

Препринт ЕФИ-1074(37)-88

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



А.Л.ГОЛЕНДУХИН, А.П.КАЗАРЯН, К.К.МКРТЧЯН,  
А.М.СИРУНЯН, С.С.СТЕПАНЯН

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ  
ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРОТОНОВ В ПОЛЯРИЗОВАННОЙ  
МИШЕНИ

ЦНИИатоминформ  
ЕРЕВАН—1988

Ա.Լ. ԳՈԼԵՆԴՈՒԿԻՆ, Ա.Պ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Կ.Կ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ,  
Ա.Մ. ՍԻՐՈՒՆՅԱՆ, Ս.Ս. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ

ԲԵԼԵՌԱՑՎԱԾ ԹԻՐԱԽՈՒՄ ՊՐՈՏՈՆՆԵՐԻ ԲԵՎԵՌԱՑՈՒՄԸ  
ՉԱՓՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՈՒՄԸ

Նկարագրված են ՄԻՌ- ազդանշանների ձևի գրանցիչը և բևեռացված թիրախի պրոտոնների բևեռացումը չափող, է-100/25 էՀՄ-ի հիման վրա ախտմատացված համակարգը: Այդ համակարգն օգտագործվել է Ձ-մեզոնոնների Ֆոտոծնման կրկնակի բևեռացման փորձում և երկարատև շահագործման ընթացքում ցուցաբերել է բարձր հուսալիություն:

Երևանի Փիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1988

©

Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по атомной науке и технике (ЦНИИатоминформ) 1988 г.

Preprint YERPHI-1074(37)-88

A.L. GOLENDUKHIN, A.P. KAZARIAN, K.K. MKRTCHIAN,  
A.M. SIRUNIAN, S.S. STEPANIAN

AUTOMATION OF THE PROTON POLARIZATION MEASURING SYSTEM  
OF A POLARIZED TARGET

A recorder of the form of NMR signals and an automated, on the basis of an Elektronika-100/25 computer, system for measuring the polarization of a proton polarized target are described. The given system was used in a double-polarization experiment on the  $\pi$ -meson photoproduction and demonstrated high reliability during continuous operation.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1988

Препринт ЕФИ-1074(37)-86

УДК 621.3.078:621.384.664

А.Л.ГОЛЕНДУХИН, А.П.КАЗАРЯН, К.К.МКРТЧЯН,  
А.М.СИРУНЯН, С.С.СТЕПАНЯН

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ  
ПРОТОНОВ В ПОЛЯРИЗОВАННОЙ МИШЕНИ

Описывается разработанный регистратор формы ЯМР-сигналов и автоматизированная на базе ЭВМ Э-100/25 система измерения поляризации протонной поляризованной мишени. Данная система была использована в дважды поляризационном эксперименте по фоторождению  $\bar{N}$ -мезонов и показала высокую надежность при длительной эксплуатации.

Ереванский физический институт

Ереван 1988

## Введение

За последние годы в технике физического эксперимента большое распространение получили поляризованные мишени. Ввод в действие протонной поляризованной мишени ХФТИ [1] на Ереванском синхротроне позволил приступить к дважды поляризационным экспериментам по измерению поляризационных параметров  $\Sigma$ ,  $T$ ,  $P$  в реакциях фоторождения пионов [2,3]. Существенным моментом использования поляризованной мишени является возможность измерения и контроля величины поляризации протонов в процессе физических измерений. Обычно для измерения поляризации используется метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР) [4]. Определение поляризации основано на измерении интегральных интенсивностей сигналов ЯМР-поглощения в условиях динамической накачки поляризации и в состоянии теплового равновесия [5]. В качестве ЯМР-спектрометра используется параллельный Q-метр постоянного тока с подстройкой резонансной частоты входного контура [1,6].

В настоящей работе приведена используемая в экспериментах система измерения поляризации протонов, описывается разработан-

ный регистратор формы ЯМР-сигналов и автоматизированная на базе ЭВМ Э-100/25 система измерения поляризации протонной поляризованной мишени.

### 1. Система измерения поляризации мишени

Сущность метода поляризации протонов мишени заключается в передаче высокой степени упорядоченности от электронной спиновой системы к ядерной (протонной) посредством взаимодействия между этими системами в достаточно однородном магнитном поле с напряженностью 2,7 Тл при температуре  $T = 0,4 - 0,5$  К и при облучении мишени СВЧ-полем 4 мм диапазона [1]. Для наблюдения ЯМР мишень помещается в катушку радиочастотного колебательного контура. Если частота магнитного поля, возбуждаемого катушкой, совпадает с частотой прецессии магнитных моментов протонов в постоянном магнитном поле, система протонных спинов начинает взаимодействовать с полем контура, что приводит к изменению его индуктивности [7]:

$$L = L_0 [1 + 4\pi\eta (x' - ix'')], \quad (1)$$

где  $L_0$  - значение индуктивности при отсутствии резонанса,  $\eta$  - коэффициент заполнения, характеризующий связь мишени с контуром,  $x' - ix''$  - магнитная восприимчивость вещества мишени,  $x'$  - дисперсия,  $x''$  - поглощение. Поглощение и дисперсия возрастают с ростом поляризации, что и используется для её измерения.

Поглощение энергии высокочастотного поля, связанное с пере-

ориентацией протонных спинов, пропорционально величине поляризации [6]:

$$P \sim \int_{-\infty}^{\infty} x''(\omega) d\omega, \quad (2)$$

т.е. мерой поляризации протонных спинов может служить интегральная интенсивность сигнала ЯМР-поглощения или излучения (в случае отрицательной поляризации). При этом коэффициент пропорциональности в формуле (2) можно определить калибровкой в состоянии теплового равновесия. Величина динамической поляризации определяется отношением измеренных величин интегралов (2) при СВЧ-накачке и термическом равновесии:

$$P = P_0 \frac{S}{S_0} (1 - \delta), \quad (3)$$

где  $S$  и  $S_0$  - интегральные интенсивности динамически усиленного и равновесного ЯМР-сигналов,  $P_0$  - равновесная поляризация  $P_0 = \tanh \frac{\mu H}{kT}$  ( $\mu$  - магнитный момент протона,  $H$  - напряженность магнитного поля,  $k$  - постоянная Больцмана,  $T$  - температура),  $\delta$  - поправка на нелинейность и дисперсию.

Для регистрации сигнала ЯМР при измерении поляризации используется Q-метр [6]. На рис. I приведена блок-схема системы измерения поляризации. Конструктивно эта система состоит из четырех блоков: собственно Q-метра, установленного в непосредственной близости от поляризованной мишени, блоков местного и дистанционного управления Q-метром, регистратора формы ЯМР-сигнала, подключенного к ЭВМ Э-100/25. Индуктивность входного контура образована двумя витками ленточного дюралюминиевого проводника и соединена с Q-метром коаксиальным кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом и длиной  $3/2 \lambda$  ( $\lambda$  - длина волны в кабеле).

Высокочастотный генератор выполнен по схеме ёмкостной трехточки и генерирует колебания в диапазоне  $112 - 114$  МГц, которые подаются на входной контур Q-метра. Девияция частоты  $\pm 0,25$  МГц. Усиление ВЧ-напряжения до величины, необходимой для детектирования, осуществляется усилителем высокой частоты - широкополосным, резонансного типа, с коэффициентом усиления 300, шириной полосы на уровне  $0,98 - 3$  МГц. Продетектированный сигнал поступает на вход предварительного усилителя НЧ с коэффициентом усиления 2 или 20, находящегося в ВЧ блоке Q-метра. Дальнейшее усиление сигнала ЯМР-поглощения осуществляется калиброванным усилителем с  $K_{ус} = 1 - 200$ . Сигнал ЯМР-поглощения наблюдается на фоне частотной характеристики измерительного контура Q-метра ("параболы"), которая в 7 раз превышает величину равновесного сигнала. Для обеспечения требуемой точности измерения поляризации используется разработанный нами регистратор формы ЯМР-сигнала с широким динамическим диапазоном.

## 2. Регистратор формы ЯМР-сигналов

Для измерения поляризации используется техника цифрового накопления и усреднения сигналов ЯМР, получаемых с Q-метра на линии связи с ЭВМ. При организации ввода сигнала ЯМР в ЭВМ возникает необходимость привязки к началу развертки анализируемого сигнала [6,8,10]. В работе [6] ввод сигнала ЯМР-поглощения производится с помощью стробируемого аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который с целью сокращения времени ввода информации в ЭВМ был подключен к каналу прямого доступа в память

(КЦП). Этот подход привел к определенным аппаратным и программным затруднениям.

В разработанной нами схеме регистратора в стандарте КАМАК реализован простой способ привязки к началу развертки ЯМР-сигнала, его преобразования в цифровую форму и записи в собственную память. При этом отпала необходимость использования КЦП.

Блок-схема регистратора приведена на рис.2. Сигнал ЯМР через согласующий усилитель  $D_1$  подается на элемент выборки и хранения  $D_2$  [9], откуда поступает на вход десятиразрядного АЦП ( $D_3$ ) поразрядного взвешивания и, после преобразования его в цифровой код, записывается в собственную память последовательного доступа  $D_{11} - D_{20}$ . Синхронно с прохождением сигнала ЯМР-поглощения на вход регистратора "ПУСК" подается пачка стробирующих импульсов, вырабатываемая генератором синхрои импульсов [6]. Из каждой пачки строб-импульсов с помощью схем выделения импульсов на элементах  $D_{5-1}$ ,  $D_{5-2}$ ,  $D_{5-3}$ ,  $D_{6-1}$  и электронной задержки  $D_{6-2}$ ,  $D_{6-3}$  производится выделение импульсов, непосредственно связанное с началом развертки анализируемого ЯМР-сигнала. Изменением длительности выходного импульса с  $D_{6-2}$  можно регулировать временную задержку начала преобразования в АЦП. После воздействия выходного импульса  $D_{6-3}$  на RS-триггер  $D_{8-3}$ ,  $D_{8-2}$  через  $D_{8-4}$  запускается ждущий генератор на элементах  $D_{9-1}$ ,  $D_{9-2}$ . Изменяя значения  $R^*$  и  $C^*$  в ждущем генераторе, можно регулировать время преобразования АЦП, тем самым частоту появления импульсов КЦ (конец преобразования) на выходе АЦП, чем обеспечивается подбор анализируемого временного интервала. Импульс КЦ

формируется по длительности на одновибраторе  $D_4$  и в зависимости от режима работы регистратора осуществляет:

- очередную выборку на элементе  $D_2$ ,
- перевод элементов в памяти  $D_{11} - D_{20}$  в режим записи,
- проходя через схему (ИЛИ - НЕ)  $D_{9-3}$ , увеличение на единицу значения счетчика адреса  $D_{10}$ .

В описываемом регистраторе выполняется дискретизация ЯМР-сигнала в 1024 точках и с момента начала развертки ЯМР на каждом шаге дискретизации происходит преобразование амплитуды в цифровую форму с помощью АЦП и запись в память. После достижения в счетчике адреса значения 1024 устанавливается триггер готовности устройства  $D_7$ , который сбрасывает RS-триггер и останавливает ждущий генератор. Далее по установке триггера готовности начинается считывание информации через магистраль КАМАК в ОЗУ ЭВМ. При считывании импульс  $NF(0)$  через схему ИЛИ-НЕ воздействует на счетчик адреса  $D_{10}$ , тем самым изменяя значение адреса ячейки памяти последовательного типа.

Работа регистратора начинается по команде "Z", что приводит в исходное состояние  $D_7$  и  $D_{10}$ . Устройство изготовлено в стандарте КАМАК единичной ширины. Память организована на десяти микросхемах 155РУ7 (элементы  $D_{11} - D_{20}$ ). Для управления работой в схеме регистратора использовались строб-импульсы длительностью не более 1 мкс с частотой повторения 35 Гц. Длительность развертки сигнала ЯМР-поглощения составляла 7,5 мс. Частота ждущего генератора, равная 1,37 МГц, подбиралась таким образом, чтобы временной интервал полного цикла преобразования соответство-

вал развертке ЯМР-сигнала. Для обеспечения масштаба преобразования ЯМР-сигнала в пределах  $\pm 10$  В используется калиброванный аттенкуатор, с помощью которого можно плавно изменять величину напряжения ИОН (источник опорного напряжения).

### 3. Накопление и обработка информации с измерителя поляризации

Сбор и обработка информации с измерителя поляризации производится на линии связи с ЭВМ Э-100/25. После поступления сигнала готовности происходит аналого-цифровое преобразование сигнала ЯМР и его запись в память регистратора. По окончании преобразования ЭВМ через магистраль КАМАК принимает массив данных и поразрядно суммирует с данными, находящимися в её памяти. Процедура накопления повторяется заданное число раз ( $n = 1000$ ). Накопленный массив данных при необходимости выводится на дисплей, на алфавитно-цифровое печатающее устройство и записывается на магнитную ленту (НМЛ).

Программа измерения поляризации работает в режиме диалога с ЭВМ. Она состоит из двух модулей, написанных на языках "АССЕМБЛЕР" и "ФОРТРАН", соответственно. Часть программы на "АССЕМБЛЕРЕ" позволяет управлять работой регистратора, считывает информацию из памяти, производит накопление и усреднение данных, вычитание фона ("параболы") и гистограммирование спектров ЯМР. Обработка спектров ЯМР и управление выводом данных на внешнее устройство производилось с помощью программы на языке "ФОРТРАН". В процессе измерения программа выполняла следующие операции:

1. Выработка управляющих команд для блока "КАМАК: NF(8) проверка готовности, прерывание по запросу L и NF(0)- считывание массива данных.
2. Измерение резонансной характеристики контура Q-метра ("параболы" в отсутствие сигнала ЯМР) в режимах накопления и усреднения.
3. Накопление, усреднение равновесного сигнала на фоне параболы и хранение в памяти.
4. Измерения динамически усиленных сигналов ЯМР (для случаев положительной и отрицательной поляризаций) и хранение в памяти.
5. Нормировка записанной информации на коэффициент усиления системы регистрации сигнала ЯМР.
6. Вычитание фона ("параболы") из равновесного и усиленного сигналов ЯМР.
7. Вычисление площадей равновесного и усиленного сигналов ЯМР.
8. Вычисление равновесной поляризации  $P_0$ .
9. Вычисление по формуле (3) величины усиленной поляризации.
10. Вывод на дисплей и печать графического изображения сигналов ЯМР, а также числовых значений равновесной и усиленной поляризации протонов.

На рис.3 приведен усредненный ( $n = 1000$  накоплений) сигнал ЯМР-поглощения, измеренный в образце из 1,2 - пропилен - гликоля с примесью НМВА  $\text{Cr}^{\text{V}}$  при температуре  $T = 0,5 \text{ K}$  и в магнитном поле 2,7Тл. Рабочее вещество приготавливалось в виде замо-

роженных шариков диаметром 1,5 мм, которые загружались в контейнер, изготовленный из фторопластовой пленки толщиной 15 мкм и имеющий форму куба с ребром 20 мм. Контейнер вставлялся в катушку-датчик ЯМР-резонанса системы измерения поляризации.

Вышеописанная система измерения поляризации на линии связи с ЭВМ была использована в дважды поляризационном эксперименте по фоторождению  $\pi^0$ -мезонов и показала высокую надежность при длительной эксплуатации. При этом величина поляризации протонов составляла  $P \approx 75\%$ . Ошибка измерения поляризации в основном определялась точностью измерения площади  $S_0$  и температуры рабочего образца. Как показали наши исследования, полная ошибка измерения поляризации протонов не превышает по абсолютной величине  $\pm 7\%$ .

В заключение авторы выражают благодарность Г.А.Вартапетяну и Г.Л.Баятянцу за интерес и поддержку работы.





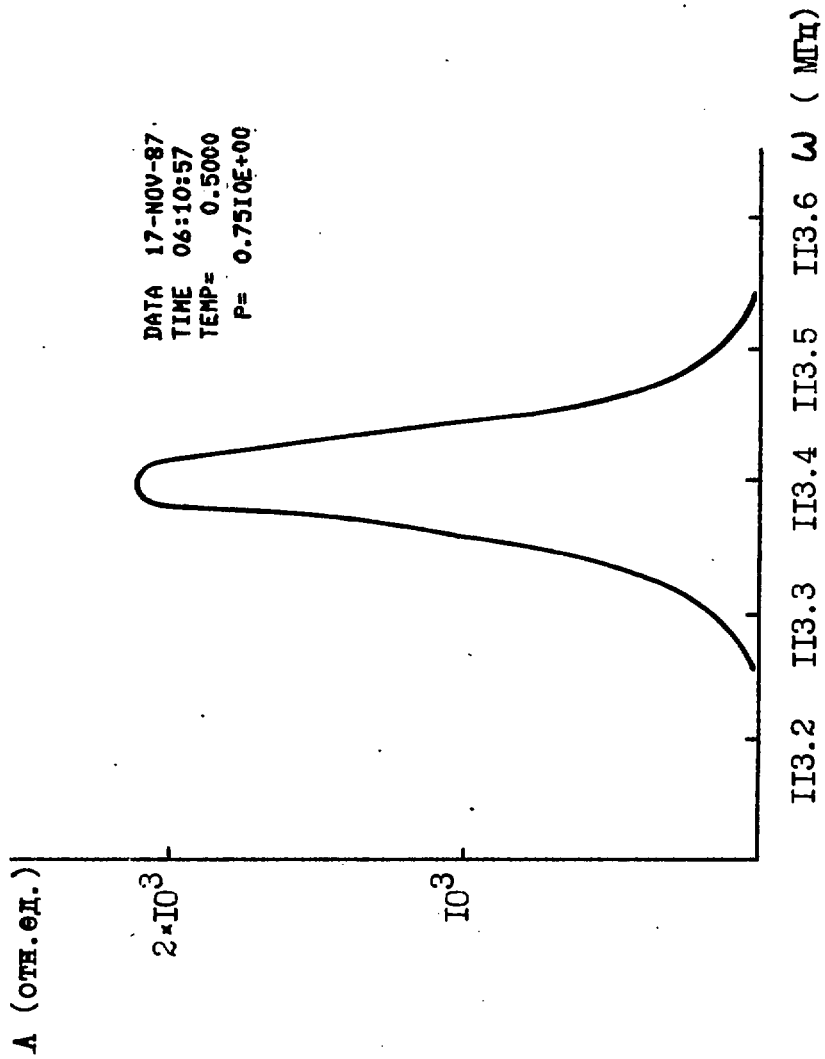


Рис.3

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Блок-схема системы измерения поляризации.

Рис.2 Блок-схема регистратора формы ЯМР-сигналов.

Рис.3 Сигнал ЯМР-поглощения в 1,2 пропилен - гликоле с примесью НМВА  $\text{Cr}^{\bar{V}}$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асатурян М.М., Беляев А.А., Вартапетян Г.А. и др. Установка с поляризованной мишенью на Ереванском синхротроне. Препринт ЕФИ-810(37)-85, Ереван, 1985.
2. Асатурян М.М., Беляев А.А., Вартапетян Г.А. и др. Поляризационные параметры  $\Sigma, T, P$  для реакции  $\gamma p \rightarrow p\pi^0$  в интервале энергий 0,9 - 1,5 ГэВ при  $\theta_{\pi^0}^{CM} = 120^\circ$ . Письма в ЖЭТФ, 1986, т.44, вып.6, с.266-268.
3. Асатурян М.М., Вартапетян Г.А., Голендухин А.Л. и др. Исследование возможности проведения экспериментов по фоторождению  $\pi^0$ -мезонов с поляризованной протонной мишенью на Ереванском синхротроне. ВАНТ: серия: Общая и ядерная физика, 1986, вып.2(35), с.41-47.
4. Джеффрис К. Динамическая ориентация ядер. М.: Мир, 1965.
5. Petricek V., A linearized Q-meter circuit for measurements of high proton polarization in a target. Nucl.Instr.Meth., 1968, vol.58, p.111-116.
6. Деркач А.Я., Луканин А.А., Карнаухов И.М. и др. Система измерения поляризации протонов в поляризованной мишени. Препринт ХФТИ 81-40, Харьков, 1981.
7. Hill J.J., Hill D.A. Simple correction for Q-meter measurement of proton target polarization. Nucl.Instr.Meth., 1974, vol.116, p.269-275.

8. Борисов Н.С., Бунятова Э.И., Либург М.Ю. и др. Дейтронная поляризованная замороженная мишень объемом  $60 \text{ см}^3$ . Препринт ОИЯИ, РІ-85-292, Дубна; 1985.
9. Квашин А.Н., Хильченко А.Д. Регистратор формы однократных импульсных сигналов. Ц 9107. Препринт 85-ІІ6, Новосибирск. 1985.
10. Баятян Г.Л., Парфенов Л.Б., Степанян С.С. Система измерения степени поляризации для поляризованной мишени. Препринт ЕФИ-740(55)-84, Ереван, 1964.

Рукопись поступила 30 марта 1966

А.Л.ГОЛЕНДУХИН, А.П.КАЗАРЯН, К.К.МКРТЧЯН, А.М.СИРУНЯН,  
С.С.СТЕПАНЯН

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПРОТОНОВ В  
ПОЛЯРИЗОВАННОЙ МИШЕНИ

Редактор Л.П.Мукаян

Технический редактор А.С.Абрамян

---

Подписано в печать 7/VI-88г. ВФ-03143 Формат 60x84/16  
Офсетная печать. Уч. изд. л. 0,8 Тираж 299 экз. Ц10 к.  
Зак. тип. № 283 Индекс 3624

---

Отпечатано в Ереванском физическом институте  
Ереван 36, Маркаряна 2

The address for requests:  
Information Department  
Yerevan Physics Institute  
Markaryan St., 2  
Yerevan, 375036  
Armenia, USSR

**индекс 3624**



**ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**