

X-68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

6 - 7044

ХОАНГ  
Зыонг Куан

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА  
( $n, \gamma$ ) - СПЕКТРОМЕТРИИ  
С Ge(Li) ДЕТЕКТОРОМ НА ИБРе ЛНФ

Специальность 05-260 - приборы  
экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1973

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики  
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель  
кандидат технических наук В.Г.Тишин.

Официальные оппоненты:  
доктор технических наук И.В.Штраших,  
кандидат физико-математических наук В.М.Цупко-Ситников.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Ленин-  
градский государственный университет им. А.А.Жданова.

Автореферат разослан " " 1973 года  
Защита диссертации состоится " " 1973 года  
в " " часов на заседании Объединенного Ученого  
совета Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории  
ядерных реакций Объединенного института ядерных ис-  
следований /г. Дубна/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
ОИЯИ.

Отзывы и замечания просим направлять по адресу:  
г. Дубна, Московской области, Объединенный институт  
ядерных исследований, Ученому секретарю Объединенно-  
го Ученого совета ЛЯР и ЛНФ.

Ученый секретарь Совета

Э.Н.КАРЖАВИНА

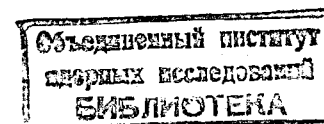
ХОАНГ  
Зыонг Куан

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА  
( $n, \gamma$ ) -СПЕКТРОМЕТРИИ  
С Ge(Li) ДЕТЕКТОРОМ НА ИБРе ЛНФ

Специальность 05-260 - приборы  
экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

(Диссертация написана на русском языке)



Создание импульсного быстрого реактора ИБР-2 в ЛНФ <sup>/1/</sup>, существенно отличающегося по своим характеристикам, возможностям и условиям проведения эксперимента от действующего в настоящее время реактора, обуславливает необходимость переоборудования измерительного центра лаборатории, который создавался поэтапно, начиная, примерно, с 1960 года <sup>/2/</sup>.

Новый физический комплекс, состоящий из двух частей: периодического импульсного реактора ИБР-2 и индукционного линейного ускорителя ЛИУ-30, служащего инжектором для ИБР-2, предоставляет большие возможности для проведения ряда актуальных физических исследований с повышенной точностью на нейтронных пучках по времени пролета в различных областях физики: ядерной, физики элементарных частиц, физики конденсированных сред и др.

Новые возможности экспериментов требуют, чтобы переоборудованный измерительный центр /ИЦ/ обеспечивал не только сбор большого количества информации, но и ее обработку. В соответствии с этими требованиями ИЦ должен носить измерительно-вычислительный характер с включением малых ЭВМ в состав экспериментального оборудования. Кроме того, в связи с увеличением мощности реактора требуется, в первую очередь, увеличить быстродействие измерительной аппаратуры с сохранением высокой точности и надежности, а также повысить уровень автоматизации экспериментов и обработки данных.

Содержание диссертации отражает часть разработанной аппаратуры ИЦ ЛНФ по вышеуказанным направлениям, относящуюся к ряду задач  $\gamma$ -спектрометрии.

Особое внимание уделяется задаче повышения загрузочной способности вплоть до  $10^5$  имп/сек. при сохранении точности и стабильности всего спектрометрического тракта, в том числе малошумящих и линейных усилителей, восстановителя уровня, быстрого амплитудного кодировщика с системой стабилизации. Приводится описание разработанных при непосредственном участии автора приборов и устройств  $\gamma$ -спектрометрии, к числу которых относятся: техническое исполнение комплекса многомерного анализатора с записью на магнитной ленте, ряд прецизионных амплитудно-цифровых преобразователей /АЦП/ на 4096 /8192/ каналов среднего и высокого быстродействия, предназначенных для спектрометрических задач, проводимых на ИБРе ЛНФ, конкретно, для экспериментов по исследованию реакций ( $n, \gamma$ ). Последний разработанный автором АЦП выполнен на широко применяемых в настоящее время в ОИЯИ интегральных схемах, что дает возможность уменьшения габаритов, облегчения теплового режима, повышения надежности работы аппаратуры, а также подключения АЦП к другой современной электронной аппаратуре такой как малая ЭВМ ТРА-70, аппаратура, выполненная в стандарте КАМАК и пр., которые являются будущими модулями измерительно-вычислительного центра ЛНФ.

Диссертация состоит из трех глав и двух приложений, основное содержание которых излагается ниже.

### *Глава I. Характеристики спектрометрического тракта при повышенном потоке информации /загрузке/*

В теоретическом плане рассмотренные вопросы этой главы посвящаются характерным особенностям построения спектрометрического тракта, работающего при высокой скорости поступления информации /загрузках/. Возможные искажения при регистрации событий в спектрометрических задачах имеют следующий характер:

- расширение пика энергетической линии;
- отклонение формы пика от нормального закона распределения;

- изменение положения центра тяжести пика.

Исходя из того, что каждый входящий в состав спектрометра блок вносит свой вклад в искажения, автор приводит обзор по известным публикациям и анализирует работу отдельных узлов тракта: системы детектор-предусилитель, основных усилителей, многоканальных преобразователей информации.

В первой части этой главы показано, что для реализации преимуществ полупроводниковых детекторов /ППД/ по энергетическому разрешению при измерении  $\gamma$ -спектров с  $Ge(Li)$ -детекторами требуется малошумящая электронная система с большой стабильностью. Эти требования обуславливают, с одной стороны, уменьшение до минимума шумовых свойств входной части /т.е. системы детектор-предусилитель ППД-ПУ/, с другой - повышение до максимума соотношения сигнал-шум всего тракта при помощи специальных мер, применяемых в соответствующих узлах. Во-первых, с точки зрения уменьшения абсолютного значения шумов на выходе системы ППД-ПУ дан ряд рекомендаций по построению малошумящего тракта: охлаждению системы ППД-ПУ; выбору полевого транзистора для входного элемента в ПУ по максимальному соотношению  $\frac{S}{C}$ ;

сопротивлений смещения для детектора и обратной связи в зарядно-чувствительном усилителе по максимальному возможному значению и пр. Причем отмечено, что емкость детектора и диапазон частот системы также существенно влияют на шумовые характеристики системы.

Во-вторых, для повышения соотношения сигнал-шум даются некоторые рекомендации по выбору оптимальных фильтров и их сравнение.

Во второй части на основании известных монографий /4, 5/ рассмотрены вопросы наложения импульсов при большой загрузке и борьба с ними. Показано, что некоторые наложения, связанные с такими явлениями,

как отклонение от базовой линии или наложение на выброс предыдущего сигнала и др., принципиально можно устранить при помощи способов восстановления нулевой линии и компенсации полюса нулем.

Основная задача по исключению наложений, связанных с большой скоростью поступления информации и ее случайным характером, часто не имеет общего решения. Здесь эта задача решена частично для некоторых конкретных случаев. В плане теоретического анализа наложений дается некоторый подход к ее решению. В некоторых приближенных случаях для обработки спектров, а также постановки условий эксперимента используются теоретические результаты при решении уравнения распределения измеряемых событий вида:

$$N(y) = \int_0^{\infty} A(z) \cdot M(y-x) dx,$$

где  $A(x)$  - распределение нулевого уровня как причины наложения,  $M(y-x)$  - распределение истинных амплитуд.

Более эффективным решением задачи устранения наложений является, как показано, использование электронных схем инспекторов наложений. Дан обзор основных способов инспекции наложений для уменьшения искажения изучаемых спектров.

В третьей части рассматриваются предложенные автором возможности эффективного "сжатия" спектров: 1/ в преобразователе информации при помощи цифровых дискриминаторов /границ/ <sup>1/6/</sup> и 2/ способ аналого-цифрового преобразования с кусочно-линейной шкалой <sup>1/7/</sup> для спектрометра с записью на магнитной ленте. Первый способ облегчает работу запоминающего устройства при условии предварительно известного вида изучаемых спектров. Блок-схема одного из вариантов представлена на рис. 1.

Благодаря второму способу уменьшается мертвое время устройства, т.е. повышается его быстродействие при сохранении требуемой точности. В зависимости от технического исполнения амплитудно-цифрового преобразователя с кусочно-линейной шкалой, он может работать в качестве экспандера для "сжатия" не интересую-

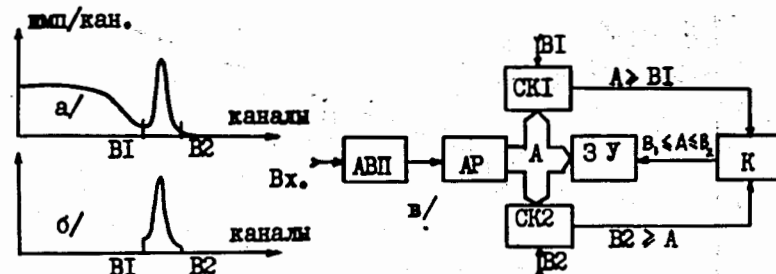


Рис. 1. Принцип работы анализатора с цифровыми границами: а/ полный гамма-спектр; б/ интересная часть спектра, регистрируемая в ЗУ; в/ блок-схема анализатора: АВП - аналого-временной преобразователь; АР - арифметическое устройство; СК1, СК2 - устройства сравнения кодов; В1, А, В2 - коды первой цифровой границы, изучаемого сигнала и второй границы соответственно; ЗУ - запоминающее устройство /магнитофон/; К - клапан.

щих нас участков информации. Изменение коэффициента преобразования /т.е. ширины каналов/ в АЦП вилкинсоновского типа, как правило, осуществляется путем изменения разрядного тока запоминающей емкости /ЗЕ/. Возможность применения АЦП с кусочно-линейной шкалой иллюстрируется рисунком 2.

В четвертой части, считая, что одним из наиболее ответственных узлов в спектрометрическом тракте является прецизионный амплитудно-цифровой преобразователь, автор дает обзор современных методов построения АЦП с повышенным требованием по быстродействию, а также приводит их классификацию и сравнение <sup>1/8/</sup>.

В данной классификации предлагается разделить методы кодирования аналоговых сигналов на две большие группы:

1/. Линейное кодирование с параллельным единичным считыванием и с последовательным единичным счетом /АЦП с линейным разрядом запоминающей емкости, АЦП с единичным вычитанием заряда и АЦП циклического

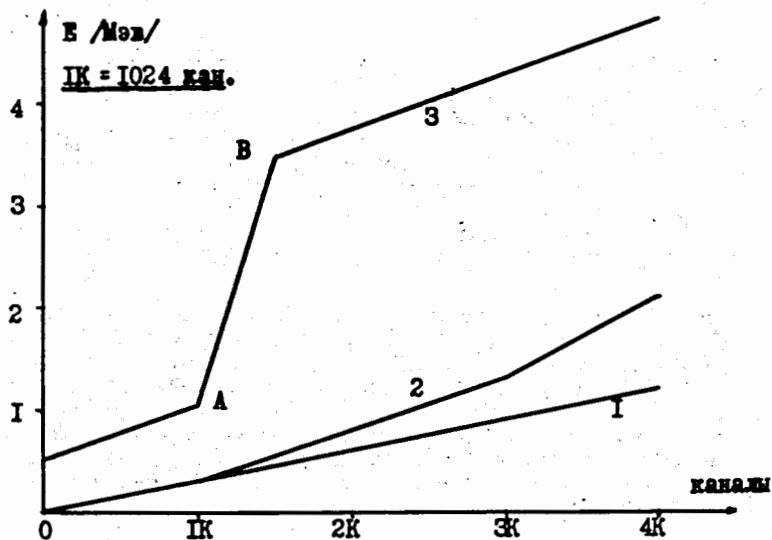


Рис. 2. Возможные работы АЦП для "сжатия" гамма-спектров. 1 - режим линейного преобразования; 2 - режим с кусочно-линейной шкалой; 3 - режим экспандера /участок АВ/.

типа/. Последние, как правило, имеют один компаратор, счетное устройство последовательного типа и генератор такта /генератор кодовой серии/. Их мертвое время составляет:

$$T = \frac{N}{f} + T_0,$$

где  $N$  - число тактов /каналов/;  $f$  - частота кодовой серии;  $T_0$  - время, необходимое для управления нормальной работой АЦП.

2/. Нелинейное кодирование, включающее в себя АЦП с позарядным уравниванием по  $n$  тактам /здесь -  $N=2^n-1$ ;  $T = \frac{n}{f} + T_0$ /; АЦП с  $K$  компараторами,  $(K-1)$  вычитающими устройствами,  $(K-1)$  генераторами эталонного уровня,  $(K-1)$  усилителями "x2"; АЦП с последовательно-параллельным кодированием и т.п.

Показано, что комбинация линейного и нелинейного методов кодирования, т.н. АЦП с кусочно-линейной шкалой, позволяет со сравнительно небольшой структурной избыточностью существенно сократить то большое время, которое затрачивает АЦП линейного кодирования.

В этом случае вместо  $N$  тактов требуемое число оптимальных тактов составляет:

$$M = m \cdot N^{1/m},$$

где  $m$  - число ступеней разряда.

Время преобразования

$$T_{\text{пр}} = (m \cdot N^{1/m}) / f,$$

т.е. при одной и той же  $f$ , в данном случае оно уменьшается в  $N/(m \cdot N^{1/m})$  раз по сравнению с линейным кодированием. Выбран способ грубо-точного преобразования как перспективный для построения быстродействующего прецизионного устройства.

## Глава II. Некоторый анализ работы прецизионных АЦП повышенного быстродействия

Как продолжение исследования причин погрешностей и методов построения схем входных устройств амплитудных анализаторов повышенной точности, опубликованных в работах /9, 10/, автором диссертации дополнительно рассмотрены особенные требования к отдельным узлам АЦП, выполненного на основе способа грубо-точного кодирования, а именно:

- Вопрос построения линейных "ворот" /здесь показано, что можно применять простую схему ЛВ/.

- Специфические требования к зарядно-разрядным устройствам при работе АЦП в режиме многоступенчатых разрядов ЗЕ. Даются варианты для случая кусочно-линейной шкалы и двухступенчатого разряда с большим соотношением разрядных токов ( $I_{p1}/I_{p2} \geq 64$ ):

- Рассмотрен вопрос использования стабилизированных кварцем генераторов кодовой серии с системой фазировки для получения большой точности и стабильности ширины канала. Дан анализ влияния переходного процесса в схеме переключения разрядных токов, выполненной на интегральных схемах. Показано, что этот переходный процесс при стабильном режиме работы элементов вызывает погрешности в величине отношения разрядных токов в виде систематической ошибки и является одной из главных причин ухудшения дифференциальной нелинейности АЦП вышеуказанного типа.

- Рассмотрена проблема стабилизации спектров при помощи генератора точной амплитуды /ГТА/ для случая многоступенчатых разрядов ЗЕ. Особое внимание уделяется возможности стабилизации в АЦП с кусочно-линейной шкалой и вопросу выполнения стабилизации соотношения разрядных токов /коэффициентов преобразования/ в АЦП с двухступенчатым грубо-точным разрядом ЗЕ. Даны рекомендации по подключению ГТА к тракту с точки зрения получения максимальной эффективности стабилизации.

### Глава III. Амплитудно-цифровые преобразователи в измерительном центре ЛНФ

На основании анализа возможных вариантов построения спектрометрического тракта, обсужденных в предыдущих двух главах, в этой главе даны некоторые выбранные автором технические решения построения АЦП в многомерных анализаторах для физических измерений. В том числе:

1/. Комплекс многомерного анализатора с записью на магнитной ленте. Данная разработка коллектива отдела радиотехники ЛНФ при непосредственном участии автора является основным прибором для проведения прецизионных амплитудных и многомерных измерений на ИБРе. В число блоков комплекса входят:

АЦП-4096, АЦП-512, ВЦП-4096, блок кодирования признака БКП /номера датчиков/. Рассмотрена работа блока управления в режиме выбора полезной информации для регистрации на магнитной ленте при помощи цифровых границ /ЦГ/. Число таких ЦГ достигает двух, что обеспечивает выбор одного цифрового окна при измерении. Комплекс позволяет проводить многопараметровый анализ в следующих режимах:

- амплитуда /4096 каналов/ + признак /6 бит/ /Пр/;
- амплитуда /512 каналов/ + Пр;
- время /4096 каналов/ + Пр;
- амплитуда /4096 каналов/ + время /4096 каналов/ + Пр;
- амплитуда /512 каналов/ +  $V_r$  + Пр;
- амплитуда /4096/ + амплитуда /512/ + Пр /6 бит/;
- амплитуда /4096/ + амплитуда /512 +  $V_r$  + Пр /7 бит/.

Выбор режима зависит от условий эксперимента и осуществляется при помощи переключателя.

2/. Подробное описание транзисторного АЦП среднего быстродействия на 4096 /8192/ каналов /6. 11/, АК-4096, входящего в вышеуказанный комплекс. Данный АЦП разработан автором вместе с В.И.Приходько и В.Г.Тишиным в 1966-1968 гг. и успешно используется в настоящее время в ИЦ ЛНФ, в других лабораториях института, а также в нескольких институтах СССР.

Генератор кодовой серии АЦП работает на частоте 10-25 МГц, что дает максимально мертвое время 400-150 мксек с хорошими характеристиками. В АЦП предусмотрена возможность модификации его работы с целью повышения быстродействия /7. 12/.

3/. АЦП на 4096 каналов /АК-4096-Б/ с максимальным мертвым временем 24 мксек /13/, построенный по методу двухступенчатого грубо-точного преобразования и выполненный на интегральных схемах /ИС/. Данный АЦП имеет следующие характеристики:

- число каналов - 4096;
- динамический диапазон 0,03-8 в;



- полярность входного сигнала - отрицательная;
- интегральная нелинейность не хуже 0,05%;
- дифференциальная нелинейность не хуже 1%;
- время преобразования - 24 мксек при частоте кодовой серии 8 Мгц, что эквивалентно АЦП с линейной шкалой, работающему при частоте кодовой серии 180 Мгц.

Сокращенная блок-схема и временная диаграмма работы АЦП показаны на рис. 3. АЦП состоит из пяти функциональных блоков: амплитудно-временной преобразователь /АВП/; логика управления /ЛОГ/; фазировка /ФАЗ/; адресный счетчик /АС/; стабилизация /СТАБ/ с цифровыми границами /ЦГ/.

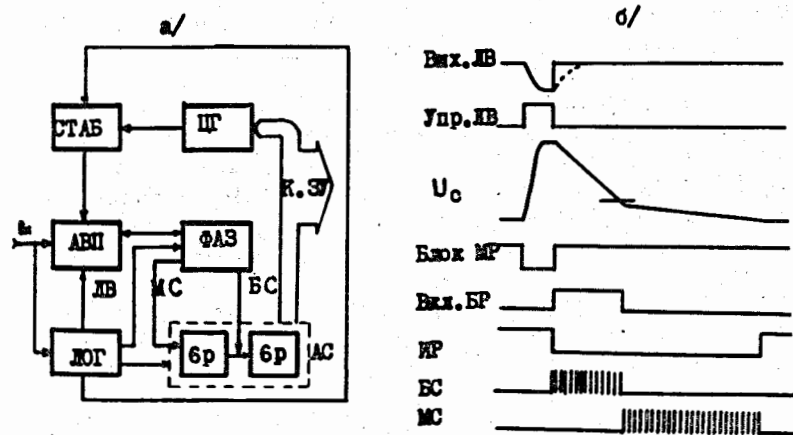


Рис. 3. АЦП на 4096 каналов; работающий по принципу грубо-точного преобразования. а/ сокращенная блок-схема; б/временная диаграмма. Здесь - ЛВ - линейные ворота;  $U_c$  - напряжение на ЗЕ; МР, БР - медленный и быстрый разряды ЗЕ; БС, МС - кодовые серии, быстрая и медленная соответственно; ИР - интервал разряда ЗЕ.

Конструктивное исполнение АЦП в двух вариантах: в стандарте ОИЯИ и в стандарте КАМАК; позволяет подключать его к любому блоку, входящему в состав ИЦ ЛНФ.

Для стабилизации спектров кроме системы стабилизации, применяемой в ранних разработках АЦП, автором предложен способ стабилизации соотношения разрядных токов. В качестве эталонного сигнала в этом случае может быть ГТА или пьедестал.

Показано также, что принципиально можно повысить частоту кодовой серии для существенного уменьшения времени преобразования. Это и есть главное перспективное свойство данного метода прецизионного амплитудно-цифрового преобразования информации.

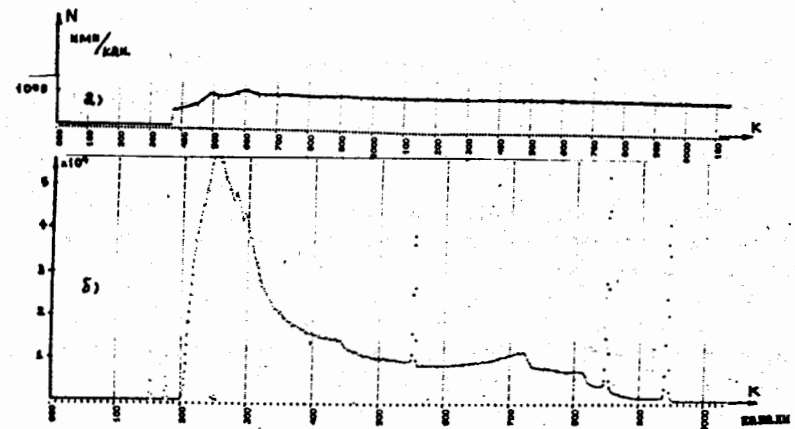


Рис. 4. Спектры, снятые при помощи АЦП грубо-точного преобразования, а/ от ГИПА; б/  $\gamma$ -спектры  $^{60}\text{Co}$  и  $^{137}\text{Cs}$  с 35 см<sup>3</sup> Ge(Li) детектором.



На рис. 4 представлены  $\gamma$ -спектры  $Co^{60}$  и  $Cs^{137}$ , а также спектр от генератора импульсов переменной амплитуды /ГИПА/, снятые при помощи данного АЦП. АЦП разработан автором совместно с В.Г.Тишиным и М.З.Ишмухаметовым.

В приложении I - особенности применения интегральных схем для задач амплитудного анализа /основные характеристики, практические схемные решения/.

В приложении 2 - расчет влияния на стабильность выходного сигнала ЗЧУ различных способов подключения к нему ГТА.

Основные результаты работ, вошедших в диссертацию, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Рассмотрены основные методы построения малошумящего спектрометрического тракта при наличии наложения сигналов и большой скорости поступления информации.

2. Предложены некоторые варианты "сжатия"  $\gamma$ -спектров при помощи цифровых границ и применения АЦП в режиме с кусочно-линейной шкалой.

3. Проведена классификация методов построения прецизионных амплитудно-цифровых преобразователей при повышенном требовании к быстродействию. Предложено комбинированное применение метода линейно-нелинейного преобразования в виде грубо-точного кодирования амплитудной информации, как перспективного с точки зрения повышения быстродействия АЦП.

4. Создано входное устройство комплекса многопараметрового анализа с записью на магнитной ленте.

5. Разработано транзисторное входное устройство амплитудного анализатора на 4096 /8192/ каналов большой точности и среднего быстродействия.

6. Впервые в СССР разработан быстродействующий прецизионный амплитудно-цифровой преобразователь на 4096 каналов с временем преобразования не больше 24 мксек, выполненный на интегральных схемах по принципу двухступенчатого грубо-точного преобразования.

7. Предложен способ стабилизации соотношения коэффициента преобразования для вышеуказанной конструкции АЦП.

Проведенные исследования и разработанные устройства находят широкое применение в ИЦ ЛНФ ОИЯИ как стандартные блоки; кроме того, эти устройства используются в других лабораториях института, как, например, в отделе ядерной спектрометрии и радиохимии ЛЯП, где имеется несколько таких устройств, а также в ряде институтов СССР, например, в Радиовом институте им. В.Г.Хлопина, Ленинградском государственном университете им. А.А.Жданова и др.

Основная часть материалов диссертации докладывалась и обсуждалась на V Международном симпозиуме по ядерной электронике в Алуште /1968 г./, VI международном симпозиуме по ядерной электронике в Варшаве /1971 г./, на 20 совещаниях по ядерной спектрометрии и структуре атомного ядра в Ленинграде /1970 г./ и опубликованы в работах автора /6-8, 11-13/.

#### Литература

1. В.Д.Ананьев, Д.И.Блохинцев и др. Препринт ОИЯИ, 13-4392, Дубна, 1969.
2. Г.И.Забиякин. Препринт ОИЯИ, 3260, Дубна, 1967.
3. E. Elad. Proc. 1st Int. Conf. Nucl. Electr. Symp., 1969, p. 2.
4. Л.А.Маталин, Ж.Нараи, С.И.Чубаров. "Методы регистрации и обработки данных в ядерной физике". Атомиздат, Москва, 1968.
5. С.С.Курочкин. "Многомерные статистические анализаторы". Атомиздат, Москва, 1968.

6. А.А.Жаринов, Г.П.Жуков, Хоанг Зыонг Куан и др. Препринт ОИЯИ, БЗ-13-3818, Дубна, 1968.
7. Э.Г.Имаев, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Хоанг Зыонг Куан. Препринт ОИЯИ, Р10-3754, Дубна, 1968.
8. М.З.Ишмухаметов, В.Г.Тишин, Хоанг Зыонг Куан. Труды VI Международного симпозиума по ядерной электронике, сентябрь, 1971, Варшава. Д13-6210, Дубна, 1972, стр. 130.
9. В.И.Приходько, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ Р-2394, Дубна, 1965.
10. Э.Г.Имаев, Ке Ен Сун, В.И.Приходько, А.М.Сухов, В.Г.Тишин. Препринт ОИЯИ, Р10-3332, Дубна, 1967.
11. Э.Г.Имаев, В.И.Приходько, А.М.Сухов, В.Г.Тишин, Хоанг Зыонг Куан. Препринт ОИЯИ, Р13-3911; Дубна, 1968.
12. В.И.Приходько, В.Г.Тишин, Хоанг Зыонг Куан. Препринт ОИЯИ, 13-4826, Дубна, 1970.
13. М.З.Ишмухаметов, В.Г.Тишин, Хоанг Зыонг Куан. Труды VI Международного симпозиума по ядерной электронике, сентябрь, 1971, Варшава. Д13-6210, Дубна, 1972, стр. 149.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 марта 1973 года.