

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗУУ.13 5265/2-76

B-19

13 - 10074

31-772

А.Т.Василенко, В.П.Зрелов, Л.Колларова, Д.Коллар,
В.П.Лупильцев, П.Павлович, Я.Ружичка, В.И.Сидорова,
М.Ф.Шабашов, П.Шулек, Р.Яник

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОИСКА МОНОПОЛЯ ДИРАКА
ПО ИЗЛУЧЕНИЮ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА
НА ПРОТОННОМ СИНХРОТРОНЕ 70 ГЭВ ИФВЭ

1976

13 - 10074

А.Т.Василенко, В.П.Зрелов, Л.Колларова, Д.Коллар,
В.П.Лупильцев, П.Павлович, Я.Ружичка, В.И.Сидорова,
М.Ф.Шабашов, П.Шулук, Р.Яник

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОИСКА МОНОПОЛЯ ДИРАКА
ПО ИЗЛУЧЕНИЮ ВАВИЛОВА-ЧЕРЕНКОВА
НА ПРОТОННОМ СИНХРОТРОНЕ 70 ГЭВ ИФВЭ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

I. ВВЕДЕНИЕ

До сих пор поиск магнитных зарядов, предсказанных впервые Дираком^{/1/}, или монополей Дирака, производился как в космических лучах, так и на ускорителях либо по ожидаемой сильной ионизирующей способности ($\sim 8 \text{ ГэВ см}^2/\text{г}$), либо по наведенной э.д.с. в замкнутом сверхпроводящем контуре при пролете через него магнитного заряда^{/2/}.

В эксперименте^{/3,4/} впервые использовалась возможность поиска релятивистских магнитных зарядов по излучению Вавилова-Черенкова. Такая методика поиска позволяет производить эксперимент при значительном фоне заряженных частиц благодаря двум обстоятельствам:

1. Интенсивность излучения Вавилова-Черенкова от магнитного заряда с $g=68,5e \cdot n$ превосходит интенсивность излучения от частицы, обладающей электрическим зарядом согласно^{/5/} в $10^4 n^2$ раз (при одинаковых скоростях и длинах пробегов).

2. Поляризация излучения Вавилова-Черенкова от магнитного заряда, как заметил Франк^{/6/}, должна отличаться от поляризации излучения электрического заряда поворотом электрического вектора на угол 90° . Это создает благоприятные возможности для дополнительной дискриминации фонового излучения от заряженных частиц. Кратко метод поиска магнитных зарядов по излучению Вавилова-Черенкова описан ранее в^{/7/}.

II. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Осуществление идеи поиска магнитных зарядов по ожидаемой значительной вспышке излучения Вавилова-Черенкова с соответствующей поляризацией потребо-

вало создания специальной установки для работы на внутренней мишени протонного синхротрона на энергию 70 ГэВ Института физики высоких энергий.

Установка по поиску монополя Дирака (УПМД) была размещена в 46-ом промежутке кольца ускорителя (рис. 1). Общий вид установки показан на рис. 2 и 3 (вид против пучка и изнутри кольца соответственно).

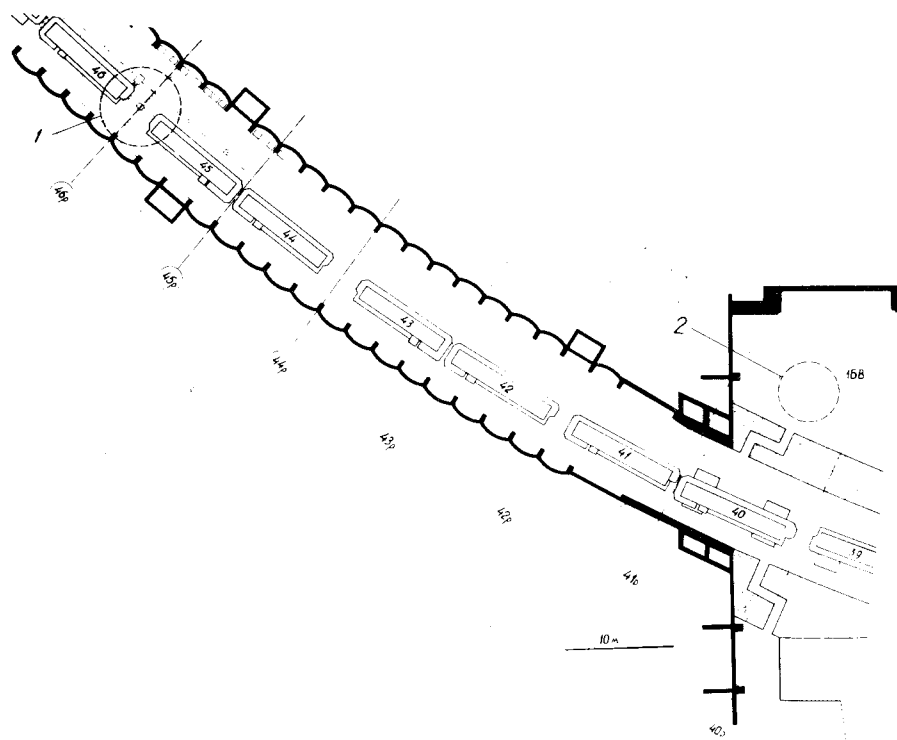


Рис. 1. Вид кольца протонного синхротрона ИФВЭ в районе 46 промежутка: 1 - место расположения УПМД; 2 - место расположения регистрирующей аппаратуры.

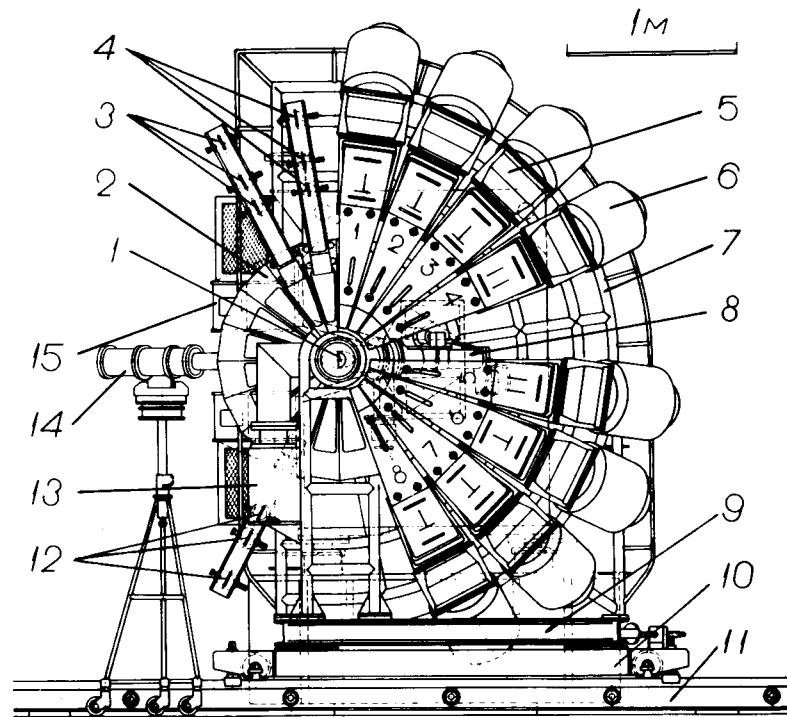


Рис. 2. Общий вид УПМД (вид против пучка на 46-м промежутке ускорителя ИФВЭ): 1 - мишень-радиатор; 2 - вакуумная камера; 3,4,12 - сцинтилляционные счетчики мониторов; 5 - восемь одинаковых счетчиков Черенкова; 6 - свинцовая защита; 7 - ферма-опора; 8 - механизм ввода мишени; 9 - поворотная плита; 10 - опорная плита; 11 - рельсы; 13 - дополнительный титановый насос; 14 - телевизионная установка ПТУ-101; 15 - обмотка 45-го блока магнита ускорителя.

УПМД состояла из следующих основных частей: 1) мишени-радиатора, 2) вакуумной камеры, 3) счетчиков Черенкова, 4) механизма ввода мишени, 5) пульта управления, 6) мониторов, 7) системы синхронизации и регистрации, 8) быстрой электроники.

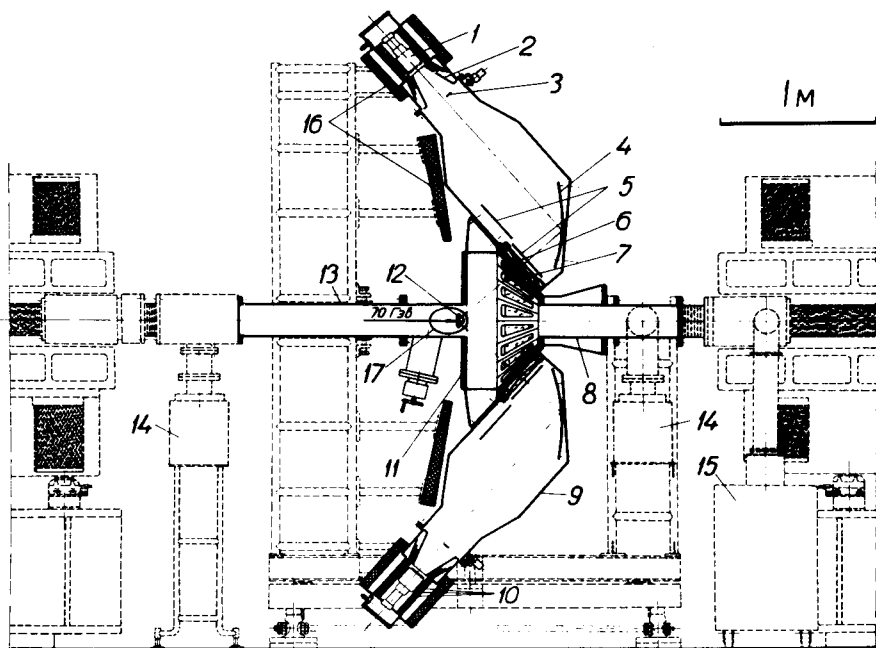


Рис. 3. Вид УПМД изнутри кольца ускорителя: 1 - фотумножитель 58 AVP ; 2 - коническое зеркало; 3 - шторка; 4 - составное плоское зеркало, напыленное Al ; 5 - поляриды; 6 - фокусирующая линза с $f = 115$ см; 7 - выпускное окно вакуумной камеры; 8 - соединительная труба диаметром 200 мм; 9 - светонепроницаемый кожух; 10 - магнитная защита ФЭУ; 11 - вакуумная камера УПМД; 12 - мишень-радиатор; 13 - труба; 14 - титановые насосы; 15 - вакуумный пост; 16 - свинцовая защита ФЭУ; 17 - отверстие, через которое вводится мишень в камеру ускорителя.

1. Мишень-радиатор

Для того, чтобы наблюдать акты рождения как стабильных, так и нестабильных магнитных зарядов с $\tau_g \gtrsim 3 \cdot 10^{-11}$ с,

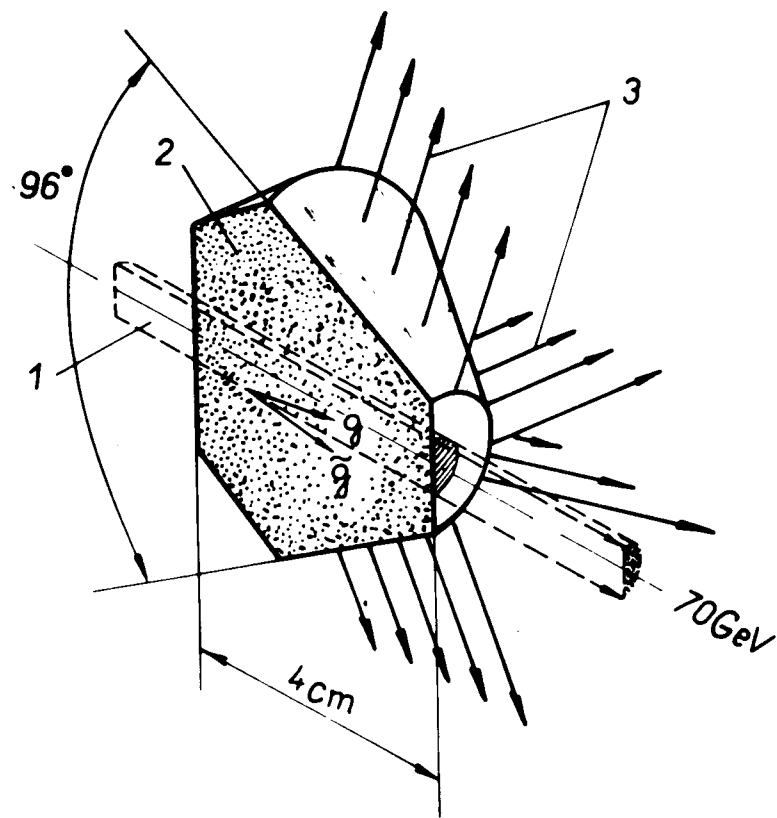


Рис. 4. Мишень-радиатор: 1 - пучок протонов 70 ГэВ; 2 - мишень - усеченный конус из кварца, 3 - излучение Вавилова-Черенкова.

использовалась совмещенная мишень-радиатор (рис. 4), изготовленная из радиационно-стойкого оптического кварца ("Herasil-1") в форме половины усеченного конуса с углом раствора при вершине $2\alpha = 96^\circ$.

Магнитные заряды, рожденные при взаимодействии протонов с энергией 70 ГэВ с пучками ядер Si и O мишени, как показывают кинематические расчеты, в основном имеют скорости $\beta > 0,9$, что существенно превышает порог возникновения излучения Вавилова-Черенкова в кварце $\beta_{\text{пор}} = 0,68$.

Излучение от пар монополю-антимонуполь должно было испускаться через полированную коническую поверхность. Плоская грань мишени была зачернена и поглощала часть конуса излучения от первичного пучка протонов. Радиационная длина кварца $X_0(\text{SiO}_2) = 12,4$ см. Вершина конуса была обрезана, чтобы избежать большой расходимости излучения, в результате чего эффективная толщина мишени по направлению пучка протонов составила ~ 3 см ($\sim 6,75$ г/см²).

2. Вакуумная камера УПМД

Вакуумная камера УПМД, которая являлась одновременно и частью кольца протонного синхротрона ИФВЭ, обеспечивала вакуум $\sim 10^{-6}$ мм рт.ст. Она была изготовлена из нержавеющей стали. Для выпуска излучения, возникающего в мишени-радиаторе, камера имела 8 трапециевидных окон, в каждое из которых попадала часть конуса излучения в пределах азимутального угла $\Delta\phi = \pm 3,5^\circ$. Это позволяло хорошо анализировать излучение по поляризации. Камера имела два патрубка. Через один из них проводилось наблюдение за мишенью-радиатором с помощью телевизионной камеры ПТУ-101. Через другой осуществлялся дистанционный ввод и вывод мишени.

3. Счетчики Черенкова

Счетчики Черенкова анализировали излучение по поляризации и амплитуде. Каждый счетчик (рис. 5) имел фокусирующую линзу (3) из плексигласа с $f = 115$ мм, по два поляроида (4) с взаимно перпендикулярной поляризацией, сменяющихся дистанционно. Наборные плоские зеркала (5), смонтированные на общей платформе с регу-

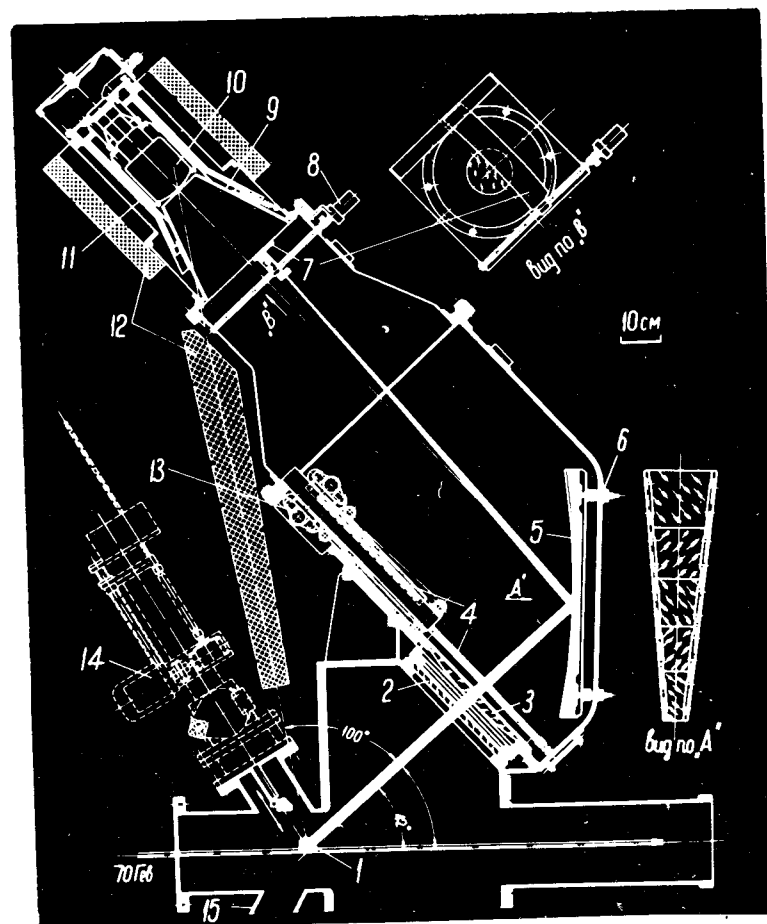


Рис. 5. Счетчик Черенкова: 1 - мишень из SiO_2 ; 2 - выпускное окно вакуумной камеры; 3 - фокусирующая линза; 4 - поляриды; 5 - наборное плоское зеркало с регулировочными винтами-6; 7 - шторка с механизмом дистанционного перемещения; 8,9 - собирающий зеркальный конус; 10 - ФЭУ 58 АУР; 11 - магнитная экранировка ФЭУ; 12 - свинцовая защита ФЭУ; 13 - система дистанционного перемещения поляридов; 14 - механизм ввода мишени.

лировочными винтами (6), отражали излучение к фотомножителям 58 AVP (10). Для отсечки излучения Вавилова-Черенкова от первичного пучка протонов 70 ГэВ в фокальной плоскости линзы устанавливалась дистанционно перемещающаяся шторка (7) шириной 65 мм. ФЭУ 58 AVP с диаметром фотокатода 110 мм экранировались многослойной магнитной защитой (11). От фокальной плоскости линзы на фотокатод ФЭУ излучение собиралось коническими зеркалами (9).

По азимуту счетчики Черенкова располагались через 18° так, как показано на рис. 2. В счетчиках 1,2,3,6,7,8 стояли поляроиды, которые должны были пропускать излучение от магнитных зарядов с перпендикулярной поляризацией (" \perp "), а в счетчиках 4 и 5-поляроиды, которые должны были пропускать излучение от заряженных частиц с параллельной (" \parallel ") поляризацией. Это позволяло более надежно анализировать детектируемые частицы.

Случаю рождения монополя в мишени должно было сопутствовать появление больших импульсов в счетчиках 1,2,3,6,7,8 и отсутствие таковых в счетчиках 4 и 5.

4. Механизм ввода

Общий вид механизма ввода (МВ) показан на рис. 6. В связи с тем, что в момент инжекции протонов с энергией 100 МэВ в кольцо ускорителя протоны занимают весь объем вакуумной камеры, мишень-радиатор должна находиться вне камеры. По мере ускорения протонов и увеличения магнитного поля пучок протонов сжимается до диаметра $7+10$ мм за время $t \approx 1$ с. С этого момента может быть дан старт мишени. Фазы процесса ввода мишени, синхронизованные по времени с циклом ускорения протонов, иллюстрируются рис. 7.

Мишень (1) находилась на ползуне (2) кривошипно-шатунного механизма (5). Ход ползуна вместе с мишенью составлял 114 мм. Привод возвратно-поступательного движения осуществлялся электродвигателем (12) мощностью ~ 180 Вт через вал (6), уплотненный на вакуум 0-образными резинками (7), редуктор и безударный

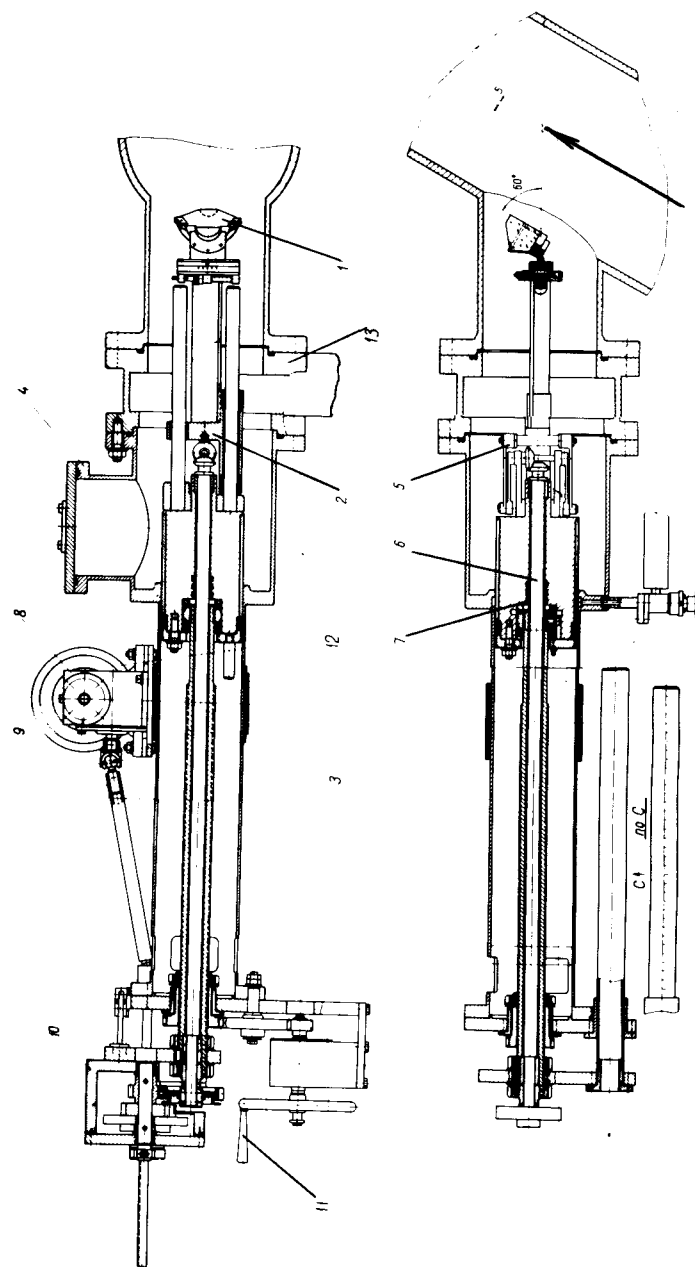


Рис. 6. Механизм ввода мишени: 1 - мишень-радиатор; 2 - ползун; 3 - силовой шток механизма ввода (ход 340 мм); 4 - шлюз для смены мишени; 5 - шатун; 6 - приводной вал кривошипно-шатунного механизма; 7 - уплотняющие резиновые кольца; 8 - редуктор; 9 - карданный вал; 10 - редуктор с безударным механизмом; 11 - ручной привод механизма ввода; 12 - электродвигатель возвратно-поступательного механизма мишени (ход 114 мм); 13 - вакуумный шибер.

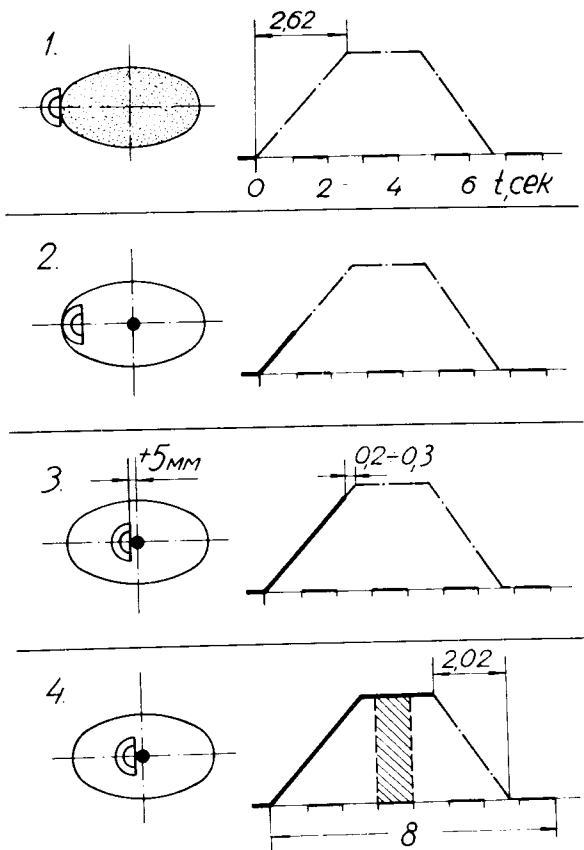


Рис. 7. Фазы ввода мишени. 1. Исходное положение мишени. Инжекция протонов с энергией 100 МэВ ($N = 73 \text{ Э}$) в кольцо ускорителя ($t=0$). 2. Старт мишени. Энергия ускоренных протонов $E_p \approx 40 \text{ ГэВ}$, $t = (1,5 + 1,7) \text{ с}$. 3. Рабочее положение мишени. $R = +5 \text{ мм}$ (мишень не доходит до центра камеры ускорителя 5 мм с внешней стороны кольца ускорителя, $E_p \approx 70 \text{ ГэВ}$, $t = (2,4 + 2,6) \text{ с}$). 4. "Бамп" наведения протонов в режиме "стола". $E_p = 70 \text{ ГэВ}$ ($N = 12 \text{ кЭ}$). Заштрихованная область - временные "ворота" работы электроники УПМД. 5. Возвращение мишени в исходное положение к началу следующего цикла.

механизм (10), карданный вал (9) и редуктор (8). Для большей надежности двигатель тормозился при помощи ленточного магнитного тормоза. Доставка мишени-радиатора в исходное положение из шлюза (4) осуществлялась силовым штоком (3) от мотора мощностью $\sim 500 \text{ Вт}$. При замене мишени через окно шлюза (4) высокий вакуум в камере ускорителя перекрывался шибером (13). Все операции с МВ осуществлялись дистанционно. С помощью МВ было сделано $\sim 120\,000$ вводов мишени без отказов в работе.

5. Пульт управления

Поскольку после окончания каждого сеанса работы УПМД на внутреннем пучке протонов при интенсивности до $\sim 10^{12}$ протонов/цикл мишень-радиатор имела активность до $(100 + 200) \text{ Р/ч}$, все операции с УПМД проводились дистанционно с пульта управления. Пульт управления позволял автоматически производить все операции с механизмом ввода, шибером, а также дистанционно перемещать поляроиды, шторки, контролировать и выявлять различные неисправности в работе механизма ввода.

Пульт управления включал в себя электронную логическую схему, выполненную на специально разработанных логических ячейках, автоматически и в определенной последовательности подключающую электроприводы рабочих узлов к источникам питания, а также позволяющую вводить мишень, синхронно с моментом инжекции протонов, в кольцевую камеру ускорителя с любым сдвигом во времени и на любую координату по радиусу кольца. Положения всех движущихся частей установки индцировались в цифровой десятичной форме. Все ошибочные включения подвижных частей, которые могли бы привести к авариям, связанным с механическими поломками или нарушением вакуума в кольце, блокировались электронной логикой, источниками сигналов для которой служили состояния концевых или индуктивных датчиков^{/8/}. Открывание шибера, предшествующее перемещению механизма ввода в рабочее состояние, было возможно

лишь при достижении в шлюзе вакуума $\sim 10^{-3}$ мм.рт.ст. Шлюз откачивался форвакуумным насосом, а датчиком вакуума служила вакуумметрическая лампа типа МТ-6 с прибором ВСБ-1.

6. Мониторы

Для определения полного числа протонов, прошедших через мишень-радиатор, использовались два сцинтилляционных телескопа, каждый из которых состоял из трех сцинтилляционных счетчиков, включенных на совпадения. В счетчиках использовались фотоумножители ФЭУ-30 со стандартными делителями. Для получения приемлемых загрузок счетчиков сцинтилляторы имели размер $8 \times 8 \times 50$ мм³. Применение таких сцинтилляторов, а также воздушных световодов позволяло эффективно регистрировать частицы только от мишени. Калибровка счетчиков производилась при полном сбросе ускоренных протонов только на мишень-радиатор (число протонов в кольце с точностью $\sim 10\%$ измерялось группой эксплуатации ускорителя на главном пульте). В диапазоне изменения интенсивности протонов в различных экспозициях от $\sim 5 \cdot 10^{10}$ до $2 \cdot 10^{12}$ с⁻¹ счетные характеристики мониторов были линейными.

Контроль за сбросом протонов на мишень производился с помощью сцинтилляционного счетчика с ФЭУ-29, выходной сигнал с которого интегрировался с постоянной времени $\tau > 100$ мкс. Этот счетчик включался в цепь обратной связи и управлял амплитудой "бампа" (блока амплитудной модуляции магнитного поля), наводящего пучок на мишень. Изменением напряжения питания на этом счетчике можно было варьировать количество протонов, сбрасываемых на мишень УПМД.

7. Система синхронизации и регистрации

При наборе статистики производилась регистрация следующих параметров: 1) показаний 1-го и 2-го мониторов; 2) числа трехкратных совпадений от каждой из

двух групп счетчиков Черенкова; 3) числа 6-кратных совпадений; 4) интенсивности протонов в каждом цикле; 5) интеграла интенсивности; 6) номера цикла; 7) скорости счета в отдельных счетчиках. Эта информация подавалась в стойку "Печать", работающую в "старт-стопном" режиме синхронно с циклами равномерного сброса протонов на мишень. Время счета, его начало и конец задавались системой таймеров с точностью до 1 мс. Это позволяло исследовать временную структуру сброса протонного пучка и "отрезать" как участки сброса "неразбанчиваемого" пучка, так и участки сброса на стенки ускорительной камеры. Вся информация со стойки "Печать" считывалась цифропечатающей машиной ЦПМ-1. Совпадающие в шести счетчиках Черенкова импульсы усиливались усилителями УЗ-11 и подавались на вертикально-отклоняющие пластины двух быстрых пятилучевых осциллографов^{19/}. Последние через схему самоблокировки запускались импульсами 6-кратных совпадений. Осциллограммы фотографировались камерами РФК-5, работающими в ждущем режиме. На каждом кадре, кроме осциллограмм, регистрировался номер цикла, что позволяло сопоставлять данный кадр с отвечающей ему информацией на ленте ЦПМ-1.

8. Быстрая электроника

Блок-схема электроники показана на рис. 8. Импульсы с анодов ФЭУ 58AVP счетчиков Черенкова 1,2,3,6,7,8 через дискриминаторы $d_{1,2,3,6,7,8}$ и линии задержек DL_{1,2,3,6,7,8} подавались на две схемы 3-кратных совпадений СС₁ и СС₂ с разрешающим временем $\tau = 5$ нс. Импульсы совпадений от этих схем поступали на схему двойных совпадений СС₃ с $\tau = 10$ нс. Импульсы 6-кратных совпадений запускали развертку двух быстрых пятилучевых осциллографов 5RO-1 и 5RO-2. С помощью этих осциллографов регистрировались импульсы, поступающие с последних диодов восьми фотоумножителей 58AVP.

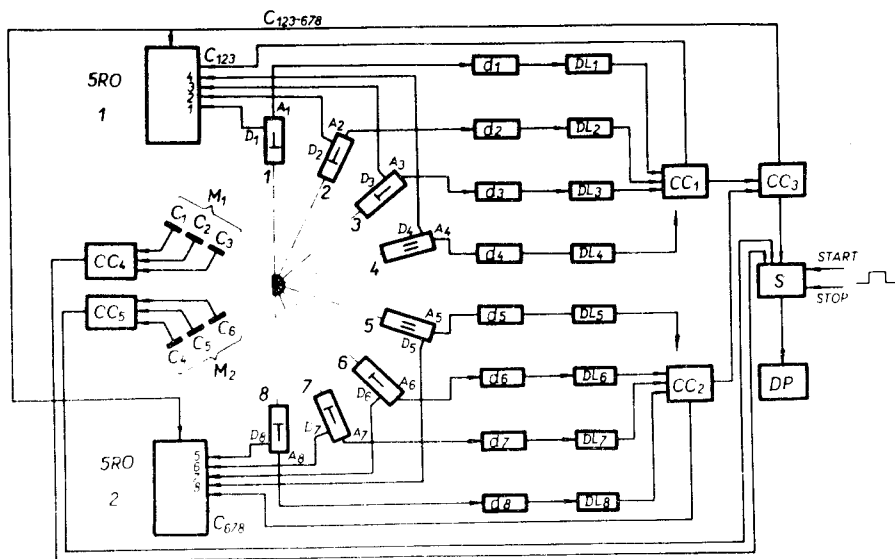


Рис. 8. Блок-схема электроники: $A_1 D_1 \div A_8 D_8$ - аноды - диноды ФЭУ 58 AVP; $d_1 \div d_8$ - дискриминаторы; $DL_1 \div DL_8$ - линии задержки; $CC_1 \div CC_5$ - схемы совпадений; 5 RO - пятилучевые осциллографы; S - пересчетные блоки; DP - цифрпечать; M_1 и M_2 - мониторы.

Случаю рождения монополя Дирака с $g = 68,5 e$ должно было сопутствовать появление больших импульсов с $N \geq 400$ ф.эл. (N - число фотоэлектронов, выбиваемых с фотокатода ФЭУ) одновременно в счетчиках 1,2,3,6,7,8 и отсутствие таковых в 4 и 5 счетчиках.

Калибровка величин импульсов с фотоумножителей 58 AVP (в числе фотоэлектронов, выбиваемых излучением Вавилова-Черенкова с фотокатода) производилась стандартной методикой ^{10/} по отношению полной ширины на полувысоте амплитудного распределения к его амплитуде в максимуме. Измерения производились с помощью

импульсных световых источников, оптического устройства с поляроидами и анализатора NTA-512. Точность такой процедуры калибровки, по нашим расчетам, составляла $\pm 20\%$.

Некоторые особенности, связанные с работой ФЭУ (УПМД) в условиях больших нагрузок, описаны ранее в ^{11,12/}.

III. ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПМД

Вероятность зарегистрировать в установке ПМД реакцию



которая, как предполагается, привела бы к возникновению пары частиц g, \bar{g} , обладающих магнитными зарядами разного знака, выражается как отношение интегрального выражения

$$S(h) = \int \prod_1^4 \frac{d^3 \vec{p}_i}{2E_i} \delta^4 \left(\sum_1^4 (\vec{p}_i - \vec{p}_0) \right) \int dx dy dz V(x,y) e^{-z/\lambda} F(p_3, p_4, x, y, z, h) \quad (2)$$

к такому же, в котором, однако, положено $F \equiv 1$.

Здесь \vec{p}_i, E_i - импульсы и полные энергии частиц в порядке их следования в правой части реакции (1); \vec{p}_0 - импульс центра тяжести системы частиц (1) (настоящие расчеты проводились в предположении, что нуклоны мишени находятся во внутриядерном движении с импульсным распределением Ферми и максимальной границей $p_F = 0,22$ ГэВ/с; x, y, z - пространственные координаты, определяющие точку взаимодействия в объеме (v) мишени-радиатора; $V(x, y)$ - плотность распределения протонов в плоскости, перпендикулярной пучку протонов (эта функция определялась экспериментально при помощи контактного облучения рентгеновской фотопленки мишенью-радиатором и последующего ее микрофотометрирования); $\lambda = 39,5$ см - средний свободный пробег протонов с энергией 70 ГэВ в SiO_2 по отношению к неупругим процессам, эта величина находилась на основе расчета по теории Глаубера ^{13/} соответствующих сечений неупругих процессов, вызванных протонами на ядрах мишени-радиатора; $F(p_3, p_4, x, y, z, h)$ - плотность

вероятности того, что процесс (1) с импульсами \vec{p}_3, \vec{p}_4 частиц g и \bar{g} , происшедший в точке (x, y, z) внутри мишени, будет зарегистрирован установкой, если порог регистрации составляет h фотоэлектронов, выбиваемых из фотокатодов ФЭУ в 1,2,3,6,7 и 8 счетчиках Черенкова (6-кратные совпадения).

Выражение (2) представляет собой интеграл по фазовому объему (в пространстве импульсов \vec{p}_i) 4-частичной системы в правой части (1). Как видно из (2), при расчете эффективности наблюдения процесса (1) предполагалось, что возможные состояния системы (1) однородно заполняют физическую часть фазового пространства, т.е. принималось, что квадрат амплитуды процесса (1) $|M^2| \approx 1$. Такое предположение является результатом того, что не существует сколь-нибудь обоснованных представлений относительно динамики гипотетического процесса (1).

Расчет эффективности установки проводился по методу Монте-Карло. Программа расчета была создана на основании известной программы FOWL^{/14/}. При этом методом блокировки разыгрывались случайные звезды веса 1. С целью определения значений функции F путь каждого монополя от точки его возникновения до точки, в которой его скорость стала ниже порога испускания излучения Вавилова-Черенкова ($\beta \approx 0,682$ в случае SiO_2), разбивался на несколько десятков (максимально 50) коротких участков. На протяжении каждого из них угол испускания излучения Вавилова-Черенкова принимался не изменяющимся и равным тому, который имел место в середине участка. Вершина конуса излучения помещалась в середину участка, и весь конус разбивался на 360 лучей, отличающихся друг от друга на 1° по азимуту. С каждым световым лучом связывалось некоторое весовое число, определяющее в единицах фотоэлектронов, выбиваемых из фотокатода ФЭУ 58AVP, воздействие данного луча в случае его попадания на фотокатод ФЭУ. Путем тригонометрического расчета исследовался ход луча в оптической системе установки. Такой расчет производился для всех участков пути обоих генерированных в данном событии монополей. После этого по суммам

весовых чисел для ФЭУ в отдельных счетчиках Черенкова и в согласии с использованной электронной логикой эксперимента определялось значение функции F , т.е. выяснялось, было ли данное событие зарегистрировано или нет.

Расчеты эффективности проводились в предположении, что магнитный заряд монополя равен величине $g = (137/2)e$ (e - электрический заряд электрона) и что отношение интенсивностей излучения Вавилова-Черенкова от монополя с магнитным зарядом g и от электрического заряда e при одинаковой скорости обоих равно $g^2 \epsilon / e^2 \mu^{1/2}$ (μ - магнитная и ϵ - диэлектрическая проницаемость среды).

Результаты расчета эффективности для масс монополей 3,4,5 и 5,5 протонных масс, для магнитных зарядов $g = g_D, (g_D = \frac{137}{2}e), g = \frac{1}{2}g_D$, а также $g = 2g_D$ для $m = 5m_p$ при порогах регистрации 250 и 400 фотоэлектронов приведены в табл. 1 работы^{/4/}.

Здесь же укажем только то, что эффективность установки к регистрации магнитных зарядов $1g_D$ и $2g_D$ с массами m_g от 3 до $5,5m_p$ при пороге $h \geq 400$ ф.э. равнялась $\eta \approx 0,1$. Физические результаты по поиску монополя Дирака, достигнутые на этой установке, приведены тоже в работе^{/4/}.

В заключение следует отметить, что успешная эксплуатация УПМД на внутренней совмещенной мишени-радиаторе протонного синхротрона показала высокую эффективность и перспективность такого метода поиска монополя Дирака. С возрастанием энергии ускоренных протонов преимущества и возможности метода существенно возрастают (см., например, проект эксперимента^{/15/}).

Авторы благодарны директору Лаборатории ядерных проблем члену-корреспонденту АН СССР В.П.Джелепову, профессору А.А.Тяпкину за разностороннюю помощь при создании УПМД; коллективам экспериментальных мастерских Лаборатории ядерных проблем и Центральных экспериментальных мастерских ОИЯИ, особенно К.А.Байчеру, В.Е.Савину, Н.И.Семенову, С.И.Мельникову, В.А.Богомолу, А.Г.Макарову, Ю.И.Кузнецову, В.А. и Н.А.Морозовым, Б.И.Мельникову, Н.А.Петухову,

И.Е.Лисенко, В.П.Комарченко и Г.И.Алексеевой; сотрудникам предприятия "Диоптра" (г.Турнов, ЧССР) за изготовление оптических изделий к УПМД; доктору физико-математических наук В.Б.Флягину за содействие в приобретении фотоумножителей 58AVP и радиационно-стойкого кварца; кандидату физ.-мат. наук С.М.Елисееву за полезные обсуждения расчетов, а также Л.С.Вергоградову и Л.Шандору за помощь при освоении программы FOWL.

ЛИТЕРАТУРА

1. P.A.M.Dirac.Proc.Roy.Soc., A133,60(1931); P.A.M.Dirac.Phys.Rev.,74,817(1948).
2. R.R.Ross,P.H.Eberhard,L.W.Alvarez and R.D.Watt.Preprint LBL-1730/SLAC Pub-1249, 1249(1973).
3. V.P.Zrelov, L.Kollárová,D.Kollár,V.P.Lupiltsev,P.Pavlovič,J.Ružička,V.I.Sidorova, M.F.Shabashev,P.Šulek and R.Janik.Preprint JINR,El-6946,Dubna,1973.
4. В.П.Зрелов, Л.Колларова, Д.Коллар, В.П.Лупильцев, П.Павлович, Я.Ружичка, В.И.Сидорова, М.Ф.Шабашов, Р.Яник. Препринт ОИЯИ, P1-7996, Дубна, 1974.
5. И.М.Франк. Памяти С.И.Вавилова. Изд. АН СССР, Москва, 1952, стр. 193.
6. П.А.Черенков, И.Е.Тамм, И.М.Франк. Нобелевские лекции, Физматгиз, Москва, 1960.
7. В.П.Зрелов, Д.Коллар, П.Павлович, Я.Ружичка, М.Ф.Шабашов, П.Шулек, Р.Яник, В.И.Сидорова. Авторское свидетельство №330792, Бюллетень ОИПОТЗ №16, Москва, 1972, стр. 247.
8. Р.Яник, М.Ф.Шабашов. Сообщение ОИЯИ, 13-6893, Дубна, 1973.
9. Ю.М.Антипов и др. Препринт ИФВЭ, СЭФ-67-24, Серпухов, 1967.
10. Д.Коллар, В.П.Лупильцев, М.Ф.Шабашов. Сообщение ОИЯИ, 13-9002, Дубна, 1975.

11. Д.Коллар, Л.Колларова, М.Ф.Шабашов. Сообщение ОИЯИ, 13-9003, Дубна, 1975.
12. Д.Коллар. Сообщение ОИЯИ, 13-9004, Дубна, 1975.
13. S.M.Eliseev.Acta Physica Polonica, V1,83 (1970).
14. F.James.Preprint CERN 68-15,Geneve,1968.
15. D.R.Tompkins,G.A.Rebka,A.R.Kunselman. NAL Proposal No 19-A,1970.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 августа 1976 года.