

●Источник гамма излучения для научных и технологических целей на основе обратного комптоновского рассеяния

Е.В.Буляк, П.И.Гладких, И.М.Карнаухов, С.Г.Кононенко, В.И.Лапшин, А.О.Мыцыков, Ю.Н.Телегин, А.А.Щербаков, А. Ю.Зелинский

ИФВЭЯФ ННЦ ХФТИ, г. Харьков

●1. ВВЕДЕНИЕ

Обратное рассеяние фотонов релятивистским электронным пучком (обратное комптоновское рассеяние) приводит к существенному увеличению энергии фотонов. Однако, использование этого процесса для генерации пучков жестких гамма-квантов является чрезвычайно малоэффективным из-за малого сечения парного электрон-фотонного рассеяния.

В 1996 году В. Тельнов предложил механизм, позволяющий существенно увеличить эффективность таких источников [1]. В процессе обратного рассеяния фотонов на релятивистских электронах происходит значительная потеря энергии электронов (до 90 % при энергии электронного пучка $E_0=6$ ГэВ), при этом поперечный фазовый объем (эмиттанс) почти не меняется. Это приводит к многократному уменьшению приведенного эмиттанса в однократном процессе рассеяния. Для реализации этого эффекта необходим мощный когерентный источник фотонов (лазер) и создание специальных условий в области взаимодействия электронного и фотонного пучков.

Из-за сильной зависимости от энергии ($\sim\gamma^2$) потерь энергии электронов в процессе обратного комптоновского рассеяния этот метод охлаждения электронных пучков практически неприменим при малых энергиях. Huang, Ruth [2] предложили модифицировать метод Тельнова для охлаждения электронных пучков в диапазоне энергий от нескольких десятков до нескольких сот МэВ. В этом методе быстрое охлаждение электронного пучка в накопительном кольце осуществляется в процессе многократного взаимодействия циркулирующего пучка с интенсивным лазерным импульсом, запасенным в высокодобротном Фабри-Перо резонаторе.

Несмотря на простоту идей по созданию комптоновского источника, сам процесс лазерного охлаждения циркулирующих пучков является малоисследованным. С целью получения данных об особенностях этого процесса, в ННЦ ХФТИ начаты работы по проектированию модели комптоновского источника.

●2. СТРУКТУРА ФОКУСИРОВКИ НАКОПИТЕЛЬНОГО КОЛЬЦА

Предложенная в [2] схема генерации фотонных пучков, требующая энергии электронов 10...100 МэВ, может быть реализована на имеющемся в ННЦ ХФТИ электронном накопителе Н-100 [3]. На этой установке проводились исследования по динамике интенсивных пучков в накопителях, что позволило довести ток накопленного пучка до 3.5 А в диапазоне энергий 50..160 МэВ, проводились исследования на пучках синхротронного излучения в видимой и ВУФ областях спектра. Предлагается реконструировать Н-100 с целью обеспечения максимальной плотности пучка в области взаимодействия циркулирующего пучка с фотонами. С целью ускорения и удешевления экспериментов будут использованы в максимальной степени существующие магниты и другое электромагнитное оборудование.

Основным требованием к структуре фокусировки такого накопительного кольца является наличие места встречи с минимальными значениями амплитудных функций и возможность удержания в нем пучка с большим энергетическим разбросом и малыми продольными размерами. Реализация таких условий позволяет получить в месте взаимодействия электронный пучок высокой плотности, и, как следствие, увеличить выход фотонов обратного комптоновского рассеяния.

Нами проведены предварительные расчеты по выбору структуры фокусировки такого кольца. Его структура и амплитудные и дисперсионная функции приведены на рис.1, а основные параметры кольца приведены в табл.1. Накопитель представляет собой двухсуперпериодный рейстрек на основе существующих поворотных магнитов с местом встречи в центре длинного прямолинейного промежутка. Длинные прямолинейные промежутки используются для инжекции пучка и установки ускоряющих структур. Для компенсации естественной хроматичности кольца будут использованы секступольные поля, создаваемые в поворотных магнитах и квадрупольной линзе, расположенной в дисперсионном участке.

Малые значения амплитудных функций в месте взаимодействия электронного и лазерного пучков

вызывают необходимость жесткой фокусировки электронного пучка и естественная хроматичность кольца оказывается достаточно высокой. Для ее компенсации необходимо введение сильных секступольных полей. Эти поля приводят к возникновению нелинейных резонансов связи, уменьшающих область устойчивого движения электронов в накопителе-динамическую апертуру кольца. Эти эффекты ограничивают предельно достижимые амплитудные функции в месте встречи. Нами проведены численные расчеты динамической апертуры предлагаемого накопительного кольца. На рис. 2 приведены результаты моделирования динамической апертуры при установившемся энергетическом разбросе пучка $\pm 2\%$, что примерно равно энергетическому разбросу пучка при взаимодействии с фотонным на энергии $E=60$ МэВ [2]. Из рисунка видно, что размеры динамической апертуры намного превосходят ожидаемые размеры электронного пучка в месте встречи (десятки микрометров). Размеры динамической апертуры по кольцу достаточны для осуществления инжекции.

Основные физические параметры накопительного кольца

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
Диапазон энергий, МэВ	10-100
Приведенный радиус кольца, м	2.442
Частота радиальных и вертикальных бетатронных колебаний	3.264, 2.230
Коэффициент уплотнения орбит	0.077
Естественная хроматичность кольца ξ_x, ξ_z	-5.6, -7.0
Длина магнита, м	0.7854
Угол поворота магнита, град	90
Показатель спада поля в магнитах	0.300
Частота ВЧ подпитки, МГц	700
Амплитуда ВЧ, МВ	0.800
RF акцептанс, % ($E=100$ МэВ)	4.6
Частота синхротронных колебаний ($E=100$ МэВ)	0.056
Длина электронного сгустка при установившемся энергетическом разбросе 2 %, см	6.7
Значения амплитудных функций в месте взаимодействия с лазерным пучком, см	7.0, 6.5

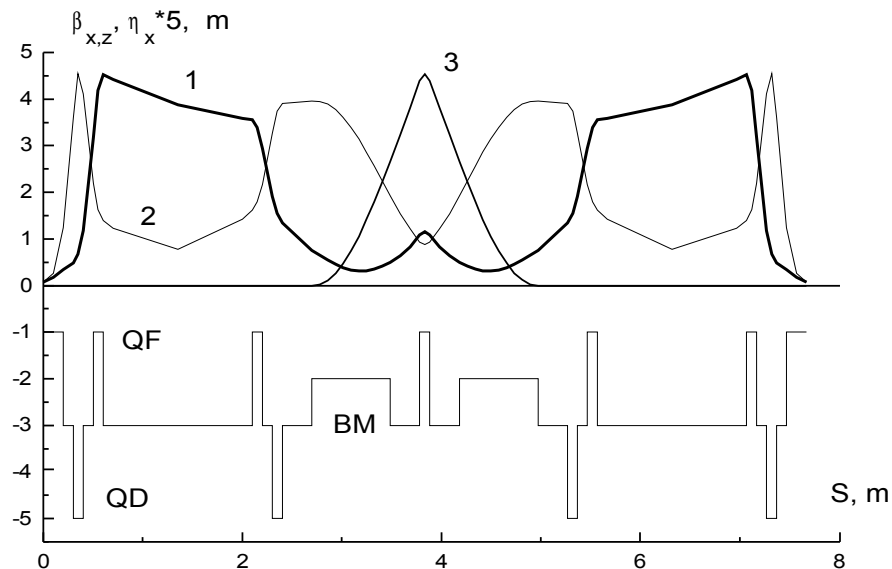


Рис.1. Радиальная (1) и вертикальная (2) амплитудные и дисперсионная (3) функции на одном суперпериоде. BM-поворотные магниты, QF, QD-фокусирующие и дефокусирующие по радиусу квадрупольи.

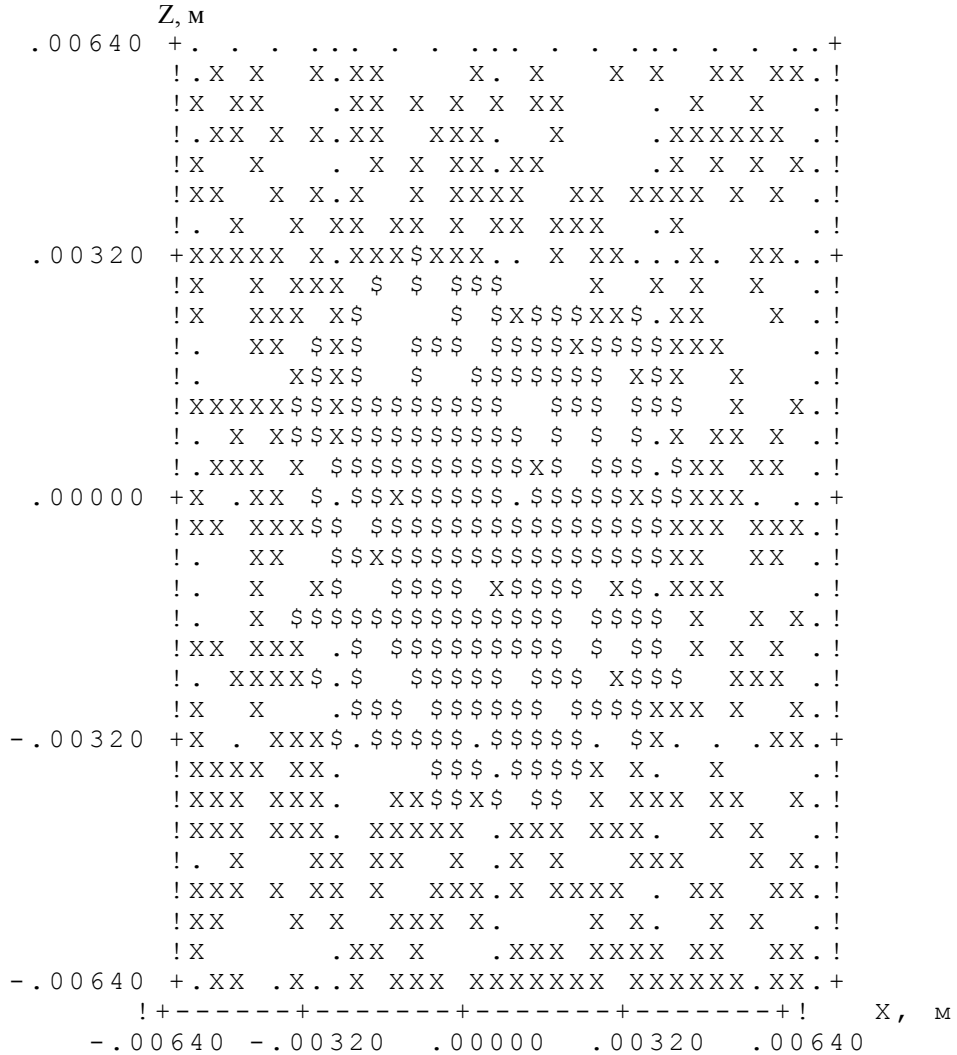


Рис. 2. Динамическая апертура накопителя в месте встречи. \$-вращающиеся частицы, X-погибшие. Энергия накопленного пучка 100 МэВ, установившийся энергетический разброс $\pm 2\%$, число частиц 999, число оборотов 500.

●3. ВЫВОДЫ

Проведенные предварительные расчеты динамики малоинтенсивного пучка показывают, что предлагаемое накопительное кольцо может быть использовано для исследований процессов лазерного охлаждения и генерации жестких γ -квантов на основе обратного комптоновского рассеяния. Окончательный выбор параметров кольца может быть проведен после изучения коллективных эффектов в интенсивном электронном пучке с учетом его взаимодействия с фотонным.

Авторы искренне благодарны академику НАН Украины Я.Б.Файнбергу за ценные обсуждения вопросов взаимодействия элек-тронных пучков с

мощным лазерным импульсом, которые стимулировали проведение данной работы.

●Литература

1. V.Telnov. Laser cooling of electron beams for linear colliders, SLAC-PUB NSF-ITP-96-142 (1996).
2. Huang, R.D.Ruth. Laser-Electron Storage Ring, SLAC--PUB--7556 (1997).
3. Ю.Н. Григорьев, И.А. Гришаев, и др. Накопитель электронов с энергией 100 МэВ, А.Э., 23,6, 1967 с.531-536.

Статья поступила: в редакцию 25 мая 1998 г.,
в издательство 3 июня 1998 г.