

Грани большой работы

Восемнадцатая научная сессия института состоялась 16 марта. На сессии выступили ведущие яффовские ученые, было заслушано двадцать два доклада.

Открывая сессию, директор института П. В. Логачев сказал о том, что в жизни института сейчас сложный и ответственный момент: переход от этапа сохранения и выживания к периоду развития. Нагрузка на всех наших сотрудников, начиная от физиков и заканчивая рабочими, подчеркнул директор, в ближайшее время будет возрастать.

— Наши действующие установки по всем четырем основным направлениям работают в полном объеме на практически предельных возможностях, — продолжил Павел Владимирович. — Работают два коллайдера на тех светимостях, на которых раньше они не работали, имеется в виду не только пиковые, но и средние. Работают все три детектора, записывая данные. Работают оба наших неспециализированных источника синхротронного излучения и лазер на свободных электронах, в полном объеме на всех своих очередях. В полном объеме работают наши плазменные установки, готовится к вводу в режим испытаний уникальная машина мегаваттного класса для нагрева плазмы в непрерывном режиме, так же, как и другие уникальные установки, которые связаны с плазменным на-

правлением. Мы активно участвуем, не только проектируя, но и изготавливая уникальное оборудование для масштабных и важных международных мегапроектов, имеется в виду и коллайдер NICA в Дубне, и комплекс FAIR в Дармштадте (Германия).

Мы активно участвуем в работах по определению будущего ускорительного ландшафта всей мировой науки, в разработке следующего циклического коллайдера на сверхвысокую энергию. При этом мы разрабатываем и активно подготавливаем первый этап реализации наших собственных больших проектов: это специализированный источник синхротронного излучения «СКИФ» и Супер С-Тау фабрика, которая уже фактически финансируется государством через Министерство образования и науки. Проект идет, и нам нужно вкладывать как можно больше усилий в то, чтобы он был реализован к 2025-2027 годам. Это наш главный мегапроект, основа института, поскольку синхротронное излучение — инструмент для пользователей, а вот коллайдер — инструмент для фундаментальной науки, для создания задела, который позволит продвинуться дальше. Нам предстоит большая работа, и сегодняшняя сессия покажет грани этой работы, определит основные направления и позволит оценить масштаб того, что нам предстоит сделать, — этими словами П. В. Логачев завершил свое вступительное слово.

Сессия работала в течение одного дня. (Обзоры докладов читайте на стр. 3-8.)

После завершения всех докладов П. В. Логачев отметил, что на сессии удалось проанализировать состояние дел по основным нашим работам и осознать понятные и необходимые задачи на нынешний год. Также он коротко рассказал о проекте, который сейчас активно обсуждается. Высока вероятность того, что две территории опережающего развития, связанные с высокой концентрацией научных и технологических возможностей Сибири, будут включены в состав государственных проектов в ближайшем будущем — это Томск и Новосибирск. Что касается Новосибирска, речь идет о проекте синхротрона — специализированного источника СИ в Академгородке. Будет развиваться комплексная мультидисциплинарная инфраструктура, связанная с работой не только этого источника, но и других центров коллективного пользования, которые очень важны для решения задач, связанных со стратегией научно-технологического развития. Параллельно будут развиваться и социальные структуры.

— Хочется пожелать всем сотрудникам института успехов в их нелегкой, но очень важной, нужной и интересной работе, — сказал в заключение П. В. Логачев.

И. Онучина.



Наиболее значимые результаты ИЯФ СО РАН в 2017 году

В области ядерной физики, физики элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий

1. Физиками ИЯФ СО РАН в рамках коллаборации BABAR (SLAC, США) завершен цикл работ по изучению процессов электрон-позитронной аннигиляции в пару каонов и пару пионов методом радиационного возврата. В диапазоне энергии от порога до 4,0 ГэВ измерено шесть сечений для процессов $e^+e^- \rightarrow K^+K^-\pi^+\pi^-$, $K_S^0K_L^0\pi^+\pi^-$, $K_S^0K_L^0\pi^0\pi^0$, $K^+K^-\pi^0\pi^0$, $K_S^0K_L^0\pi^+\pi^-$, и $K_S^0K_L^0\pi^+\pi^-$. Причем последние пять сечений измерены впервые. В промежуточном состоянии $\chi(1020)\chi_0(980)$ открыт новый резонанс, вошедший в таблицы элементарных частиц как $\chi(2175)$.

2. В ИЯФ СО РАН в эксперименте с детектором КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М измерены электронные ширины J/ψ и $\psi(2S)$ - мезонов. Электронная ширина J/ψ -мезона измерена с лучшей в мире точностью.

3. В эксперименте с детектором КМД-3 на коллайдере ВЭПП-2000 впервые измерено полное сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\eta$ в области энергий до 2 ГэВ в системе центра масс и изучена динамика этого процесса.

4. В эксперименте с детектором КМД-3 на коллайдере ВЭПП-2000 выполнено прецизионное измерение ряда сечений вблизи $\psi(1020)$ мезона: $e^+e^- \rightarrow K_S^0K_L^0$, K^+K^- , $\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$, проведен детальный анализ результатов с учетом кулоновского вклада и интерференции с $\rho(770)$ и $\omega(782)$ мезонами. Впервые модельно-независимо выделен и измерен изовекторный вклад в рождение пары каонов.

5. Построена теория, которая количественно объяснила аномальное поведение вероятностей распадов ψ и ψ' мезонов на протон-

антипротонную пару и фотон (или омега-мезон) вблизи порога рождения протон-антипротонной пары.

В области физики и техники ускорителей заряженных частиц, источников СИ и ЛСЭ

1. На коллайдере ВЭПП-2000 ИЯФ СО РАН достигнута рекордная светимость $4 \cdot 10^{31} \text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$ в области энергий около 1000 МэВ в пучке в одногустковом режиме.

2. В ИЯФ СО РАН на накопителе ВЭПП-4 создан экспериментальный стенд для радиационного воздействия на онкологические ткани лабораторных животных с использованием микропучкового облучения. Высокая яркость излучения обеспечена установкой 9-ти полюсного вигглера на накопитель.

3. Создан и запущен 9-ти полюсный вигглер, который позволил в 30 раз увеличить интенсивность синхротронного излучения с энергией 100 кэВ при работе ускорительного комплекса ВЭПП-4 на энергии электронов 4 ГэВ.

4. Разработан прототип кулера на рекордную энергию 8 МэВ для Университета Майнца (Германия) и изготовлена первая секция прототипа.

5. Для накопителя-охладителя инжекционного комплекса ВЭПП-5 разработан и изготовлен новый резонатор 1-й гармоники на частоту 11 МГц. Успешный запуск резонатора позволил увеличить зарядовую производительность электронов и позитронов в 2,5-3 раза, что существенно улучшает эффективность работы двух коллайдеров ИЯФ СО РАН: ВЭПП-4М и ВЭПП-2000.

6. В ИЯФ СО РАН был создан прототип сверхпроводящего

ондулятора нового типа с нейтральными полюсами.

7. В рамках международного сотрудничества по созданию Европейского Рентгеновского лазера на свободных электронах (XFEL) в ИЯФ СО РАН было разработано, изготовлено и на территории DESY силами сотрудников института запущено в эксплуатацию уникальное высокотехнологическое оборудование, что позволило в 2017 году провести успешный физический пуск XFEL и начать работу на пользователей.

8. В ИЯФ СО РАН на пучках синхротронного излучения было исследовано разработанное ИХТТМ СО РАН по заданию Минздрава РФ противоязвенное лекарство Витридинол на основе трикалийцитрата висмута. Обнаружено, что в отличие от общепринятого мнения о присутствии ионов висмута в желудочном соке, висмут находится внутри сложного молекулярного комплекса размером несколько нанометров. Этот результат позволяет улучшить эффективность Витридинола за счёт совершенствования структуры и состава обнаруженного комплекса.

В области физики плазмы

1. В экспериментах на установке ГДЛ с помощью управления потенциалом плазмы в области локального поглощения СВЧ-мощности удалось подавить низкочастотные колебания и поддерживать стабильное удержания плазмы в течение всего периода дополнительного ЭЦР-нагрева.

2. С использованием активной стабилизации энергии получен пучок атомов водорода с эквивалентным током 4 А, энергией 50 кэВ со стабильностью лучше 0,1%, что является рекордным достижением.



Инжектор пучка предназначен для активной диагностики плазмы на установке ГДЛ.

3. Впервые получен пучок отрицательных ионов водорода с энергией 117 кэВ и током 1,3 А.

4. В рамках контракта изготовлена и запущена система инъекции нейтральных пучков с полной мощностью более 10 МВт при энергии 15 кэВ и длительности 30 мс.

5. Осуществлен успешный запуск винтовой ловушки, предназначенной для экспериментов по исследованию нового метода снижения продольных потерь плазмы.

6. Предложен и теоретически обоснован эффективный способ генерации узкополосного терагерцового излучения при помощи встречных кильватерных волн в плазме.

7. Решена задача о самосогласованном радиальном равновесии релятивистского пучка заряженных частиц в собственном кильватерном поле в плазме.

8. При экспериментальном моделировании импульсных тепловых нагрузок, ожидаемых для экспериментального термоядерного реактора, удалось зарегистрировать динамику эрозии поверхности материала при уровнях нагрева до порога плавления вольфрама и впервые обнаружить факт большой временной задержки образования трещин, превышающей ожидаемое время достижения вязкохрупкого перехода на 3-4 порядка величины.

В области инновационной деятельности (реализация наиболее значительных законченных в отчетном году исследований и разработок)

1. Впервые предложен, разработан и исследован метод наплавки коррозионноустойчивых элементов, таких как тантал, ниобий, цирконий, на титановую основу с применением электронного пучка, выведенного в атмосферу. Получен двухслойный материал в виде титановых листов с легированным поверхностным слоем толщиной 2 мм, из которого можно изготавливать особо коррозионноустойчивые реакторы химических производств. Предлагаемая технология легирования титановых листов не имеет аналогов в России и за рубежом.

Эксперименты с использованием СИ

Обзор подготовил К. В. Золотарев, к. ф.-м.н., заведующий сектором 8-21

Эксперименты с использованием синхротронного излучения (СИ) в 2017 году проводились на накопительном комплексе ВЭПП-3/ВЭПП-4М.

Основным устройством генерации СИ на накопителе ВЭПП-3 является трехполосный шифтер с полем до 2 Т. Из шифтера организован вывод излучения через 7 каналов на 10 пользовательских станций, оборудованных в специальном экспериментальном зале. Основной режим работы накопителя при генерации СИ — энергия 2 ГэВ, ток пучка от 120 до 50 мА. Для реализации специальных режимов на станции LIGA было проведено несколько смен с энергией 1,2 ГэВ. Обычно параллельно с работой накопителя ВЭПП-3 в режиме СИ проводились работы на станции метрологии, использующей излучение из поворотного магнита коллайдера ВЭПП-4М при энергии электронов 1,2 ГэВ. Работа ВЭПП-4М на высокой энергии (4 ГэВ) одновременно с работой ВЭПП-3 в режиме экспериментов с использованием СИ была невозможна из-за ограничений системы охлаждения.

В первой половине года было отработано пять недельных заходов. Последний заход в июне сопровождался большими проблемами, вызванными неэффективной работой системы охлаждения из-за высокой температуры поставляемой извне технической воды.

Во второй половине 2017 года работа с использованием СИ началась позже из-за ряда технических проблем и модернизации отдельных систем комплекса. Несмотря на это, были проведены следующие операции. Установлен новый вигглер на ВЭПП-4М, гибридная магнитная система вигглера включает постоянные магниты и позволяет получить величину поля 1,95 Тл в семи основных полюсах. Была модернизирована система охлаждения, что позволило организовать параллельную работу в режи-

мах экспериментов с использованием СИ на обоих источниках одновременно, включая режим высокой энергии на коллайдере ВЭПП-4М. Отлажен устойчивый режим работы ВЭПП-4М с энергией 4,5 ГэВ и током пучка до 20 мА, в данном режиме и на новом вигглере поток жестких рентгеновских фотонов (100 кэВ) вырос примерно в 100 раз по сравнению со старыми данными. Проведена существенная модернизация программного обеспечения в системе управления ВЭПП-3. Также были модернизированы элементы высокочастотной системы ВЭПП-4М. Проведенный комплекс мероприятий позволяет надеяться на возможность эффективной работы в режиме генерации СИ в 2018 году.

Наиболее интересные результаты работ с использованием СИ были проведены на станциях ВЭПП-4М. Среди них можно выделить следующие. Отработана методика изучения эффектов влияния мощных импульсных нагрузок на конструкционные материалы для создания термоядерных реакторов, нагрузки создавались специальным лазером с энергией в импульсе около 50 Дж, изучены процессы возникновения, распространения и релаксации стрессов и дефектов в монокристаллическом вольфраме. На станции микрочувствительной терапии проводились эксперименты по дальнейшему совершенствованию методики, в частности, было замечено существенное улучшение терапевтической эффективности облучения опухолей при внедрении в опухоль наночастиц оксида марганца. На станции изучения быстрых динамических процессов проводились эксперименты по изучению процессов отрыва микрочастиц материала при прохождении ударных волн через границы разделов, также изучалась динамика роста детонационных наноалмазов.

В 2017 году ИЯФ получил субсидию на развитие центра коллек-

Продолжение на стр. 8.



Коллайдеры: статус и перспективы

Обзор подготовил Г. М. Тумайкин,
д.ф.-м.н, главный научный сотрудник сектора 1-33

Новый инжекционный комплекс

Прошедший 2017 год запомнился прежде всего успешной работой нового инжекционного комплекса (ИК). Сооружение его имеет длинную историю. В середине 80-х годов в ИЯФе бурно обсуждалась дальнейшая программа развития встречных пучков. Речь шла о сооружении В-фабрики, позднее к этому проекту добавился и проект Ф-фабрики. Всё это было одобрено в 1985 году постановлением ЦК КПСС и Совета министров СССР по фундаментальным свойствам материи. Было определено название проекта — ВЭПП-5. Ещё ранее начались работы по созданию линейного коллайдера ВЛЭПП. Всем этим проектам был нужен высокоинтенсивный инжектор позитронных и электронных пучков. Для решения этой задачи, кроме использования ускорителя стандартного 10-см диапазона, других реальных вариантов не просматривалось. В 1987 году к созданию такого ускорителя подключилась небольшая группа А. Новохатского, имеющая к тому времени опыт создания ускоряющих структур сантиметрового диапазона для проекта ВЛЭПП. Что касается проекта ВЛЭПП, то примерно в это время было решено перенести его в Протвино. Где-то в эти годы я с А. Новохатским ездил в УФТИ (Харьков) для ознакомления с единственным в СССР линейным ускорителем, имевшим энергию

около 2-х ГэВ. Начальник ускорителя А. А. Вишняков после обсуждения наших планов по созданию ИК сказал, что будет хорошо, если вы сделаете эту установку за двадцать лет. Мы это серьезно не восприняли, надеясь на более короткие сроки. Как оказалось, он был оптимистом: ИК реально, даже без дополнительного линака на энергию 5 ГэВ, заработал почти через тридцать лет. Сооружение ИК попало на время перестройки, когда не было достаточного финансирования, и существенная часть кадров уехала из страны, а оставшаяся была вынуждена зарабатывать на контрактах. За эти годы произошло значительное обновление как коллектива, так и руководства ИК. Несмотря на эти и многие другие трудности, ИК удалось создать. Торжественный запуск его состоялся в 2015 году, а в 2017 году началась стабильная работа на коллайдерах ВЭПП-4М и ВЭПП-2000.

Важным событием 2017 года также была установка на накопители-охладители новой ускоряющей ВЧ-системы, позволившей заметно поднять скорость накопления. Согласно докладу руководителя ИК Д. Е. Беркаева, максимальная скорость накопления позитронов в накопители-охладители при частоте 12,5 Гц составляет 3×10^9 частиц в секунду. Это более чем на порядок превышает скорость накопления на установке «Пози-

трон» и позволяет обеспечить надежную работу двух коллайдеров. При проведении экспериментов от ИК вместе с каналами перепуска пучка в бустерные накопители БЭП и ВЭПП-3 требуется работа в четырех режимах с быстрым переключением с одного режима на другой. К настоящему времени удалось создать алгоритм и программное обеспечение для такой работы.

Намечена программа дальнейшего увеличения скорости накопления позитронов. Установка новой пушки, увеличение энергии электронов перед конвертором, ввод в строй дебанчер-монохроматора позитронного пучка позволят в несколько раз поднять скорость накопления. Еще один резерв — увеличение частоты повторения до 50 Гц. Для этого требуется решение проблем охлаждения ряда элементов и др. Следует отметить, что в последующие годы в связи с переходом коллайдеров на более высокие энергии, а также с планами сооружения новой установки м-трон потребуются увеличение интенсивности ИК.

Комплекс ВЭПП-4М

Согласно докладу руководителя работ П. А. Пиминова, программа экспериментов включает в себя работу по физике высоких энергий, работы на пучках СИ установок ВЭПП-3 и ВЭПП-4, работы с внутренней мишенью по программе «ДЕЙТОН», обеспечение работ с тестовым пучком по изучению новых детекторов. Эксперимент с детектором КЕДР постепенно передвигается в область более высоких энергий (выше 2-х ГэВ), это прежде всего измерение параметра R , определяющего вклад адронных процессов. С увеличением энергии ухудшаются возможности калибровки энергии с помощью Тушековского поляриметра, поэтому началось освоение лазерного поляриметра. В мае прошлого года проведена первая калибровка с использованием лазерного поляриметра на энергии 4,06 ГэВ с точностью около 0,6 МэВ, что обеспечивает будущую программу изучения Y -мезонов.

Освоение работы с новым инжекционным комплексом и переход в область более высоких энергий



Девятиполюсная змейка с полем 2 Т на стенде и её создатель П. Д. Воблый.



позволили увеличить светимость до $8 \times 10^{30} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ (2,6 ГэВ), тем не менее по итогам 2017 года не удалось набрать запланированный интеграл светимости, о чем было сказано в докладе В. Е. Блинова. Основная проблема связана с малой надежностью ряда систем питания магнитных элементов и ВЧ-генераторов. Удалось найти и устранить причины неустойчивой работы последних. В связи с программой работ на высокой энергии запланирован ввод второй линейки генераторов, что позволит удвоить мощность ВЧ-системы. Что касается системы питания магнитных элементов, то здесь запланирована большая программа. В первую очередь будет проведена замена источников питания основного поля на ВЭПП-3 и ВЭПП-4.

Успешно развивается методика наблюдения за пучками. Введена Streak-camera, кардинально обновляется система наблюдения на каналах (новые пикапы и оцифровка люминофоров). Освоение новых методик диагностики является хорошим заделом для будущих проектов.

До ввода нового источника синхротронного излучения ВЭПП-4М будет работать на потребителей СИ, поэтому его возможности после ввода новой десятиполосной змейки существенно расширятся.

ВЭПП-2000

Согласно сообщению руководителя ВЭПП-2000 Д. Б. Шварца, несмотря на ряд серьёзных поломок, 2017 год можно считать успешным. Освоение нового ИК и ускорение в бустере БЭП до энергии 850 МэВ позволили получить рекордную светимость $4 \times 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ на энергии 980 МэВ и достичь здесь суточного интеграла 1,260 обратных пикобарн. Отличные результаты были получены и в области низких энергий в начале 2018 года, где при $E=350\text{--}400$ МэВ светимость превышала $10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$. Этого удалось добиться, победив эффект «Пеер-флор». Предельное значение параметра ξ приближается к 0,2. Идея круглых пучков себя оправдала. Пожелаем коллективу ВЭПП-2000 в 2018 году выйти на уровень 10^{32} .

О проектах будущих коллайдеров

В вопросе сооружения новых коллайдеров — Супер С-Тау фабрики и её предшественника μ -трона — ситуация положительно сдвинулась в сторону реализации этих проектов. Обих состоянии соответственно доложили Е. Б. Левичев и А. В. Богомятков.

Амбициозный проект Супер С-Тау фабрики нацелен на получение рекордной светимости $10^{35} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ в области энергий в одном пучке от 1,5 до 2,5 ГэВ. Первая версия проекта, в основном созданная около десятка лет назад, успела устареть. Появились новые идеи, в первую очередь связанные с возможностью укорочения прямолинейных промежутков и использованием разработанных в последнее время для источников СИ магнитных структур с супермалым эмиттансом. На сооружаемом в Японии коллайдере КЕК-В хорошо продвинулась разработка самого сложного места — конструкции фокусирующего участка в области детектора. И, как говорится, не грех использовать найденные там решения. Эти идеи предполагается реализовать в версии 2. В настоящее время проработаны основные решения по новой версии, в частности, периметр кольца сокращен с 813 до 634 метра, что существенно удешевляет стоимость установки.

Для завершения магнитной части проекта необходимо закончить двухколечную конфигурацию, рассчитать степень поляризации, скорректировать хроматизм с учетом всех элементов, получить требуемые динамические апертуру и энергетический акцептанс, разработать схему инжекции, исследовать светимость и эффекты встречи, рассчитать магнитные элементы и убедиться в их реализуемости. По просьбе физиков энергию пучков предполагается увеличить до 3-х ГэВ.

Идея μ -трона возникла в 2016 году и сразу была одобрена научным сообществом. Проект представляет интерес в двух аспектах. Во-первых, это новая физика, связанная с наблюдением димюония и изучения его свойств. Требуется оригинальный детектор с тонкими методиками (высоким координатным разрешением) и разработка способов подавления фоновых процессов. Во-вторых, и

что самое главное, создание этого коллайдера требует разработки не освоенных ранее в ИЯФе технологий, прежде всего связанных с получением больших токов пучка (до 2-х ампер). Это включает в себя следующие проблемы: вакуумная система с низким импедансом, сильфоны, клапаны, коллиматоры, пикапы и т.п.; резонаторы с подавлением высших мод; системы поперечной, продольной связи в многосгустковом режиме; изучение, подавление электронных облаков и ионной неустойчивости; нагрев вакуумных устройств токами изображения. Все эти технологии потребуются при создании Супер С-Тау фабрики, поэтому есть смысл освоить их на небольшом проекте. А для этого всё есть: инжектор, помещение, мозги и энтузиазм. Докладчик А. В. Богомятков в конце своего сообщения приводит слова академика Г. Н. Кулипанова: «Лучше всего молодой специалист растёт, создавая проект с нуля». Проект μ -трон для этого идеален: небольшой срок реализации, есть обширное поле для новых идей и предложений. По предварительным оценкам стоимость проекта 500 млн. рублей, срок сооружения три года. Проект магнитной системы находится в стадии завершения.

Линейные ускорители

В лаборатории, возглавляемой А. Е. Левичевым, ведется многоплановая работа, связанная с разработкой линейных ускорителей. Остановимся на работах, имеющих отношение к будущим коллайдерам. Ключевой частью линейного ускорителя является мощный клистрон. Клистроны большой мощности в России не производятся. Несколько лет назад ИЯФ взялся за разработку такого клистрона. За основу была взята конструкция клистрона, производимого в SLAC (США). В настоящее время работа по изготовлению опытного образца находится в стадии завершения. Клистрон не является точной копией: имеются отличия, связанные как с другой технологией изготовления, так и с улучшением ряда узлов. Наличие собственных клистронов позволит создать новый инжекционный комплекс для Супер С-Тау фабрики, инжектор для запланированного источника СИ, иметь запас для работающего ИК и др. Другой частью работ, связанных с созданием ЛУ, являются исследования по созданию ВЧ-пучек, где имеются новые идеи и хороший задел.





Детекторы ИЯФа

Обзор подготовил М. Н. Ачасов, д.ф.-м.н, главный научный сотрудник лаб. 3-1

Основным событием 2017 года для детекторов КМД-3 и СНД стало начало экспериментов на модернизированном комплексе ВЭПП-2000 с инжекционным комплексом ВЭПП-5. Физическая программа экспериментов разнообразна. Она включает в себя прецизионное измерение сечений процессов электрон-позитронной аннигиляции в адроны, исследование динамики многоадронных процессов, изучение лёгких векторных мезонов и их возбуждённых состояний, поиск процессов рождения C -чётных резонансов в электрон-позитронной аннигиляции, изучение двухфотонной физики.

Измерение сечений электрон-позитронной аннигиляции в адроны в области энергии ВЭПП-2000 в значительной степени мотивировано прецизионными экспериментами по измерению аномального магнитного момента мюона a_μ . Аномальный магнитный момент мюона — одна из наиболее точно измеренных физических величин. Сравнение экспериментального значения a_μ с теоретическим расчётом этой величины является одной из самых чувствительных проверок Стандартной Модели. В настоящее время отличие эксперимента от расчёта составляет около 3,6 стандартных отклонений, что указывает на возможный вклад в магнитный момент мюона взаимодействий вне рамок Стандартной Модели. В 2018 году начал набор данных эксперимент в Фермилабе, в результате которого точность измерения a_μ улучшится в 4 раза. Измерения адронных сечений на ВЭПП-2000 нужны для улучшения точности теоретического расчёта. Первый эксперимент 2017 года длился с февраля по конец июня. Был набран интеграл светимости около 50 пб^{-1} в области энергии выше 1 ГэВ в системе центра масс электрон-позитронных пучков. Из них около 15 пб^{-1} было набрано на пороге рождения пар нуклон-антинуклон. Уже в первом эксперименте скорость набора данных оказалась в два раза выше, чем до модернизации. В ноябре 2017 года начался набор данных в области энергии ниже 1 ГэВ. Окончание эксперимента планируется в июне 2018 года.

О работе на детекторе КМД-3 в прошедшем году рассказал заведующий лабораторией 2, к.ф.-м.н. И. Б. Логашенко. В течение эксперимента системы КМД-3 были в рабочем состоянии. В 2017 году

в полном объеме заработала новая времяпрелетная система. Разрешение для событий $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$ составило 300 пс. Планы модернизации детектора включают в себя замену электроники калориметров КМД-3 к 2020 году. Также предполагается к 2020 году заменить цилиндрическую Z -камеру и разработать новую торцевую координатную систему. В 2017 году начались работы с малоразмерными прототипами этих систем.

Продолжается обработка набранных КМД-3 в предыдущих экспериментах. Был опубликован окончательный результат анализа сечения процессов $e^+e^- \rightarrow K^+K^-$ и $K_S^0 K_L^0$ в области рождения ϕ -резонанса. Точность измерения сечений составила около 2%. Опубликовано первое измерение полного сечения процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$. Был проведён анализ динамики процесса и наблюдалось четыре различных промежуточных состояния.

Доклад о состоянии дел на СНД сделал профессор РАН, д.ф.-м.н. М. Н. Ачасов. В ходе эксперимента системы СНД были в работоспособном состоянии и обеспечили хорошее качество записанных данных. Одновременно, в связи с увеличением светимости ВЭПП-2000 и, как следствие, потока данных, ведутся работы по модернизации системы сбора данных — прежде всего информативных плат, которые осуществляют оцифровку сигналов с детектора. В частности, завершаются работы по разработке новых плат для оцифровки сигналов с калориметра на основе параллельных АЦП (flash ADC). Эти платы позволят помимо амплитуды определять и время срабатывания счётчика. В 2017 году начато массовое производство новой электроники. Предполагается, что в 2018 году, после окончания текущего эксперимента, новые платы будут подключены к калориметру и некоторым другим системам. Общая доля современных плат в системе сбора данных СНД к концу 2018 года должна составлять не менее 60%. В ходе анализа данных, набранных в 2010-2013 г.г., получены и опубликованы следующие результаты. Измерено сечение процесса $e^+e^- \rightarrow \eta\pi^+\pi^-$ с распадом $\eta \rightarrow 3\pi^0$. С учётом предыдущего измерения с распадом $\eta \rightarrow 2\gamma$, сечение этого процесса измерено с наилучшей точностью. Также измерены сечения процессов $e^+e^- \rightarrow K_S^0 K_L^0 \pi^0$ и $K^+K^- \eta$.

Об экспериментах с детектором КЕДР на коллайдере ВЭПП-4М рассказал заведующий лабораторией 3-2, д.ф.-м.н. В. Е. Блинов. Программа экспериментов, в частности, включает в себя измерение масс и лептонных ширин семейств ψ и Y -мезонов, измерение полного сечения рождения адронов в области энергии от 2 до 10 ГэВ в системе центра масс и измерение сечений рождения адронов в двухфотонных столкновениях. Важной чертой экспериментов является прецизионное измерение энергии пучков коллайдера методом резонансной деполяризации. В области менее 3 ГэВ энергия измеряется с помощью тушековского поляриметра, а для области выше 3 ГэВ используется лазерный поляриметр.

В 2017 году детектор КЕДР был в целом в рабочем состоянии. Для измерения масс D -мезонов был набран интеграл светимости около 4 пб^{-1} в области рождения резонанса $\psi(3770)$. Начат набор данных для измерения полного сечения рождения адронов в области энергии выше 4,5 ГэВ, где экспериментальные данные, полученные в других экспериментах, плохо согласуются между собой и требуется увеличение точности измерения. Для выполнения программы набора данных при «высокой» энергии планируется модернизировать электронику и систему сбора данных КЕДР. Также завершаются работы по созданию новой дрейфовой камеры детектора.

В прошедшем году опубликован результат измерения полного сечения рождения адронов в широкой области энергии от 1,8 до 3,7 ГэВ с лучшей в мире точностью. Также наилучшую точность имеют опубликованные результаты по лептонной ширине J/ψ и $\psi(2S)$ мезонов. Было отмечено, что начат анализ двухфотонных процессов. Это стало возможным благодаря запуску в работу системы рассеянных электронов и созданию методики расчёта с высокой точностью её энергетической шкалы.

В 2017 году успешно велись методические работы на тестовом пучке электронов с энергией 100-3500 МэВ. Были выполнены измерения пространственного разрешения координатных детекторов на базе ГЭУ, исследованы временное разрешение и эффективность регистрации приборов на основе МКП.



Плазменные установки

Обзор подготовили А. А. Лизунов, к. ф.-м. н., старший научный сотрудник лаб. 9-1,
А. В. Судников, к. ф.-м. н., старший научный сотрудник лаб. 10.

Проект газодинамической многопробочной ловушки (ГДМЛ) планируется как интеграция основных технологий удержания и нагрева плазмы в открытых магнитных ловушках, освоенных в институте за несколько десятилетий экспериментальных и теоретических исследований. Ключевые принципы — это генерация плазмы с температурой порядка ста миллионов градусов и предельным давлением при помощи инжекции мощных атомарных пучков, многократное уменьшение продольного потока тепла при помощи магнитной гофрировки, дополнительная термоизоляция плазмы от торцевых стенок при помощи специальных ячеек, расширителей магнитного потока. Базовая физика, определяющая поведение плазмы в такой системе, вполне изучена благодаря опыту ГДЛ, ГОЛ-3 и многих других линейных систем с магнитным удержанием. Однако ГДМЛ будет в несколько раз превосходить существующие в ИЯФе магнитные ловушки по размерам, на ГДМЛ требуется в десять раз более сильное магнитное поле, в десять раз большая мощность нагрева плазмы, и параметры плазмы должны превзойти нынешние лучшие достижения приблизительно на десять раз. Кроме того, это переход от плазменных разрядов длительностью в несколько миллисекунд к стационарному режиму удержания плазмы. Один из пунктов программы «максимум», это создание стабильного равновесия плазмы, давление которой лишь на несколько процентов меньше давления удерживающего её магнитного поля, так называемый принцип диамагнитного удержания. Это новая теоретическая концепция, которая ещё не получила должной экспериментальной проверки.

Работы лаборатории 9-1, в частности, её основного направления — экспериментов по удержанию плазмы в газодинамической ловушке, в значительной степени ориентированы на обеспечение и поддержку проекта ГДМЛ. На сегодняшний день в ГДЛ продемонстрировано устойчивое удержание плазмы со средней энергией ионов 10 кэВ и относительным давлением 60%. С использованием нагрева плазмы СВЧ излучением мощностью 0,7 МВт, важной отметки в 1 кэВ достигла температура электронов. Основным достижением кампании 2017 года является отработка метода ста-

билизации плазмы, уменьшения потерь энергии поперёк магнитного поля. Полученные результаты свидетельствуют, что развитая технология подавления поперечного электрического поля обеспечивает переход в так называемый режим «вихревого удержания» плазмы с формированием границы в виде небольшой по радиусу зоны с дифференциальным вращением. При этом баланс энергии основного объёма плазмы полностью определяется мощностью нагрева за счёт инжекции атомарных пучков и СВЧ-излучения, а также газодинамического потока тепла вдоль магнитного поля.

В ближайшие месяцы эксперименты на ГДЛ продолжатся изучением расширяющегося потока плазмы, вытекающего через магнитную пробку, его взаимодействия с торцевой стенкой-абсорбером и эффекта подавления электронной теплопроводности при этих процессах. Для дальнейшего прогресса по электронной температуре планируется рассмотреть альтернативные сценарии СВЧ-нагрева плазмы. В частности, переход на частоту 75 ГГц и использование второй гармоники электронного циклотронного резонанса.

В темпе возникновения новых физических задач в лаборатории 9-1 развиваются и методы диагностики плазмы. Измерительный комплекс ГДЛ пополняется современными инструментами, базирующимися на анализе потоков света, СВЧ-излучения, нейтральных и заряженных частиц плазмы. Новые диагностики дают большой объём данных с высокой пространственной локализацией, измерением и разрешением по времени, и реализованы на современных технологиях.

Работы лаборатории 10 направлены, в первую очередь, на развитие систем улучшенного продольного удержания для перспективной ловушки ГДМЛ. Для подавления продольных потерь частиц и энергии в проект заложены многопробочные секции. В 2017 году анализ всех научных заделов по многопробочному удержанию позволил сформулировать предложения для термоядерной программы России. Эти предложения включают как создание новых установок (среди них «флагманская» — ГДМЛ), так и развитие комплекса существующих установок и стендов для поддерживающих экспериментов. Вне зависимости от дальнейшей судьбы программы

эти предложения определяют направление дальнейших исследований по многопробочному удержанию.

Продолжается создание установки ГОЛ-NB, напрямую моделирующей удержание плазмы в ГДМЛ. Схематически обе ловушки представляют собой центральную область с газодинамическим удержанием и нагревом ионов нейтральными пучками и две концевые многопробочные секции. Различие заключается в меньшей длине, меньшей мощности нейтральной инжекции и меньшей длительности удержания плазмы. В 2017 году в стартовой конфигурации ГОЛ-NB отработывались технологии создания и транспортировки плазмы и работы нагревных инжекторов нейтральных атомов. Неожиданным фактом оказалось то, что за всю историю многопробочных ловушек до 2017 года не был проведён прямой эксперимент по транспортировке холодной плазменной струи через гофрированное магнитное поле.

В докладе были представлены первые результаты исследований динамического многопробочного удержания. В этой схеме плазма «перистальтически» перекачивается в движущихся магнитных пробках. Динамическое многопробочное удержание в теории способно обеспечить экспоненциальную зависимость качества удержания от длины установки, что существенно лучше квадратичной зависимости для стандартных многопробочных систем. Первые эксперименты на установке СМОЛА (Спиральная Магнитная Открытая Ловушка) показали, что эффект винтового удержания есть. Дальнейшая задача — определение эффективности подавления потока плазмы в различных экспериментальных условиях и поиск оптимальных режимов, позволяющих в дальнейшем проектировать винтовые секции для крупных плазменных ловушек.

Важной работой лаборатории является также создание четырёх порт-плаггов для международного экспериментального термоядерного реактора ИТЭР. Вклад ИЯФа в ИТЭР заметен, начиная от постройки зданий и заканчивая изготовлением диагностик.



Эксперименты с использованием СИ

Начало на стр. 3.
 тивного пользования «Сибирский центр синхротронного и терагерцового излучения». В рамках этого проекта были составлены заявки на приобретение оборудования для модернизации существующих и создания новых станций. Первая часть оборудования поступила и была установлена на станции.

Среди планов дальнейших работ на 2018 год можно выделить следующие: проведение международной конференции SFR-2018; запуск новой станции «Прецизионная дифрактометрия и рефлектометрия» на ВЭПП-4М; модернизация станций «Прецизионная дифрактометрия и аномальное рассеяние накопителя ВЭПП-3», «Локальный и сканирующий рентгенофлуоресцентный анализ ВЭПП-3», «Станция «LIGA технология и рентгеновская литография ВЭПП-3», «Метрологическая станция «Космос» на ВЭПП-4М».

Также предполагается аттестовать 7 экспериментальных методик. Общее количество ожидаемых публикаций не менее 50.

Также в 2017 году активно велись работы по продвижению проекта создания нового специализированного источника СИ для Новосибирского научного центра. По результатам анализа пользовательских потребностей и возможных способов реализации были выбраны главные параметры предлагаемого источника. Основное накопительное кольцо должно иметь периметр около 470 метров. Магнитная структура, организованная по схеме гибридный мультибенд-ахромат, по-

зволяет получить равновесный горизонтальный эмиттанс около 190 пикометров радиан для энергии 3 ГэВ, что делает данный проект конкурентоспособным на мировом уровне. Кольцо состоит из 18 суперпериодов и позволяет установить 15 специализированных устройств генерации излучений (вигглеров или ондуляторов). Ускорительный комплекс помимо основного кольца включает в себя линейный ускоритель на 200 МэВ, бустерный синхротрон на полную энергию и каналы транспортировки и инъекции.

В рамках продвижения проекта в ряде институтов СО РАН были проведены специализированные семинары, посвященные новым возможностям экспериментов на ярких пучках СИ из нового источника. Подобные представления были проведены на заседаниях четырех объединенных ученых советов СО РАН и на общей сессии СО РАН в декабре 2017 года.

Предлагаемый проект получил поддержку со стороны Президента и правительства России.

В рамках плана перспективного развития Новосибирского научного центра было предложено выделение участка земли для строительства комплекса зданий для размещения источника СИ и сопутствующей инженерной и исследовательской инфраструктуры. В 2018 году планируется разработать концептуальный проект всех основных систем источника, а с 2019 года начать детальное техническое проектирование и разработку всех систем и элементов.



День открытых дверей

Начало февраля по традиции бывает насыщено множеством мероприятий, которые институты Академгородка, в том числе и ИЯФ, проводят в связи с Днем Российской науки.

9 февраля в ияфовском конференц-зале доктор физ.-мат. наук В. Е. Блинов прочел публичную лекцию «Темная материя во Вселенной», которую посетило около 220 человек (на снимке). Для слушателей так же были проведены ознакомительные экскурсии по институту. Отличительной особенностью этого мероприятия был более высокий интерес, нежели годом ранее, как со стороны образовательных учреждений, так и со стороны обычных граждан. Все желающие не смогли приехать в этот день в ИЯФ, однако этой возможностью они смогли воспользоваться позже. Мы продолжили принимать экскурсии еще в течение месяца после Дня Российской науки, за это время институт посетило еще около 300 человек.

Всего же за прошедший год ИЯФ посетило более 2100 экскурсантов, большинство из них — школьники и студенты вузов и колледжей, также немало представителей различных производств и государственных служащих.



*И. Суриш, председатель совета молодых ученых.
 Фото Н. Кутиной.
 Рисунок Д. Чекменёва.*

Пр. ак. Лаврентьева, 11, к. 423.
 Редактор И. В. Онучина.
 Телефон: (383)329-49-80
 Эл. почта: onuchina@inp.nsk.su
 Выходит один раз в месяц.

Издается
 ученым советом и профкомом
 ИЯФ СО РАН.
 Печать офсетная.
 Заказ №



Тираж 500 экз. Бесплатно.