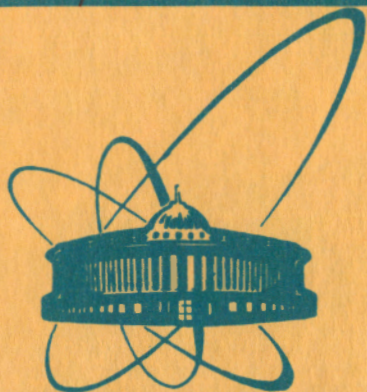


1586/82

5/14-82



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P13-81-848

Г.Д.Алексеев, В.И.Ганичев, О.Е.Горчаков,\*  
А.В.Желамков,\*\* В.В.Карпухин, А.В.Кравцов,\*\*  
В.В.Круглов, А.В.Купцов, В.П.Курочкин,\*  
Л.Лучан, Л.Л.Неменов, О.В.Неможенко,\*\*  
Д.М.Хазинс, А.С.Чвыров, А.И.Щетковский\*\*

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ  
ОБРАТНОГО ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИЯ ПИОНОВ  
НА ПРОТОНАХ И ЯДРАХ

\* Филиал НИИЯФ МГУ.  
\*\* ЛИЯФ АН СССР.

1981

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ на экспериментальной установке, описанной в работе<sup>/1/</sup>, в течение ряда лет изучалась реакция обратного электророждения пионов /ОЭП/ на водороде:



Эти эксперименты позволили получить данные об изотопвекторном формфакторе нуклона  $F_1^Y$  и формфакторе пиона  $F_\pi$  во времениподобной области передаваемых 4-импульсов<sup>/2/</sup>.

В настоящей работе описывается новая экспериментальная установка, созданная для продолжения исследования процесса ОЭП на водороде и на ядрах:



На этой установке на синхроциклотроне ЛИЯФ АН СССР<sup>/4/</sup> был<sup>/3/</sup> проведен эксперимент по обнаружению процесса ОЭП на ядрах  ${}^7\text{Li}$ .

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Экспериментальная установка расположена на  $\pi$ -мезонном канале<sup>/4/</sup> /рис.1/. Интенсивность пучка  $\pi^{+}$ -мезонов с импульсом  $P = 500$  МэВ/с составляет  $1,6 \cdot 10^6$  част./с.

Схема расположения детекторов приведена на рис.2. Установка состоит из мониторингового телескопа, мишени и трех боковых телескопов: T1, T2 и T3.

Мониторный телескоп содержит два сцинтилляционных счетчика, S1M и S2M, которые включены на совпадения, и восемь счетчиков, включенных на антисовпадения: счетчик антисовпадений A, счетчики 1 и 2 с отверстиями в центре  $\phi 100$  мм и охранные счетчики 3÷7.

В счетчиках S1M, S2M, 2, A используются фотоумножители XP1020, в остальных - ФЭУ-30.

Мониторирование пучка осуществляется счетчиками, включенными в логику S1M · S2M (1+2+...+7), взаимодействия  $\pi$ -мезонов в мишени выделяются при помощи счетчика антисовпадений (S1M · S2M · (1+2+...+7+A)).

Охранные счетчики, подавляя поток падающих на мишень частиц только на 3%, уменьшают число запусков установки на 40%.

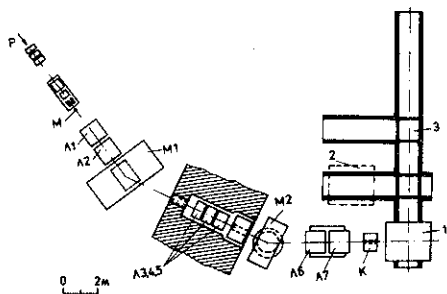


Рис.1. Общий вид  $\pi$ -мезонного канала и экспериментальной установки: P - пучок протонов; M - мезонообразующая мишень; Л1÷Л7 - квадрупольные линзы; М1, М2 - поворотные магниты; К - коллиматор; 1 - установка в рабочем положении; 2 - положение установки между сеансами; 3 - рельсовые пути.

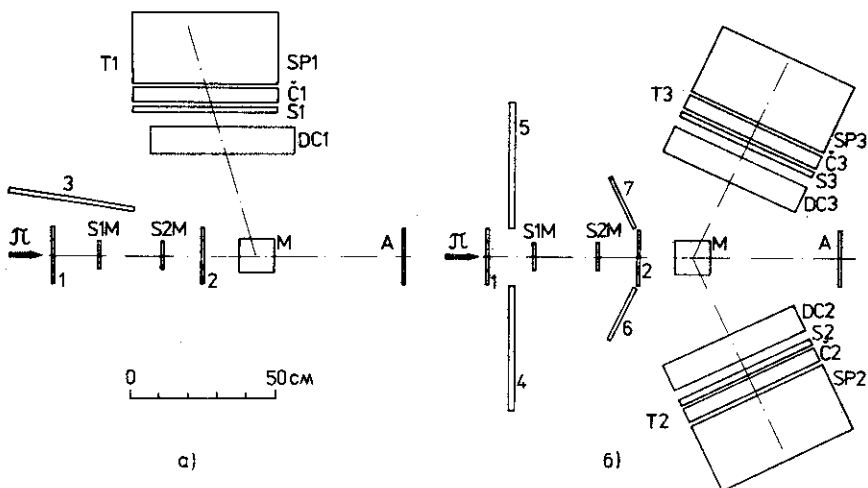


Рис.2. Схема экспериментальной установки: а/ вид сбоку - показан телескоп Т1; б/ вид сверху - показаны телескопы Т2 и Т3; S1M, S2M - мониторные сцинтилляционные счетчики совпадений; А - счетчик антисовпадений; 1,2 - счетчики с отверстиями  $\phi 100$  мм; 3÷7 - охранные счетчики; М - мишень; DC1, DC2, DC3 - дрейфовые камеры; S1, S2, S3 - сцинтилляционные счетчики; C1, C2, C3 - водяные черенковские счетчики; SP1, SP2, SP3 - стеклянные ливневые спектрометры.

Боковые телескопы используются для регистрации электронов и позитронов реакции ОЭП. Запуск установки осуществляется, когда сработают два из трех боковых телескопов в совпадении с мониторным. Боковые телескопы содержат одинаковые наборы детекторов с апертурой  $500 \times 500$  мм<sup>2</sup>: дрейфовые камеры DC1, DC2,

DC3, сцинтилляционные счетчики S1, S2, S3, водяные черенковские счетчики C1, C2, C3 и черенковские ливневые спектрометры SP1, SP2, SP3.

Дрейфовые камеры предназначены для определения углов вылета и точки взаимодействия частиц, сцинтилляционные счетчики - для выделения одиночных релятивистских частиц, черенковские счетчики - для подавления фона низкоэнергичных частиц, спектрометрами измеряется энергия электронов и позитронов.

Телескоп T1 установлен вертикально, как показано на рис.2а. Телескопы T2 и T3 расположены в горизонтальной плоскости под углами  $65^\circ$  к пучку.

### 3. ДРЕЙФОВЫЕ КАМЕРЫ

Каждая дрейфовая камера представляет собой пакет из шести однокоординатных камер <sup>15</sup>. Три камеры в пакете дают x-проекцию трека, три - y-проекцию.

Сечение одного пакета показано на рис.3. Пакет состоит из дюралюминиевых рамок, на которых закреплены полосы стеклотекстолита с печатными электродами. Рамки стянуты болтами и уплотняются шнуром из вакуумной резины. Расстояния между плоскостями задаются дюралюминиевыми шайбами и калиброванными полосами из плексигласа. На внешних рамках закреплены окна из лавсана.

Анодные проволоки диаметром 50 мкм намотаны с шагом 10 мм. Катодные проволоки диаметром 100 мкм намотаны с шагом 2 мм. Намотка производилась проволокой из бериллиевой бронзы. Межэлектродное расстояние равно 8 мм.

В дрейфовых камерах отсутствуют потенциальные проволоки, что приводит к нелинейности дрейфовых характеристик /рис.4/ без ухудшения пространственной точности.

Камеры работают в режиме самогасящегося стримерного разряда /СГС-режим/<sup>16</sup>. Этот режим характеризуется сигналами с большой амплитудой / $\sim 1$  мА/, относительно малым мертвым временем / $\sim 50$  мкс.см/ и широкой областью рабочих напряжений. Применение СГС-режима позволило использовать в электронике высокий порог регистрации / $\sim 100$  мкА/, что упростило усилители и обеспечило хорошую помехозащищенность камер.

Электроника дрейфовых камер регистрирует только одну частицу, проходящую через пакет. Номер сработавшей проволоки преобразуется в код Грея, а для измерения времени дрейфа используется по одному преобразователю время-код на плоскость <sup>17</sup>.

Камеры работают при постоянном давлении газовой смеси из аргона /62%/, метана /21%/ и метилалля /17%/ при атмосферном давлении. Зависимости эффективности регистрации  $\epsilon$ , скорости сче-

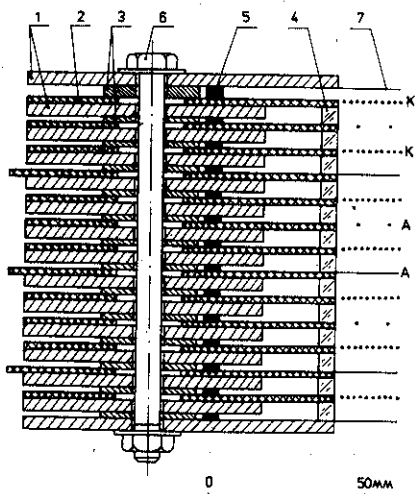


Рис. 4. Семейство дрейфовых характеристик. Параметром служит угол падения трека.

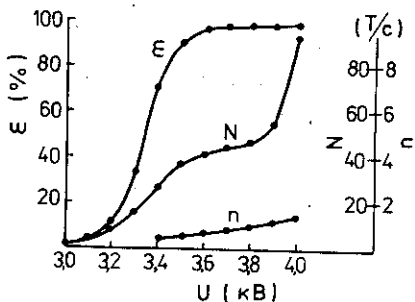


Рис. 3. Сечение пакета дрейфовых камер: 1 - рамки из дюралюминия; 2 - стеклотекстолит с печатными электродами; 3 - дюралюминиевые шайбы; 4 - бруски из плексигласа; 5 - шнур из вакуумной резины; 6 - болт; 7 - окно из лавсана; А - анодные проволоки; К - катодные проволоки.

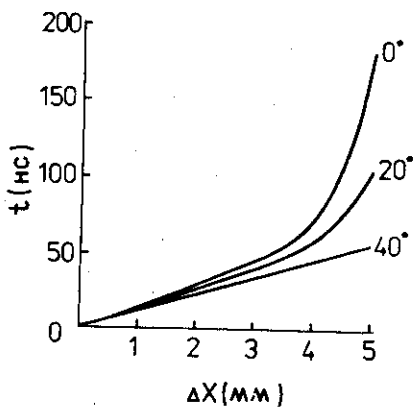


Рис. 5. Зависимость эффективности  $\epsilon$ , скорости одиночного счета  $N$  и шумов  $n$  от напряжения питания дрейфовой камеры  $U$ .

та  $N$  и шумов  $n$  от напряжения питания для одной из плоскостей приведены на рис. 5. Ширина плато счетной характеристики составляет  $\sim 400$  В. Эффективность  $\epsilon$  на плато при длительности строба 450 нс равна 99,6%. Трековая эффективность пакета /отношение числа найденных при обработке треков к числу прошедших через пакет частиц/ измерялась при скорости одиночного счета для каждой плоскости  $\sim 10^5$  имп.  $\text{с}^{-1}$  и составила 91%. Неэффективность пакета в основном определяется сбоями при записи координат трека из-за одиночных фоновых загрузок.

Координатная точность камер определялась после учета геометрических поправок на сдвиги и повороты плоскостей друг относительно друга. Среднеквадратичное отклонение, усредненное по всем плоскостям, составило  $\sigma = 0,2$  мм.

#### 4. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ СЧЕТЧИКИ

Конструкция сцинтилляционного счетчика представлена на рис.6. Пластмассовый сцинтиллятор на основе полистирола толщиной 20 мм приклеен к световоду из полированного плексигласа клеем МБК-1. Световод длиной 320 мм и толщиной 25 мм имеет форму равнобедренной трапеции. Сцинтиллятор и световод покрыты отражающей пленкой из алюминированного лавсана, черной бумагой и полихлорвиниловой лентой.

В счетчике используются два фотоумножителя ФЭУ-49 с фотокатодами  $\phi=150$  мм. Фотоумножители закреплены на большой грани световода. Оптический контакт осуществляется с помощью кремнийорганического вазелина КВ-3.

Магнитная защита состоит из двухслойной стальной коробки, выполняющей также роль светозащитного кожуха, и нескольких слоев отожженного пермаллоя, надетых на каждый фотоумножитель. Соединение световода с кожухом осуществляется винтами через отверстия в световоде.

Сцинтилляционные счетчики изучались на пучках электронов и  $\pi$ -мезонов синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Характерное амплитудное распределение импульсов, полученное на электронах, приведено на рис.7. Амплитудное разрешение /ширина на полувысоте/ получилось равным 31%. Амплитудное разрешение на световых датчиках при такой же величине наиболее вероятной амплитуды, как на электронах, равно 20%, что соответствует  $\sim 185$  фотоэлектронам. Коэффициент светосбора счетчика приблизительно равен 7%.

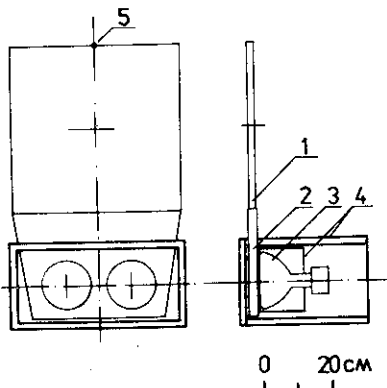


Рис.6. Конструкция сцинтилляционного счетчика: 1 - сцинтиллятор; 2 - световод; 3 - фотоумножитель; 4 - магнитная защита; 5 - светодиод.

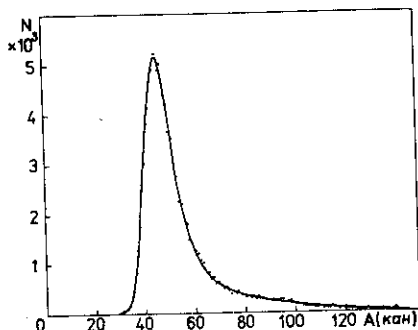


Рис.7. Амплитудное распределение импульсов сцинтилляционного счетчика, полученное на релятивистских электронах.

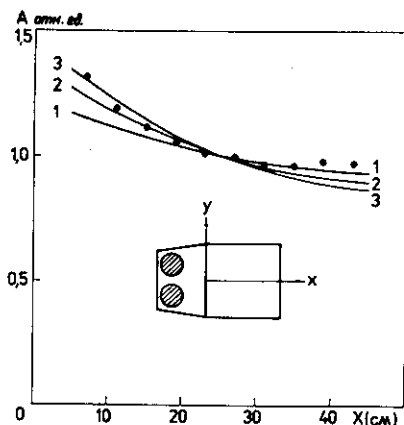


Рис.8. Зависимость средней амплитуды импульсов в сцинтилляционном счетчике от расстояния до световода. Точки – эксперимент. Кривые 1,2,3 получены моделированием при трех значениях коэффициента поглощения света в сцинтилляторе:  $\lambda$  ( $\text{см}^{-1}$ ) = 0,010; 0,013 и 0,015 соответственно.

Зависимость средней амплитуды импульсов счетчика от точки попадания частицы в сцинтиллятор изучалась на широком пучке  $\pi$ -мезонов с малой угловой расходимостью  $\sim 2^\circ$  с применением двухкоординатной дрейфовой камеры. На рис.8 приведена зависимость средней амплитуды импульсов от расстояния до световода. Амплитудную неоднородность можно объяснить поглощением света в сцинтилляторе и небольшой длиной световода.

## 5. ЧЕРЕНКОВСКИЕ СЧЕТЧИКИ

Конструкция черенковского счетчика [рис.9] аналогична конструкции сцинтилляционного счетчика.

Радиатором счетчика служит дистиллированная вода, которая находится в контейнере из плексигласа. Верхняя и боковые грани контейнера и световод изготовлены из одного бруска плексигласа. Большие стенки сделаны из листов плексигласа толщиной 3 мм и приклеены дихлорэтаном. Толщина слоя воды равна 44 мм.

Три фотоумножителя типа ФЭУ-49Б размещены на большой грани световода, как и в сцинтилляционных счетчиках.

Для преобразования ультрафиолетовой части черенковского излучения в область чувствительности фотокатода ФЭУ-49Б в воде растворялась аминок-Г-кислота [8] до получения концентрации 80 мг/л. Зависимость амплитуды импульсов от концентрации аминок-Г-кислоты исследовалась на пучке  $\pi$ -мезонов с импульсом 275 МэВ/с и приведена на рис.10. При растворении в воде аминок-Г-кислоты амплитуда импульсов увеличивается примерно в 8 раз. Коэффициент увеличения амплитуды импульсов зависит от конструкции детектора и условий измерения, так как добавка кислоты преобразует направленное черенковское излучение в изотропное, для которого условия светособирания другие.

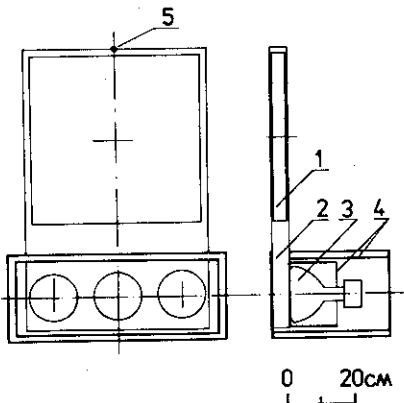


Рис.9. Конструкция черенковского счетчика: 1 - радиатор; 2 - световод; 3 - фотоумножителя; 4 - магнитная защита; 5 - светодиод.

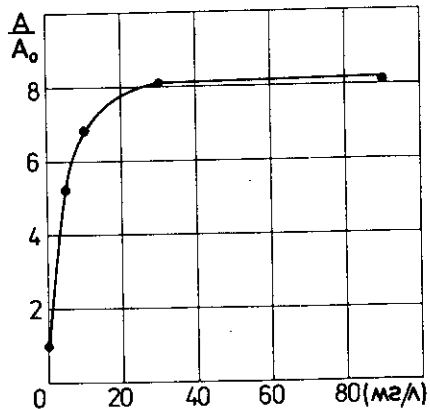


Рис.10. Зависимость амплитуды импульсов черенковского счетчика от концентрации аминокислоты,  $A_0$  - амплитуда импульсов от дистиллированной воды.

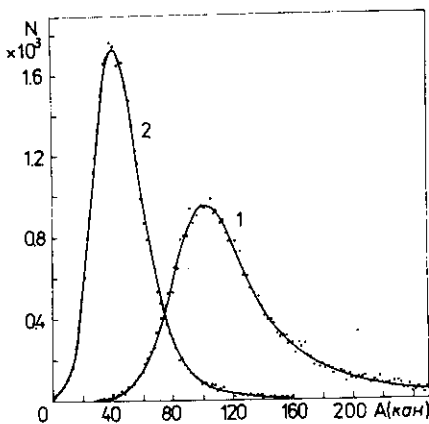


Рис.11. Амплитудные распределения импульсов черенковского счетчика, полученные на пучке электронов с энергией 150 МэВ /1/ и на пучке  $\mu$ -мезонов с энергией 91 МэВ /2/.

$\mu$ -мезонах с энергией на входе счетчика 91 МэВ. Амплитудное разрешение на электронах равно 57%, на  $\mu$ -мезонах 88%. Амплитуды импульсов на электронах и  $\mu$ -мезонах согласуются с зависимостью количества черенковских фотонов от скорости проходящей частицы.

В течение 2,5 лет работы раствор аминокислоты не менялся. Амплитудное разрешение за это время мало изменилось и для электронов стало равным  $59 \pm 60\%$ .



Особенностью конструкции сцинтилляционных и черенковских счетчиков является способ соединения световодов и фотоумножителей. Световод, входное окно фотоумножителя и тонкий слой полупрозрачного фотокатода образуют оптическую систему, в которой свет из-за полного внутреннего отражения может возвращаться к фотокатоду, приводя к увеличению квантового выхода<sup>/9/</sup>.

## 6. ЧЕРЕНКОВСКИЕ СПЕКТРОМЕТРЫ

Устройство спектрометра<sup>/10/</sup> показано на рис.12. Радиатором спектрометра является стекло ТФ-1 толщиной 240 мм /10 радиационных длин/. Стекло просматривается девятью фотоумножителями ФЭУ-49.

Магнитная защита состоит из двухслойного стального кожуха и цилиндров из пермаллоя, надетых на фотоумножители. Для устранения остаточного намагничивания экранов на спектрометре установлены две прямоугольные катушки. Размагничивание производится переменным током.

Аноды всех фотоумножителей объединены. Напряжения на фотоумножителях подбирались так, чтобы амплитуды импульсов от пучка электронов, направленного в центр спектрометра, были обратно пропорциональны дисперсиям амплитудных распределений с соответствующих ФЭУ.

Зависимость амплитудного разрешения от энергии электронов и зависимость амплитуды импульсов от энергии приведены на рис.13. Максимальное изменение амплитуды импульсов при смещении пучка относительно центра спектрометра на  $\pm 20$  см не превышает 10%. Зависимость амплитуды импульсов от угла падения частиц описывается формулой  $A = A_0 \cos \phi$ , при этом амплитуда импульсов не изменяется, пока толщина стекла по направлению пучка остается больше 100 мм.

Сцинтилляционные и черенковские счетчики и спектрометры калибровались также во время сеанса на синхроциклотроне ЛИЯФ АН СССР на позитронах, содержащихся в небольшом количестве /~1%/ в пучке  $\pi^+$ -мезонов с импульсом 500 МэВ/с. Амплитудное разрешение детекторов получилось равным:

$$\Delta A_S = 38\%; \quad \Delta A_C = 68\%; \quad \Delta A_{SP} = \frac{460}{\sqrt{E - 26}}\%.$$

Ухудшение разрешения связано, по-видимому, с большими загрузками детекторов  $\pi$ -мезонами.

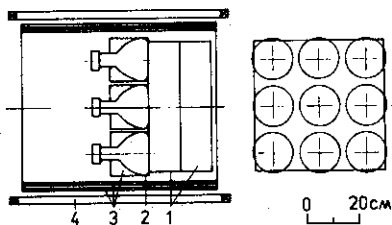


Рис.12. Конструкция черенковского спектрометра: 1 - стекло ТФ-1; 2 - фотоумножители; 3 - магнитная защита; 4 - размагничивающие катушки. Справа приведена схема размещения фотоумножителей.

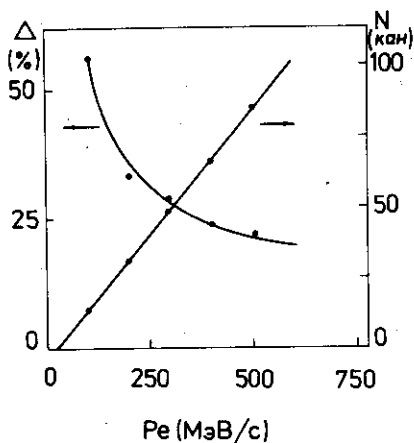


Рис.13. Зависимость амплитудного разрешения спектрометра  $\Delta/\%$  и амплитуды импульсов в каналах от импульса электронов.

Временное разрешение детекторов определялось на основе информации, записанной на магнитные ленты при наборе статистического материала. Во время обработки была проведена время-амплитудная коррекция, после чего временное разрешение детекторов улучшилось примерно в два раза и стало равно:

$$\Delta t_s = 4 \text{ нс}; \quad \Delta t_c = 8 \text{ нс}; \quad \Delta t_{sp} = 5 \text{ нс}.$$

## 7. МИШЕНИ

В эксперименте использовалась мишень из  ${}^7\text{Li}$  диаметром 121 мм и длиной 122 мм.

Литий - металл с высокой химической активностью. При комнатной температуре вследствие каталитического действия влаги воздуха на поверхности мишени образуется нитрид и кислородные соединения лития <sup>11</sup>. Поэтому мишень хранилась в парафине. На время экспозиции она вынималась из расплавленного парафина. Оставшийся на мишени тонкий слой парафина предохранял ее от контакта с воздухом.

Для продолжения исследований процесса ОЭП на водороде в криогенном отделе ЛВЭ была изготовлена жидководородная мишень с тонкими стенками <sup>12</sup>. Мишень состоит из внутреннего сосуда и вакуумного кожуха. Внутренний сосуд диаметром 70 мм и длиной 500 мм выполнен из лавсана толщиной 0,19 мм. Вакуумный кожух изготовлен из пенопласта. На пенопласт надета тонкая герметичная оболочка из лавсана. Количество вещества стенок в направлении, перпендикулярном пучку, равно 0,21 г/см<sup>2</sup>, или 0,005

радиационной длины. Питание мишени осуществляется из дополнительного сосуда емкостью 50 л, расположенного над мишенью.

## 8. ПРИЕМ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Электроника состоит из наносекундных блоков<sup>/13/</sup> и блоков КАМАК<sup>/14/</sup>. При регистрации события в блоки КАМАК записываются 56 параметров: амплитуды импульсов мониторных счетчиков S1M и S2M /2 параметра/, амплитуды и временное положение импульсов детекторов S, C и SP /18 параметров/, номера сработавших проволок и времена дрейфа /36 параметров/. Эта информация передается в ЭВМ PDP-11, затем в ЭВМ ЕС-1030, где записывается на магнитные ленты. Для контроля на ЭВМ получались распределения по всем параметрам и по номерам проволок проверялось наличие треков в дрейфовых камерах.

Авторы благодарны Р.П.Сокольской за разработку и изготовление чертежей платформы и рельсовых путей, В.В.Ализеде за изготовление мишени <sup>7</sup>Li, А.Г.Атаманчуку и П.В.Неустроеву за организацию связи установки с ЭВМ, Н.А.Владимировой, В.М.Кудрявцеву, Д.Л.Николаеву, С.Г.Пластининой, Г.В.Покидовой, В.А.Смирнову и В.Ф.Чуркиной за помощь при создании аппаратуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Демьянов А.В. и др. ОИЯИ, 13-7683, Дубна, 1974.
2. Бережнев С.Ф. и др. ЯФ, 1977, 26, с.547.
3. Алексеев Г.Д. и др. ОИЯИ, P1-81-773, Дубна, 1981.
4. Гордеев В.А. и др. Препринт ЛИЯФ-86, Л., 1974.
5. Алексеев Г.Д. и др. ОИЯИ, P13-81-762, Дубна, 1981.
6. Alekseev G.D. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1980, 177, p.385.
7. Карпухин В.В. ПТЭ, 1980, №2, с.88.
8. Купцов А.В., Неменов Л.Л., Чиркин Ю.М. ПТЭ, 1971, №4, с.77.
9. Baillon P. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1975, 126, p.13.
10. Бережнев С.Ф. и др. ОИЯИ, 13-6192, Дубна, 1971.
11. Филянд М.А., Семенова Е.И. Свойства редких элементов. Изд-во "Металлургия", М., 1964.
12. Голованов Л.Б., Мазарский В.Л. ПТЭ, 1975, №4, с.252.
13. Борейко В.Ф. и др. ОИЯИ, P13-12334, Дубна, 1979.
14. Антюхов В.А. и др. ОИЯИ, 10-12912, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 декабря 1981 года.