

С 344.14
Б-435

31/III.65

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

2254



А.В. Белоногов, Е.И. Дьячков, А.Г. Зельдович,
А.М. Моисеев, М.Д. Шафранов

40-САНТИМЕТРОВАЯ ЖИДКОВОДОРОДНАЯ
ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА
С МАЛЫМИ СТЕКЛАМИ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

1965

2254

А.В. Белоногов, Е.И. Дьячков, А.Г. Зельдович,
А.М. Моисеев, М.Д. Шафранов

40-САНТИМЕТРОВАЯ ЖИДКОВОДОРОДНАЯ
ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА
С МАЛЫМИ СТЕКЛАМИ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

3508/3 нр.

В Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований введена в эксплуатацию жидководородная пузырьковая камера с малыми стеклами, общая емкость которой 55 литров и диаметр рабочей области 40 см. Эта камера является моделью очень больших камер, для которых применение больших защитных стекол становится практически невозможным. Камера помещена в постоянный электромагнит с напряженностью магнитного поля 16000 эрстед. В качестве рабочей жидкости в камере может быть использован также жидкий дейтерий.

Система освещения и фотографирования

Система освещения и фотографирования во многом определяет конструкцию камеры. В силу особенностей рассеяния света пузырьками газа в жидком водороде оптимальной является система освещения и фотографирования "напросвет"^{/1/}. Однако такая система налагает определенные требования на конструкцию магнита и связана со значительными трудностями из-за необходимости уплотнения в металлическом корпусе камеры двух больших стекол. Частично эти трудности снимаются в конструкции камеры с одним большим стеклом при автоколлимационной системе освещения^{/2/}.

Применение больших защитных стекол для камер размерами, большими чем 2 метра, практически невозможно не только из-за проблем, связанных с уплотнением стекол и с обеспечением безопасности работы, но также из-за трудностей в изготовлении и высокой стоимости стекол таких размеров. Поэтому при конструировании водородных камер очень большого объема, по-видимому, придется перейти на систему освещения и фотографирования с несколькими малыми стеклами.

В качестве модели очень больших водородных камер была создана водородная камера с отдельными малыми стеклами, отнесенными от рабочего объема (рис. 1). Освещение камеры, сконструированной по такому принципу^{/3/}, производится через центральное стекло (1), а фотографирование через стекла (2), расположенные в плоскости стекла (1). В качестве отражательного элемента автоколлимационной системы освещения используется растр. Растр состоит из 37 элементов высотой 24 мм, толщиной 10 мм, закрепленных в дюралюминиевой оправе по сферической поверхности радиусом 610 мм.

Осветитель камеры состоит из лампы ИФК-50, 5-линзового конденсора двукратного увеличения, светофильтра, вырезающего желто-зеленую часть спектра, и нейтрального фильтра коррекции. Фотографирование производится стереофотоаппаратом с базой 240 мм, двумя объективами "Руссар-плазмат" с фокусным расстоянием 53 мм на две перфорированные пленки, ширина пленки 63 мм. Объективное плато крепится к передней крышке вакуумного кожуха на четырех кронштейнах.

Непараллельность защитных стекол камеры, вакуумного кожуха и прижимных стекол фотоаппарата контролируется с помощью автоколлимационной трубы и не превышает 1,5'.

Глубина фотографируемого объема равна 180 мм. Как видно из рисунка 1, применение малых стекол приводит к паразитному слою жидкого водорода между фотографируемым объемом и объективами стереоаппарата.

Конструкция камеры

Корпус камеры (1) изготовлен в виде усеченного конуса из нержавеющей стали 1X18Н8Т (рис. 2). На передней стенке корпуса расположены три отверстия, закрытые стеклами марки ЛК-5. Два стекла для фотографирования (2) имеют диаметр 110 мм и толщину 18 мм, для освещения применяется стекло (3) той же марки диаметром 45 мм и толщиной 10 мм. Стекла уплотнены с корпусом камеры ромбическими прокладками из отожженной меди^{14/}.

Задняя крышка корпуса камеры (4) съемная и так же, как и стекла, уплотнена ромбической прокладкой. На внутренней стороне задней крышки закреплена растровая отражательная система (5). В верхней части корпуса камеры расположены пневматический холодный сильфонный предохранительный клапан (6) с фторопластовым уплотнением и два штуцера термостатирующего змеевика (7). Термостатирующий змеевик припаян к медному листу, выпущенному по форме корпуса камеры и расположенному внутри камеры в ее верхней части. В нижней части корпуса имеется горловина с фланцем, к которой присоединяется механизм расширения. Уплотнение производится медной ромбической прокладкой, зажатой между притертыми поверхностями. На фланце механизма расширения расположен сильфонный пневматический клапан (8) для заполнения камеры жидким водородом.

На внешней поверхности задней крышки корпуса припаян змеевик (9), через который пропускается жидкий азот во время предварительного охлаждения камеры. Момент окончания охлаждения камеры жидким азотом контролируется медно-константановой термопарой, расположенной на передней стенке камеры. После охлаждения азот из змеевика удаляется откачкой, затем змеевик заполняется газообразным водородом и соединяется с водородным газгольдером.

Все трубопроводы из камеры и азотной ванны выводятся через верхнюю крышку вакуумного кожуха, что существенно упрощает сборку и разборку камеры.

Системы вакуумной теплоизоляции и термостатирования

Теплоизоляция камеры - высоковакуумная с экранированием жидким азотом. Вакуумный кожух (рис. 2) камеры (10) сварен из листовой нержавеющей стали толщиной 6 мм. На передней съемной крышке (11) вакуумного кожуха расположены три окна. Окна (12) служат для фотографирования, они закрыты стеклами марки ЛК-5 диаметром 70 мм и толщиной 10 мм. В центральное окно вставлены две линзы осветителя. Стекла для фотографирования и линзы осветителя уплотнены резиновыми прокладками.

Корпус камеры укреплен в вакуумном кожухе с помощью 12 трубчатых тонкостенных растяжек из нержавеющей стали. Растяжки имеют наконечники с резьбой, позволяющие юстировать корпус камеры в вакуумном кожухе. Верхние и боковые растяжки снабжены пружинными компенсаторами, предотвращающими возможность появления значительных напряжений в системе при сокращении деталей камеры во время охлаждения. Четыре нижние растяжки воспринимают усилие реакции в момент расширения.

Ванна жидкого азота (14), имеющая тороидальную форму охватывает переднюю, более узкую часть корпуса камеры. К ванне припаяны медные листы азотного экрана (15), окружающего корпус камеры со всех сторон. В переднем листе прорезаны круглые отверстия против окон для фотографирования и освещения.

Вакуумная система состоит из двух диффузионных насосов Н5, производительностью 500 л/сек каждый, и двух форвакуумных насосов ВН-2, производительностью по 400 л/мин. Во время работы камеры включены оба диффузионных насоса и один форвакуумный насос, второй форвакуумный насос находится в резерве. Необходимая скорость откачки обеспечивается одним диффузионным насосом. Одновременная работа двух диффузионных насосов необходима для того, чтобы избежать риска ухудшения вакуума во время замены перегоревшей спирали нагревателя диффузионного насоса. Во время работы камеры вакуум в теплоизолирующем кожухе - на хуже 10^{-5} мм. рт. ст. Измерение вакуума производится вакуумметром ВМБ и термопарным вакуумметром ВТ-2.

Для термостатирования камеры внутрь корпуса камеры, в верхнюю ее часть, введен змеевик (7), который соединен с конденсатором^{19/}. Конденсатор (16) имеет две полости, образованные концентрическими трубами. Во внешней полости конденсатора конденсируется водород из змеевика. Во внутренней полости кипит водород, поступающий из ожигателя. Конденсационная полость, змеевик и внешний ресиверный объем содержат постоянное количество водорода, заданное при пуске камеры. Чем выше уровень жидкого водорода в испарительной части конденсатора, тем большая поверхность участвует в

теплопередаче, тем интенсивнее происходит теплоотвод от камеры. Циркуляция водорода в змеевике и конденсаторе происходит самопроизвольно за счет разности веса столбов жидкости и пара. Пар из змеевика поступает в верхнюю часть конденсатора, а сконденсировавшийся жидкий водород стекает в змеевик из нижней части конденсатора. Так как коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося водорода меньше, чем от кипящего, то поверхность теплопередачи в конденсационной части увеличена за счет вертикальных ребер, напаянных на внутреннюю трубу. Ребра по высоте имеют несколько разрывов, чтобы уменьшать передачу тепла теплопроводностью вдоль ребер.

Уровень жидкого водорода внутри испарителя регулируется сифонным регулятором, установленным на сифоне подачи жидкого водорода из ожижителя в конденсатор. Регулятор закрывается регулируемым давлением гелия, подаваемым с одной стороны сифона, а открывается давлением в термостатирующем змеевике, подведенным по другую сторону сифона. Нагревание камеры вызывает нагревание термостатирующего змеевика, при этом давление в нем изменяется сильнее, чем в камере. Увеличение давления в термостатирующем змеевике, при заданном регулировочном давлении, вызывает открытие регулятора и увеличение подачи жидкого водорода в испарительную часть. При охлаждении камеры и термостатирующего змеевика давление в нем понижается настолько, что регулировочное давление закрывает регулятор. Задавая регулирующее давление гелия, можно получить необходимую температуру в камере. Описанная система позволяет пользоваться для термостатирования камеры жидким водородом под небольшим избыточным давлением, не создавая вместе с тем большой разности температур между рабочей жидкостью в камере и в охлаждающем змеевике. Практически эта разность температур в нашей камере не превышает 1° . При наладочных пусках камеры выяснилось, что поверхность термостатирующего змеевика велика и даже при разности температур в 1° основной теплоотвод происходит во входной части змеевика, что в свою очередь вызывает повышенные локальные конвекционные токи. Более равномерного распределения тепловой нагрузки по змеевику и перемещения конвекционных токов за пределы рабочей области удалось достичь подложив под змеевик фторопластовый лист.

Описанная система термостатирования обеспечивает точность поддержания температуры в камере не хуже $0,01^{\circ}\text{K}$ в течение многосуточной работы. После перерыва, при включении цикла расширения камеры температурный режим камеры восстанавливается в течение 10-15 минут.

Температура в камере измеряется 100-омным платиновым термометром

Механизм расширения

В камере применяется механизм расширения сифонного типа ^{1/5/}. На рис. 3 изображена схема механизма расширения в верхнем положении.

Механизм состоит из трех параллельных сифонных групп, расположенных на одном фланце (1) и жестко скрепленных в нижней части тарелкой (2). Холодная часть каждой группы выполнена из двух двухслойных восемнадцатигорбовых сифонов (3) из стали X18H9T. Наружный диаметр сифонов—92 мм, эффективная площадь — 55 см^2 . Сифоны соединены между собой кольцом (4), к которому они приварены с помощью контактной короткоимпульсной роликовой сварки. К верхней части сифонов приварено кольцо (5), которое прилаивается к фланцу (6). Фланец (6) уплотняется в горловине камеры ромбической прокладкой (7). Каждая группа сифонов движется в направляющей трубе по пластинкам (8) из фторпласта. Снизу к сифонам приварено днище (9), которое шарнирно соединено с верхней тарелкой (10) штока (11), изготовленного из стали X18H9T.

К фланцу штока (12) прикрепляется "теплый" поршень (13), выполненный из дюралюминия. К поршню и цилиндру прикреплены две перекатывающиеся мембраны (14,15) из маслостойкой резины с модулем упругости $70-80\text{ кг/см}^2$ толщиной 2,5 мм. Средний диаметр "переката" — 90 мм.

На нижнем конце штока смонтирован удерживающий клапан (16); направление движения штока задается опорой-направляющей (17). К клапану (16) внизу шарнирно прикреплен шток (18), выведенный наружу через сальник (19). В опору заделан демпфер поджима (30), служащий одновременно уплотняющей прокладкой удерживающего клапана. К опоре (17) прикреплен кожух (20), в который подается удерживающее давление.

Три штока (18) в нижней части жестко соединены ударной тарелкой (2). Под механизмом расширения расположено демпфирующее устройство, позволяющее регулировать степень расширения. Демпфирующее устройство состоит из 1) демпфера подвижной массы (21), скрепленного с подвижной массой (22), которая перемещается по направляющему штоку (23); 2) демпферов соударения (24,25); 3) конечного ограничителя (26). Демпферы собраны из набора резиновых колец, склеенных с дюралюминиевыми кольцами. Демпферное устройство с помощью фланца (27) крепится к ферме. Пружина (28) служит для фиксирования демпфера подвижной массы в исходном положении перед расширением. Теплая часть механизма расширения с помощью фланца крепится к вакуумному кожуху камеры (29).

В механизме расширения имеются газовые подводы в следующие полости:

- 1) в пространство между перекатывающимися мембранами (а),
- 2) в поджимное пространство (б),
- 3) в пространство над удерживающим клапаном (в),
- 4) в кожух удерживающего давления (г).

На схеме рис. 3 показан механизм расширения в крайнем верхнем положении, со-

ответствующем состоянию камеры перед расширением. В пространстве (в) над удерживающим клапаном (16) и в пространстве (б) под перекатывающейся мембраной (15) находится приводной газ (воздух) под атмосферным давлением. Камера удерживается в поджатом состоянии давлением газа в пространстве (г) под удерживающим клапаном (16). Давление газа под удерживающим клапаном подбирается таким, чтобы усилие, действующее вверх по штоку, было бы на 50–80 кг больше усилия, направленного вниз по штоку со стороны жидкости в камере. В этом положении удерживающий клапан кольцевым пояском прижат к демпферу поджима – уплотняющей прокладке (30). Расширение жидкости в камере начинается после срабатывания электромагнитного клапана расширения (31), подающего сжатый газ в пространство (в) над удерживающим клапаном. Под действием сил давления в пространстве (в) и в камере удерживающий клапан отходит от прокладки-демпфера, давление по обе стороны клапана полностью выравнивается, и подвижные части механизма силой давления в камере движутся вниз. В конце расширения ударная тарелка (2) наталкивается на демпфер подвижной массы (21), происходит соударение между подвижной системой механизма и подвижной массой. Соотношение соударяющихся масс выбирается таким образом, чтобы в конце соударения подвижная система механизма останавливалась. Для этого должно выполняться условие

$$\frac{m_1}{m_2} = k ,$$

где

m_1 – масса движущейся системы механизма,

m_2 – масса демпфера расширения и подвижной массы,

k – коэффициент восстановления (определяется опытным путем).

В нашем случае $k = 0,8 - 0,7$.

Таким образом, в результате соударения происходит передача всей кинетической энергии движущейся системы механизма подвижной массе демпфирующего устройства. Кинетическая энергия подвижной массы в период между циклами гасится на демпферах соударения (25,24), перед расширением демпфер подвижной массы возвращается в исходное крайнее верхнее положение с помощью пружины (28).

Ход подвижной массы таков, что она возвращается в исходное состояние через 100–150 мсек, т.е. уже после возвращения подвижной системы механизма в исходное положение перед расширением. Ход механизма регулируется в пределах от 0 до 55 мм с помощью винта (32) путем установки демпфера подвижной массы в положение, обеспечивающее необходимую степень расширения.

Для возвращения механизма в первоначальное положение в пространство (б) под перекатывающейся мембраной с помощью электромагнитного клапана (33) подается сжатый воздух. Запускающий импульс на электромагнитный клапан поджатия подается

через 20 мсек после запускающего импульса на электромагнитный клапан расширения (31). Поджимное давление газа, действуя на "теплый" поршень, возвращает механизм расширения в верхнее положение, и удерживающий клапан кольцевым пояском прижимается к демпферу поджима. После поджатия камеры газ из пространств (в,б) стравливается через дренажи с калиброванными отверстиями (34, 35) в атмосферу. Размер дренажей рассчитан так, что газ из пространства над удерживающим клапаном (в) стравливается быстрее. При этом функция удерживания механизма в поджатом состоянии переходит от давления поджимающего к удерживающему. После стравливания газа из поджимного пространства камера готова к следующему расширению. В пространстве удерживающего давления в процессе работы поддерживается давление 19–20 атм.

Пространство между перекатывающимися мембранами (а) откачивается до давления 400 мм рт. ст. По изменению давления в этом пространстве контролируется нарушение герметичности мембран.

Система обеспечения безопасности

На случай повышения давления внутри корпуса камеры (из-за порчи вакуума в вакуумном кожухе) установлены последовательно холодный и теплый предохранительные клапаны. Холодный клапан вмонтирован в корпус камеры с тем, чтобы между клапаном и камерой не было паразитного объема, из которого водород "выстреливает" в камеру при расширениях. Холодный предохранительный клапан не обеспечивает полную герметичность на проход. Эту функцию выполняет теплый предохранительный клапан с уплотнением резиной. В закрытом положении клапаны удерживаются заданным давлением гелия в соответствующем пространстве сильфонного привода. На вакуумном кожухе установлены два предохранительных тарельчатых клапана с резиновым уплотнением, удерживаемые в закрытом состоянии атмосферным давлением^{1/6}. Все сбросы из предохранительных клапанов подведены к пламяпреградителю с гравийной засыпкой. Через этот же пламяпреградитель непрерывно сбрасывается азот, испаряющийся в системе. На вакуумных коммуникациях между диффузионными и форвакуумными насосами установлены мембранные клапаны (рис. 4), которые перекрывают всасывающие линии форвакуумных насосов в случае аварийного повышения давления в вакуумном кожухе до 9–10 мм, рт. ст. Остальные меры безопасности являются обычными для работы с водородом: запрещение огневых работ, взрывобезопасное выполнение электрооборудования, вентиляция, газоанализаторы на содержание водорода в помещении и т.п.

Технологические вопросы

Управление камерой осуществляется дистанционно из покольного этажа измерительного павильона синхрофазотрона, защищенного от радиации. Основные управляющие

газовые коммуникации собраны в газовый пульт. Камера снабжается жидким водородом из рядом стоящего ожижителя ВО-1¹⁷¹ производительностью до 80 л/час жидкого водорода. Компрессоры и очистные системы водородного холодильного цикла расположены в отдельно стоящем криогенном корпусе, общем для ряда холодильных систем. Ожижитель соединен с камерой двумя сифонами длиной около 8 метров: одним для первоначальной заливки, другим, со встроенным регулятором, для термостатирования. Ожижитель и камера снабжаются жидким азотом из рядом стоящего танка. На термостатирование камеры расходуется 3,5-4 л/час жидкого водорода и 2 л/час жидкого азота (обе эти величины указаны без учета потерь в сифонах, превышающих их в несколько раз).

Во время пуска камера в течение 24-36 часов охлаждается жидким азотом, а затем в течение 5-8 часов охлаждается и заполняется жидким водородом. Жидкий водород заливается до определенного уровня, запирается и затем подогревается естественным теплопроводом.

Обычно в камеру заливается больше чем нужно водорода. Излишек его сбрасывается через специальный клапан сброса, аналогичный холодному предохранительному клапану, но меньших размеров. Когда температура в камере приближается к желаемой, включается механизм расширения. В установившемся режиме оператор поддерживает при помощи регулятора заданную температуру (давление) в камере и следит за правильной величиной давления в приводной системе механизма расширения и в других полостях. В случае утечки водорода из камеры в нее можно доконденсировать водород, подавая его из баллона высокого давления через редуктор и змеевик, охлаждаемый жидким азотом. После остановки камеры жидкий водород из нее передавливается в ожижитель или выпаривается, прекращается подача жидкого азота в ванну, выключаются диффузионные насосы. Форвакуумный насос остается включенным еще около суток с тем, чтобы камера нагревалась не очень быстро.

При соблюдении предосторожностей в отношении темпа охлаждения и нагревания медные уплотнения стекол и крышки корпуса камеры выдерживают многократные повторные охлаждения и нагревания.

Определение характеристик пучка

Камера расположена в сепарированном пучке положительных частиц с импульсом, изменяемым от 1,5 до 2,5 Гэв/с^{18/}. Изображение пучка после последнего объектива канала имеет размеры 8 мм по вертикали и 10 мм по горизонтали. Для увеличения загрузки и удобства обработки снимков желательнее, чтобы пучок имел небольшой размер в горизонтальном направлении, т.е. по глубине камеры, и был растянут в вертикальной плоскости, параллельной базе стереофотоаппарата. Для обеспечения этих требований,

а также очистки пучка от примеси вторичных частиц, рождающихся при поглощении части пучка в коллиматоре, например протонов, при работе с π^+ -мезонами, служит магнитная линза, расположенная перед магнитом камеры, которая фокусирует пучок в рабочем объеме камеры в горизонтальной и дефокусирует в вертикальной плоскостях. Если центр камеры расположить по оси канала, то под действием магнитного поля магнитная пучок отклоняется настолько, что проходит только по краю камеры, поэтому чтобы пучок проходил через центр камеры и перпендикулярно базе стереофотоаппарата, камера должна стоять ниже оси пучка, а пучок должен вводиться в отверстие в ярме магнита под углом к оси канала. Линза расположена таким образом, чтобы пучок проходил между ее нижними полюсами, этим достигается фокусировка и дефокусировка в нужных направлениях и отклонение пучка вниз на необходимый угол. Расположение линзы и магнита, обеспечивающее наилучшее прохождение пучка через камеру, определялось методом токнесущей нити, оно изображено на рисунке 5.

Канал сепарированных частиц был настроен на импульс 2,3 Гэв/с. Точное значение импульса было получено при обработке около 500 треков первичных частиц в магнитном поле. Импульсное распределение пучка первичных частиц приведено на рисунке 6. Наилучшим образом оно аппроксимируется нормальным распределением со средним значением, равным 2,312 Гэв/с, и стандартным отклонением, равным 85 Мэв/с. Средняя ошибка измерения равна 67 Мэв/с, следовательно, разброс пучка по импульсу не превышает 2%. Полученное значение хорошо согласуется с величиной разброса, определяемой геометрией канала. На рисунке 7 приведена функция разрешения для импульсного распределения. На камере получено около 80000 фотографий и продолжается набор фотографий для физических исследований.

Некоторые методические результаты

Одним из основных методических вопросов, который предстояло решить с помощью 40-сантиметровой камеры было исследование возможности создания очень больших водородных камер с малыми стеклами и значительным паразитным объемом перед ними.

При изучении стереоснимков тест-объектов и треков пучковых частиц, полученных в методических запусках, было найдено, что на снимках с верхнего объектива имеются сильные оптические искажения, распространяющиеся на всю верхнюю половину камеры, которые были, по-видимому, обусловлены локальными конвекционными токами у входной части термостатирующего змеевика, где происходил основной теплоотвод. Измерения расстояний между реперными точками в объеме камеры, произведенные на большом числе снимков, полученных с пустой камерой и камерой, находящейся в рабочих условиях, показали, что дисперсия измерений во втором случае возрастает приблизительно в 5 раз.

Меры, принятые для выравнивания тепловой нагрузки по всей поверхности эмееви-ка, привели к существенному уменьшению искажений на снимках с верхнего объектива. У треков с возрастом 5 мсек появляются значительные искажения, обусловленные переносом трека потоками жидкости в цикле расширения. Так, для треков, полученных без магнитного поля, с возрастом 4 мсек средний радиус ложной кривизны составил около 40 метров. При уменьшении задержки вспышки до 1,5 мсек радиус ложной кривизны возрос до 100 метров. Эта ложная кривизна еще несколько больше, чем ложная кривизна треков такого же возраста в камерах с большими стеклами^{/8/}. Искажения, остающиеся при малой задержке света, по-видимому, обусловлены оптическими неоднородностями в паразитном слое жидкого водорода, которые возникают вследствие локальных подводов тепла, в частности, за счет необратимых процессов в цикле расширения.

Увеличение времени между циклами расширения камеры от 9 до 18 сек улучшило качество треков на снимках.

Расположение механизма расширения непосредственно под фотографируемым объемом могло повлечь за собой появление в рабочем объеме поля систематических искажений треков.

Подобный эффект был отмечен в некоторых типах водородных пузырьковых камер^{/10/}. Для проверки этого эффекта были построены распределения среднего импульса, найденного по кривизне в магнитном поле по высоте и глубине камеры. Как видно из рис. 8, в камере не найдено таких областей с систематическим искажением треков. "Шумы" точек, восстановленных в пространстве камеры, были определены методом третьих разностей. Величина "шумов" найдена равной $97 \mu\text{к}$, что согласуется со значениями, ожидаемыми на основании "шумов" измерений на пленке.

Одной из существенных особенностей пузырьковых камер является возможность определения массы заряженных частиц по плотности ионизации их треков в широком диапазоне импульсов. Для обеспечения такой возможности необходимо, чтобы была хорошая однородность освещения по всему полю камеры и плотность треков релятивистских частиц должна при этом быть порядка 10 пузырьков на см^{/11/}.

Высокое качество растровой системы 40-сантиметровой камеры обеспечивает выполнение первого условия.

Плотность ионизации релятивистских частиц существенно зависит от величины перегрева по давлению или температуре^{/12/}, которые задаются режимами работы термостатирующей системы и механизма расширения. Первые пуски 40-сантиметровой камеры показали, что в ней легко могут быть достигнуты высокие степени перегрева.

При подборе режима работы камеры было найдено, что плотность релятивистских частиц 10-15 пузырьков на см достигается при температуре камеры $27,5^\circ\text{К}$ и нижнем давлении $2,5 \pm 0,15$ атм, что соответствует перегреву по давлению $2,65 \pm 0,15$ атм.

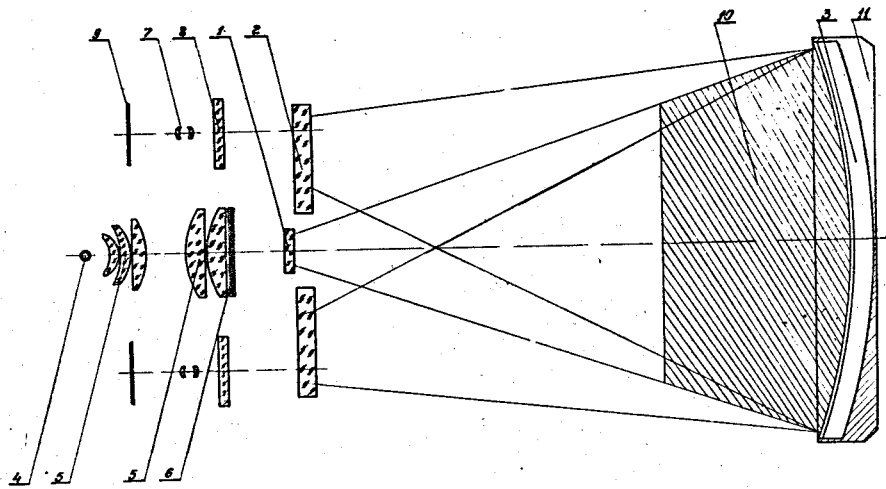
В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность сотрудникам ИТЭФ Г.К. Клигеру, В.З. Колганову, А.В. Лебедеву, С.Я. Никитину, В.Т. Смолянкину, А.П. Соколову, сотрудникам ЛВЭ ОИЯИ Э.В. Козубскому и И.С. Саитову, принимавшим активное участие в начальной стадии создания камеры; А.А. Белушкиной и Л.Б. Голованову за разработку отдельных узлов камеры; А.И. Валевичу, И.А. Сычкову, В.С. Ильину, А.А. Демину за участие в монтаже, испытаниях и запусках камеры.

Мы глубоко признательны В.И. Векслеру, И.М. Граменицкому и И.В. Чувилу за постоянный интерес к работе и поддержку.

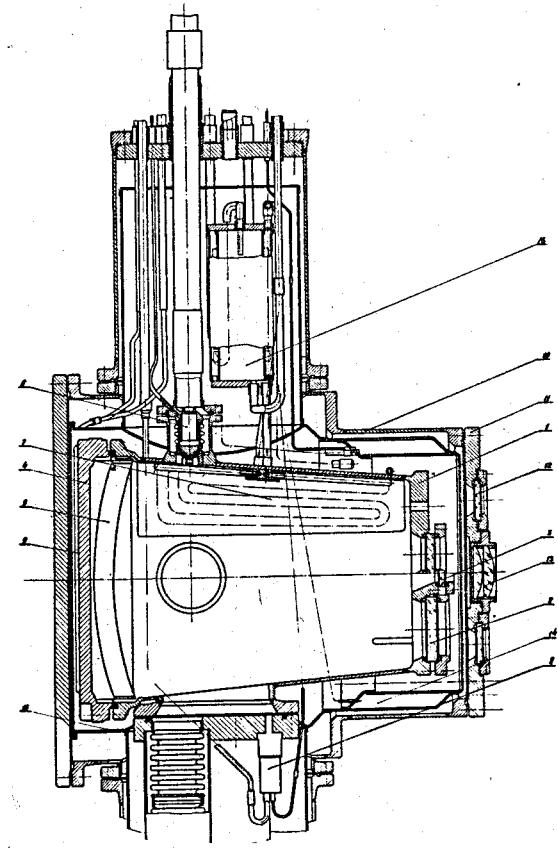
Л и т е р а т у р а

1. L.Riddiford et al. International Conference on High Energy Accelerators and Instrumentation. CERN, 445, 1959.
2. D.C.Rahm. International Conference on High Energy Accelerators and Instrumentation, CERN, 440, 1959.
3. А.В. Белоногов, А.Г. Зельдович, В.З. Колганов, Л.Г. Лансберг, А.В. Лебедев, С.Я. Никитин, В.Т. Смолянкин, А.П. Соколов. ПТЭ, 33, № 1, 1968.
4. В.З. Колганов, А.В. Лебедев, С.Я. Никитин, В.Т. Смолянкин, ПТЭ, № 1, 31 (1968).
5. А.В. Белоногов, Е.И. Дьячков, А.Г. Зельдович. Авторское свидетельство № 135544. Бюллетень изобретений, № 3, 1961.
6. А.В. Белоногов. ПТЭ, № 1, 217 (1964).
7. А.Г. Зельдович, Ю.К. Пилипенко. ПТЭ, № 2 (1961).
8. А.С. Вовенко, Г.Г. Воробьев, А.Д. Кириллов, В.В. Миллер, А.М. Моксеев, М.Д. Шафранов. Доклад на XII международной конференции по физике высоких энергий, г. Дубна, 1964 г.
9. L.Robert L. Loutit. Proceedings of the on International Conference on Instrumentation High-Energy Physics, Berkly, 117, 1960.
10. UCRL Engineering Note, 4312-07, M37, 1957.
11. R.P.Shutt. Proceedings of the 1962 Conference on Instrumentation for High-Energy Physics. 71.
12. B.N.Fabian, R.L.Place, W.A.Kiley, W.H.Sims, U.P.Kenney. Rev. Sci. Instr., 34, 484 (1963).
13. А.В. Белоногов, А.Г. Зельдович. Авторское свидетельство № 116048. Бюллетень изобретений, № 21, 1964.

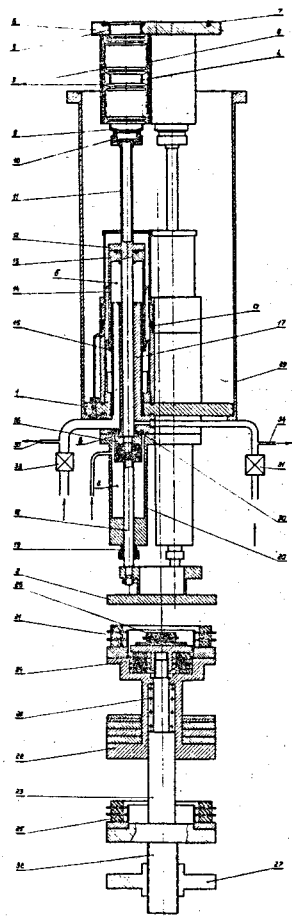
Рукопись поступила в издательский отдел
1 июля 1965 г.



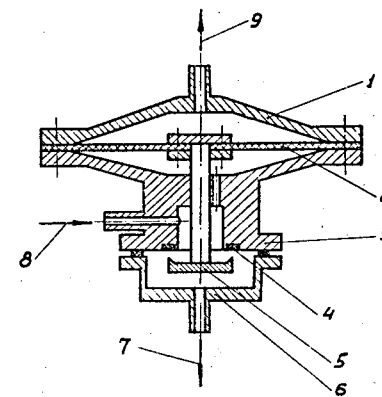
Р и с. 1. Схема освещения и фотографирования 40-сантиметровой жидководородной камеры. 1. Центральное стекло для освещения камеры. 2. Стекла для фотографирования. 3. Растр системы освещения. 4. Импульсная лампа ИФК-50. 5. Конденсор двукратного увеличения. 6. Фильтры нейтральный и желто-зеленый. 7. Объективы "Руссар-плазмат". 8. Вакумные стекла для фотографирования. 9. Прижимные стекла стереофотоаппарата.



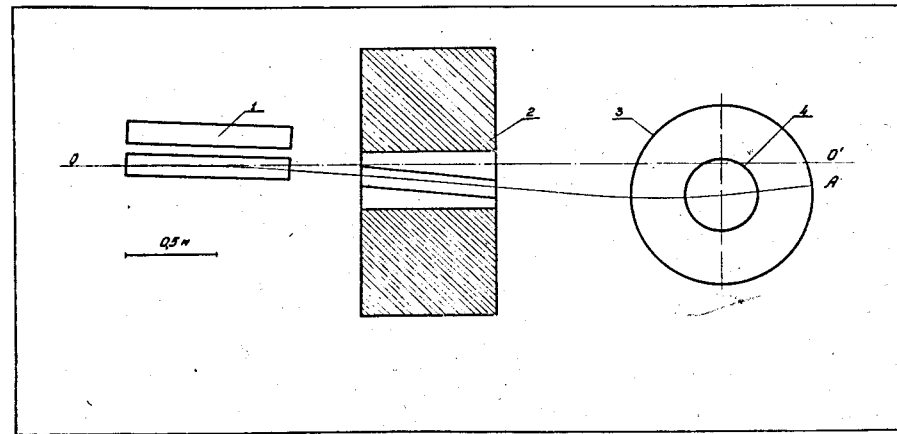
Р и с. 2. Схематический чертеж камеры.



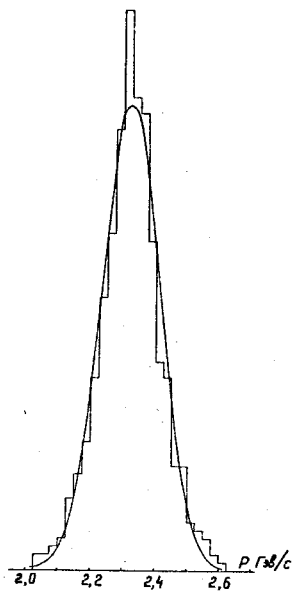
Р и с. 3. Схематический чертеж механизма расширения камеры.



Р и с. 4. Мембранный обратный клапан. 1. Мембранная крышка клапана, 2. Резиновая мембрана, 3. Корпус клапана, 4. Резиновая прокладка, 5. Грибок со штоком, 6. Крышка нижняя, 7. К форвакуумному насосу, 8. Откачка надмембранного пространства, 9.

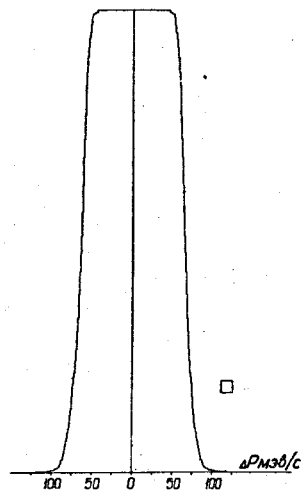


Р и с. 5. Схема ввода пучка в камеру: OO' – ось канала, OA – траектория мезонов. 1. Магнитная линза, 2. Стойка магнита камеры, 3. Полус магнита камеры, 4. Камера.



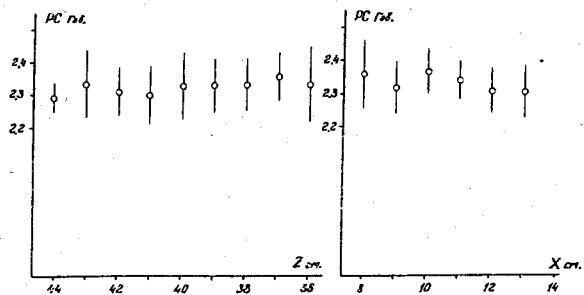
Р и с. 6

Импульсное распределение пучка частиц, проходящих через камеру, построенное по 523 случаям.

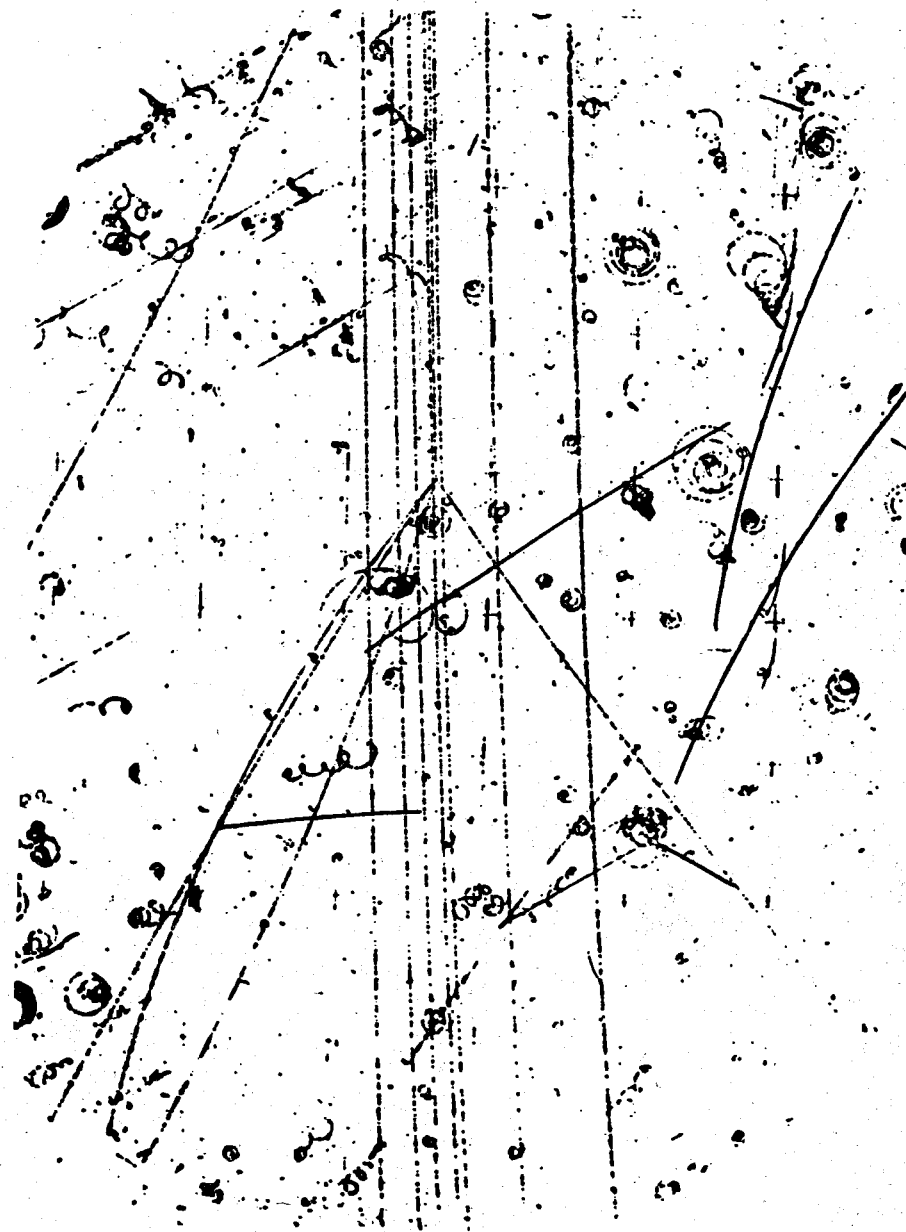


Р и с. 7

Функция разрешения. Квадратик справа соответствует одному случаю.



Р и с. 8. Импульсное распределение по глубине (Z) камеры и по высоте (X) камеры.



Р и с. 9. Снимок 4-лучевой звезды, полученной на 40-сантиметровой водородной камере в пучке π^+ -мезонов с импульсом 2,3 Гэв/с.