

Статус комплекса ВЭПП-5

В.В. Пархомчук

ГНЦ РФ Институт ядерной физики, Новосибирск, Россия

Развитие метода встречных пучков, направленное на исследование фундаментальных свойств материи, ведется в двух направлениях. В первом основные усилия направлены на достижение все более высоких энергий частиц. Это позволяет открывать принципиально новые частицы и поля. Во втором, путем повышения светимости в уже грубо исследованных областях по энергии, изучаются более тонкие, но не менее фундаментальные свойства кварков и полей. Наиболее известный пример — изучение несохранения СР-четности. В этой связи в последнее десятилетие мировой ускорительной общественностью интенсивно обсуждается создание так называемых электрон-позитронных фабрик. В отличие от традиционных установок со встречными пучками светимость электрон-позитронных фабрик должна быть увеличена не в два–три раза, а на два–три порядка по сравнению с уже достигнутой. Сооружаемый в Новосибирске ускорительный комплекс состоит из инжекционного комплекса, ФИ-фабрики и С-TAU-фабрики.

1. Инжекционный комплекс

Основу форинжектора составляют: линейный ускоритель электронов на энергию 300 МэВ для получения позитронов, линейный ускоритель электронов и позитронов на 510 МэВ. Источниками ВЧ-мощности для линейного ускорителя являются клистроны 5045 10-см диапазона производства SLAC (США). Ускоренные позитроны и электроны накапливаются в накопителе-охладителе и подготавливаются для последующей инжекции в коллайдер. В настоящее время построен и успешно испытан один модуль источника ВЧ-мощности на клистроне 5045. Ведется монтаж остальных модуляторов для питания клистронов. Вопрос приобретения еще 4-5 клистронов прорабатывается. Более подробно результаты испытания секций линейного ускорителя будут изложены в отдельном докладе.

Изготовление магнитно-вакуумной системы накопителя-охладителя ведется в мастерских ИЯФ; изготовлено около 30% элементов. Генератор ВЧ-мощности на 700М Гц испытан, и получена непрерывная мощность 60 кВт.

2. Ф-фабрика

Ф-фабрика — это установка со встречными электрон-позитронными пучками на энергию пучков 510 МэВ со светимостью $2.5 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ c}^{-1}$. Разработан красивый четырехсгустковый (в месте встречи) вариант ф-фабрики. Основой получения высокой светимости в этом проекте являются столкновения так называемых "круглых" пучков [1] с использованием соленоидов для финальной фокусировки в месте встречи. В

настоящее время готовится оборудование для демонстрации возможностей этой идеи на ВЭПП-2М.

3. Основные параметры С-ТАУ

С-ТАУ фабрикой называют электрон-позитронный коллайдер со светимостью около $10^{33} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ в области энергии от 3 до 5 ГэВ в системе центра масс. На такой машине интенсивно рождаются два типа частиц: τ -лептоны и адроны с очарованными кварками. Распады τ -лептона являются одним из наиболее "чистых" источников для проверки стандартной модели. Идея С-ТАУ фабрики обсуждается в мировом сообществе физиков уже более 10 лет, проводятся конференции по этой тематике, однако пока еще ни одна лаборатория не взялась за сооружение С-ТАУ фабрики. В Китае ведутся исследовательские работы по созданию С-ТАУ.

Основная концепция разрабатываемого проекта С-ТАУ фабрики — это обеспечение высокой светимости в области энергии пучков 700-2500 МэВ. Для этого предполагается построить два пересекающихся кольца, длина которых позволяла бы разместить на дорожке системы, необходимые для управления размерами сталкивающихся пучков, поляризацией частиц [2]. В таком накопителе достаточно легко переходить к режиму работы с монохроматизацией энергии встречных пучков путем введения вертикальной дисперсии и создания вертикального размера в основном за счет импульсного разброса при малом бетатронном вертикальном размере.

Для получения предельной светимости наиболее интересной возможностью является организация места встречи с малой β -функцией с помощью сильного продольного поля. Симметричная фокусировка по обоим направлениям хорошо соответствует идее работы с круглыми пучками и может позволить получить параметр пространственного заряда $\xi > 0.1$. Вариант использования сильных сверхпроводящих линз для финальной фокусировки тоже рассмотрен, и окончательный выбор схемы детекторного промежутка будет сделан позднее.

3.1. Параметры встречных пучков и мест встреч

Предельная светимость установки определяется выражением

$$\mathcal{L}_{max} = \frac{cN_{max}\gamma\xi_{max}}{r_e D_{min}\sigma_s},$$

где N_{max} — максимальное число частиц в сгустке; D_{min} — расстояние между сгустками; ξ_{max} — некогерентный сдвиг бетатронной частоты; параметр пучкового взаимодействия; r_e — классический радиус электрона; $\gamma = E/mc^2$, σ_s — длина сгустка. Параметры пучка для С-ТАУ фабрики определяются требованием получения предельно высокой светимости $1, 0 \cdot 10^{34} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ [3]. Для работы в различных режимах требуются системы управления эмиттантами пучков. Так, для получения монохроматических встречных пучков необходимо, чтобы в месте встречи основной вклад в вертикальный размер вносил энергетический разброс, а вертикальный бетатронный размер был существенно меньше. Большой периметр кольца позволяет получать уникально маленькие эмиттансы пучков, $\varepsilon = 10^{-7} \text{ см} \cdot \text{рад}$, и в этом режиме возможно получение высоко монохроматичных столкновений. Значения эмиттансов, требуемые

Таблица 1: Параметры пучка встречных сгустков

| | |
|--|---------------------|
| Энергия (ГэВ) | 2.1 |
| Ток пучка (А) | 1.12 |
| Число частиц в сгустке | $2 \cdot 10^{11}$ |
| Расстояние между сгустками (м) | 8.14 |
| Количество сгустков | 95 |
| Бета-функция в месте встречи (см) | 1 |
| Вертикальная дисперсионная функция D_E (см) | 0 – 5 |
| Эмиттанс пучка ϵ_x (см · рад) | $10^{-7} - 10^{-5}$ |
| Эмиттанс пучка ϵ_y (см · рад) | $10^{-9} - 10^{-5}$ |
| Радиус пучка σ (μm) | 33 |
| Величина ξ_{max} | 0.1 |
| Светимость \mathcal{L} (см ⁻² с ⁻¹) | 10^{34} |

для получения параметра пространственного заряда $\xi = 0.1$, много выше естественных (в 100 раз), и в состав комплекса включена система, создающая большие значения дисперсионной функции и вигглер-магниты для управления эмиттансом и временем радиационного затухания.

Получение предельно высокого параметра монохроматизации $\approx 5 \text{кэВ}$ связано с переделкой участка встречи. Магниты вертикального разведения и формирования вертикальной дисперсии должны быть ослаблены на порядок, для того чтобы возбуждаемый вертикальный эмиттанс уменьшился до $\approx 10^{-10}$ см·рад и определялся связью с горизонтальной модой колебаний. Длина этого участка составит $\approx 30 \text{м}$. Участок формирования β и D_E в месте встречи займет $\approx 15 \text{м}$. Таким образом, придется увеличить в 2 раза расстояние между сгустками.

4. Магнитная система накопителей

Магнитная система С-ТАУ фабрики состоит из двух накопительных колец одинакового периметра, расположенных друг над другом и пересекающихся в месте встречи. Магнитную систему каждого из накопителей электронов и позитронов можно разбить на четыре части: два полукольца, состоящие из одинаковых элементов периодичности, одного спинового ротатора, экспериментальный и технический промежутки. Часть поворотных магнитов, осуществляющих зануление дисперсионной функции D_E , отнесены к экспериментальному и техническому промежуткам.

В экспериментальном промежутке расположены только магниты и линзы, фокусирующие пучки в месте встречи и обеспечивающие согласование оптики с полукольцами. Столкновение пучков лобовое. Разведение пучков после столкновения осуществляется по горизонтали электрическим и затем, по вертикали, магнитным полями. Режим монохроматизации реализуется созданием вертикальной дисперсионной функции в месте встречи (это достигается изменением градиентов линз между магнитами, разводящими орбиты по вертикали) и уменьшением вертикального эмиттанса. Из-за учета вращения D_E - функции на π в соленоидах финальной фокусировки распределение магнитного поля сделано симметричным относительно точки взаимодействия.

Это приводит к тому, что траектория пучков становится S-образной и пучки после столкновения меняются местами. Пучок из верхнего полукольца переходит в нижнее и наоборот.

Системы впуска, ускоряющие резонаторы, а также участки управления вертикальным и горизонтальным эмиттансами расположены в техническом промежутке. Там же осуществляется и обратный переход пучков: из верхнего полукольца в нижнее для одного пучка и наоборот для другого. Управление эмиттансами осуществляется регулировкой D_E - функций в местах расположения сверхпроводящих вигглер-магнитов.

Для достижения малого эмиттанса кольца имеют очень жесткую фокусировку ($\nu \approx 30$), что приводит к малой величине коэффициента уплотнения орбит. Последнее необходимо для получения коротких сгустков (≈ 1 см) и требует дополнительного внимания к обеспечению устойчивости синхротронных колебаний.

Для организации экспериментов с продольно-поляризованными пучками произвольной спиральности в месте встречи предполагается в полукольцах поставить спиновые ротаторы.

Список литературы

- [1] Barkov L.M. et al. Proc. of IEEE Particle Acceleration Conf, San Francisco (USA), p 183.(1991).
- [2] Dikansky N.S. at al. *Status of the VEPP-5 Complex*, Proc. of EPAC94, London, 1994, p.482.
- [3] Физический проект комплекса ВЭПП-5, ГНЦ РФ Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера, Новосибирск 1995.