

9/vi_80

f



**объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна**

2476/2-80

P13-80-78

**Л.С.Вертоградов, Я.В.Гришкевич, Б.А.Муравьев,
Г.Петер, В.И.Петрухин, Д.Позе, Х.Том, А.Швиндт,
Г.А.Шелков, К.Шпиринг**

**ЭЛЕКТРОДНЫЙ МОДУЛЬ
СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ СПЕКТРОМЕТРА РИСК**

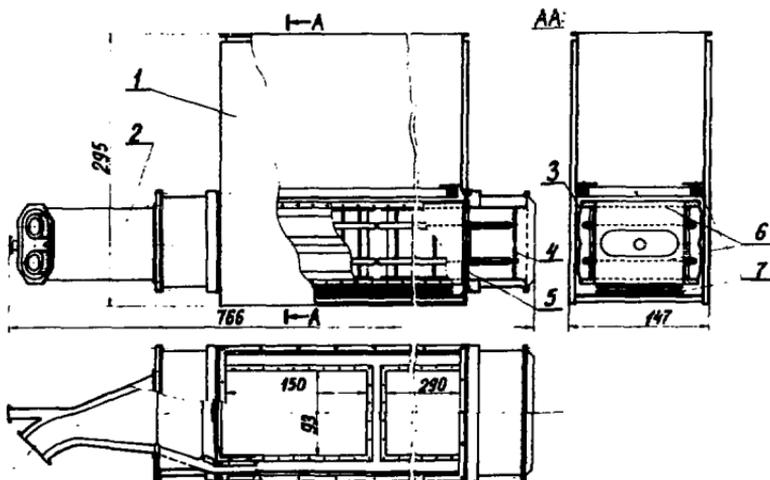
Направлено в ПТЭ

1980

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе описывается устройство 6-метрового электродного модуля стримерной камеры спектрометра РИСК⁷¹, приводятся результаты некоторых расчетов и моделирования по оптимизации его конструкции. Большие размеры и сложность всей стримерной камеры оправдывают с точки зрения ее конструкции разделение камеры на ряд отдельных узлов /модулей/, стыкующихся между собой. С другой стороны, конфигурация и устройство электродного модуля стримерной камеры как части универсального спектрометра в значительной мере определяются конкретной постановкой того или иного эксперимента. Учитывая, что в современной стримерной камере основные затраты идут на оптическую и высоковольтную системы, вполне допустимо иметь несколько электродных модулей.

Описываемый здесь вариант электродного модуля имеет две камеры рабочего объема /5/, размещенные в общем корпусе, *рис.1.*



Вид сверху (без верхней реперной рамы)

Рис.1. Стримерная камера: 1 - термостатируемый корпус /нижняя часть/; 2 - переходник; 3 - боковая стенка корпуса электродного модуля; 4 - резисторная нагрузка; 5 - рабочая камера; 6 - сеточные электроды модуля; 7 - рамы реперных плоскостей.

В ряде экспериментов один из рабочих объемов окружается сцинтилляционным годоскопом. Электрически модуль представляет собой закрытую с боков двойную полосковую линию передачи без среднего заземляемого электрода ^{/2,3,4/}. По высоте камеры ограничены наружными /заземляемыми/ электродами, внутри каждой из них расположены два высоковольтных электрода /6/. С помощью переходного фланца электродный модуль стыкуется с переходником /2/ высоковольтной системы камеры. В противоположном конце модуля установлен блок резисторов согласующей нагрузки /4/. Фотографирование рабочего объема производится через верхние окна. Объем, заключенный между стенками корпуса электродного модуля и рабочих камер, является изолирующим для высоковольтных электродов. Этот объем - общий для электродного модуля и переходника.

На *рис. 2* показана фотография электродного модуля с переходником во время стендовых испытаний стримерной камеры.



Рис. 2. Фотография стримерной камеры на испытательном стенде.

1. КОНФИГУРАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ

В работах ^{/2,3/} уже были приведены аргументы в пользу биполярной /трехазорной/ стримерной камеры вообще и, в частности, нашего магнитного спектрометра.

Межэлектродный зазор принят равным 20,0 см. Следовательно, глубина рабочего объема камеры составляет 80,0 см.

При выборе конструкции антикоронной изоляции электродов необходимо было оптимальным образом сочетать допустимые градиенты электрического поля и ширину рабочего объема камеры. Оценочные расчеты электрической изоляции высоковольтных элект-

родов на основе газообразного фреона-12 проводились согласно данным работы^{15/}.

На рис. 3 приведена рассчитанная на ЭВМ топография электрического поля /статического/ по поперечному сечению электродного модуля. Из этих расчетов следует, что при ширине рабочего объема 93 см максимальная неоднородность электрического поля в нем $\leq 7\%$, а область с неоднородностью поля $\Delta E \geq 1,5\%$ составляет $\leq 4\%$ от всего рабочего объема стримерной камеры. Использование металлических штанг, располагаемых вдоль всей стены рабочей камеры, могло бы оказать выравнивающий эффект, см. рис. 3б.

Исходя из приведенных оценок для обеспечения достаточного запаса прочности изоляции высоковольтного электрода радиус кривизны профиля антикоронного утолщения был выбран равным 5 см в наиболее критической точке, а расстояние от края электрода до стенки корпуса положено равным 7 см.

Длина корпуса электродного модуля равна 600 см, а рабочий объем состоит из двух независимых камер длиной 153 и 293 см, разделенных промежутком в 20 см. Этот промежуток находится в поле зрения одной из фотографических стереопар^{16/}, что облег-

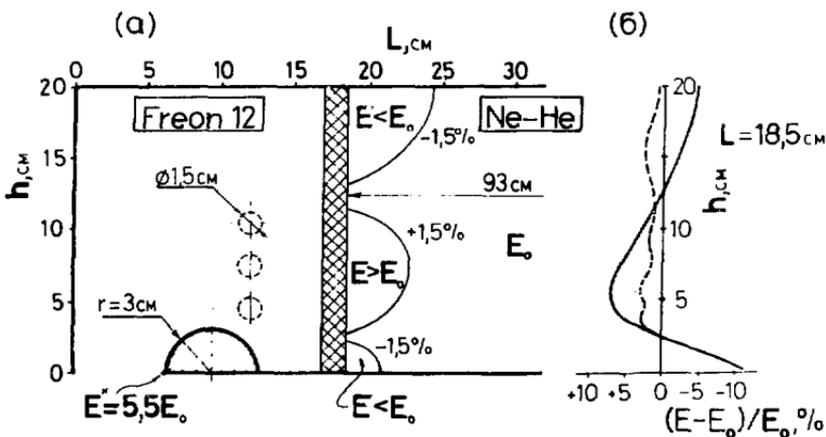


Рис. 3. К расчету электростатического поля на краю высоковольтного электрода: а/ поперечное сечение, указаны области неоднородности поля: $|\Delta E| \geq 1,5\% E_0$ у стенки рабочей камеры; б/ распределение поля по высоте у стенки камеры. Пунктир - то же при использовании трех разравнивающих штанг $\phi 1,5$ см /расположение - см.пунктир /а//.

чает отождествление треков одних и тех же частиц в разных камерах.

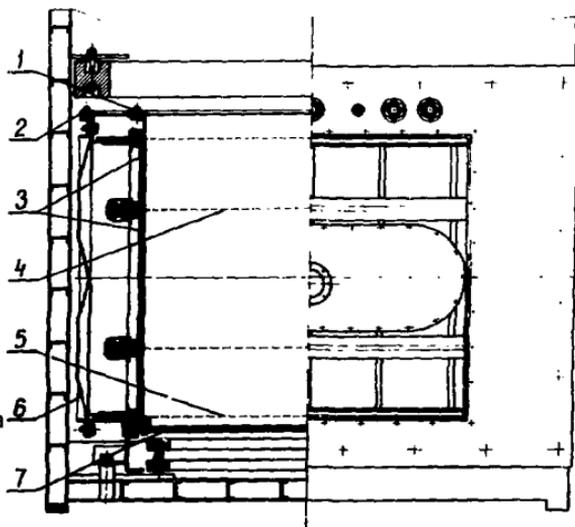
Вход и выход электродного модуля симметричны, это позволяет производить сборку стримерной камеры в двух вариантах, отличающихся последовательностью расположения относительно первичного пучка частиц малой и большой камер.

2. КОРПУС ЭЛЕКТРОДНОГО МОДУЛЯ

Корпус электродного модуля /см. рис.4/ состоит из каркаса /2/, съемных боковых стенок /6/, верхних окон /1/ и рамы дна с опорными полозьями /7/. Каркас и боковые стенки имеют сварную конструкцию. Боковым стенкам придан трапецеидальный профиль, обеспечивающий жесткость стенки и способствующий более однородному распределению электрического поля у края рабочего объема.

Верхние окна /разм. 153×93 см² и 293×93 см²/ предназначены для герметизации соответствующих камер рабочего объема. В раме каждого окна имеется по 11 отверстий $\varnothing 6$ мм для ввода рабочего газа и по одному отверстию $\varnothing 6$ мм для подключения датчиков давления. Окно затянуто лавсановой пленкой толщиной 150 мкм, уплотненной совместно с внутренней кромкой резиновой мембраны /вакуумная резина толщиной 4 мм/. Задний торец корпуса закрывается лавсановой пленкой /150 мкм/ и экранируется металлической сеткой.

Рис.4. Поперечное сечение стримерной камеры: 1 - верхнее окно; 2 - каркас электродного модуля; 3 - секции рабочих камер; 4 - высоковольтные сеточные электроды; 5 - заземляемые сеточные электроды; 6 - боковая стенка корпуса электродного модуля; 7 - днище с нижними окнами.



Рама днища собрана из дюралюминиевых пластин, которые между собой и с каркасом свинчены с применением эпоксидного клея /компаунд-155 с порошком алюминия в качестве наполнителя/. Снизу рама загерметизирована шестью пластинами из плексигласа /4 шт. размерами 76x95x1 см³, 2 шт. - 63x95x1 см³/. Сверху рама имеет два фланца для крепления рабочих камер и нижних сеточных электродов. В перемычке днища имеется по 11 отверстий \varnothing 6 мм для вывода рабочего газа из камер.

3. СЕТОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ

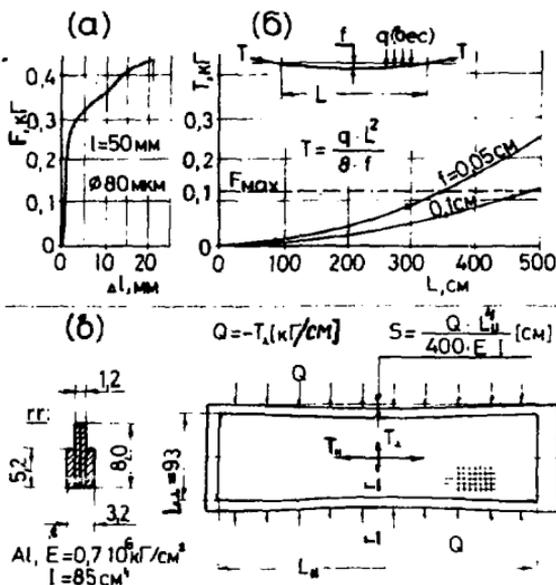
В каждой рабочей камере электродного модуля устанавливается по четыре сеточных электрода, верхний и нижний - заземляемые, а средние - высоковольтные. Основным аргументом для использования в качестве дна рабочего объема металлической сетки было желание обеспечить постоянство величины зазоров между электродами по всему объему камер - за счет одинакового допуска на провисание сеток всех четырех электродов.

Сеточный электрод представляет собой металлическую раму с натянутой на нее сеткой из нержавеющей стали с ячейкой 1x1 мм² и толщиной проволоки 80 мкм. Геометрическая прозрачность такой сетки равна 85% /а четырех сеток - более 50%/.

На *рис. 3а* даны результаты испытаний на прочность образцов проволоки сетки. В области упругой деформации относительно удлинение проволоки пропорционально приложенной силе: $\Delta l/l = k \cdot F$, где $k = 0,076$ /1/кГ/, $F \leq 0,21$ кГ. Графики на *рис. 5б* демонстрируют зависимость необходимого натяжения /T, кГ/ отдельной проволоки от ее длины /L, см/ для заданной величины стрелы провисания /f, см/ под действием собственного веса проволоки /q, кГ/см/, $F_{\max} = 0,12$ кГ - выбранный нами верхний предел допусаемого натяжения проволоки, обеспечивающий достаточный запас прочности и технологичность натяжения и крепления сетки. Из этих данных можно получить оценку оптимального соотношения между продольным /T_{||}, кГ/см/ и поперечным /T_⊥, кГ/см/ натяжениями сетки в зависимости от длины электрода. *Рис. 5в* иллюстрирует расчеты деформации рамы высоковольтного электрода, в которых в качестве параметров используются модуль упругости /E, кГ/см²/ материала рамы /дюралюминий/ и момент инерции /I, см⁴/ поперечного сечения продольной планки рамы электрода. При сборке электрода сетка предварительно растягивается на монтажной раме, а затем закрепляется на раме электрода. Необходимо, чтобы прогиб /S, см/ продольной планки рамы под действием натянутой сетки был гораздо меньше величины упругой деформации поперечных проволок сетки: $2S \leq 0,1 \cdot \Delta L_{\perp}$. Это условие выполняется только для

$$L_{||} \leq \sqrt[4]{0,1 \cdot 400 \cdot E \cdot I \cdot k \cdot L_{\perp} / 2 \cdot 10} = 170 \text{ см.}$$

Рис. 5. К расчету натяжения сеточных электродов: а/ диаграмма испытания образца проволоки на прочность; б/ натяжение T проволоки в зависимости от длины L при разной величине стрелы провисания f ; в/ натяжение сетки на раму электрода, T_{\perp} и T_{\parallel} - поперечная и продольная удельные силы натяжения проволочек сетки, Q - сила предварительного напряжения рамы электрода.



Поэтому при сборке 3-метровых электродов их рамы подвергались предварительному изгибу распределенной силой $Q = -T_{\perp}$, см. рис. 5в. Крепление сетки к раме электрода производилось путем распылки сетки по периметру на полосках из нержавеющей стали толщиной 0,2 мм, которые затем зажимались между обеими половинами рамы.

Чтобы обеспечить безопасность сеточных электродов от воздействия токов Фуко в условиях аварийного отключения электромагнита установки, в каждом электроде сделан разрез, размыкающий электрический контур рамы.

4. КАМЕРЫ РАБОЧЕГО ОБЪЕМА

Каждая из рабочих камер электродного модуля изготовлена из винипласта толщиной 1,5 см и состоит из трех секций, рис. 6. Крайние секции имеют высоту стенки 19,9 см, средние - 39,9 см. Конструкция рамок - сварная. Их верхняя и нижняя кромки одинаковы и представляют собой фланцы для крепления к корпусу и между собой. Все стенки укреплены ребрами жесткости сечением $3,0 \times 1,5 см^2$.

Стенки средних секций, обращенные к промежутку, разделяющему обе части рабочего объема, сделаны сравнительно тонкими - 0,4 см, а на пути пучка первичных частиц /в овале $14 \times 6 см^2$ / -

толщиной 0,07 см. Противоположные стенки средних секций имеют овальные окна с внутренними размерами 83×27 см², предназначенные для монтажа мишеней и вывода пучка из рабочего объема.

Рис. 6 показывает способ уплотнения секций камер при их сборке совместно с сеточными электродами. Канавка сечением $1,2 \times 0,9$ см² для пары уплотняющих резинок $\varnothing 9$ мм и 8×8 мм² образуется ступеньками по 6 мм высотой на фланцах винипластовых секций, с одной стороны, и металлической рамой сеточного электрода, с другой стороны. При этом сетка оказывается зажатой между двумя уплотняющими резинками. Оставшаяся между секциями щель имеет величину 1 мм по всему периметру. Опыт показал, что такого рода уплотнение надежно защищает рабочий объем от натекания фреона из изолирующего пространства электродного модуля. /Допускаемая концентрация фреона в рабочем газе $\leq 10^{-5}$ %, по объему/. Отметим, что все используемые здесь детали крепления - металлические.

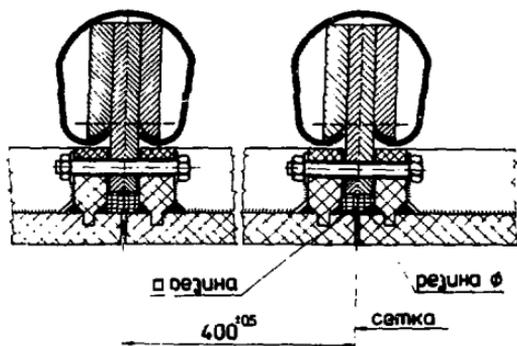


Рис. 6. Уплотнение высоковольтных сеточных электродов между секциями рабочей камеры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стримерный режим в данной камере был достигнут при первом ее запуске в апреле 1977 года. К настоящему времени со стримерной камерой спектрометра РИСК проведен ряд экспериментов на серпуховском ускорителе. Материалы этих экспериментов обрабатываются. На рис. 7 - фотографии событий взаимодействия пионов с импульсом 40 ГэВ/с в мишени стримерной камеры.

Авторы выражают глубокую благодарность своим коллегам Е.М.Андрееву, Б.Ю.Балдину, О.О.Берая, Г.Бому, В.Н.Власову, З.В.Крумштейну, Т.А.Ломтадзе, Р.Ляйсте, Й.Немету, В.М.Суворову, Н.Н.Хованскому за их помощь в создании и наладке данной установки.

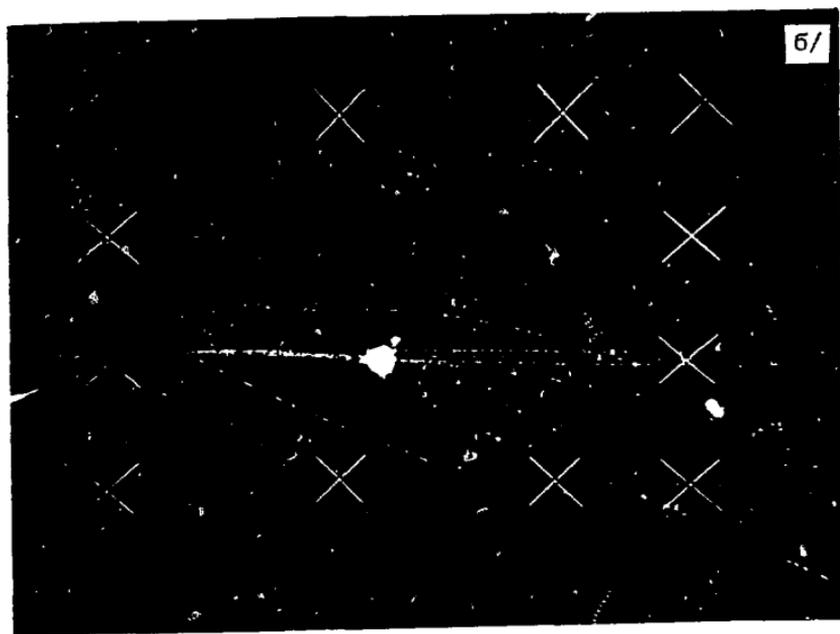


Рис. 7. Фотографии событий взаимодействия π -мезонов с импульсом 40 ГэВ/с в жидководородной мишени стримерной камеры /1/4 полной длины камеры/: а/ взаимодействие с ядром водорода; б/ взаимодействие с ядром оболочки мишени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bohm G. et al. In: Proc. of the 1 Intern. Conf. on Streamer Chamber Technology, 1972, ANL-8055, p.117-120.
2. Вертоградов Л.С. и др. ОИЯИ, P13-9740, Дубна, 1976; ПТЭ, 1978, №3, с.27-31.
3. Rohrbeck W., Bohm G. The Double Blümlein System - a Pulse Generator for Driving Very Large Streamer Chambers, Zentralinstitut für Elektronenphysik der Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin, 1973.
4. Володин В.Д. и др. ОИЯИ, P13-10380, Дубна, 1977; ПТЭ, 1978, №8, с.66-68.
5. Felsenthal P., Proud J.M. Phys.Rev., 1965, 139, p.1796; Петер Г. Электронные лавины и пробой в газах. "Мир", М., 1968, с.329.
6. Андреев Е.М. и др. ОИЯИ, 13-8550, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 февраля 1980 года.