

И - 185

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

13 - 12408

ИВАНЕНКО
Александр Иванович

**ЭЛЕКТРОННАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
С ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ НЕЙТРОНАМИ И ЯДРАМИ**

Специальность 05.11.10 - приборы для измерения
ионизирующих излучений и рентгеновские приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Дубна 1979

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики
Объединённого института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук Виктор Павлович
старший научный сотрудник АЛФИМЕНКОВ.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук Юрий Николаевич
профессор ДЕНИСОВ,

кандидат физико-математических наук Лев Борисович
младший научный сотрудник ПАРФЁНОВ.

Ведущее предприятие: Институт теоретической и эксперимен-
тальной физики, Москва.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1979 года
в "___" часов на заседании специализированного совета
Д.047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории
ядерных реакций Объединённого института ядерных исследований
(г.Дубна, Московской области).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Автореферат разослан "___" _____ 1979 года.

Учёный секретарь специализированного совета

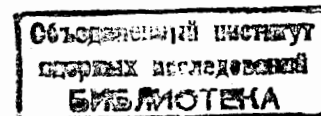
Ю.В.ТАРАН.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Поляризованные нейтроны и поляри-
зованные ядерные мишени находят широкое применение в эксперимен-
тальной физике. Из экспериментов с использованием поляризован-
ных нейтронных пучков и поляризованных ядерных мишеней получают
ценную информацию о свойствах атомных ядер и веществ в конден-
сированном состоянии. В физике атомного ядра поляризованные
нейтроны и ядра дают возможность прямым методом исследовать спи-
новую зависимость взаимодействия нейтронов с ядрами.

Работы по созданию и использованию в физических эксперимен-
тах пучков поляризованных нейтронов и поляризованных ядерных
мишеней ведутся уже давно, несколько десятилетий, однако они раз-
вивались не быстро, поскольку были связаны с большими физичес-
кими и техническими трудностями. Пучки поляризованных нейтронов
сравнительно высоких энергий ($E > 100$ кэВ) могут быть получены
непосредственно из ядерных реакций с заряженными частицами, а
менее 10 эВ - дифракцией от намагниченного ферромагнитного ма-
териала. Однако, в очень интересной, с точки зрения нейтронной
физики, области энергий нейтронов $10 + 10^5$ эВ, в течение длитель-
ного времени не было удовлетворительных методов получения поля-
ризованных пучков нейтронов. Разработанный в Лаборатории ней-
тронной физики Объединённого института ядерных исследований
метод поляризации нейтронного пучка путем пропускания через поля-
ризованную протонную мишень позволил, при умеренной потере интен-
сивности, получать пучки нейтронов с высокой поляризацией в об-
ласти энергий от 1 эВ до 100 кэВ.

Основная цель работы - создание электронной аппаратуры



для исследований с поляризованными нейтронами и ядрами на импульсном реакторе ИБР ЛНФ ОИЯИ.

Научная новизна. В диссертации представлены результаты выполненной в 1967 + 1978 годах работы по созданию электронной аппаратуры для спектрометра с поляризованными нейтронами и ядрами на реакторе ИБР ЛНФ, в котором впервые в мире для поляризации нейтронов использован метод пропускания через поляризованную протонную мишень.

Решение этой научно-технической задачи охватывает разработку и создание электронной аппаратуры для криогенного оборудования, систем контроля поляризации нейтронного пучка и протонной мишени, систем стабилизации магнитных полей и частоты СВЧ излучения, регистрирующей аппаратуры и программно-управляемой электроники.

Практическая ценность работы. Создана электронная аппаратура для исследований с поляризованными нейтронами и ядрами, использование которой позволило выполнить ряд физических экспериментов, в результате которых была исследована спиновая зависимость полных сечений взаимодействия медленных нейтронов с дейтонами и ядрами атомов редкоземельных элементов (^{141}Pr , ^{159}Tb , ^{165}Ho , ^{167}Er , ^{169}Tm). Разработанные для экспериментов Q-метр и измеритель термосопротивлений при сверхнизких температурах используются также в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Кроме этого, на основе Q-метра создана электронная аппаратура для сверхпроводящего квантового интерферометра с чувствительностью к магнитному полю, соответствующей $2 \cdot 10^{-11}$ Гс/Гц $^{1/2}$.

Апробация. Основные результаты работы обсуждались на семинарах Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, а физические результаты, полученные с использованием этой электронной аппаратуры, до-

жены на различных международных и всесоюзных конференциях (Киев, 1976, 1977 г.; Дубна 1976 г.; Lowell, USA 1976 г.).

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 14 работ в виде статей в журналах ЯФ, ПТЭ, Метрология, сообщений ОИЯИ и докладов, опубликованных в трудах конференций.

Объем диссертации. Диссертация содержит 120 страниц машинописного текста, в том числе 45 рисунков и таблицу, состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографии, включающей 85 наименований.

К защите представляются:

- комплекс электронной аппаратуры поляризованной протонной мишени;
- электронная аппаратура поляризованной ядерной мишени;
- спектрометрическая аппаратура;
- программно-управляемая электроника.

Краткое содержание работы.

В первой главе кратко рассмотрены методы поляризации нейтронов и ядер, физические принципы реверса поляризации нейтронного пучка и сформулированы требования к спектрометру с поляризованными нейтронами и ядрами, а также к входящим в него электронным блокам.

Спектрометр для поляризационных исследований на импульсном реакторе ИБР ЛНФ ОИЯИ предназначен для изучения спиновой зависимости полных сечений взаимодействия медленных нейтронов с ядрами атомов, в основном, редкоземельных элементов. Для разделения нейтронов по энергиям используется метод по времени пролета. На пути нейтронов от реактора до детектора помещены поляризатор нейтронов (поляризованная протонная мишень) и исследуемая поляризованная ядерная мишень. Поляризация нейтронов осуществляет-

ся методом пропускания неполяризованного пучка нейтронов через поляризованную протонную мишень. Этот метод основан на сильной зависимости рассеяния нейтронов на протонах, имеющей место для нейтронов с энергией до ≈ 100 кэВ. Сечение рассеяния нейтронов на протонах при антипараллельной ориентации их спинов значительно превосходит сечение рассеяния при параллельной ориентации спинов. Такое соотношение между сечениями приводит к относительному обогащению нейтронами, спины которых ориентированы в направлении протонной поляризации. В качестве рабочего вещества поляризованной протонной мишени используется монокристалл двойного лантан-магниевого нитрата $\text{La}_2\text{Mg}_3(\text{NO}_3)_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$, сокращенно называемый ЛМН. В этом веществе небольшая часть ионов La (< 1%) замещена парамагнитными ионами Nd и динамическим методом поляризуются протоны кристаллизационной воды. Для получения протонной поляризации монокристалл ЛМН охлаждают до температуры $T \approx 1\text{К}$, помещают во внешнее магнитное поле с $H_0 \approx 2 \cdot 10^4$ э и облучают на частотах, соответствующих одному из запрещенных переходов системы электрон + протон.

Поляризация ядер редкоземельных элементов осуществляется статическим методом с использованием сверхтонких магнитных полей, т.е. полей, создаваемых на ядрах их собственными электронными оболочками, и достигающих величины $10^5 + 10^7$ э. Внешним магнитным полем сверхтонкие поля могут быть сориентированы в пространстве, что при достаточно низкой температуре образца позволяет получать высокую ядерную поляризацию. В спектрометре на реакторе ИБР-30 для достижения ядерной поляризации используются внешнее магнитное поле порядка 15 кэ и температура менее 0,03К.

Реверс поляризации нейтронного пучка, необходимый для проведения исследований, осуществляется двумя методами: перестройкой

электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) с одного запрещенного перехода на другой (медленный реверс) и поворотом на 180° вращающейся протонной мишени (быстрый реверс).

Результатом рассмотрения принципа работы установки для поляризационных исследований на реакторе ИБР является формулирование общих требований к установке. Такая установка должна обеспечивать:

- поляризацию нейтронного пучка в необходимой для исследований области энергий;
- поляризацию исследуемых ядер в ядерной мишени;
- доведение поляризованного пучка нейтронов до поляризованной ядерной мишени;
- реверс нейтронной поляризации по отношению к направлению ядерной поляризации;
- контроль поляризации нейтронного пучка и мишеней;
- возможность исследования энергетической зависимости взаимодействия, т.е. разделение нейтронов по энергиям;
- регистрацию и обработку экспериментальной информации;
- дистанционное управление и автоматизацию процесса измерений.

Во второй главе рассмотрены функциональные схемы и принцип работы двух спектрометров с поляризованными нейтронами и ядрами, которые были созданы поэтапно для работы на реакторах ИБР-1 и ИБР-30. На рис.1 показана функциональная схема спектрометра с поляризованными нейтронами и ядрами на реакторе ИБР-30.

Поляризатором нейтронов является поляризованная протонная мишень 9 из лантан-магниевого нитрата размером $64 \times 50 \times 17$ мм³. Монокристалл ЛМН помещен в СВЧ резонатор объемом 100 см³ и охлажден до температуры $T \approx 1\text{К}$ в криостате 10 с интенсивной откачкой гелия-4. Поляризация протонов мишени осуществляется методом

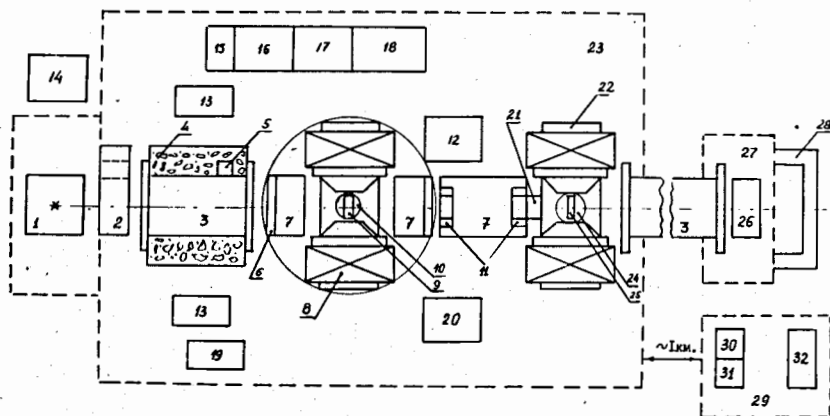


Рис.1. Функциональная схема спектрометра с поляризованными нейтронами и ядрами на реакторе ИБР-30.

1 - реактор ИБР-30; 2 - шибер; 3 - вакуумированный нейтронвод; 4 - защита; 5, 21 - мониторы; 6 - токовая фольга; 7 - магнитные каналы; 8 - электромагнит ППМ; 9 - поляризованная протонная мишень (ППМ); 10 - криостат ППМ; 11 - коллиматоры; 12 - электропривод быстрого реверса; 13 - компрессор, насосы; 14 - блоки питания электромагнитов; 15 - ядерный стабилизатор магнитного поля; 16, 17 - пульта управления; 18 - электронная аппаратура мониторов; 19 - газгольдер; 20 - ЭМУ; 22 - электромагнит ППМ; 23 - экспериментальный зал; 24 - криостат ППМ; 25 - поляризованная ядерная мишень (ПЯМ); 26 - нейтронный детектор; 27 - экспериментальный навильон; 28 - нейтронная ловушка; 29 - измерительный центр; 30 - система дистанционного управления спектрометром; 31 - ЭВМ ТРА-1; 32 - ЭВМ БЭСМ-4.

динамической ориентации ядер на частоте ≈ 74 гГц и в магнитном поле $H_0 \approx 19,3$ кЭ. В трех метрах от поляризатора нейтронов находится поляризованная ядерная мишень 25, которая помещена в магнитное поле $H_0 \approx 15$ кЭ электромагнита 22 и охлаждена до $T \approx 0,03$ К в криостате с растворением гелия-3 в гелии-4. Во избежание деполаризации поляризованный пучок нейтронов доводится до поляризованной ядерной мишени по магнитному каналу 7. Коллиматоры II пропускают на ядерную мишень лишь нейтроны, прошедшие через поляризованную протонную мишень (ППМ). На расстоянии 120 метров от активной зоны реактора установлен жидкостный сцинтилляционный детектор 26. Управление спектрометром осуществляется с пультов 16 и 17, а дистанционно - из измерительного центра 29. В автоматическом режиме работы спектрометр управляется от ЭВМ ТРА-1 с периодическим (через каждые 3 мин.) быстрым реверсом поляризации нейтронного пучка. Быстрый реверс поляризации осуществляется следующим образом. Электромагнит 8 с укрепленными на нем криостатом 10, магнитными каналами 7 и токовой фольгой 6, нижней плоскостью установлен на поворотную платформу. Эта платформа, общим весом около 8 тонн, за 10 секунд поворачивается на 180° . Так конструктивно выполнен быстрый реверс направления поляризации нейтронного пучка для нейтронов всех энергий, поляризуемых поляризатором нейтронов. Через каждые три часа процесс измерений останавливается, и накопленная в памяти анализирующих устройств информация записывается на магнитную ленту ЭВМ БЭСМ-4. Медленный реверс поляризации производится один раз в сутки для устранения аппаратной асимметрии, возникающей при повороте поляризатора нейтронов.

В третьей главе описана электронная аппаратура поляризованных ядерных мишеней. На рис.2 показана блок-схема электронного

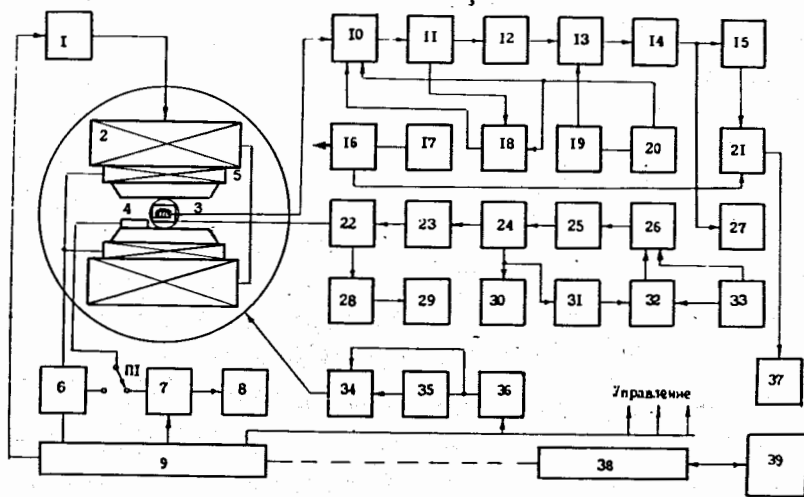


Рис.2. Блок-схема электронного оборудования поляризатора нейтронов.

1 - блок питания СП-08; 2 - электромагнит СП-08; 3 - резонатор; 4 - датчик стабилизатора магнитного поля; 5 - стабилизирующие катушки СП-08; 6 - ядерный стабилизатор; 7 - ядерный магнитометр; 8 - частотомер; 9 - пульт управления поляризатором нейтронов; 10 - блок автоподстройки Q - метра; 11 - усилитель высокой частоты; 12 - детектор и усилитель низкой частоты; 13 - блок компенсации; 14 - эмиттерный повторитель; 15 - узкополосный усилитель; 16 - модулятор магнитного поля; 17 - кварцевый генератор; 18 - фазочувствительный детектор; 19 - блок девиации в.ч. генератора; 20 - высокочастотный генератор; 21 - синхронный детектор и интегратор; 22 - СВЧ аттенуатор; 23, 24 - волноводный тракт; 25 - ЛОВ; 26 - высоковольтный стабилизированный блок питания ЛОВ; 27 - осциллограф; 28 - детектор СВЧ; 29 - осциллограф; 30 - опорный резонатор; 31 - детектор; 32 - синхронный детектор; 33 - модулятор; 34 - исполнительный двигатель реверса поляризации; 35 - электромашинный усилитель; 36 - блок управления реверсом; 37 - ЭШП-09; 38 - блок дистанционного управления; 39 - ЭВМ ТРА - i.

оборудования поляризованной протонной мишени. В нее входят: СВЧ система (22 + 33), аппаратура для контроля поляризации протонной мишени по сигналу ядерного магнитного резонанса (10 + 21) и система стабилизации магнитного поля электромагнита (1, 2, 4 + 8).

СВЧ система состоит из СВЧ генератора, в качестве которого используется лампа обратной волны (ЛОВ) четырехмиллиметрового диапазона с выходной мощностью в несколько ватт, волноводного тракта, резонатора с монокристаллом ЛМН, высоковольтного блока питания, блока контроля и стабилизации частоты генератора. Для уменьшения потерь СВЧ энергии основная часть волноводного тракта выполнена в виде круглого медного волновода. В резонатор СВЧ-мощность поступает через прямоугольный волновод, соединенный с круглым через специальный преобразователь. Так как мощность и частота ЛОВ сильно зависят от питающих напряжений, то используется стабилизированный источник питания. Дополнительная стабилизация частоты СВЧ излучения обеспечивается системой автоматической подстройки частоты ЛОВ (АПЧ) под частоту высокостабильного опорного резонатора. Эта система обеспечивает стабильность частоты не хуже 10^{-4} . Контроль параметров СВЧ генератора осуществляется дистанционно, а управление - при помощи сельсинов.

Далее рассмотрена электронная аппаратура для измерения поляризации протонной мишени по сигналу ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Приведен анализ схем, сравнение их с существующими и выбран оптимальный вариант для экспериментальных условий на реакторе ИБР. Обычно поляризацию протонной мишени определяют методом Q-метра по изменению сопротивления резонансного контура с образцом, возникающего при соблюдении условий ЯМР. Для этого в резонаторе, помещенном в гелиевый криостат и магнитное поле, имеется радиочастотная катушка, связанная с монокристаллом ЛМН, которая

вместе с внешним конденсатором образует параллельный или последовательный колебательный контур. При наступлении ЯМР происходит изменение реактивного сопротивления контура Z и, следовательно, относительное изменение выходного напряжения:

$$\frac{\Delta V}{V} = -j4\pi\eta Q\chi.$$

Здесь $\chi = \chi' - j\chi''$ — комплексная ядерная радиочастотная восприимчивость; χ' — дисперсионная часть восприимчивости; χ'' — мнимая часть восприимчивости, описывающая поглощение радиочастотной мощности; η — коэффициент заполнения катушки; Q — добротность контура. Относительное изменение модуля Z , пропорциональное изменению детектируемого сигнала, обусловлено в основном поглощением радиочастотной мощности в образце, и в первом приближении равно $4\pi\eta Q\chi''$. Однако χ' вносит заметный вклад, который в точных измерениях необходимо учитывать или компенсировать. Для измерения поляризации протонной мишени в спектрометре с поляризованными нейтронами и ядрами используется электронная аппаратура, которая содержит широкополосный Q — метр с последовательным резонансным контуром, систему АПЧ контура и вспомогательные блоки. С помощью этой аппаратуры можно проводить измерение поляризации протонной мишени в двух режимах:

- синхронное детектирование сигнала ЯМР с модуляцией магнитного поля;
 - измерение сигнала при быстрой развертке частоты высокочастотного генератора и постоянном значении магнитного поля.
- Режим синхронного детектирования используется для первоначального поиска сигнала ЯМР мишени. В этом случае развертка частоты генератора осуществляется с периодом до 180 с, а на модуляционные катушки электромагнита с частотой 37,5 Гц подается напряжение модуляции. Сигнал с выхода Q — метра усиливается узкополосным

усилителем, и после синхронного детектирования записывается на ленту электронного потенциометра ЭПП-09. Второй режим работы используется для относительного измерения поляризации протонной мишени в процессе эксперимента. При частотной модуляции высокочастотного генератора происходит рассогласование частоты генератора и резонансного контура, что приводит к искажениям формы исследуемого сигнала. Для компенсации этого рассогласования используется автоматическая подстройка частоты резонансного контура при помощи фазового детектора, сигнал с выхода которого подается на варикап, подключенный параллельно переменному конденсатору контура.

Существенными преимуществами разработанных схем является:

- широкополосность усилителя, позволяющая без его перестройки проводить измерения в диапазоне частот до 120 мГц;
- система автоподстройки, обеспечивающая компенсацию отгибающей амплитудно-частотной характеристики резонансного контура и повышающая точность измерения поляризации протонной мишени;
- использование последовательного резонансного контура, снижающее требования к входным каскадам приемного тракта Q — метра;
- возможность устанавливать электронные блоки на относительно большом расстоянии от протонной мишени, так как емкости соединительных кабелей, расположенных вне криостата, не входят в резонансный контур.

Проведено исследование топографии магнитного поля и его шуммирование в области, где размещена поляризованная протонная мишень. Стабилизация магнитного поля электромагнита осуществляется при помощи ядерного стабилизатора с дистанционным управлением через I Э. В результате однородность поля в области мишени составляет 10^{-4} , а стабильность лучше $5 \cdot 10^{-5}$.

В процессе длительного эксперимента температура охлаждаемой ядерной мишени непрерывно контролируется угольными композиционными термосопротивлениями. При измерении сверхнизких температур возникает опасность перегрева термосопротивлений измерительным током. Так, при $T \approx 0,1\text{К}$ существенным оказывается нагрев, обусловленный измерительной мощностью, равной 10^{-12} Вт. После анализа различных вариантов был разработан шестиканальный измеритель термосопротивлений, блок-схема которого показана на рис.3. Он используется для контроля температуры ядерной мишени, охлажденной до $T \approx 0,03\text{К}$ в криостате с растворением гелия-3 в гелии-4. Основные характеристики измерителя термосопротивлений: диапазон измеряемых термосопротивлений - $10^2 + 10^6$ Ом; измерительная мощность - $10^{-12} + 10^{-15}$ Вт; рабочая частота - $19,6$ Гц; входное сопротивление ($f_0 = 19,6$ Гц) - $5 \cdot 10^7$ Ом; точность ($U_{\text{вх}} - 10$ мВ, $R_{\text{т}} - 10$ кОм) $\approx 0,5\%$; коэффициент усиления измерительного усилителя - $5 \cdot 10^4$; коэффициент ослабления тракта на частоте сети - 80 дБ; интегральная нелинейность лучше 1% .

Четвертая глава включает в себя описание спектрометрической аппаратуры для временных измерений в экспериментах с поляризованными нейтронами, а также программно-управляемой электроники. В процессе измерений контроль поляризации нейтронного пучка осуществляется двумя мониторинговыми трактами, каждый из которых содержит счетчик, предусилитель, усилитель, дифференциальный дискриминатор, цифровые временные ворота с управлением от стартовых импульсов реактора и общий для них блок управления. Первым монитором задается интервал, в течение которого вторым регистрируются нейтроны, прошедшие через поляризованную протонную мишень.

Далее описан быстрый линейный усилитель с параметрами: коэффициент усиления - 600 ; собственное время нарастания для от-

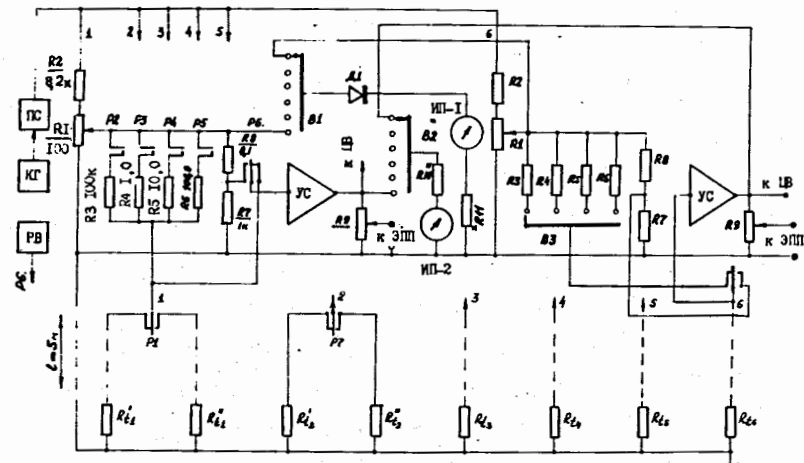


Рис.3. Блок-схема шестиканального измерителя термосопротивлений при сверхнизких температурах.

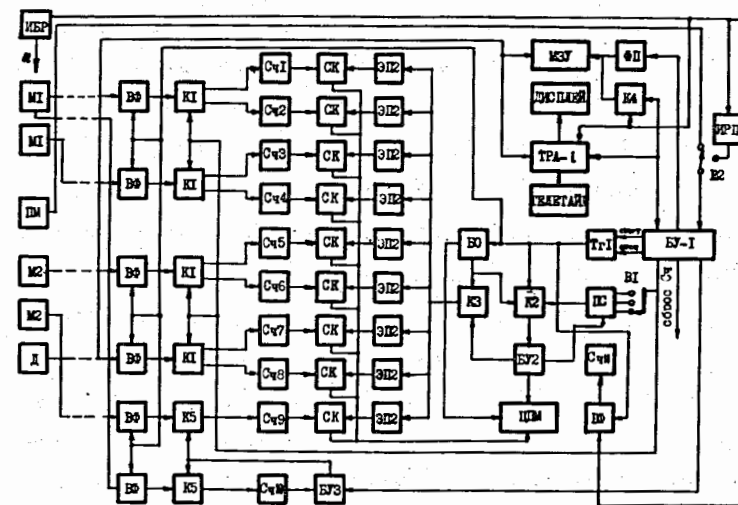


Рис.4. Функциональная схема программно-управляемой электроники.

рицательных импульсов с амплитудой 3 вольт на нагрузке 75 Ом - 3 нс; верхняя граничная частота усиления синусоидальных сигналов - 160 МГц; дифференциальная нелинейность не более 1,5%; максимальная амплитуда выходного импульса на нагрузке 75 Ом - 3,5 В; входное сопротивление - 75 Ом; задержка сигнала - 6 нс.

Нейтронный детектор установлен на расстоянии 120 м от активной зоны реактора и представляет собой секционированный 200 - литровый жидкостный детектор с временем высвечивания сцинтиллятора 10^{-9} с, обеспечивающий в режиме совпадений скорость счета до $3 \cdot 10^5$ с⁻¹ и эффективность регистрации нейтронов, равную 30%.

Малая величина эффектов, получаемых в экспериментах с поляризованными нейтронами и ядрами, требует длительных измерений, которые трудно проводить без автоматизации процесса измерений. Для автоматизации измерений используется программно-управляемая электроника, функциональная схема которой показана на рис. 4. Она обеспечивает автоматическое накопление информации в многоканальные временные анализаторы и память ТРА - i, вывод информации, накопленной в пересчетных блоках на цифропечатающее устройство и дистанционное управление быстрым реверсом поляризации нейтронного пучка. Обработка накопленной информации проводится на ЭВМ БЭСМ-4 по стандартным программам ПОФИ.

В пятой главе кратко описаны результаты физических исследований, проведенных на спектрометре с поляризованными нейтронами и ядрами в 1967 + 1968 г. и в 1974 + 1978 г. В экспериментах с поляризованными нейтронами и поляризованными дейтонами определена спиновая зависимость взаимодействия медленных нейтронов с ядрами дейтерия, азота и лантана. В исследованиях спиновой зависимости взаимодействия нейтронов с ядрами редкоземельных элементов в области энергий нейтронов до 300 эВ подтверждены, уточ-

нены и вновь определены значения 226 спинов нейтронных резонансов, а в области энергий нейтронов 2 + 100 кэВ определены средние значения поляризационных сечений. Некоторые данные об исследованных ядрах и полученные для них результаты приведены в таблице.

Ядро	$I_{41\text{Pr}}$	$I_{59\text{Tb}}$	$I_{65\text{Ho}}$	$I_{67\text{Er}}$	$I_{69\text{Tm}}$
Магнетон Бора	4,1	1,5	4,1	-0,56	-0,23
Спин (I)	5/2	3/2	7/2	1/2	1/2
Внутреннее магнитное поле (10^6 э)	3,5	4,0	9,0	9,0	7,0
Вещество мишени	PrAl_2	чистый металл	чистый металл	чистый металл	TmFe_2
Толщина мишени (10^{22} I/см ²)	1,5	1,07	1,2	0,66	1,55
f_N в %	70	60	60	40	50
Количество определенных спинов резонансов	27	67	55	41	36

Основные результаты работы

I. Разработана и внедрена электронная аппаратура для контроля и измерения поляризации протонной мишени по сигналу ядерного магнитного резонанса, в том числе:

- широкополосный Q - метр с последовательным резонансным контуром и его автоподстройкой, позволяющий повысить точность измерения поляризации протонной мишени;
- блок девиации частоты высокочастотного генератора с периодом развертки от 0,02 до 180 с;
- блок синхронного детектирования сигнала ядерного магнитного резонанса протонной мишени;

- высокочастотный генератор со стабилизированной амплитудой выходного сигнала;

- блок компенсации огибающей амплитудно-частотной характеристики резонансного контура Q - метра.

2. Разработана и используется в экспериментах система автоподстройки частоты СВЧ генератора с дистанционным управлением.

3. Разработан и внедрен шестиканальный измеритель термосопротивлений при сверхнизких температурах с минимальной измерительной мощностью, равной 10^{-15} Вт. Измерение температуры в криостате производится непрерывно в течение всего эксперимента. Блок имеет дистанционное управление и автоматический контроль основных параметров.

4. Создан измерительный тракт для контроля поляризации нейтронного пучка.

5. Разработан и исследован широкополосный линейный усилитель с коэффициентом усиления $K = 600$ и собственным временем нарастания - 3 нс.

6. Создана и использована в исследованиях с поляризованными протонной и дейтонной мишенями автоматизированная система управления экспериментальной установкой.

7. Разработан и внедрен блок контроля и управления спектрометром с поляризованными нейтронами и ядрами, обеспечивающий дистанционный контроль и управление в автономном режиме работы или от ЭВМ ТРА-i.

Литература.

- I. А.И.Иваненко. Сообщение ОИЯИ, I3 - 3748, Дубна, 1967.
2. А.И.Иваненко, В.И.Луцкий, Ю.В.Таран, Ф.Л.Шапиро. ЯФ, IO, I, 1969.
3. М.Н.Дражев, А.И.Иваненко. ПТЭ, 6; IIO, 1970.
4. А.И.Иваненко. Сообщение ОИИИ, I3-6060, Дубна, 1971.
5. М.Н.Дражев, А.И.Иваненко. Сообщение ОИИИ, I3-7176, Дубна, 1973.
6. В.П.Алфименков, А.В.Андросов, А.И.Иваненко, Ю.Д.Мареев, О.Н.Овчинников. Сообщение ОИИИ I3-9396, Дубна, 1975.
7. А.И.Иваненко, В.Н.Трофимов. Метрология, 5, 67, 1976.
8. А.И.Иваненко. Сообщение ОИИИ I3-II027, Дубна, 1977.
9. В.П.Алфименков, А.И.Иваненко, О.Н.Овчинников. Сообщение ОИИИ 8-II062, Дубна, 1977.
10. А.И.Иваненко. Сообщение ОИИИ, I3-II667, Дубна, 1978.
- II. V. P. Alfimenkov, G. G. Akopian, A. I. Ivanenko, L. Lason, Yu. D. Mareev, O. N. Ovchinnikov, L. B. Pikelner, E. I. Sharapov. Proceed. of Int. Conf. on the Int. of Neutr. with Nucl., Lowell, USA, 2, 1361, 1976.
12. Г.Г.Акопян, В.П.Алфименков, Я.Вежицки, А.И.Иваненко, Ю.Д.Мареев, Н.И.Морева, О.Н.Овчинников, Л.Б.Пикельнер, Э.И.Шарапов. В книге "Нейтронная физика" часть 2, 318, Москва, 1977. (Материалы IV Всесоюзной конфер. по нейтр. физике, Киев, 1977). ЯФ, 26, 5, 942, 1977.
13. Г.Г.Акопян, В.П.Алфименков, С.Б.Борзаков, Я.Вежицки, А.И.Иваненко, Л.Ласон, Ю.Д.Мареев, О.Н.Овчинников, Л.Б.Пикельнер, Э.И.Шарапов. Сообщение ОИЯИ, 3 I0835, Дубна, 1977.
14. В.П.Алфименков, С.Б.Борзаков, Я.Вежицки, А.И.Иваненко, Ю.Д.Мареев, Н.И.Морева, О.Н.Овчинников, Л.Б.Пикельнер, Э.И.Шарапов. Сообщение ОИИИ, 3-I2040, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 апреля 1979 года.