

К 583

УДК 539.1.075

13-89-421

КОЖЕВНИКОВ
Юрий Алексеевич

**ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА
МАГНИТНОГО СПЕКТРОМЕТРА
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР**

**Специальность: 01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Дубна 1989

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители:

доктор физико-математических наук
кандидат технических наук

Л.С.Ажгирей
В.М.Гребенюк

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук
кандидат технических наук

В.И.Селиванов
В.М.Аульченко

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Научно-исследовательский институт ядерной физики
Московского государственного университета, Москва.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1989 г.
в ___ час. на заседании специализированного совета Д047.01.03
при Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований,
Дубна, Московская область.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Специализированного совета
доктор физико-математических наук

Ю.А.Батусов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Представляемая диссертация основана на материалах исследований и разработок, выполненных автором в течение 1983 - 1988 гг. в ОИЯИ. Она посвящена созданию и использованию электронной аппаратуры триггера, регистрации и считывания данных с пропорциональных камер (ПК), а также системы сбора данных магнитного спектрометра МАСПИК, предназначенного для исследования ядерных реакций при высоких ($5 + 9$ ГэВ/нуклон) энергиях.

Актуальность работы определяется ее направленностью на совершенствование современных экспериментальных установок, работающих в области физики высоких энергий:

- * обеспечение высокой избирательности триггерных систем спектрометра за счет повышения временного разрешения;
- * обеспечение высокого быстродействия, координатной и временной точности при регистрации элементарных частиц;
- * повышение быстродействия систем сбора данных;
- * создание аппаратуры, способной (за счет быстродействия и временной точности) эффективно работать в условиях высоких нагрузок.

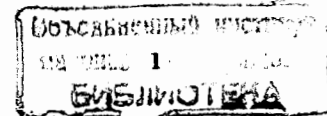
Цель работы заключается в создании более совершенной, рационально организованной аппаратуры, обладающей лучшими рабочими характеристиками.

Научная новизна: аналитически и экспериментально исследована возможность отбора элементарных частиц методом совпадений с малыми разрешающими временами, впервые создана аппаратура, решающая эту задачу в условиях высоких (до 10^7 частиц/с на счетчик) нагрузок (а.с. СССР на изобретение № 1432436).

Предложен оригинальный метод настройки задержек в каналах ПК. Созданы аппаратура автоматического управления этими задержками, система съема данных ПК, производящая считывание только значащей информации.

Разработаны: устройство для приема и оптимального кодирования данных с ПК; система сбора данных, обеспечивающая максимальную (для аппаратуры в стандарте КАМАК) скорость накопления информации в течение цикла вывода пучка и передачу данных в удаленную ЭВМ в паузах между циклами.

Практическая ценность работы заключается в том, что с помощью разработанной аппаратуры на спектрометре МАСПИК были проведены исследования возбуждения нуклонных резонансов в глубоководноупругом дейтрон-ядерном рассеянии и реакций $\alpha d, p\alpha$ при 9 ГэВ/с в области больших поперечных импульсов протонов, экспериментальные поиски проявления ди-



барийонных резонансных состояний в реакции $n(\alpha, p)\chi$ при 9 ГэВ/с, получены спектры дейтронов, испускаемых с большими поперечными импульсами в соударениях дейтронов с ядрами водорода, дейтерия и углерода при 9 ГэВ/с.

Автор защищает:

1. Анализ структур основных узлов электронной аппаратуры магнитных спектрометров и методов повышения их производительности.
2. Анализ эффективности регистрации элементарных частиц методом совпадений при малых разрешающих временах.
3. Результаты разработки аппаратуры триггера первого уровня и экспериментального исследования ее характеристик. Схемные решения наносекундной электронной аппаратуры.
4. Результаты разработки, внедрения и экспериментального исследования характеристик электронной аппаратуры считывания информации с пропорциональных камер.
5. Результаты разработки и внедрения устройства преобразования данных с ПК и аппаратуры сбора данных спектрометра МАСПИК.

Апробация: основные результаты работы докладывались на научно-методических семинарах ЛВТА и ЛЯП, представлялись на Международный симпозиум по ядерной электронике (Варна, 1988), публиковались в виде журнальных статей, препринтов и сообщений ОИЯИ [1 ÷ 8], получено авторское свидетельство СССР на изобретение № 1432436 [9].

Объем работы: диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 91 страницу машинописного текста, 40 рисунков, 2 таблицы и библиографический список литературы из 86 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, сформулированы ее цели, определены основные положения, вынесенные на защиту.

В первой главе рассматривается состав аппаратуры спектрометров, выделяются основные узлы этой аппаратуры, рассматриваются задачи, решаемые триггерными системами, аппаратурой регистрации треков и аппаратурой сбора данных, структура этих узлов, определяются основные параметры, характеризующие их работу, формулируются требования, предъявляемые к этим узлам.

Основная задача, решаемая триггерными системами, заключается в выделении полезных событий и выработке сигналов для их регистрации. В зависимости от сложности задачи процедура отбора может быть разделена на несколько этапов (уровней триггера). Количественный анализ работы

систем отбора без учета селективных свойств его аппаратуры приводится в работах*. Включение системы предварительного отбора позволит из всех проанализированных событий (S_{in}) отбирать с вероятностью ε - полезные и с вероятностью μ - фоновые. Число отобранных на данном уровне триггера событий $R_i = \varepsilon S_{in}$, где $k = \varepsilon\rho + \mu(1 - \rho)$ (ρ - доля полезных событий). Приводится методика оценки работы аппаратуры триггера, учитывающая ее селективную способность.

Во втором разделе рассматривается аппаратура трековых детекторов, формулируются основные требования к быстродействию, временному и пространственному разрешению, налагаемые на аппаратуру необходимостью работы в условиях высоких нагрузок. Показана необходимость иметь полный комплект аппаратуры на каждый канал регистрации. Рассматривается задача быстрого съема данных, возникающая в связи с выполнением этого требования. Анализируются способы, позволяющие уменьшать непроизводительные затраты на передачу нулевой информации с несработавших каналов.

В третьем разделе рассматривается аппаратура сбора данных. Приводятся перечень основных стандартов на эту аппаратуру и примеры организации систем сбора данных, созданных на их базе. Определяются аппаратурные источники основных ограничений на скорость набора экспериментальной информации и методы их снижения: уменьшение объема данных за счет исключения нулевой и сжатия избыточной информации и учет влияния условий работы (непрерывный или импульсный пучки) на структуру системы (использование буферной памяти, место включения системы предварительного отбора).

В четвертом разделе описываются экспериментальная установка МАСПИК, решаемые ею задачи, условия работы, и формулируются вытекающие отсюда требования к аппаратуре. Установка предназначена для изучения механизмов ядерных реакций при релятивистских энергиях и представляет собой двухплечевой магнитный спектрометр с проволочными камерами, работающий на линии с ЭВМ ЕС1010. Схема размещения спектрометра на канале медленного вывода синхрофазотрона ОИЯИ приведена на рис. 1. В состав установки входят перемещаемый отклоняющий магнит М1, служащий для выбора исследуемого угла испускания регистрируемых основным плечом частиц, анализирующий магнит М2 в основном и анализирующий магнит М3 в сопряженном плечах спектрометра, позволяющие производить импульсный анализ частиц.

Измерение импульсов регистрируемых частиц производится по углу от-

* C.Verkerk. On-Line Filtering. In Proc. of the 1978 CERN School of Computing. Jadwisin, Poland (1978), CERN 78-13, p.65.
M.Turala. Application of Wire Chambers for Triggering Purposes. Nucl. Instr. and Meth., 176(1980), p.51.

клонения в полях анализирующих магнитов М2, М3 с помощью системы пропорциональных камер К1 + К19. Для организации триггера координатных

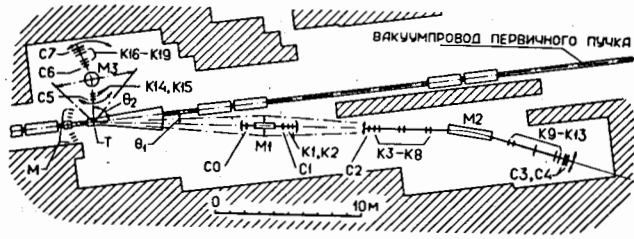


Рис. 1. Схема расположения аппаратуры спектрометра МАСПИК. Г - мишень, М - мониторы пучка, К1 + К19 - проволоочные камеры, С0 + С7 - сцинтилляционные счетчики, М1 + М3 - магниты.

детекторов используются сигналы со сцинтилляционных счетчиков С0 + С7. Эти же сигналы используются для измерения времени пролета и ионизационных потерь регистрируемых частиц в сцинтилляционных счетчиках. В зависимости от решаемой задачи триггер вырабатывается по совпадению сигналов сцинтилляционных счетчиков основного или сопряженного плечей спектрометра, либо по их общему совпадению (корреляционные исследования).

Во второй главе описывается аппаратура, предназначенная для организации систем триггера первого уровня, обладающих высоким временным разрешением. Рассматриваются основные факторы, влияющие на эффективность работы таких систем. Приводятся основные характеристики аппаратуры триггера по времени пролета, полученные в результате испытаний на установке МАСПИК.

Временное разрешение аппаратуры ($\sigma \approx 220$ пс) позволяет разделять протоны и дейтроны по скоростям (временам пролета на базе ~ 22 м) в интервале импульсов вплоть до 7 ГэВ/с. Самое простое и в то же время универсальное решение задачи разделения этих частиц на первом уровне триггера заключается в получении временных отметок, наиболее точно соответ-

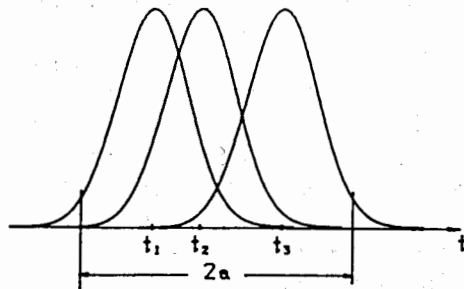


Рис. 2. Общий вид плотностей распределений временных отметок счетчиков. $2a$ - разрешающее время совпадений. t_1, t_2, t_3 - центры распределений.

вующих моментам пересечения счетчиков регистрируемыми частицами, и анализа этих сигналов на совпадения в заданных временных интервалах. Эффективность регистрации элементарных частиц при этом будет зависеть от разрешающего времени схем совпадений и от точности временной привязки, а также от точности совмещения во времени сигналов, анализируемых на совпадения (если сигналов больше, чем два).

Вероятность регистрации методом совпадений частицы с заданной скоростью определяется вероятностью попадания ее временных отметок (передних фронтов сигналов со счетчиков) в интервал $\pm a$ вокруг некоторого t . Если задать функционал

$$I_i(t) = \int_{t-a}^{t+a} \rho_i(\tau - t_i) d\tau, \quad (1)$$

характеризующий вероятность попадания сигнала i -го счетчика в интервал $t \pm a$, то вероятность одновременного попадания в этот интервал сигналов с нескольких счетчиков будет равна

$$F(t) = \prod_i I_i(t). \quad (2)$$

Максимальное значение функционала $F(t)$, соответствующее оптимальному положению интервала интегрирования $2a$ (рис. 2), будет равно вероятности попадания сигналов со счетчиков в этот интервал, т.е. эффективности регистрации частиц с фиксированной скоростью, заданной набором t_i . Такой способ вычисления эффективности применим для любых $\rho_i(t)$, в том числе и полученных экспериментально.

Расчеты эффективностей регистрации проводились для системы сцинтилляционных счетчиков основного плеча установки МАСПИК. Результаты расчетов показывают, что, при временном разрешении отдельных счетчиков $\sigma \sim 200$ пс, установка разрешающего времени схем совпадений $< 2,5$ нс приведет (для 5 счетчиков) к снижению эффективности ($\epsilon < 99\%$). К такому же результату приведет и ошибка > 100 пс в согласовании начальных задержек.

Для получения временной отметки необходимо устройство, обладающее способностью компенсировать временную зависимость выходного сигнала от флуктуаций амплитуд импульсов с ФЗУ и координаты места пересечения счетчика частицей, а также работоспособность в условиях больших загрузок (иметь малое мертвое время непродлевающегося типа), быть простым в настройке. Для решения задачи было разработано специальное устройство временной привязки (УВП), рассчитанное на работу со счет-

чиком, просматриваемым с двух сторон двумя ФЗУ. УВП (см. рис. 3) содержит входные формирователи с привязкой к постоянной части переднего

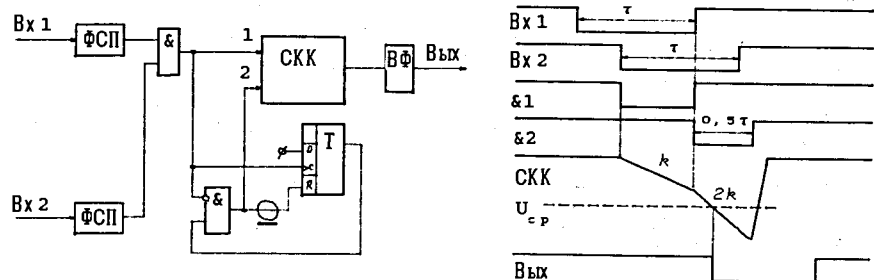


Рис. 3. Блок-схема УВП и временная диаграмма его работы.

фронта сигнала и схему компенсации координаты (СКК). При совпадении входных сигналов напряжение СКК начинает изменяться со скоростью k , а по окончании совпадения в течение $0,5\tau$ (τ - длительность импульсов входных формирователей), - со скоростью $2k$. Время появления выходного сигнала

$$t_{cp} = (t_1 + t_2 + U_{cp} + \tau) / 2. \quad (3)$$

Исследования характеристик УВП проводились на установке МАСПИК в рабочем сеансе на синхрофазотроне ОИЯИ. Были выполнены две серии измерений времен пролета, позволившие сравнить результаты, полученные с УВП, с результатами, полученными с формирователями с фиксированным порогом (ПФ) и с последующей амплитудной коррекцией. На рис. 4 приведены распределения разности времен пролета - измеренного непосред-

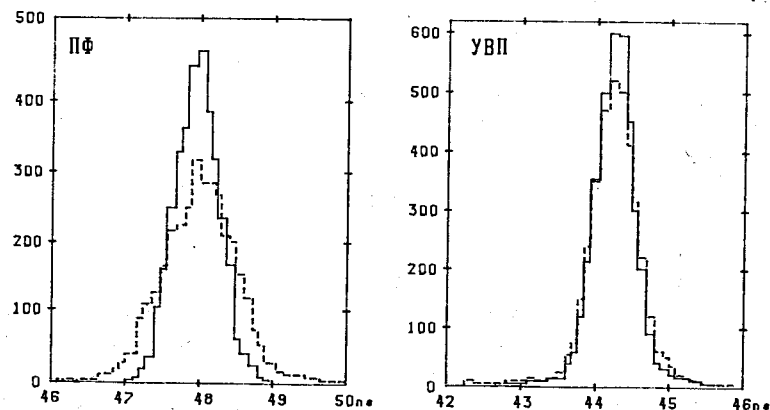


Рис. 4. Распределения, характеризующие временное разрешение аппаратуры измерения времени пролета с использованием ПФ и УВП. Штриховая линия - без учета, сплошная - с учетом поправки на флуктуацию амплитуд ФЗУ.

ственно и вычисленного по импульсу частицы. Результаты испытаний свидетельствуют, что УВП компенсирует временной разброс выходного импульса, обусловленный изменением места сцинтилляции и флуктуацией амплитуд сигналов ФЗУ, с той же точностью, что и программный способ коррекции данных, полученных с ПФ. Мертвое время УВП ~ 20 нс.

Аппаратура триггера осуществляет отбор частиц со скоростями, лежащими в интервале $V \pm \Delta V$, где ΔV определяется разрешающим временем совпадений. Средняя скорость V задается подбором задержек сигналов для каждого канала, анализируемого на совпадения, относительно стартового (нулевого - см. рис. 1):

$$t_{di} = \frac{l_i}{V} + t_{ci}, \quad (4)$$

где l_i - расстояние от стартового счетчика до i -го, t_{ci} - постоянная добавка в задержку, вносимая счетчиком. Переход от средней скорости V_1 к V_2 (или от времени пролета t_1 к t_2 на базе l_m) производится изменением задержек t_{di} :

$$\Delta t_{di} = t_{di2} - t_{di1} = \frac{(V_1 - V_2) l_i}{V_1 V_2} = \frac{(t_2 - t_1) l_i}{l_m}. \quad (5)$$

Таким образом переход к регистрации событий с иными временными характеристиками осуществляется путем установки требуемых задержек входных сигналов и разрешающего времени совпадений. Очевидно, что эффективно функционировать может только автоматизированная (управляемая ЭВМ) система. Для реализации этой задачи были разработаны блоки КАМАК УСС1.8, УСС2.4, КЛ356 и СМТ.

Программно-управляемые схемы совпадений (восьмивходовая - УСС1.8 и две четырехходовые - УСС2.4) обеспечивают автоматическую установку разрешающего времени в диапазоне от 100 пс до 16 нс с шагом ~ 62 пс. Временное разрешение обеих УСС не хуже 100 пс. Кроме того, для точного совмещения во времени входных сигналов в эти схемы введены управляемые задержки - для семи входов восьмивходовой и для трех входов четырехходовых УСС. Изменение задержек производится в диапазоне 0 ± 2 нс с шагом ~ 62 пс.

Блок КЛ356 содержит 8 формирователей с фиксированным порогом и управляемыми задержками, изменяющимися от 0 до 15 нс с шагом в 1 нс.

Коммутатор быстрых логических сигналов СМТ позволяет на любой из 8 выходов подавать либо любой из 16 входных сигналов (прямых или инверсных), либо постоянный логический уровень ("0" или "1"). Управление производится отдельно каждым выходным сигналом.

Аппаратура триггера представляет собой систему из блоков КАМАК, размещенных в одном крейте (см. рис. 5) и управляемых ЭВМ типа РС-ХТ.

Сигналы с УВП от счетчиков 0 + 4 разветвляются в КЛЗ56 и через две независимые задержки (в КЛЗ56 и КЛЗ55) поступают на две УСС1.8. Таким образом задаются два интервала скоростей отбираемых частиц. Кро-

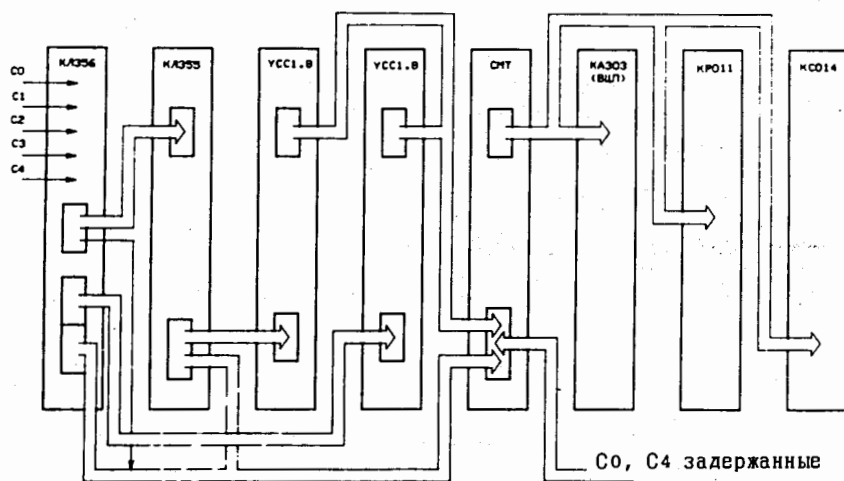


Рис. 5. Структурная схема аппаратуры триггера.
C0 + C4 - сигналы с УВП сцинтилляционных счетчиков.
C0, C4 задержанные - стартовый и стоповый сигналы для измерения времени пролета.

ме того, в состав аппаратуры триггера включены преобразователь времякод КАЗ03, годоскопический регистр КРО11 и счетчик КСО14, что позволяет производить автономную настройку системы триггера и контроль ее работы параллельно с процессом набора экспериментальной информации.

Испытания аппаратуры триггера были проведены на установке МАСПИК в сеансе на синхрофазотроне ЛВЭ. Разрешающие времена, установленные на УСС, составляли 3 нс и 5 нс. Сигналы с УСС использовались в качестве меток для построения двух дополнительных времяпролетных спектров из общего, набираемого в широком (~ 20 нс) временном интервале. На рис. 6 представлены гистограммы распределения эффективностей обеих УСС по времени пролета. Эффективность определялась отношением числа событий, "помеченных" УСС, к общему их числу в данном канале.

Форма левых склонов гистограмм позволяет оценить временное разрешение системы в 0.5 нс (полная ширина на полувьсоте). Практически полное подавление счета от частиц, времена пролета которых лежат вне ин-

тервалов, отбираемых УСС, подтверждает эффективность предложенного метода.

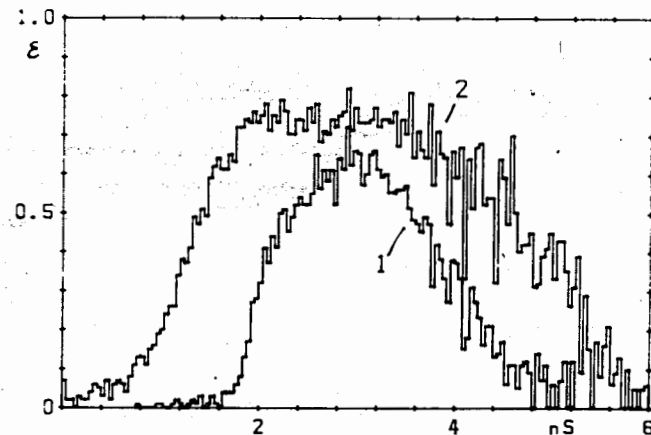


Рис. 6. Распределения эффективностей отбора частиц по времени пролета. Кривая 1 - для разрешающего времени 3 нс, кривая 2 - для 5 нс.

В третьей главе описывается аппаратура регистрации информации пропорциональных камер (ПК), считывания данных и тестирования системы ПК. Приводятся основные рабочие характеристики аппаратуры.

Для регистрации траекторий заряженных частиц в магнитном спектрометре МАСПИК используется система пропорциональных камер (ПК) с аппаратурой, разработанной на основе гибридной интегральной микросхемы К405ХП1. Одним из основных элементов системы являются платы регистрации на 16 каналов каждая. Общий объем регистрирующей аппаратуры составляет ~ 4600 каналов (около 290 плат регистрации).

Эффективная работа таких систем в условиях высоких нагрузок возможна только при соответствующем согласовании временных характеристик отдельных каналов. Поэтому основное внимание при настройке уделялось двум факторам: компенсации температурной зависимости времени задержки каналов и разбросу параметров микросхем, который приводил к разной длительности плато кривой задержанных совпадений у различных каналов. Для достижения наилучшего временного разрешения системы задержки индивидуальных каналов настраивались так, что середины кривых задержанных совпадений для всех каналов совмещались. С этой целью было разработано специальное устройство, позволяющее измерять промежуток времени между моментом прихода сигнала на вход канала регистрации и серединой временного интервала, в течение которого происходит запись в

ячейку памяти. Окончательная проверка плат регистрации осуществлялась на автоматизированном стенде. На рис. 7 представлена зависимость временного согласования центров кривых задержанных совпадений для каналов плоскости от напряжения управления задержками $U_{упр}$. Благодаря такой методике удалось получить временное разрешение каналов в пределах плоскости ~ 25 нс (полная ширина на половине высоты), что обеспечило эффективность $\sim 99\%$ при стробе записи длительностью 70 нс.

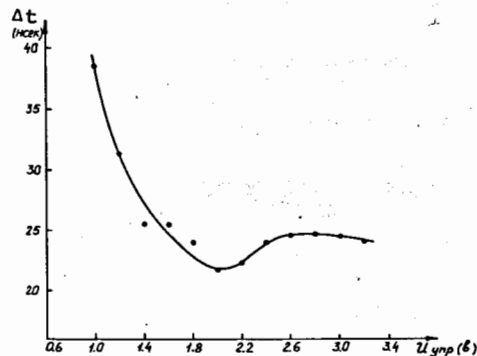


Рис. 7. Зависимость временного разрешения от $U_{упр}$.

Отдельные плоскости используемых в спектрометре пропорциональных камер содержат от 96 до 304 сигнальных нитей. Структурно они разделены на группы по 16 каналов. Каждой группе соответствует плата регистрации*. Платы располагаются непосредственно на ПК.

На рис. 8 представлена структурная схема аппаратуры ПК. Для спектрометра МАСПИК был выбран вариант организации считывания данных, обеспечивающий высокое быстродействие за счет выделения и опроса в системе ПК только тех групп каналов (плат регистрации), в которых содержится ненулевая информация. Выделением этих плат и считыванием с них данных занимается буферная станция (БС). Каждая БС объединяет до 16 плат (256 каналов регистрации) и располагается рядом с соответствующими ПК. Все буферные станции объединены последовательной магистралью передачи данных, начинающейся и оканчивающейся в приемном блоке (ПБ), который управляет процессом съема информации.

Предусмотрено автоматическое (от ЭВМ) управление задержками в каналах регистрации ПК. Управление производится отдельно для каждой плоскости подачей напряжения $U_{упр}$, которое вырабатывает специальный источник. Задержки могут быть установлены в диапазоне $320 + 600$ нс.

Для контроля работы аппаратуры ПК предусмотрены три режима тестирования. Первый режим позволяет (по наличию сигналов от заряженных частиц) проверить общую работоспособность отдельной плоскости ПК. Два других режима тестирования (с ЭВМ и автономный) позволяют производить тщательную проверку каждого канала аппаратуры регистрации и считывания данных с ПК.

* С.Г.Басиладзе, В.К.Юдин. Организация быстрого считывания данных при расположении электроники регистрации на пропорциональных камерах. Препринт ОИЯИ, 13-10527, Дубна, 1977.

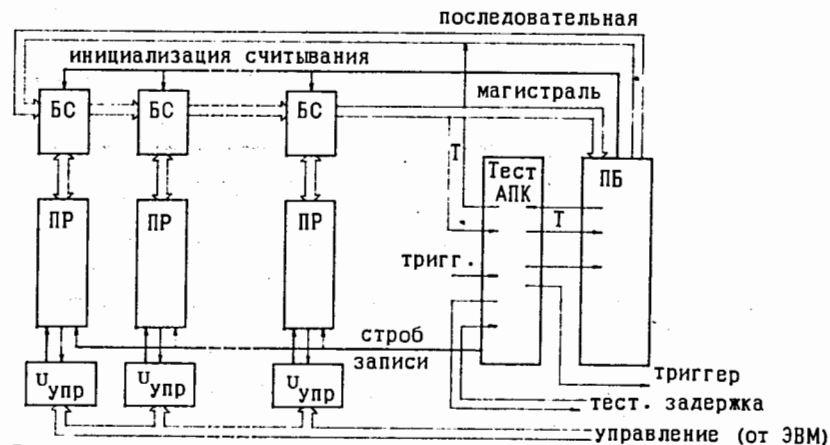


Рис. 8. Структурная схема аппаратуры пропорциональных камер. БС — буферные станции, ПР — платы регистрации, ПБ — приемный блок, Тест АПК — блок организации тестирования аппаратуры ПК, $U_{упр}$ — источники напряжения управления задержками.

В четвертой главе описывается аппаратура спектрометра МАСПИК, осуществляющая сжатие, накопление и передачу в ЭВМ экспериментальной информации.

Основная часть аппаратуры спектрометра (за исключением УВП и регистрирующей аппаратуры ПК) расположена в экспериментальном домике. Аппаратура сбора экспериментальных данных размещена в двух крейтах КАМАК — Кр.1 и Кр.2 (см. рис. 9). Крейты содержат стробируемые АЦП и ВЦП, годоскопические регистры, блок приема данных с аппаратуры ПК, счетчики, регистры для считывания показаний вольтметров, часы и наборные регистры, используемые для занесения служебной информации. Считывание данных из этих крейтов осуществляется с помощью контроллеров КК001, регистра КР007 и сортировщиков запросов КУ006 по методу, предложенному в работе*.

Для обеспечения эффективной работы спектрометра с пропорциональными камерами был разработан специальный блок, который производит прием данных с АПК, преобразование этих данных и выдачу в магистраль крейта информации в сжатом и удобном для дальнейшей обработки виде. Блок может обслуживать до 8192 каналов регистрации. Он представляет собой модуль КАМАК шириной 2М, который размещен в Кр.2 (рис. 9), так что позволяет сформировать цельный массив данных об отдельном событии.

Входные данные поступают с аппаратуры ПК в виде 25-разрядного слова, состоящего из 16-разрядного позиционного кода сработавших в плате

* Н.И.Журавлев, А.Г.Петров, В.Т.Сидоров и др. Система в стандарте КАМАК для чтения информации с разных групп блоков. Сообщение ОИЯИ, Р10-9056, Дубна, 1975.

каналов "RD" и 9-разрядного двоичного номера платы "N". В поступающих на вход данных блок выделяет отдельные кластеры (группы сработавших одновременно соседних каналов) и формирует 16-разрядные слова, содержащие полную информацию об этих кластерах, в том числе и о кластерах, размещенных в соседних платах. Выходное слово (см. таблицу) содержит код координаты кластера N_k (13 разрядов) и код длины кластера - $L_2 \div L_0$.

Данные о кластере, в зависимости от его длины (l), кодируются двумя способами. Если $l < 8$, вся информация о кластере заключена в одном слове, которое содержит (в N_k) координату середины кластера и (в L)

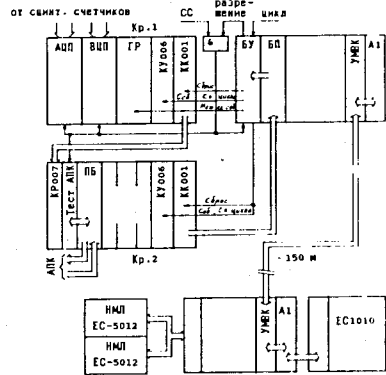


Рис. 9. Структурная схема аппаратуры сбора и передачи в ЭВМ экспериментальных данных. АПП и ВЦП - аналого- и времяцифровые преобразователи; ГР - годоскопические регистры; БУ - блок управления; БП - буферная память; УМК - удлинитель магистрали ветви КАМАК; А1 - контроллер крейта типа А1; ПБ - приемный блок АПК.

код его длины: $L = l - 1$. Данные о более длинных кластерах выдаются в двух словах: первое содержит координату его начала и $L = "7"$ (признак длинного кластера), второе - координату конца кластера и $L = "0"$. Скорость приема и преобразования информации составляет ~ 300 нс на входное слово.

Таблица. Формат слова выходных данных

R16	R15	R14	R13	R12	R11	R10	R9	R8	R7	R6	R5	R4	R3	R2	R1
L2	L1	Двоичный номер канала - N_k											L0		

Вывод частиц из синхрофазотрона ОИЯИ производится импульсами длительностью до 400 мс и периодом следования $6 \div 10$ с. Среднее число запусков в цикле - 200, а слов в событии - 40. Максимальную скорость набора данных в этой ситуации обеспечит аппаратура, которая в течение цикла вывода пучка из синхрофазотрона производит накопление данных в буферной памяти, а в паузах между циклами передает эту информацию в ЭВМ.

Аппаратура сбора данных включает в себя буферную память объемом 16К 16-разрядных слов и блок управления набором данных (БУ), которые размещены в третьем крейте. Крейт расположен в экспериментальном до-

мике рядом с Кр.1 и Кр.2 (см. рис. 9). Сопрежение ЭВМ с аппаратурой КАМАК осуществляется через стандартный драйвер ветви. Поскольку ЭВМ вместе с накопителями на магнитной ленте ЕС-1052 расположена на расстоянии ~ 150 м от спектрометра, связь с ней производится через удлинитель магистрали ветви КАМАК (УМК), которые обеспечивают обмен на расстояние до 1 км.

Общее управление накоплением данных во время цикла вывода пучка осуществляет блок управления. По приходу (во время цикла вывода пучка) сигнала "Триггер" БУ инициирует съем данных события, в результате чего информация об очередном событии считывается из крейтов в буферную память. По окончании цикла БУ инициирует считывание информации о цикле в целом, а затем сообщает ЭВМ о наличии в БП подготовленного массива экспериментальных данных. Поскольку размер принимаемого массива не может быть определен заранее, запись данных в БП (для предотвращения искажения информации) начинается с некоторого задаваемого программно (ненулевого) адреса, чтобы при достижении максимального адреса занести в зарезервированное таким образом адресное пространство оставшуюся недочитанной информацию о событии и служебные слова цикла.

В пятой главе рассматриваются экспериментальные результаты, полученные с помощью спектрометра МАСПИК с использованием описанной выше аппаратуры. Исследования проводились на синхрофазотроне ОИЯИ. Пучок выведенных из синхрофазотрона релятивистских частиц падал на мишени из CH_2 , CD_2 и C (см. рис. 1), устанавливавшиеся поочередно в ионопроводе медленного вывода пучка. В качестве первичных частиц использовались протоны, дейтроны, α -частицы. Относительное мониторирование

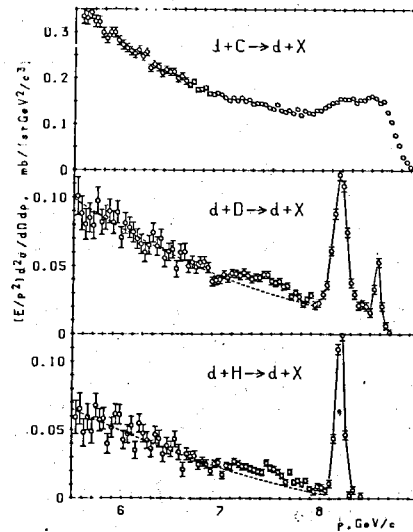


Рис. 10. Импульсные спектры дейтронов, зарегистрированных под углом $0,139$ рад во взаимодействиях дейтронов с ядрами водорода, дейтерия и углерода при 9 ГэВ/с. Штриховые кривые - результаты аппроксимации участков спектров от $5,5$ до $7,0$ ГэВ/с плавными кривыми.

интенсивности первичного пучка производилось с помощью двух телескопов сцинтилляционных счетчиков, направленных на отдельную мониторинговую мишень. Вторичные частицы регистрировались сцинтилляционными счетчиками $Co + C7$ и пропорциональными камерами ПК1 + ПК19.

С помощью спектрометра МАСПИК с использованием описанной выше аппаратуры было впервые произведено измерение импульсных спектров вторичных протонов и дейтронов с большими поперечными импульсами*, образующихся во взаимодействиях дейтронов с начальным импульсом 9 ГэВ/с с ядрами мишени, с импульсным разрешением ~ 100 МэВ/с. Измерения проводились под углом 0,139 рад при интенсивности $(0,5 + 5) \times 10^9$ дейтронов в импульсах длительностью около 0,4 с и частоте 0,1 Гц. Диапазон изменения импульсов вторичных частиц составил от 3,3 ГэВ/с почти до кинематической границы их испускания. Вторичные протоны отделялись от дейтронов по измеренным значениям их импульсов и времен пролета между счетчиками Co и $C4$ на базе длиной около 22 м. На рис. 10 приведены спектры дейтронов, полученные во взаимодействиях дейтронов с импульсом 9 ГэВ/с с ядрами водорода, дейтерия и углерода, при передачах импульса дейтронам в интервале $|t| \approx 1,4 + 1,7$ (ГэВ/с)².

В реакции $d\rho \rightarrow \rho x$ при начальном импульсе дейтронов 9 ГэВ/с методом недостающих масс проводились поиски дибарионных состояний. Измерения охватывали импульсный интервал вторичных частиц от 3,4 до 9 ГэВ/с. Анализ полученных данных показал, что в области $2 \leq M_x \leq 2,5$ ГэВ/с² не наблюдается каких-либо особенностей, указывающих на образование резонансных состояний. Была оценена верхняя граница сечения образования дибарионных состояний. В этой области масс она составляет $0,1 + 0,7$ мкб/(ГэВ/с)². Полученные в процессе измерений данные о реакциях ${}^1_0n d, d \rightarrow N^*$ при больших передачах импульса вторичному дейтрону позволили оценить параметры амплитуд рассеяния на нуклонах короткоживущих нуклонных резонансов $N^*(1410)$, $N^*(1520)$, $N^*(1680)$ **.

* П.С.Ажгирей, И.К.Взоров, ..., Ю.А.Кожевников и др. Исследование реакции ${}^1_0n d, d \rightarrow X$ при 9 ГэВ/с в области больших поперечных импульсов протонов. Препринт ОИЯИ, Р1-86-728, Дубна, 1986. ЯФ, 1987, т.46, с.1137.

П.С.Ажгирей, И.К.Взоров, ..., Ю.А.Кожевников и др. Спектры дейтронов, испускаемых с большими поперечными импульсами в соударениях дейтронов с ядрами водорода, дейтерия и углерода при 9 ГэВ/с. Препринт ОИЯИ, Р1-88-23, Дубна, 1988. ЯФ, 1988, т.48, с.1758.

**П.С.Ажгирей, И.К.Взоров, ..., Ю.А.Кожевников и др. Экспериментальные поиски проявления дибарионных резонансных состояний в реакции ${}^1_0n d, d \rightarrow X$ при 9 ГэВ/с. В кн.: Труды симпозиума по нуклон-нуклонным и адрон-ядерным взаимодействиям при промежуточных энергиях. ЛИЯФ, Ленинград, 1986, с. 43.

П.С.Ажгирей, И.К.Взоров, ..., Ю.А.Кожевников и др. Возбуждение нуклонных резонансов в глубоко неупругом дейтрон-ядерном рассеянии. Там же, с.348.

В заключении формулируются основные результаты диссертации. Представляемая диссертация обобщает результаты разработок, создания и исследования рабочих характеристик основных узлов электронной аппаратуры магнитного спектрометра МАСПИК, а именно: аппаратуры триггера, регистрации информации с пропорциональных камер и сбора данных. Описанная аппаратура используется в проводимых на синхрофазотроне ОИЯИ с помощью установки МАСПИК исследованиях механизма ядерных реакций при релятивистских энергиях. Разработка, испытание и внедрение аппаратуры в состав спектрометра МАСПИК шло параллельно с экспериментальными исследованиями. Особая ценность результатов этих испытаний (в том числе и на стадии разработки) заключается в том, что они проводились в реальных условиях при одновременном наборе экспериментальной информации. Основные результаты представленных в диссертации работ заключаются в следующем:

1. Сформулированы основные требования, предъявляемые к отдельным узлам электронной аппаратуры спектрометров. Эти требования были использованы при разработке аппаратуры.

2. Разработано и внедрено защищенное авторским свидетельством СССР на изобретение устройство временной привязки для больших сцинтилляционных счетчиков, обеспечивающее погрешность временной отметки (σ) - 220 пс, мертвое время - 20 нс.

3. Проведена аналитическая оценка эффективности триггера первого уровня. Получены конкретные значения основных параметров системы триггера, обеспечивающих высокую (~ 99%) эффективность. Разработана, создана и испытана в рабочих условиях система триггера по времени пролета спектрометра МАСПИК. Временное разрешение, достигнутое аппаратурой триггера, составило 500 пс (полная ширина на полувысоте).

4. Предложена и применена методика настройки каналов регистрации ПК, что обеспечило высокое временное согласование задержек в пределах отдельной плоскости (полная ширина на половине высоты - 25 нс), что позволило при коротком стробе записи (70 нс) достичь высокой (99 %) эффективности. Разработана и внедрена аппаратура автоматического управления задержками в каналах и аппаратура, производящая считывание только значащей информации с ПК. Созданы и внедрены средства автоматизированного тестирования этой аппаратуры.

5. Разработаны и внедрены блоки приема и преобразования информации с пропорциональных камер, буферной памяти, управления накоплением данных, удлинитель магистралей ветви КАМАК. На их основе создана и внедрена система сбора данных спектрометра МАСПИК, увеличившая на порядок скорость набора экспериментальной информации.

6. Описанная аппаратура используется в проводимых с помощью уста-

новки МАСПИК на синхрофазотроне ЛВЭ ОИЯИ исследованиях механизма ядерных реакций при релятивистских энергиях. Она позволила решить довольно широкий класс физических задач: с помощью спектрометра МАСПИК исследованы реакции $\Lambda(d, p)\chi$ и $\Lambda(d, d)\chi$ при 9 ГэВ/с в области больших поперечных импульсов вторичных протонов и дейтронов, проведены поиски дибарионных состояний в реакциях $d\rho \rightarrow \rho\chi$ методом недостающих масс, оценены параметры амплитуд рассеяния на нуклонах короткоживущих нуклонных резонансов $N^*(1410)$, $N^*(1520)$, $N^*(1680)$.

Работы, опубликованные по теме диссертации:

1. Ю.А.Кожевников. Блок приема и преобразования информации с пропорциональных камер. Препринт ОИЯИ, 13-85-697, Дубна, 1985. ПТЭ, № 6, 1986, с. 81.
2. Ю.А.Кожевников, Л.К.Лыткин. Анализ эффективности регистрации элементарных частиц методом совпадений при малых разрешающих временах. Препринт ОИЯИ, 13-88-627, Дубна, 1988.
3. В.Ф.Борейко, В.М.Гребенюк, ..., Ю.А.Кожевников и др. Устройство временной привязки для больших сцинтилляционных счетчиков. Препринт ОИЯИ, 13-86-362, Дубна, 1986. ПТЭ, № 5, 1987, с. 87.
4. В.Ф.Борейко, Ю.М.Валуев, ..., Ю.А.Кожевников и др. Быстродействующие логические блоки в стандарте КАМАК (Выпуск 1). Сообщение ОИЯИ, Р10-85-661, Дубна, 1985.
5. В.М.Гребенюк, Ю.А.Кожевников, А.В.Селиков. Схемы совпадений с программно-управляемыми параметрами. Сообщение ОИЯИ, Р10-87-846, Дубна, 1987.
6. Л.С.Ажгирей, И.К.Взоров, ..., Ю.А.Кожевников и др. Организация и аппаратная реализация триггера по времени пролета с высоким разрешением. Препринт ОИЯИ, 13-88-437, Дубна, 1988.
7. Г.Ф.Акимова, Л.В.Будкин, ..., Ю.А.Кожевников и др. Аппаратура для наладки каналов регистрации информации с пропорциональных камер. Сообщение ОИЯИ, 13-84-308, Дубна, 1984.
8. Л.С.Ажгирей, Г.Ф.Акимова, ..., Ю.А.Кожевников и др. Система пропорциональных камер магнитного спектрометра. Препринт ОИЯИ, 13-86-164, Дубна, 1986. ПТЭ, № 4, 1987, с. 44.
9. В.М.Гребенюк, Ю.А.Кожевников. Устройство временной привязки для больших сцинтилляционных счетчиков. Авт. свид. № 1432436. ОИПОТЭ, 1988, № 39.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 июня 1989 года.