



AM9800001

Препринт ЕФИ-1325(20)-91

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



Ա.Յ.ԱՅԵԿԻՍՅԱՆ, Փ.Վ.ԱԴԱՄՅԱՆ, Ա.Վ.ԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ, Դ.Դ.ԱԿՕՅԱՆ,  
Ա.Յ.ԲՈՒՆՅԱՅԱՆ, Ա.Դ.ՎԱՐՏԱՊԵՏՅԱՆ, Վ.Դ.ՎՈԼՇԻՆՍԿԻՅԻ, Վ.Լ.ՎՈՒԿՈԼՈՎ,  
Ս.Ի.ԳԱԼՍՅԱՆ, Վ.Օ.ԳՐԱՅՍԿԻՅԻ, Դ.Վ.ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Դ.Ս.ԿՈՐԾՈՆՍԿԻՅԻ,  
Ր.Օ.ՕԳԱՆԵԶՈՎ, Վ.Կ.ՕԿՏԱՆՅԱՆ, Բ.Շ.ՏԱՐԿԻՍՅԱՆ

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ПО ИЗМЕРЕНИЮ И КОНТРОЛЮ  
ПАРАМЕТРОВ КВАЗИМОНОХРОМАТИЧЕСКОГО КОГЕРЕНТНОГО  
ФОТОННОГО СПЕКТРА НА БАЗЕ 30-КАНАЛЬНОГО ПАРНОГО  
СПЕКТРОМЕТРА

29 - 16

h

ЦНИИАтоминформ

ЕРЕВАН - 1991

**We regret that  
some of the pages  
in this report may  
not be up to the  
proper legibility  
standards, even  
though the best  
possible copy was  
used for scanning**

Ֆ.Վ.ԱՂԱՄՅԱՆ, Ա.Է.ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ա.ՑուՔՈՒՆԻԱՔՅԱՆ,  
Գ.Ի.ԳԱԼՈՒՄՅԱՆ, Վ.Է.ԳՐԱԲՍԿԻ, Գ.Վ.ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ,  
Մ.Ս.ԿՈՐԴՈՆՍԿԻ, Ա.Վ.ՀԱՅՐԱՊԵՏՅԱՆ, Հ.Հ.ՀԱԿՈՔՅԱՆ,  
Գ.Յ.ԱՐԳՍՅԱՆ, Ա.Հ.ՎԱՐԴԱՊԵՏՅԱՆ, Վ.Գ.ՎՈԼՉԻՆՍԿԻ,  
Վ.Գ.ՎՈՒԿՈՒԼՈՎ, Գ.Օ.ԳԱՆԵՋՈՎ, Վ.Կ.ՕԿՏԱՆՅԱՆ

ՄՈՆՈԲԻՐՈՒՄԱՏԻՎ ԿՈՇԵՐԵՆՏ ՖՈՏՈՆԱՑԻՆ ՍՊԵԿՏՐԻ ՉԱՓԱՆ  
ԵՎ ՊԱՐԱՄԵՏՐՈՒԹՅԱՆ ՀՄԱՄԱՆ ԱՎՏՈՍԱՏԱՑՎԱԾ ՍԱՐՔԱՎՈՐՈՒՄ՝  
30-ՃՑՈՒՂԱՆԻ ՉՈՒԹԳԱՑԻՆ ՍՊԵԿՏՐԱՉԱՓԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ

Աշխատանքում ներկայացված է ԿԱՃ սպեկտրի պարամետրերի չափման և on-line հսկման ավտոմատացված համակարգը, որը հիմնված է ԵրՖԻ-ում ստեղծված 30-ճյուղանի կոյզային սպեկտրաչափի վրա, օգտագործելով САМАС սարքավորում և МЕRА-САМАС/125-ՑМ4А համակարգիչ: Երագրային ապահովումը գրված է PASCAL լեզվով:

Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ  
Երևան 1991

## Введение

На Ереванском электронном синхротроне на выводе  $\gamma$ -2 создана автоматизированная установка по измерению и контролю параметров квазимонохроматического линейно-поляризованного пучка фотонов для исследования процессов фоторождения на нуклонах и легких ядрах в области энергии до 2 ГэВ.

Практическая необходимость такой установки заключается прежде всего в осуществлении непрерывного контроля параметров квазимонохроматического спектра в области когерентного пика и стабилизации положения пика во время набора статистики в процессе *on-line* обработки поступающей информации. Установка состоит из следующих основных компонент:

- 30-канального парного спектрометра PS-30;
- гониометрического устройства для вращения монокристалла алмаза;
- системы установки тока магнита парного спектрометра;
- системы мониторинга.

Выполненный объем работ включает в себя создание автоматизированного парного спектрометра PS-30, на основе магнита СП-57, новой системы установки и контроля тока анализирующего магнита, реализацию управления гониометрическим устройством от ЭВМ и т.д. Все основные работы по автоматизации выполнены на базе электроники в стандарте САМАС и мини-ЭВМ МЕНА-САМАС/125-SM4A. В настоящей работе дано детальное описание созданной системы, включая процессы наладки, организацию измерений спектров, в том числе с on-line коррекцией тока анализирующего магнита и параметров квазимонохроматического спектра.

### 1. Тракт пучка. Геометрия PS -30

Схема тракта показана на рис.1. Пучок линейно-поляризованных фотонов генерируется в процессе когерентного тормозного излучения (КТИ) на монокристалле алмаза (D), установленного на гониометре, обеспечивающего вращение в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точностью  $4 \cdot 10^{-5}$  рад и позволяющего получать пучки фотонов с взаимно перпендикулярной линейной поляризацией и с заданной энергией когерентного пика [I]. Пучок фотонов формировался двумя коллиматорами  $K_{1,2}$ , очищающими магнитами  $SM_{1,2}$  и транспортировался через вакуумопровод до квантометра Вильсона, измеряющего абсолютный поток энергии. Быстрый монитор (M), включающий конвертор  $C_2$  и телескоп сцинтилляционных счетчиков, предназначен для измерения интенсивности пучка в коротком временном интервале времени вывода (2-3 мсек).

Парный спектрометр PS -30 включает в себя анализирующий магнит типа СП-57, набор сменных конверторов  $C_1$  с толщиной

$1.5 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-5}$  р.д. и телескопы сцинтилляционных счетчиков в  $e^+$  и  $e^-$  - плечах.

Позитронное плечо представляет собой пять телескопов  $S_{1-5}$ , сформированных передним годоскопом  $SF_{1-5}$  и задним счетчиком  $SB$ . Электронное плечо включает шесть телескопов  $BF_{I-6}$  сформированных счетчиками переднего ( $BF_{I-6}$ ) и заднего ( $BB_{I-6}$ ) рядов. Расстояние между передними и задними рядами счетчиков равно 1 м. Группы счетчиков  $SF$ ,  $BF$  и  $BB$  собраны в общих механических корзинах, обеспечивающих светоизоляцию и установлены на каретках, позволяющих их перемещение вдоль оси  $X$  перпендикулярно пучку. Такая компоновка, впрочем, не мешает юстировке счетчиков в группе друг относительно друга. Для удобства юстировки передний и задний ряды счетчиков электронного плеча снабжены дистанционным приводом перемещения кареток. Геометрия расположения счетчиков  $PS-30$  и их размеры представлены в табл. I. Конструктивно счетчики выполнены на основе фотоумножителя ФЭУ-87, сцинтиллятора из полистироля и световода из оргстекла.

Выбор геометрической конфигурации парного спектрометра определяет  $6 \times 5$  различных комбинаций  $e^- e^+$  совпадений, что позволяет измерить энергетический спектр фотонов в 30 точках в интервале энергии  $E_{\gamma} \leq E \leq 2E_{\gamma}$  с равномерным шагом  $\delta \approx 2.25\%$ . Относительная величина захвата составляет при этом

$$W = \frac{E_{\gamma}^{\max} - E_{\gamma}^{\min}}{\langle E_{\gamma} \rangle} \approx 0.7$$

Параметры анализирующего магнита ( $L^{\text{эфф}} = 130$  см,  $H^{\max} = 13$  кэ)

и системы установки тока [2] позволяют сканировать  $\gamma$ -спектр в области энергии  $E_\gamma = 0,1-4,5$  (ГэВ) циклом из пяти измерений с возрастающими по логарифмической шкале значениями средних энергий:

$$\bar{E}_\gamma(i) = \bar{E}_\gamma(1) \cdot \left[ \frac{1 + \frac{w}{2}}{1 - \frac{w}{2}} \right]^{i-1} \quad (i = 1, \dots, 5)$$

## 2. Монте-Карло расчеты PS -30

Оптимизация геометрии PS -30, включающая уточнение размеров счетчиков и их расположение, расчеты энергетического разрешения и эффективности проводились методом Монте-Карло моделирования. Программа моделирования включала:

- розыгрыш тормозного спектра фотонов (Бете-Тайтлеровского, либо КТИ);
- розыгрыш кинематики процесса фоторождения  $e^+ e^-$  пар;
- трассировку частиц с учетом угловых расходимостей и размеров пучка, а также многократного рассеяния в конверторе  $C_T$ , на выходных окнах вакуумной камеры и в передних рядах регистрирующих счетчиков.

Результаты расчетов отражены в данных, представленных в табл. I. Энергетические зависимости эффективности и разрешения для I и 30 каналов представлены на рис. 2, 3. Как видно из рисунков энергетические зависимости эффективности различных каналов качественно похожи, хотя между ними есть заметное количественное различие, которое обусловлено необходимостью получения при-

мерно одинаковых значений энергетических разрешений во всех каналах. Энергетическое разрешение каналов PS -30 составляет примерно 1,3 - 1,5% при энергиях выше 600 мэВ и ухудшается до 1,7 - 1,9% с уменьшением энергии до 200 мэВ. Данные на рис.2,3 иллюстрируют проблематичность получения одинаковых характеристик каналов PS - 30 при приемлемой геометрии построения его регистрирующих систем.

### 3. Электронная логика системы

Все элементы регистрации и управления системы выполнены на основе аппаратуры САМАС производства ОИЯИ, ЛИНФ, РОЛОН и специализированных модулей разработки ЕРФИ [3]. Обслуживание модулей, имеющих выход на магистраль крейта САМАС, осуществлялось с помощью ЭВМ MERA - САМАС/125 - SМАА через контроллер крейта IOBA (Polon).

#### 3.1. Электронная логика PS - 30

Блок-схема электроники PS - 30 показана на рис.4. Сигналы со счетчиков дискриминируются и формируются формирователями I6Ф4.114 (ОИЯИ). Сигналы совпадений  $V_i = VF_i * VB_i$  в электронном плече выделяются модулями шестиканальных совпадений с формировкой БССФ [3]. В позитронном плече совпадения между годоскопом  $SF_i$  и счетчиком SB выделяются с помощью модуля строб-совпадений с формировкой БССФ [3]. Сигналы телескопов  $V_i$  разветвляются с помощью модулей РЛС [3] на 12 сигналов, включая 6 сигналов, задержанных на 15 нсек (2 "банча" заполне-

ния ЭКУ) и затем подаются на входы строб-совпадений с ТТЛ выходами БССТ [3], на которых и реализуются совпадения между телескопами электронного и позитронного плеч. Для этого выходы телескопов  $S_i$  формируются по длительности и разветвляются на модулях кабельной формировки БВФ [3] и затем подаются на строб-входы модулей БССТ. Характерная формировка на входах схем совпадений  $\sim 15$  нсек, на входах БССТ  $\sim 20$  нсек. В итоге на выходе пяти модулей БССТ формируются сигналы совпадений  $N_{e^+e^-}$  - типа  $[S_i \cdot (B_1 - B_6)]_{уст.} + \text{случ.}$  и  $[S_i \cdot (B_1 - B_6)]_{случ.}$ , которые подаются на входы 15 четырехкратных программно-управляемых ТТЛ счетчиков 401 (Polon), с которых и осуществляется считывание информации.

Мониторный тракт квантометра Вильсона состоит из интегратора-формирователя БФК [3], выход с которого подается на установочный счетчик 420, обеспечивающий запрос на прерывание по переполнению. Быстрые мониторные сигналы после формировки считываются счетчиком КС.017 (ОИИИ) во временном окне (МГ) и без него (М). Временное окно формируется по синхросигналам ускорителя с помощью генератора ворот типа 157.03 (ЛИИФ) выход с которого заведен на вход "запрет" модуля БССТ, для блокировки изменений спектра вне временной области ворот.

В итоге за время, определяемое установочным счетом квантометра, измеряется фотонный спектр при тридцати значениях энергии в соответствии с выражением

$$N_{e^+e^-}(l) = C \frac{N_{уст. + \text{случ.}}(l) - N_{случ.}(l)}{\epsilon_l(E_i)} \cdot \frac{MG}{M},$$

где  $i$  - номер канала PS - 30.  $E_i$  - энергия,  $\epsilon_i(E_i)$  - эффективность  $i$  - го канала,  $C$  - нормировочный множитель, определяемый при интегрировании по всему  $\chi$  - спектру.

Для организации наладочных временных измерений сигналы телескопов  $V_i$  и  $S_j$  с выходов РЛС и БВФ заведены на входы двух 16 канальных коммутаторов КЛС [3], выходы которых после формирования подаются на входы "старт" и "стоп" время-цифрового преобразователя ПВК 161.07 (ЛИЯФ).

### 3.2. Управление током анализирующего магнита

Одним из основных компонент автоматизации PS - 30 является система программно-управляемой установки и контроля тока анализирующего магнита, которая подробно описана в [2]. Здесь же представлены ее отличительные особенности. Основное преимущество этой системы в сравнении с ранее существующими заключается в помехоустойчивой линии передачи данных "Электроника МС-4101" на основе оптоволоконной линии связи длиной 150 м, а также возможность программной установки, контроля и коррекции тока магнита. Вход линии передачи подключен к блоку управления, выполненного в стандарте САМАС и представляющего собой выходной 16 разрядный регистр с дешифратором, а выход непосредственно у пульта управления агрегатом питания магнита к модулю 12 разрядного ЦАП, обеспечивающего аналоговое управление током агрегата с точностью преобразования не хуже 0,2%, с управляемой полярностью, сбросом и стробируемой записью.

Обратная связь по установке тока осуществляется измерением выходного напряжения с масляного шунта (МШ) агрегата питания.

Выход с МШ по коаксиальному кабелю подается на вход интегрирующего АЦП-701, имеющего входной импеданс 100 Ом, задержку, входной фильтр и шесть программно-управляемых диапазонов.

Достоверность установки тока определяется по серии последовательных измерений, подтверждающих стабилизацию и далее по сравнению полученных данных с результатами калибровочных измерений, включающих цепочку - код ЦАП - выход МШ - код АЦП (процедура ТОК). Регулярная калибровка АЦП с помощью нормального ненасыщенного элемента (НЭ) и короткого замыкания на входе (КЗ), обеспечивает надежное измерение тока магнита с точностью не хуже 0,2%. Расхождения между расчетным значением тока и измеренным обычно не превосходят 0,2 - 0,3% и устраняются автоматически корректировкой кода ЦАП.

### 3.3. Управление гониометром

Блок-схема системы управления показана на рис.5. В основе дистанционного управления ориентацией кристаллом заложена обратная связь между приемно-передающей парой сельсинов. Выходы приемных сельсинов соединены с механическими счетчиками числа оборотов, что и позволяет контролировать установку углов ориентации.

Для реализации управления от ЭВМ в механику внесены изменения - на оси приемных сельсинов посажены тонкие диски с отверстиями равномерно расположенными по периметру дисков и смонтированы по паре световод-фотодиод, что обеспечивает возможность контролировать углы вращения по числу импульсов с фотодиодов. Количество отверстий (10 шт.) обеспечивает такую же точность установки угла, что и механическими счетчиками ( $\approx 4 \cdot 10^{-5}$  рад). Сигналы с

фотодиодов подаются на вход формирователя импульсов, выполненного в стандарте САМАС и далее на установочный счетчик 420, в который записываются коды углов вращения ( $\theta_V, \theta_H$ ).

Для управления двигателями был разработан интерфейсный блок (БИ) в стандарте "Вишня", удаленный от крейта и расположенный на пульте управления для предотвращения возможных наводок от релейных устройств на схему формирования импульсов БФ. Управление двигателями, т.е. выбор типа вращения ( $0_V, \theta_H$ ), направление вращения и команды исполнения выдаются на БИ с помощью выходного регистра 350 (Polon), работающего в асинхронном режиме. Функциональная схема работы системы представляется следующей. Вначале в банк данных ЭВМ заносятся текущие показания механических счетчиков, углов ориентации кристалла и границы диапазонов вращения кристалла ( $\pm 6^\circ$  по горизонтали и вертикали). Затем вычисляются углы вращения, которые после округления записываются в установочный счетчик и выдаются соответствующие команды на включение двигателей.

После достижения заданного угла вращения счетчик 420 обеспечивает запрет на прерывание и соответственно выдачу команды останова на двигатели. При этом текущие значения углов запоминаются в памяти ЭВМ.

#### 4. Процедура наладки PS - 30

В начальной фазе наладки проверялось качество проводки пучка на ось экспериментальной установки, что помимо всего было необходимо для корректировки позиции счетчиков PS - 30 с осью  $\gamma$  - пучка. Астировка передних рядов счетчиков проводилась от-

носителем крайних от оси пучка счетчиков  $SF_5$  и  $BF_6$ , позиции которых устанавливались согласно данным, полученным "методом нити", симметрично относительно оси пучка. Телескопичность заднего ряда счетчиков проверялась по счету двойных совпадений  $V_i$  и  $S_j$  в зависимости от координат поперечного движения кареток. Полученные данные в целом подтвердили правильность расчетов геометрии PS - 30.

Следующий важный этап наладки состоял в организации совпадений между  $e^-$  и  $e^+$  плечами, что требовало выравнивания задержек между всеми телескопами PS. Для этого в соответствии с блок-схемой (рис.4) коммутаторами КЛС-16 выделялись пары телескопов  $V_i$  и  $S_j$  между которыми проводились старт-стопные измерения посредством ПВК. Признак наличия совпадений между  $V_i$  и  $S_j$  считывался со счетчиков 40I. Запрос на прерывание обеспечивал модуль ПВК, его же выход ЗНТ (занято), заведенный на вход "запрет" модуля БССФ, обеспечивал блокировку счетчиков 40I во время считывания информации с ПВК.

Для пары  $V_i S_j$  в результате измерений формировалось три массива временных спектров:

- по признаку совпадений в "истинном" канале;
- по признаку совпадений в "случайном" канале;
- полный спектр, включающий спектры с обоими типами признаков, а также спектр без признаков.

На рис.6а представлен полный временной спектр, где виден пик совпадений на характерном фоне микроструктуры пучка. Для сравнения на рис.6(б,в) показаны спектры с признаком совпадений в "истинном" и "случайном" каналах, в которых временным разрешением схемы совпадений вырезаны соответствующие участки спектров

На рис.6г показан полный спектр, совместно с отношениями спектров с признаками ( $\sigma$  в) к полному, что наглядно иллюстрирует "окна эффективности", выделяемые совпадениями во временной шкале. Измерения сдвигов между позицией пика совпадений и центром "окна эффективности" определяет временную задержку  $\sigma_{ij}$  между парой  $V_i, S_j$ .

По итогам 30 замеров формировалась система линейных уравнений, которая позволяла определить поправки к задержкам каждого из II телескопов PS - 30, приводящих к обнулению  $\sigma_{ij}$  с учетом экспериментальных ошибок  $\Delta\sigma_{ij}$ , что производилось с помощью минимизации функционала:

$$\chi^2 = \sum \frac{[t(V_i) - t(S_j) - \sigma_{ij}]^2}{(\Delta\sigma_{ij})^2}$$

Полученные в итоге новые значения задержек телескопов записывались в файл данных как исходные для нового процесса корректировки. Вся процедура выполнялась в процессе диалога с ЭВМ (процедура DELCON ).

Следующим по последовательности важным этапом настройки PS - 30 является определение эффективности каналов PS - 30 (процедура EFFIC ). Несмотря на возможность использования расчетных значений эффективности, очевидно предпочтительнее экспериментально измеренные значения. Мы проводили измерения относительных эффективностей каналов PS - 30 на основе измерений  $\gamma$  - спектров на тонкой аморфной мишени, форма которых достаточно хорошо воспроизводится аналитически:

$$J_{\gamma}(x) \approx \Psi_1^{\text{ам}} [1 + (1-x)^2] - 2/3(1-x)\Psi_2^{\text{ам}},$$

где  $x = E_{\gamma}/E_e$ , а  $\Psi_{1,2}^{\text{ам}}$  структурные функции [4]. Измерения состояли в сканировании  $\gamma$ -спектра независимо каждым каналом РС - 30 так, чтобы область захвата перекрывалась бы 20-30 точками измерений с энергетическим шагом  $\delta$ , определяемым из выражения:

$$E_{\gamma}^{\text{max}}(i) = E_{\gamma}^{\text{min}}(i)(1+\delta)^{n-1},$$

где  $E_{\gamma}^{\text{max}}(i)$ ,  $E_{\gamma}^{\text{min}}(i)$  - границы области измеряемой  $i$ -ым каналом РС - 30,  $n$  - число циклов измерения. Далее  $\gamma$ -спектр измеренный  $i$ -ым каналом нормировался на теоретический спектр, что обеспечивало выравнивание относительных эффективностей всех каналов между собой и получение энергетического поведения эффективностей. Для дальнейшей работы полученные энергетические зависимости статистически сглаживались и аппроксимировались полиномами третьей степени (рис.7), параметры которых записывались в файл данных (МАРЕФФ), к которому происходит обращение каждый раз, когда необходимы данные по эффективности каналов РС - 30. Контроль качества методики определения эффективностей проверялся по соответствию измеряемого алмазного спектра (уже совместно всеми каналами РС - 30) теоретическому расчетному, что подтвердило хорошее согласие.

После завершения отмеченных этапов парный спектрометр был подготовлен к проведению измерений с использованием алмазной мишени.

## 5. Методика работы с кристаллом

Методику работы с PS - 30 после его настройки можно условно представить в виде трех последовательных этапов.

В начале работы определялись углы нулевой ориентации кристалла, для чего использовался эффект усиления выхода "мягких" фотонов при совмещении рабочих плоскостей (022) и ( $\bar{0}\bar{2}\bar{2}$ ) с направлением электронного пучка [6]. Методика определения углов нулевой ориентации ( $\theta_n^\circ$ ,  $\theta_v^\circ$ ) состояла в измерении выхода с одного из телескопов PS - 30, нормированного на счет квантометра, при сканировании по одному из углов  $\theta_{n,v}$  (процедура GZFIN). Для этого устанавливался достаточно низкий ток анализирующего магнита (5-7А) и сравнительно толстый конвертор ( $\sim 100\mu\text{m Al}$ ) для обеспечения хорошей статистической точности данных, в режиме "непрерывного" вращения кристалла. Появление характерного пика в угловом спектре (рис.8) соответствует нулевой ориентации отмеченных плоскостей (022) и ( $\bar{0}\bar{2}\bar{2}$ ), которые идентифицируются по отношению (счет в пике)/(счет фона). Проявление нулевой ориентации других плоскостей более слабое и логика распознавания их автоматически режет. После определения углов нулевой ориентации  $\theta_{n,v}^\circ$  и текущие углы  $\theta_{n,v}$  заносились в банк данных. далее на втором этапе они использовались для ориентации кристалла при выборе определенной ликовой энергии спектра КТН. Реализовалось это с помощью процедуры SETAN, для запуска которой использовались входные данные:  $E_\gamma^{\text{пук}}$ ,  $E_e$ , направление поляризации ( $\perp$ ,  $\parallel$ ), нулевые ( $\theta_{n,v}^\circ$ ) и текущие ( $\theta_{n,v}$ ) углы. При этом учитывалась возможная несимметричность граней кристалла.

ла относительно нулевого угла, в таком случае вращение производилось в обратном направлении (изменялся знак угла ориентации кристалла).

Как известно, при выбранной пиковой энергии, углы ориентации кристалла определяются из условия  $g_{11} = \delta(x)$ , где  $g_{11}$  - проекция вектора обратной решетки кристалла на направление пучка, а  $\delta(x)$  - импульс, переданный ядру в решетке. Однако в реальности наличие угловой расходимости пучка и других экспериментальных факторов приводит к искажению формы спектра КТИ, в частности, к эффективному смещению позиции пика когерентного максимума в область меньших энергий [5]. Для учета этого эффекта вводился корректировочный коэффициент в углы вращения ( $K = 1,5 - 1,3$ ). Кроме этого наблюдался эффект неустойчивости среднего угла влета пучка в кристалл, приводящего к уходу нулей кристалла. Коррекция этого эффекта требовала переопределения нулей.

Точность установки углов кристалла после работы процедуры SETAN проверялась, а при необходимости корректировалась с помощью процедуры PRCOR. Во время выполнения этой процедуры измерялся спектр КТИ при средней энергии акцептанса  $ps - 30$  равной расчетному пиковому значению  $E_{\gamma}^{пик.}$  когерентного максимума. При этом экспериментальное значение  $E_{\gamma}^{пик.}$  определялось как взвешенное среднее по области захвата экспериментальной аппаратуры ( $E_{\gamma}^{кинем.} \pm \delta E_{\gamma}$ ). Если относительное различие между измеренным и расчетным (кинематическим) значением пиковой энергии превышало 3%, рассчитывался угол корректировки и проводился поворот кристалла. Новые значения углов заносились в банк данных и процедура PRCOR повторялась. Последова-

тельное выполнение процедуры `PIKCOR` и `GZFIND` позволяло определить эмпирически коэффициент корректировки  $K$  и сдвиги нулей кристалла.

Как показывает опыт, корректирующий коэффициент  $K$  более стабилен во времени, чем нули кристалла, поэтому в дальнейшем, после начальной корректировки ориентации кристалла, изменение текущих углов вращения приписывалось изменению нулей.

Наконец, на третьем этапе работы, после точного выставления пиковой энергии, измерялся полный энергетический спектр КТИ (процедура `FULLSP`). При этом задавались нижняя и верхняя границы области измерения и значение пиковой энергии когерентного максимума. Время измерения определялось счетом квантометра. На основе входной информации вычислялись средние значения энергии в каждом из кадров сканирования ( $\leq 5$ ) и начинались измерения. Установка очередной средней энергии `PS` - 30 и соответствующего тока анализирующего магнита автоматически сопровождалась корректировкой тока магнита в соответствии с калибровочными данными.

На рис.9(а,б) показаны полные спектры: аморфный и КТИ при  $E_e = 3$  ГэВ и  $E_\gamma^{\text{пик.}} = 600$  МэВ. Как видно из рисунков, поставленные спектры достаточно гладкие, с хорошей шшивкой как внутри кадра сканирования, так и между кадрами. Полные спектры записывались в виде файлов, визуализировались на графическом дисплее (как и результаты процедур `DELCON`, `GZFIND`, `PIKCOR`) и проводилась обработка на предмет тестирования качества спектра КТИ по отношению (счет в пике)/(счет аморфной составляющей под пиком), что в значительной степени определялось настройкой вывода пучка.

Дальнейшая работа по измерению и контролю параметров спектра КТИ состояла в чередовании измерений полного спектра и в пиковой области, притом, в основном, в пиковой области спектра, поскольку стабильность пиковой области обеспечивала в значительной степени стабильность спектра КТИ в целом. В условиях реального эксперимента измерение и контроль спектра в пиковой области проводились каждые 40-50 сек, при этом контролировался ток анализирующего магнита и позиция когерентного пика и при необходимости блокировался набор данных до стабилизации параметров спектра КТИ до приемлемого уровня. Рабочие измерения в 1987 и 1990 гг. показали, что при сравнительно стабильных условиях в кольце ЭКУ, когда изменения контролируемой настройки по форме и интенсивности не превосходят  $\sim 30\%$ , стабильность спектра КТИ не хуже 2-3% по энергетическому сдвигу в области когерентного пика.

### Заключение

В заключение следует отметить, что программное обеспечение системы, включающее более 20 основных программы и их модификации, написано на языке PASCAL и может легко адаптироваться для выполнения других задач. В частности это было сделано во время недавних работ по каналированию.

Представленная система отработала более 1200 часов непрерывного времени во время экспериментов 1987 и 1990 гг. по исследованию процессов  $\gamma d \rightarrow pn$ ,  $\gamma d \rightarrow \pi^+ d$ ,  $\gamma A \rightarrow pnX$  [7] и  $\gamma p \rightarrow p\gamma$  [8] и показала достаточную стабильность и надежность в эксплуатации.

Авторы выражают благодарность профессору Г.А. Зартапетяну за поддержку в процессе выполнения работы.

Таблица I

Размеры и расположение счетчиков PS - 30  
относительно оси  $\gamma$  - пучка и параметры соответствующих  
траекторий

e <sup>+</sup> плечо					
счетчик	R(см)	$\alpha$ (град)	$\bar{x}$ (см)	ширина (мм)	толщина (мм)
SF1	499,5	16	78,1	44	5
SF2	532,8	15	72,7	41	5
SF3	566,1	14	68,2	38	5
SF4	599,4	13	64,2	36	5
SF5	632,7	12	60,7	34	5
SB			95	360	20

e <sup>-</sup> плечо							
BF1 BB1	499,5	16	78,1 106,3	56 162	5 10		
BF2 BB2	666	12	57,5 78,5	41,5 126	5 10		
BF3 BB3	832,5	9,5	45,7 62,3	33 94	5 10		
BF4 BB4	999	8	37,9 51,7	27 65	5 10		
BF5 BB5	1165,5	7	32,5 44,3	23,5 54	5 10		
BF6 BB6	1332	6	28,4 38,7	20,5 50	5 10		

Обозначения:  $\bar{x}$  - координата центра счетчика, R - радиус траектории и  $\alpha$  - угол поворота соответствующей траектории.

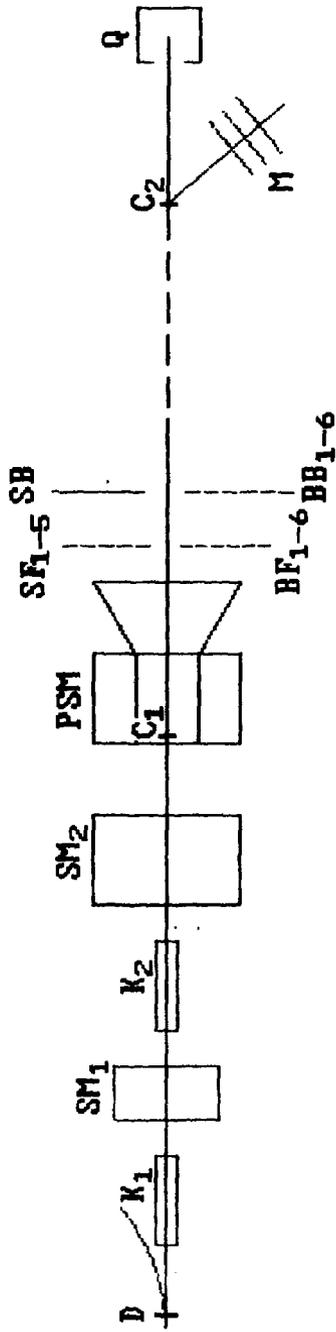


Рис. I

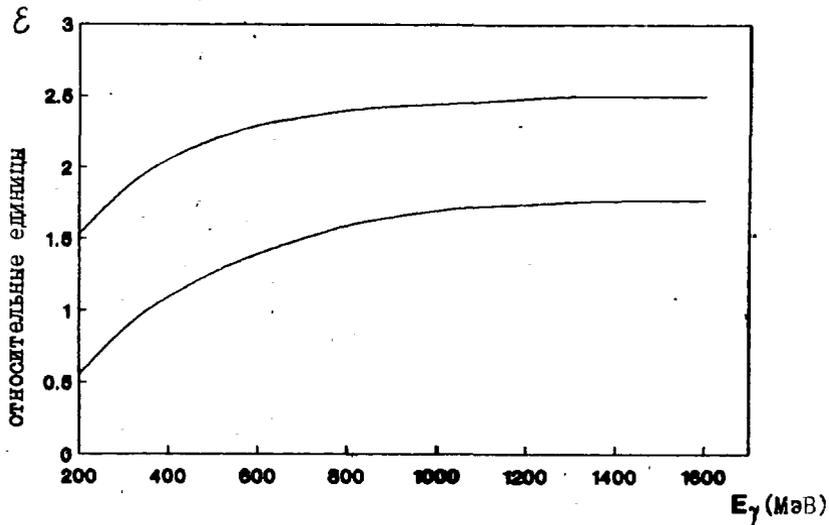


Рис.2

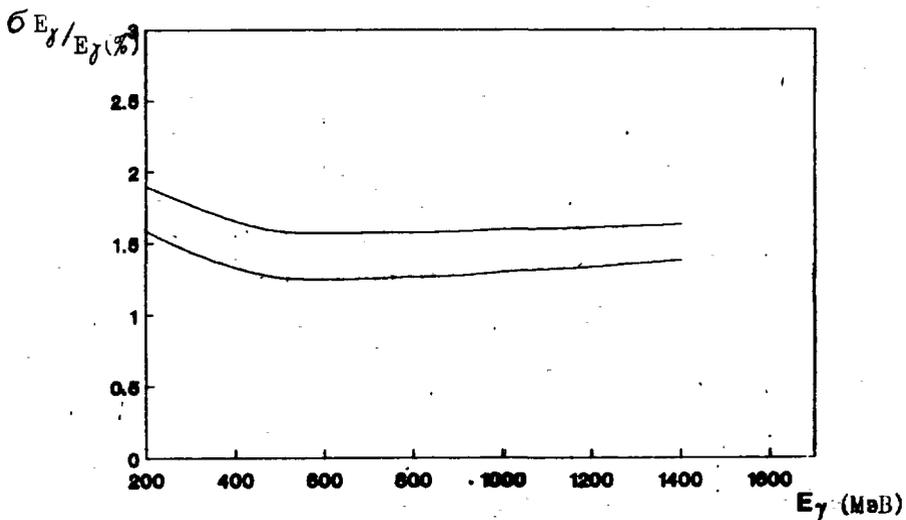
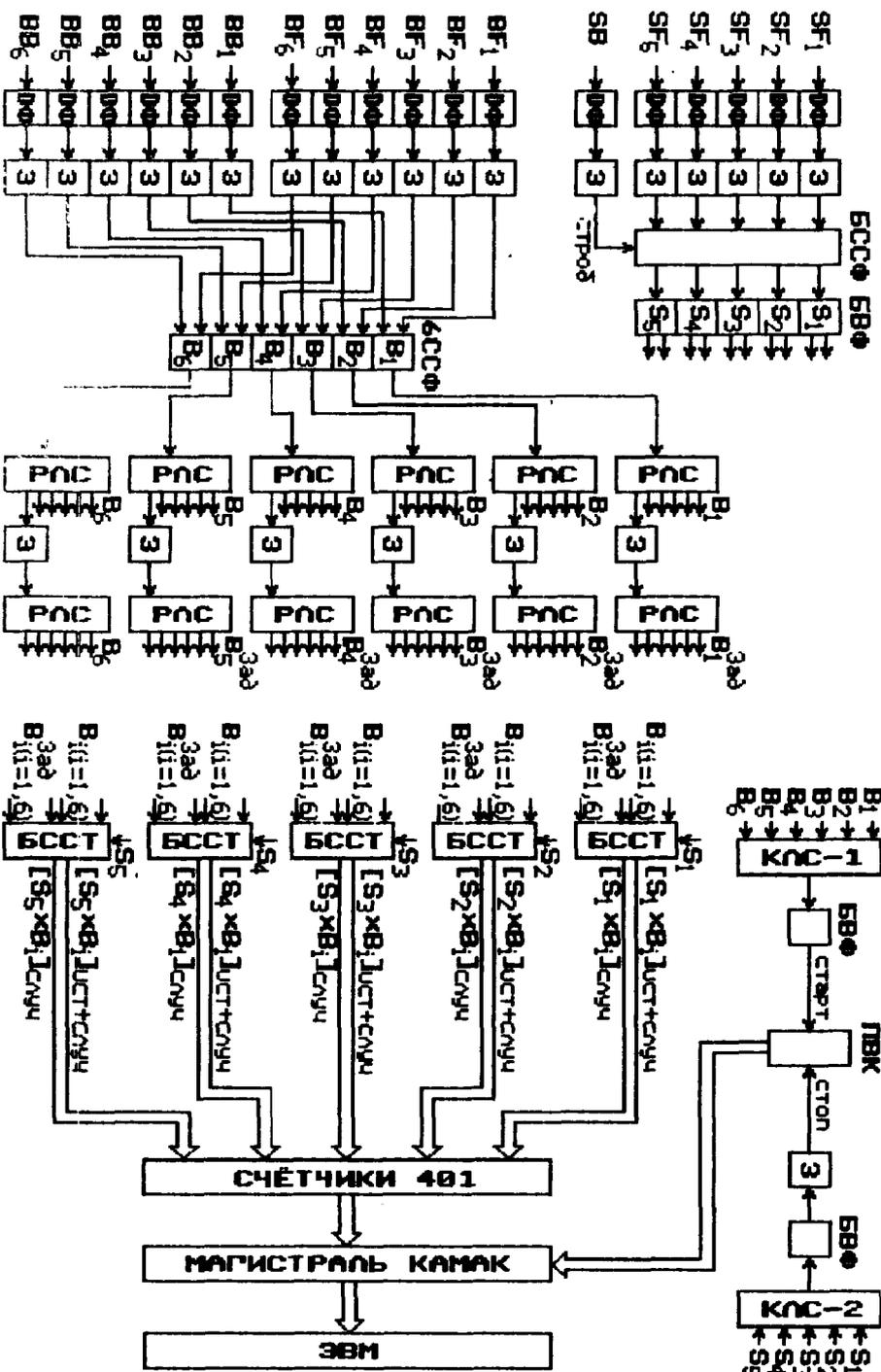


Рис.3



Уточ. 4

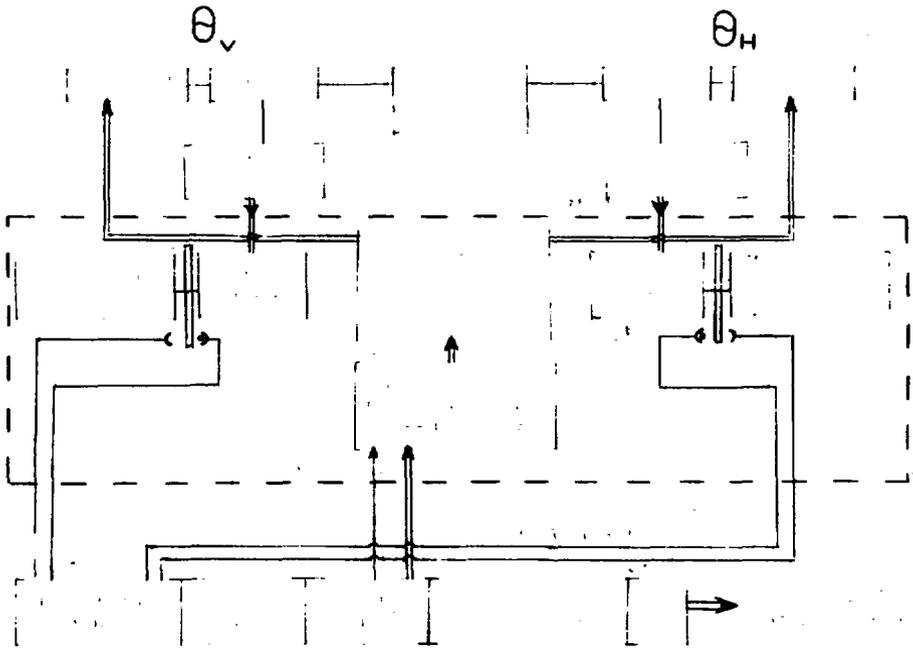


Рис.5

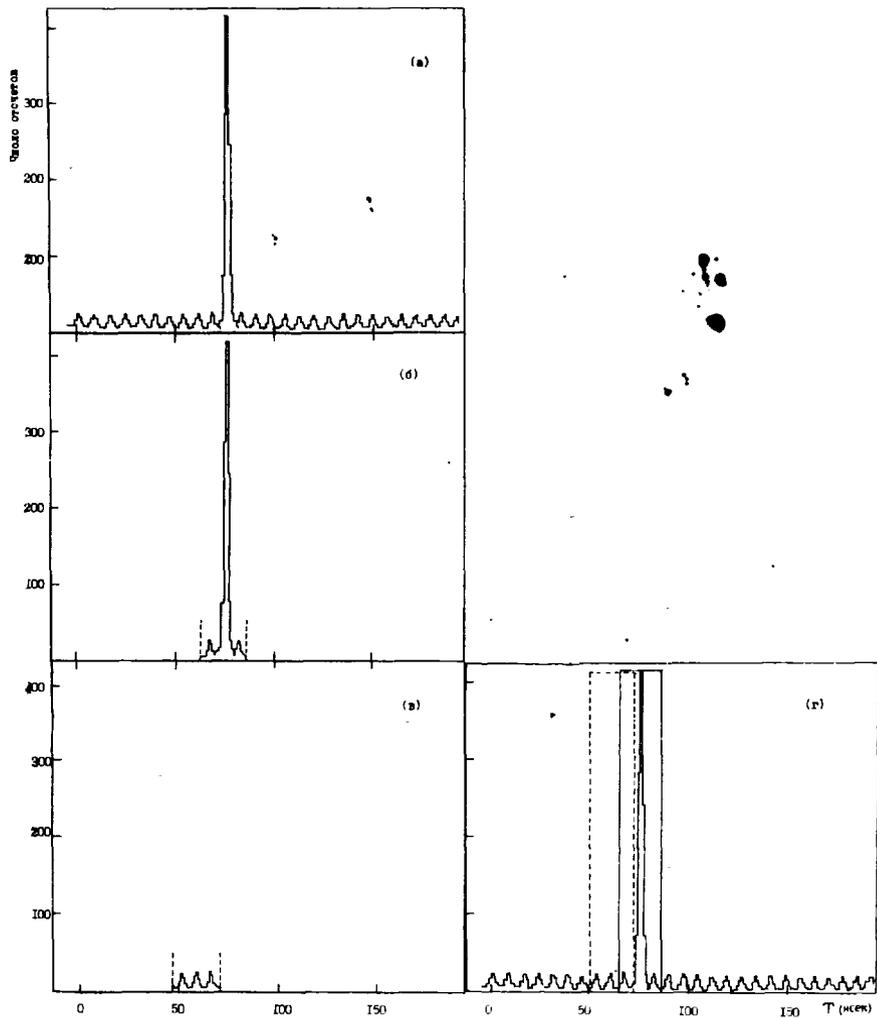


FIG. 6 a, b, c

FIG. 6d

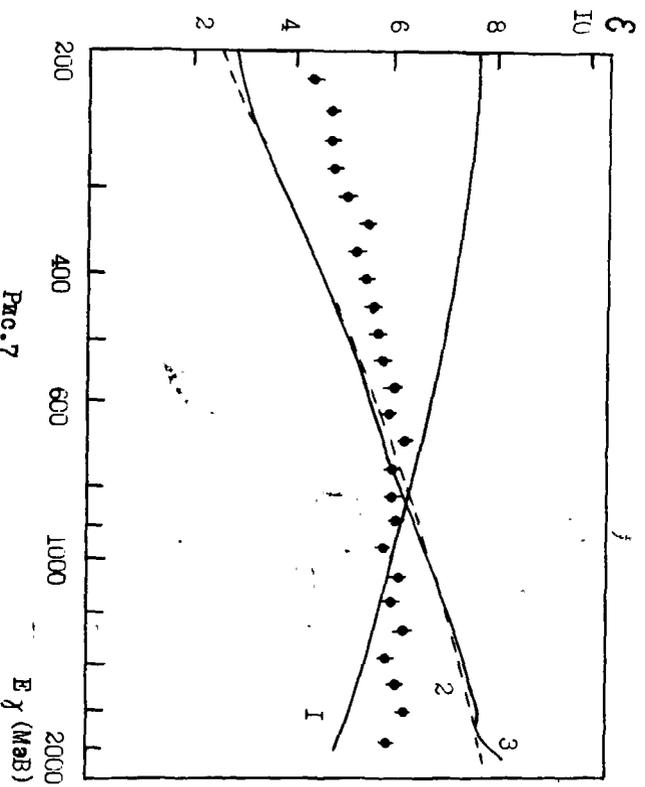


Рис. 7

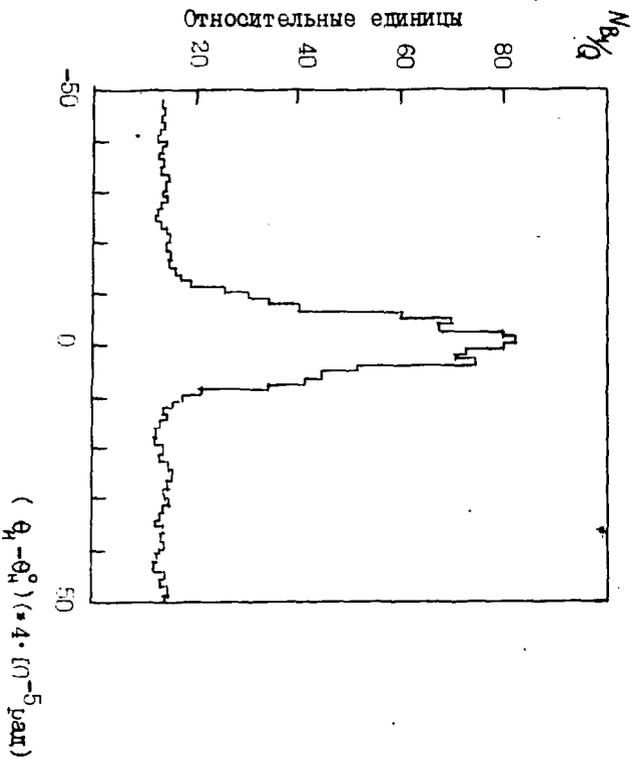


Рис. 8

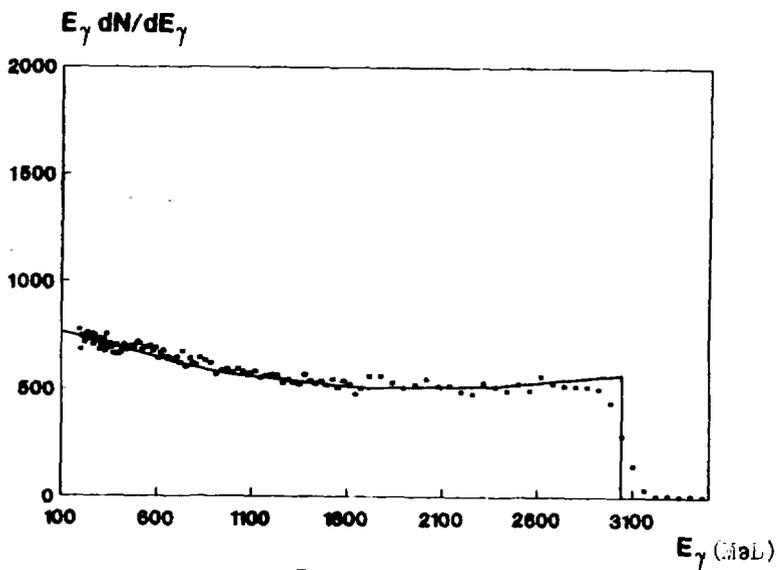


Рис. 9a

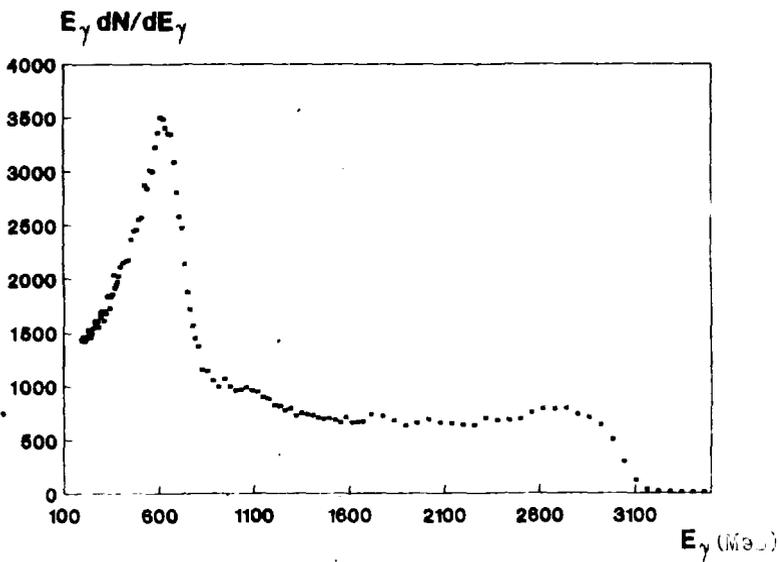


Рис. 9б

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1 Схема экспериментального оборудования: D - алмазная мишень,  $K_{1,2}$  - коллиматоры,  $SM_{1,2}$  - очищающие магниты, PSM - анализирующий магнит СП-57,  $C_{1,2}$  - конверторы, M - быстрый монитор, Q - квантометр Вильсона,  $SF_{1-5}$ , SB,  $BF_{1-6}$ ,  $V_{1-6}$  - сцинтилляционные счетчики.
- Рис.2 Расчетное энергетическое разрешение I-го и 30-го каналов PS - 30.
- Рис.3 Расчетные энергетические зависимости эффективностей I-го и 30-го каналов PS - 30.
- Рис.4 Блок-схема электроники PS - 30.
- Рис.5 Блок-схема управления гониометром.
- Рис.6(а,б,в,г). Настройка совпадений между телескопами  $e^+$  и  $e^-$  - плеч PS - 30 (процедура DELCON). Пояснения в тексте.
- Рис.7 Иллюстрация работы процедуры EFFIC. Представлен участок аморфного спектра, просканированный I-ым каналом PS - 30. Кривые: (1) - расчетный аморфный спектр, (2) - отношение экспериментально измеренного спектра к расчетному после статистического сглаживания, (3) - результат полиномиального фита полученного отношения (относительной эффективности).
- Рис.8 Иллюстрация работы процедуры поиска нулей кристалла (GZFIND). Показана угловая зависимость счета телескопа  $V_1$  PS - 30 в области горизонтального нуля кристалла алмаза.

Рис.9 а) - аморфный спектр ( Fe , 20  $\mu\text{m}$  ) измеренный при энергии электронов  $E_e = 3,0$  ГэВ и описывающая его теоретическая кривая с произвольной нормировкой, б) - спектр КТИ (алмаз, 100  $\mu\text{m}$  ), измеренный при энергии электронов  $E_e = 3,0$  ГэВ и энергии когерентного максимума  $E_{\gamma}^{\text{лик.}} = 600$  МэВ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян Р.О., Армаганян А.А., Арутюнян Л.Г. и др. Получение фотонных пучков со взаимно перпендикулярными векторами поляризации одинаковой интенсивности и с одинаковой степенью поляризации. Изв.АН Арм.ССР, Физика, 1975, т.10, с.61-63.
2. Акопян Г.Г., Волчинский В.Г., Вуколов В.П. и др. Автоматизированная система управления и контроля тока анализирующего магнита парного спектрометра. Препринт ЕФИ-1067(50)-68, Ереван, 1988.
3. Волчинский В.Г., Вуколов В.П., Галумян П.И. и др. Электронная аппаратура экспериментальной установки по исследованию поляризационных параметров в реакциях фоторождения на нуклонах и легких ядрах. Препринт ЕФИ-1068(51)-88, Ереван, 1988.
4. Тер-Кикаелян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. Изд-во АН Арм.ССР, 1969.
5. Авакян Р.О., Овакимян С.С., Тароян С.П. Влияние экспериментальных факторов на стабильность спектра КТИ. Препринт ЕФИ-459(1)-81, Ереван, 1981.
6. Аганбянц А.О., Вартанов Ю.А., Вартапетян Г.А. и др. Излучение каналирования электронов с энергией 4,5 ГэВ в алмазе. Письма в ЖТФ, 1979, т.29, в.9, с.554.
7. Adamian F.V., Aghababian K.Sh., Asatrian R.A. et al. Experimental Study of the Photoproduction  $\gamma d \rightarrow d\pi^0$  and Photodisintegration  $\gamma d \rightarrow pn$ ,  $\gamma^6\text{Li} \rightarrow p\pi\chi$ ,  $\gamma^4\text{He} \rightarrow p\pi\chi$  Process by Linearly Polarized Photons in the Energy Range 0.3-1.0 GeV. Preprint YERPHI-1061(24)-88, Yerevan, 1988.

8. Адамян Ф.В., Айрапетян А.В., Акопян Г.Г. и др. Рассеяние линейно-поляризованных фотонов на протонах в области энергии 0,6-0,9 ГэВ. Материалы совещания по электромагнитным взаимодействиям адронов и ядер при промежуточных энергиях, Нор-Амберд, 10-14 октября 1990 г., ВАНТ, т.40, в печати.

Рукопись поступила 27 февраля 1991 г.

А.Э. АВЕТИСЯН, Ф.В. АДАМЯН, А.В. АЙРАПЕТЯН, Г.Г. АКОПЯН, А.Ю. БУНЯТЯН,  
А.Г. ВАРТАПЕТЯН, В.Г. ВОЛЧИНСКИЙ, В.П. ВУКОЛОВ, П.М. ГАЛУМЯН,  
В.О. ГРАБСКИЙ, Г.В. КАРАПЕТЯН, М.С. КОРДОНСКИЙ, Р.О. ОГАНЕЗОВ,  
В.К. ОХТАНЯН, Р.Ц. САРКИСЯН

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ПО ИЗМЕРЕНИЮ И КОНТРОЛЮ  
ПАРАМЕТРОВ КВАЗИМОНОХРОМАТИЧЕСКОГО КОГЕРЕНТНОГО ФОТОННОГО  
СПЕКТРА НА БАЗЕ 30 КАНАЛЬНОГО ПАРНОГО СПЕКТРОМЕТРА

Редактор Л.П. Мукаян

Технический редактор А.С. Абрамян

---

Подписано в печать 26/УП-91г.

Формат 60x84/16

Офсетная печать. Уч. изд. л. 1,5

Тираж 299 экз. Ц. 22 к.

Зак. тип. № 121

Индекс 3649

---

Отпечатано в Ереванском физическом институте  
Ереван 36, ул. Братьев Алиханян, 2

**The address for requests:  
Information Department  
Yerevan Physics Institute  
Alikhanian Brothers 2,  
Yevan, 375036  
Armenia, USSR**

**ИНДЕКС 3649**



**ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**