



23

14
Б74

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1278

А.В. Богомолов, Ю.А. Будагов, А.Т. Василенко, В.П. Джелепов, Н.И. Дьяков,
В.Г. Иванов, В.С. Кладницкий, В.И. Лепилов, Ю.Ф. Ломакин, В.И. Москалев,
В.Б. Флягин, Т.И. Шетет, П.В. Шляпников

МЕТРОВАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

ТТЭ, 1964, № 1, с 61-68.

А.В. Богомолов, Ю.А. Будагов, А.Т. Василенко, В.П. Джелелов, Н.И. Дьяков,
В.Г. Иванов, В.С. Кладницкий, В.И. Лепилов, Ю.Ф. Ломакин, В.И. Москалев,
В.Б. Флягин, Т.И. Шетет, П.В. Шляпников

1940/3 48

МЕТРОВАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

А н н о т а ц и я

Описывается пузырьковая камера, чувствительный объем которой имеет размеры $1 \times 0,5 \times 0,38$ м. Камера создана для исследований в пучках частиц от синхрофазотрона ОИЯИ с энергиями до 10 Бэв. Краткое сообщение о конструкции камеры было сделано ранее^{1/}. Рабочей жидкостью камеры может являться пропан или другое вещество, подбираемое в соответствии с конкретными задачами эксперимента. В настоящее время камера установлена в пучке π^- -мезонов с энергией около 5 Бэв и действует с циклом 8 - 12 сек, однако это время может быть уменьшено во всяком случае до 1 сек.

На длине 1 м π^- -мезоны или протоны с энергией порядка 5 Бэв взаимодействуют с пропаном с вероятностью 50 %. Эффективность камеры к γ -квантам с энергией порядка нескольких сотен Мэв оказывается довольно высокой и составляет около 25% /на половине длины камеры/. Эта эффективность может быть повышена добавлением к пропану более тяжелых жидкостей или полной его заменой. Камера располагается в магнитном поле напряженностью 17000 эрстед. Точность измерения импульсов частиц порядка 5 Бэв/с, оцененная по многократному рассеянию в пропане на длине 1 м, составит в этом поле $\pm 3,2\%$.

1. Конструкция камеры

а/ Конструктивная схема камеры

Обычно при выборе конструкции камеры приходится учитывать целый ряд достаточно противоречивых условий, так что ее окончательное решение является в известной степени компромиссным. Часто также общее направление конструирования заранее определяется необходимостью использовать доступное оборудование.

Конструктивная схема описываемой пузырьковой камеры определялась с учетом требования достаточной эффективности регистрации случаев ядерного взаимодействия, а также условий размещения камеры в электромагните ИК-3-4.

Мы отказались от применения в конструкции стекол больших размеров, несущих нагрузку, с тем чтобы избежать трудностей, связанных с их изготовлением, надежностью, качеством посадочных поверхностей и уплотнениями.

В описываемой камере чувствительный объем располагается внутри защитного кожуха, заполненного дистиллированной водой, которая служит для разгрузки стенок сосуда, содержащего рабочую жидкость. При этом смотровые окна оказываются достаточно удаленными от чувствительного объема и могут быть сделаны небольшими.

Одновременность изменения давления в воде и рабочей жидкости во время расширения и поджатия обеспечивается тем, что одна из стенок рабочего сосуда камеры делается подвижной, в данном случае в виде так называемого "плавающего" стекла.

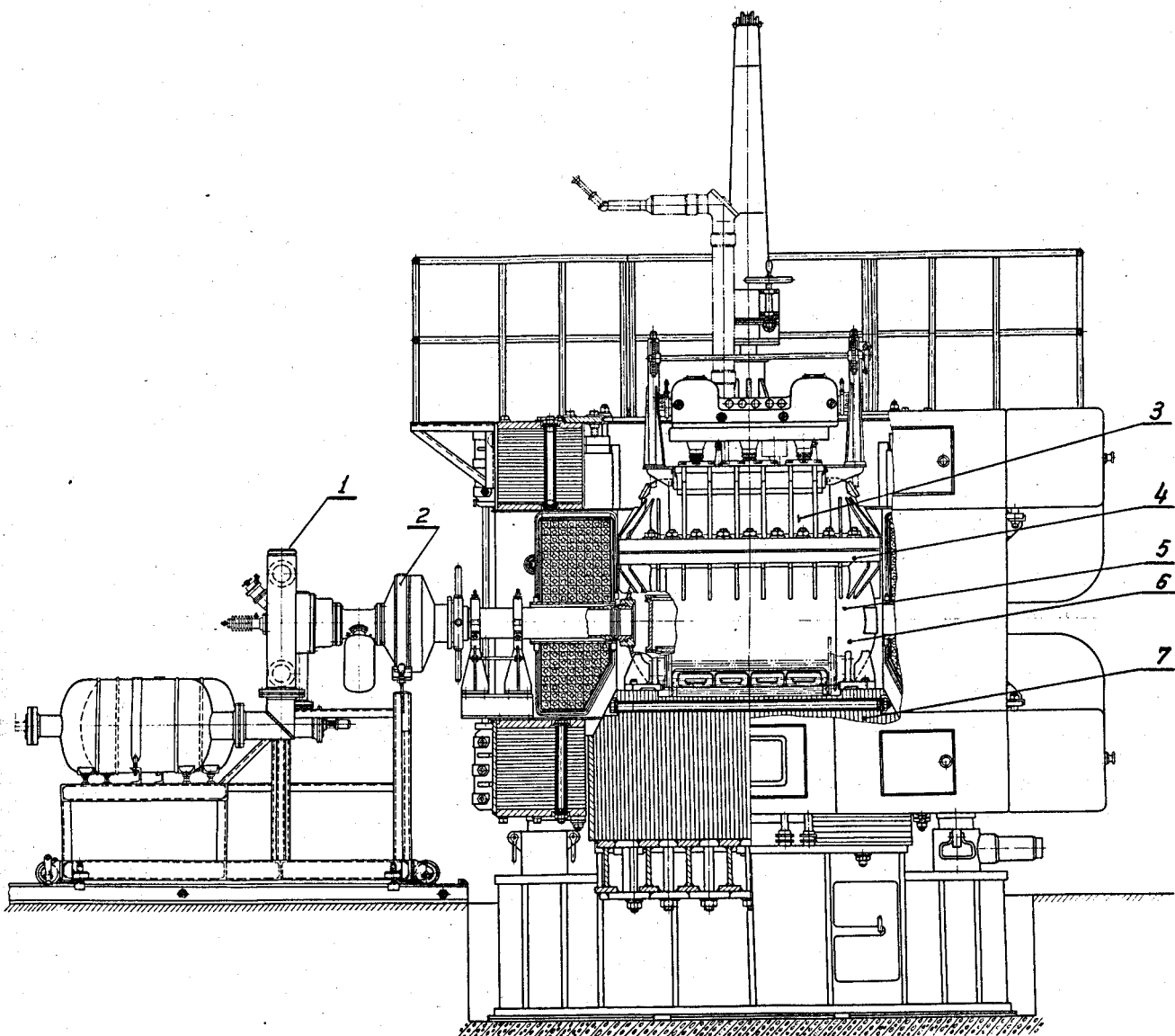
Общая конструктивная схема камеры изображена на рис. 1а; на рис. 1б показана установка в целом в момент опускания камеры в электромагнит.

Защитный кожух /6/ с находящейся в нем рабочей камерой устанавливается на полюсном наконечнике /7/ электромагнита и жестко прикрепляется к последнему. Освещение чувствительного объема камеры производится двумя импульсными лампами через отверстия в днище кожуха, а фотографирование — шестью одинаковыми объективами на две параллельные фотопленки через отверстия в крышке кожуха. Система расширения /1/ вынесена за пределы электромагнита и сообщается с кожухом при помощи переходной трубы /2/.

б/ Рабочая камера

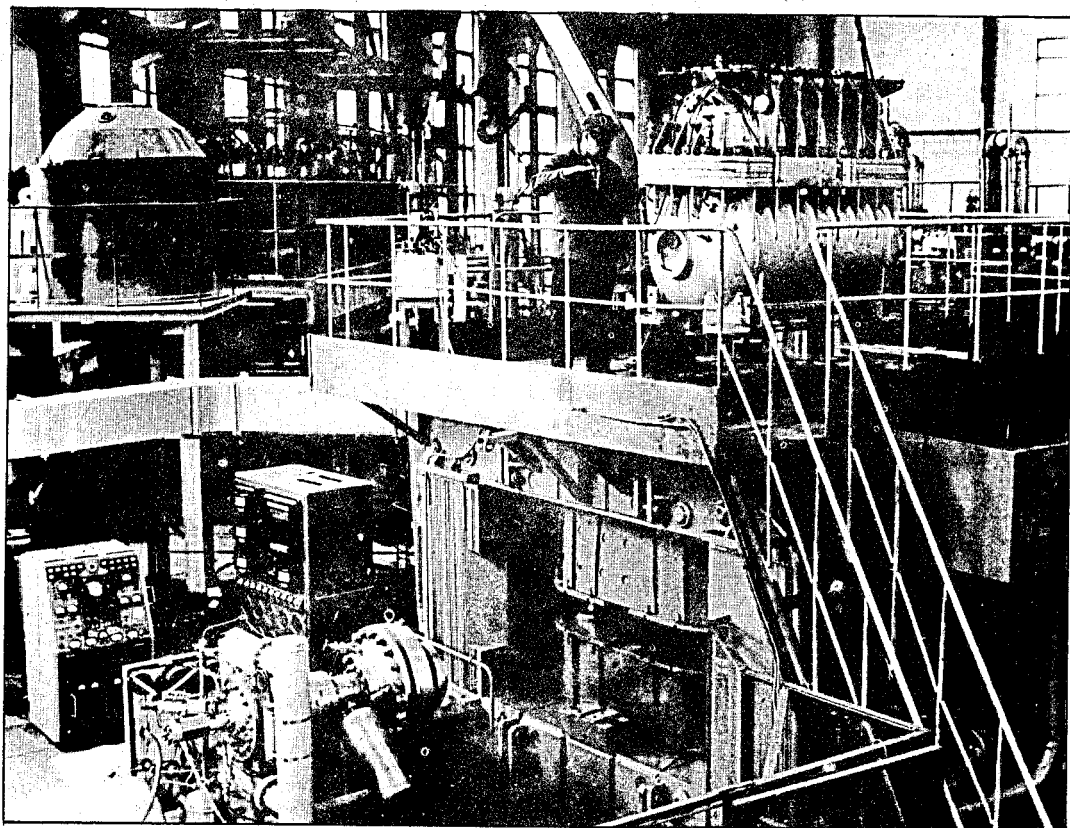
Рабочая камера представляет собой тонкостенную прямоугольную коробку, укрепленную на четырех регулируемых опорах внутри кожуха. Внутренняя поверхность рабочей камеры тщательно отполирована. Сверху камера закрыта тонкой /2 см/ неподвижной

х/ Первоначально электромагнит предназначался для других целей /см. Ю.П.Вахрушин, М.С. Козодаев, Б.В. Рождественский, Р.М. Суляев, А.И. Филиппов. Материалы совещания по трековым камерам. ОИЯИ, Р-230, вып. 11, стр.116, Дубна, 1958/; впоследствии была разработана новая система питания магнита со средней мощностью 2,2 Мвт, удовлетворяющая нашим требованиям.



Р и с. 1 а

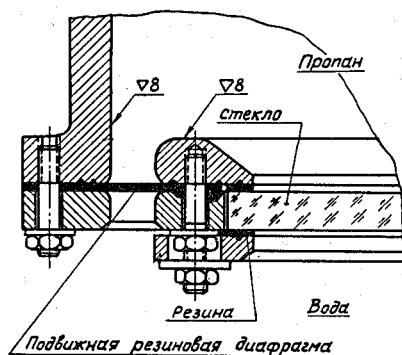
Общая схема установки камеры в электромагните.



Р и с. 16

Общий вид метровой пузырьковой камеры, электромагнита и вспомогательных устройств.

стеклянной пластиной, а снизу к ней на упругой кольцевой диафрагме прикреплено подвижное - "плавающее" - стекло. На рис. 2 показано крепление плавающего стекла к нижнему фланцу рабочей камеры.



Р и с. 2

Уплотнение плавающего стекла.

Вертикальный ход стекла, не вызывающий опасного натяжения резины, составляет 40 мм, что соответствует изменению объема камеры примерно на 6%/12л./.. Во время работы положение стекла контролируется несколькими электроконтактными указателями уровня. Кроме этого, на подвижных фланцах установлены специальные упорные пластины, используемые для фиксирования плавающего стекла в крайнем верхнем положении.

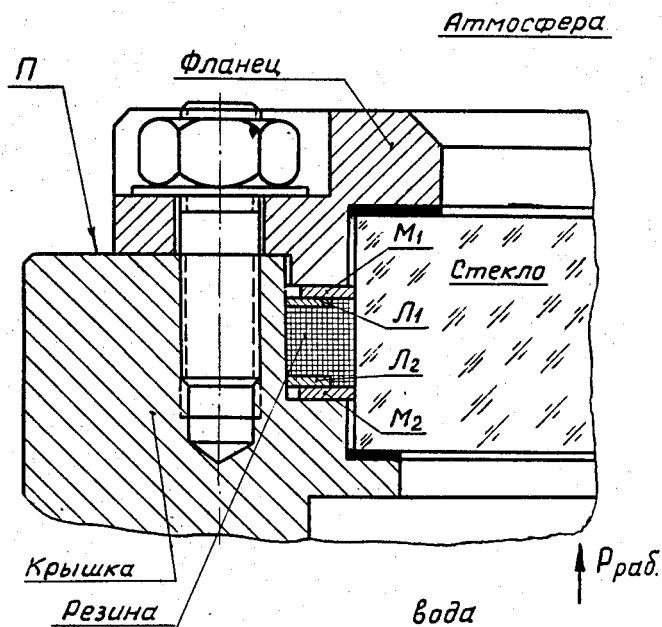
в/ Наружный кожух

Наружный кожух /см. рис. 1а/, воспринимающий всю нагрузку от внутреннего давления, представляет собой разъемный резервуар, составленный из двух цилиндрических частей – крышки /3/ и корпуса /5/, соединенных между собой фланцами /4/. Торцевые части крышки и корпуса закрыты приварными эллиптическими стенками. Для увеличения прочности кожуха на его внешней поверхности установлены ребра жесткости, которые связывают элементы кожуха с фланцами.

Вся конструкция кожуха является сварной и изготовлена из нержавеющей немагнитной стали марки 1X18H9T. Надежность сварных соединений проверена с помощью люминесцентного и рентгеновского контроля, охватившего не менее 85% всех доступных швов.

Тензометрическое исследование главных деформаций показало, что вся конструкция обладает необходимым запасом прочности по отношению к статическому нагружению внутренним давлением до 40 кг/см^2 .

Предметом особой заботы было уплотнение стекол в окнах для освещения и фотографирования. Каждое такое окно /см. рис. 3/ закрывается пластиной из оргстекла, которая уплотняется круглой резиновой прокладкой, облегаяющей её по торцу.



Р и с. 3

Уплотнение окна для фотографирования.

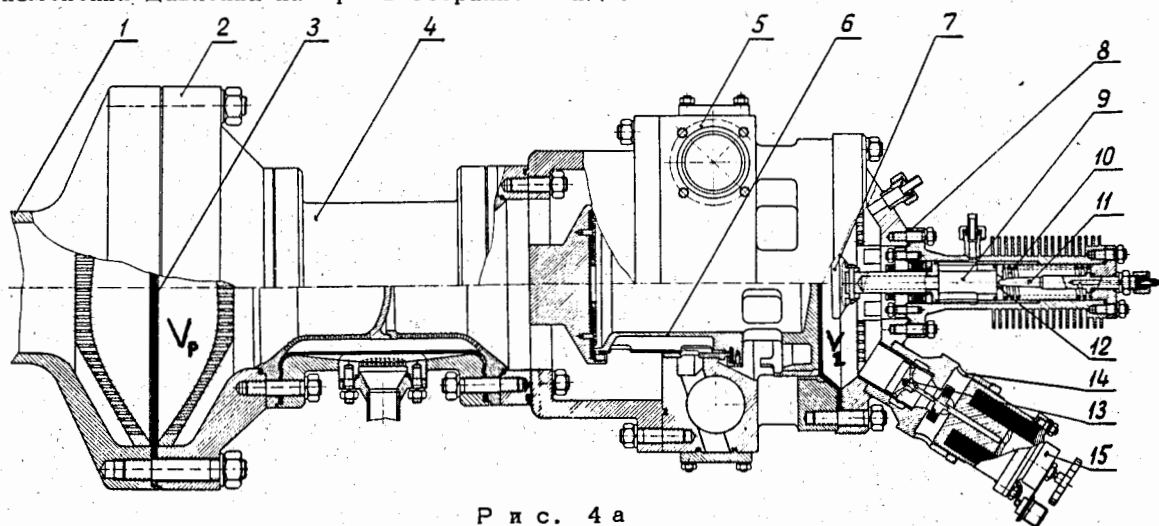
Прокладка сжимается между латунными кольцами /Л/, наружная форма которых совпадает с профилем отверстия в крышке, и медными /М/, точно подогнанными по торцу стекла, и обеспечивает надежную герметичность. Точность и идентичность установки всех стекол для фотографирования по отношению к опорной плоскости П верхней плиты крышки кожуха обеспечивается тем, что заделка стекол в нем является в известной мере нежесткой и стекла после подачи внутрь камеры давления плотно садятся на точно фиксированные по отношению к плоскости П наружные фланцы. Последнее обстоятельство является весьма существенным, поскольку таким образом устраняются возможные оптические искажения, вызванные непараллельностью поверхностей стекол в различных окнах.

2. Система расширения

Система расширения обеспечивает высокую скорость изменения давления в камере во время расширения и сжатия рабочей жидкости и действует в режиме ограничения по давлению.

Конструктивные параметры расширительного устройства были определены расчетным путем на основе решения системы уравнений гидрогазодинамики, описывающей его работу совместно с камерой^{X/}.

Общий вид системы расширения показан на рис. 4а. На рис. 4а изображен механизм изменения давления камеры в собранном виде.



Р и с. 4 а

Общая схема системы расширения.

Его основными узлами являются /рис. 4а/ переходная труба /1/, расширитель /2/, стабилизатор /4/ и главный клапан /5/, на котором установлены гидравлический демпфер /8/ и электромагнитный клапан /15/.

Главный дифференциальный клапан /5/ является наиболее важной частью всей системы расширения^{XX/}. В представленной на рис. 4 конструкции клапана операции выхлопа и поджатия совмещены при помощи подвижного элемента - золотника /6/. Перемещаясь из одного крайнего положения в другое, золотник осуществляет попеременное соединение объема V_p расширителя либо с источником высокого давления во время поджатия, либо с глушителем в момент выхлопа. Управление этими стадиями движения производится при помощи электромагнитного клапана, установленного в 1-ой ступени. При выхлопе грибок /13/ электромагнитного клапана открывает отверстие /14/, сообщая объем V_1 1-й ступени с атмосферой, и золотник /6/ под воздействием нескомпенсированного давления отходит вправо, соединяя объем V_p 2-й ступени с глушителем. При поджатии грибок /13/ закрывает отверстие /14/, давление в 1-й ступени возрастает, и золотник возвращается в исходное положение.

X/ Подробному рассмотрению этой задачи будет посвящена отдельная статья.

XX/ Работа клапана предварительно была опробована на модели, конструкция которой описана ранее /1/.

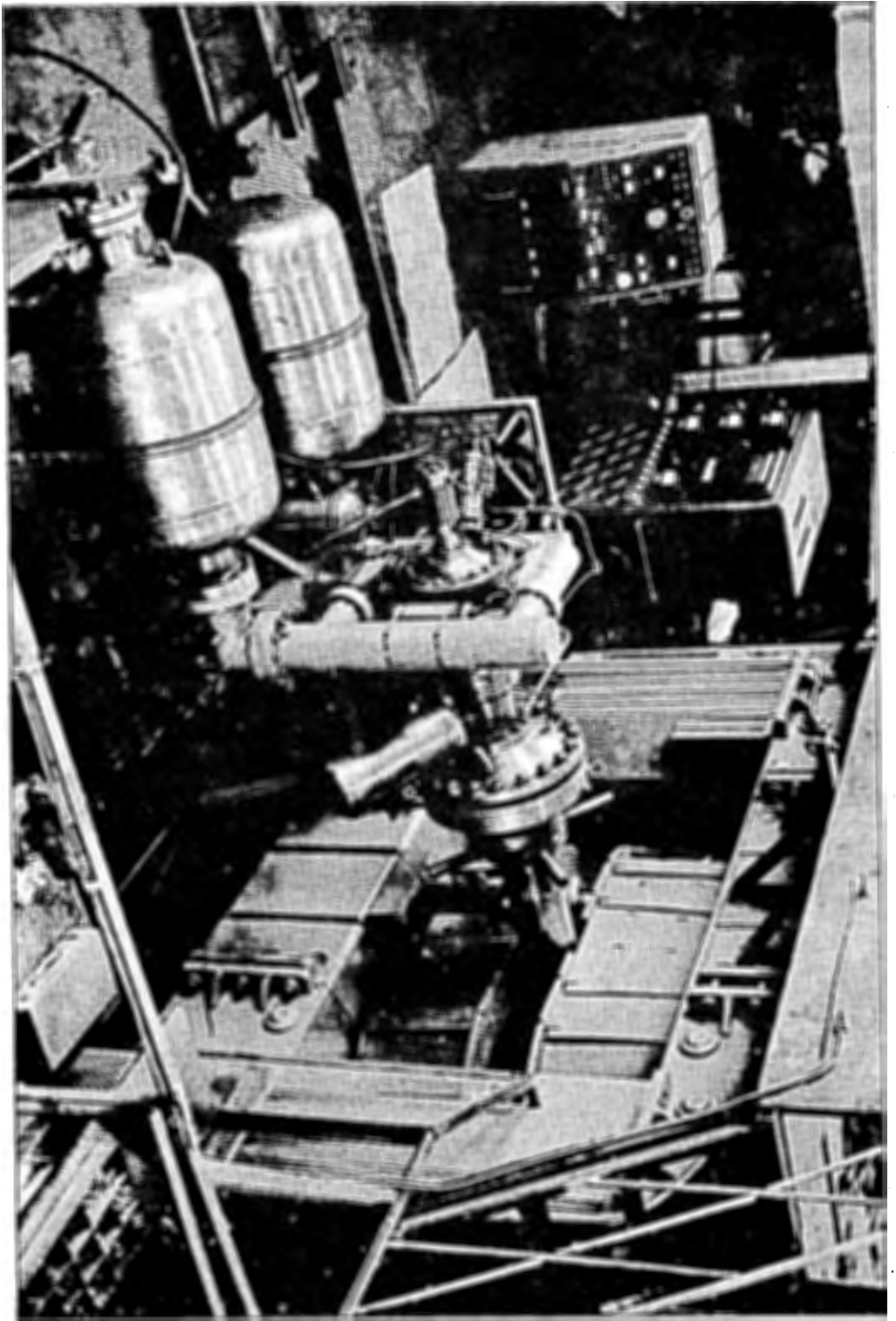


Рис. 46. Общий вид механизма изменения давления в камере.

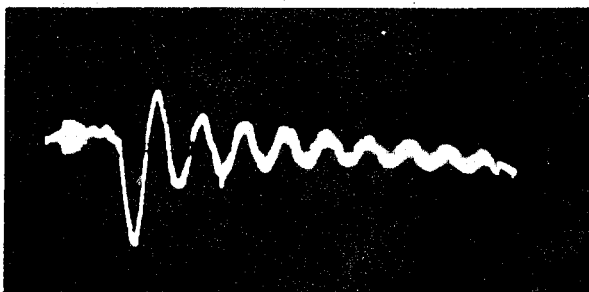
Совмещение операций расширения и поджатия в пределах одной конструкции при помощи подвижного золотника не вносит никаких ограничений в работу всей системы расширения. Поскольку, однако, масса золотника велика ≈ 7 кг/, а скорость его в момент остановки /во время выхлопа/ достигает 18 м/сек, то динамические напряжения, возникающие при ударе золотника о крышку клапана, оказываются весьма значительными. Поэтому для предотвращения разрушения материала конструкции был применен гидравлический демпфер, устройство которого ясно из рис. 4а. Золотник главного клапана в конце своего движения наталкивается на тарелку /7/ подвижного плунжера /8/, и дальше они перемещаются вместе, дроссельное отверстие /12/ плунжера находит на неподвижный "палец" специального профиля /11/; свободное сечение дроссельного отверстия непрерывно уменьшается, давление масла в демпфере возрастает, и происходит плавное торможение. После полной остановки золотника возвратная пружина /10/ отводит плунжер в исходное /рис.4а/ положение.

Демпфирование осуществляется на последнем участке ≈ 3 см/ движения золотника и продолжается около 10 мсек. Полное выделение энергии при этом составляет 150 кгм., а максимальное давление масла при выбранном профиле "пальца" достигает 200 атм.

Первоначально, когда камера действовала в режиме ограничения по объему, в расширительном устройстве отсутствовал стабилизатор /4/; клапан присоединялся непосредственно к расширителю, и степень расширения определялась величиной объема V_p /рис. 4а/. При работе в таком режиме в момент окончания расширения происходило резкое торможение потока воды в переходной трубе, и возникал сильный гидравлический удар - кратковременное повышение давления в объеме воды, прилегающем к диафрагме /3/ расширителя^{х/}. Последнее обстоятельство затрудняет использование расширительного устройства в режиме ограничения по объему. Идея использования стабилизатора заключается в том, чтобы произвести полное торможение потока воды в переходной трубе прежде, чем диафрагма расширителя опустится на его внешнюю решетку. Для этого выхлоп воздуха из объема V_p расширителя производится лишь до тех пор, пока давление $P_B(t)$ в нем не снизится до величины $P_B(t) = P_{ст.}$, которая устанавливается в балластном баллоне стабилизатора. В этот момент цилиндрическая диафрагма стабилизатора опускается на его решетку, после чего давление в объеме V_p поддерживается на постоянном уровне $P_{ст.}$. Дальнейшее расширение пропана до рабочего давления P_p осуществляется за счет энергии потока воды, накопленной ею к моменту начала стабилизации.

^{х/} Скорость потока воды в трубе W определяется быстротой изменения давления в камере dp/dt . Поскольку в наших условиях dp/dt велико $/10^3$ атм/сек/, то, как показали расчеты, к моменту остановки эта скорость оказывается весьма значительной $/W = 12$ м/сек/. Величина амплитуды гидравлического удара, определяемая из соотношения $\Delta p = W \rho c$ / ρ и c - плотность воды и скорость звука в ней/, достигает при этом 180-200 атм, а выделяемая при ударе энергия $/10^3$ кгм/ вполне достаточна, чтобы вызвать перенапряжение в материале конструкции. Эти расчеты подтверждены экспериментами, выполненными с помощью датчиков давления и проволочных тензодатчиков, установленных в соответствующих местах указанных устройств.

На рис. 5 приведена осциллограмма изменения давления внутри камеры $P_k(t)$ при расширении с использованием стабилизатора.



Р и с. 5

Осциллограмма изменения давления в камере.

Продолжительность спада давления от $P_k = 24$ атм до рабочего $P_p = 10$ атм составляет около 25 мсек. Время нарастания давления до исходного значения — 35 мсек. Время чувствительности определяется основными конструктивными параметрами камеры и системы расширения, но зависит также от величины стабилизирующего давления и продолжительности стабилизации /времени задержки начала поджатия/. Обычно время чувствительности выбиралось равным 7 — 8 мсек.

Существенной особенностью кривой $P_k(t)$, показанной на рис. 5, являются четко наблюдаемые осцилляции давления в камере, которые происходят с частотой $\omega_0 = 90 \text{ сек}^{-1}$ / $T_0 = 70 \text{ мсек}^x$. Колебания экспоненциально затухают со временем вследствие трения; коэффициент затухания равен $b = 10 \text{ сек}^{-1}$. Физический смысл этих колебаний легко уяснить, представив, что пропан является как бы упругой пружиной, действующей на инерциальную массу воды /большая часть кинетической энергии приобретает водой, находящейся в переходной трубе/.

Наличие указанных колебаний в системе камера-расширительное устройство, как было показано нами ранее^{/2/}, может быть использовано для создания высокоэффективной и экономичной пузырьковой камеры, действующей в режиме автоколебаний.

3. Освещение и фотографирование

Рабочий объем камеры освещается двумя импульсными лампами ИФП-4000 через восемь окон, расположенных двумя рядами в нижней части корпуса. Вспышка света происходит при разрядке через каждую лампу емкости 100 мкф, заряжаемой до напряжения 2000 в.

^{x/} Гидрогазодинамическое рассмотрение процесса расширения показывает, что частота ω_0 , являясь частотой собственных колебаний жидкости в системе камера-расширительный механизм, определяется геометрией камеры и расширительного механизма, а также физическими свойствами жидкостей, заполняющих кожух и переходную трубу. Частота ω_0 определяется выражением

$$\omega_0 = \sqrt{F / (k_n V_n + k_B V_B)} \rho l$$

в котором F и l — площадь поперечного сечения и длина переходной трубы, k и V — коэффициенты сжимаемости и объемы пропана и воды, а ρ — плотность воды,

Окна для освещения закрыты плоско-вогнутыми цилиндрическими линзами из оргстекла, установленными так, что оси их внешних /вогнутых/ поверхностей располагаются на одной прямой, совпадающей с осью импульсной лампы. Линзы формируют световой пучок таким образом, что более половины рабочего объема освещается каждой лампой.

Для фотографирования используется фотоаппарат, который состоит из шести одинаковых объективов и двух лентопротяжных механизмов, установленных на массивной металлической плите, жестко связанной с крышкой кожуха камеры. Здесь же располагаются два устройства для подъема лентопротяжных механизмов, используемые при смене кассет. Плита выставляется параллельно верхнему стеклу рабочей камеры и защитным стеклам в крышке кожуха и фиксируется в этом положении. Съемка производится на две 80-миллиметровые перфорированные аэрофото пленки типа "Панхром 10", чувствительностью до 1200 ед.ГОСТ. Емкость кассет составляет около 120 м.

Объективы образуют три основные стереопары с базами $B_1 = 400$ мм; расстояние между стереопарами равно $B_2 = 300$ мм. Указанные размеры выдержаны с точностью до 0,04 мм.

После установки фотокамер с объективами на плиту были измерены z -координаты углов предметных стекол и определена непараллельность осей каждой стереопары. Максимальное значение этой величины не превосходит 0,5'. Неперпендикулярность продольной и поперечной баз характеризуется величинами γ /отклонениями от 90° /, которые равны: $\gamma_1 = 12'$, $\gamma_2 = 10'$ и $\gamma_3 = -25''$ (для 1-й, 2-й и 3-й стереопар соответственно).

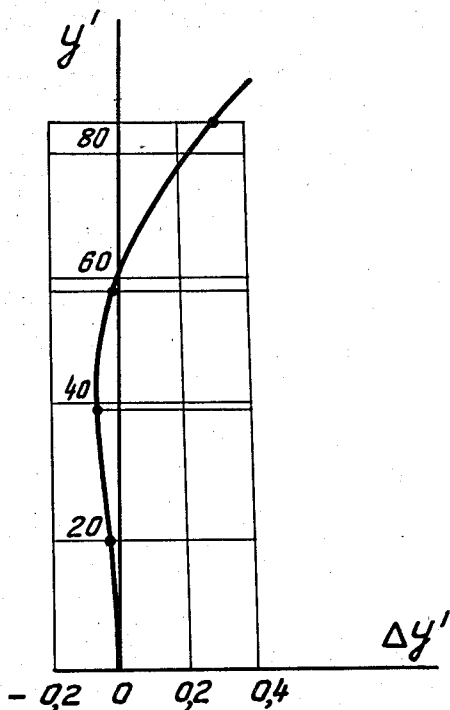
Использование шести объективов для фотографирования рабочего объема, безусловно, усложняет конструкцию стереофотокамеры и в некоторой степени затрудняет просмотр и обработку. Однако данное конструктивное решение оправдывается получением изображения, максимально свободного от различных аберраций и в особенности от дисторсии.

Обычные трудности фотографирования с относительно небольшого расстояния $l \approx 100$ см, угол зрения $2\beta = 90^\circ$ /возрастают в нашем случае в связи с тем, что съемка производится через несколько оптически разнородных сред. Применение в этих условиях обычных широкоугольных объективов, например типа "Руссар-29" или "Руссар-33", приводит, как показывают расчеты, к недопустимо большим искажениям. Поэтому после проведения оценок различных искажений было принято решение об изготовлении специальных объективов, удовлетворяющих нашим условиям фотографирования.

Используемые нами фотограмметрические камеры "Гидро-Руссар 4" рассчитаны и изготовлены в Ленинградском Институте точной механики и оптики под руководством проф. М.М. Русинова.

Известно, что расчет широкоугольного объектива, позволяющего получить качественное и неискаженное изображение для углов зрения $2\beta > 40^\circ$, является чрезвычайно сложной задачей. С учетом этого коррекция дисторсии и других аберраций выполнена в объективах "Гидро-Руссар 4" не для полного угла зрения $2\beta = 90^\circ$, а лишь в его части $2\beta \leq 40^\circ$. Объективы позволяют получить качественное и неискаженное изобра-

жение следов частиц в пропане с показателем преломления $n = 1,2300$ при фотографировании через слой воды $n_B = 1,3270$ и стекла $n_C = 1,5163$. Объективы исправлены на дисторсию и аберрации для средней плоскости камеры / величина остаточной дисторсии в этой плоскости иллюстрируется кривой на рис. 6/. Фокусные расстояния объективов в воздухе равны $F = 95,60$ мм, угол зрения



Р и с. 6

Зависимость остаточной дисторсии $\Delta y'$ от радиуса вектора y' точки на пленке.

$2\beta = 87^\circ$, диаметр диафрагмы плавно регулируется от 1,14 до 11,4 мм. Увеличение для средней плоскости камеры равно $0,13^x$. Кадры центральной и крайних стереопар имеют размеры 137×70 мм² и 90×70 мм², соответственно.

Изображение, получаемое на кадрах центральной стереопары, охватывает практически весь объем камеры, а двух крайних стереопар - несколько больше половины объема. Поэтому фотографии центральной стереопары используются как для просмотра, так и для обработки, а крайних стереопар - только для обработки.

Во время рабочей съемки вместе с треками фотографируются реперные перекрестия, нанесенные на верхнее и нижнее стекла рабочей камеры. По измеренным координатам этих перекрестий в программу расчетов вносятся поправки, обусловленные изменениями показателей преломления пропана и воды. В кадр впечатываются также кресты, имеющиеся на предметных стеклах объективов, которые используются в качестве базисной системы при восстановлении пространственной картины событий; по этим же перекрестиям вносятся поправки на усадку пленки.

Для визуального наблюдения за работой камеры на верхней крышке кожуха устанавливается передающая телевизионная камера ПТУ-ОМ, а также зрительная труба с бинокулярной насадкой.

4. Управление и сигнализация

Система управления и сигнализации камеры, сосредоточенная на пульте управления, состоит из электронной схемы управления, релейной системы сигнализации и измерительных схем.

Электронная схема предназначена для автоматического управления рабочим циклом камеры и синхронизации этого цикла с ускорителем. Схема выполнена таким образом, что ее периодический запуск может осуществляться либо стартовыми импульсами, посылаемыми синхронизирующими устройствами ускорителя, либо импульсами, возникающими при прохождении частиц пучка через телескоп из спинтилляционных счётчиков. Предусмотрен также режим работы от внутреннего генератора, когда схема сама выдает импульс на запуск цикла ускорения.

Существенной особенностью схемы управления является возможность управления импульсными лампами системы освещения непосредственно от телескопа /после небольшой задержки ≈ 1 мсек/, установленного в пучке частиц ^{/3/}. В этом режиме исключаются большие временные флюктуации момента вспышки, которые неизбежно возникли бы при последовательном запуске всех устройств от обычного стартового импульса. В схеме предусмотрены специальные "ворота", пропускающие импульс от телескопа на поджиг импульсных ламп только в "полезный" промежуток времени, когда камера чувствительна.

Режим работы камеры контролируется при помощи электронных манометров, сигнал с которых в момент расширения подается на осциллограф. При этом на его экране отмечаются моменты прохождения через камеру частиц, а также момент вспышки импульсных ламп.

Датчиками электронных манометров служат индуктивности, представляющие собой катушки, намотанные на миниатюрные магнетитовые сердечники. Одна из половин сердечника неподвижна, другая закреплена на упругой мембране и перемещается при изменении давления. Электронные манометры обладают достаточной для наших целей линейностью / $\approx 5\%$ /, просты по устройству и удобны в обращении.

Релейная схема сигнализации предназначена для контроля за работой различных узлов камеры. При нарушении режима работы /повышении давления, отключении магнита, окончании или обрыве пленки в фотоаппарате и т.п./ на пульте управления загорается соответствующее световое табло, и одновременно включается электрический звонок.

5. Система подогрева и термостатирования

Разогрев камеры до рабочей температуры осуществляется электрическими нагревателями, разбитыми на отдельные секции, расположенные по внутренним стенкам кожуха камеры в водяной бане. К секциям, размещенным в непосредственной близости от рабочей камеры, то есть на цилиндрической поверхности нижней части кожуха, прикреплены медные листы, обеспечивающие равномерную теплоотдачу.

Собственно нагреватель представляет собой нихромовый провод диаметром 1,2 мм

с нанизанными на него фарфоровыми "бусинками", заключенными в медную трубку.

Питание нагревателей осуществляется переменным током от стандартных лабораторных автотрансформаторов. Максимальное напряжение, подаваемое на секции, равно 150 в.

Регулирование рабочей температуры может осуществляться как вручную с помощью автотрансформаторов, так и автоматически - позиционными электрическими регуляторами, встроенными в электронные потенциометры ЭПВ-01 и ЭПП-09.

Время разогрева камеры до рабочей температуры 60° составляет около 11 часов при отбираемой от сети мощности 6 квт. В режиме термостатирования потребляемая мощность равна примерно 3 квт.

В качестве датчиков температуры используются медь-константановые термонары, подключаемые к тем же потенциометрическим приборам. Погрешность в измерении температуры, включая неточность показаний самих приборов и временной дрейф, составляет $0,2^{\circ}\text{C}$. Относительные измерения температур можно производить с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$. Точность стабилизации температуры в режиме автоматического регулирования, зависящая от ошибок в измерении температуры и погрешностей механической системы узла авторегулировки потенциометров, составляет $0,2^{\circ}\text{C}$.

Для термостатирования при рабочих температурах, меньших комнатной или близких к ней, предусмотрена возможность стабилизации температуры с помощью жидкости, прогоняемой по медным трубкам, проложенным параллельно трубкам электронагревателей.

В целях удобства управления тепловым режимом камеры и контроля за ним все элементы автоматической и ручной регулировки температуры и измерительные приборы собраны в единую систему - пульт подогрева и термостатирования.

В период испытания камеры было проведено исследование распределения температур по ее объему. Эти исследования показали, что в рабочем режиме в пределах точности измерения $0,1^{\circ}$ температура постоянна по всему объему рабочей камеры.

6. Заполнение камеры пропаном

Используемый нами коммерческий пропан повышенной чистоты имеет следующий состав: пропан C_3H_8 - 95,5%, этан C_2H_6 - 3,6%; бутан C_4H_{10} - 0,9%. С целью дополнительной очистки от побочных фракций, воды и механических примесей этот пропан подвергался перегонке и фильтрации.

При подготовке камеры к работе внутренняя камера заполнялась газообразной фазой до давления 15-18 ат. и полностью заливалась жидким пропаном, подогретым до температуры воды $55-60^{\circ}\text{C}$. Заполнение жидкой фазой вначале происходит за счет естественного перепада давлений, после выравнивания давления производится при помощи наполнителя диафрагменного типа.

Опыт показал, что заполнение "горячей" камеры холодным жидким пропаном вызывает его интенсивное испарение в нижней части камеры и может привести к порче резино-

вой диафрагмы, удерживающей стекло, или растрескиванию самого плавающего стекла.

Для обеспечения безопасной работы с пропаном установка оборудована вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении. В случае необходимости 95% жидкого пропана может быть экстренно удалено из камеры в специально охлаждаемый баллон, а остатки его - в атмосферу.

7. Электромагнит

Пузырьковая камера устанавливается внутри электромагнита /рис. 1/, который по своим характеристикам приближается к магнитам-соленоидам.

Ядро магнита состоит из верхней и нижней балок, связанных по краям двумя вертикальными стойками. Все части электромагнита представляют собой наборные пакеты из изолированных стальных листов, стянутых шпильками.

Обмотки электромагнита изготовлены из медной шины большого сечения с центральным каналом для водяного охлаждения. Конструкция обмоток позволяет в статическом режиме пропускать через них ток до 15000 а.

Система питания электромагнита состоит из двух генераторов ГП-5000, работающих в параллель при номинальном токе 6650 а в каждом. Камера опускается внутрь магнита через прямоугольное отверстие в верхней балке и прикрепляется к нижнему полюсу, положение которого относительно катушек регулируется по высоте.

При токе 13300 а напряженность магнитного поля в центре меридианной плоскости камеры равна 17000 гс. Стабилизация тока в статическом режиме не хуже 0,05%; подводимая к магниту мощность составляет около 2,2 Мвт. Тепловой режим электромагнита и его системы питания допускает работу в указанных условиях практически неограниченное время.

Измерения топографии магнитного поля в объеме камеры показали, что в любой горизонтальной плоскости внутри камеры неоднородность поля не превышает 2% в произвольном направлении. Отклонение величины напряженности поля от его среднего значения по вертикали, проходящей через центр, составляет $\pm 4\%$.

Электромагнит и система питания обеспечивают также возможность работы в импульсном режиме с напряженностью поля в центре камеры до 20000 гс. при максимальном значении тока 18000 а.

8. Испытания камеры

В течение длительного времени камера и ее узлы подвергались испытаниям в рабочих условиях. Часть результатов этих испытаний приведена выше при описании отдельных устройств.

Выбор оптимальных параметров рабочего цикла производился по фотографиям треков электронов, образующихся при облучении камеры гамма-источником Co^{60} , а также



Р и с. 8. Фотография рабочего объема камеры, полученная в момент облучения ее пучком π^- -мезонов 5,25 Бэв.

На рис. 8 представлена одна из фотографий, полученных при экспозиции камеры в пучке π^- -мезонов с энергией 5,25 Бэв.

Авторы благодарны дирекции института за содействие в создании установки, а также конструкторскому бюро и экспериментальной мастерской Лаборатории ядерных проблем за разработку и изготовление многих узлов камеры. Мы признательны руководству Лаборатории высоких энергий за предоставленную возможность работы на синхрофазотроне и содействие в создании магнитного тракта π^- -мезонов. Авторы глубоко благодарны механикам группы С.П. Жунину, В.А. Лебедеву и Н.П. Мошкову, вложившим много сил и мастерства в сооружение и наладку установки.

Л и т е р а т у р а

1. Yu. A. Budagov, V. P. Dzheleпов, N. I. Djakov, V. G. Ivanov^{x)}, V. I. Lepilov^{x)}, V. I. Moskalev^{x)}, V. B. Flyagin, T. Shatet. Intern. Conf. on High-Energy Accel. and Instrumentation, (Berkeley), p. 135 (1960).
2. Ю.А. Будагов, Н.И. Дьяков, Е.Д. Дьяков, Е.Д. Кохов, В.Б. Флягин, Т.И. Шетет. Быстродействующий газовый клапан для большой пузырьковой камеры. Препринт ОИЯИ, Д-610, Дубна, 1960.
3. Yu. A. Budagov, V. P. Dzheleпов, V. G. Ivanov, Yu. F. Lomakin, V. B. Flyagin, P. V. Shlyapnikov. Intern. Conf. on Instrumentation for High-Energy Physics, CERN, Geneva (1962) (to be published).
4. М.П. Баландин, В.Г. Гребинник, Г.И. Селиванов. ПТЭ, № 5, 50 /1962/.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 мая 1963 года.

^{x/} При печатании статьи в Трудах конференции фамилии авторов, отмеченные звездочкой, были пропущены по ошибке.