

## Международная конференция по аппаратуре, применяемой в физике высоких энергий

С 8 по 12 сентября 1970 г. в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) проходили заседания Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. Конференция была организована Государственным комитетом по использованию атомной энергии и Объединенным институтом ядерных исследований при поддержке Международного союза чистой и прикладной физики. В ее работе принимали участие около 250 ведущих ученых и инженеров более чем из 25 стран мира. Программа конференции охватывала широкий круг проблем создания новой оригинальной аппаратуры и высокоэффективных методов исследования и обработки информации. На конференцию было представлено свыше 150 работ\*.

Конференцию открыл председатель оргкомитета В. П. Дзелепов. Он подчеркнул, что создание новой аппаратуры, систем детектирования и разработку новых методов исследований в настоящее время являются основой прогресса в научных экспериментах на мощных ускорителях, с помощью которых физики получают наиболее фундаментальные знания об окружающей природе.

На 18 пленарных заседаниях были обсуждены конкретные проблемы экспериментальной физики высоких энергий, из которых можно выделить следующие основные разделы: 1) системы, управляемые ЭВМ; 2) магнитные спектрометры, спектрометры эффективных масс; 3) бесфильмовые трековые детекторы и стримерные камеры; 4) черенковские счетчики, детекторы  $\gamma$ -квантов и электронов, полупроводниковые детекторы; 5) пузырьковые камеры и обработка filmовой информации; 6) поляризованные мишени и использование сверхпроводимости в аппаратуре для исследований по физике высоких энергий; 7) пучки частиц, нейтринные детекторы; 8) развитие некоторых методик для будущих ускорителей, получение и использование сверхсильных магнитных полей.

**Системы, управляемые ЭВМ**, были подробно рассмотрены в докладе Ж. Коллинза (США), представленном на конференции М. Фишером (США), и в других сообщениях. Развитие методики бесфильмовых камер привело к широкому использованию ЭВМ в экспериментальной физике высоких энергий. Наибольшее распространение получили спектрометры из проволочных искровых камер, спцинтилляционных и черенковских счетчиков, управляемые ЭВМ с предварительной обработкой данных и контролем отдельных физических

результатов. Большой интерес вызвала установка Брукхейвенской национальной лаборатории (США), состоящая из трех спектрометров и позволяющая регистрировать до 10 многолучевых событий за импульс ускорителя. Для сокращения времени обработки полная информация со всех детекторов поступает на ЭВМ и записывается на магнитную ленту. Основной анализ проводится на ЭВМ СДС-6600. Дальнейший прогресс в области создания и использования экспериментальных систем, управляемых ЭВМ, в физике высоких энергий будет, по-видимому, идти по пути внедрения проволочных пропорциональных камер, которые позволят резко увеличить объем экспериментальной информации. Это приведет к необходимости дальнейшего совершенствования и развития методов связи ЭВМ с установкой.

**Магнитные спектрометры** как с «малой» апертурой для регистрации одной или двух частиц, так и с «большой» апертурой для анализа многолучевых событий развиваются по пути увеличения разрешающей способности. В обзорном докладе В. Пановского (США) были рассмотрены установки, в которых измеряются углы и импульсы частиц, вылетающих из мишени.

Новым в этой области является широкое использование фокусировки частиц, которая позволяет сократить базы, необходимые для анализа, вес и стоимость магнитных элементов при сохранении светосилы всей установки в целом. Хотя все действующие в настоящее время 4л-спектрометры имеют оптические камеры, в ближайшие несколько лет, по-видимому, будет осуществлен переход на бесфильмовый съем информации.

**Спектрометры эффективных масс** были представлены в обзорном докладе М. Мартэна (ЦЕРН). Докладчик привел основные характеристики трех больших спектрометров: 1) бозонного спектрометра (ЦЕРН — ИФВЭ); 2) многочастичной магнитной спектрометрической системы в Брукхейвене (мертвое время 10 мсек; скорость обработки 50 событий за импульс ускорителя; среднее время анализа одного события 0,025 сек на СДС-6600); 3) ОМЕГА-спектрометра ЦЕРНа (мертвое время 30 мсек, средняя скорость набора информации  $5 \cdot 10^4$  событий за сутки; магнитное поле 18 кгс (планируется использовать в дальнейшем бесфильмовые искровые камеры). Обсуждались также другие виды специализированных спектрометров.

**Бесфильмовые трековые детекторы и стримерные камеры.** Обзор новейших достижений в этой области был сделан в докладах И. А. Голутвина (ОИЯИ) и Ю. А. Щербакова (ОИЯИ). Последующие сообщения и оживленная дискуссия на конференции показали, что наибольшее распространение в экспериментах на уско-

\* Доклады будут опубликованы в виде сборника трудов конференции.

рителях получили проволочные искровые камеры со считыванием информации с помощью ферритовых колец и магнито-стрикционных линий. Однако наибольший прогресс, достигнутый в методике бесфильмовых камер, связан с открытием и развитием предложенных Ж. Шарпаком (ЦЕРН) и В. Г. Зиновым (ОИЯИ) проволочных пропорциональных камер (ППК). Последние достижения в этой области были изложены в докладе Ж. Шарпака (ЦЕРН). В настоящее время в ЦЕРНе уже разработаны две большие установки с ППК, содержащими по  $5 \cdot 10^3$  нитей. Максимальный размер камер 2,7 м. Электроника выполнена на интегральных схемах. Наибольшее распространение получили ППК, заполненные смесью аргона — изобутана — бромистый фреон и имеющие коэффициент усиления  $\sim 10^8$ .

И. Фишер (Брукхейвен, США) доложил на конференции о так называемой гибридной камере, в которой достигается пространственная точность 0,25 мм при малых разрешающих (80 нсек) и мертвом ( $\sim 60$  мксек) временах. Камера представляет собой искровую камеру с зазором 1,5 мм, в котором достигается высокая эффективность регистрации за счет применения дополнительных пропорционального и дрейфового промежутков. Несмотря на сложную конструкцию камеры, возможность магнито-стрикционного съема информации делает стоимость гибридной камеры относительно невысокой.

Определенный прогресс достигнут и в направлении создания жидкостных электронных камер. В докладах Б. Долгошенина и др. (СССР), Л. Голованова и др. (ОИЯИ), Е. Кушниренко и др. (СССР), Р. Мюллера и др. (США) были сообщены новые результаты по пространственному разрешению ( $\sim 0,1$  мм), коэффициенту разрешения ( $\sim 10^4$ ) и эффективности регистрации частиц ( $\sim 100\%$ ), которые были обсуждены дополнительно на специальной дискуссии. Можно ожидать, что уже к следующей конференции в технике жидкостных трековых камер будет достигнут определенный успех, необходимый для использования их в реальных опытах.

Представляет интерес работа В. И. Рыкалина и др. (ИФВЭ, СССР) по разработке нового годоскопического фотомножителя на скрещенных электрическом и магнитном полях. Подобный пример может быть в будущем эффективно использован для более быстрой по сравнению с обычным телевизионным методом обработки информации с годоскопических систем, искровых камер, черенковских камер и т. д.

Большой интерес был проявлен к технике стримерных камер. Опыт эксплуатации двух больших приборов (в лабораториях СЛЭК и ДЕЗИ) показал высокую эффективность этой методики. В камерах успешно размещаются газовые и жидководородные мишени, а также конвертеры (ОИЯИ). Ряд работ был посвящен исследованию возможности ионизационных измерений в области релятивистского возрастания ионизации.

Совершенствуется техника гелиевых стримерных камер, работающих при повышенном давлении (ОИЯИ). Перспективы в этом направлении связаны с использованием мощных оптических квантовых генераторов для создания полей с высокой напряженностью (ЦЕРН), а также с использованием голографического метода фотографирования разряда (ФТИ, Ленинград).

Положительные характеристики прибора с совмещенными функциями мишень — детектор стимулировали дальнейшие работы по созданию водородной стримерной камеры (ОИЯИ, ЦЕРН). Были заслушаны также сообщения о разработках новых установок с большими стримерными камерами (до 12 м, Беркли).

**Черенковские счетчики, детекторы  $\gamma$ -квантов и электронов.** Как отмечалось в обзорном докладе С. П. Денисова (СССР) и в семи оригинальных сообщениях, к настоящему времени достигнут значительный прогресс в создании черенковских счетчиков и камер. В лучших образцах как пороговых, так и дифференциальных черенковских счетчиков получено разрешение, близкое к  $10^{-6}$  (ИФВЭ, ОИЯИ, ИТЭФ). Создаются годоскопические (многоканальные) системы из таких счетчиков, которые обеспечат в измерениях полных сечений взаимодействий в интервале импульсов до десятков Гэв/с точность, на порядок лучше существующей. Представляется, что дальнейшее развитие техники черенковских камер пойдет по пути создания широкоапертурных черенковских счетчиков с высокой эффективностью и использования ЭОПов с большим разрешением для регистрации колец черенковского излучения в магнитных спектрометрах различного типа. В таких установках уже получено разрешение по скоростям, равное  $6 \cdot 10^{-7}$ , что позволяет измерить импульс  $\pi$ -мезона с точностью  $10^{-3}$  и протона с точностью  $10^{-4}$  (ОИЯИ, ЦЕРН и др.).

В области детектирования  $\gamma$ -квантов и электронов высоких энергий разработаны ливневые детекторы, построенные по принципу сандвича, и черенковские спектрометры полного поглощения. Для одновременного измерения энергии и направления движения частиц применяются комбинация ливневых детекторов и искровых камер, годоскопы черенковских спектрометров. В области высокоточных (1%) измерений энергий  $\gamma$ -квантов при энергиях до  $10$ – $15$  Гэв следует отметить уникальные малогабаритные детекторы полного поглощения на монокристаллах  $PbF_2$  (плотность  $7,77$  г/см<sup>3</sup>, показатель преломления 1,8), разработанные Хоффштадтером (Станфорд, США).

Большое значение для исследований на ускорителях будущего (сотни и тысячи электронвольт) приобретает доложенный на конференции (А. А. Тяпкин, ОИЯИ) очень простой метод определения энергии  $\gamma$ -квантов по интенсивности электронов в максимуме ливня. Как показали измерения в Серпухове, при энергии 30 Гэв этот метод обеспечивает разрешение 20%.

Обзорные доклады А. И. Алиханяна (эксперимент) и Г. М. Гарибяна (теория), а также несколько оригинальных сообщений были посвящены изучению переходного рентгеновского излучения, открытого в Физическом институте в Ереване и представляющего интерес для регистрации частиц сверхвысоких энергий (сотни и более Гэв). Интенсивность переходного излучения пропорциональна лоренц-фактору частицы, поэтому эффективность регистрации и точность измерений будут расти с увеличением энергии частиц. Счетчики такого типа целесообразно использовать для регистрации электронов высоких энергий.

Вопросам применения полупроводниковых детекторов в физике высоких энергий был посвящен доклад К. Виганда (США). Весьма эффективное использование кремниевых детекторов было осуществлено в экспериментах по упругому  $pp$ -рассеянию на Серпуховском синхротроне (В. А. Никитин и др., ОИЯИ). Были отмечены широкие возможности полупроводниковых детекторов в спектрометрии тяжелых заряженных частиц ( $K$ -мезоны, протоны, дейтоны и т. п.) до энергий порядка 200 Мэв (по протонам), а также в магнитных системах.

**Пузырьковые камеры и обработка пленочной информации.** Обзор основных достижений в области развития методики пузырьковых камер был дан в докладе С. Я. Никитина (СССР). Для пузырьковых камер нового

поколения [12-футовая камера Аргоннской национальной лаборатории (США), «Мирабель», «Гаргамель» (Франция), камера с рабочим объемом  $30 \text{ м}^3$  для ускорителя в Батавии, Большая европейская камера ЦЕРН, СКАТ (СССР)] характерно существенное увеличение рабочего объема и напряженности магнитного поля. Методика пузырьковых камер развивается по пути увеличения быстродействия осуществления управляемого режима и всестороннего внедрения автоматизации накопления информации и ее обработки.

В обзорном докладе П. Хафа (США) были изложены новые результаты в области обработки пленочной информации и рассмотрены намечающиеся тенденции дальнейшего ее развития. Доклады Дэви (Англия) и Даунинга (США) были посвящены измерительным системам высокой производительности. Простой по конструкции считывающий прибор для полуавтоматической обработки снимков был описан Китагаки (Япония).

Увеличение производительности систем обработки и их существенное удешевление стало возможным благодаря разработке и использованию надежных быстродействующих считывающих приборов с современными ЭВМ для управления процессом считывания и последующей обработки полученной информации. По данным Хафа, переход от полуавтоматов, полностью управляемых операторами, к системам, считывающим информацию в некоторой заданной дорожке, и управляемых ЭВМ, привел к увеличению производительности в расчете на одного оператора в четыре — десять раз.

Дальнейшее совершенствование программного обеспечения позволило перейти от «считывания в дорожке» (Road Guidance-RG) к «слежению по вершине» (Vertex Guidance-VG), которое осуществляется, например, в спиральных измерителях, и к работе в режиме с минимальным слежением (Minimum Guidance-MG). Такие режимы приводят к дополнительному увеличению производительности в два-три раза. Переход от RG к VG и MG стал экономически оправданным после того, как ЭВМ типа IBM-7094 были заменены более мощными ЭВМ типа CDC-6600, на которых стоимость одной операции снижается приблизительно в четыре-пять раз.

В настоящее время системы с VG и MG успешно эксплуатируются во многих западных физических центрах (БНЛ, ЦЕРН, Беркли и др.).

Следует отметить систему MG, на базе ПЕПР, разработанную в Оксфорде (Англия). Эта система использует ЭВМ типа PDP-6 с памятью 64К слов по 36 бит и временем обращения  $1,75 \text{ мксек}$ . В качестве исходной информации указанная система использует данные предварительного просмотра, содержащие сведения о топологии и положении вершины изучаемого события на одной из проекций в зоне порядка  $1-2 \text{ м.м}$ . Система позволяет обрабатывать без помощи оператора 430 событий/ч и с «помощью» оператора (для сложных случаев) 150 событий/ч. Программы управления и поиска треков написаны почти целиком на ФОРТРАНЕ-4 и занимают 34 К слов памяти машины PDP-6.

На конференции были отмечены основные тенденции в развитии систем обработки за последние годы:

1. Практически повсеместно закончена разработка и внедрение систем, работающих в режимах VG или MG. Ведется интенсивная работа по совершенствованию существующих и созданию новых более эффективных сканирующих приборов. Так, в Брукхейвенской лаборатории разрабатывается новый сканирующий автомат, способный обрабатывать несколько тысяч событий в 1 ч; в течение ближайших лет будет исследована также возможность создания прибора с производительностью до 50 тыс. событий/ч.

2. Предполагается замена используемых в настоящее время ЭВМ на более производительные. Так, в течение двух лет в Брукхейвенской национальной лаборатории предполагается внедрить ЭВМ типа CDC-7600 и оснастить отдельные группы машинами типа PDP-101.

3. Важным новым направлением в развитии получения и обработки информации являются быстроразвивающиеся в последние годы голографические методы.

**Поляризованные мишени и использование сверхпроводимости в аппаратуре для физики высоких энергий.** В обзорном докладе Б. С. Негазова (ОИЯИ) отмечено, что теоретические и экспериментальные работы, проведенные за последние годы, позволили понять механизм динамической поляризации и подобрать рабочие вещества мишеней. Наиболее удачными оказались мишени Рубо на основе этиленгликоля или смеси бутанола с 5% воды и 0,9% перфирооксида с поляризацией 67% при поступлении микроволновой мощности 12 мвт. В ОИЯИ создается поляризованная мишень, охлаждаемая до  $0,1^\circ \text{ К}$  с помощью разработанного ранее криостата, работающего на растворе  $\text{He}^3$  в  $\text{He}^4$ .

Сверхпроводимость реально и прочно начинает использоваться в физике высоких энергий. Примером может служить создание сверхпроводящих магнитов с внешней стабилизирующей для ряда пузырьковых камер (АНГ, НАЛ, ЦЕРН),  $\Omega$ -спектрометра и сверхпроводящих резонаторов радиочастотных сепараторов пучков частиц (ЦЕРН) и т. д.

**Пучки частиц, нейтринные детекторы.** Новым в этой области является создание на нескольких ускорителях гиперонных ( $\Sigma^-$ ,  $\Sigma^-$  и т. д.) пучков. Этой проблеме был посвящен доклад Сэндвайса (США). Пучок заряженных гиперонов в Брукхейвене будет обладать интенсивностью  $5-10 \text{ Э}^-$  в  $1 \text{ сек}^{-1}$  и  $150-1500 \text{ } \Sigma^- \text{ сек}^{-1}$ . Такая интенсивность позволит с помощью техники искровых камер измерить с высокой точностью полные сечения взаимодействия гиперонов с нуклонами.

К числу перспективных разработок следует отнести пучок меченых фотонов интенсивностью  $2-4 \text{ сек}^{-1}$ , созданный в Станфорде (Р. Моррисон и др., США). Большие перспективы для получения пучков меченых фотонов высоких энергий открываются на протонных ускорителях с энергией в десятки и сотни Гэв. Из ряда работ, доложенных на конференции, следует, что планируется создание установок и проведение экспериментов с мечеными фотонами в Серпухове и других лабораториях (СССР, США). На электронных ускорителях в последнее время все большее число исследований проводится с пучками поляризованных квазимонохроматических  $\gamma$ -квантов (Р. О. Авакян и др., В. Г. Горбенко и др., СССР). В настоящее время эта методика уже отработана, она используется также в западных лабораториях.

В. С. Кафтанов (СССР), Ф. А. Незрик (США) и Уолкер (США) рассмотрели выполненные и планируемые в настоящее время (на ускорителях СССР, ЦЕРН, США) нейтринные эксперименты с пузырьковыми камерами и детекторами, состоящими из искровых камер и сцинтилляционных счетчиков.

**Развитие некоторых методик для будущих ускорителей, получение и использование сверхсильных магнитных полей.** Наиболее существенные результаты, достигнутые в методике электронных систем, были проанализированы в докладе А. Робертса (США) на примере их использования на строящемся в Батавии протонном синхротроне. Применение методики пузырьковых камер в области таких энергий становится неэффективным, поскольку требуемая точность измерений и возможное число открытых каналов быстро растет. Поэто-

му использование методики, основанной на электронных системах, становится предпочтительнее даже для исследования очень сложных событий.

Новый метод в технике измерения магнитных моментов гиперонов, который основан на применении сверхсильных магнитных полей ( $\sim 1 \text{ Мэс}$ ), предложен в докладе Л. М. Баркова и др. (СССР). Авторы ожидают, что с прибором, разработанным для измерения магнитного момента  $\Sigma^+$ -гиперона, за десять экспозиций на электронном ускорителе ВЭПП-3 с номинальной энергией электронов  $1,35 \text{ Гэв}$  при интенсивности  $10^{12}$  частиц в импульсе удастся набрать статистику порядка 100 случаев, что соответствует 3%-ной точности измерения магнитного момента.

В последний день конференции состоялась оживленная дискуссия о возможных путях и тенденциях развития экспериментальных методов физики высоких энергий. В докладах Ж. Шарпака (ЦЕРН) и Б. А. Долгошеина (СССР), а также в состоявшейся дискуссии, в которой приняли участие Б. М. Понтекорво, А. А. Тяпкин, А. Ф. Писарев (ОИЯИ), Ж. Шарпак (ЦЕРН) и др., были высказаны новые оригинальные идеи.

Материалы конференции свидетельствуют о том, что во всех наиболее крупных и передовых физических лабораториях мира, связанных с физикой высоких энергий, большое внимание уделяется технике физического эксперимента, разработке новых типов детекторов, внедрению новейших достижений различных областей техники в практику физического эксперимен-

та. Все это имеет конечной целью интенсификацию исследований, более эффективное использование ускорителей и экспериментальной аппаратуры, в результате чего существенно увеличивается поток научной информации и снижается удельная стоимость условной единицы информации.

Все доклады, представленные на конференции, вызвали большой интерес и оживленную дискуссию. Успешная работа конференции определялась тем, что, во-первых, на конференцию были присланы в основном такие доклады, в которых сообщается о новых достижениях, перспективных решениях инженерных проблем, новых идеях; во-вторых, четкой и весьма качественной организацией конференции; в-третьих, значительной работой, проведенной обзорными, рапортерскими, приглашенными докладами и научными секретарями по обобщению материалов, а также всеми участниками конференции.

На конференции был отмечен прогресс, достигнутый в последние несколько лет в создании новой высокоосвоенной аппаратуры и особенно в открытии и разработке новых методов исследования в области физики высоких энергий. Работа конференции продемонстрировала дух коллективного творчества, царящий в наше время в науке, и внесла ценный вклад в укрепление международного сотрудничества между учеными.

И. А. ГОЛУТВИН, В. В. ВИШНЯКОВ,  
Н. А. ТОРОПКОВ, Ю. А. ЩЕРБАКОВ

## Проблемы обращения с трансурановыми элементами

В сентябре 1970 г. в Карлсруэ (ФРГ) состоялся Международный семинар по проблемам радиационной защиты при работе с трансурановыми элементами (ТУЭ), организованный Европейским агентством по ядерной энергии совместно с Евратомом. В нем приняли участие более 60 специалистов из 11 стран и 3 международных организаций. Программа семинара включала обсуждение следующих проблем: производство и применение ТУЭ; виды опасности при работе с ТУЭ; метаболизм ТУЭ; физическое и медицинское обследование персонала; меры при авариях.

Одним из наиболее распространенных изотопов ТУЭ является  $\text{Pu}^{238}$ , который сравнительно легко получают в килограммовых количествах из облученного  $\text{Np}^{237}$  — побочного продукта переработки облученных урановых твэлов энергетических реакторов. Производство  $\text{Np}^{237}$ , а следовательно и  $\text{Pu}^{238}$ , может быть организовано в любой стране, имеющей заводы по переработке облученных твэлов. Так, например, на вступающем в строй перерабатывающем заводе WAK (Карлсруэ, ФРГ) производительностью  $40 \text{ т UO}_2$  в год планируется получение  $\text{Np}^{237}$  в количестве примерно  $5\text{--}7 \text{ кг/год}$ . Изотопически чистый  $\text{Pu}^{238}$ , пригодный для биомедицинских применений, включая имплантацию, получается в результате  $\alpha$ -распада  $\text{Cm}^{242}$ , образующегося в результате облучения  $\text{Am}^{241}$ .

Америций, подобно нептунию, является побочным продуктом переработки облученного ядерного горючего энергетических реакторов. Так, например, из высокоактивных отходов того же завода WAK ежегодно может быть получено примерно  $2 \text{ кг Am}^{241}$  и  $0,6 \text{ кг Am}^{243}$ . С увеличением степени выгорания и с переходом на плутониевое горючее возможности получения

америция и других трансплутониевых изотопов резко возрастают. Оба изотопа америция могут служить исходным материалом для получения более далеких трансплутониевых изотопов  $\text{Cm}^{244}$ ,  $\text{Bk}^{249}$  и  $\text{Cf}^{252}$ .

$\text{Cm}^{244}$  получают в результате специального облучения  $\text{Pu}^{242}$  или америция в реакторах с высокой плотностью потока нейтронов. Изотоп  $\text{Cf}^{252}$  получается в результате последующего облучения  $\text{Cm}^{244}$ , а также  $\text{Pu}^{242}$  и изотопов америция в реакторах с плотностью потока нейтронов порядка  $10^{15} \text{ нейтр/см}^2 \cdot \text{сек}$ .

Все многообразные применения ТУЭ можно разбить на два основных направления: использование в качестве источников энергии и в качестве непосредственных или косвенных источников излучения. Как источник энергии наибольшее распространение получил  $\text{Pu}^{238}$  с периодом полураспада 86,4 года и удельным энерговыделением  $0,55 \text{ вт/г}$ . Электрические генераторы на основе  $\text{Pu}^{238}$  используются в качестве источников питания в космосе, на удаленных навигационных, радиорелейных и метеорологических станциях и т. п. Для такого рода источников могут потребоваться килограммы плутония. Одним из наиболее важных применений  $\text{Pu}^{238}$  является его использование в качестве компактного, долговечного и надежного источника питания для имплантируемого регулятора сердечной деятельности. Как показали первые разработки, необходимо всего лишь около  $200 \text{ мг Pu}^{238}$ , чтобы получить примерно  $100 \text{ мквт}$  электрической энергии, достаточной для работы генератора импульсов.

Интенсивные источники  $\alpha$ -излучения могут использоваться для химического анализа, основанного на рассеянии  $\alpha$ -частиц и реакции  $(\alpha, p)$  с веществом. Общезвестным стало использование  $\text{Pu}^{238}$ ,  $\text{Am}^{241}$  и  $\text{Cm}^{242}$