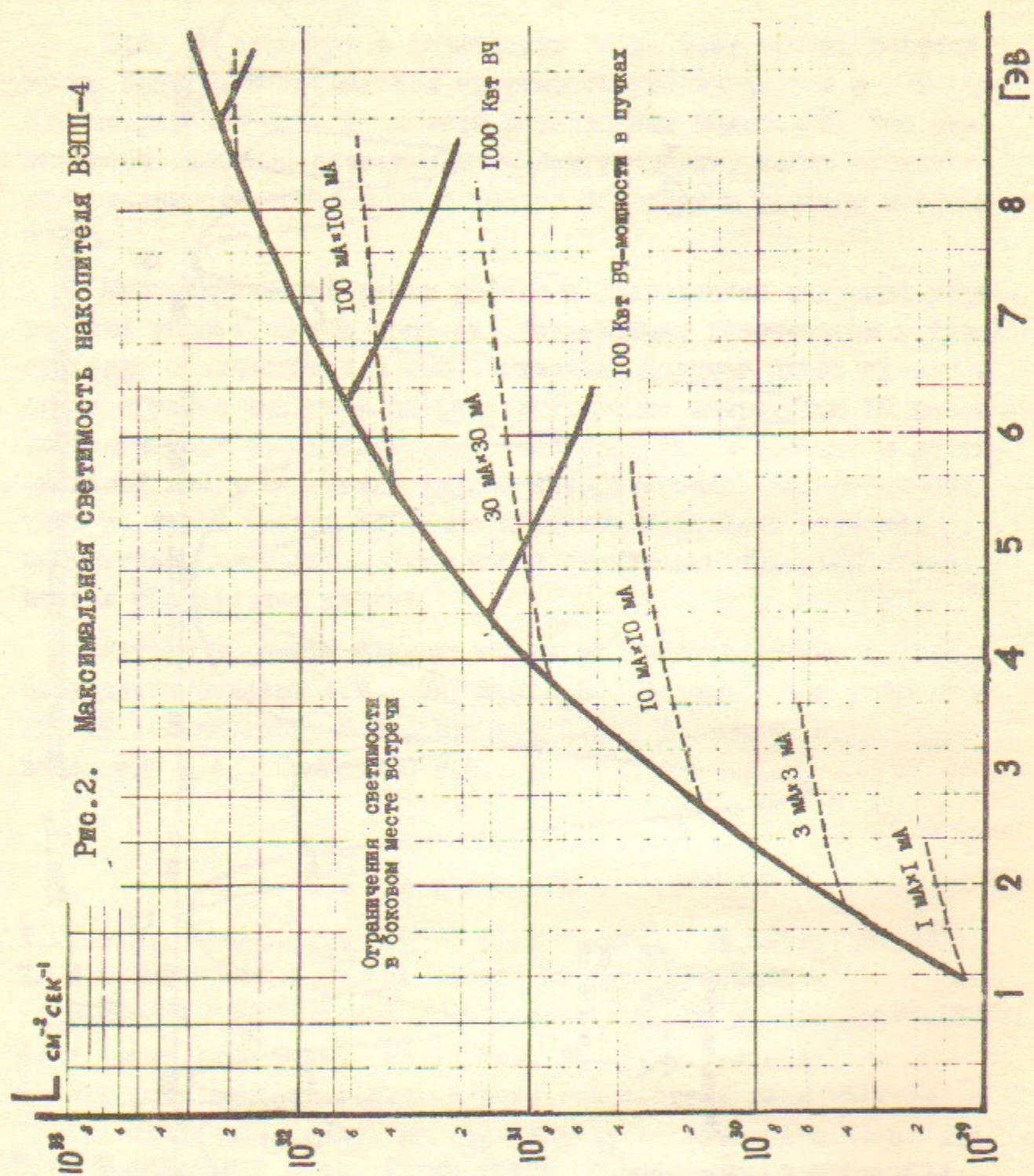


Рис.1. Экспериментальный промежуток ВЭШ-4



Работа поступила - 29 сентября 1976 г.

Ответственный за выпуск - С.Г.ПОПОВ
 Подписано к печати 22.XI-1976г. МН 03045
 Усл. 0,5 печ.л., 0,4 учетно-изд.л.
 Тираж 200 экз. Бесплатно
 Заказ № 110.

Отпечатано на ротапринтере ИЯФ СО АН СССР