

В этом году исполнилось 45 лет с начала строительства синхрофазотрона, давшего жизнь Лаборатории высоких энергий. Отдавая дань уважения великим труженикам той эпохи, нам бы хотелось напомнить некоторые факты, связанные с возникновением этой машины. Приняв предложение академика А. М. Балдина помогать ему в научном совете по физике электромагнитных взаимодействий РАН в качестве ученого секретаря, автор публикуемого сегодня обзора познакомился со многими интересными материалами, отражающими важнейший этап становления научной культуры России.

### «Пирамиды XX века»

Ускорители частиц высоких энергий иногда называют «пирамидами XX века». Такое сравнение вызвано не только гигантскими масштабами крупнейших из этих приборов. Не менее значительный импульс был дан коллективному творчеству людей в науке и технике, преодолевающему даже временные рамки существования могучих социально-политических систем. Можно сказать, что магниты современных ускорителей продолжают тягаться к себе людей по все-

дни этот прототип – действующий ускоритель релятивистских электронов на энергию от 300 до 630 МэВ. Несмотря на полувековой возраст, он поддерживается в прекрасной «рабочей форме», играя заметную роль в мировых исследованиях с использованием синхротронного излучения. Напомним историю возникновения этой машины.

В 1944 году В. И. Векслер, увлеченно работавший над проблемой состава космических лучей в высокогорных экспериментах, сделал

8 МэВ, чем экспериментально подтвердили принцип автофазировки.

В ФИАН в 1947 году завершился пуск первого ускорителя релятивистских частиц на энергию 30 МэВ (С-3 или «тройка»), использующего принцип автофазировки. Создание С-3 стало стимулом выработки инженерных решений, легших в основу последующих машин: освоение бетатронного режима для начального ускорения, создание вакуумной системы с камерой, питание магнита, измерения магнитного поля, высокочастотные резонаторы и прочее. Закладывались, по сути дела, основы нового направления науки и техники. С-3 стал основным ускорителем Лаборатории фотоядерных реакций ФИАН. С 1970 года он передан в ИАИ РАН, и сейчас на нем продолжают исследования возбуждения ядер в области гигантского резонанса.

В январе 1948 года было завершено создание первого советского бетатрона (В. И. Векслер, А. П. Комар, П. А. Черенков). В 1950 году пущен модельный синхротрон на 100 МэВ. После того, как на нем был выполнен ряд методических работ, он был передан в 1953 году в Ленинградский физико-технический институт.

### «Питомник» новых идей

Еще до окончания работ на малом синхротроне, проходивших весьма непросто из-за полного отсутствия опыта инъекции, началось проектирование и сооружение ускорителя на энергию 270 МэВ (С-25). Для строительства была выбрана площадка в 20 минутах ходьбы от нынешнего здания ФИАН под названием «Питомник» (очень удачное название, принятое от соседствовавшего питомника роз Ботанического сада). В 1949 году этот электронный синхротрон был запущен в работу под руководством В. И. Векслера, П. А. Черенкова, М. С. Рабиновича. На пучке фотонов тормозного излучения был открыт процесс фоторождения мезонов. Основными направлениями стало изучение процессов образования заряженных и нейтральных мезонов на нуклонах, поляризуемости (деформированности) нуклонов под действием фотонов, фоторасщепления легких ядер для понимания их структуры и природы многонуклонных сил, а также комптоновского рассеяния. Эксперименты продемонстрировали возможность описания явлений физики мезонов на основе квантовой теории поля.

(Окончание на 4–5 стр.)

## Судьба ускорителя

му земному шару и даже целые породы. Наша эпоха имеет шанс войти в историю человеческой цивилизации как «культурный слой строителей синхротронов». Сейчас, когда в России решается судьба этих установок, важно оценить их значение для научно-технического и культурного потенциала нашей страны.

В основе удивительного долголетия этого класса инструментов лежит их способность к качественному совершенствованию при углублении фундаментальных исследований и развитию на их базе новых прикладных разработок. Достаточно сказать, что из пяти ускорителей, созданных под руководством В. И. Векслера, все остаются в работе и продолжают привлекать очень широкий круг исследователей. Укрепление коллективов, поддерживающих и развивающих эти машины, обеспечение их ресурсами плавно переходит из чисто экономической области в область практических политических решений.

### МКМ: полвека

#### в прекрасной форме

Обсуждая будущее дубненского синхрофазотрона, стоит обратиться к судьбе его прототипа – модели кольцевого магнита или сокращенно МКМ, созданного в начале пятидесятых годов с целью проверки решений, принимаемых при создании синхрофазотрона. Замечательный факт состоит в том, что и в наши

важнейший шаг для становления этих исследований в лабораторных условиях. Открытие им принципа автофазировки для резонансного ускорения заряженных частиц дало новую идейную основу для стремительного продвижения по шкале энергий. Уже в 1945 году Векслер с помощью двух молодых физиков – экспериментатора Б. М. Белоусова (погибшего в горах в 1952 году) и теоретика М. С. Рабиновича – приступил к созданию ускорителя на новом принципе. Работа началась в здании ФИАН на Миусской площади. Отношение к его новаторским идеям заметно улучшилось после появления в 1945 году статьи американского физика Э. Макмиллана, несколько позднее установившего этот принцип.

Усилия коллектива лаборатории В. И. Векслера (или Эталонной лаборатории Физического института имени П. Н. Лебедева Академии наук СССР), всего за год выросшей с 4 до 30 человек, были сконцентрированы на создании электронного синхротрона. Так началось создание целого «каскада» ускорителей, первым из которых был бетатрон на энергию 3 МэВ. Позднее этот бетатрон был передан на кафедру ускорителей МГУ.

В 1946 году англичане Говард и Барнес, переделав имевшийся уже у них бетатрон в синхротрон, получили пучок электронов с энергией



**(Окончание. Начало на 3-й стр)**

Они позволили связать электромагнетизм и новую физику сильных взаимодействий. Эти работы (включая создание С-25) были удостоены трех Государственных премий СССР. Их результаты даже в настоящее время отвечают самым высоким мировым стандартам.

На С-25 начинали работу молодые физики, занявшие впоследствии лидирующие позиции в крупнейших научных центрах: М. И. Адамович, А. М. Балдин, А. С. Белоусов, Б. Б. Говорков, В. И. Гольданский, А. Н. Горбунов, Ю. М. Адо, С. П. Денисов, Р. М. Лебедев, М. Ф. Лихачев, В. И. Мороз, А. П. Онучин, Л. Н. Струнов, Е. И. Тамм, И. В. Чувило, Л. Н. Штарков. Многие выпускники физфака МГУ прошли школу Векслера еще в Памирской экспедиции; среди будущих дубненцев – А. Л. Любимов, К. Д. Толстов, М. И. Подгорецкий, И. В. Чувило. Почти наверняка этот список неполон.

Практический опыт, накопленный в лабораториях В. И. Векслера и А. Л. Минца, и разработанные в конце сороковых годов физические принципы и теория движения частиц в ускорителях открыли возможность создания ускорителей на еще большие энергии. В 1949 году по инициативе В. И. Векслера и С. И. Вавилова начались работы по проектированию синхрофазотрона в Дубне (проект КМ – кольцевой магнит; его после кончины С. И. Вавилова утверждал в январе 1951 года Д. В. Скобельцин). Одновременно было решено создать в ФИАН модель ускорителя МКМ (или С-60) на энергию протонов 180 МэВ (руководитель В. А. Петухов, в будущем заместитель директора ЛВЭ). Этот ускоритель был запущен в 1953 году, а с 1959 года он работает в режиме ускорения электронов.

### **Выбор, определивший будущее**

На С-25 и С-60 прошли проверку основные идеи и были подготовлены специалисты, внесшие заметный вклад в создание синхрофазотрона, серпуховского и ереванского ускорителей. На нем выросло новое поколение специалистов по физике высоких энергий. Среди них особенно приятно назвать ветерана Лаборатории высоких энергий Л. П. Зиновьева, запустившего МКМ и синхрофазотрон. В работах на МКМ принимали участие молодые специалисты, только что закончившие институты, – К. П. Мызников, И. Б. Иссинский, Э. А. Мяз, Е. М. Кулакова и другие. После ус-

пеха МКМ В. И. Векслер сказал: «Значит, Ивановский ускоритель будет работать!»

В шестидесятые годы при поддержке Векслера был спроектирован ускоритель С-25Р на энергию 1,2 ГэВ, работающий сейчас в отделении ФИАН в городе Троицке (руководитель Е. И. Тамм). Рассказ об исследованиях на этой машине заслуживает специальной статьи.

Интересно отметить, что и американский физик Э. Макмиллан в 1945 году отдал предпочтение именно созданию электронного синхротрона на энергию 300 МэВ. Этот ускоритель заработал в 1948 году

релятивистских электронов. Эта работа была предпринята для экспериментальной проверки высказанной впервые В. И. Векслером идеи о возможности использования сгустков заряженных частиц в синхротроне для генерации излучения сантиметрового и миллиметрового диапазона длин волн.

### **Синхротронное излучение: в начале пути**

В начале 1949 года А. М. Прохоров (фиановская лаборатория колебаний) предложил переделать предоставленный лаборатории бетатрон на энергию 3 МэВ в синхротрон, работающий на кратной частоте. В результате А. М. Прохоровым и

## **Судьба ускорителя**

и вскоре был передан в Калифорнийский университет.

В 1950 году группой В. И. Векслера (А. М. Балдин, А. А. Коломенский, А. П. Комар, В. В. Михайлов, В. А. Петухов, М. С. Рабинович) было разработано физическое обоснование технического проекта синхрофазотрона на энергию 10 ГэВ для Электрофизической лаборатории АН СССР (ныне ЛВЭ). Этот ускоритель был запущен в 1957 году. Энергия пучка протонов была обусловлена необходимостью преодолеть порог образования не открытых еще антипротонов. Опираясь на свой опыт исследований, фиановцы (прежде всего М. А. Марков) настаивали на варианте электронного пучка. Однако, победила точка зрения физиков, связанных с Лабораторией N 2 И. В. Курчатова, выступивших за протонный вариант. Этот выбор оказался важным для определения научной судьбы ЛВЭ уже через двадцать лет – возникновения на базе синхрофазотрона релятивистской ядерной физики.

Конечно, такой размах работ по становлению ускорительной техники и физики высоких энергий в нашей стране был обусловлен мощной государственной поддержкой этого направления советским правительством. Тогда государственная система выдвинула людей, способных руководить масштабными проектами и брать на себя ответственность за принимаемые решения. Было бы весьма интересно проследить и их судьбу. В то же самое время в ФИАН зародилось новое направление использования пучков

М. Е. Жаботинским был создан синхротрон, работавший на второй кратности, обнаружено и измерено когерентное излучение синхротрона. Одновременно был предложен оригинальный метод определения угловых размеров сгустков электронов по интерференционной картине излучения в синхротроне. В июле 1950 года Н. Г. Басовым была завершена дипломная работа, в ходе которой запущен синхротрон на четвертой и пятой кратностях частоты и измерены соответствующие пики излучения. Так начались в нашей стране работы по синхротронному излучению (СИ).

Вернемся к судьбе МКМ. С 1975 года ускоритель С-60 Лаборатории электронов высоких энергий ФИАН используется как источник синхротронного излучения (руководитель А. А. Комар). Имея максимальную энергию 630 МэВ, он является оптимальным источником мягкого рентгеновского излучения (максимум в спектре достигается при 20 А) и вакуумного ультрафиолетового излучения. Благодаря квазиаккумуляторному режиму работы, высокому значению тока ускоренных электронов на орбите (100-150 мА) С-60 лишь незначительно уступает по рабочим параметрам аналогичным современным источникам СИ (накопителям). В то же время однобанчевый режим работы С-60, во многих случаях отсутствующий в современных источниках СИ, делает его незаменимым инструментом для спектроскопических исследований, нацеленных на изучение кинетики различных процессов.



Ускоритель С-60 отличается надежностью, устойчивостью и может обеспечить до 4000 часов работы в год. Его эксплуатацию в настоящее время обеспечивает небольшой штат физиков и инженеров. В рамках Учебно-научного центра по оптике и спектроскопии ускоритель С-60 является базой для работ студентов и дипломников МГУ. На ускорителе имеется 5 рабочих станций для работы пользователей, использующих синхротронное излучение. Проблематика исследований на С-60 включает в себя такие направления как люминесцентная спектроскопия широкозонных кристаллов, оптика мягкого рентгеновского излучения, разрешенная по времени спектроскопия биологических объектов. Расскажем о них подробнее.

Спектроскопические исследования в области вакуумного ультрафиолета — один из основных методов получения информации о структуре электронных уровней широкозонных ионных кристаллов, т. е. кристаллов с шириной зоны запрещенных энергий свыше 6 электрон-вольт. Интерес к ним вызван разработками сцинтилляторов для работы в условиях больших нагрузок при высоком временном разрешении, люминофоров для запоминающих экранов и газоразрядных приборов, активных сред лазеров.

Мягкое рентгеновское излучение (МРИ) позволяет изучать возбуждения электронов внутренних оболочек атомов и молекул; в ней находится максимум излучения низкотемпературной плазмы. Использование МРИ лежит в основе рентгенолитографии для создания микросхем субмикронных размеров. Решение важных проблем биологии клетки возможно при использовании МРИ.

С 1993 года на источнике С-60 проводятся исследования по созданию оптических элементов МРИ на основе капиллярных систем. Развитие оптики МРИ на основе таких систем открывает широкие возможности создания приборов нового класса: формирование поляризованных пучков, передача рентгеновского изображения, рентгеновская сканирующая микроскопия и других.

Сотрудниками НИИ физико-химической медицины для изучения кинетики люминесценции освоены на С-60 методики временных измерений в наносекундном диапазоне для медико-биологических исследований, на основе которых разработан метод флуоресцентных зондов. Основное направление этих исследований

— поиск новых методик диагностики структуры крови, ее связь с различными заболеваниями. В этом отношении ускоритель имеет важные преимущества перед другими импульсными источниками, например, импульсными лазерами: высокую стабильность временной структуры, значительно более широкий интервал монохроматического излучения и малую мгновенную мощность облучения, что важно при изучении биологических объектов.

#### ОИЯИ — ФИАН:

##### новый этап сотрудничества

Регулярно высказываемый в ОИЯИ интерес физиков стран-участниц к исследованиям с синхротронным излучением мог бы найти вполне реальное воплощение на уже существующей в России установке. ОИЯИ вполне мог бы взять на себя роль посредника в поддержке исследований и эффективном использовании научно-технического потенциала российских центров физиками стран-участниц Института.

ОИЯИ и ФИАН по-прежнему связывают не только история, но научные и практические интересы. Физики ФИАН выражают заинтересованность в прикладных исследованиях на пучках синхрофазотрона по проблеме электроядерного метода генерации энергии и трансмутации радиоактивных отходов. Энергия запрашиваемого пучка легких ядер невысока — 1 — 2 ГэВ на нуклон, что означает примерно шестикратное снижение энергопотребления по сравнению с обычным режимом. Группа ФИАН, работающая на электронном пучке в Троицке, заинтересована в развитии своих экспериментов по поиску так называемых эталонных ядер на внутренней мишени нуклотрона. Это связи закреплены соответствующими протоколами о сотрудничестве. По-видимому, развитие на новом уровне горизонтальных связей ускорительных лабораторий может помочь изменить отношение к судьбе ускорительных центров в России.

В заключение напомним одну историю, которую рассказывает А. М. Балдин при встречах с гостями Лаборатории высоких энергий. Во время утверждения в сенате США строительства ускорителя в Батавии его руководителя Р. Вильсона настойчиво спрашивали, даст ли реализация этого проекта что-нибудь важное для интересов нации: экономики, здравоохранения, может быть, обороны. Ответ был примерно таков: «Даст — для обороны. Он сделает нацию более достойной обороной!»

Обзор подготовил П. ЗАРУБИН

## Наш гость — Политехнический

(продолжение темы)

Впечатленные разнообразием талантов и достижений дубненских детей и молодежи, представители Политехнического музея, посетившие Дубну в середине мая, пригласили наших юных земляков к участию сразу в двух выставках-конкурсах, которые проводятся этим летом в Москве в рамках культурной программы Всемирных юношеских игр и Всемирного интеллектуального фестиваля.

Первая из них — в самом Политехническом музее — называется «Планета юных — Планета чудес». На выставку принимаются модели, изображения, описания необычных сооружений, растений, машин, планет — воображаемые или реально существующие. Автору работы, принятой на конкурс, выдается «паспорт жителя Планеты чудес», победители получают ценные призы и грамоты. Прием экспонатов начался 4 мая и продлится до 12 июля, а официальное открытие выставки назначено на День защиты детей — 1 июня.

Для тех, кто не послал работ на выставку, но посетил ее как зритель и принял участие в составлении Летописи планеты чудес, устраивается свой конкурс. За вклад в Летопись — а это может быть собственное описание предметов выставки, рассказ о жизни обитателей Планеты с использованием ее экспонатов или любых экспонатов Политехнического музея, — предусмотрены отдельные поощрения. Выставка «Планета чудес», ее летопись и интернетовский сайт на сервере Политехнического музея будут работать и пополняться и после официального закрытия, которое пройдет 19 июля.

К участию в выставке приглашаются детские клубы и кружки технического творчества, дети и подростки независимо от организаций и места проживания. **О приеме работ на выставку-конкурс можно узнать подробнее по телефону 928-96-64, телефон оргкомитета выставки — 923-07-56.**

Вторая выставка проводится в павильоне «Мир открытий» Всероссийского выставочного центра под девизом «Научно-технический досуг — поколению XXI века». Сюда принимаются: мини-научные исследования, действующие модели, макеты, игры и игрушки, компьютерные программы.

Призы присуждаются по десяти номинациям, в том числе — за лучший научный, игровой, анимационный, электронный или компьютерный проект или страничку в Интернете. За самый эстетичный, практичный, приближенный к «вечному двигателю». Отдельные номинации — для самых юных и удостоенных зрительских симпатий. Поощрительные призы — за создание положительных эмоций, за лучшее оформление, приз журналистов и др. **Телефон выставки в Москве — 216-15-04.**

Анна АЛТЫНОВА