

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 53:0015:539.172.3

ВАРТАНЯН ГЕНРИК СЕМЕНОВИЧ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРОЦЕССОВ ФОТОРОЖДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕЧЕНЫХ
ГАММА КВАНТОВ

(01.04.16 - физика атомного ядра
и элементарных частиц)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Ереван - 1983

Работа выполнена в Ереванском физическом институте

Научный руководитель — канд. физ-мат. наук, ст. науч. сотр.

Г.Л.Баятян

Официальные оппоненты: доктор техн. наук С.Г.Басиладзе (МГУ)
доктор физ-мат наук В.И.Рыкалин (ИФВЭ)

Ведущая организация — Институт теоретической и эксперимен-
тальной физики (г.Москва)

Защита состоится "___" _____ 1983г. в
_____ час. на заседании специализированного совета
Д 034.03.01 при Ереванском физическом институте
(375033, г.Ереван, ул.Маркаряна 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕрФИ

Автореферат разослан "___" _____ 1983г.

Ученый секретарь специализи-
рованного совета ЕрФИ, канди-
дат физ-мат наук *В.А.Шахбазян* В.А.Шахбазян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Измерения полных сечений фотообразований адронов на яд-
рах до энергии 18 ГэВ проявили адроподобный характер взаимо-
действия фотона с ядрами вещества. Имеющиеся теоретические
предсказания, основанные на модели доминантности векторных
мезонов (МДВМ), качественно объясняющие это свойство взаимо-
действия фотона, находятся в количественном несогласии с полу-
ченными экспериментальными данными. Для выяснения механизма,
по которому происходит это взаимодействие, необходимо было
провести измерения полных сечений фоторождений адронов на яд-
рах в области энергий выше 20 ГэВ.

Немалый интерес представляет также измерение полных сече-
ний в резонансной области энергий $E = (0,2 - 3)$ ГэВ. Экспери-
менты в этой области энергий на ядерных мишенях открывают
принципиальную возможность получения информации об амплитудах
рассеяния барионных резонансов на нуклонах внутри ядра. Созда-

ние монохроматических пучков фотонов высокой энергии дает возможность провести вышеуказанные эксперименты.

В этой связи была поставлена весьма актуальная задача создания универсальной светосильной установки на базе электронного пучка ускорителя ИФВЭ с энергией 40 ГэВ и на выведенном пучке электронов синхротрона ЕрФИ с энергией 4,5 ГэВ для получения монохроматических (неполяризованных и поляризованных) фотонных пучков и проведения на них физических исследований.

Цель работы заключалась в создании экспериментальной установки для получения меченых γ -квантов на основе магнитного анализа рассеянных электронов и проведения на ней исследований процессов фоторождения в широкой области энергий.

Основные требования, предъявляемые к установке, можно сформулировать следующим образом:

- получение монохроматических фотонных пучков в широком диапазоне энергий, вплоть до максимально возможных значений по отношению к энергии первичных электронов,
- достаточно точное измерение энергии фотона, падающего на физическую мишень,
- регистрацию числа как провазимодействовавших, так и проходящих через мишень γ -квантов,
- регистрацию продуктов реакции фотонов с ядрами вещества мишени,
- достоверность идентификации адронов на фоне электро-фотонного и мюонного сопровождения,
- подавление фона случайных и ложных событий,
- контроль за стабильностью параметров первичного электронного пучка,

-автоматизация измерений с применением ЭВМ

Научная новизна работ, вошедших в диссертацию, заключается в том, что:

1. Впервые в отечественной практике создана установка на основе многоканального мечения тормозных фотонов по получению монохроматических γ -квантов высокой энергии.
2. На основе двухкоординатной пропорциональной камеры разработана и создана аппаратура по оперативному контролю за местонахождением и профилем выведенного электронного пучка.
3. Предложен и внедрен в установку блок автоматического измерения эффективности сцинтилляционных детекторов.
4. Предложен, разработан и реализован многоканальный пересчетный прибор с единой системой индикации, выводом информации на визуальную индикацию и цифропечать.
5. Разработаны и реализованы логические блок-схемы построения электронной аппаратуры экспериментальной установки "Гамма" для проведения физических экспериментов по измерению полных сечений фоторождения адронов, фотообразования ρ^0 и π^0 -мезонов.

Практическая ценность работ, вошедших в диссертацию, заключается в многолетнем использовании созданной экспериментальной установки в физических исследованиях на ускорителях ИФВЭ и ЕрФИ. Часть установки - система многоканального мечения - можно рекомендовать для применения в других физических установках, где необходимо знать энергию каждого участвующего во взаимодействии фотона в широком диапазоне энергий. Предложенное многоканальное пересчетное устройство с единой системой индикации успешно может быть применен как при решении задач в физических установках, так и в местах, требующих

сбор, считывание и хранение цифровой информации от множества каналов. Полученные на установке физические результаты по полному сечению фоторождения адронов при высоких энергиях фотона и при энергии фотона в резонансной области дают ценную информацию для выяснения природы взаимодействия фотона с ядрами вещества и сравнительного анализа ряда теоретических моделей взаимодействия.

Автор защищает

1. Разработку и создание экспериментальной установки для получения монохроматических фотонных пучков методом многоканального мечения.
2. Разработку логической структуры и практическую реализацию электронных блок-схем экспериментов по процессам фоторождений.
3. Разработку аппаратуры для оперативного определения местонахождения пучка заряженных частиц и его профиля на основе пропорциональной камеры.
4. Разработку многоканального пересчетного устройства и блока для автоматического измерения эффективности сцинтилляционных счетчиков.
5. Некоторые физические результаты, полученные на установке при её эксплуатации.

Апробация работ

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на семинарах научного сектора ЕРФИ, публиковались в виде препринтов и статей. Докладывались на международном симпозиуме по взаимодействию фотонов и лептонов в Гамбурге в 1977г.

Публикации . По теме диссертации опубликовано 8 работ.

Список литературы приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Она содержит 97 страниц машинописного текста, из которых 31 страница - таблицы и рисунки. Список цитируемой литературы включает 70 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрены основные требования, предъявляемые к экспериментальной установке (установка "Гамма") для проведения на ней ряда физических экспериментов по фоторождению на выведенном пучке электронов ускорителя ИФВЭ. Приводится описание метода получения электронного пучка с энергией 40 ГэВ на протонном ускорителе и характеристики этого пучка [1]. Детально рассматривается метод получения монохроматических фотонов с помощью электронов отдачи. На рис. I приводится блок-схема экспериментальной установки "Гамма" по измерению полного сечения фоторождения адронов. Установку можно разделить на две части: а) первая часть, состоящая из мониторных счетчиков (C_1C_2), регистрирующие первичные электроны, радиатора (R), анализирующего магнита (M), ливневого детектора (ЛД), счетчиков канала мечения, предназначена для получения меченых фотонов в шести энергетических каналах. б) Вторая часть, состоящая из мишени (m) и адронных детекторов (АД1 и АД2), служит для регистрации продуктов взаимодействия меченых фотонов в мишени. Меченые фотоны получают путем магнитного анализа электронов отдачи.

На тонкий радиатор R направляется моноэнергетический пучок электронов и отбираются тормозные γ -кванты или их взаимодействия по совпадениям с электронами отдачи, которые анализируются по энергии (импульсу). Энергия γ -квантов определяется разностью энергий электрона до и после излучения [2,3]. В этой главе приводится также описание некоторых узлов установки и их конструктивные особенности.

Регистрация γ -квантов и прямые измерения их энергий выполнены с помощью ливневого детектора, состоящего из 20 пластин сцинтиллятора, прослоенных свинцовыми пластинами площадью $30 \times 30 \text{ см}^2$ и толщиной в одну радиационную длину. Ливневой детектор в первичном электронном пучке с энергией 40 ГэВ обеспечивал энергетическое разрешение $\sim 12\%$. Созданный ливневой детектор позволяет иметь линейную зависимость амплитуды выходного сигнала от энергии электрона или γ -кванта с эффективностью регистрации $\sim 100\%$. Калибровка каналов мечения осуществлялась на основе амплитудного анализа сигнала от ливневого детектора при запуске анализатора от мониторных счетчиков первичного пучка и от отдельных каналов мечения.

Продукты реакций фотонов в мишени регистрировались двумя адронными детекторами, представляющими собой трехслойные "сэндвичи" сцинтиллятора и свинца. Адронные детекторы посередине имели отверстие для пропускания непрореагировавших γ -квантов. В первой главе приводится также описание метода, основанного на использовании системы мечения с широкоазорными искровыми камерами. Применение последних

в установке "Гамма" дало возможность без применения магнитного спектрометра регистрировать случаи фоторождения ρ^0 -мезонов параллельно с экспериментом по измерению полного сечения фоторождения адронов на углероде в области энергий $E = (14-34) \text{ ГэВ}$.

Во второй главе описывается модифицированная экспериментальная установка, использованная на выведенном электронном пучке синхротрона ЕрФИ для измерения полного сечения фоторождения адронов на ядрах в резонансной области и фоторождения π^0 -мезонов в области энергий от 0,25 до 1 ГэВ. Приводятся характеристики электронного пучка с энергией 4,5 ГэВ и описание системы мечения γ -квантов, охватывающий энергетический интервал от 0,25 до 3 ГэВ.

Для непосредственного наблюдения за выведенным пучком электронов синхротрона ЕрФИ и снятия его профиля создана система на основе двухкоординатной пропорциональной камеры [4]. Информация о пространственных характеристиках и о местонахождении пучка по ходу эксперимента выводится на экран амплитудного анализатора и на цифропечатающее устройство. Блок - схема системы для снятия профиля пучка показана на рис. 2. Принцип заключается в измерении разности времен между сигналами от общего "ИЛИ" со всех проволочек пропорциональной камеры и задержанными с помощью ячеек интегральной микросхемы сигналами от тех же проволочек. Разность во времени линейно преобразуется в амплитуду конвертором (К) и поступает на вход амплитудного анализатора (АИ). Калибровка системы осуществлена таким образом, чтобы сигналам с центральных проволочек пропорциональной камеры соответствовала амплитуда, которая фиксируется в средних каналах амплитудного анализатора. Чувствительность

системы равна 2,5 канала амплитудного анализатора АИ-256 на 1 мм смещения пучка. В этой же главе описывается созданный новый адронный детектор, состоящий из пяти секций и охватывающий 45° телесного угла для регистрации продуктов фоторождения при измерениях полного сечения фоторождения адронов и π^0 -мезонов.

В третьей главе рассматриваются электронные блок-схемы системы мечения и физических экспериментов. Приводится описание некоторых разработанных функциональных блоков электроники, примененные на установке. Электронная блок-схема (рис. 3) эксперимента по измерению полного сечения фотообразования адронов, проведенного на ускорителе ИФВЭ, обеспечивала: мониторинг электронного пучка, эффективное мечение тормозных γ -квантов в шести энергетических каналах, подавление регистрации фоновых событий и регистрацию актов взаимодействия фотонов с ядрами вещества. Общий сигнал мечения (Т), выделяющийся электроны отдачи с энергией, соответствующей рабочему интервалу энергий фотона, вырабатывался при одновременном появлении импульсов от мониторинговых счетчиков (C_1C_2) и счетчика (C_3), перекрывающий площадь годоскопа (рис.1) при отсутствии суммарного сигнала от антисовпадательных детекторов (A_1+A_4). Включение попарно на совпадение сигналы с каналов мечения (T_1 и T_2) в присутствии общего сигнала (Т) образовали выходные импульсы каналов мечения ($I + 6$), которые через схему строб-совпадения (SCI) поступали на пересчетные приборы. Управляющий сигнал строб-схемы (SCI) вырабатывался при срабатывании только одного (любого) канала мечения, одновременно с сигналом от ливневого детектора (ЛД),

регистрирующий тормозной γ -квант. Сигнал, соответствующий срабатыванию только одного канала мечения, формировался с помощью двух мажоритарных схем. Один из них вырабатывал сигнал, соответствующий срабатыванию одного и более каналов мечения, а другой - случаю срабатывания двух и более каналов. В схеме антисовпадения первый сигнал запрещался вторым. Таким образом, подавлялись случаи как одновременного срабатывания более чем одного канала мечения при множественных процессах в радиаторе (ливни и пр.), так и ложные запуски каналов мечения, генетически связанные с электронным пучком вторичными частицами при отсутствии тормозных квантов. Наличие сигнала с i -ого канала строб-схемы SCI , означает, что ливневой детектор зафиксировал фотон, энергия которого соответствует $E_\gamma = E_e - E_e'$ где E_e' - энергия фиксированного электрона отдачи в i -ом канале мечения. E_e - энергия первичного электрона. Количество провзаимодействовавших фотонов поканально определяется строб-схемой $SC\bar{I}$. Так как фотон, адронно провзаимодействовав в мишени, не может быть зарегистрирован в ливневом детекторе, то управляющий сигнал строб-совпадения $SC\bar{I}$, указывающий о наличии акта взаимодействия меченого фотона с мишенью, вырабатывался схемой совпадений импульсов от одного из адронных детекторов с сигналом от любого из меченых каналов в случае отсутствия сигнала от ливневого детектора (ЛД).

В этой главе приводятся также логические блок-схемы построения аппаратуры установки "Гамма" с шестнадцатью каналами мечения для проведения на синхротроне ЕФФМ исследова-

дований по измерению полного сечения фоторождений адронов и сечения фотообразования π^0 -мезонов, не сопровождаемого фотообразованием заряженных частиц. В эксперименте по измерению сечения π^0 -мезонов, логическая структура электронной аппаратуры была выбрана таким образом, что исключала регистрацию заряженных частиц, образовавшихся в результате взаимодействия фотона с веществом. Для накопления информации с возможностью визуального наблюдения был создан многоканальный пересчетный прибор с единой системой индикации [5]. Блок-схема многоканального пересчетного прибора показана на рис. 4. Каждый канал состоит из входного формирователя (Ф), схемы селекции канала (СС) и шестиразрядного (или восьмизразрядного) десятичного счетчика (СЧ). Управление прибором осуществляется блоком управления и индикации (БУИ). Вывод информации на индикацию производится разработанной схемой селекции каналов методом опроса каналов пересчетного устройства. Приводится полная схема селекции (рис.5). Быстрое переключение от одного канала к другому без опроса промежуточных каналов делает прибор особенно практичным. Модульность пересчетного прибора позволяет быстро заменять неисправные блоки при неполадках. Кроме визуальной индикации информация выводится на цифropечатающее устройство с помощью разработанной для этой цели схемы.

Для временного согласования ~ 50 сцинтилляционных счетчиков, которые применялись в экспериментальной установке "Гамма", был разработан блок автоматического съема кривых задержанных совпадений и измерения эффективности этих счетчиков [6]. В качестве управляющего внешнего устройства

применялось цифropечатающее устройство БЗ-15, осуществляющее управление переменной задержкой, полная величина которой составляла 100,5 нс.

В третьей главе приводится также описание разработанной схемы генератора ворот, использованного в логической структуре аппаратуры экспериментальной установки для управления электронными блоками с целью исключения фона от других выведенных каналов ускорителя и подавления различных фоновых событий, связанных с выводом пучка.

Полная автоматизация сбора, накопления и предварительной обработки данных осуществляется с помощью ЭВМ "Электроника 100/25". На рис. 6 приводится структурная схема программы сбора, накопления и предварительной обработки массива данных.

В четвертой главе приводятся основные физические результаты экспериментов, выполненных с участием диссертанта на созданной экспериментальной установке "Гамма" на ускорителях ИФВЭ и ЕРФИ.

Для измерения полного сечения фоторождения адронов [7] в области энергий $E = (12 - 30)$ ГэВ использовались пучки фотонов для шести значений энергий, полученные путем мечення выведенных электронов синхротрона ИФВЭ. Полученные значения сечений и эффективных чисел нуклонов для ядер C , Ca и Pb приводятся на рис. 7,8. Значения сечений для ядер углерода и меди имеют слабую зависимость от энергии при больших энергиях (выше 20 ГэВ) и качественно согласуются с предсказаниями МДМ и зависимости от энергии не наблюдается.

Применение широкозахватных искровых камер в сочетании с системой мечення дало возможность регистрировать случаи

Фотообразования ρ^0 -мезонов без применения магнитных спектрометров .

С помощью установки "Гамма" впервые были получены монохроматические пучки меченых фотонов заменой аморфного радиатора на кристаллический. Поляризованные фотоны были получены для пяти значений энергии от 8,2 ГэВ до 24,4 ГэВ с линейной поляризацией 50 - 20%.*

Полное сечение фоторождений адронов в резонансной области для фотонов $E = (0,25-2,7)$ ГэВ были получены для шестнадцати значений энергий γ -квантов [8]. Измерения проводились на ядрах Be, C, Si и O на базе пучка выведенных электронов синхротрона ЕрФМ. Полученные значения зависимости полного сечения фотообразования приводятся на рис 9,10,11,12. На этой установке измерено также полное сечение фотообразования π^0 -мезонов на ядрах Be, C, и O для энергий $E=(0,25-1)$ ГэВ без регистрации заряженных частиц в конечном состоянии.

В заключении приводятся основные результаты работ, вошедших в диссертацию:

1. На выведенном пучке высокоэнергетических электронов ускорителя ИФВЭ создана установка с целью получения монохроматических (неполяризованных и поляризованных) фотонных пучков методом многоканального магнитного анализа электронов отдачи (методом мечения). Установка была модифицирована и дополнена с целью доведения каналов мечения до шестнадцати и была использована для экспериментов на ускорителе ЕрФМ.

*В.А.Мошнеев, А.М.Фролов, Р.О.Авакян и др. ЖЭТФ т 77. вып5(II) 1979г.

2. Разработана и создана система автоматического измерения эффективности сцинтилляционных детекторов и кривых задержанных совпадений.

3. Разработаны, изготовлены и внедрены четыре многоканальных пересчетных прибора с единой системой индикации для каждого. Универсальный метод опроса каналов может быть применен и в других многоканальных системах.

4. На основе двухкоординатной пропорциональной камеры разработана и внедрена аппаратура по оперативному измерению профиля пучка заряженных частиц.

5. Изготовлен и применен генератор ворот, предназначенный для управления электронной аппаратурой установки кореллированными во времени сигналами от ускорителя.

6. Созданы и применены адронные и ливневой детекторы, обеспечивающие регистрацию продуктов реакций и тормозных γ -квантов, антисовпадательные счетчики и счетчики каналов мечения, предназначенные для подавления фотоэлектронного и мюонного фона и регистрации рассеянных электронов.

7. Осуществлена связь аппаратуры экспериментальной установки с ЭВМ.

8. Получены пучки монохроматических фотонов с энергетическим разрешением $\frac{\Delta E}{E} \pm 3\%$ в шести, при $E = (12 - 30)$ ГэВ и в шестнадцати - при $E = (0,25 - 2,7)$ ГэВ энергетических интервалах для изучения процессов фотообразований.

9. Измерено полное сечение фотообразования адронов на ядрах C, Si и Pb в энергетическом интервале $E = (12 - 30)$ ГэВ и в интервале $E = (0,25 - 2,7)$ ГэВ.

Применение в течении десяти лет экспериментальной установки "Гамма", описанной в диссертации, для физических исследований по изучению процессов фотообразования в области физики высоких энергий на ускорителях ИФВЭ и ЕРФИ полностью подтвердило универсальность этой установки при постановке экспериментов, где необходимо знать энергию каждого фотона, участвующего во взаимодействии с веществом мишени.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. С.С.Герштейн, В.А.Самоилов, Ю.М.Сапунов, А.М.Фролов, А.И.Алиханян, Г.Л.Баятян, Г.С.Вартанян, С.Г.Князян, А.Т.Маргарян, А.С.Белоусов, Е.И.Тамм, А.Н.Черенков, П.И.Шареико. Пучок электронов с импульсами до 46 ГэВ/с на серпуховском ускорителе. Препринт ИФВЭ 72-93 (1972). Ат.Энергия 35.стр.181. 1973г. *NIM* 112. 1973г. (477-483).

2. В.А.Маишеев, А.М.Фролов, Е.А.Аракелян, Г.Л.Баятян, Г.С.Вартанян, Н.К.Григорян, А.Т.Маргарян, С.С.Степанян. Пучок меченых фотонов с энергиями до 30 ГэВ на ускорителе ИФВЭ. Препринт ИФВЭ 76-15 (1976).

3. Г.Л.Баятян, Г.С.Вартанян, О.М.Винницкий, Н.К.Григорян, С.Г.Князян, А.Т.Маргарян, В.А.Маишеев, А.М.Фролов, В.П.Сапунов. Система мечения гамма - квантов на 40 ГэВ-ном электронном пучке серпуховского ускорителя. Препринт ЕФИ-64(74) 1974г.

4. Е.А.Аракелян, Г.Л.Баятян, Г.С.Вартанян, Н.К.Григорян, А.О.Кечечян, Г.Г.Марикян. Измерение профиля пучка выведенных электронов при помощи пропорциональной камеры. Препринт ЕФИ-598(85) 1982г.

5. Е.А.Аракелян, Г.Л.Баятян, Г.С.Вартанян, Н.К.Григорян, С.С.Степанян. Многоканальная пересчетка с единой системой индикации. Препринт ЕФИ-201(47)76, 1976г.

6. Е.А.Аракелян, Г.Л.Баятян, Г.С.Вартанян. Блок автоматического съема эффективности сцинтилляционных счетчиков. Препринт ЕФИ-325(50)78. 1978г.

7. Е.А.Аракелян, Г.Л.Баятян, Г.С.Вартанян, Н.К.Григорян, С.Г.Князян, С.С.Степанян, А.Т.Маргарян, П.К.Киянов, В.А.Маишеев, А.М.Фролов. Измерение полных сечений фотообразования адронов на ядрах C , Cu и Pb для энергий $E = (12 - 30)$ ГэВ. Препринт ЕФИ-257(50)77. 1977г. *Phys Lett* 79B. p143. (1978). Репортерский доклад *Marshall R. Final states in electroproduction and photoproduction at low and medium energies. - Proceedings 1977 International Symposium on Lepton and Proton Interactions at High Energies, Hamburg, 1977. Vol. p 423-534.*

8. Е.А.Аракелян, Г.Л.Баятян, Г.С.Вартанян, Н.К.Григорян, А.О.Кечечян, С.Г.Князян, А.Т.Маргарян, Г.Г.Марикян, С.С.Степанян, С.Р.Шахазизян. Полное сечение фоторождений адронов на ядрах Be , C , Cu и O для энергий $E = (0,25 - 2,7)$ ГэВ. Препринт ЕФИ-600(87) 1982г.

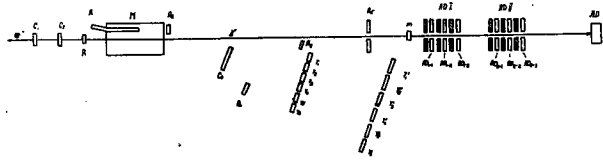


Рис. 1 Блок - схема установки "Гамма"

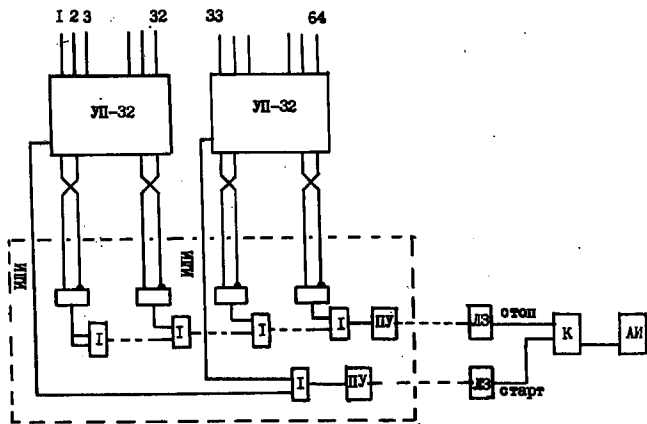


Рис. 2 Блок-схема системы по измерению профиля пучка с помощью пропорциональной камеры

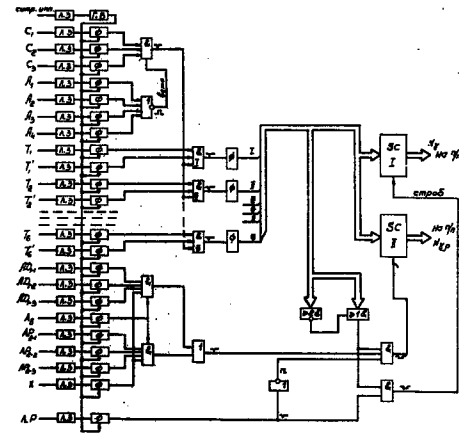


Рис. 3 Электронная блок-схема по измерению G_{tot} на ускорителе ИФВЭ

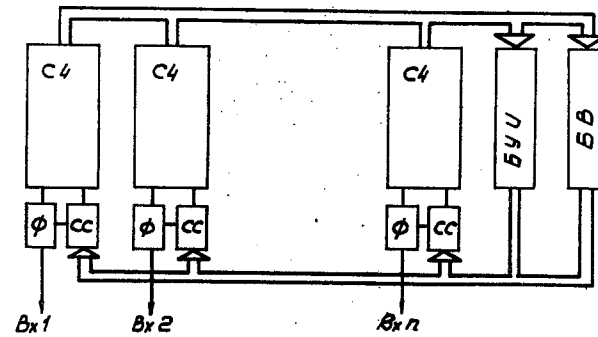


Рис. 4 Блок-схема многоканального пересчетного устройства

19

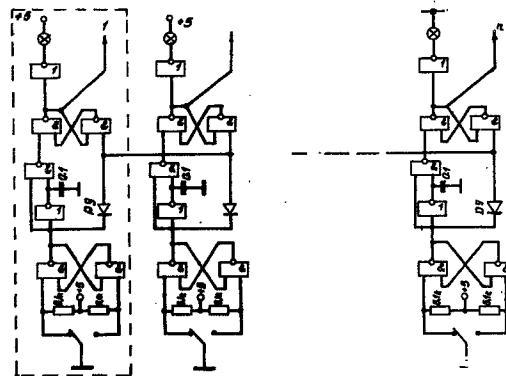


Рис. 5 Полная схема системы селекции
пересчетного устройства

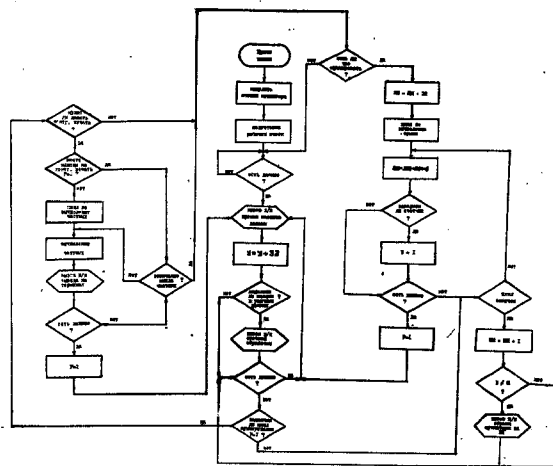


Рис. 6 Блок-схема программы приема и предва-
рительной обработки массива данных

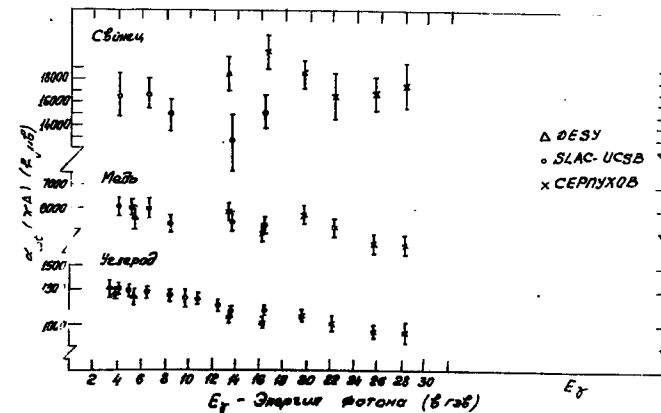


Рис. 7 Значения σ_{tot} для ядер C, Cu и Pb

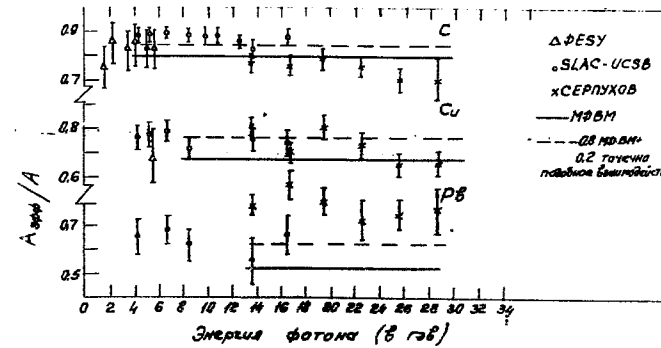


Рис. 8 Значения эффективного числа нуклонов

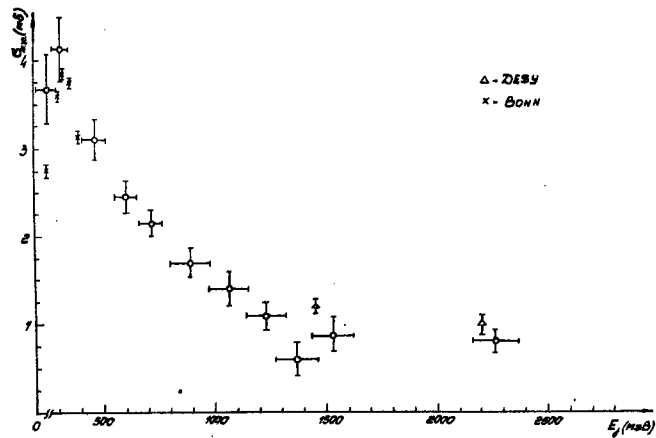


Рис. 9 Полное сечение фоторождения адронов на бериллии

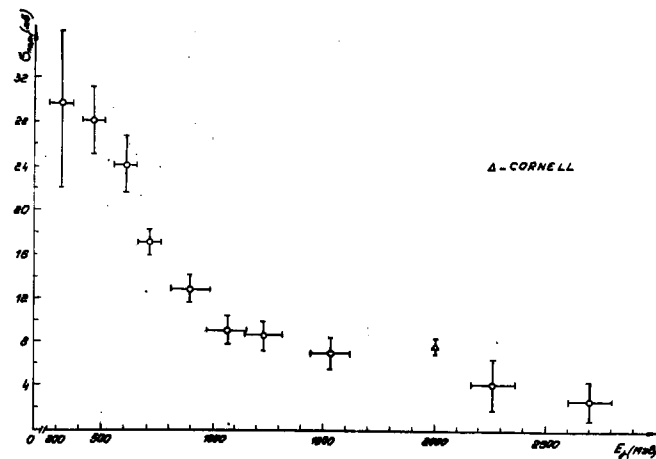


Рис. 11 Полное сечение фоторождения адронов на меди

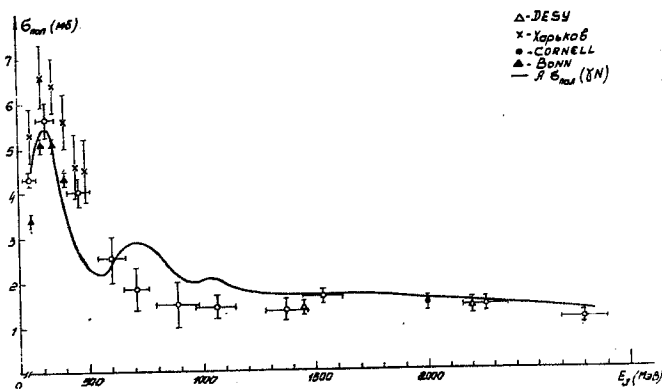


Рис. 10 Полное сечение фоторождения адронов на углеводе

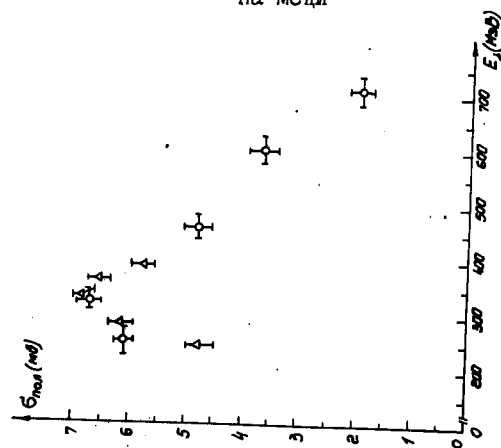


Рис. 12 Полное сечение фоторождения адронов на воде

Редактор Л. П. Мукаян

Тех. редактор А. С. Абрамян

Заказ 67

ВФ— 05836

Тираж 170

Формат издания 60x84/16

Подписано к печати 14.03.83г.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван 36, Маркаряна 2