Приоритетное направление 2.8. Современные проблемы ядерной физики

Программа 2.8.1. Физика элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий

Учеными Института ядерной физики им. Г. И. Будкера продолжался набор статистики с детектором «КЕДР» на коллайдере ВЭПП-4М в области рождения с-кварков и τ-лептона. Темп набора статистики превышал прошлогодний в 1,5 раза. В 2007 г. интеграл светимости в эксперименте по измерению массы τ-лептона был удвоен и составил 13 пбн$^{-1}$. Набран интеграл светимости 3 пбн$^{-1}$ в пике Ψ′-мезона.

Основной целью эксперимента являлось точное измерение массы τ-лептона. Точное измерение массы τ-лептона при известных значениях его времени жизни и вероятности распада на электрон, нейтрино и антинейтрино позволяет произвести проверку гипотезы лептонной универсальности, одного из основных постулатов теории Вайнберга—Салама электрослабого взаимодействия. К настоящему моменту масса τ-лептона была измерена с нужной точностью лишь в одном эксперименте с детектором BES.

Точность измерения массы τ-лептона, полученная на половине набранной статистики, равна среднемировой: «КЕДР» 2006 — $(1776{,}80^{+0{,}25}_{-0{,}23} \pm 0{,}15)$ МэВ (рис. 37). В конце года планируется получение предварительного результата по массе τ-лептона на полной статистике. Ожидаемая точность измерения будет превышать среднемировую в два раза. Кроме того, получены предварительные результаты по измерению массы заряженного и нейтрального D-мезона и Ψ′′-мезона, вероятности распада $\Psi' \to \tau\tau$ и $\Psi' \to \mu\mu$, произведения $G_{ee}\cdot Br$ $(J/\Psi \to ee)$ с точностями, сравнимыми или выше среднемировой.

Учеными Института ядерной физики им. Г. И. Будкера успешно продолжались работы по изготовлению и тестированию систем нового детектора КМД-3 и модернизированного детектора СНД. Изготовлены дрейфовая камера детектора КМД-3 (рис. 38) и блоки электроники, с помощью которых считывается и оцифровывается информация. В тестовых заходах с космическими частицами получено разрешение лучше 100 мкм. Закончена сборка октантов электромагнитного калориметра на основе кристаллов CsI и сцинтилляционных времяпролетных счетчиков, которые будут использованы в эксперименте по измерению формфактора нейтрона. Сверхпроводящий соленоид установлен в детектор, и в настоящее время ведут-

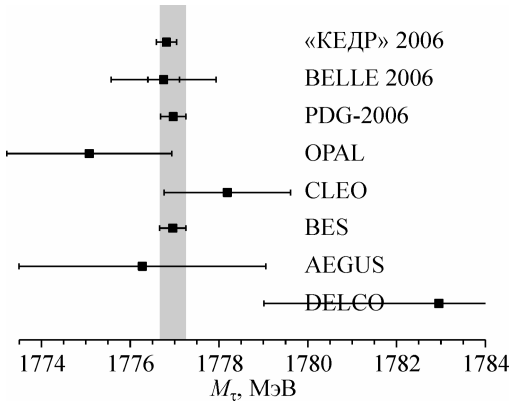

Рис. 37. Сравнение полученного результата по массе τ-лептона с другими измерениями.

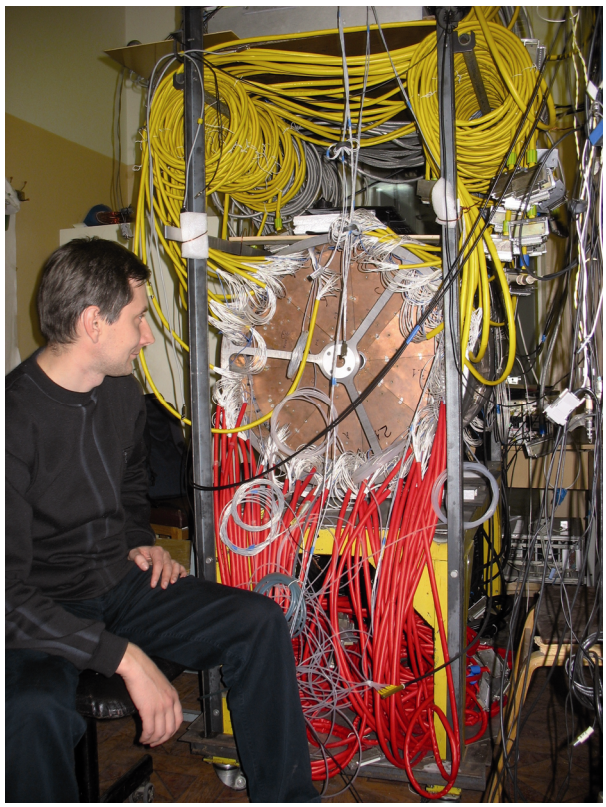

Рис. 38. Дрейфовая камера детектора КМД-3.

Рис. 39. Новая модификация для экспресс-досмотра пассажиров.

Рис. 40. Новый флюорограф ФМЦ-НП-О.

ся его испытания в зале накопителя ВЭПП-2000.

Сотрудниками Института ядерной физики им. Г. И. Будкера запущена и функционирует в секторе выхода № 4 а/п Толмачево еще одна установка экспресс-досмотра. Создана новая модификация установки с повышенной надежностью и современным дизайном (рис. 39). Заключен контракт на поставку двух установок с одной из американских фирм. Установки отправлены в США

Для малодозной рентгеновской установки (МЦРУ) учеными ИЯФ им. Г. И. Будкера создан новый детектор с разрешением 250 мкм, оптимальный для оснащения современных сканирующих цифровых флюорографов. Детектор обладает повышенной эффективностью (70 %), что позволяет еще больше снизить дозу облучения при профилактических обследованиях легких. Произведены семь детекторов, поставленных в Орел (ЗАО «Научприбор») для оснащения флюорографов ФМЦ-НП-О и в Актюбинск (завод «Актюбрентген») для оснащения флюорографов «Санжар». На базе нового детектора создан новый флюорограф ФМЦ-НП-О, отличающийся современным дизайном и высоким качеством изображения (рис. 40).

Программа 2.8.2. Физика атомного ядра

На накопительном кольце ВЭПП-3 Институтом ядерной физики им. Г. И. Будкера продолжены исследования электромагнитной структуры простейшей ядерной системы — дейтрона. Экспериментальные методики, созданные в Институте (поляризованная газовая дейтериевая мишень, детекторы частиц и др.), позволяют проводить эксперименты, поставляющие новые данные для выяснения важных деталей спиновой структуры ядерных сил, действующих в дейтроне. В 2007 г. завершен эксперимент по измерению спиновых наблюдаемых в реакции фотодезинтеграции поляризованного дейтрона. Эти уникальные измерения проведены с высокой точностью и в широком диапазоне энергий фотона и углов разлета протон-нейтронной пары (предыдущие измерения, проведенные также в Новосибирске, улучшены по всем параметрам).

Сравнение с теоретическими предсказаниями современных моделей показывает, что эти модели хорошо описывают наши данные при малых энергиях фотона. Однако при больших энергиях в ряде случаев обнаруживаются серьезные расхождения, что говорит о необходимости дальнейшего совершенствования теоретических расчетов.

Программа 2.8.3. Физика и техника ускорителей заряженных частиц

Учеными Института ядерной физики им. Г. И. Будкера успешно осуществлен запуск комплекса ВЭПП-2000. Общий вид накопителя показан на рис. 41. Электронный и позитронные пучки были успешно инжектированы при включенных соленоидах, и сейчас ведется работа по выведению всех параметров накопителя на расчетные значения (рис. 42).

В рамках работ по ускорительному масс-спектрометрического комплексу учеными того же Института проводились эксперименты по выделению изотопов ^{14}C из молекулярных кластеров $^{12}C^{2}H$ и $^{13}C^{1}H$. Использование детектора на основе полупроводникового счетчика позволило достичь чувствительности на уровне 10^{-13} даже на сравнительно невысоком напряжении на терминале AMS (250 кВ). На рис. 43 показана зависимость отношения числа ионов с молекулярной массой 14 к числу ионов с молекулярной массой 12 от толщины обдирочной мишени. Напряжение было ограничено отсутствием радиационной защиты на временной наладочной площадке ИЯФ. Началась подготовка к перемещению AMS на постоянную площадку, где будут проводиться сборка и окончательная наладка.

Учеными Института ядерной физики им. Г. И. Будкера и Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича разработана и пущена в действие уникальная установка на базе промышленного ускорителя электронов серии ЭЛВ. Особенностью этой установки является вывод электронов из вакуума в атмосферу через систему малых отверстий диаметром 1—3 мм с использованием системы дифференциальной откачки. Электронный пучок с энергией 1,0—1,5 МэВ размером 20—30 мм, мощностью до 100 кВт способен испарять практически любые вещества. Это свойство использовано для получения нанодисперсных порошков оксида кремния путем испарения природного кварцевого песка. Метод применяется впервые в мире. Результатом работы явилось создание опытно-промышленной установки с полунепрерывным циклом получения нанодисперсного порошка, аналогичного промышленно выпускаемому продукту «Аэросил». Полученные порошки обладают хорошими характеристиками при существенной (6—7 кг/ч) производительности установки (рис. 44). Образцы разосланы нескольким десяткам промышленных потребителей в России, выявленных в ходе маркетинговых исследований, с целью изучения потребительских свойств и опробования в реальных производствах.

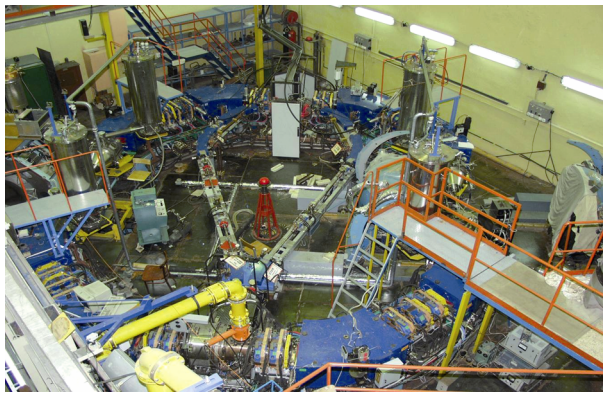

Рис. 41. Кольцо ВЭПП-2000.

На установке также успешно опробовано получение нанопорошков других материалов.

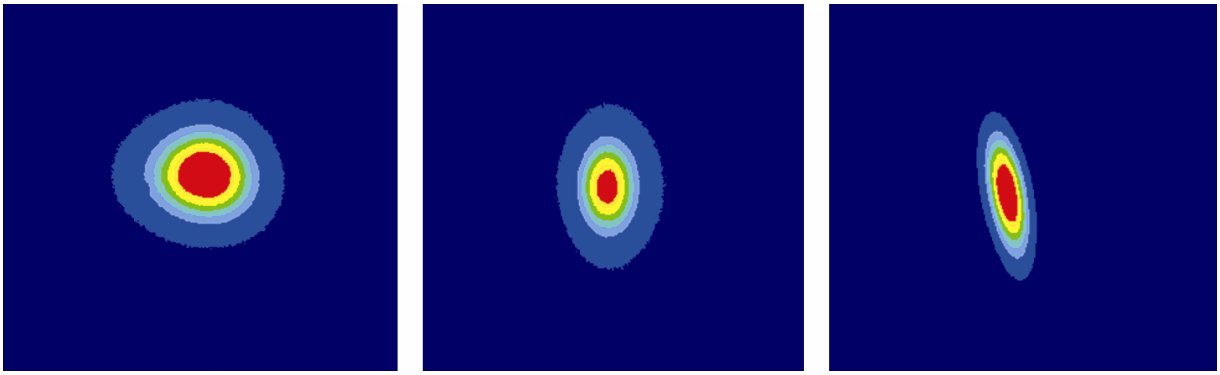

Рис. 42. Изображение позитронного пучка с ПЗС-матриц в разных точках по кольцу.

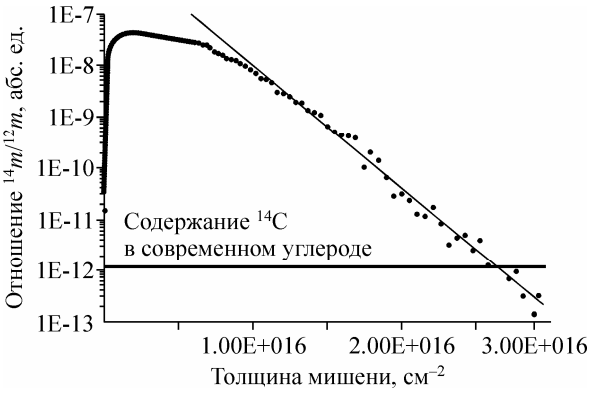

Рис. 43. Подавление молекулярного фона в «мертвом углероде» в зависимости от толщины обдирочной мишени. Достигнута чувствительность, достаточная для начала экспериментов по калибровке образцов.

Учеными Института ядерной физики им. Г. И. Будкера проведены испытания нового ускорителя ИЛУ-12 (рис. 45). Его ускоряющая структура состоит из цепочки связанных резонаторов (ускоряющих и резонаторов связи). Ускоряющая структура была спроектирована на энергию 5 МэВ и импульсную мощность пучка 2—2,5 МВт при средней мощности пучка до 300 кВт. В настоящий момент структура состоит из пяти ускоряющих резонаторов (три центральные ячейки и две торцевые полуячейки) и четырех резонаторов связи. В перспективе возможно наращивание числа резонаторов в структуре для повышения энергии. Достигнуты параметры: при проектной энергии 5 МэВ импульсный ток пучка до 350 мА, электронный к.п.д. структуры 67 %. Длительность импульсов 0,5 мс.

а *б*

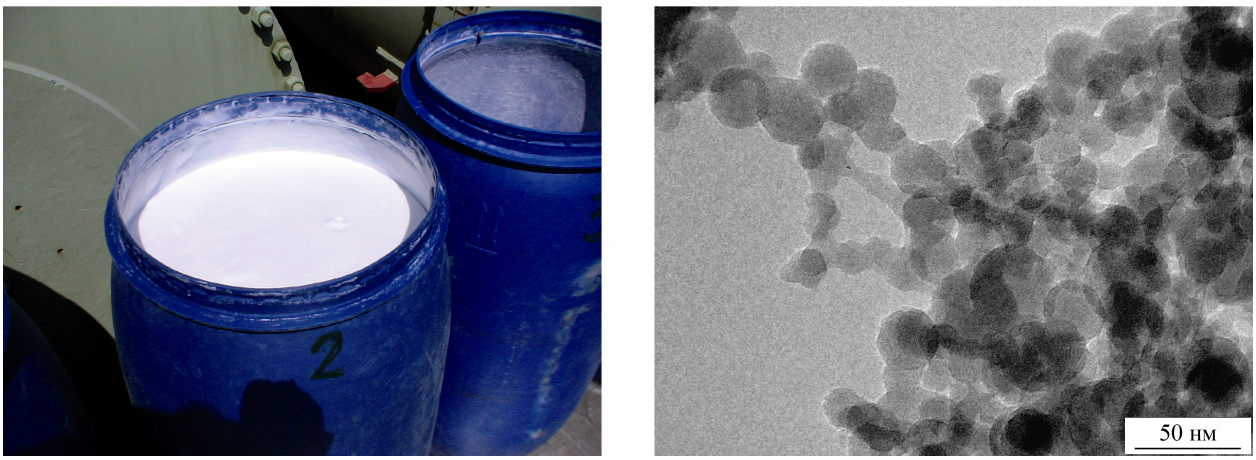

Рис. 44. Рассортированные по удельной поверхности и засыпанные в бочки опытные образцы нанопорошка окиси кремния (*а*) и нанопорошок под электронным микроскопом (*б*).

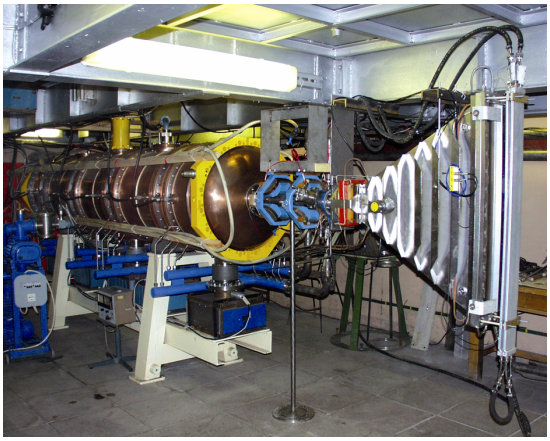

Рис. 45. Ускоряющая структура в сборе.

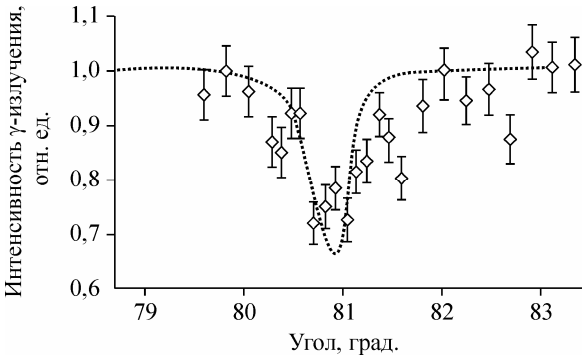

Рис. 46. Прохождение γ-квантов через кювету с жидким азотом длиной 14 см как функция их угла вылета относительно пучка протонов. Угол 80,7° соответствует энергии γ-квантов 9,17 МэВ.

Учеными этого же Института создан протонный ускоритель — тандем для борнейтронзахватной терапии злокачественных опухолей и для обнаружения взрывчатых веществ методом резонансного поглощения монохроматических γ-квантов ядрами азота. С помощью созданного ускорителя-тандема с энергией протонов до 2 МэВ измерены спектры излучения резонансных γ-квантов, генерируемых в мишени из углерода-13 при сбросе на нее протонного пучка. Определено, что линия, резонансно поглощаемая в азоте (9,17 МэВ), четко выделяется и что интенсивность линии достаточна, чтобы проследить ее ослабление в азоте. Проведены первые эксперименты по регистрации ослабления резонансной линии в жидком азоте (рис. 46). Показано, что ослабление происходит в соответствии с теоретическими предсказаниями. Таким образом, проведенные эксперименты продемонстрировали принципиальную возможность детектирования повышенной концентрации азота методом поглощения резонансных γ-квантов.

Программа 2.8.4. Создание интенсивных источников синхротронного и терагерцевого излучения

В 2007 г. на исследования с пучками СИ было выделено более 2000 ч пучкового времени, и более 500 ч было выделено на исследования с пучками ТИ. Услугами Центра синхротронного излучения воспользовалось 41 российская и две зарубежных организации в рамках более 70 программ, проектов, грантов, договоров о научно-техническом сотрудничестве, тематических планов бюджетных организаций.

В 2007 г. завершено создание специализированной метрологической станции СИ «Космос» на накопителе ВЭПП-4 (рис. 47). На станции выполнен цикл предварительных калибровок аппаратуры Космического солнечного патруля (производства ГОИ, Санкт-Петербург). На исследования с пучком СИ на станции было выделено более 200 ч работы накопителя ВЭПП-4М. Продолжалось создание еще одной экспериментальной станции.

Учеными Института ядерной физики им. Г. И. Будкера велась интенсивная работа по разработке накопителя-источника СИ для Сибирского центра СИ. Был проведен детальный анализ популярных рентгеновских методик с использованием СИ. На основе этого были выбраны основные параметры накопителя, представленные в таблице.

Выбрано место для строительства источника и произведена предварительная архитектурная проработка здания для строительства комплекса. Возможный вид здания представлен на рис. 48.

Ускорительно-накопительный комплекс включает в себя линейный ускоритель до энер-

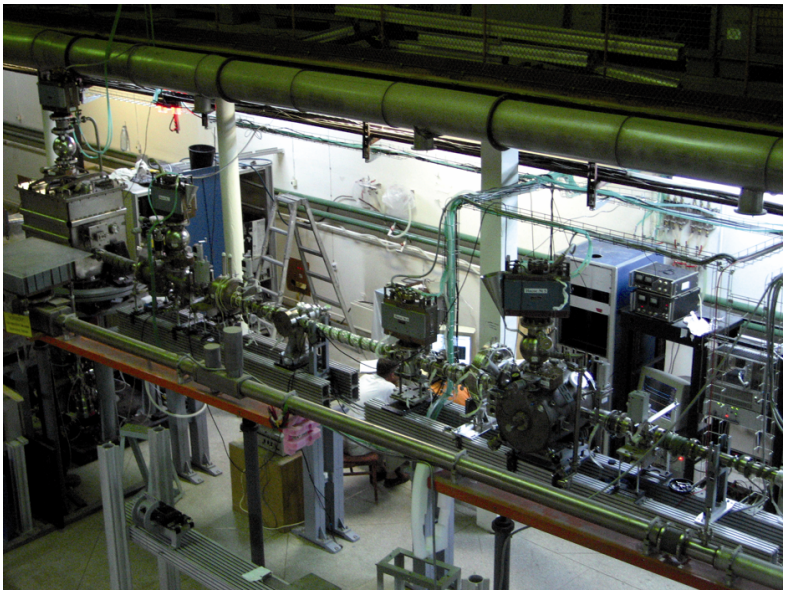

Рис. 47. Метрологическая станция СИ «Космос» на накопителе ВЭПП-4М.

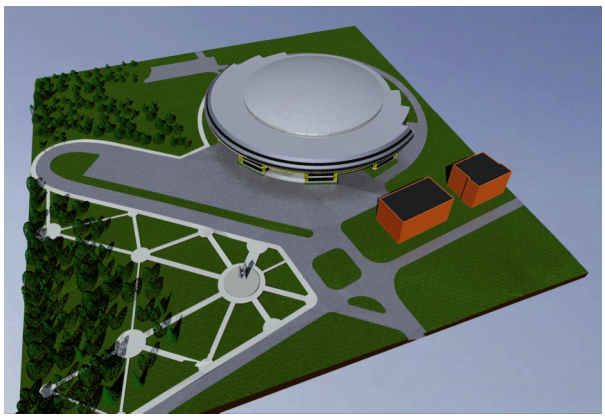

Рис. 48. Общий вид здания Сибирского центра СИ.

гии 100 МэВ, бустерный синхротрон на полную энергию (2,2 ГэВ) и накопительное кольцо — источник СИ.

Предполагается организовать около 40 пользовательских станций для реализации всех популярных исследовательских и технологических методов с использованием СИ. Проектируемое здание включает в себя достаточное количество помещений для организации необходимой пользовательской инфраструктуры и для эффективной работы пользовательского сообщества.

Аналогичный вариант источника СИ был предложен для строительства в Республике Казахстан в г. Астана. Данный проект был представлен на выставке «Инновационный потенциал Российско-Казахстанского сотрудничества в сфере наукоемких технологий», организованной в рамках российско-казахстанского форума приграничных регионов, который состоялся в Новосибирске 4 и 5-го октября 2007 г. Проект поддержан президентом Республики Казахстан Н. А. Назарбаевым и отмечен дипломом. В настоящее время начата работа по составлению технико-экономического обоснования данного проекта. Ориентировочные сроки строительства — 2008—2012 гг.

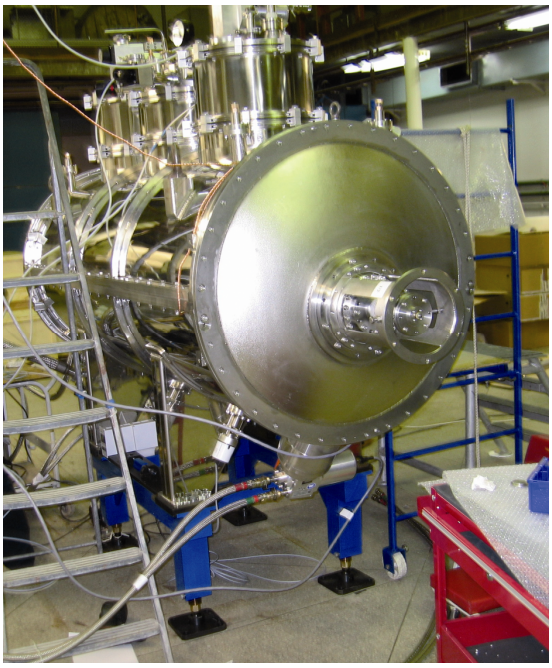

Рис. 49. Сверхпроводящий вигглер для накопителя «Сибирь-2» в Курчатовском центре СИ и нанотехнологий.

В феврале 2007 г. в Курчатовском центре синхротронного излучения и нанотехнологий производилась сборка многополюсного сверхпроводящего вигглера и его испытания на месте. Вигглер был изготовлен и испытан в ИЯФ в 2006 г. для источника СИ «Сибирь-2» (рис. 49). Данный вигглер по своим параметрам является одним из самых мощных в мире. Магнитная система вигглера включает в себя 21 полюс с максимально возможным полем 7,5 Тл. Испытания вигглера прошли успешно. Максимальная величина магнитного поля составила 7,67 Тл. Вигглер готов к установке на накопитель.

Также в ИЯФ был разработан и создан вигглер для канадского источника СИ CLS (г. Саскатун). Это уже второй вигглер, произведенный в ИЯФ для CLS. Первый был установлен на накопитель в начале 2005 г. Данный вигглер в октябре 2007 г. был доставлен на место, где был собран, испытан и установлен на накопитель.

Основные проектные параметры накопителя источника СИ

Энергия электронов	2,2 ГэВ
Поле в поворотных магнитах	8,5 Тл в сверхпроводящих магнитах 1,6 Тл в обычных (теплых) магнитах
Критическая энергия квантов СИ	26 кэВ для СИ из сверхпроводящих магнитов, 4,8 кэВ для пучков из теплых магнитов
Количество поворотных магнитов	4 сверхпроводящих магнита 32 обычных (теплых) магнита
Угол поворота в магнитах	10° во всех магнитах
Ток пучка	До 1 А (инжекция на полной энергии с возможностью подкачки тока)
Время жизни пучка	8—10 ч
Периметр орбиты	210 м