

# ЭНЕРГИЯ



№ 6-7  
июль-август  
2004 г.

# -континент

## 40 лет лептонным коллайдерам

П. Лукин



15-17 мая в ИЯФ проходил Международный симпозиум, посвященный сорокалетию начала экспериментов на ускорителях со встречными пучками.

19 мая 1964 года на установке ВЭП-1 были впервые зарегистрированы события электрон-электронного рассеяния. Примерно в то же время аналогичные эксперименты были проведены и в Стэнфордском университете (Стэнфорд, США). Это событие открыло новую эру в развитии физики высоких энергий и физики ускорителей, продемонстрировав возможность экспериментального осуществления установки, считавшейся до этого фантастикой.

В настоящее время, эта «фантастика», машины со встречными пучками, является основным инструментом физики элементарных частиц.

Симпозиум был организован совместно физиками нашего института и СЛАК (Стэнфорд, США). В дни симпозиума в Новосибирске собрались вместе более 150 ученых из крупных физических центров всего мира. В работе симпозиума приняли участие Вольфганг К. Г. Пановски (США) и Карло Бернардини

(Италия), которые являются пионерами-патриархами экспериментов со встречными пучками. Также среди участников было заметное число молодых ученых, только начинающих свой путь в физике, для которых общение с «мэтрами» было интересным и поучительным.

Все три дня работы были насыщены интересными докладами, посвященными истории метода

(Продолжение на стр.3)



## Поздравляем!

Ученая степень доктора физико-математических наук присуждена  
Евгению Борисовичу Левичеву (лаб. 1-3).

Ученая степень доктора технических наук присуждена  
Ивану Васильевичу Казарезову (сектор 5-12).

Ученая степень кандидата физико-математических наук присуждена:  
Владимиру Васильевичу Максимову (лаб. 9-1),  
Никите Вячеславовичу Федорову (лаб. 1-4),  
Сергею Александровичу Корепанову (лаб. 9-1).

Ученая степень кандидата технических наук присуждена  
Виталию Рудольфовичу Мамкину (лаб. 6-1),  
Игорю Александровичу Запрягаеву (лаб. 6-2).

## Победители конкурса молодых ученых

### Физика элементарных частиц

1. Папушев Павел Андреевич «Быстродействующие детекторы с высоким пространственным разрешением для маммографии и экспериментов на СИ» (научный руководитель Бару С.Е).

2. Горбачев Дмитрий Анатольевич «Измерение сечения процессов  $e+e- \rightarrow \pi^+\pi^0, \pi^+\pi^-\pi^0$  в области энергий  $1.04 < 2E < 1.38$  ГэВ с детектором КМД-2» (научный руководитель Хазин Б.И.).

3. Барняков Александр Юрьевич «Исследование долговременной стабильности азрогелевых черенковских счетчиков детектора КЕДР» (научный руководитель Онучин А.П.).

### Информатика

1. Степанов Денис Николаевич «Система управления установки ГДЛ» (научный руководитель Иванов А.А.).

2. Жуланов Владимир Викторович «Быстрый детектор СИ DIMEX для изучения ударно-волновых процессов» (научный руководитель Аульченко В.М.).

3. Безуглов Вадим Викторович «Блок управления импульсным линейным ускорителем электронов» (научный руководитель Брызгин А.А.).

## 2004 года

### Физика плазмы

1. Соломахин Александр Леонидович «Двухпроходный дисперсионный интерферометр на основе  $\text{CO}_2$  лазера» (научный руководитель Багрянский П.А.).

2. Иванцовский Максим Владимирович, Семионов Виталий Владимирович «Изучение динамики радиального профиля плотности плазмы на установке ГОЛ-3» (научные руководители Ровенских А.Ф., Полосаткин С.В.).

3. Петренко Алексей Васильевич «Моделирование эффективного режима кильватерного ускорения на инжекционном комплексе ВЭПП-5» (научный руководитель Логачев П.В.).

4. Прихолько Вадим Вадимович «Исследование пространственного распределения быстрых ионов в ГДЛ» (научный руководитель Багрянский П.А.).

### Физика ускорителей

1. Журавлев Андрей Николаевич «Диагностика поперечного профиля пучка с однооборотным временным разрешением» (научный руководитель Мучной Н.Ю.).

2. Веденев Максим Александрович «Изучение рекуперации на установке ЭХ-300» (научный руководитель Пархомчук В.В.).

3. Петренко Алексей Васильевич «Система подготовки пучка для эксперимента по кильватерному ускорению» (научный руководитель Логачев П.В.).

### Радиофизика

1. Зверев Сергей Иванович «Аналоговый интерфейс для прецизионных магнитных измерений в стандарте VME» (научный руководитель Овчар В.К.).

2, 3. Попов Константин Игоревич «Обратная связь для подавления неустойчивости поперечных связанных мод в коллайдере ВЭПП-4» (научный руководитель Карлинер М.М.).

Картошов Владимир Владимирович «Программируемая линия поддержки» (научный руководитель Фролов А.Р.).



П. Лукин

## 40 лет ЛЕПТОННЫМ КОЛЛАЙДЕРАМ

(Продолжение. Начало на стр.1)

встречных пучков, его нынешнему статусу и перспективам развития в будущем, а также многочисленным применениям машин со встречными пучками в областях физики, смежных с физикой высоких энергий (изучение и применение синхротронного излучения и лазеры на свободных электронах).

Первый день работы был посвящен истории и перспективам развития накопительных комплексов со встречными электрон-позитронными пучками. Открыл конференцию сопредседатель Организационного комитета академик А.Н. Скринский, который обратился с кратким приветственным словом к ее участникам. Затем выступил Вольфганг К.Г. Панофски, который рассказал о том, как в его личном и научном общении с академиком Г.И. Будкером зарождалась, развивалась, а затем реализовалась идея ускорителей на встречных пучках.

В своем следующем докладе А.Н. Скринский сделал обзор первых машин на встречных пучках: от ускорителя AdA (Фраскати, Италия), на котором была продемонстрирована возможность реализации метода встречных пучков, до электрон-позитронного накопителя ВЭПП-2 (Новосибирск, Россия), на котором уже проводились полноценные эксперименты по физике высоких энергий, позволившие изучить параметры  $\rho$ - и  $\phi$ -мезона, впервые наблюдать двухфотонные процессы и множественное рождение адронов.

Этот рассказ был продолжен Альбертом Хофманном (ЦЕРН, Швейцария), который посвятил

свой доклад накопительным комплексам следующего поколения: от ВЭПП-2М (Новосибирск, Россия), на котором был выполнен ряд важных, прецизионных экспериментов по физике элементарных частиц в области энергий порядка 1 ГэВ в системе центра масс, до установки LEP (ЦЕРН, Швейцария), на которой были детально изучены калибровочные бозоны  $W^\pm$  и  $Z^0$  — фундаментальные частицы окружающего нас мира.

Другим направлением докладов, представленных на симпозиуме в первый день его работы, были фабрики-ускорители большой светимости, предназначенные для работы при фиксированной энергии пучков, соответствующей либо массе  $\phi$ -мезона ( $\phi$ -фабрики), либо массе  $Y$ -мезона ( $Y$ -фабрики). Шин-ичи Курокава (КЕК, Япония) в своем докладе сделал обзор существующих ныне  $Y$ -фабрик, а Давид Хитлин (Калифорнийский Технологический Институт, Пасадена, США) затем рассказал о тех возможностях, которые откроются перед экспериментаторами, если будет создана  $Y$ -фабрика со светимостью  $10^{36} \text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$  (супер  $Y$ -фабрика). В экспериментах на супер  $Y$ -фабриках будет достигнута такая точность, что станет возможным изучение эффектов, выходящих за рамки Стандартной Модели.

Заключительная сессия первого дня работы была посвящена ускорительным технологиям и методикам, которые применяются или будут применяться в будущем на машинах со встречными пучками. Так, доклад Ивана Коопа (ИЯФ) был посвящен методике создания ускорителя

с круглым поперечным профилем пучка, реализация которой позволит повысить светимость установки. Юрий Шатунов (ИЯФ) рассказал о методе резонансной деполяризации, который был разработан в нашем институте в середине 70-х годов и в настоящее время является основным и самым точным методом измерения энергии пучков в накопителях.

Итог первому дню работы подвела Гэйл Хансон (Университет Калифорнии, США) в своем докладе о роли ускорителей на встречных электрон-позитронных пучках в развитии Стандартной Модели.

Второй день работы был посвящен линейным ускорителям со встречными пучками. Даниэль Буссар (ЦЕРН, Швейцария) сделал обзор различных линейных ускорителей. Марк Росс (СЛАК, США) в своем докладе рассказал об опыте работы ускорителя SLC в СЛАК, а Жан-Пьер Делахэя (ЦЕРН, Швейцария) представил проект Компактного Линейного Ускорителя (CLIC), который мог бы работать тогда, когда закончатся эксперименты на ускорителе LHC, который строится в настоящее время в ЦЕРН. Следующие доклады Луца Лилье (ДЕЗИ, Германия) и Томаса Химеля (СЛАК, Стэнфорд, США) были посвящены различным типам ускоряющих структур в линейных ускорителях. Анджей Вольски (США) рассказал об источниках частиц с малым эмиттансом для линейных ускорителей, а Николас Уолкер (ДЕЗИ, Германия) сделал доклад о проблемах финальной фокусировки пучков. Кон-

(Окончание на стр.4)

П. Лукин

## 40 лет лептонным коллайдерам

(Окончание. Начало на стр. 1, 3)

стантин Лотов (ИЯФ) представил новое направление в физике ускорителей, так называемое кильватерное ускорение частиц с помощью плазмы.

Заключительная сессия второго дня работы была посвящена физике элементарных частиц при энергиях масштаба  $10^{12}$  эВ (ТэВ). В докладе Филипа Барроуза (Лондон, Великобритания) обсуждалось, какие интересные результаты могут быть получены при таких энергиях на машине LHC, а чего можно ожидать от экспериментов на линейных коллайдерах. И завершили второй день конференции доклады о фотонных коллайдерах и двухфотонных процессах при высоких энергиях, кото-

рые представили Валерий Тельнов (ИЯФ) и Майда Веласко (США).

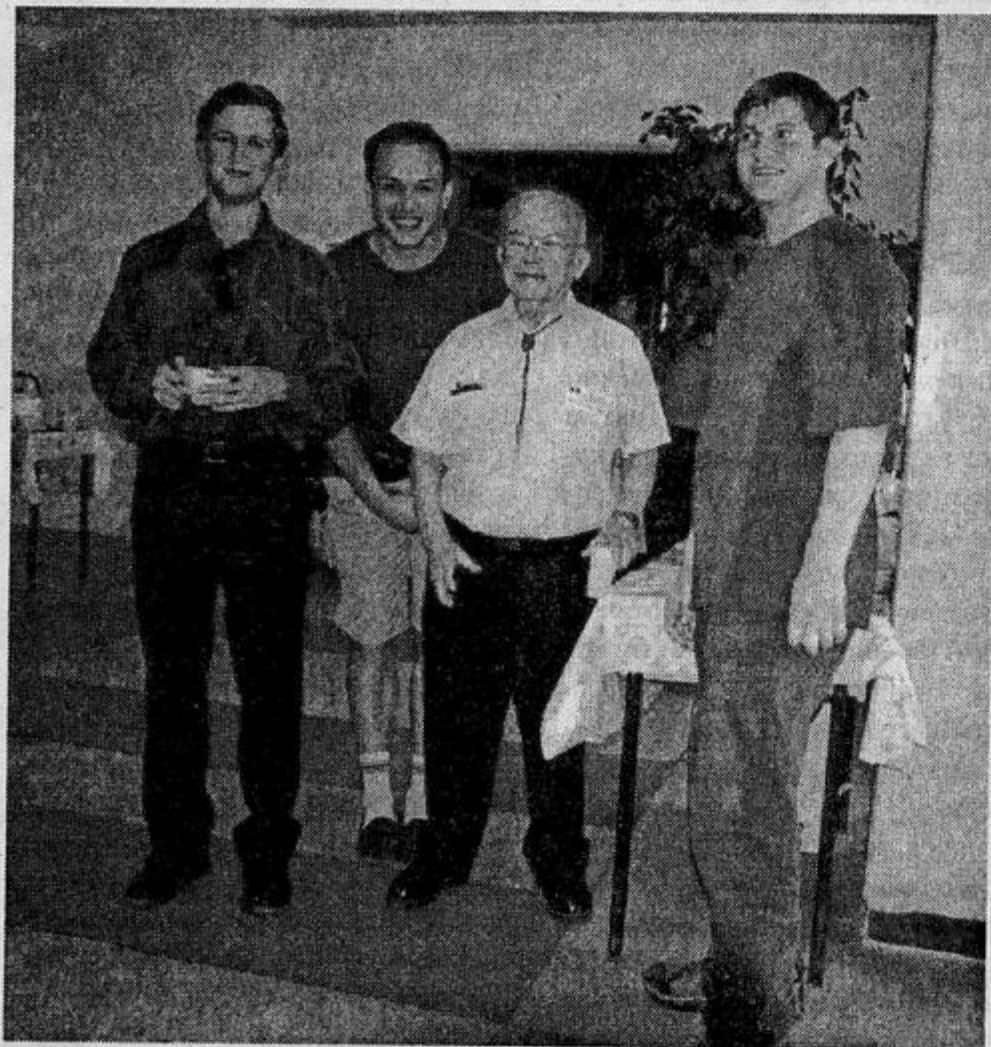
Последний день работы симпозиума был посвящен детекторам для экспериментов на встречных пучках. Сначала один из «пионеров» встречных пучков Жан Огюстен (Париж, Франция) сделал обзор различных типов детектирующих устройств на примерах детекторов, работавших в разное время на различных коллайдерах. А затем Иохим Мних (Аахен, Германия) рассказал о трековых детекторах, Блэр Ратклифф (СЛАК, Стэнфорд, США) представил историю создания систем идентификации частиц на основе черенковских счетчиков и современное состояние дел в этом направлении. И в завершении утренней сессии прозвучал доклад Юрия

Тихонова (ИЯФ) о калориметрах для экспериментов на встречных пучках.

Заключительная сессия третьего дня работы была посвящена приложениям ускорителей на встречных пучках. Леонид Рывкин (Институт Пауля Шререра, Швейцария) сделал доклад об экспериментах по изучению и применению синхротронного излучения, а в рассказе Мари-Эмманюэль Купри (Париж, Франция) говорилось о лазерах на свободных электронах. И под занавес прозвучали два интересных доклада. Доклад Гэйл Хансон был посвящен мюонным коллайдерам — очень перспективному направлению метода встречных пучков с точки зрения экспериментов по открытию так называемого Бозона Хиггса, фундаментальной частицы, «ответственной» за величины масс у элементарных частиц. А в докладе Дмитрия Горбунова (ИЯИ, Москва) говорилось об источниках высокоэнергетических частиц, которые «разбросаны» по всей Вселенной и с помощью которых можно изучать физику элементарных частиц при сверх-сверх высоких энергиях, недостижимых в лабораторных условиях.

Три интересных и незабываемых дня работы симпозиума надолго останутся в памяти его участников. В адрес организационного комитета пришло много благодарностей за хорошо организованную и прекрасно проведенную конференцию (отзывы гостей ИЯФ — на стр.9). Это позволяет организаторам уверенно смотреть в будущее, когда через десять лет в ИЯФ будет проведена конференция, посвященная пятидесятилетию ускорителей на встречных пучках.

Фото В. Баева и Н. Купиной



Вольфганг К. Г. Пановски (США) с молодыми физиками нашего института А. Старостенко, Ф. Подгорным и Ф. Емановым.



*В.Н. Байер*

## Электрон-позитронные пучки в Институте ядерной физики

### Начало работ

реакция Будкера была резко негативной, и он ушел, но минут через двадцать вернулся. В последовавшей после этого дискуссии мы много раз менялись местами, убеждая друг друга и высказывая сомнения в возможности их создания. В итоге Андрей Михайлович потребовал, чтобы я отложил все дела и оценил возможность реализации новой программы.

Со следующего дня началась активная работа. Обсуждения шли с утра до вечера в изматывающем темпе. В результате дней через пять был очень грубо набросан проект установки со встречными электрон-позитронными пучками ВЭПП-2. Максимальная энергия (700 МэВ) была выбрана такой, чтобы рождались К-мезоны.

Затем начался следующий этап проработки проекта, в котором электроны и позитроны должны были двигаться в противоположных направлениях в одном кольце, включая инжектор, выпуск и впуск пучков в накопитель, устойчивость орбит. К концу 1959 года уже велась разработка проекта в конструкторском бюро.

Первоначальная физическая программа была следующей:

— изучение процесса упругого рассеяния позитрона на электроне (аналог упругого рассеяния электрона на электроне) с целью проверки квантовой электродинамики на малых расстояниях;

— изучение процесса аннигиляции электрон-позитронной пары в пару фотонов, что предоставляет дополнительные возможности для проверки квантовой электродинамики на малых расстояниях;

— изучение процесса превращения электрон-позитронной пары в пару  $\mu^-$  и  $\mu^+$  мезонов с целью проверки, являются ли эти мезоны то-

чечными, и если это так, то появляется еще один процесс, в котором может быть проверена квантовая электродинамика на малых расстояниях;

— изучение процесса превращения электрон-позитронной пары в пару  $\pi^-$  и  $\pi^+$  мезонов с целью изучения электромагнитного фактора пиона при времени подобной передаче импульса;

— изучение процесса превращения электрон-позитронной пары в пару  $K^-$  и  $K^+$  мезонов с целью изучения электромагнитного фактора каона при времени подобной передаче импульса.

Следует обозначить уровень физических исследований в этой области в тот момент.

В области ускорительной техники начиная с середины 50-х годов в разных странах мира — Корнел, Пасадена (США), Фраскати (Италия) — были введены в эксплуатацию электронные синхротроны с энергией несколько больше 1 ГэВ, так что опыт эксплуатации подобных установок был еще довольно ограниченным. В нескольких институтах — ЛНМУ-ИЯФ, СЛАК, Харьковский физико-технический институт — были программы создания электрон-электронных встречных пучков, находившиеся в разной степени продвинутой, но весьма далекие от завершения.

В области физики элементарных частиц уровень знаний хорошо прослеживается по книге М.А. Маркова «Гипероны и К-мезоны» в серии «Проблемы современной физики», изданной в 1958 г. В таблице элементарных частиц там есть электрон, позитрон, нейтрино, антинейтрино,  $\mu^-$  и  $\mu^+$  мезоны (это лептоны), а также  $\pi^-$ ,  $\pi^+$ ,  $\pi^0$  мезоны,

(Окончание на стр. 6)

Во второй половине 1959 г. в ИЯФ велась работа над накопителем со встречными электрон-электронными пучками ВЭП-1 и инжектором к нему, а также шло формирование программы физических исследований. Андрею Михайловичу очень хотелось привлечь внимание ведущих ученых страны к работам института.

В октябре 1959 г. в кабинете А.М. Будкера состоялась длительная дискуссия, посвященная работам института по программе встречных электрон-электронных пучков, в которой принял участие И.Я. Померанчук. В дискуссии перемежались теоретические соображения по проверке квантовой электродинамики на малых расстояниях в электрон-электронном рассеянии на большие углы и технические детали, относящиеся к установке ВЭП-1. Большого восторга все сказанное у И.Я. Померанчука не вызвало и никаких слов поддержки не последовало. Впрочем, у остальных участников также не наблюдалось энтузиазма. Проводив И.Я. Померанчука, Андрей Михайлович заглянул ко мне и посетовал, что как-то наша программа не производит впечатления и нужно думать еще, как ее усовершенствовать. Я ответил, что программа будет неизмеримо более богатой, если вместо электрон-электронных встречных создать электрон-позитронные встречные пучки. Первая

В.Н. Байер

# Электрон-позитронные пучки в Институте ядерной физики

## Начало работ

(Начало на стр.5)

массы которых были уже известны довольно хорошо, а также К-мезоны, масса заряженных  $K^+$  и  $K^-$  была известна довольно хорошо, а что касается нейтральных, то они числились еще как  $\theta_1^0$  и  $\theta_2^0$  мезоны, масса которых была известна с точностью до нескольких МэВ, и давался такой общий комментарий: «К-мезоны — общее название для частиц, близких по массе и времени жизни, но распадающихся разными способами». Кроме того, в таблице были протон, нейтрон, их античастицы и 6 типов гиперонов, квантовые числа которых (за исключением странности) были неизвестны.

С учетом сказанного, электрон-позитронные встречные пучки представляли совершенно новые возможности не только для проверки квантовой электродинамики на малых расстояниях, но и для изучения электромагнитного взаимодействия мезонов, участвующих в сильном (ядерном) взаимодействии. В то время об этом вообще не было никакой информации. Даже сечение такого простого процесса, как превращения электрон-позитронной пары в пару  $\mu^-$  и  $\mu^+$  мезонов было вычислено В.Б. Берестецким и И.Я. Померанчуком только в 1955 г. Естественно, что изучение новой области позволяло надеяться на неожиданные открытия. Одним из наиболее важных результатов затем стало наблюдение и изучение свойств векторных мезонов.

На пути реализации программы были, однако, более чем серьезные трудности. Прежде всего, надо было разработать систему получения позитронов (античастиц). Позитроны наблюдались в космических лучах, в некоторых радиоактив-

ных распадах и в реакциях на ускорителях. В 30-40 годы была развита теория электрон-фотонных каскадов в веществе. Но в данном случае требовалось получить пучок позитронов с высокой интенсивностью и малым поперечным размером. Схема получения позитронов, которая была разработана, применяется и сейчас, естественно, с массой усовершенствований: пучок электронов с энергией несколько сот МэВ направляется на мишень из тяжелого металла (вольфрам, свинец) с толщиной в 1-2 радиационных длины. В мишени электрон при столкновении с ядром излучает фотон, который в свою очередь, взаимодействуя с другим ядром, образует электрон-позитронную пару. Родившиеся позитроны надо было собрать и ускорить, а затем ввести в накопитель. Мы начали расчеты конверсии электронов в позитроны почти с самого начала работы. Значительный вклад здесь внес В.С. Сынах (тогда мой аспирант). Например, расчетный коэффициент конверсии  $\mu$  для начальной энергии  $E_0=500$  МэВ в позитроны с энергией  $E_+=250$  МэВ в интервал энергий  $dE_+/E_+=5\%$  составляет  $\mu \sim 1/400$ , если толщина конвертора равна примерно одной радиационной длине. Родившиеся позитроны в основном вылетают вперед. В приведенном примере раствор угла пучка позитронов составляет  $\sim 4^\circ$ . Таким образом, при прочих равных условиях, для создания позитронного пучка нужен пучок электронов с интенсивностью в тысячу раз большей, чем интенсивность, необходимая для создания электрон-электронных встречных пучков. Если же пучок позитронов получают за счет накопления малыми порциями, то, соответственно, в тысячу раз удлинится время накопления.

Наряду с созданием и оптимизацией конвертора необходимо было решить еще целый ряд сложнейших задач:

- создание системы вывода электронов из синхротрона-инжектора, системы ввода электронов и позитронов в накопитель;

- разработка системы каналов для транспортирования пучков;

- обеспечение высокого вакуума в накопителе, поскольку для получения достаточного числа реакций необходимо, чтобы электроны и позитроны сталкивались достаточно длительное время (порядка часов);

- обеспечение стабильности пучков в течение всего времени работы накопителя.

На фоне того, что и установки с электрон-электронными встречными пучками были еще далеки от завершения, и далеко не все считали, что их удастся запустить, предложение создать электрон-позитронные встречные пучки с резко повышенными требованиями к интенсивности и качеству пучков, не встретило поддержки у многих известных ученых в Академии наук СССР. Первые возражения типа — «А у вас все аннигилирует!» — были легко опровергнуты, поскольку сечение аннигиляции заметно меньше, чем сечение рассеяния на малый угол, которое определяет время жизни пучка и которое одинаково для электронов и позитронов. Гораздо сложнее было преодолеть общий отрицательный настрой. И.В. Курчатов направил программу электрон-позитронных встречных пучков на отзыв трем ведущим специалистам. Отзывы были разные, но все резко отрицательные. Игорь Васильевич тогда, посмеиваясь, заявил: «Значит, в этом есть что-то нетривиальное. Надо делать».

Идея ВЭПП-2 возникла с небольшим отставанием от идеи ВЭП-1, все это было в Москве, и развивалось почти параллельно. Но так как ВЭПП-2 была более сложная установка, то ее запуск произошел несколько позднее.

Я не был участником запуска ВЭПП-2, но наблюдал за этими событиями из соседней пультовой ВЭП-1. Так как мы находились рядом, то я всегда был в курсе дела и знал, как развиваются события на ВЭПП-2, а происходило это довольно тяжело и сложно.

Естественно, самая важная проблема — это позитроны. Она всегда была в институте, начиная с ВЭПП-2, есть она сейчас, и только в ближайшие год-два будет разрешена созданием нового инжекционного комплекса.

А когда я увидел первые позитроны на ВЭПП-2 и узнал, какой ток там удалось получить, какие-то десятки микроампер, у меня был очень пессимистический взгляд на то, что можно серьезные эксперименты поставить на ВЭПП-2 с таким маленьким током позитронов.

Постепенно усилиями многих людей (не называя их фамилий, хочу назвать их просто Титанами), работавших

на ВЭПП-2, ситуация улучшалась. Улучшался и сам инжекционный комплекс: на синхротроне БЗ-М увеличивался ток, особенно после постановки второго ИЛУ. И самое главное: были по-

моменте. Часто у нас в разговорах обсуждается, что, если бы Андрей Михайлович с самого начала ориентировался на линейные ускорители для получения позитронов, то тогда бы у нас все было

бы в порядке, может быть, и ВЭПП-3 заработал бы, и так далее. Но сейчас, наблюдая за сооружением инжекционного комплекса ВЭПП-5 и понимая, насколько сложна и высокотехнологична эта техника, я не сом-

неваю, что Будкер был прав, остановившись на циклических сильноточных ускорителях для получения, как электронов, так и позитронов. Это дало нам возможность поставить первые эксперименты, причем высокого класса. Да, конечно, дефицит позитронов был, но они были. Линейный ускоритель сооружался бы много-много лет, на это потратились бы колоссальные усилия, колоссальные средства, и тогда эти эксперименты начались бы много позднее, вероятнее всего, они бы вообще не начались. Другой путь привел бы к провалу программы встречных электрон-позитронных пучков. Тогда ИЯФ не был готов к сооружению таких сложных ускорителей. Такова моя позиция по этому вопросу.

Г.М. Тумайкин

## «Будкер был прав»

ставлены предложенные А.М. Будкером и разработанные Г.И. Сильвестровым X-линзы, которые позволили примерно на порядок поднять эффективность собирания позитронов. Росло понимание проблем самого накопителя ВЭПП-2, где началось бурное развитие ускорительной физики. И только после того, как ВЭПП-2 вышел на токи позитронов в несколько миллиампер, были поставлены первые эксперименты по  $\rho$ -мезону, затем был зарегистрирован  $\phi$ -мезон.

Я пришел на ВЭПП-2 в 1968 году, когда уже проводилась его реконструкция. Сейчас, вспоминая всю нашу историю и анализируя наше прошлое, я бы хотел остановиться на следующем

А.П. Онучин

## ВЭПП-2:

### открытие множественного рождения адронов

Эксперимент был проведен в 1970 г. на ВЭПП-2 в области энергии выше  $\phi$ -мезона,  $2E=1.18-1.34$  ГэВ. Это был первый эксперимент в мире в этой области энергий. Интересная ситуация была при подготовке эксперимента. В 1967 г. на ВЭПП-2 впервые на встречных пучках был изучен  $\rho$ -мезон. В 1968 г. во Франции на коллайдере АСО получены первые данные о рождении  $\omega$  и  $\phi$ -резонансов. В 1969 г. на ВЭПП-2 проведен эксперимент по исследованию  $\phi$ -мезона, в этом эксперименте открыт процесс двухфотонного рождения электрон-позитронной пары.

Эксперименты по изучению  $\rho$ - и  $\phi$ -мезонов четко продемонстрировали резонансный характер  $\pi\pi$  и  $K\bar{K}$ -взаимодействий в соот-

ветствии с теорией векторной доминантности. Экстраполяция данных  $\rho$ - и  $\phi$ -мезонов в область больших энергий приводит к зависимости сечения от энергии как  $1/E^6$ . Такое быстрое падение сечений адронных процессов вызывало уныние, и было даже представление, что на строящихся тогда  $e^+e^-$  коллайдерах на высоких энергиях можно будет изучать только квантовую электродинамику. Правда, появились работы Бьеркена (1967) и Грибова, Йоффе и Померанчука (1967), в которых на основе кварковой модели было получено, что сумма сечений адронных процессов в асимптотике должна падать как  $1/E^2$ . Но в то время еще мало кто верил в кварковую модель и, как всегда, было не ясно, где начинается

асимптотика. Некоторые надежды появились после сообщения из SLAC о том, что в глубоко неупругом рассеянии электронов на протонах сечение превышает предсказание векторной доминантности.

При подготовке нашего эксперимента ставилась задача проверить квантовую электродинамику в процессе рождения  $\mu^+\mu^-$  и получить первые данные о формфакторах  $\pi$ - и  $K$ -мезонов в новой области энергии.

Система регистрации состояла из проволочных и оптических искровых камер, сцинтилляционных и пороговых черенковских счетчиков. Камеры и счетчики имели прямоугольную форму и охваты-

(Продолжение на стр.8-9)

А.П. Онучин

## ВЭПП-2: открытие множественного рождения адронов



(Начало на стр. 7)

вали угол  $\pm 25^\circ$  вокруг вертикального направления. Телесный угол системы составлял  $2 \times 0,8$  стерадиана.

Сцинтилляционные счетчики и оптические ливневые и пробегные искровые камеры использовались те же самые, что и в  $\phi$ -мезонном эксперименте (в 1969 г.). С их помощью определялась длина пробега частиц и наличие ливней в случае регистрации электронов.

Геометрические характеристики событий определялись с помощью проволочных камер. С каждой стороны от места встречи находилось по три двухкоординатных камеры с памятью на ферритах. Проволочные камеры работали в режиме непосредственной связи с ЭВМ «Минск-22». Для событий, отобранных с помощью проволочных камер, просматривались фотографии с оптических искровых камер. Применение проволочных камер позволило на порядок снизить трудоемкость процесса обработки экспериментальных данных.

В черенковских счетчиках в качестве радиатора использовалась вода. Применение черенковских счетчиков обеспечило надежное разделение процессов рождения пар пионов и каонов, а также дало возможность отделить процесс

двойного электророждения позитрон-электронной пары от многочастичных адронных процессов. Отметим, что в данном эксперименте впервые на встречных пучках использовались проволочные камеры и черенковские счетчики.

Состояние накопителя во время проведения эксперимента характеризовалось следующими параметрами: начальный ток позитронов 40 мА, электронов 70 мА, среднее время жизни пучков около 5 часов, светимость, усредненная по времени измерений,  $10^{28} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ . Интеграл светимости составил 13 обратных нанобарн, число событий упругого рассеяния около 500.

Набор статистики начали в феврале 1970 г. Проволочные камеры позволили вести обработку эксперимента с малой задержкой. В мае мы обнаружили странные события, состоящие из двух заряженных неколлинеарных частиц без срабатывания черенковских счетчиков. На фоновых заходах с разведенными пучками и на «космике» таких событий не было. Многочисленные проверки аппаратуры и программного обеспечения говорили, что детектор работает правильно. В июле 1970 г. набор статистики закончился, а в августе мы представили предварительные данные об этих событиях на XV Международной конференции по физике высоких энергий в Киеве. За неделю до конференции сделали препринт, доклад на конференции делал я. Экспериментальные данные о срабатывании черенковских счетчиков и пробеге частиц согласовывались с утверждением, что это — п-

мезонные события.

На этой же конференции итальянские физики сообщили о наблюдении многоадронных событий во Фраскати на установке ADONE в области энергии  $2E=1.6-2.0$  ГэВ (в 1970 г. этот накопитель начал работать на эксперимент). Была бурная дискуссия, которая закончилась тем, что природа этих процессов не понятна.

Интересная ситуация была в ИЯФ после Киевской конференции. Обсуждались две альтернативные программы по дальнейшему изучению природы многоадронных процессов. В первом варианте предлагалось увеличить телесный угол детектора, поднять светимость и быстро продолжить эксперимент. Во втором варианте был предложен новый коллайдер со светимостью на три порядка более высокой, чем была ВЭПП-2, и двумя местами встречи для детекторов с большим телесным углом. Я был сторонником первого варианта. Был принят второй вариант. Так появился коллайдер ВЭПП-2М и детекторы ОЛЯ, КМД, НД.

Анализ экспериментальных данных по многоадронным событиям и поиск их природы продолжался почти два года. Вклад в наблюдаемое число событий квазидвухчастичных процессов  $\rho\pi$ ,  $\omega\pi$ ,  $A\pi$ ,  $\rho\rho$  (работа Алтухова и Хрипловича), а так же процессов тормозного излучения начальных электронов с возвращением на  $\rho$ - и  $\phi$ -резонансы (работа Байера и Хозе) оказался малым. Оценка полного сечения экспериментальных данных была сделана по статистической модели. Окончательные результаты работы были



представлены в 1972 г. В.А. Сидоровым на XVI Международной конференции в Батави и опубликованы в журнале Physics Letters. В заключении статьи сказано, что не существует теории, которая объясняла бы результаты эксперимента.

Кроме многоадронных процессов, в данном эксперименте было сделано еще одно открытие. Обнаружено, что формфакторы  $\pi$ - и  $K$ -мезонов превышают предсказание модели векторной доминантности. Объяснения также не было.

По результатам данного эксперимента было опубликовано еще две работы. Это проверка квантовой электродинамики в процессе рождения пар мюонов и двухфотонное рождение  $e^- e^+$  пар. Последний процесс, как уже указывалось, впервые наблюдали на ВЭПП-2 в 1969 г. В нашем эксперименте черенковские счетчики позволили однозначно идентифицировать электроны.

На материале эксперимента 1970 г. мой первый ученик Л.М. Курдадзе защитил кандидатскую, а я — докторскую диссертацию.

Загадочная природа многоадронных событий, открытых в 1970 году во Фраскати и Новосибирске, стимулировала строительство и запуск новых коллайдеров: SPEAR в SLAC, DORIS в Гамбурге, ВЭПП-2М и ВЭПП-4 в Новосибирске, CESR в Корнельском университете, DCI в Париже.

В 1974 году было открыто в Брукхэвене и SLAC семейство пси-мезонов, состоящих из пары очарованных кварков. Кварковая модель хорошо объясняла экспериментальные данные. Кварковая модель торжествовала! В рамках этой модели наши многоадронные события — это результат рождения пар легких кварков. Что касается открытия больших значений формфакторов  $\pi$ - и  $K$ -мезонов, то дальнейшие эксперименты на ADONE, ВЭПП-2М и DCI привели к открытию тяжелых векторных мезонов  $\rho', \omega', \phi'$ .

## Отзывы о конференции «40 лет лептонным коллайдерам»



Хочется поблагодарить за теплое гостеприимство, оказанное мне во время моего последнего визита. Было очень интересно и познавательно посмотреть лаборатории ИЯФ, снова встретиться с теми, кого я хорошо знаю, а так же познакомиться с молодыми сотрудниками и техническим составом.

Мы увидели вашу отличную экспериментальную работу и почувствовали дух ВЭПП. Конференция Collid 04 прошла необычно весело и интересно. Большое спасибо организаторам конференции за их нелегкий труд. С уважением,

**Блэр Н. Ратклифф**  
(СЛАК, Стэнфорд, США)

Благодарю Вас за приглашение на интересный симпозиум. Мне понравился не только симпозиум, но также дискуссии с учеными, работающими в ИЯФ, жизнь в Сибири и многое другое. С уважением,

**Казухито Оми**  
(КЕК, Япония)

Я хотел бы сказать огромное спасибо за чудесные дни, проведенные в Новосибирске. Я многому научился, и так же смог осмотреть окрестности. Я никогда не забуду ваше восхитительное гостеприимство. С большим уважением,

**Манфред Перника**  
(Вена, Австрия)

Я хотела бы воспользоваться возможностью поблагодарить за ваше исключительное гостеприимство во время нашего трехдневного визита в Будкерровский институт. У нас осталось приятное впечатление об институте, его возможностях, и мы больше узнали об ученых, работающих здесь.

Нам всем было очень приятно провести в вашем институте эти три интересных и насыщенных дня. Обо всех нас очень хорошо заботились. Лично я узнала намного больше о встречных пучках, что благоприятно скажется на развитии моей дальнейшей карьеры и научной работы. Естественно, я не попала бы в SLAC, если бы не проницательность таких великих людей, как Панофски и Будкер, а так же их молодых коллег.

Мне очень жаль, что мое время было так ограничено, но мне необходимо вернуться в Вашингтон для участия в ежегодной встрече Национальной Академии. Еще раз большое спасибо за незабываемое время, которое мы провели на этом замечательном симпозиуме. С уважением,

**Вера Люс**  
(СЛАК, Стэнфорд, США)

Еще раз благодарю Вас за Ваше гостеприимство во время интересной конференции по встречным пучкам.

Мне было очень интересно принять участие в конференции по встречным пучкам и посетить Ваш знаменитый институт. С уважением,

**Альберт Хофманн**  
(ЦЕРН, Швейцария)



**Е.В. Пахтусова**

Начало 60-х годов прошлого столетия. Недавно созданный Г.И. Будкером Институт ядерной физики, г. Новосибирск. Молодые талантливые ученые и инженеры заняты разработкой метода встречных пучков, который должен обеспечить кардинальное продвижение в изучении физики элементарных частиц.

Чрезвычайно сложные установки требовали адекватного подхода в использовании этой новой методики для получения качественно новых результатов по сравнению с экспериментами на обычных ускорителях. Подготовку и проведение экспериментов возглавил В.А. Сидоров, которому в то время едва исполнилось 30 лет. С самого начала было принято направление на максимальную автоматизацию эксперимента. Для этой цели в лаборатории была создана группа радиоинженеров, обеспечивающая эксперименты необходимой электроникой.

Всматриваясь в события тех дней, понимаешь, как далеко за прошедшее время ушла методика проведения экспериментов, насколько совершеннее и сложнее стали детекторы частиц, электроника, обеспечивающая успешное выполнение эксперимента, методы обработки и анализа полученной информации. А тогда все только начиналось...

В качестве детекторов частиц, рождающихся в экспериментах на ВЭП-1 и ВЭПП-2, были выбраны оптические искровые камеры. Освоение этой новой по тем временам методики в институте происходило под руководством молодых физиков Ю.Н. Пестова и Е.А. Кушниренко. Искровые камеры использовались как для определения геометрических параметров рождающихся частиц, так и их сорта по взаимодействию с

материалом «ливневых» и «пробежных» камер. Вся информация с камер регистрировалась на фотопленку, система зеркал позволяла пользоваться одной фотокамерой. А дальше ...

А дальше было чистое поле в программном обеспечении для обработки данных эксперимента. Необходимо было все создавать с нуля, даже собственного компьютера в институте не было: на первом этапе приходилось пользоваться услугами ВЦ Академгородка.

Во время проведения первого эксперимента на ВЭП-1 по проверке справедливости квантовой электродинамики в процессе электрон-электронного рассеяния на большие углы была создана группа под руководством Р. Лебедева для измерения зарегистрированных на пленке координат треков в камерах. Снимки просматривались на аппаратах «Микрофот», которые сейчас еще можно встретить в старых библиотеках для просмотра архивных материалов. Координаты искр определялись по шкале, расположенной на переднем фланце камеры, результаты записывались в журнал, а затем переносились на перфокарту для обработки на ЭВМ. Основную нагрузку этого тяжелого труда несли Г.Н. Хлестова, Г.Т. Шепель, В.Г. Шленкина, Г.В. Щенникова.

В эксперименте на ВЭПП-2 для объема снимков уже использовались полуавтоматические установки ПУОС, в которых оператору необходимо было устанавливать метку прибора на измеряемый объект на пленке, результаты измерения выводились на перфоленку. В это время в институте появился собственный вычислительный центр, возглавляемый В.М. Поповым. В центре большого зала в подвале главного здания института стоял компьютер Минск-22, производительность которого составляла около 5-6 тыс. операций в секунду, емкость оперативной памяти — 8192 37-разрядных ячеек; емкость внешней памяти на магнитных лентах — 1600 тыс. 37-разрядных ячеек; потребляемая мощность — 10 кВт; занимаемая площадь — 80 м<sup>2</sup>. Программировать на этом «суперкомпьютере» можно было только в кодах машины. Транслятор с Фортрана появился позже.

Для надежности получаемой информации каждый снимок измерялся дважды, результаты сравнивались, и при расхождении измерение повторялось. Аппаратура работала ненадежно, иногда при вводе перфоленки в ЭВМ

происходил сбой из-за нарушения структуры данных на перфоленке. Тогда оператор вручную находил «сбойный» участок, исправлял его (например, заклеивал «лишнюю» дырочку на перфоленке), и работа возобновлялась. Поначалу текст программ вводился в ЭВМ с помощью перфокарт. Сложная отладка программ осуществлялась с пульта машины: можно было перейти в пошаговый режим и, считывая показания регистров компьютера, определить, как получается незапланированный результат или происходит сбой. Времени работы за пультом машины не хватало, приходилось делить машинное время «вручную». Позже стали появляться текстовые редакторы, и необходимые исправления в программах передавались в ЭВМ электронным способом.

Постепенно создавалось математическое обеспечение: некий аналог архива данных на магнитных лентах, куда входили как измерения с камер, так и некоторые характеристики проведенных заходов; реконструкция событий; моделирование изучаемых процессов; методы разделения частиц по сорту; программа построения гистограмм; программы минимизации; методы анализа экспериментальных данных и т.д. Помню, как в те далекие времена мне довелось провести институтский семинар на тему: «Метод максимального правдоподобия», и мы нашли самую подходящую дату для этого семинара — 1 апреля.

Несмотря на такую, с нынешних позиций, примитивную технику, в экспериментах на ВЭПП-2, руководителями которых были Ю.Н. Пестов и А.Г. Хабашев, были получены уникальные результаты: было осуществлено первое наблюдение  $\rho$ -мезона на встречных пучках и измерены его параметры, впервые  $\phi$ -мезон был изучен в нескольких модах распада, открыт процесс двухфотонного рождения электрон-позитронных пар, проведена проверка квантовой электродинамики в процессе двухквантовой аннигиляции. В дальнейшем эксперименты на ВЭПП-2 возглавил А.П. Онучин. В этих экспериментах координатные оптические искровые камеры были заменены на волоконные искровые камеры и дополнительно установлен черенковский счетчик. В них впервые были зарегистрированы события множественного рождения адронов, во вне резонансной области были измерены формфакторы пиона и заряженного каона и получены первые указания на превышение экспе-

риментальных значений формфакторов над предсказаниями модели векторной доминантности. Все это оказалось возможным только благодаря усилиям большого коллектива ученых и инженеров, техников, механиков и лаборантов.



С.И. Середняков

В ИЯФ я пришел в 1965 году студентом 3 курса НГУ. Моими руководителями в институте последовательно были А.П. Онучин, Ю.В. Коршунов, А.Г. Хабахпашев. В первые годы изучал ядерную электронику, фотоумножители, сцинтилляционную и черенковскую технику.

В экспериментах на ВЭПП-2 был ответственным за измерение светимости, работу быстрой электроники и сцинтилляционных счетчиков. Считал фоны и радиационные поправки к процессам электрон-позитронной аннигиляции. В дальнейшем занимался оформлением статей и препринтов с результатами ВЭПП-2. На магнитном спектрометре ВЭПП-2 вместе с М.Д. Минаковым мы делали калибровку ливневых счетчиков.

Из используемой в то время техники особенно запомнились анализаторы импульсов Радуга и ААДО, пересчетки на декатронах, выпрямители ВС-22, катодные повторители на радиолампах. Это была вполне хорошая аппаратура, хотя сегодня она могла бы вызвать удивление своими размерами... Компьютеров массового использования еще не было. Высокочастотные транзисторы уже применялись в создании блоков быстрой электроники. Детекторы в то время не имели названий и назывались просто «системой регистрации». Вместо лабораторий были сектора. Кроме руководителей, в те годы приходилось много работать вместе с Л. Курдадзе, Г. Савиновым, Г. Мелеховым, Н. Тумай-

киной, А. Волковым, И. Фельдманом и другими, за что я всем им благодарен.

К концу 60-х годов ИЯФ стал известным в Советском Союзе и мире центром физики высоких энергий. Институт стали часто посещать знаменитые люди. Вспоминается такой случай, произошедший со мной. Я сидел в подвале под ВЭПП-2 и занимался распайкой электроники. В тот день (а я об этом не знал) в институт приезжал шах Ирана М.Р. Пехлеви. Всех сотрудников выроводили из блока 3, но меня не заметили. Когда я закончил работу и вылез наружу, то увидел шаха Ирана, а также Лаврентьева и Будкера. Они плотно стояли, закрывая мне выход. Я постоял рядом с шахом и послушал речь Будкера, который говорил что-то об античастицах, потом как-то протиснулся между ними и вышел из зала, где меня остановили люди в штатском, но все в конце концов обошлось.

В физике элементарных частиц в то время не было Стандартной Модели, существование кварков еще не было доказано, хотя кварковая модель, конечно, была. Так как в те годы мне приходилось больше работать с электроникой, то о значении полученных на ВЭПП-2 физических результатов в то время я много не думал. Но сегодня имеет смысл еще раз произнести, что пионерские эксперименты на ВЭПП-2 много дали для физики элементарных частиц. Так, например, первое в мире наблюдение многоадронного рождения пи-мезонов является сегодня одним из доказательств существования кварков. Видимое нарушение векторной доминантности на ВЭПП-2 сейчас объясняется наличием возбужденных кваркониев. Первое наблюдение рождения  $e^+e^-$  пар положило начало развитию физики фотон-фотонных столкновений и, может быть, в будущем фотон-фотонных коллайдеров. И, наконец, само направление встречных пучков является сегодня в физике элементарных частиц доминирующим.

Юбилей 40-летия встречных пучков дал повод задуматься над тем, есть ли у нас сейчас перспективы для новых результатов, аналогичных сделанным на ВЭПП-2? Наверное, есть. Опыт показывает, что всегда, когда становится доступной новая область энергии, или более высокая светимость, или какие-то другие возможности более точных измерений, можно ожидать принципиально новых результатов или даже новой физики. Тому есть немало примеров в ИЯФ. Поэтому наша работа над созданием новых ускорительных и детекторных методик дает нам такие перспективы.

Е. Кремянская

## В шахматном клубе

В этом году сменилось руководство нашего шахматного клуба: Утюпин И.Ф. сложил с себя полномочия председателя, передав их Бугаеву С.В. В прошедшем сезоне нам удалось закупить еще несколько комплектов досок и шахматных часов, что позволило увеличить количество участников турниров. Кроме того, благодаря подарку сотрудников детектора КЕДР, мы получили пару «лишних» часов.

Мечтой нашего клуба остается проведение межинститутского турнира по шахматам, которое, к сожалению, затрудняется отсутствием клубов, как организующего начала, в других институтах. На наше предложение откликнулась только команда университета, поэтому решили пока турнир не проводить.

По-прежнему тяжело проходит командное первенство ИЯФ. Как и в прошлом году были две команды от НКО (капитан обеих команд — Кремянский В.Я.) и команда ВЭПП-2000 (капитан Непомнящих М.И.), значительно менее активно стала играть команда ВЭПП-4 (капитан — Утюпин И.Ф.). Эти четыре команды участвуют в командном первенстве уже второй год, хотя каждый раз ожидаются две команды из Чем, которые по разным причинам так и не появляются.

Для проведения турнира этого сезона пришлось ввести систему усреднения баллов (т.е. это был обычный турнир, где все участники играли друг с другом, и баллы команды усреднялись по числу участников). Результат стал неожиданностью. Первое место заняла команда ВЭПП-2000, за ней — ВЭПП-4, где играли всего три человека, а на третьем месте оказа-

(Окончание на стр. 12)

## Принят коллективный договор на 2004-2006 годы

28 мая состоялась конференция трудового коллектива, на которой был принят коллективный договор на 2004-2006 годы.

С полным текстом договора можно ознакомиться  
в читальном зале библиотеки.

Вниманию наших читателей мы предлагаем те изменения, которые были внесены в положения «О предоставлении компенсации за санаторно-курортное лечение» и «О выделении материальной помощи на зубопротезирование и глазное протезирование».

*О предоставлении компенсации за санаторно-курортное лечение:*

Данное положение распространяется на сотрудников института, для которых по решению комиссии социального страхования при профкоме приобретается путевка на санаторно-курортное лечение из средств фонда соцкультбыта института.

1. Институт компенсирует 50% стоимости путевки, но не более 6000 рублей.

2. Остальную сумму за путевку сотрудник платит в кассу института. После этого институт производит оплату путевки.

3. После оплаты члену профсоюза профком оказывает материальную помощь в размере 25% стоимости путевки, но не более 2000 рублей. К заявлению необходимо приложить приходный ордер оплаты части стоимости путевки.

4. По возвращении из санаторно-курортного учреждения сотрудник обязан сдать бухгалтеру профсоюзного комитета заполненный «Обратный талон путевки», заверенный подписью руководителя и печатью здравницы.

*О выделении материальной помощи на зубопротезирование и глазное протезирование:*

1. Материальная помощь на лечение (зубное и глазное протезирование) предоставляется сотрудникам, проработавшим в институте не менее 3 лет.

2. Материальная помощь предоставляется один раз в год.

3. Материальная помощь предоставляется после произведенных затрат.

4. Заявление с просьбой о предоставлении материальной помощи на протезирование подается члену комиссии социального страхования своего подразделения. В заявлении необходимо указать стаж работы в институте. К заявлению необходимо приложить платежные документы, подтверждающие затраты на протезирование.

5. Материальная помощь оказывается в размере 75% стоимости протезирования, но не более 3000 рублей.

6. Оказание материальной помощи производится из средств института по смете соцкультбыта.

Е. Кремянская

## В шахматном клубе

(Начало на стр. 11)

лась самая многочисленная команда НКО, в которой были как призеры личного первенства этого турнира, так и аутсайдеры, что и привело к потере баллов. Видимо, в следующем году от такой системы подсчета очков придется отказаться.

Следом за командным первенством прошел второй Мемориал Будкера, собравший на этот раз 18 участников. Победителем стал Хренов А.П. (Л. 6-1), на втором месте — Каплин В.И. (ОВС), на третьем — Масленников А.Л. (Л. 3-0).

Приз газеты «Энергия-Импульс» был вручен бессменному судье-секретарю соревнований Кремянской Е.В.

Май вообще выдался напряженным по проведению шахматных турниров. Следом за Мемориалом прошел турнир, посвященный Дню Победы. Лучший результат у Каплина В.И. и Масленникова А.Л., разделивших 1-2 места, третье место у Непомнящих М.И.

Завершающий турнир сезона состоялся 10 июня и собрал всего 8 участников. Поскольку все они, кроме постоянного участника команды НКО Хренова А.П., были из НКО, то этот турнир был объявлен первенством НКО. Победителями этого первенства стали Хренов А.П. (первое место), Горнаков И.В. (второе место) и Бугаев С.В. (третье место):

На этом сезон был закрыт. Новая встреча состоится только в сентябре.