

СТАТУС И ПЕРСПЕКТИВЫ НАКОПИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ВЭПП-4

*Е. Б. Левичев*¹

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия

На ускорительно-накопительном комплексе ВЭПП-4 ведутся эксперименты по физике высоких энергий (в режиме встречных пучков e^+e^-), ядерной физике, исследования с использованием синхротронного излучения и пучков заряженных частиц, в том числе поляризованных, в области энергий пучка до 2 ГэВ. В настоящее время планируется переход к новым экспериментам с повышением энергии до 5 ГэВ, что предъявляет особые требования к надежности и эффективности работы комплекса. В докладе обсуждаются экспериментальные результаты последнего периода, полученные на низкой энергии, и перспективы экспериментов на высокой энергии.

At VEPP-4 storage ring facility, various experimental programs are presently carried out including HEP, nuclear physics, synchrotron radiation and e^+e^- beams (polarized and unpolarized). The studies are performed now at the beam energy below 2 GeV but strong interest of experimentalists encourages us to increase the beam energy up to 5 GeV. The energy enhancement is a challenge for the machine with respect to the reliable and high performance operation. Here we discuss recent experimental results at the low energy and prospects and constraints of the energy ramp.

PACS: 29.20.db; 29.20.dk

ВВЕДЕНИЕ

С 2000 г., после модернизации, призванной увеличить светимость, и постановки нового детектора КЕДР [1], e^+e^- -коллайдер ВЭПП-4М [2] ведет эксперименты по физике элементарных частиц в области семейства ψ -мезонов и порога рождения τ -лептона, что соответствует области энергии пучка до ~ 2 ГэВ. В настоящее время программа работ комплекса КЕДР/ВЭПП-4М на этой (низкой) энергии практически закончена [3], и следующий этап предусматривает постепенное увеличение энергии пучка до области рождения Υ -мезонов (~ 5 ГэВ).

Кроме ФВЭ на комплексе ВЭПП-4 ведутся эксперименты по тематике фотоядерных исследований, работы с выведенными пучками электронов и γ -квантов для калибровки детекторов, работы с синхротронным излучением (СИ). По программе СИ увеличение энергии ВЭПП-4М тоже приветствуется, так как это сдвигает спектр излучения в более востребованную жесткую область и позволяет расширить экспериментальную тематику.

¹E-mail: levichev@inp.nsk.su

Другим направлением развития работ на ВЭПП-4М является подъем интенсивности циркулирующих пучков. Для исследований с СИ это увеличивает спектральный поток; для встречных пучков большие токи нужны, чтобы достичь расчетной светимости на высокой энергии, поскольку предельная интенсивность сгустков по эффектам встречи повышается вместе с энергией.

Увеличение тока и энергии пучка предъявляет повышенные требования к работе систем комплекса, процедуре калибровки энергии, получению максимальной светимости. К настоящему времени получена энергия пучка $E = 4$ ГэВ при максимальном токе электронов до $I_{\max} \approx 30$ мА в двух сгустках с работающими системами поперечной и продольной обратной связи. Максимальная энергия, достигнутая кратковременно (~ 1 ч тестовой работы), $E = 4,7$ ГэВ с током одного сгустка 2 мА.

1. КОМПЛЕКС ВЭПП-4

Ускорительный комплекс ВЭПП-4, схематически изображенный на рис. 1, включает два накопительных кольца — ВЭПП-3 и ВЭПП-4М — и систему инjection «Позитрон», состоящую из сильноточного линейного ускорителя с источником СВЧ-мощности «Гирокон», бустерный синхротрон Б-4, каналы транспортировки, электрон-позитронный конвертор и другое оборудование [4].

Накопитель ВЭПП-4М может работать в режиме встречных e^+e^- -пучков (2×2 сгустка). В ВЭПП-3, который является предускорителем для ВЭПП-4М, пучки электронов и

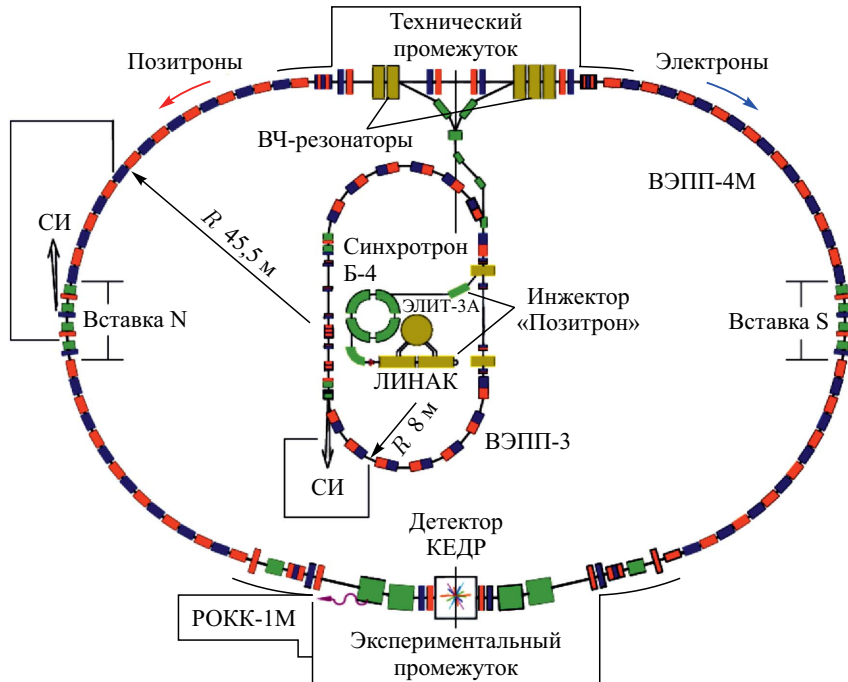


Рис. 1. Ускорительный комплекс ИЯФ СО РАН ВЭПП-4

Таблица 1. Основные параметры ВЭПП-3 ($E = 2$ ГэВ) и ВЭПП-4М ($E = 1,8$ ГэВ)

Параметр	ВЭПП-4М	ВЭПП-3
Периметр P , м	366,075	74,39
Максимальная энергия E , ГэВ	5,3	2
Натуральный хроматизм χ_x/χ_z	-14,5/-20,3	-3/-2
Время затухания колебаний $\tau_z/\tau_x/\tau_s$, мс	70/35/70	4,0/4,3/2,0
Горизонтальный эмиттанс ε_x , нм·рад	17	250
Энергетический разброс σ_E/E	$4 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
Продольный размер σ_L , см	6	9
Потеря энергии за оборот ΔU , кэВ	16	246

позитронов движутся в одну сторону, накапливаясь и ускоряясь в последовательных циклах. Максимальная пиковая светимость ВЭПП-4М на низкой энергии ($\sim 1,8$ – 2 ГэВ) — $2 \cdot 10^{30}$ см $^{-2} \cdot$ с $^{-1}$. Максимальная расчетная светимость на высокой энергии $\sim 0,5 \cdot 10^{32}$ см $^{-2} \cdot$ с $^{-1}$. Основные параметры накопителей комплекса ВЭПП-4 приведены в табл. 1.

В экспериментальном промежутке ВЭПП-4М расположен детектор КЕДР, в техническом — ускоряющие резонаторы и элементы системы инжекции. Кроме того, исследовательские возможности комплекса обеспечиваются двумя площадками для вывода СИ (из ВЭПП-3 и ВЭПП-4М), установкой РОКК-М для вывода комптоновского/тормозного излучения, установкой «Дейтрон» для исследования по ядерной физике на ВЭПП-3.

2. СТАТУС ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Поскольку в ближайшем будущем предполагается работа ВЭПП-4 с повышением энергии, полезно сделать краткий обзор наиболее значимых результатов, полученных на комплексе ранее. При этом мы фокусируемся на «ускорительных» аспектах обеспечения исследований; их физические результаты можно найти по приведенным ссылкам.

Эксперименты по физике высоких энергий проводятся с универсальным магнитным детектором КЕДР, не уступающим по параметрам лучшим детекторам мира [5]. Чтобы компенсировать малую светимость, мы сконцентрировались на исследованиях, требующих точного знания энергии пучка. Метод резонансной деполяризации (РД) позволяет калибровать среднюю энергию с рекордной относительной точностью 10^{-6} [6], измерение края спектра обратного комптоновского рассеяния (ОКР) лазерных фотонов с $\lambda_{ph} \approx 10$ мкм дает оперативное (за время ~ 10 мин) знание энергии пучка с точностью $\approx 3 \cdot 10^{-5}$ и разброса энергий в пучке с точностью $\approx 7\%$ (что важно при изучении узких резонансов) [7].

Мониторинг энергии пучков с помощью ОКР в коллайдере был реализован впервые в мире; впоследствии аналогичная система была изготовлена в ИЯФ для коллайдера ВЕРС (Институт физики высоких энергий, Китай) [8]. РД и ОКР обеспечивают знание энергии (интерполяцию) за период набора интеграла светимости ВЭПП-4М на уровне $\approx (5-15) \cdot 10^{-6}$.

Из недавних результатов назовем определение масс J/ψ - и $\psi(2s)$ -мезонов с рекордной точностью (рис. 2), прецизионное измерение массы и лептонной ширины η_c -мезона, измерение вероятности распада $J/\psi \rightarrow \gamma\eta_c$, изучение распада $\psi(2s) \rightarrow \mu^+\mu^-$ и др. [3, 5, 9].

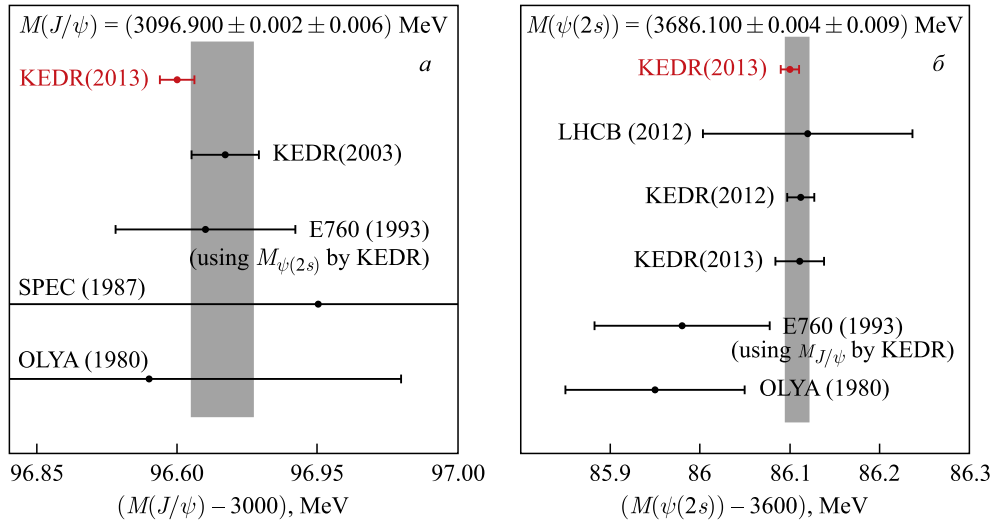


Рис. 2. Масса J/ψ - (а) и $\psi(2s)$ -мезонов (б), измеренная на ВЭПП-4М с детектором КЕДР

Продолжаются эксперименты с использованием СИ на ВЭПП-3, где имеются 9 экспериментальных станций (рентгеновской литографии и LIGA-технологии, рентгеновской микроскопии, наносекундной диагностики и др.). Активно работают три экспериментальные станции на ВЭПП-4М, ориентированные на высокую энергию и жесткий рентгеновский диапазон спектра [10]. Здесь установлена и используется современная рефракционная оптика, позволяющая фокусировать рентгеновский пучок до размеров ~ 10 мкм, необходимых для микротомографии малых объектов. На рис. 3 показаны примеры результатов, полученных на станциях СИ ВЭПП-3 и ВЭПП-4М.

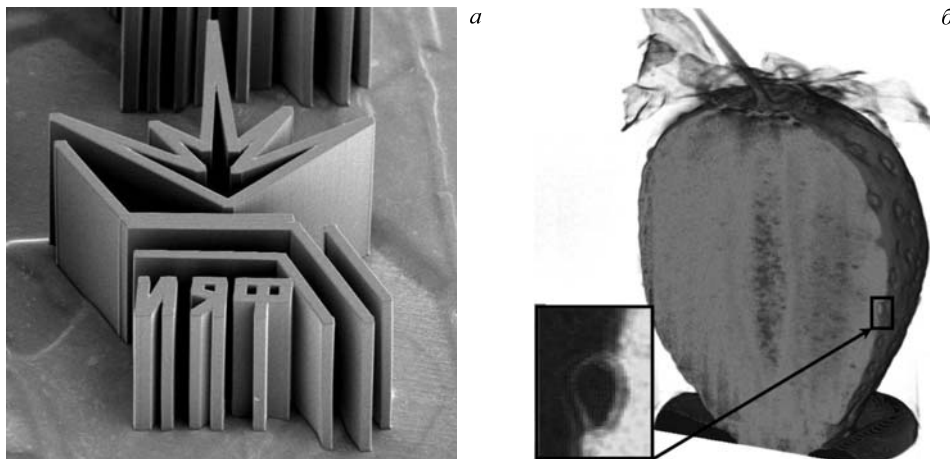


Рис. 3. а) Эмблема ИЯФ, изготовленная на ВЭПП-3 с применением LIGA-технологии. Толщина линии ≈ 30 мкм, высота структуры ≈ 300 мкм. б) Фазово-контрастная микротомография тестового объекта, полученная на ВЭПП-4

На ВЭПП-3 много лет на установке «Дейтрон» проводятся исследования электро- и фотоядерных процессов методом сверхтонкой внутренней мишени [11]. Преимуществом метода, предложенного и развитого в ИЯФ, является возможность использования экзотических мишеней (в том числе поляризованных) и уникальных пучков (e^\pm , поляризованных и неполяризованных).

Приоритетом последних экспериментов является реакция фоторождения π^0 -мезона на поляризованном дейтроне $\gamma + \vec{d} \rightarrow \pi^0 + d$. Измерение тензорной асимметрии этой реакции, возможное только с поляризованной мишенью, позволит уточнить нуклон-мезонную модель ядра, изучить вклад нуклонных резонансов в процесс рождения мезона, исследовать структуру дейтрона. Предварительные результаты работы показаны на рис. 4.

В 2010 г. на комплексе была создана новая экспериментальная установка, использующая или интенсивный пучок жестких тормозных квантов, выводимых из вакуумной камеры ВЭПП-4М, или (после обратной конверсии γ) пучок высокоэнергичных электронов с параметрами, приведенными в табл. 2. Установка оборудована магнитным сепаратором, координатной и триггерной системой, калориметрами для измерения энергии [12]. Аналогов в России установка выведенных пучков не имеет.

Пучки выведенных γ -квантов и электронов используются для тестирования и калибровки систем современных детекторов и весьма востребованы в мире. В частности, на ВЭПП-4М исследовались прототип калориметра для эксперимента Comet (Япония), детектор черенковских колец для эксперимента PANDA (Германия), испытывались микро-

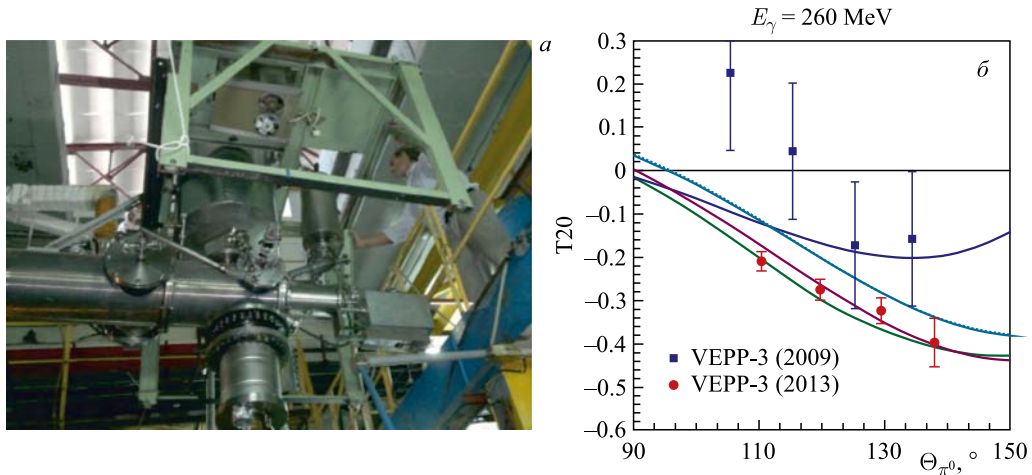


Рис. 4. а) Установка поляризованной мишени на ВЭПП-3. б) Результаты измерения тензорной асимметрии дейтрона

Таблица 2. Параметры выведенных пучков на ВЭПП-4

Параметр	e^-	γ
Энергия, ГэВ	0,1–3,0	0,05–1,5
σ_E/E , %	0,5–1,5	$\approx 0,5$
Интенсивность, Гц	10–100	≈ 1000

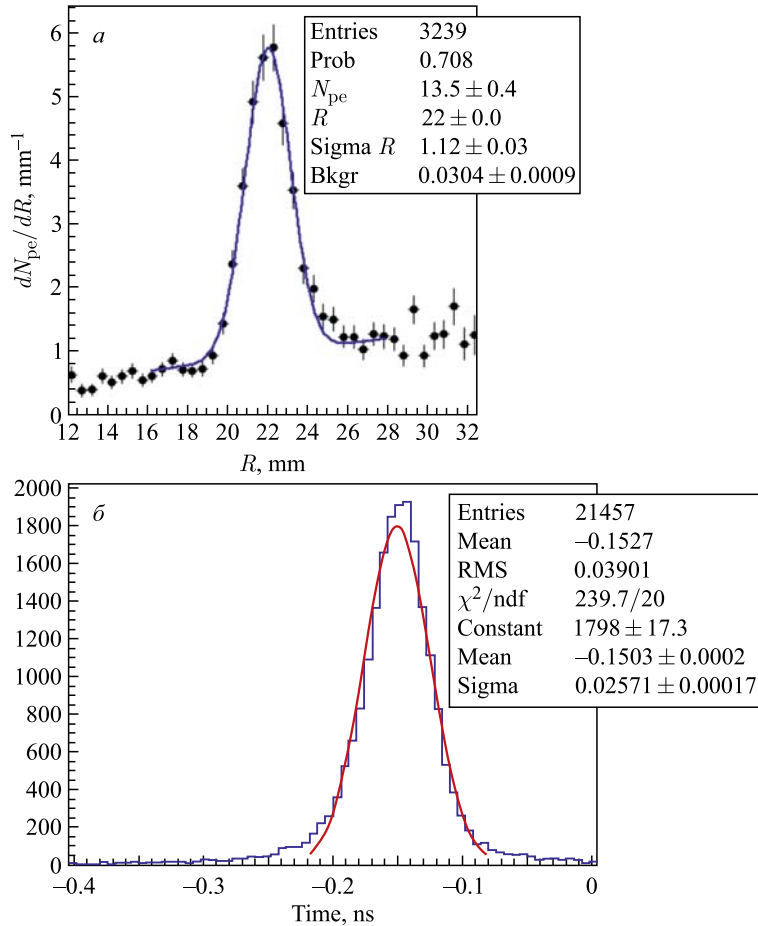


Рис. 5. *а*) Измерение толщины черенковского кольца, сфокусированного четырехслойным аэрогелем ($\sigma_r = 1,1$ мм против 2,3 мм для однослойного аэрогеля). *б*) Измерение временного разрешения МКП; получено разрешение менее 30 пс на один электрон

канальные пластины (МКП) для повышения временного разрешения торцевого электромагнитного калориметра детектора CMS (ЦЕРН) (рис. 5), проведено измерение толщины пластин газовых электронных умножителей (GEM) для установки «Дейтрон» и т. д.

3. ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВЭПП-4

Будущие исследования на ВЭПП-4М по программам ФВЭ и СИ требуют увеличения энергии частиц. Планируемые на высокой энергии эксперименты по ФВЭ включают измерение сечения $e^+e^- \rightarrow$ адроны, уточнение масс Υ -мезонов и исследования по $\gamma\gamma$ -физике. Двухфотонные процессы вида $e^+e^- \rightarrow e^+e^-X$, идущие через канал с двумя виртуальными фотонами $\gamma\gamma \rightarrow X$, представляют значительный интерес, поскольку по-

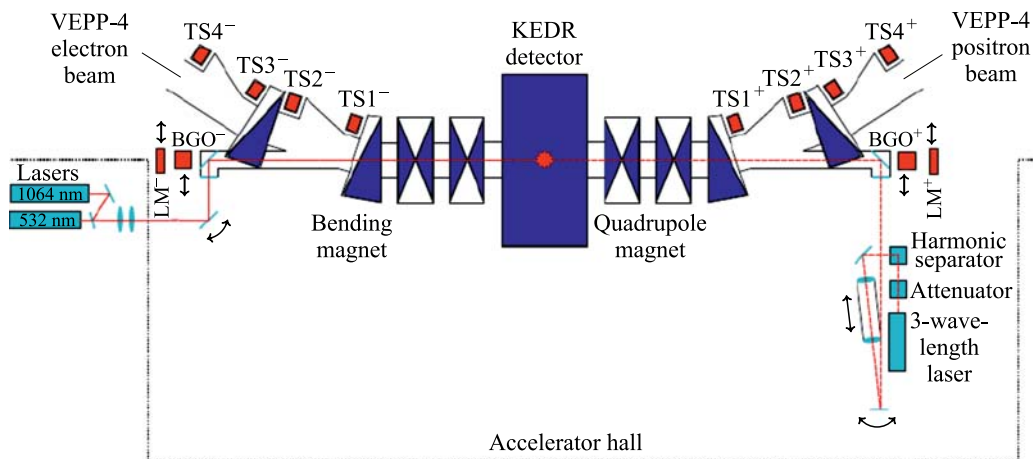


Рис. 6. Схема системы регистрации рассеянных электронов и позитронов ВЭПП-4М

звоняют изучать S -четные конечные состояния, не рождающиеся в однофотонной аннигиляции.

Наше преимущество состоит в наличии уникальной системы регистрации (тагирования) электронов и позитронов (СРРЭП), рассеянных в реакции (рис. 6). СРРЭП представляет собой симметричный фокусирующий магнитный спектрометр. Электроны и позитроны, потерявшие энергию в рассеянии, регистрируются восемью блоками (TS на рис. 6), состоящими из двухкоординатного GEM-детектора и годоскопа на основе дрейфовых трубочек. В 2014 г. введена в эксплуатацию позитронная часть системы комптоновской калибровки СРРЭП, включающая Nd:YAG-лазер с тремя длинами волн и оптический тракт [13]. Сейчас обе стороны спектрометра работают, набирается статистика, и исследуется стабильность измерений [14]. Прокалиброванное по ОКР разрешение СРРЭП составляет $\approx 2 \cdot 10^{-4}$ от энергии пучка; планируется улучшить эту величину вдвое.

Увеличение энергии электронов ВЭПП-4М до $\sim 4\text{--}5$ ГэВ существенно расширяет возможности экспериментов с СИ. Традиционными для ИЯФ являются исследования быстропротекающих процессов — детонации, ударных волн, образования наноалмазов в продуктах взрывной реакции и т. д. Размер исследуемых образцов зависит от жесткости спектра. На ВЭПП-3 сейчас доступна область спектра с $\varepsilon_c \leq 10$ кэВ. На ВЭПП-4М при энергии пучка 4 ГэВ можно работать в диапазоне $10 < \varepsilon_c < 30$ кэВ со спектральным потоком из новой семиполусной электромагнитной змейки, более чем на порядок превышающим поток из ВЭПП-3. Дальнейшее увеличение энергии ВЭПП-4М до 4,5–4,7 ГэВ позволит работать в спектральной области $\varepsilon_c \leq 40$ кэВ.

Будущее программы «Дейтрон» связано, главным образом, с проведением двух экспериментов: по измерению тензорной асимметрии двухчастичной фотодезинтеграции дейтрона $\gamma + \vec{d} \rightarrow p + n$ при энергии фотона $E_\gamma \approx 0,4\text{--}1,5$ ГэВ (что важно для исследования нуклон-мезонных моделей ядра) и поиску гипотетического «темного» фотона A' в реакции аннигиляции $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + A'$. Массивный темный фотон (векторный $U(1)$ -бозон) был предложен как минимальное расширение Стандартной модели, позволяющее объяснить взаимодействие частиц темной материи [15]. По оценкам, масса темного фотона (если он существует) должна быть в пределах $m_{A'} \sim 1$ МэВ – 1 ГэВ.

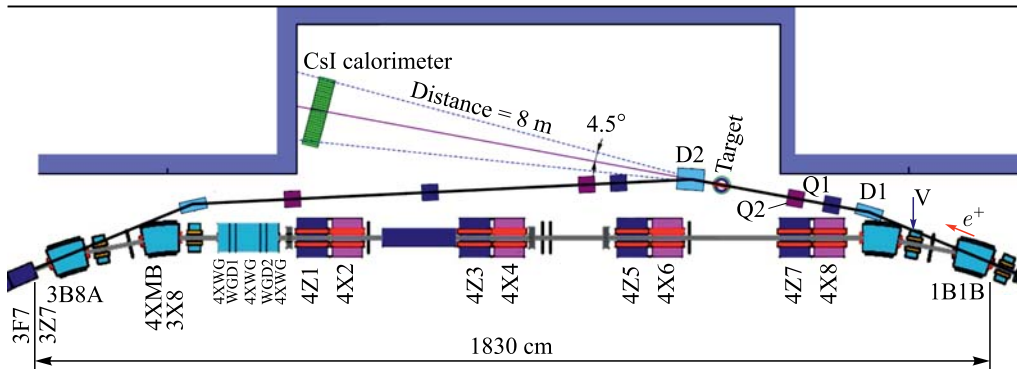


Рис. 7. Байпас ВЭПП-3 для проведения эксперимента по поиску массивного фотона

Эксперимент на ВЭПП-3 предполагает использование интенсивного пучка позитронов из нового инжекционного комплекса (ИК) ИЯФ [16] на энергии $E_{e^+} \approx 500$ МэВ, многократно пересекающего водородную мишень. Массивный фотон ищется в реакции аннигиляции, когда регистрируется одиночный γ -квант. Наличие пика в спектре недостающей массы (который не зависит от мод распада тяжелого фотона) позволяет говорить о рождении A' . Моделирование показывает, что за полгода набора статистики можно просканировать еще не исследованную область масс темного фотона $m_{A'} < 15\text{--}20$ МэВ. Для проведения эксперимента разработан байпас на ВЭПП-3 (рис. 7), который позволит оптимизировать условия измерения, размещение детектирующей аппаратуры и «развязать» различные исследовательские программы.

4. МОДЕРНИЗАЦИЯ И ПЛАНЫ РАЗВИТИЯ ВЭПП-4

Прецизионные эксперименты, проводимые на ВЭПП-4М, планы развития, сопровождаемые, к сожалению, моральным и физическим старением оборудования, требуют постоянной модернизации комплекса и оснащения его новыми системами. Кратко упомянем работы, сделанные за последнее время:

- На ВЭПП-4М была установлена электромагнитная семиполюсная змейка, существенно увеличившая спектральный поток фотонов для экспериментов с СИ.
- Создана система стабилизации поля поворотных магнитов ВЭПП-4М с параметрами $\Delta B/B = 5 \cdot 10^{-7}$ в полосе частот 1–100 Гц (важно для исследования узких резонансов).
- Разработаны и поставлены на ВЭПП-4М две системы обратной связи (поперечной и продольной), позволяющие инжектировать и ускорять до высоких энергии токи до 40–50 мА в двух сгустках (рис. 8, а).
- Разработана, изготовлена и запланирована к запуску осенью 2015 г. система продольной обратной связи на ВЭПП-3, которая должна уменьшить потери частиц при подъеме энергии. Ожидается, что на энергии 2 ГэВ можно будет получать ток пучка до 200–250 мА (вместо 100–150 мА сейчас).
- Происходит замена электроники датчиков положения пучка на ВЭПП-3 и ВЭПП-4М. Пространственное разрешение датчиков улучшилось на порядок. В режиме измерения орбиты разрешение координаты составляет $\approx 1\text{--}2$ мкм, в режиме пооборотных

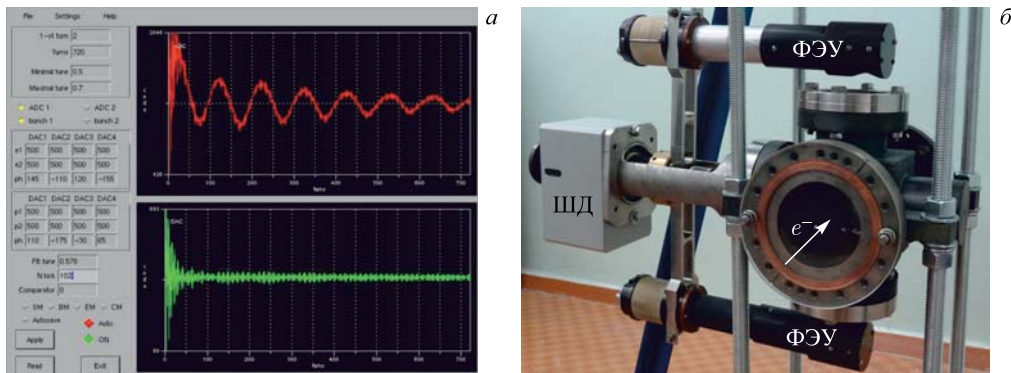


Рис. 8. а) Подавление поперечных колебаний пучка при инъекции в ВЭПП-4М системой обратной связи. б) Черенковский сканирующий датчик

измерений $\approx 5\text{--}10$ мкм в зависимости от тока пучка. Временное разрешение новой электроники позволяет измерять положение электронного и позитронного сгустков перед столкновением на ближайших к точке встречи датчиках.

- Создан, испытан и готов к постановке на ВЭПП-4М черенковский датчик измерения гало и «хвостов» поперечного распределения частиц в пучке [17]. Датчик представляет собой тонкую кварцевую нить, сканирующую некоторую область пучка (рис. 8, б). Частицы, попадающие в нить, генерируют черенковское излучение, которое регистрируется двумя фотоумножителями, расположенными на торцах нити. Ожидается, что датчик поможет в решении проблемы фона в детекторе КЕДР на высокой энергии.

- Совместно с ИОФ РАН им. А. М. Прохорова разработан новый диссектор для измерения продольного распределения пучка с разрешением 2 пс.

Основным направлением развития комплекса, как уже не раз упоминалось, является повышение энергии пучков. Инжектора «Позитрон», к сожалению, не хватает, чтобы обеспечить на высокой энергии ток позитронов, отвечающий максимальной светимости. Наши ожидания связаны с вводом в эксплуатацию нового ИК [16], обладающего существенно большей производительностью позитронов (табл. 3).

Если предположить, что пиковая светимость на ВЭПП-4М определяется только взаимодействием встречных пучков, то светимость $L \propto E^4$, если предельный ток, ограниченный эффектами встречи, $I_{\text{max}} \propto E^3$. С учетом времени жизни пучков, времени накопления, подъема энергии в ВЭПП-3 и ВЭПП-4М, эффективности инъекции и т. п. максимальный ток сгустка позитронов в ВЭПП-4М с инжектором «Позитрон»

Таблица 3. Параметры инъекции в ВЭПП-3 от ИК и установки «Позитрон»

Параметр	«Позитрон»	ИК
Энергия, МэВ	355	450–475
Частота инъекции, Гц	1	1
e^- за выстрел/ток ВЭПП-3, мА	$3 \cdot 10^9/2$	$10^{10}/6,5$
e^+ за выстрел/ток ВЭПП-3, мкА	$10^8/65$	$2 \cdot 10^9/1300$
Время накопления 80 мА e^+ в ВЭПП-3, мин	~ 60	1
Длина инжектируемого сгустка, см	150	1

$I_b \approx 10$ мА. Этот ток равен I_{\max} для $E \approx 3$ ГэВ; при этом светимость (2×2 сгустка) равна $L = 1 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. При дальнейшем увеличении энергии ток сгустка I_b остается постоянным, а светимость падает (поскольку увеличивается эмиттанс пучка, энергетический разброс и длина сгустка).

Новый инжекционный комплекс ИК позволяет довести максимальный ток сгустка позитронов до $I_b \approx 20$ мА, что соответствует предельному току по эффектам встречи для $E \approx 4$ ГэВ и светимости $L \approx 4 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, с дальнейшим повышением энергии и невозможностью обеспечения предельных токов светимость будет уменьшаться.

Для работы на высокой энергии необходимо провести модернизацию некоторых источников питания магнитных элементов, системы охлаждения комплекса, увеличить мощность усилителя поперечной обратной связи, восстановить работоспособность неиспользуемых на низкой энергии каскадов высокочастотной системы ускорения и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на солидный возраст, ускорительно-накопительный комплекс ВЭПП-4 имеет интересные программы исследований в области ФВЭ, ядерной физики и экспериментов с СИ, а также перспективу развития этих исследований на ближайшие годы. Магистральным направлением является увеличение энергии пучка до $\sim 4\text{--}5$ ГэВ и оптимизация параметров комплекса для эффективного проведения экспериментов.

Исследования по генерации и использованию интенсивных позитронных пучков (разд. 4) выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-50-00080).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Blinov V. E. et al.* The Status of VEPP-4 // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2014. V. 11, No. 5. P. 620–631.
2. *Anashin V. V. et al.* The KEDR Detector // *Phys. Part. Nucl.* 2013. V. 44. P. 657–702.
3. *Левичев Е. Б. и др.* Прецизионное измерение масс элементарных частиц на коллайдере ВЭПП-4М с детектором КЕДР // *УФН.* 2014. Т. 184. С. 75–88.
4. *Нейфельд В. В.* Опыт эксплуатации и модернизация инжектора позитронов коллайдера ВЭПП-4М // Тр. XI Междунар. семинара по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В. П. Саранцева, Алушта, 7–11 сентября 2015 г.
5. *Anashin V. V. et al.* Recent Results from the KEDR Detector // *EPJ Web Conf.* 2012. V. 37. 3 p.
6. *Blinov V. E. et al.* Beam Energy Measurements at VEPP-4M Collider by Resonant Depolarization Technique // *ICFA BD Newslett.* 2009. No. 48. P. 181–190.
7. *Blinov V. E. et al.* Beam Energy and Energy Spread Measurement by Compton Backscattering of Laser Radiation at the VEPP-4M Collider // *Ibid.* P. 195–207.
8. *Achasov M. N. et al.* The Beam Energy Calibration System for the BEPC-II Collider. arXiv:0804.0159.
9. *Anashin V. et al.* Measurement of $J/\psi \rightarrow \gamma\eta$ Decay Rate and η Parameters at KEDR // *Phys. Lett. B.* 2014. V. 738. P. 391–396;
Aulchenko V. et al. Measurement of the Ratio of the Lepton Widths $\Gamma(ee)/\Gamma(\mu\mu)$ for the J/ψ Meson // *Ibid.* V. 731. P. 227–231.
10. *Толочко Б. П. и др.* Экспериментальная станция «Детонация» на пучке СИ из семиполусной змейки ВЭПП-4 // XX Нац. конф. СИ-2014: сб. тез., Новосибирск, 7–10 июля 2014 г. С. 11.

11. *Rachek I.A. et al.* Measurement of the Two-Photon Exchange Contribution to the Elastic $e^{\pm}p$ Scattering Cross Sections at the VEPP-3 Storage Ring // *Phys. Rev. Lett.* 2015. V. 114.
12. *Onuchin A.P. et al.* Extracted Electron and Gamma Beams in BINP // *JINST.* 2014. V. 9. P. C08022.
13. *Kaminskiy V.V. et al.* Compton Backscattering for the Calibration of KEDR Tagging System // *Ibid.* P. C08021.
14. *Bobrovnikov V.S. et al.* The Energy Calibration System of the KEDR Tagger // *Ibid.* P. C10017.
15. *Holdom B.* // *Phys. Lett. B.* 1986. V. 178. P. 65;
Fayet P., Kaplan J. // *Phys. Lett. B.* 1991. V. 269. P. 213.
16. *Старостенко А.А. и др.* Статус и перспективы инжекционного комплекса ИЯФ // *Письма в ЭЧАЯ.* 2016. Т. 13, № 7(205). С. 1493.
17. *Ворошилов Д.А. и др.* Черенковский датчик на основе кварцевого волокна для исследования поперечного распределения частиц в циклическом ускорителе. Препринт ИЯФ 2015-6. Новосибирск, 2015. 14 с.