

Российская академия наук
Министерство науки и технической политики Российской Федерации
Министерство Российской Федерации по атомной энергии
Объединенный институт ядерных исследований

**XIV СОВЕЩАНИЕ
ПО УСКОРИТЕЛЯМ
ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

*Институт физики высоких энергий, Протвино
25-27 октября 1994 года*

**Сборник докладов
в 4-х томах**

Том I

Протвино 1994

РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ ЭЛЕКТРОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Мешков И.Н., Поляков В.Н., Смирнов А.В., Степашкин О.Г., Сыресин Е.М.

ОИЯИ, Дубна, Россия

Быковский В.Ф., Лапик Р.М.

ФТЦ ИЯФ СО РАН, Липецк, Россия

Боссер Ж., Лей Р., Транквиль Ж

ЦЕРН, Женева, Швейцария

Накопители тяжелых заряженных частиц с электронным охлаждением действуют в одиннадцати научных центрах мира. В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ ведутся работы над проектом ускорительно-накопительного комплекса К4-К10 [2] с использованием электронного охлаждения.

В коллаборации между ЦЕРНом, Лабораторией ядерных реакций ОИЯИ и Физико-технологическим центром ИЯФ СО РАН выполняются работы по совершенствованию системы электронного охлаждения антипротонного накопителя LEAR в ЦЕРНе и по формированию холодных интенсивных пучков, нейтрализованных по пространственному заряду.

В 1991-1993 годах на LEAR создана новая электронно-оптическая система, включающая электронную пушку, коллектор электронов и систему нейтрализации пространственного заряда пучка.

1. Коллектор электронов

Первым элементом новой электронно-оптической системы на LEAR был коллектор электронов [3], коллектор предназначен для рекуперации широкоапертурных электронных пучков с диаметром до 5 см, энергией электронов до 30 кэВ и током пучка до 3 А. Коллектор представляет собой цилиндр Фарадея с супрессорным электродом - "репеллером". Перед входом в коллектор установлена катушка магнитного поля, усиливающая магнитную пробку для вторичных электронов, вылетающих из коллектора. В поле репеллера и пространственного заряда пучка образуется электростатический барьер, препятствующий выходу вторичных электронов. Совместное действие электростатического барьера и магнитной пробки и определяет эффективность захвата пучка. Зависимость тока потерь от энергии электронов для пучка с первеансом $0.5 \mu\text{A} / B^{3/2}$ приведена на рис.1. Ток потерь в зависимости от энергии электронов составляет $\Delta I / I = 10^{-4} - 10^{-6}$ от тока пучка, что позволяет иметь вакуум в системе лучше чем 10^{-11} Торр.

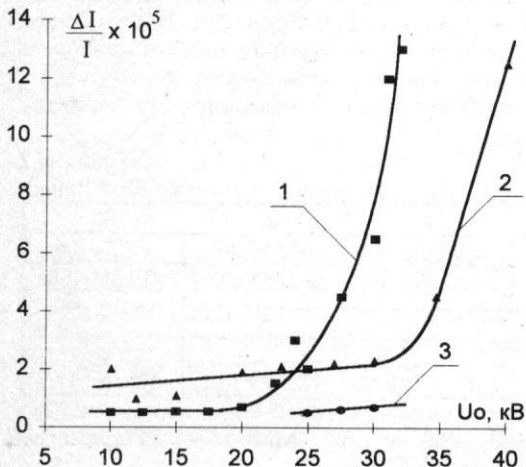


Рис.1. Зависимость тока потерь от напряжения для пучка с первеансом $0.52 \mu\text{A} / B^{3/2}$:

1. $H_c = 420 \text{ Гс}, H_{kol} = 1050 \text{ Гс},$

$p = 5 \cdot 10^{-8} + 6 \cdot 10^{-7} \text{ Торр}$

2. $H_c = 516 \text{ Гс}, H_{kol} = 1050 \text{ Гс},$

$p = 1.5 \cdot 10^{-8} \text{ Торр}$

3. $H_c = 516 \text{ Гс}, H_{kol} = 1050 \text{ Гс},$

$p = 5 \cdot 10^{-8} + 6 \cdot 10^{-7} \text{ Торр}$

Таблица 1
Сравнение электронного и стохастического охлаждений на LEAR

Система охлаждения	Электронное охлаждение	Стохастическое охлаждение
Монохроматичность ионов $\Delta P/P$ после охлаждения	0.05 %	0.2 %
Поперечный эмиттанс мм ² мрад	3 π	10 π
Время жизни ионов при $P=105$ МэВ/с, час	24	6
Время охлаждения, с	15	300

2. Электронная пушка

Новая пушка [4], разработанная для системы электронного охлаждения LEAR, была создана для формирования интенсивных холодных пучков при низкой энергии и выполнена по схеме адиабатической оптики (рис.2). Особенностью данной конструкции является возможность ее использования в относительно низком магнитном поле $H=600$ Гс и наличие управляющего электрода.

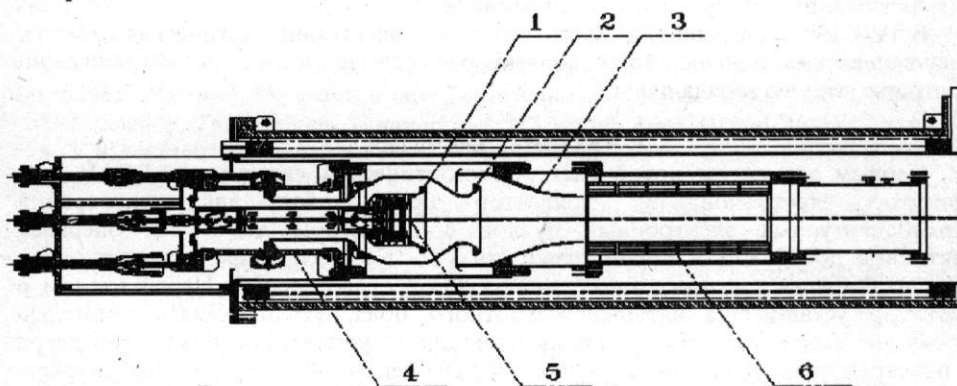


Рис.2. Конструкция электронной пушки LEAR. 1 - фокусирующий электрод, 2 - управляющий электрод, 3 - анод, 4 - высоковольтные изоляторы, 5 - катод, 6 - насос типа "нераспыляемый геттер".

Пушка создает качественно новые возможности в работе системы электронного охлаждения LEAR: оперативные выключения электронного пучка без возмущения ионного пучка, циркулирующего в накопителе; существенное увеличение тока электронного пучка при энергии электронов ниже 20 кэВ, что позволяет уменьшить время охлаждения; управление током электронного пучка в процессе охлаждения. Были развиты специальные методы контроля качества пучка [5, 6].

Таблица 2
Параметры электронной пушки

Энергия электронов, кэВ	2.3	7	20	30
Ток пучка, А	0.01÷0.53	0.07÷2.93	0.35÷2.83	0.65÷2.6
Первеанс, $\mu\text{A}/\text{V}^{3/2}$	0.125÷5.0	0.125÷5.0	0.125÷1.0	0.125÷0.5
Диаметр пучка, см	5	5	5	5
Потенциал управляющего электрода, кВ	-1.45÷+8.1	-4.3÷+25.6	-12.5÷+11.5	-18.6÷+17.3

Первые эксперименты по охлаждению с новой пушкой были выполнены для протонных пучков с импульсами 300, 200 и 100 МэВ/с [4]. Параметры электронного и протонного пучков приведены в Таблице 3.

Таблица 3
Параметры электронного и протонного пучков

Энергия электронов, кВ	27	11.6	2.9
Ток электронного пучка, А	2.5	0.65	0.08
Импульс протонов, МэВ/с	300	200	100
Число протонов в пучке	$2 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{10}$	
Разброс по импульсам после охлаждения, $\Delta P/P$	$\pm 1.5 \cdot 10^{-4}$	$\pm 1 \cdot 10^{-4}$	$\pm 1 \cdot 10^{-4}$
Время охлаждения по продольным импульсам, сек	3		
Время охлаждения по поперечным импульсам, сек	15		
Эмиттанс охлажденного пучка	4π		
Время жизни протонного пучка, час	20		

3. Нейтрализация объемного заряда пучка

Чтобы уменьшить время охлаждения, требуются интенсивные электронные пучки с первенсом $1 - 5 \mu\text{A} / \text{В}^{3/2}$. Однако дрейфовая скорость электронов, обусловленная их пространственным зарядом, сдерживает возможности охлаждения ионов интенсивными электронными пучками. Чтобы обойти это ограничение, необходимо использовать электронные пучки, нейтрализованные по пространственному заряду. Для формирования нейтрализованных пучков использованы специальные электростатические ловушки - так называемые "ловушки Пархомчука" [7, 8] (рис.3). Каждая ловушка состоит из двух полуцилиндрических электродов, между которыми вставлено проводящее стекло. К электродам приложено положительное напряжение разной величины. В результате ионы, образующиеся при ионизации остаточного газа электронами пучка, оказываются запертыми между пробками, а ионизационные электроны удаляются из системы в результате дрейфа в продольном магнитном и поперечном электростатическом поле электродов.

Параметры нейтрализованных пучков, достигнутые в экспериментах на стенде и системе электронного охлаждения LEAR, приведены в таблице 4.

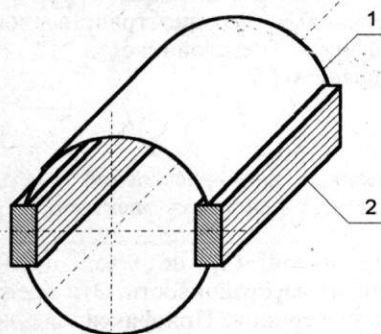


Рис.3. Схема электростатических пробок.
 1 - электроды, 2 - проводящее стекло.

Таблица 4
Параметры нейтрализованных электронных пучков

	LEAR	СТЕНД
Энергия электронов, кэВ	3 - 28	2 - 10
Ток пучка, А	0.1 - 1.5	0.1 - 2
Напряженность магнитного поля, Гс	500 - 600	400 - 550
Длина системы нейтрализации, м	3	2.5
Давление в системе, Торр	$10^{-11} \div 4 \cdot 10^{-11}$	$3 \cdot 10^{-9} \div 3 \cdot 10^{-6}$
Степень компенсации	80 - 90%	70 - 95%

Характер процессов нейтрализации заряда пучка в стендовых экспериментах и на LEAR близок между собой. Для измерения степени нейтрализации в экспериментах на LEAR использована диагностика Шоттки и время-пролетный метод [8, 9], в стендовых экспериментах степень нейтрализации измерена с диагностическим электронным пучком [9]. Диагностический пучок (рис.4) распространяется вдоль основного пучка. Он дрейфует в азимутальном направлении в электрическом поле основного пучка и продольном магнитном поле. Для компенсации этого дрейфового движения используются электроды. Полная компенсация азимутального смещения происходит только при фиксированном значении напряжения на электродах

$$U_{com} = \frac{2I L d}{v r l} (1 - \eta) \quad (1)$$

здесь I - ток пучка, v - скорость электронов, η - степень нейтрализации заряда пучка, L - расстояние между пушкой и коллектором диагностического пучка, l - длина компенсирующих электродов, d - расстояние между ними, r - расстояние между осями основного и диагностического пучков. Степень нейтрализации определяется из измерений напряжения на компенсирующих электродах.

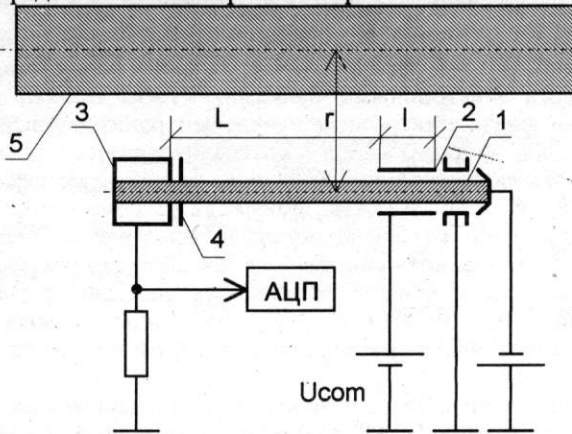


Рис.4. Схема измерения степени нейтрализации с диагностическим электронным пучком: 1 - диагностический пучок, 2 - компенсирующие электроды, 3 - коллектор электронов диагностического пучка, 4 - вырезающая щель на входе в коллектор, 5 - первичный пучок.

Генерация

интенсивных электронных пучков, нейтрализованных по пространственному заряду, ограничена развитием пучково-дрейфовой неустойчивости [7, 9]. Предельная плотность тока определяется соотношением [7]

$$J_{max} = k \frac{v^2 H}{Lc} \quad (2)$$

здесь H - напряженность магнитного поля, L - расстояние между электростатическими пробками, c - скорость света, v - скорость электронов, k - численный коэффициент.

Однако зависимость, представленная формулой (2) не дает полной информации о влиянии ряда параметров на развитие неустойчивости. Это прежде всего касается давления и плотности вторичных электронов. При фиксированной энергии электронов давление в системе электронного охлаждения LEAR является основным параметром, который определяет предельную плотность тока нейтрализованных пучков в устойчивом состоянии. Зависимость верхнего и нижнего предельного тока от ускоряющего напряжения для устойчивого состояния приведена на рис.5. При увеличении давления с $1 \cdot 10^{-11} + 2 \cdot 10^{-11}$ Торр до $4 + 6 \cdot 10^{-11}$ Торр верхний порог устойчивого состояния по плотности тока увеличивается в 1.5-2 раза. Существование нижнего порога устойчивого состояния по плотности тока нейтрализованного пучка связано с подавлением затухания Ландау для пучков с низкой плотностью [7, 9]. Степень нейтрализации пространственного заряда между нижним и верхним порогами для электронных

пучков с первансом $0.1 \div 0.7 \mu A/B^{3/2}$ и энергией электронов $3 \div 27 \text{кэВ}$ составляет $0.8 \div 0.95$. Формирование более устойчивых интенсивных пучков, нейтрализованных по пространственному заряду затруднено вследствие развития пучково-дрейфовой неустойчивости.

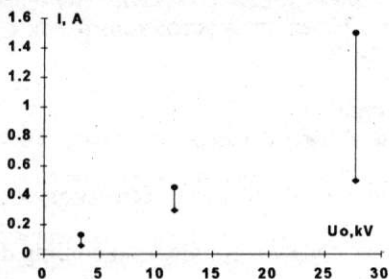


Рис.5. Зависимость верхнего (●) и нижнего (♦) порогового тока развития неустойчивости от ускоряющего напряжения $H=600 \text{Гс}$.

4. Подавление обратной связи

Развитие пучково-дрейфовой неустойчивости обусловлено обратной связью, осуществляемой вторичными электронами [7]. Нейтрализованный электронный пучок устойчив, когда коэффициент усиления волн и коэффициент обратной связи ξ удовлетворяет условию $K\xi \ll 1$. Коэффициент обратной связи определяется в первую очередь вторичными электронами, вылетающими из коллектора: $\xi = n_{\text{sec}}/n_b \approx 10^{-4} \div 10^{-3}$. Здесь n_{sec} , n_b - плотность электронов, вылетающих из коллектора и плотность пучка.

Чтобы снизить поток вторичных электронов, достигающих промежутка нейтрализации между коллектором и коллекторной пробкой, могут быть установлены чистящие электроды. Конструкция чистящих электродов показана на рис.6. Вторичные электроны, вылетающие из коллектора, дрейфуют в поперечном электрическом поле чистящих электродов и продольном магнитном поле. Они попадают на электроды за один пролет, не достигнув промежутка нейтрализации.

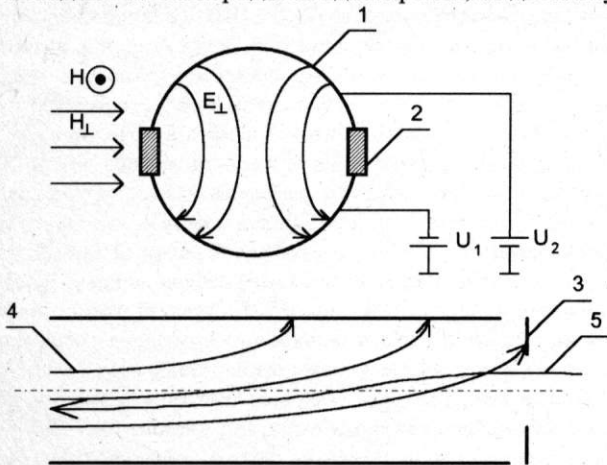


Рис.6. Схема чистящих электродов. 1 - электроды, 2 - проводящее стекло, 3 - экран, 4 - траектории вторичных электронов, 5 - траектории первичных электронов, E_{\perp} , H_{\perp} - поперечное электрическое и магнитное поля.

Чистящие электроды не должны возмущать траектории электронов пучка. Для компенсации дрейфового движения этих электронов между электродами служит поперечное магнитное поле $H_{\perp} = E_{\perp}/\beta$, где E_{\perp} - поперечное электрическое поле электродов, $\beta = v/c$. Смещение электронов внутри электродов определяется соотношением

$$\Delta = \frac{L_{cl}}{H} \left(\frac{E_{\perp}}{\beta} \pm H_{\perp} \right), \quad (3)$$

здесь знак "+" для вторичных электронов, "-" - для электронов пучка. Таким образом, чистящие электроды позволяют удалять вторичные электроны, не возмущая в первом порядке траектории первичных электронов.

Первые эксперименты с чистящими электродами проведены на стенде при давлении $3 \cdot 10^{-8} \div 10^{-7}$ Торр, при энергии электронов 2+4кэВ. Использование чистящих электродов позволило увеличить предельный устойчивый ток с 400mA до 550mA для пучка с энергией электронов 2кэВ.

Литература

1. И.Н. Мешков, "Электронное охлаждение - статус и перспективы", ЭЧАЯ, т25, N6, 1994
2. "Накопительный комплекс тяжелых ионов K4-K10", ред. Тер-Акопян, Дубна, 1992
3. J. Bosser, R. Ley, G. Tranguille et al "The new collector for electron cooling device at LEAR", NIM A311, 1992, p.465
4. J. Bosser, R.M. Lapik, R. Ley, et al, "The variable current gun: the parameter test and the results of the first electron cooling experiments at LEAR", NIM A311, 1994, CERN/PS 94-10(AR)
5. R. Lapik, I. Meshkov, V. Mozgunov et al "The measurement of transversal and longitudinal velocities of electron beam" Workshop on beam cooling and related topics, Montreux, Switzerland, October, 1994, p.164
6. V. Golubev, I. Meshkov, V. Polyakov et al, "The optical analysis of the electron beam temperature Workshop on beam cooling and related topics, Montreux, Switzerland, October, 1994, p.159
7. А.В. Буров, В. Куделайнен, В. Лебедев и др., "Экспериментальное исследование компенсированного электронного пучка", Препринт ИЯФ 89-116, 1989
8. J. Bosser, D. Mohl, G. Tranguille et al, "Neutralization of the LEAR E-cool Electron beam space charge" CERN/PS 93-41
9. J. Bosser, R. Ley, I. Meshkov et al, "Electron cooling with neutralised electron beam", CERN/PS 94-20(AR)

Фотонный Линейный Коллайдер на Основе ВЛЭППа

Александров В.А., Балакин В.Е., Кушниренко Е.А.,
Серый А.А., Соляк Н.А.

*Филиал Института ядерной физики
142284 Протвино, Московская обл., Россия*

Введение

Одним из возможных режимов работы линейного коллайдера является режим встречных фотон-фотонных пучков. При этом электроны или позитроны высокой энергии непосредственно перед местом встречи конвертируются в гамма-кванты. Предложение Фотонного Линейного Коллайдера (ФЛК) было сделано в работе [2] и было в дальнейшем развито во многих работах, например [6], [10].

Рассмотренный в этой работе фотон-фотонный коллайдер не предусматривает его электрон-позитронный вариант. Это упростит его реализацию и даст возможность достичь большей светимости. Максимальная энергия фотонов рассмотренного варианта ФЛК выбрана равной 100×100 ГэВ. Этот диапазон энергий хорошо изучен в электрон-позитронных столкновениях, но гамма-гамма столкновения, особенно с учетом высокой светимости (до $10^{36} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$), могут дать интереснейшую физику [8].

Характеристики ФЛК с предельной светимостью

Существенным обстоятельством для фотонного коллайдера является отсутствие эффектов встреч. Поэтому светимость фотонного коллайдера пропорциональна произведению полной мощности на число частиц в сгустке (тогда как для e^+e^- коллайдера светимость пропорциональна просто полной мощности). То есть сверхвысокая $\gamma\gamma$ светимость может быть достигнута при использовании сгустка с большим зарядом, откуда следует что концепция ВЛЭППа [1, 7] с односгустковым пучком большого заряда наиболее адекватна использованию ее в качестве основы для линейного коллайдера. При дальнейшем росте заряда пучка начинают работать другие ограничения. В частности, максимальная $\gamma\gamma$ светимость для нашего случая ограничена пороговым процессом рождения e^+e^- пар гамма-квантом в поле остаточных электронных пучков [5].

После конверсии фотоны высокой энергии получают дополнительный угол примерно равный $1/\gamma$ относительно первоначального направления движения электронов, приводя к увеличению размеров сталкивающихся пучков, пропорциональному расстоянию от точки конверсии до места встречи $S_{\text{conv.}-I.P.}$. Эмиттансы электронных пучков, показанные в Таблице 1, малы, поэтому расстояние $S_{\text{conv.}-I.P.}$ для этих параметров должно быть примерно равно длине сгустка. На такой короткой длине невозможно обеспечить разведение пучков после конверсии с помощью внешнего поля, тем не менее, остаточные электронные пучки практически не сталкиваются, так как параметры выбраны таким образом, чтобы разведение осуществлялось собственным полем пучков. То есть, подавление паразитных $e\gamma$ светимостей для этого варианта коллайдера обеспечивается за счет неустойчивости, приводящей к расталкиванию пучков. Таким образом высокая светимость фотонных столкновений может быть достигнута только если отказаться от попыток отвести остаточные электронные пучки от места встречи. Это к тому же улучшает условия работы детектора, поскольку в него не нужно вставлять магнитов, создающих поперечное поле в месте встречи.

Для получения фотонов высокой энергии используется обратное комптоновское рассеяние низкоэнергетичных фотонов на электронах. Длину волны этих фотонов удобно

Таблица 1. Параметры ФЛК с предельной светимостью.

Энергия электронов \ фотонов, ГэВ	$2 \times 120 \setminus 2 \times 100$
Интеграл светимости $\gamma\gamma$, $\text{см}^{-2} \text{сек}^{-1}$	1.5×10^{36}
$L_{\gamma\gamma}$ в 20% $\delta E/E$, $\text{см}^{-2} \text{сек}^{-1}$	2.0×10^{35}
Частота повторения, Гц	900
Длина волны линака, см	4.2
Число электронов в сгустке	4×10^{11}
Размеры пучков σ_x , мм $\sigma_x \setminus \sigma_y$, $\mu\text{м}$	$0.75, 0.2 \setminus 0.0038$
Бета функции $\beta_x \setminus \beta_y$, мм	$0.7 \setminus 0.35$
Эмиттансы электронов $\gamma\epsilon_x \setminus \gamma\epsilon_y$, m-rad	$2 \times 10^{-5} \setminus 0.7 \times 10^{-8}$
Коэффициент конверсии	0.7
Расстояние конверсия - I.P., мм	1.0
Disruption $D_x \setminus D_y$	$150 \setminus 7300$

выбрать равной 0.53 мкм ($\omega_0 = 2.34$ эВ, вторая гармоника Nd лазера). При этом параметр $x = 4E_0\omega_0/m^2 \approx 4.3$, то есть конкурирующий процесс образования e^+e^- пар при взаимодействии фотонов низкой энергии с гамма-квантом находится ниже порога [4]. Для достижения необходимого коэффициента конверсии исходный сгусток фотонов низкой энергии должен иметь большую плотность и малую длительность. Необходимая мощность вспышки равна 300 ГВт [10], что может быть получено при использовании ЛСЭ [3]. Возможная схема ЛСЭ представлена в [10].

Спектры пучков электронов и гамма-квантов после конверсии определяются кинематикой. При определении числа гамма-квантов нужно учитывать вероятность многократного рассеяния фотонов на том же самом электроне. Для наших параметров число гамма-квантов при учете многократного комптона примерно в 2.3 раза больше чем для однократного, причем в основном за счет малых энергий, а электронный спектр также протягивается в область более низких энергий. На рис.1 показаны дифференциальные светимости $\gamma\gamma$, $e\gamma$ и ee . Видно, что максимальное подавление фоновых светимостей составляет почти четыре порядка.

Фоновые условия и оптимизированная схема места встречи для коллайдера с предельной светимостью рассмотрены в работах [12], [13]. Там, в частности, показано, что отработанные первичные пучки, т.е. электроны и гамма кванты могут быть выведены за пределы детектора, если использовать столкновение под углом с $\theta_c = 30$ мрад. Наличие паразитной светимости ee и $e\gamma$ приводит к рождению e^+e^- пар, небольшое число которых может иметь большие углы и попадать в детектор [13]. Уменьшение числа вторичных пар можно обеспечить при улучшении подавления фоновых светимостей.

Дополнительное подавление ee и $e\gamma$ светимостей можно получить, если стимулировать развитие пучок-пучковой неустойчивости, для чего нужно, чтобы до столкновения (и до конверсии) головной участок одного пучка был бы смещен вверх, а для встречного - вниз. После конверсии форма электронного пучка будет воспроизведена пучком гамма-квантов, поэтому это даст дополнительное подавление как ee , так и $e\gamma$ светимостей. При $D_y \gg 1$ этот способ дает полное подавление ee столкновений. Для полного подавления $e\gamma$ столкновений требуется также $D_x < 1$ [11].

Необходимое смещение головы пучка может быть получено при помощи пучков, в которых энергия частиц коррелирована с продольной координатой и нелинейной вертикальной дисперсионной функции в месте встречи. На рис.2 показаны факторы подавления фоновых ee и $e\gamma$ светимостей в зависимости от D_y для обычного столкновения и для столкновения со смещенными вверх и вниз головными участками. Использовались пучки с $D_x = 1$, с гауссовым продольным и поперечным распределением и линейным изменением энергии вдоль сгустка, а нелинейная вертикальная дисперсия в месте встречи $M_{y\delta\delta\delta}$ достигалась соответствующим смещением линз финального телескопа ($M_{y\delta}$ и $M_{y\delta\delta}$ при этом были

занулены). Величина $M_{y\delta\delta\delta}$ была такой, что для частиц с координатой $s = \sqrt{3}\sigma_z$ отклонение составляло примерно $5\sigma_y^*$. Для пучка фотонов не учитывалось увеличение углов при конверсии. Видно, что может быть получено значительное дополнительное уменьшение фоновых светимостей, тогда как основная $\gamma\gamma$ светимость уменьшается всего на 30%. Конечно, реальные фоновые светимости будут зависеть от деталей распределения частиц в пучках, от того, имеет ли пучок гало (как поперечное, так и продольное), и т.д. Тем не менее ясно, что этот способ значительно улучшает фоновые условия работы детектора.

На рис.3 показана принципиальная схема места встречи ФЛК. Для обеспечения эффективной конверсии излучения лазера в жесткие γ -кванты лазерный пучок фокусируется на электронный пучок. Для оптимизации размера фотонного пучка на последнем фокусирующем зеркале, используется слабодофокусирующее зеркало на выходе ЛСЭ.

При определении структуры места встречи было учтено угловое и энергетическое распределение отработанных пучков. В [11] показано, что спектр электронов после конверсии с учетом многократного Комптоновского рассеяния и после столкновения с учетом синхротронного излучения резко обрывается при энергии меньше, чем примерно 3% от максимальной. Частицы низкой энергии будут наиболее сильно отклоняться полем встречного пучка. Оценки показывают, что максимальный угол отклонения этих частиц в поле пучка будет около 30 мрад. Численное моделирование дает близкие результаты. То есть все частицы отработанных первичных пучков могут быть удалены за пределы детектора, если пучки будут сталкиваться с углом $\theta_c = 30$ мрад [11], [12].

Финальные линзы коллайдера должны иметь минимальный размер. Например можно использовать сверхпроводящий финальный квадруполь, сформированного четырьмя прямыми стержнями, что позволит максимально уменьшить объем линзы [15]. Тем не менее железная линза специальной конструкции также может быть использована. Таким образом, наличие угла между сталкивающимися пучками и линзы с малыми поперечными размерами позволяют избежать столкновений отработанных первичных пучков с элементами коллайдера. Однако многочисленные вторичные e^+e^- пары, рожденные при столкновении, могут иметь намного большие углы [13]. Продольное поле детектора может удалить низкоэнергичную часть этих частиц. Чтобы предохранить детектор от вторичных частиц, рожденных при столкновении частиц с элементами коллайдера, может использоваться специальная защитная маска [14]. Половина угла раскрытия конуса маски должна быть примерно 200 – 300 мрад при наших параметрах.

Рассмотрим утилизацию отработанных пучков. После взаимодействия разрушенные пучки первичных электронов будут направлены в поглотитель. Отработанный высокоэнергичный γ пучок имеет высокую плотность энергии и не может быть направлен непосредственно в поглотитель. Этот пучок через отверстие в поглотителе электронов выщупывается в конвертор, состоящий из объема с водой, насыщенным газом, который окружен толстым стальным или свинцовым слоем. Насыщение воды пузырьками газа уменьшит проблему ударных волн в воде после прохождения пучка. Несколько десятков метров воды достаточно для конверсии γ пучка в e^+e^- пары. Получившийся пучок пар может быть затем направлен в обычный поглотитель из тяжелого металла, поскольку плотность энергии будет уже достаточно мала. Область детектора и область конвертера будут разделены бериллиевой фольгой. Расстояние от места встречи до фольги может быть около 20 метров. Толщина фольги может быть около 50 $\mu\text{м}$. Принимая во внимание вероятность конверсии в пары на фольге, скорость потерь энергии парами в фольге и радиальную теплопроводность фольги, можно заключить, что увеличение температуры фольги будет пренебрежимо мало. Необходимо заметить, что можно изменить эту схему так, чтобы иметь только один поглотитель из тяжелого металла со вставкой из насыщенной пузырьками газа воды в центральной части.

Заключение

В работе рассмотрены возможные параметры ФЛК с предельно высокой светимостью, базирующегося на физике и технологии проекта ВЛЭПП. При энергии фотонов 100×100 Gev максимальная светимость достигает 1×10^{36} см⁻² сек⁻¹. Выбранная энергия является минимально возможной, при которой может быть получена интересная физика. Отказ от электрон-позитронной основы рассматриваемого коллайдера позволяет более адекватно выбрать его параметры и упростить реализацию. Предельная $\gamma\gamma$ светимость может быть достигнута при использовании одиночного сгустка с большим зарядом, как это предполагалось делать в проекте ВЛЭПП. Для достижения предельной светимости необходимо, чтобы точка конверсии была расположена как можно ближе к месту встречи, что исключает возможность отвода электронных пучков после конверсии от места встречи с помощью внешнего поля. Тем не менее, подавление паразитных ee и $e\gamma$ светимостей осуществляется благодаря сильным эффектам встреч. Факторы подавления фоновых светимостей составляют несколько порядков. При необходимости еще более значительного подавления фоновых светимостей можно использовать столкновение пучков со смещенными головами, что может практически исключить паразитные ee и $e\gamma$ столкновения. Рассмотрена также возможная схема места встречи. В работе показано также, что проблема удаления отработанных пучков может быть успешно решена.

References

- [1] Балакин В.Е., Будкер Г.И., Скринский А.Н. *О Возможности Создания Установки со Встречными Электрон-Позитронными Пучками на Сверхвысокие Энергии*. VI Всесоюзная конференция по ускорителям заряженных частиц. Дубна 1978 год.
- [2] Гинзбург И.Ф., Коткин Г.Л., Сербо В.И., Тельнов В.И. Письма в ЖЭТФ 34 (1981) 514, Препринт ИЯФ 81-50, Новосибирск 1981.
- [3] Кондратенко А.М., Пахтусова Е.В., Салдин Е.Л. Препринт ИЯФ 81-130, Новосибирск 1981, Доклады Академии Наук 264 (1982) 849.
- [4] Ginzburg I.F., Kotkin G.L., Serbo V.I., Telnov V.I. Nucl. Instr. Meth., 205 (1983) 47.
- [5] Chen P., Telnov V., *Coherent Pair Creation in Linear Colliders*, SLAC-PUB-4923, March 1989.
- [6] Telnov V.I., $\gamma\gamma$, γe collision at Linear Colliders, in proc. of the Physics and Experiments with Linear Colliders Workshop, Saariselka 1991.
- [7] Balakin V.E. *The VLEPP Status*. Proc. of 4rd Intern. Workshop on Next-Gener. Linear Collider, Garmish, (1992).
- [8] Balakin V.E., Ginzburg I.F. *The Possible Photon Collider with c.m.s. Energy in the Range of 100 - 200 GeV and Its Physical Potential*. report on the 2nd Intern. Worksh. on Physics and Experiments with Linear Colliders, Waikoloa, Hawaii, 1993.
- [9] Балакин В.Е., Серый А.А. *Статус ВЛЭПП. Фотонный Коллайдер на Базе Проекта ВЛЭПП*. доклад на совещании Физика на ВЛЭПП 93, Звенигород, 1993.
- [10] Alexandrov V.A., Balakin V.E., Kushnirenko E.A., Sery A.A., Solyak N.A., Yurkov M.V. *Photon Linear Collider 100 x 100 GeV Based on the VLEPP Physics and Technology*. in proc. of LC Workshop, Stanford, 1993.
- [11] Balakin V.E., Sery A.A. *VLEPP based Photon Linear Collider 100x100 GeV with Ultimate Luminosity*. Gamma-Gamma Workshop, Berkeley 1994.
- [12] Alexandrov V.A., Kushnirenko E.A., Sery A.A., Solyak N.A. *Interaction Region Layout of the VLEPP based Photon Linear Collider with Ultimate Luminosity*. In proc. of the Gamma-Gamma Workshop, Berkeley 1994.
- [13] Kushnirenko E., Likhoded A., Sery A. *Charged Particles Background due to Electromagnetic Processes at VLEPP based Photon Linear Collider with Ultimate Luminosity*. Gamma-Gamma Workshop, Berkeley 1994.
- [14] Tauchi T. *The e^+e^- Pair Background and Masking*. Final focus and Interaction Region Workshop, SLAC, March 2-6, 1992.
- [15] Kushnirenko E.A., Mikhailichenko A.A., Sery A.A. *Superconducting Final Focusing Quad for Linear Collider* Preprint INP 92-35, Novosibirsk 1992.

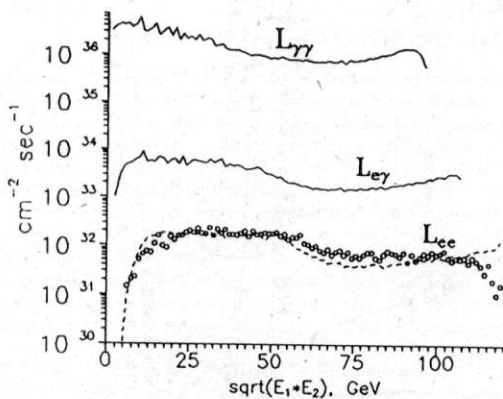


Рис.1 Дифференциальные светимости столкновения.

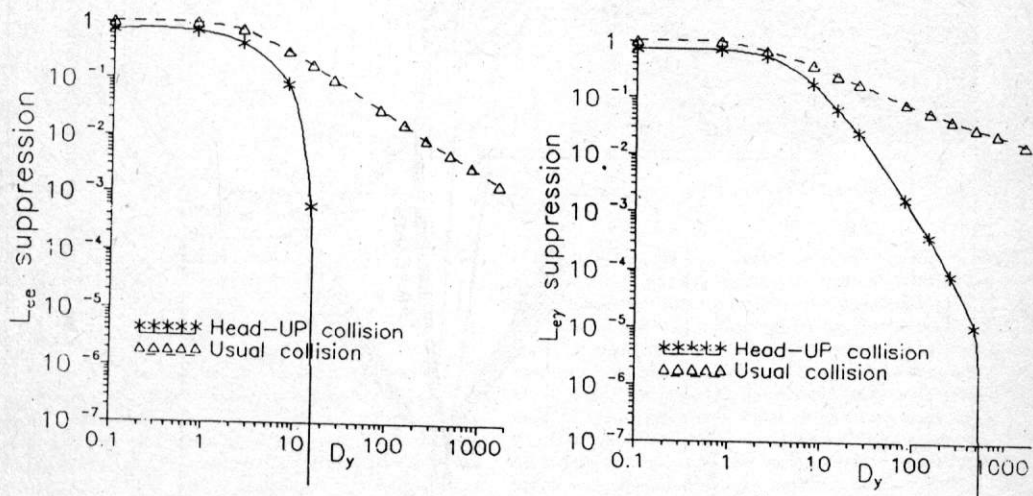


Рис.2 Факторы подавления фоновых ee и $e\gamma$ светимостей в зависимости от D_y для обычного столкновения и для столкновения со смещенными вверх и вниз головными участками. Для $D_x = 1$ и $\beta_y^*/\sigma_z = 3$.

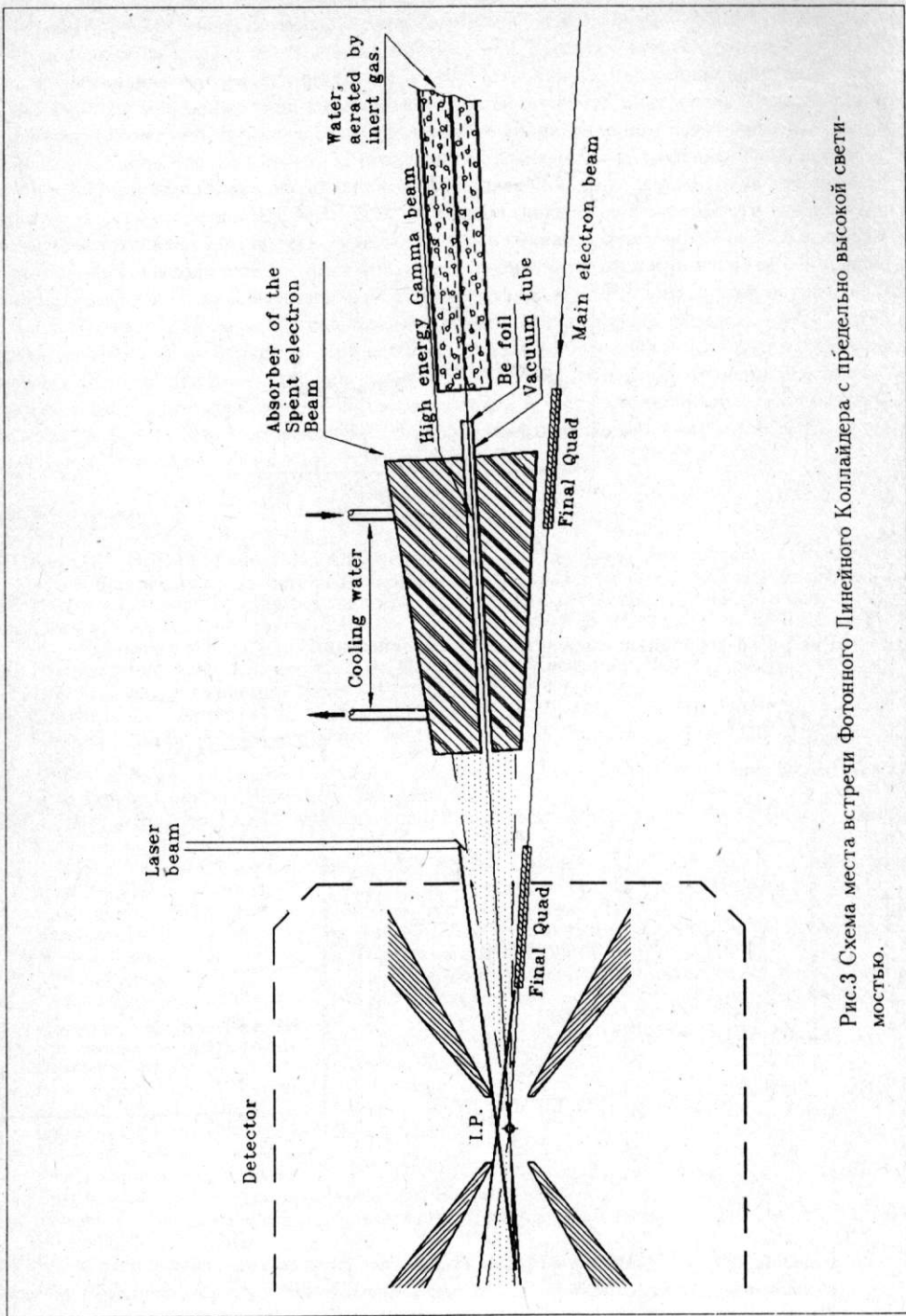


Рис.3 Схема места встречи Фотонного Линейного Коллайдера с предельно высокой светимостью.