

*С праздником, милые женщины,
и пусть весеннее настроение
с Вами будет всегда!*



*Фото
Н. Купиной*

Все школы — в гости к нам

В начале февраля ИЯФ вновь распахнул двери для всех желающих. Для школьников и студентов проводились специальные экскурсии, приуроченные ко Всероссийскому дню науки. И если раньше за день ИЯФ принимал до 200 человек, сейчас это число сократилось на порядки.

Все дело в том, что уже второй год ИЯФ организует не день, а целую неделю открытых дверей, которая прошла с 5 по 12 февраля. Это решение было принято Советом молодых ученых института для того, чтобы «разгрузить» большой поток экскурсантов. В связи с этим облегчилась задача не только для экскурсоводов, но и для самих ребят: теперь им не приходится толпиться в «хвосте» и

вытягивать шеи, чтобы услышать рассказ лектора. Кроме того, у них появилось больше возможностей посетить в дни открытых дверей как ИЯФ, так и другие институты СО РАН.

«Когда были большие потоки школьников, приходилось одновременно проводить экскурсии на шести-восьми установках. Дирекция ИЯФ в административном порядке рекомендовала открывать комплексы, временно закрытые для посещения. Теперь в этом нет необходимости, благодаря тому, что «День открытых дверей» решили проводить несколько раз в течение недели. В текущем режиме маршрут может варьироваться в зависимости от того, какие установки

доступны», — говорит координатор экскурсий Андрей Шошин.

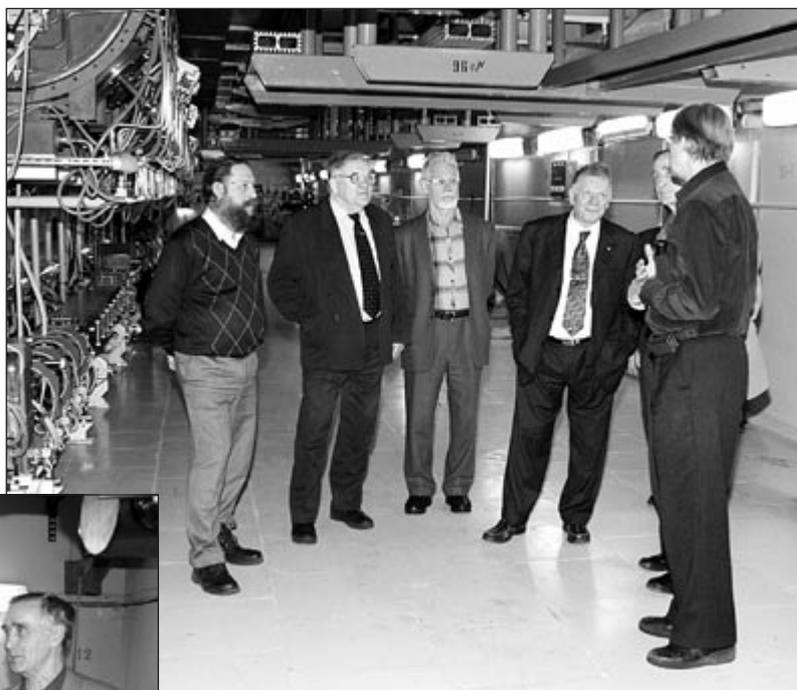
Экскурсия начинается с ознакомительной лекции-презентации в конференц-зале, после чего ребята посещают крупные физические комплексы — плазменные (ГОЛ-3, ГДЛ) и ускорительные (ВЭПП-2000, бункер синхротронного излучения, ВЭПП-4 и ВЭПП-5). В этом году к проведению экскурсий и лекций было привлечено девять молодых сотрудников института. На протяжении нескольких лет в этом мероприятии активно участвуют Антон Николенко, Юрий Роговский, Алексей Харламов, Евгений Балдин, Дмитрий Малютин, Илья Орлов,

(Окончание на стр. 5)



Нобелевский лауреат — гость ИЯФ

Жорес Иванович Алферов, лауреат Нобелевской премии по физике, 2 февраля посетил одну из установок нашего института — лазер на свободных электронах (ЛСЭ). Его сопровождал председатель Президиума СО РАН академик Н. Л. Добрецов. Об исследованиях, которые проводятся на установке, и ее перспективах гостям рассказали директор ИЯФ академик А. Н. Скринский и заведующий лабораторией 8-1 доктор физ.-мат. наук Н. А. Винокуров.



Фоторепортаж Н. Купиной.





Наша справка. Жорес Иванович Алферов — вице-президент РАН, председатель президиума Санкт-Петербургского научного центра РАН, директор Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе, депутат Государственной думы, член комитета по образованию и науке.

Ж. И. Алферов — один из крупнейших российских ученых в области физики и техники полупроводников, его работы получили широкую известность и мировое признание, вошли в учебники. Он автор 50 изобретений, 4 монографий, 400 научных статей в отечественных и международных журналах.

Лауреат Ленинской (1972 г.) и Государственной (1984 г.) премий. Ему присуждено множество международных наград, в числе которых — самая значительная: Нобелевская премия по физике (2000 г.).

Алферов учредил Фонд поддержки образования и науки для поддержки талантливой учащейся молодежи, содействия ее профессиональному росту, поощрения творческой активности в проведении научных исследований в приоритетных областях науки. Первый вклад в Фонд был сделан Жоресом Алферовым из средств Нобелевской премии. За работу «Фундаментальные исследования процессов формирования и свойств гетероструктур с квантовыми

точками и создание лазеров на их основе» Ж. И. Алферов и команда ученых, работающих вместе с ним, были удостоены в 2002 году Государственной премии.

В Академгородке Жорес Иванович был последний раз двадцать лет назад, но теперь его визиты сюда будут более частыми. Академику Алферову и другому Нобелевскому лауреату Лео Есаки принадлежит идея организации Международного симпозиума «Наноструктуры: физика и технология», и следующий, пятнадцатый симпозиум, в июне нынешнего года впервые пройдет

в новосибирском Академгородке, в дни празднования 50-летия СО РАН. Во время нынешнего пребывания Ж. Алферова в Новосибирске состоялось заседание оргкомитета симпозиума.

Однако основная цель визита — сотрудничество с Институтом физики полупроводников СО РАН. Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе (ФТИ, Ленинград-Санкт-Петербург), с которым связана вся жизнь Алферова, давно сотрудничает с новосибирским Институтом физики полупроводников. Жорес Иванович избран Почетным председателем ученого совета ИФП, соответствующие регалии ему были вручены в Москве, в Президиуме РАН. А здесь, в Новосибирске, с использованием высоких технологий была изготовлена твердая копия документа, которую 1 февраля на расширенном публичном заседании ученого совета ИФП СО РАН вручил академику Алферову директор института академик А. Асеев. На этом заседании Нобелевский лауреат выступил с докладом «Полупроводниковые гетеропереходы в солнечной энергетике».

Еще одна встреча с Жоресом Ивановичем Алферовым состоялась в Большом зале Дома ученых, где он прочитал лекцию «Альберт Эйнштейн и развитие квантовой электроники».





На пути к прототипу термоядерной станции

26 декабря 2006 г. постановлением Президиума РАН трое молодых ученых ИЯФ была присуждена золотая медаль за работу «Эффект быстрого нагрева ионов до субтермоядерных температур в многопробочной плазменной ловушке». Сотрудники лаб. 10 Иван Иванов, Сергей Полосаткин и Юлий Суляев первыми обнаружили и экспериментально подтвердили существование эффекта быстрого нагрева ионов плазмы.

По словам заведующего лаб. 10 **А. В. Бурдакова**, «суть работы заключается в том, что открыт путь к нагреву плазмы до термоядерных температур с помощью мощного электронного пучка. Это подтверждено разными способами. Несмотря на то, что данная экспериментальная работа является коллективной, каждый из ребят занимался вполне определенными вещами, без которых нельзя было разобраться в тех явлениях, которые происходят на установке».

Мы решили встретиться с победителями и получить подробную информацию об исследовании «из первых рук».

— *Расскажите подробнее о вашей работе.*

С. П.: Когда на нашей установке (ГОЛ-3) произошел переход к экспериментам с переменным (гофрированным) магнитным полем, наряду с другими диагностиками измерялась температура электронов по Томсоновскому рассеянию. Было обнаружено расхождение между диамагнитными и лазерными измерениями, которое могло объясняться наличием в плазме ионной температуры. Это и дало толчок к созданию специализированных диагностик.

Первую диагностику сделал Иван — им был создан спектроскопический комплекс, позволяющий измерять ионную температуру плазмы по доплеровскому уширению спектральных линий. Чуть позже стали развиваться диагностики для регистрации продуктов термоядерных реакций — этим занимался Юлий. Он разработал комплекс нейтронных детекторов, который позволил измерять полное количество нейтронов и временную эволюцию нейтронной эмиссии.

Затем последовала серия экспериментов, направленных на регистрацию продуктов реакций. Сначала у нас были сомнения в том, что регистрируются именно нейтроны, поэтому много времени ушло на подтверждение их термоядерной природы. Совокупность полученных данных показала, что в плазме действительно существует высокая ионная температура.

— *Были ли получены какие-либо неожиданные результаты в ходе эксперимента?*

Ю. С.: Самым неожиданным было то, что ионная температура получалась необычно быстро. Классический механизм нагрева ионов через столкновения с электронами предсказывает совсем другое время нагрева

С. П.: Для объяснения этого явления была предложена модель коллективного нагрева ионов, когда пучок, находящийся в плазме, нагревает ее в областях сильного магнитного поля. В результате этого образуются потоки, которые давлением плазмы ускоряются навстречу друг другу. Эффекты такого рода наблюдались и раньше, когда были установки с однородным магнитным полем — там искусственно создавали разницу в энерговыделении пучка. Обычно создавали плотное облако. Пучок устроен так, что он хорошо выделяет энергию в плазме с умеренной плотностью. А там, где плотное облако, энергия не выделяется. В результате формировался градиент давления, который ускорял плазму в определенном направлении.

И. И.: Такие плотные облака ускорялись практически до такой же самой энергии, которая получается сейчас на установке. Причем, ускорялись, опять же, ионы. Это несколько согласуется с тем, что у нас сейчас получается. Единственное, что при переходе в

многопробочную конфигурацию, этот механизм был неизвестен.

— *Сколько времени заняла ваша работа?*

И. И.: На многопробочную систему установка переключалась постепенно. Самые первые эксперименты начались в 1999 году, но тогда пытались зафиксировать совсем другие показатели и не особо наблюдали за эффектом быстрого нагрева. Множество экспериментов друг за друга «цеплялись», в результате чего к 2002 году набралась определенная статистика.

Мы провели серию экспериментов, чтобы зафиксировать большую температуру ионов. Как раз в этот период (с 1999 по 2001 год) и обнаружилась разница между электронной и ионной температурами. Проводились предварительные эксперименты по возможности измерения температуры ионов в этой маленькой гофрированной части ловушки. И тогда же зафиксировали увеличение температуры до 0,8 кэВ. А когда мы перевели всю систему на гофрированную, обнаружилось увеличение температуры до 2–3 кэВ.

— *В чем заключается основная сложность проведения подобных исследований?*

Ю. С.: Иногда сложность заключается в интерпретации результатов. Допустим, на моем примере, мы получили какой-то нейтронный поток. И нужно понять, какая из частиц является нейтроном, а какая — гамма-квантом, сопутствующим для нейтрона излучением. Пришлось собирать специальную систему, делать методику, чтобы отделить нейтронный поток от гамма-квантов. С другими диагностиками — точно такая же история.

И. И.: В любой науке так. Если рассматривать одну методику, она может давать спорные результаты, но



совокупность различных диагностик взаимноисключает те или иные эффекты. При наложении результатов выделяется конкретный эффект, в результате он выдается за истинный.

Например, для того, чтобы измерить температуру ионов по доплеровскому уширению, нужно исключить влияние периферии плазмы, которая оказывает воздействие на измеряемый профиль спектральных линий. Для этого необходимо производить измерение альтернативными методами как плотности, так и профилей свечения этих линий по всему радиусу плазменного шнура.

— *Каковы ваши планы?*

И. И.: Факт получения большой ионной температуры был зафиксирован за очень маленькое время: проведенные измерения показали, что температура ионов достигает величины 2 кэВ через 20 мкс после инжекции в плазму электронного пучка. Собственно говоря, в совокупности этот вывод позволил надеяться на то, что наша работа может открыть путь к созданию прототипа термоядерной станции.

Ю. С.: Сейчас мы пытаемся детально выяснить, как работает этот механизм. Если у нас на руках будет некая модель, мы можем оптимизировать сценарий эксперимента для того, чтобы уместить будущий термоядерный реактор в меньшем объеме и с меньшей энергетикой, а взамен получить больший КПД.

С. П.: Теоретики рассматривали схемы термоядерных реакторов на основе многопробочной ловушки еще в 70–80 годах прошлого века, тогда же и были выработаны основные концепции. Но сложилось так, что после этого меньше внимания стали уделять именно термоядерным перспективам. Сейчас, основываясь на знании новых эффектов и лучшем понимании происходящих процессов, можно переосмысливать старые предложения классиков теории многопробочного удержания.

Что ж, «награда наша своих героев», мы поздравляем молодых ученых и надеемся, что полученные ими результаты найдут адекватное применение в будущем.

Ю. Бибко.

На снимке: С. Полосаткин, Ю. Суляев, И. Иванов на установке ГОЛ-3.

Фото Н.Купиной.



ВЭПП-1 — уже музейный экспонат, о самой первой ияфвской установке рассказывают А. Шошин и А. Харламов.

Все школы — в гости к нам

(Окончание. Начало на стр. 1)

Александр Старостенко и другие. Об установке КЕДР впервые рассказывал молодой сотрудник института Александр Бобров. При проведении экскурсий действует неукоснительное правило: об установке может рассказывать специалист, непосредственно работающий на ней.

Большую часть посетителей ИЯФ составили старшеклассники (около 75% от общего числа экскурсантов). Среди «завсегдатаев» экскурсий ИЯФ — школы №162, 163, 190, ФМШ, гимназии №3 и 5, группы из ВКИ, ИХКиГ. Еще 80 ребят прослушали лекции об ИЯФ в Музее науки и техники СО РАН.

Вопросы задавали самые разные: о работе молодых ученых, об институте в целом и даже о том, как устроиться на работу в ИЯФ. Во время экскурсий ребята получили общую информацию об истории института, основных направлениях его деятельности, некоторых применениях разработок и перспективах научных исследований ИЯФ.

По словам Андрея Шошина, «за последние три года интерес школьников к ИЯФ значительно возрос и сейчас держится на стабильно высоком уровне. Интенсивность проведения экскурсий зависит от многих факторов. Например, зимой и в июле их меньше, а наибольший всплеск на-

блюдается в сентябре и в феврале — в дни Знаний и Науки».

Всего в дни открытых дверей ИЯФ посетило 180 человек. Общее количество экскурсантов, ежегодно проходящих через стены института, составляет примерно 1000 человек.

Чтобы привести в ИЯФ группу, нужно связаться с Андреем Алексеевичем Шошиным по телефону 339-40-65 или по электронной почте shoshin@inp.nsk.su и договориться об экскурсии.

Фото Н. Купиной





«Лыжня России-2007» прошла в восьмидесяти городах России, в том числе, уже несколько лет подряд она проходит в Академгородке. Это не случайный выбор: лыжи здесь — самый любимый и очень популярный вид зимнего спорта, и что самое главное, в течение многих лет в очень хорошем состоянии в окрестностях Академгородка поддерживаются несколько лыжных трасс, и даже — единственная в городе освещенная трасса.

Организаторами новосибирской «Лыжни России-2007» выступили: управления физической культуры и спорта Новосибирской области и города Новосибирска, Федерация лыжного спорта Новосибирской области, Новосибирский Центр Высшего Спортивного Мастерства, Дирекция Сибирского фестиваля бега.

Спортивный праздник открыл заместитель мэра г. Новосибирска Анатолий Александрович Корнилов, он пожелал всем участникам соревнований успешных стартов, а победительница «Лыжни России-2006» мастер спорта Наталья Зятикова — «быть всем всегда в форме». После поднятия флага соревнований, ровно в 12.00

участие в них могли все желающие. Имея опыт предыдущих лет, организаторы позаботились о том, чтобы расширить на три метра трассу, что при таком массовом старте было очень важно. Спортивная программа включала гонки на нескольких дистанциях: 5 км — среди юношей и девушек до 17 лет, 10 км — среди мужчин и женщин, 5 км и 10 км — для всех желающих. Борьба на трассе разгорелась нешуточная: да это и понятно — победителей ждали очень хорошие призы. Федерация лыжного спорта Новосибирской области в качестве приза абсолютным победителям выделила два автомобиля. Право на машину по положению имели только жители Сибирского федерального округа, показавшие лучший результат. В результате упорной борьбы, которая развернулась на десятикилометровой дистанции среди мужчин и женщин, обладателями заветных ключей стали: новосибирец Алексей Лушкин и кемеровчанка Наталья Зятикова.

Первое место на дистанции 5 км среди юношей и девушек до 17 лет завоевали Дима Сальников (г. Линево) и Татьяна Маликова (г. Новосибирск), второе мес-

Лыжне все возрасты покорны...

11 февраля 2007 на лыжных базах нашего института и имени А. Тульского состоялась юбилейная XXV Всероссийская массовая лыжная гонка «Лыжня России-2007», в которой приняли участие 16 тысяч 224 человека (в том числе и около пятидесяти ияфовских лыжников) из г. Новосибирска, Линево, Болотного, Иркутска, Кемеровской области и Алтайского края.

был дан первый старт. «Лыжня России» — соревнования, рассчитанные на широкий круг любителей этого вида спорта, принять

то — Евгений Вировой (г. Линево) и Анна Павлова (г. Новосибирск), третье место — Евгений Жуков (г. Болотное) и Анастасия Маскаленко (г. Новосибирск).

В десятикилометровой гонке среди мужчин и женщин победителями стали Алексей Лушкин (г. Новосибирск) и Наталья Зятикова (г. Кемерово), на втором месте — Андрей Гельманов (Алтайский край) и Татьяна Мороз (г. Рубцовск), на третьем — Михаил Вакулич (г. Новосибирск) и Вера Зятикова (г. Кемерово).

Кроме главных призов, всем остальным победителям и призерам вручили кубки, медали, дипломы, а также ценные подарки и сувениры. Призы получили не только те, кто показал лучшее время на дистанции, но и те, кто оказался самыми молодыми участниками — двухлетняя Ксения Скрэнник и шестилетний Павел Кривоногов из Новосибирска, и самыми опытными участниками — восьмидесятилетняя Лидия Ивановна Евстафьева из Болотного и восьмидесятидвухлетний Иван Иванович Кузнецов из Новосибирска.

Кроме пяти- и десятикилометровой дистанций, была еще и так называемая VIP-дистанция, длиной 2014 метров в поддержку кандидатуры города Сочи на право проведения игр Зимней Олимпиады 2014 года. На этот старт вышли известные новосибирские политики, руководители предприятий, организаций и учреждений.



Победители и призеры соревнований, занявшие с первого по третье места в гонке на десять километров, будут представлять наш регион на втором этапе — Гран-при «Лыжня России-2007» — который стартует 21 февраля в г. Сочи.

Среди известных новосибирских спортсменов в «Лыжне России-2007» приняли участие: заслуженный мастер спорта, четырехкратный Олимпийский чемпион Александр Тихонов, заслуженный мастер спорта, Олимпийская чемпионка по лыжным гонкам Зинаида Амосова, а также заслуженный мастер спорта, Олимпийский чемпион, двукратный чемпион мира и Европы Сергей Тарасов.

Это был грандиозный спортивный праздник: и именитые мастера, и любители лыж получили огромное удовольствие от участия в нем, чему способствовала прекрасная безветренная солнечная зимняя погода. А скольжение при температуре чуть ниже минус десяти было отличное! Чтобы полнее представить атмосферу этого события, добавьте к этому великолепные, покрытые инеем березы и ели, громкую музыку, смех, яркие спортивные костюмы, аппетитный запах шашлыков и блинов... Организаторы предусмотрели все возможное для того, чтобы и участники, и зрители чувствовали себя комфортно: был организован бесплатный проезд на электропоездах и автобусах, исправно работали пункты питания, медицинские службы, раздевалки, камеры хранения, была предложена интересная развлекательная программа.

Но, как говорится, лучше один раз увидеть — поэтому приходите сюда через год, чтобы принять участие в следующей «Лыжне России». А чтобы хорошенько подготовиться, начните тренироваться прямо сегодня: лыжные трассы Академгородка ждут всех.

*И. Онучина
Фото автора.*





Простые «рецепты» красоты

Говорят, если относиться к себе хорошо, то и все окружающие будут о тебе исключительно хорошего мнения. Эту мысль подтвердит любая дама, привыкшая регулярно ухаживать за собой. Удивительно, но современным женщинам хватает времени на все: и на работу, и на семью, и на активный отдых. Причем, свой выбор прекрасные дамы все чаще останавливают на самых необычных видах спорта. Сотрудники ИЯФ, например, посещают клуб гидроаэробики. Гидроаэробика (или аквааэробика) — один из видов ритмической гимнастики, который выполняется в воде. В чем преимущества этого оздоровительного занятия, мы решили поинтересоваться у **Ольги Шестаковой**, которая занимается гидроаэробикой достаточно давно.

— **Ольга Павловна, когда и кем был организован клуб?**

— Десять лет назад сотрудница ИЯФ З. Н. Колесникова узнала, что есть тренер, который занимается гидроаэробикой, и пригласила его вести занятия в бассейне ВЦ. Сформировалась инициативная группа, в которую записались и мы. Наш руководитель — Татьяна Николаевна Петрова — тренер высшей категории, кандидат в мастера спорта по легкой атлетике. Она преподает в Новосибирском государственном университете, а также занимается с профессиональными пловцами.

— **Каков основной состав группы?**

— Группа состоит из 20 человек, большая часть из них — сотрудницы ЭП-1. У нас в группе есть две женщины, которые занимаются гидроаэробикой очень давно, практически с самого основания клуба — это Н. В. Гладышева и А. Л. Терешина. Несмотря на то, что в группу очень сложно попасть, иногда в составе происходят изменения. И если появляется вакантное место, его тут же занимают. Поэтому все мы очень дорожим возможностью посещать занятия.

— **С какой регулярностью проходят занятия?**

— Занятия проходят два раза в неделю. 45 минут усиленной тренировки пролетают для нас незаметно. Все это время тренер практически не дает нам передышки: одну-две минуты, не больше. Женщинам очень нравится заниматься. В этом году, когда тренер ушла в отпуск, они не стали делать перерыв, а занимались самостоятельно, чем очень удивили сотрудников бассейна.

— **Какова программа занятий?**

— Мы отрабатываем различные стили плавания, а также делаем специальные оздоровительные упражнения: бег, прыжки, элементы гимнастики («лягушку», шпагат, «велосипед»), имитацию движений рук пловца и т. д. Все это доставляет огромное удовольствие, а также укрепляет здоровье.

— **Помогают ли эти занятия в жизни?**

— Вода стимулирует адаптацию организма к физической нагрузке и способствует закаливанию. Постепенно организм привыкает к постоянной нагрузке и «водные процедуры» превращаются из необходимости в потребность — приятную потребность. Гидроаэробика дарит нам чувство радости, которое вытесняет стресс. Кроме того, положительной энергией, которая вырабатывается в процессе занятий, «заряжаются» все окружающие нас люди.

Все женщины, которые состоят в клубе гидроаэробики, ходят на занятия с большим удовольствием. Мы всегда поддерживаем друг друга, благодаря чему забываем про все свои неприятности. Когда мы праздновали 10-летие клуба — пусть небольшой, но все же юбилей, то в первую очередь поблагодарили тренера и вручили ей наши «пламенные» бумажные сердца.

Пожалуй, для любого человека гидроаэробика — доступное средство укрепления здоровья и прекрасная возможность разнообразить активный отдых. Гидроаэробика — очень полезный вид спорта, особенно для тех, кто имеет серьезные проблемы со здоровьем. Не важно, сколько вам лет, главное — желание быть собой, желание оставаться красивой.

Ю. Бибко.



Ускорители являются главным исследовательским инструментом в физике высоких энергий, и любая новая ступень в ускорительной науке открывает новые перспективы в физике элементарных частиц и фундаментальной ядерной физике.

Рассмотрим современное состояние и близкие перспективы в области физики ускорителей (по состоянию на 2006 год). В настоящее время в группу **протонных/адронных ускорителей и коллайдеров** входит несколько установок.

Основным протонным и протон-антипротонным комплексом в течение последних 20 лет остается комплекс «**Tevatron**» («**Тэватрон**») в Fermilab (Фермилаб, США). Наиболее важный результат, полученный с использованием этого коллайдера — открытие t -кварка — последнего кварка в Стандартной Модели. Также продуктивными были исследования в других областях, особенно изучение электрослабых взаимодействий, нейтринные эксперименты и прямой поиск физики за рамками Стандартной Модели.

В настоящее время происходит последний экспериментальный заход на модернизированном комплексе. Для увеличения светимости коллайдера был сконструирован протонный ресайклер, в котором впервые использованы постоянные магниты в кольце на такую высокую — 8 ГэВ — энергию, для инжекции антипротонов в коллайдер, для их электронного охлаждения (с энергией электронов 4 МэВ!) и для добавления и охлаждения новой порции частиц перед инжекцией в кольцо коллайдера. Электронное охлаждение антипротонов заработало совсем недавно. Основная цель для текущего второго захода является открытие Хиггс-бозона. Но для достижения это-

**А. Н. Скринский, В. В. Пархомчук,
Н. К. Куксанов**

В этом материале представлен обзор современного состояния физики и техники ускорителей в мире и соответствующие перспективы физики элементарных частиц.

го интегральная светимость в двух экспериментальных заходах в коллайдере (D0 и CDF) должна быть по крайней мере больше чем 10 фб^{-1} .

К сожалению, комплекс будет работать в полном масштабе только в течение нескольких следующих лет. Затем работа коллайдера будет остановлена и экспериментальная активность сосредоточится в основном на нейтринных экспериментах с большой базой, может быть, с некоторыми соответствующими усовершенствованиями (протонный линак-инжектор с мощностью несколько мегаватт, с соответствующей модернизацией мишеней). Также рассматриваются некоторые другие опции для Фермилаб

Другая предельная по параметрам и так же широко известная установка с использованием протонных столкновений, а в данном случае работающие на электронах и позитронах — это коллайдер **HERA** в лаборатории DESY. Это пока еще единственный работающий — а не в планах — лептон-адронный коллайдер. В ускорительной области основным достижением комплекса является то, что это — первое сверхпроводящее протонное кольцо на высокую энергию, на нем впервые реализована работа с продольно поляризованными (в местах встречи) частицами в высокоэнергетическом электронном (позитронном) накопительном кольце. В области физики элементарных частиц — прецизионное изучение структурных функций про-

тонов на предельно высоких энергиях и передачах импульсов, включая их спиновую зависимость. Но и этот комплекс будет остановлен в ближайшем будущем.

Важные результаты получены на коллайдере с релятивистскими тяжелыми ионами (**RHIC**). В течение

последних нескольких лет релятивистский тяжело-ионный коллайдер (RHIC) в Национальной лаборатории в Брукхэвене обеспечивает проведение экспериментов на встречных пучках тяжелых ядер на ультрарелятивистских энергиях 100 ГэВ/нуклон. Назначением данного ускорителя является поиск и исследования новых высокоэнергетических форм материи для понимания ее природы и происхождения на наиболее фундаментальном уровне. Первые измерения лобовых столкновений в RHIC с такими тяжелыми ядрами, как золото, приблизили научное сообщество на ступень ближе к долгожданной кварк-глюонной плазме.

Другой режим работы комплекса — это протон-протонные столкновения поляризованных пучков на энергиях до 200 ГэВ + 200 ГэВ, с широким использованием некоторых новосибирских разработок. Светимость, достигнутая в этом режиме, составляет $1 \times 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ при степени поляризации 45%.

В будущем планируется увеличить светимость в ион-ионных столкновениях (цель — увеличение в 10 раз) благодаря использованию электронного охлаждения с очень высокими энергиями электронов (до 55 МэВ) для обоих пучков. Это уменьшило бы эмиттансы ионных пучков и предотвратило их рост из-за внутривидового рассеяния.

Следующий вариант, который рассматривается — это электрон (~10 ГэВ)-



ионные столкновения с достаточно высокой светимостью; в этом случае электронное охлаждение ионов также играет ключевую роль, предотвращая дополнительное уменьшение светимости из-за возмущения электронного пучка на пучок ионов.

Следующий (по энергии) крупный комплекс У-70 работает на протяжении нескольких десятилетий в Протвино, (Россия). Он остается полезным для физики высоких энергий.

Новый передовой адронный коллайдер **LHC** начнет работу в ЦЕРН в 2007 году. Это первый, действительно глобальный проект, в разработке и постройке которого (и самого ускорителя и детекторов) участвуют практически все научно развитые страны. Поиск Хиггс-бозона — одна из наиболее важных задач двух многоцелевых экспериментов ATLAS и CMS, которые будут проводиться на LHC. Последние исследования, в которых проводилось детальное моделирование геометрии и поведения (отклика) детектора, показали, что детекторы LHC способны работать во всем диапазоне масс и зарегистрировать Хиггс-бозон Стандартной Модели уже в первые годы работы. Комплекс LHC имеет огромный потенциал для исследований по t-кварковой физике, для понимания природы нарушения симметрии электрослабого взаимодействия, для поиска признаков физики за пределами Стандартной Модели. Как ожидается, LHC откроет новые горизонты за пределами Стандартной Модели. Это может быть суперсимметрия или что-то более экзотичное и может проявляться в малых отклонениях от предсказаний Стандартной Модели.

Хотя коллайдер LHC (периметр 27 км; номинальное поле в сверхпроводящих поворотных магнитах 8.4 Т) начнет работу в 2007 году, но уже сейчас рассматриваются возможности его поэтапной модернизации в близком будущем. Конечно, увеличение максимальной энергии до 42 ТэВ выглядит фантастичным (магнитное поле должно превышать 26 Т). Но в случае успеха это было бы очень важным достижением для многих приложений.

Японский адронный комплекс (**J-PARC**) нацелен на продвижение во многих областях физики высоких энергий, обеспечивая высокоинтенсивные пучки различных частиц. Ускорительный комплекс состоит из 200 МэВ-ного линака, колец на 3 ГэВ и 50 ГэВ, обеспечивающих протонные пучки со средним током 200 мкА и 10 мкА, соответственно.

Несколько типов экспериментов по ядерной физике с пучками К-мезонов, антипротонов, π -мезонов, гиперонов и первичными пучками, включая пучки тяжелых ионов, запланированы на 50 ГэВ -ном протонном синхротроне. Дополнительно будут проведены эксперименты по редким распадам каонов (например, $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$) и другие проверки симметрии вместе с экспериментами по нейтринным осцилляциям с использованием комплекса «Super-Kamiokande» в качестве детектора. Данная установка находится сейчас на стадии активного строительства.

Проект **FAIR** в GSI — другая установка с высоким научным потенциалом, одобренная для строительства в GSI (Дармштадт, Германия).

Основной целью этого нового комплекса является обеспечение научного сообщества уникальной и технически новаторской ускорительной системой для осуществления будущих передовых исследований в областях науки, касающихся фундаментальных основ материи. Данный комплекс обеспечит широкий диапазон пучков частиц от протонов и антипротонов до ионных пучков химических элементов вплоть до наиболее тяжелых (урана). Ключевой особенностью FAIR будет генерация интенсивных высококачественных вторичных пучков (осколков), включая пучки короткоживущих ядер, часто называемых пучками редких изотопов. Другой особенностью являются превосходные характеристики пучков. Они будут достигнуты благодаря передовым технологиям управления пучками, многие аспекты которых были разработаны в последние годы. В частности, они включают в себя электронное охлаждение на высоких энергиях, высокозарядные ионные пучки в накопителях.

Программа исследований включает работу с пучками короткоживущих ядер, касающуюся важных вопросов поведения очень нестабильных ядер, областей астрофизики и нуклеосинтеза в различных процессах в звездах. Конфайнмент кварков и происхождение массы у адронов могут изучаться на субъядерном уровне, используя пучки антипротонов.

Строительство другой установки, ядерного комплекса **CSR** в Институте современной физики (Ланжоу, Китай), которое позволит проводить новые эксперименты с тяжелыми ионами, находится в завершающей стадии в Ланжоу (с активным участием GSI и ИЯФ СО РАН).

На сегодня наибольшей энергией столкновений 1×1 ТэВ обладает

протон-антипротонный коллайдер «Tevatron» в FNAL. До запуска LHC в ЦЕРН он остается основным источником физической информации в столкновениях адронных пучков. Сегодня его светимость достигла $2 \times 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ и ставится задача достичь к 2009 году интеграла светимости до 7 фб^{-1} как путем улучшения качества пучков, так и увеличения времени жизни светимости. Наиболее заметным шагом стал запуск в эксплуатацию высоковольтного электронного охлаждения, позволивший накапливать рекордное число антипротонов в накопителе RECYCLER

Создание LHC в ЦЕРН вступило в завершающую стадию, активно устанавливаются системы сверхпроводящих магнитов. На конференции «RuPac-2006», прошедшей в ИЯФ в сентябре прошлого года, был представлен обзор работ по созданию системы bus-bar для коммутации сверхпроводящих магнитов. Запущен в эксплуатацию накопитель LEIR с системой электронного охлаждения для накопления ионов свинца, созданной в ИЯФ. Получено до 1.7×10^9 ионов свинца для ускорения в последующей ускорительной пепочке, что обеспечит необходимое число ионов для первой стадии работы LHC.

Быстро развивается проект FAIR в GSI (Darmshtadt), нацеленный на активную генерацию и исследование ядер, далеких от линии стабильности.

В этом проекте обсуждаются исследования ядер путем столкновений как с антипротонами, так и электронами в целой системе накопительных колец. В этом центре уже используются две системы электронного охлаждения — для SIS-18 и ECR, на которых проводятся эксперименты по изучению редких нестабильных изотопов

Предполагается также построить в накопителях NESR и HESR несколько систем охлаждения с энергиями электронных пучков 30, 500, 8000 кэВ на базе разработок ИЯФ. Это позволит работать как с одиночными редкими ядрами, так и с интенсивными ионными пучками. Использование современных систем стохастического охлаждения для предохлаждения редких ядер, рождаемых на мишени, и затем быстрое электронное охлаждение открывает перспективы исследования ядер с малыми временами жизни.

Несмотря на задержку Китайского комплекса тяжелых ионов CSR (IMP, Lanzhou), на нем начались первые работы с ионами углерода. Были проведены эксперименты по накоплению



и электронному охлаждению ионов углерода. При многооборотной инжекции на энергии 7 МэВ/н удавалось за несколько секунд получать ионный ток до 100 мкА при начальном токе с синхротрона 0.5–1 мкА.

По ускорительному комплексу У-70 (ИФВЭ) на конференции «RuPac-2006» был представлен доклад о разработке новой системы медленного вывода, позволяющий улучшить параметры выводимых для экспериментов протонных пучков. Российский ускорительный комплекс ИТЕР-TWAC начал проводить физические эксперименты. За последние годы заметно улучшение параметров пучков, но до параметров пучков GSI ему еще далеко как по интенсивности, так и по качеству пучков.

Следующая группа установок — это **электрон-позитронные коллайдеры** (циклические).

Один из наибольших массивов информации по слабым векторным бозонам (Z и W) был получен на действительно предельном по характеристикам (на данный момент) циклическом e^+e^- коллайдере LEP. В экспериментах на LEP собраны данные на ~20 миллионов событий по Z-бозонам, и с 1996 г. до 2000 г. комплекс работал на энергиях выше порога рождения пар W-бозонов, что позволило зарегистрировать ~40000 пар W-бозонов. Эти данные позволили определить с высокой точностью параметры Z- и W-бозонов и их взаимодействия (couplings) с фермионами. В результате сегодня можно сделать вывод о количестве фундаментальных поколений в Стандартной Модели — их три.

Более того, точные данные с LEP и «Tevatron» играют ключевую роль в оценке массы Хиггс-бозона при глобальной подгонке данных в электрослабой модели $m_H = 114^{+69}_{-45}$ ГэВ. Средняя величина массы Хиггс-бозона в настоящее время совпадает с нижней границей на его массу, полученной по результатам прямых поисков на LEP, и «охота» за Хиггс-бозонами в адронных коллайдерах продолжается.

Сейчас существуют несколько действующих циклических электрон-позитронных коллайдеров, разных по масштабу, но дополняющих друг друга по экспериментальному потенциалу.

Очень удачное электрон-позитронное накопительное кольцо в Корнелле (CESR) обеспечивает столкновения электронов и позитронов с энергиями в системе центра масс в диапазоне от 3 до 12 ГэВ. На этом коллайдере, оснащенном мощными детекторами CLEO I–III изучается рождение и

распад прелестных и очарованных кварков и τ -лептонов. Сообщество CESR проводится несколько наиболее чувствительных тестов для проверки Стандартной Модели, включая наблюдение B-мезонов и их редких распадов, измерение V_{ub} и V_{cb} элементов матрицы Cabibbo-Kobayashi-Maskawa, высокоточные исследования смешивания B^0 -анти- B^0 и многие другие важные исследования. На установке CESR были разработаны новые передовые подходы в ускорительной технике: сверхпроводящие квадрупольные финального фокуса, схема многосуступчатых столкновений в одном кольце с использованием схемы 2D (двухмерного) разделения орбит и другие, некоторые из них были использованы при разработке B-фабрик.

Асимметричные электрон-позитронные **В-фабрики PEP-II и KEKB**, а также их детекторы BABAR и Belle, работают с 1999 года. Оба этих проекта, реализованные на фундаменте результатов экспериментов с DORIS, CESR и LEP, в высшей степени успешны как в техническом, так и в научном плане. Проектная светимость В-фабрик (3×10^{33} см⁻²с⁻¹ для PEP-II и 1×10^{34} см⁻²с⁻¹ для KEKB) была очень претенциозна и, откровенно говоря, рассматривалась со скептицизмом. Тем не менее, обе установки PEP-II и KEKB достигли проектной светимости в необыкновенно короткие сроки, а в настоящее время их светимость даже выше проектной. Такой прогресс был достигнут благодаря значительным продвижениям в ускорительной сфере: использованию цифровой обратной связи пучков и подавлению неустойчивости, связанной с электронными облаками, что дало возможность работать с током в несколько ампер; использование сверхмалых — вертикальных бетатронных функций и, соответственно, маленькой длины сгустков ~ 6 мм; работа при значениях Q_{vert} выше и очень близко (на несколько тысячных!) к полному резонансу; использование большого количества сгустков и сверхпроводящих линз финального фокуса.

Научная производительность PEP-II/BABAR и KEKB/Belle также весьма велика: широкомасштабные изучения CP нарушения в системе B-мезонов, которое было обнаружено впервые; CP нарушения в распадах B-мезонов; демонстрация того, что фаза CP нарушения в Стандартной Модели с тремя поколениями может объяснить все явления CP нарушений, замеченных до сих пор в K- и B-мезонных системах. При работе с BABAR и Belle было

опубликовано более сотни статей, покрывающих широкую область измерений по CP нарушениям, сообщающих об изучении редких распадов и о высокоточных измерениях распадов B и D мезонов и τ -лептонов. В настоящее время их производительность не ослабела. Несколько следующих лет, несомненно, принесут множество прекрасных результатов и, возможно, даже несколько сюрпризов. Уже есть намеки на результаты, не согласующиеся со Стандартной Моделью, в областях, где можно ожидать измеряемых эффектов Новой Физики, но, к сожалению, еще не набрана достаточная статистика.

После шестилетнего опыта работы ярко видна реальная физическая производительность BABAR и Belle, так же, как и их способность проливать свет на эффекты CP нарушений в распадах B-мезонов и возможность проводить точные измерения параметров СКМ матрицы. Кроме того, большой опыт дала эксплуатация PEP-II и KEKB на высокой светимости, включая детальное понимание сопутствующих эффектов. Этот опыт дает прочную основу для значительных улучшений этих коллайдеров и детекторов (супер В-фабрики), которые откроют новые возможности в науке.

Супер В-фабрика — асимметричный e^+e^- коллайдер со светимостью порядка $5\text{--}10 \times 10^{35}$ см⁻²с⁻¹, будет инструментом с уникальной чувствительностью к «flavor couplings» в Новой Физике за пределами Стандартной Модели. Потенциал Супер В-фабрики в исследованиях эффектов Новой Физики в области «ароматов» может быть реализован в двух возможных стратегиях: измерение бранчинга, асимметрий CP нарушений в редких B-, D- и τ -распадах, в которых существуют ясные потенциальные признаки Новой Физики, и в приближении к пределам точности Стандартной Модели, измеряя стороны и углы унитарного треугольника с предельной точностью, определяемой неопределенностями теории, с целью наблюдений расхождения с теорией. Данный проект в настоящее время развивается в КЕК.

Коллайдер DAFNE (Фраскати) — это установка на низкой энергии с высокой светимостью, одна из тех, кто все еще дает значимую информацию для спектроскопии и динамики взаимодействия легких адронов, так же, как и для высокоточных измерений сечения рождения адронов. Последнее важно для оценки поправок высоких порядков в расчетах Стандартной Модели. Такие электрон-позитронные коллайдеры в настоящее время рабо-



тают (DAFNE, Фраскатти) и строятся (VEPP-2000 в Новосибирск, C/Tau фабрика в Пекине и Новосибирске).

Следующий новосибирский коллайдер VEPP-2000 в скором времени начнет работать, заменив удачный коллайдер VEPP-2M, который в течение 25 лет был основным источником информации для электрон-позитронных столкновений в области энергий центра масс до 1.4 ГэВ. VEPP-2000 будет работать в области от ρ -мезонов до 2 ГэВ при светимости до 10^{32} см²с⁻¹. Эта установка позволит проверить концепцию высокой светимости, получаемой благодаря схеме круглых пучков.

Электрон-позитронный коллайдер ВЕРСИИ, строящийся в Пекине, заменит ВЕРС, который успешно работал в течение 15 лет с 1989 года. Пиковая светимость ВЕРС была 1.2×10^{31} см²с⁻¹ при энергии 2×1.89 GeV. Основное достижение ВЕРС — это измерения R в промежутке 2 и 5 ГэВ, прецизионные измерения массы τ -лептона и детальные изучения редких распадов J/ψ and ψ' . Новая установка позволит значительно увеличить выборку чармония и очарованных частиц.

В Новосибирске рассматривается также проект фабрики τ -charm. Строительство инжекционного комплекса для этой установки практически завершено. Помимо высокой светимости, проект коллайдера включает возможность экспериментов с продольной поляризацией и высокой монохроматичностью энергии в центре масс.

Также существуют установки, которые, несмотря на не очень высокую светимость, позволяют проводить уникальные сложные измерения. Пример такой установки — VEPP-4M, усовершенствованный коллайдер VEPP-4, в Новосибирске. На нем продолжается серия экспериментов по точному измерению масс, которая началась на предшествующих коллайдерах VEPP-2M и VEPP-4. Эксперимент основан на методе резонансной деполяризации. В результате была установлена точная шкала массы (точность 10^{-5}) в диапазоне от 1 до 100 ГэВ/c² (таким же методом была измерена масса Z-бозона на LEP). На детекторе КЕДР, установленном на VEPP-4M, продолжают подобные измерения

на новом уровне точности ($M(J/\psi) = 3096.917 \pm 0.010 \pm 0.007$ (было PDG $\Delta M/M = 4 \times 10^{-5}$, стало $\Delta M/M = 4 \times 10^{-6}$); $M(\psi') = 3686.117 \pm 0.012 \pm 0.015$). В настоящее время проводятся эксперименты по измерению τ -лептона с целью достичь рекордной точности.

Перейдем к следующей группе коллайдеров — **линейным**.

Лаборатория DESY в сотрудничестве со многими другими лабораториями подготовила законченный проект линейного коллайдера, который включает множество аспектов (физику пучков, низкотемпературные технологии и даже геологические исследования региона Гамбурга). После нескольких лет сравнительных исследований было решено использовать сверхпроводящие структуры для ILC. Именно сверхпроводящий ILC был принят в качестве следующего Глобально-го Проекта. В течение нескольких последующих лет совместных исследований и разработок должны быть уточнены технические детали, а также выбрано местоположение проекта, и затем начнется строительство ILC.

Но все еще остается много работы в сферах физики и технологий для оптимизации проекта ILC. Один пример: накопительные «кольца» («полной длины»), изначально предложенные в проекте DESY, далеки от оптимума: накопление пучков ограничено их пространственным зарядом. Возможно, лучшим решением будет несколько накопительных колец, расположенных одно над другим в две «колонны» со сравнимой общей длиной.

Другой подход к линейным коллайдерам, работающим на энергии несколько ТэВ, разрабатывается в CERN (проект CLIC).

Следующим этапом в развитии ускорительной техники станут **мюонные коллайдеры**. В настоящее время активно разрабатываются конструкции мюонных коллайдеров, а также различные схемы охлаждения мюонных пучков и прототипы некоторых элементов таких систем.

Особое место занимают ускорители электронов для прикладных целей. На сегодняшний день разработка и изготовление ускорителей электронов для промышленного применения является прибыльным бизнесом. Эти машины получили широкое между-

народное признание и у них есть хорошие перспективы для дальнейшего развития.

В качестве примера можно привести первую в мире полномасштабную установку электронно-лучевой обработки стоков красильного производства в г. Тэгу (Южная Корея). В ней использован ускоритель ЭЛВ-12, мощностью 400 кВт. Применение электронно-лучевой обработки позволяет в два раза увеличить пропускную способность существующей системы биологической очистки, а экономические показатели убедительно подтверждают эффективность процесса.

Электронно-лучевые технологии и техника для их реализации имеют высокий современный уровень. Тем не менее, необходимо поддерживать развитие как ускорителей электронов прикладного назначения, так и самих электронно-лучевых технологий. В противном случае через 5–7 лет можно оказаться среди аутсайдеров.

За рамками данного обзора остаются исследования по плазменным ускорителям заряженных частиц (высокоградиентным кильватерному и лазерному ускорению) как находящиеся на самой начальной стадии.

По направлению ускорителей тяжелых ионов и методам охлаждения заряженных частиц наблюдается заметный прогресс в области улучшения интенсивности и параметров ионных пучков для научных исследований. В Японии и США начали работать новые установки с протонными пучками мощностью более 1 МВт. В России работает комплекс У-70 (ИФВЭ), начал эксплуатацию на ионах углерода комплекс ИТЭФ.

Можно сказать, что российская ускорительная база в области ионных пучков осталась на уровне 1960–1970 годов и не смогла использовать современные системы охлаждения и накопления пучков, которые являются базой для новых научных установок в ЦЕРН (Швейцария), GSI (Германия), FNAL (США), IMP (Китай).

Опубликовано в материалах конференции НЕР-2005.

Перевод с английского М. Петриченкова.

Адрес редакции:
630090, Новосибирск
пр.ак.Лаврентьева, 11, к. 423
Редактор И.В. Онучина

Газета издается
ученым советом
и профкомом ИЯФ СО РАН
Печать офсетная. Заказ № 9

«Энергия-Импульс»
выходит один раз
в три недели.
Тираж 450 экз. Бесплатно.