

94678

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К - 90

На правах рукописи

КУЛАБУХОВ ЮРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

**Разработка и создание электронных устройств
наносекундного диапазона для спектрометров
быстрых нейтронов
Физико-энергетического института**

Специальность: 01.04.01 — экспериментальная физика

*Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

Дубна — 1981

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени Физико-энергетическом институте, г. Обнинск.

Научный руководитель — кандидат технических наук
Тимохин Л. А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Штраних И. В.
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник Жуков Г. П.

Ведущая организация — Институт атомной энергии им. И. В.
Курчатова, г. Москва.

Защита состоится «...» 198 г. в час.
на заседании специализированного совета Д.047.01.05 при Лаборатории
нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного
института ядерных исследований, г. Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан «...» 198 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Ю. В. ТАРАН.

Общая характеристика диссертационной работы.

Актуальность работы. Значительное количество экспериментальных исследований в области ядерной физики, физики реакторов, физики твердого тела выполняется с помощью спектрометров нейтронов по времени пролета, широкое распространение которых связано, прежде всего, с высоким энергетическим разрешением, а также относительной простотой обработки полученных результатов измерений, определяемой малым количеством вносимых поправок. Эти факторы обуславливают многочисленные исследования, задачей которых является повышение эффективности и точности спектрометров нейтронов по времени пролета. В последние годы с этой целью наряду с традиционным направлением (повышение качества импульсного источника, эффективности и временных характеристик детекторов и ФЭУ, точности и скорости действия электронных устройств) получил распространение корреляционный метод. В корреляционных спектрометрах нейтронов используется до 50% интенсивности пучка нейтронов, что в условиях некогерентного фона, например, при измерениях на ядрах делящихся элементов, приводит к значительному выигрышу как во времени измерений, так и в статистической точности.

Задача создания высокоэффективных инструментов для проведения исследований на делящихся и конструкционных материалах весьма актуальна, т.к. для расчета и конструирования тепловых и быстрых реакторов, термоядерных установок необходимы исчерпывающие данные по спектрам вторичных нейтронов, угловым распределениям неупруго рассеянных нейтронов, реакциям $(n, 2n)$, $(n, 3n)$ для ^{235}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{232}Th , ограниченно отраженные в литературе.

Область применения корреляционных спектрометров не ограничивается измерениями в условиях некогерентного фона. Исследование.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

линейчатых спектров корреляционным методом позволяет существенно (в $K/2$ раз, где K - число элементарных интервалов за период псевдослучайной последовательности) сократить время измерения при сохранении статистической точности, а при использовании в импульсных источниках группирующих устройств оптимизировать их применение.

К настоящему времени корреляционный метод нашел практическое применение в спектрометрах медленных нейтронов, нейтронный поток в которых модулируется с помощью механических устройств с минимальной длительностью нейтронного импульса порядка микросекунды. Применение корреляционного метода для спектрометрии быстрых нейтронов в наносекундном временном диапазоне требует решения ряда задач по управлению импульсным источником нейтронов, а также измерению и вычислению временных распределений. Создание импульсного источника нейтронов со сложной формой модуляции пучка позволяет дополнительно решить еще одну актуальную задачу, связанную с сокращением затрат времени на перестройку спектрометра с одной методики на другую, что приводит к сокращению общего времени проведения эксперимента.

Цели и задачи исследования. Основной целью диссертационной работы является исследование, проектирование и создание электронных устройств спектрометров быстрых нейтронов по времени пролета наносекундного диапазона на основе ускорителя КГ-0,3 и циклотрона Физико-энергетического института. Решение поставленной задачи с учетом особенностей проведения измерений на конструкционных и делящихся реакторных материалах потребовало создания электронных устройств, обеспечивающих проведение экспериментов с использованием различных методов измерений по времени пролета. Для этого, в частности, потребовались разработка и создание электронных устройств, обеспечивающих эффективное управление импульсными источниками для получения с мишеней ускорителей импульсов нейтронов заданной последовательности; устройств временной селекции импульсов с

детекторов и мишеней ускорителей, временных кодировщиков, позволяющих проводить измерения временных распределений с минимальными погрешностями. При исследовании, проектировании и создании электронных устройств спектрометров потребовалось решить ряд проблем:

- провести анализ методов измерений по времени пролета, определить на основе этого анализа требования к электронным устройствам спектрометров;
- разработать и создать электронные устройства импульсного источника, объединяющего в себе методы клистронной группировки и псевдослучайной модуляции интенсивности пучка дейтронов;
- разработать и создать электронные устройства импульсного источника нейтронов с "промигиванием" на основе циклотрона;
- исследовать методы улучшения измерительных характеристик временных преобразователей и создать с учетом полученных результатов исследований высокоточные устройства измерения временных распределений при использовании различных времяпролетных методов;
- разработать и создать устройства временной селекции сигналов с детекторов и мишеней ускорителя и циклотрона;
- рассмотреть вопросы, связанные с кодированием и восстановлением времяпролетного спектра из зарегистрированного распределения отсчетов детектора по периоду псевдослучайной последовательности при измерениях корреляционным методом.

Электронные устройства корреляционного спектрометра построены с учетом опыта, накопленного при построении традиционных старто-стопных спектрометров, обладают достаточной общностью и универсальностью и могут быть без переделок и наладок использованы в любых спектрометрах по времени пролета.

Научная новизна. Предложенные автором принципы построения электронных устройств, обеспечивающих управление импульсными источниками, выделение и измерение временных интервалов, позволили

создать корреляционный спектрометр по времени пролета, не имеющий аналога в отечественной и зарубежной практике, сочетающий высокое временное разрешение, определяемое клистронной группировкой дейтронов на мишени ускорителя, и эффективное использование интенсивности пучка нейтронов, присущее корреляционному методу; спектрометр с "промигиванием" на основе циклотрона; осуществить цифровое управление импульсным источником на основе ускорителя КГ-0,3.

В представленной работе защитаются следующие научные положения:

- возможность и целесообразность использования корреляционного метода по времени пролета в наносекундной области совместно с методом клистронной группировки;
- возможность и эффективность использования старт-стопных преобразователей время-амплитуда-время для измерений временных распределений по периоду псевдослучайной последовательности при использовании корреляционного метода;
- эффективность применения локальных автоматических систем стабилизации параметров импульсных источников нейтронов на основе ускорителя КГ-0,3 и циклотрона ФЭИ;
- разработка временных кодировщиков, в которых применены эффективные меры по улучшению измерительных характеристик: метод устранения краевых эффектов с помощью приоритетных дискриминаторов, аналоговое статистическое усреднение ширины канала, режим равной экспозиции;
- разработка и создание устройств временной селекции импульсов с мишени ускорителя при псевдослучайной модуляции интенсивности пучка нейтронов.

Реализация результатов работы. Исследования и разработки, проведенные автором, позволили создать и внедрить в физический эксперимент широкий набор электронных устройств наносекундного

диапазона, обеспечивающих эффективное управление импульсными источниками нейтронов на основе ускорителя КГ-0,3 и циклотрона ФЭИ, выделение и измерение временных распределений при использовании эквидистантного и корреляционного методов по времени пролета.

Многочисленные измерения и длительная эксплуатация разработанных автором электронных устройств подтвердили правильность выбора принципов построения, показали высокую стабильность и надежность работы.

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научных семинарах ФЭИ и других организаций, по теме диссертации опубликовано 6 статей в журналах, 9 докладов на всесоюзных и международных конференциях, 5 препринтов и 4 отчета Физико-энергетического института, материалы работы содержатся в книге "Труды Физико-энергетического института".

Объем диссертационной работы. Реферлируемая диссертация является обобщением опыта и результатов работ, выполненных автором с 1968 по 1978 г.г. в соответствии с тематическим планом научно-исследовательских работ Физико-энергетического института (г.Обнинск). Диссертационная работа изложена на 130 страницах машинописного текста, иллюстрирована на 55 страницах рисунками, графиками, таблицами, состоит из введения, четырех глав, основных результатов работы, списка использованной литературы из 128 наименований (из них 61 - зарубежных авторов).

Содержание диссертационной работы

Во введении приведено обоснование актуальности темы диссертационной работы и перечислены основные задачи исследований.

В первой главе для определения требований к составу и техническим характеристикам электронных устройств спектрометров быстрых нейтронов проведено сравнительное исследование традиционного

(эквидистантного) и корреляционного методов по времени пролета. В результате исследований определены области применения эквидистантного и традиционного методов, построены графики предельного выигрыша корреляционного метода при различных отношениях эффект/фон и различных формах регистрируемых временных распределений. На основании анализа влияния погрешностей измерения распределения отсчетов детектора по периоду псевдослучайной последовательности на восстановление временного спектра сформулированы требования к техническим характеристикам устройств выделения и измерения временных интервалов. Показано, что при построении импульсных источников нейтронов совместное применение клистронной группировки и псевдослучайной модуляции позволяет оптимизировать использование интенсивности пучка нейтронов. В этом случае разрешающее время спектрометра определяется длительностью сгруппированного нейтронного импульса с мишени ускорителя, а измеряемый динамический диапазон - длиной псевдослучайной последовательности. Для конкретных условий проводимых измерений в описываемом корреляционном спектрометре по времени пролета используется 20% интенсивности пучка нейтронов.

Комплектация электронного оборудования спектрометров может изменяться в зависимости от типа реализуемой методики измерений. Тем не менее, при рассмотрении состава этого оборудования можно выделить две основные группы устройств. Специфика применения и общие функциональные особенности позволили выделить в отдельную группу электронные устройства импульсных источников нейтронов. Аппаратура данного типа используется для получения пучка частиц с требуемыми характеристиками и стабилизации основных параметров ускорителя, определяющих долговременную работу импульсного источника в заданных режимах. В состав аппаратуры включены задающие генераторы, устройства прерывания, фокусировки и группировки пуч-

ка частиц, устройства установки и автоматического регулирования основных параметров ускорителя и циклотрона, генераторы псевдослучайной последовательности, устройства цифрового управления интенсивностью пучка. Электронные устройства данного класса определяют длительность, интенсивность, частоту, последовательность и стабильность появления импульсов заряженных частиц на мишени ускорителя или циклотрона.

Во вторую группу включены электронные устройства, обеспечивающие выделение, измерение, регистрацию и обработку временных распределений. К таким устройствам относятся быстрые усилители, схемы временной и амплитудной селекции импульсов с детекторов и мишеней, цифровые и аналоговые измерители временных интервалов, логические схемы управления, запоминающие устройства и ЭВМ. Технические характеристики этих устройств в значительной степени определяют эффективность и точность работы спектрометра в целом.

Т.к. применение корреляционного метода требует создания измерительных устройств с повышенными техническими характеристиками, в этой же главе исследованы методы улучшения параметров преобразователей с помощью аналогового статистического разравнивания ширины каналов, усреднения краевых эффектов регистрируемого распределения, аппаратной коррекции влияния прочетов на форму регистрируемых временных распределений.

Во второй главе описаны электронные устройства импульсных источников нейтронов на основе ускорителя КГ-0,3 и циклотрона. Рассмотрены методы формирования импульсов заряженных частиц с использованием одной пары отклоняющих пластин, нескольких пар отклоняющих пластин (метод бегущей волны, частичного заполнения), перфорированного диска (метод "маски"). В результате для построения универсального импульсного источника на основе ускорителя КГ-0,3 выбран метод "частичного заполнения", в котором реализует-

ся высокое временное разрешение, присущее импульсным источникам с эквидистантной модуляцией, и эффективное использование интенсивности источника, присущее корреляционному методу. Кроме этого, при использовании метода частичного заполнения легко реализовать цифровое управление импульсным источником и, тем самым, сократить время перестройки импульсного источника с одной методики на другую.

В этой же главе описываются различные устройства управления импульсными источниками на основе ускорителя КГ-0,3: генераторы псевдослучайной последовательности, устройства автоматической стабилизации фазовых соотношений управляющих напряжений, выходные усилители.

Разработка импульсного источника на основе циклотрона ФЭИ потребовала учета ряда особенностей его работы, одной из которых является высокая частота следования импульсов дейтронов на мишень (II МГц). Для расширения динамического диапазона спектрометра потребовалось снижение частоты следования импульсов дейтронов. С этой целью на дефлекторные пластины циклотрона наряду со сниженным постоянным напряжением подается переменное напряжение с частотой $f_{цикл}/4$. При этом создаются условия для прохождения на мишень каждого четвертого импульса, причем соседние импульсы находятся в зонах полного подавления. Так же, как и в импульсном источнике на основе ускорителя КГ-0,3, высокая стабильность источника нейтронов на основе циклотрона обеспечивается локальной автоматической системой подстройки фазовых соотношений управляющих напряжений циклотрона.

Третья глава диссертации посвящена рассмотрению результатов исследований и разработок автора в области измерения временных распределений при реализации как эквидистантного, так и корреляционного методов по времени пролета. В процессе измерения временных

распределений можно выделить 3 этапа:

- выделение временного интервала;
- измерение временного интервала;
- регистрацию и обработку полученного результата измерения.

Исследования и разработки автора посвящены вопросам выделения временного интервала и, в значительной мере, вопросам построения временных преобразователей для измерений спектров быстрых нейтронов на ускорителях и циклотроне ФЭИ.

Для отметки момента появления импульса с детектора разработаны устройства временной селекции, основанные на линейном и нелинейном методах. Отличительными особенностями данных устройств является простота, экономичность, высокая точность в большом динамическом диапазоне входных амплитуд, низкий порог регистрации нейтронов. Проведение измерений корреляционным методом с применением старт-стопных преобразователей потребовало разработки и создания устройств временной селекции импульсов с мишени ускорителя для однозначной привязки измеряемых временных интервалов к фазе псевдослучайной последовательности нейтронных импульсов.

Устройства временной селекции импульсов с мишени имеют высокую точность, выполнены с использованием цифровых и аналоговых элементов. Наиболее сложным узлом электронного оборудования спектрометров является устройство измерения временных распределений. В течение ряда лет автором проводилась работа по исследованию, разработке, изготовлению и внедрению в эксперимент высокоточных наносекундных временных преобразователей, использующих один запоминающий элемент - конденсатор. В таких устройствах, по мнению автора, можно реализовать весьма высокие измерительные характеристики, т. е. в них минимизированы операции, связанные с передачей и обработкой информации в аналоговой форме. В главе приведено описание структуры преобразователей, принципиальных схем основных узлов.

Рассмотрено устройство модуляторов для реализации аналогового статистического усреднения ширины каналов, устройство исключения краевых эффектов, подробно описаны зарядно-разрядные схемы преобразователей, устройства коррекции влияния просчетов на форму временных распределений. Для кодирования распределений интервалов времени по периоду псевдослучайной последовательности в корреляционном спектрометре разработан временной преобразователь с высокими измерительными характеристиками. В нем, в частности, использованы оригинальное зарядно-разрядное устройство, стабилизация порога преобразования, эффективные устройства исключения краевых эффектов, статистическое аналоговое усреднение ширины каналов, режим равной экспозиции ширины каналов преобразователя. При ширине канала 0,2 нс, максимальном интервале измерений 200 нс дифференциальная нелинейность не превышает 0,5%. При ширине канала 1 нс и максимальном интервале 1 мкс дифференциальная нелинейность не превышает 0,3% для 996 каналов преобразователя.

Четвертая глава содержит описание ряда спектрометров быстрых нейтронов по времени пролета, в которых используются разработанные автором электронные устройства. В главе дано подробное описание эквидистантного спектрометра с кластерной группировкой на основе ускорителя КГ-0,3, приведены результаты калибровочных и физических измерений. Описан спектрометр на основе циклотрона и специфика измерений, связанная с высокой частотой следования нейтронных импульсов (11,0 МГц), низкочастотной модуляцией пучка (50 - 300 Гц), значительным γ -фоном от (p, n) -реакции на конструкционных материалах мишени, приведены результаты калибровочных и физических измерений.

В заключении четвертой главы дано подробное описание корреляционного спектрометра быстрых нейтронов на основе ускорителя

КГ-0,3. Спектрометр допускает 2 режима работы:

- эквидистантный, с цифровым управлением периодом повторения в диапазоне от 50 до 750 нс и длительностью импульса дейтонов на мишени 2,5 нс на полувысоте, средний ток на мишени при периоде 750 нс - 7 мкА;

- корреляционный, с группировкой дейтонов на мишени ускорителя (длительность импульса 2,5 нс на полувысоте), длина псевдослучайной последовательности - 15, средний ток на мишени при периоде псевдослучайной последовательности, равной 750 нс, - 56 мкА.

В этой же главе описывается алгоритм вычисления временного спектра при использовании корреляционного метода. Для определения вида вносимых различными причинами искажений в восстанавливаемый спектр и оценки вклада этих искажений приведены результаты моделирования некоторых искажений "идеального" спектра на ЭВМ. При моделировании рассматривались погрешности в выборе диапазона измеряемого спектра, погрешности, обусловленные неравномерностью интенсивности в пиках нейтронных импульсов, погрешности, вызываемые краевыми эффектами.

В качестве иллюстрации работы спектрометра приведены временные и энергетические спектры рассеяния быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ на ^{238}U , ^{239}Pu . Представлены распределения отсчетов первичных нейтронов по коду псевдослучайной последовательности, зарегистрированный эффект + фон, отдельный фон, эффект + некоррелированный фон, обусловленный γ -активностью образца, спектр нейтронов по времени пролета, восстановленный из зарегистрированного распределения эффект + некоррелированный фон. На представленном энергетическом спектре вторичных нейтронов плутония ^{239}Pu под углом 90° показано отношение ошибок измерений, проведенных на этом элементе эквидистантным и корреляционным методами. Максимальный выигрыш корреляционного метода достигает 2,2 раза.

Основные результаты работы

1. На основе анализа методов измерений спектров нейтронов с использованием каскадного ускорителя КГ-0,3 и циклотрона ФЭИ сформулированы требования к электронным устройствам управления импульсными источниками нейтронов и измерения временных распределений.

2. Для управления импульсными источниками разработаны и внедрены в практику генераторы псевдослучайных последовательностей с различными длительностями элементарного интервала и периода.

3. Разработаны и внедрены в практику системы стабилизации фазовых соотношений для импульсных источников нейтронов на основе каскадного ускорителя КГ-0,3 и циклотрона ФЭИ.

4. Предложены, разработаны и внедрены в физический эксперимент измерительные устройства наносекундного диапазона для временной селекции импульсов с детекторов и мишеней, временного кодирования интервалов при использовании различных методов измерений по времени пролета.

5. Предложены и реализованы эффективные методы улучшения измерительных характеристик преобразователей время-амплитуда-время с помощью аналогового статистического усреднения ширины каналов, устройств устранения эффекта наложения стартового и стопового импульсов, введения режима равной экспозиции ширины каналов.

6. При непосредственном участии автора впервые реализован корреляционный спектрометр по времени пролета с псевдослучайной модуляцией интенсивности пучка нейтронов с длительностью нейтронного импульса 1-2 нс, на котором проведены измерения спектров рассеяния делящихся элементов (^{238}U , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{235}U , ^{232}Th).

7. При непосредственном участии автора реализован спектрометр быстрых нейтронов по времени пролета с "промигиванием" на основе циклотрона ФЭИ.

8. При непосредственном участии автора впервые реализован спектрометр по времени пролета на основе каскадного ускорителя КГ-0,3 с универсальной модуляцией пучка.

Результаты диссертационной работы отражены в 4 научно-технических отчетах Физико-энергетического института и следующих публикациях:

1. Иванов А.А., Кулабухов Ю.С., Тимохин Л.А. Преобразователь коротких временных интервалов с повышенной линейностью. - Труды VI конференции по ядерной радиоэлектронике. - М., Атомиздат, 1965, т. 2, с. 15-19.

2. Ануфриенко В.Б., Девкин Б.В., Кулабухов Ю.С. и др. Неупругое рассеяние нейтронов с начальной энергией 14 МэВ и плотность ядерных уровней. - Ядерная физика, 1965, т. 2, вып. 5, с. 826 - 837.

3. Ануфриенко В.Б., Девкин Б.В., Кулабухов Ю.С. и др. Спектрометр нейтронов по времени пролета. - Приборы и техника эксперимента, 1966, №1, с. 53 - 61.

4. Кулабухов Ю.С., Тимохин Л.А. Временное кодирующее устройство для корреляционных измерений. - Труды VII конференции по ядерной электронике. - М., Атомиздат, 1970, т. 1, ч. 4, с. 173 - 181.

5. Бондарев А.П., Заболотский В.И., Кулабухов Ю.С. и др. Корреляционный 63-х - каналный анализатор импульсных характеристик. - Труды специалистов стран-членов СЭВ. - М., СЭВ, ч. 2, 1970, с. 198 - 205.

6. Кулабухов Ю.С., Нестеренко В.Э., Тимохин Л.А. Кодированное устройство временных интервалов с разрешением 0,25 нс. - Труды конференции специалистов стран-членов СЭВ. - М., СЭВ, ч. 2, 1970, с. 170 - 174.

7. Ануфриенко В.Б., Баулин Н.В., Кулабухов Ю.С. и др. Импульс-

ный источник с псевдослучайной модуляцией. - Обнинск, 1971, 20 с. (Препринт./Физико-энергетический институт: ФЭИ-307).

8. Биряков Н.С., Журавлев Б.В., Кулабухов Ю.С. и др. Спектрометр быстрых нейтронов по времени пролета. - Приборы и техника эксперимента, 1971, №3, с. 66 - 70.

9. Деменков В.Г., Кулабухов Ю.С. и др. Применение статистического усреднения для улучшения дифференциальной линейности временного аналого-цифрового преобразователя. - Приборы и техника эксперимента, 1971, №6, с. 83 - 86.

10. Ануфриенко В.Б., Девкин Б.В., Кулабухов Ю.С. и др. Импульсный источник ионов с псевдослучайной модуляцией. - В книге: Труды Физико-энергетического института.-М., Атомиздат, 1974, с. 57 - 69.

11. Деменков В.Г., Кулабухов Ю.С. и др. Аппаратурная коррекция влияния просчетов на форму временных спектров. - Приборы и техника эксперимента, 1975, №2, с. 90 - 92.

12. Деменков В.Г., Кулабухов Ю.С. и др. Система модулей для временного анализа. - Обнинск, 1976, 6 с. (Препринт/Физико-энергетический институт: ФЭИ-724).

13. Ануфриенко В.Б., Девкин Б.В., Кулабухов Ю.С. и др. Корреляционный спектрометр быстрых нейтронов по времени пролета для измерений в условиях некогерентного фона. - Обнинск, 1977, 12 с. (Препринт/Физико-энергетический институт: ФЭИ-755).

14. Деменков В.Г., Заболотский В.И., Кулабухов Ю.С. и др. Электроника устройства корреляционного спектрометра быстрых нейтронов по времени пролета. - Обнинск, 1976, 6 с. (Препринт/Физико-энергетический институт: ФЭИ-723).

15. Деменков В.Г., Кулабухов Ю.С. и др. Временной аналого-цифровой преобразователь. - Труды I Всесоюзного совещания по автоматизации научных исследований в ядерной физике. Ин-т ядерных исследова-

ований АН СССР. - Киев, 1976, с. 191 - 193.

16. Ануфриенко В.Б., Девкин Б.В., Кулабухов Ю.С. и др. Универсальный спектрометр быстрых нейтронов по времени пролета. - Вопросы атомной науки и техники. - Серия: реакторостроение, вып. 5(19). Физико-энергетический ин-т, Обнинск, 1977; с. 34 - 44.

17. Ануфриенко В.Б., Девкин Б.В., Кулабухов Ю.С. и др. Измерение спектров вторичных нейтронов на ядрах ^{239}Pu корреляционным методом. - Нейтронная физика, ч. 3, М., ЦНИИАтоминформ, 1977, с. 210 - 214.

18. Ануфриенко В.Б., Девкин Б.В., Кулабухов Ю.С. и др. Корреляционный спектрометр быстрых нейтронов по времени пролета. - Нейтронная физика, ч. 4, М., ЦНИИАтоминформ, 1977, с. 247 - 251.

19. Деменков В.Г., Кулабухов Ю.С. и др. Преобразователь время-амплитуда-время с большим коэффициентом преобразования. - Приборы и техника эксперимента, 1978, № 3, с. 109 - 111.

ТБ-01817 от 19/12-1980 г. Объем 0,6 уч.-изд.л. Тираж 150 экз.
Отпечатано на ротапринтере ФЭИ, г.Обнинск *зак. 19*