

848



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

Т.Д.Блохинцева, А.Т.Василенко, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков,
Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан

P-848

ВОСЬМИЛИТРОВАЯ ВОДОРОДНО- ДЕЙТЕРИЕВАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Дубна 1961

Т.Д.Блохинцева, А.Т.Василенко, В.Г.Гребинник, В.А.Жуков,
Г.Либман, Л.Л.Неменов, Г.И.Селиванов, Юань Жун-фан

P-848

ВОСЬМИЛИТРОВАЯ ВОДОРОДНО-
ДЕЙТЕРИЕВАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Описано устройство и приведены эксплуатационные данные восьми-литровой водородно-дейтериевой пузырьковой камеры. Камера представляет собой стеклянно-металлическую конструкцию с вертикальным расположением рабочего объема. Освещение камеры напросвет с помощью линзы. Система расширения - сильфонного типа. Магнитное поле в рабочем объеме составляет 12000 э. Мертвое время камеры не превышает 2 сек.

Abstract

A design of a 8-litre hydrogen-deuterium bubble chamber is described and its operating characteristics are given. The chamber is a metal-glass device with the vertical location of its working volume. The chamber is illuminated by means of a lens. In the expansion system the bellows are used. The magnetic field is 12000 oersted in the working volume. The operating cycle of the chamber does not exceed 2 secs.

Жидководородная пузырьковая камера описываемой конструкции предназначена для работы в магнитном поле стандартного электромагнита МС-4, повернутого на угол 90° относительно нормального положения. Межполюсный зазор магнита увеличен до 150 мм. Одна часть ярма вместе с катушкой установлена на подвижной тележке и имеет возможность откатываться по специальным направляющим (рис. 1), освобождая пространство, вполне достаточное для проведения профилактических работ с камерой.

Корпус камеры изготовлен из нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т. Он выполнен в виде двух коаксиальных цилиндров, связанных между собой массивными фланцами. Кольцевая полость, образуемая между этими цилиндрами, используется для термостатирования рабочего объема. Для лучшего теплообмена между двумя объемами внутренняя стенка камеры выложена листовой медью, имеющей непосредственный тепловой контакт с водородом, содержащимся в кольцевой рубашке. С этой целью во внутреннем силовом цилиндре из нержавеющей стали сделаны отверстия.

Смотровые окна камеры закрыты двумя дисками из стекла марки ЛК-5, имеющими наружный диаметр 280 мм и толщину 40 мм. Уплотнение стекол по отношению к корпусу камеры достигается с помощью ромбических колец из отожженной меди с завальцованной внутрь прокладкой из фторопласта-4. Конструкция уплотнения аналогична ранее описанной в работе ^{1/}. Крепление стекол к корпусу камеры осуществляется с помощью двух накидных фланцев, изготовленных из нержавеющей стали. Равномерный прижим каждого фланца к стеклу обеспечивается с помощью 24 латунных шпилек диаметром 12 мм.

К горловине с фланцем, приваренной к корпусу камеры с нижней стороны рабочего объема, присоединяется сильфонное расширительное устройство. Уплотнение его по отношению к корпусу достигается также с помощью медной ромбической прокладки, зажатой между тщательно отполированными стальными поверхностями.

В расширительном устройстве (рис. 2) применены два двухслойных восемнадцатигорбовых сильфона из нержавеющей стали с внешним диаметром 92 мм. Через промежуточные армирующие кольца сильфоны последовательно соединены сваркой между собой, а также с крепежным фланцем и подвижным днищем. Для

улучшения условий отвода тепла, поступающего извне к расширительному устройству, а также с целью центрирования сильфонов они окружены медным экраном, имеющим тепловой контакт с рубашкой камеры. Направление сильфонам задается стальной полированной гильзой, запрессованной в экранный кожух. Для уменьшения трения на сильфоны в месте их соединения друг с другом надето разрезное кольцо из фторопласта-4.

Во избежание попадания жидкого водорода в вакуумный объем в случае повреждения сильфонов экранный кожух сделан замкнутым. Герметизация его осуществляется с помощью второй гирлянды из сильфонов меньшего диаметра. Через тонкий капилляр внутренняя полость сообщается с электроконтактным манометром, вынесенным на пульт управления. Повышение давления в этой полости является указанием на неисправность расширительного устройства.

Передача движения сильфонам в момент поджатия осуществляется с помощью трубчатого штока из нержавеющей стали, оканчивающегося с нижней стороны дюралюминиевым поршнем. Диаметр поршня 100 мм. Расширительное устройство приводится в движение сжатым газом, энергия которого передается поршню через гидравлический привод, с которым связан также стабилизатор нижнего давления. Конструкция гидравлического привода аналогична приведенным в работах ^{2,3/}. Разделительные мембраны выполнены из резины толщиной 4 мм. Диаметр их по уплотнению составляет 160 мм.

Надмембранное пространство со стороны поршня изолировано от вакуумного объема с помощью дополнительной гирлянды из сильфонов. Назначение этой гирлянды сводится к предотвращению попадания жидкого водорода в вакуумный объем при порче резиновой диафрагмы.

Корпус камеры с помощью четырех растяжек укреплен в медианной плоскости массивной станины, являющейся крепежной основой для сборки всех узлов камеры. Растяжки выполнены в виде тонкостенных трубок из нержавеющей стали, имеющих с одного конца резьбу, а с другого - головку под ключ. На одной трети длины, считая от теплого конца, они законтактированы переходными медными втулками на азотный экран.

Растяжка, направленная вдоль штока расширительного устройства, воспринимает основное усилие, передаваемое через шток камере. Остальные растяжки

служат для предварительной юстировки рабочего объема. Верхняя растяжка снабжена пружинными компенсаторами, предотвращающими возможность появления в системе значительных напряжений при сокращении деталей камеры во время охлаждения. Выбранный способ крепления камеры позволил также избежать вибраций во время работы расширительного устройства и, наряду с этим, обеспечил достаточное удобство монтажа и замены деталей, подверженных износу. Общий вид камеры со снятым вакуумным кожухом и без радиационных экранов показан на рис. 3.

Коммутация газа, поступающего для поджатия, осуществляется одним двухступенчатым электромагнитным клапаном двойного действия. Устройство его показано на рис. 4. Давление газа, необходимое для нормальной работы расширительного устройства, составляет 7 атм.

Величина степени расширения может варьироваться за счет изменения количества жидкости, содержащейся в замкнутом объеме гидравлического привода.

Вакуумный кожух камеры изготовлен из листовой нержавеющей стали толщиной 6 мм. Он образует два изолированных друг от друга объема: нижний, где находится собственно камера, и верхний, предназначенный для размещения бачков с запасом жидкого водорода и азота. Верхняя часть камеры представляет собой обычный сосуд Дьюара для жидкого водорода. Водород находится в трех сообщающихся между собой бачках, изготовленных из нержавеющей стали. Внешний диаметр бачков - 100 мм, толщина стенок - 1 мм. Их суммарный объем равен 15 л. Бачки окружены медным экраном, имеющим тепловой контакт с латунным цилиндром, содержащим 5 л жидкого азота. В этом цилиндре помещается змеевик из медной трубки с внутренним диаметром 4 мм. Змеевик служит для предварительного охлаждения газообразного водорода, поступающего в рабочий объем для ожижения. Полная длина трубки, образующей змеевик, составляет 60 м.

Так как бачки размещаются в зазоре между катушками электромагнита, то верхняя часть вакуумного кожуха сделана плоской. Сосуд с плоскими стенками плохо работает на давление. Повышение давления в вакуумном кожухе может произойти в момент аварии. Для того, чтобы избежать необходимости изготавливать кожух из толстого материала, целесообразно было разделить вакуумные объемы с помощью специальных переходных втулок, показанных на рис. 5.

Форма нижней части вакуумного кожуха определена выбранным способом освещения и фотографирования. В соответствии с этим со стороны фотоаппарата кожух имеет форму цилиндра, а со стороны осветителя - усеченного конуса. На плоской передней стороне вакуумного кожуха кроме фотоаппарата расположены также телекамера, глазок для визуального наблюдения, а также блок откачки и система аварийного выброса водорода.

Полная схема всей газовой системы камеры приведена на рис. 6. Откачка вакуумного кожуха производится диффузионным насосом Н-5, предварительное разрежение для которого создается форвакуумным насосом типа ВН-1. Рабочий вакуум в системе составляет 10^{-5} мм рт.ст. На форвакуумной линии установлены два обратных клапана. Один из них исключает возможность повышения давления в форвакуумной линии в момент аварии (порог его срабатывания 0,1 атм.), а другой предотвращает попадание атмосферы в вакуумный объем при самопроизвольной остановке двигателя форвакуумного насоса. Устройство аварийных клапанов показано на рис. 7.

Выброс газа в случае аварии осуществляется в специальные балластные объемы общей емкостью $2,5 \text{ м}^3$, отделенные мембраной от вакуумного кожуха камеры. Балластные объемы предварительно откачиваются и затем, чтобы избежать постепенного натекания атмосферы в них, заполняются чистым аргоном до давления 0,2 атм. При заполнении камеры дейтерием эти объемы используются для хранения газа в промежутках между отдельными сеансами работы.

Давление, при котором происходит кипение жидкого водорода в термостатирующей рубашке камеры, поддерживается с точностью $\pm 0,15\%$ с помощью стабилизатора мембранного типа с газовым управлением (рис. 8). Эффективный диаметр резиновой диафрагмы в нем составляет 260 мм.

Фотографирование рабочего объема камеры производится быстродействующим стереофотоаппаратом с базой 250 мм. В фотоаппарате установлены два объектива "Руссар-28" с фокусным расстоянием 70 мм. Расстояние фотографирования составляет 800 мм. Кассета вмещает 150 м пленки шириной 35 мм. Собственное мертвое время фотоаппарата не превышает 0,2 сек. Схематический чертеж стереофотоаппарата и его внешний вид показаны на рис. 9 и 10.

В осветителе применена спиральная импульсная лампа типа ИФК-500. Сбор света осуществляется конденсором, составленным из двух плоско-выпуклых линз с фокусным расстоянием 70 мм. Однолинзовым объективом свет проецируется на собирающую линзу с фокусным расстоянием 450 мм, установленную в непосредственной близости от рабочего объема камеры. Пройдя рабочий объем камеры, свет собирается в пятно диаметром 60 мм и поглощается световой ловушкой, установленной на передней стенке водородного экрана камеры.

Магнитное поле в центре камеры составляет 12000э при силе тока, протекающего через обмотку электромагнита, 850 а. Неоднородность поля по радиусу иллюстрируется графиком на рис. 11 и не превышает 1,5%. Неоднородность поля по оси камеры несколько больше и достигает 4%.

Эксплуатация камеры в течение полугода выявила удовлетворительную работу всех устройств. Было получено более 30 тыс. стереофотографий. При этом расширительное устройство без смены сифонов совершило около 70 тыс. циклов.

Охлаждение камеры до температуры жидкого азота производится постепенно. Было установлено, что когда время охлаждения составляет менее восьми часов, на смотровых стеклах камеры появляются трещины. При первоначальном охлаждении жидкий азот подается непосредственно в термостатирующую рубашку камеры. С целью сохранения режима охлаждения заливка производится через дозирующий фильер с диаметром проходного отверстия 1 мм. Момент окончания охлаждения контролируется по падению давления в рабочем объеме камеры, в который для улучшения конвекционного теплообмена предварительно подается газообразный водород под давлением 5 атм. В дальнейшем жидкий азот из рубашки вытесняется через специальный сифон, подсоединенный к наиболее низкой точке рубашки камеры. Остатки азота впоследствии удаляются из системы откачкой. На предварительное охлаждение затрачивается около 100 л жидкого азота.

Питание резервного бачка радиационного экрана камеры жидким азотом производится из танка емкостью 100 л с помощью малоинерционного автоматически действующего устройства, принципиальная схема которого приведена на рис.12. Расход азота в установившемся режиме не превышает 2 л в час.

Первоначальное заполнение термостатирующей рубашки камеры жидким водородом осуществляется из специальных сосудов Дьюара емкостью 50 л, а пополне-

ние ее во время работы производится без нарушения режима из аналогичных сосудов емкостью 24 л, давление в которых с помощью стабилизатора поддерживается на 0,1 атм выше давления в рубашке камеры. Схематический чертеж такого сосуда Дьюара приведен на рис. 13. Расход водорода на предварительное охлаждение всей конструкции от атмосферной температуры до температуры жидкого водорода составляет приблизительно 20 л. В процессе ожижения газообразного водорода расходуется около 15 л жидкого водорода. С целью экономии времени обычно обе эти процедуры ведутся совместно, т.е. подача газообразного водорода в рабочий объем камеры и его ожижение производится в процессе охлаждения. В дальнейшем для поддержания режима работы требуется 2,5-3 л жидкого водорода в час.

Заполнение рабочего объема камеры жидким водородом длится около трех часов. Установление рабочего режима, характеризующееся началом чувствительности к радиоактивному источнику, занимает несколько более одного часа.

На рис. 14 представлена наиболее типичная фотография случая упругого взаимодействия μ -мезона с водородом, полученная с помощью описанной выше камеры.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность конструкторам В.А. Савельеву, В.М. Сороко и Л.Г. Денисовой за разработку отдельных узлов камеры, К.А. Байчеру и коллективу экспериментальных мастерских, выполнившим основную часть работ по изготовлению и монтажу установки, А.П. Манычу и К.И. Ошибкину, принявшим участие в испытаниях и запуске камеры, а также обслуживающему персоналу водородно-ожижительной станции за бесперебойное снабжение камеры жидким водородом.

Мы признательны профессору В.П. Желепову и профессору Б.М. Понтекорво за постоянный интерес к работе, Б.И. Замолдчикову за ряд ценных советов, профессору А.Г. Зельдовичу, А.В. Белоногову и В.Т. Смолянкину за полезные обсуждения и консультации.

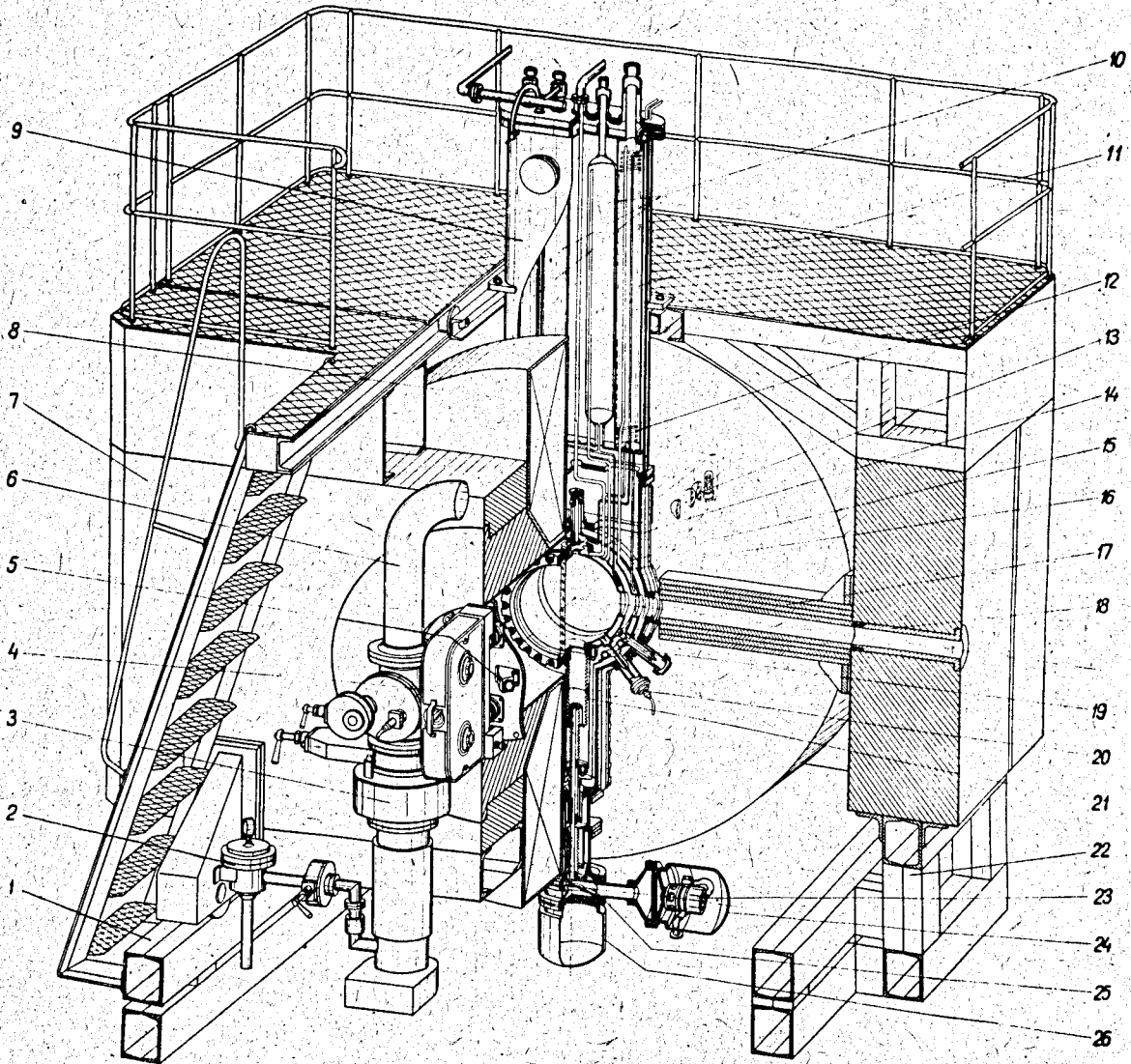


Рис. 1. Схематический чертеж камеры. 1 - направляющая фермы; 2 - предельный аварийный клапан; 3 - высоковакуумный агрегат с диффузионным насосом Н-5; 4 - стереофотоаппарат; 5 - "глазок" для визуального наблюдения; 6 - аварийная линия; 7 - откатываемая часть ярма магнита; 8 - катушка магнита; 9 - верхняя часть вакуумного кожуха; 10 - резервные бачки для жидкого водорода; 11 - азотный бачок; 12 - змеевик; 13 - осветитель; 14 - запорный клапан; 15 - азотный экран; 16 - термостатирующая рубашка камеры; 17 - магнитный экран; 18 - коллиматор; 19 - юстировочная растяжка; 20 - выход датчика давления; 21 - расширительный сильфон; 22 - ферма; 23 - клапан; 24 - кожух глушителя; 25 - гидропривод; 26 - воздушный бачок стабилизатора давления.

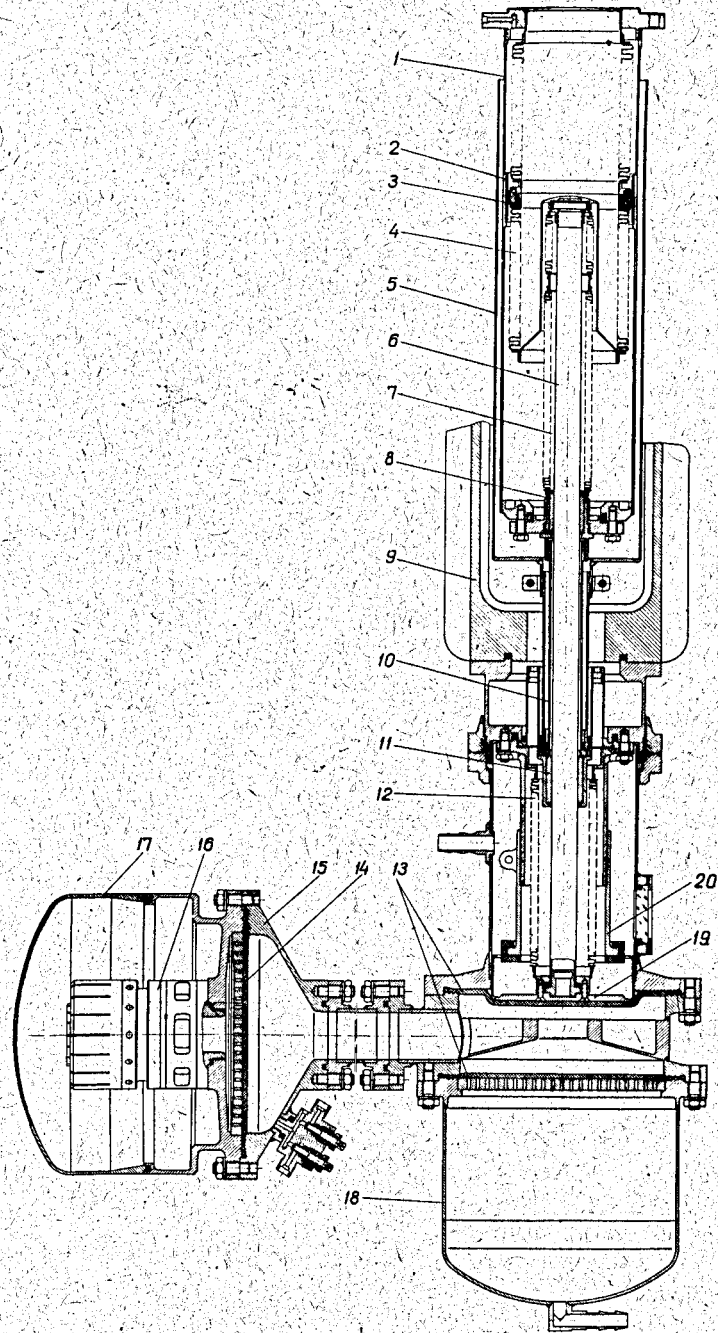


Рис. 2. Конструкция расширительного устройства камеры. 1 - кожух; 2 - направляющая гильза; 3 - центрирующее кольцо; 4 - расширительный сиффон; 5 - азотный экран; 6 - шток; 7 - герметизирующий сиффон; 8 - медно-графитовая направляющая втулка, находящаяся при температуре термостатирующей рубашки; 9 - станина; 10 - силовая растяжка; 11 - медно-графитовая направляющая втулка, находящаяся при температуре азотного экрана; 12 - предохранительный сиффон; 13 и 14 - резиновые диафрагмы; 15 - корпус гидропривода; 16 - клапан; 17 - кожух глушителя; 18 - газовый баллон стабилизатора давления; 19 - поршень; 20 - ограничитель хода поршня.

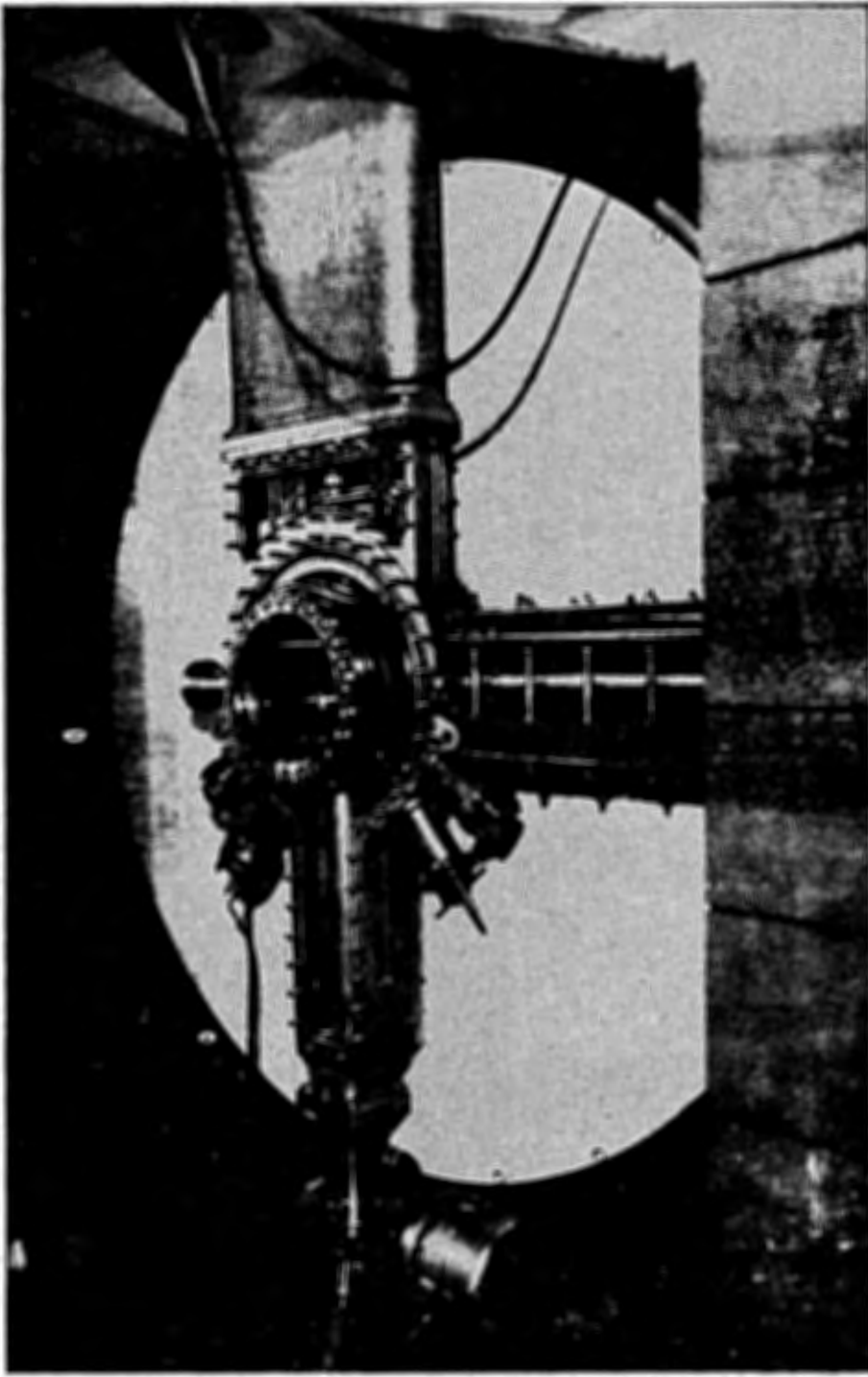


Рис. 3. Общий вид камеры со снятым вакуумным кожухом без радиационных экранов.

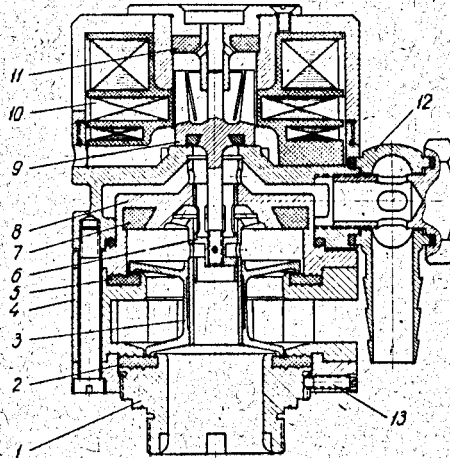


Рис. 4. Двухступенчатый электромагнитный клапан двойного действия. 1 - юстировочное резьбовое кольцо; 2 и 5 - резиновые уплотнительные кольца; 3 - подвижная втулка с двумя уплотнительными грибками; 4 - корпус; 6 - золотник; 7 и 11 - резиновые амортизаторы; 8 - направляющая; 9 - плунжер; 10 - катушка электромагнита; 12 - цуцер; 13 - стопорный винт.

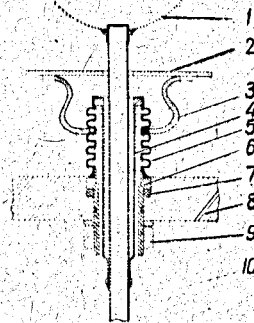


Рис. 5. Проходная горловина для жидкого водорода в промежуточной стенке вакуумного кожуха. 1 - бачок с жидким водородом; 2 - экран, имеющий температуру жидкого азота; 3 - гибкий теплопровод; 4 - тонкостенная трубка из нержавеющей стали; 5 - сильфон из нержавеющей стали; 6 - уплотнительная втулка; 7 - резиновая прокладка; 8 - стенка вакуумного кожуха; 9 - гайка; 10 - питающая трубка.

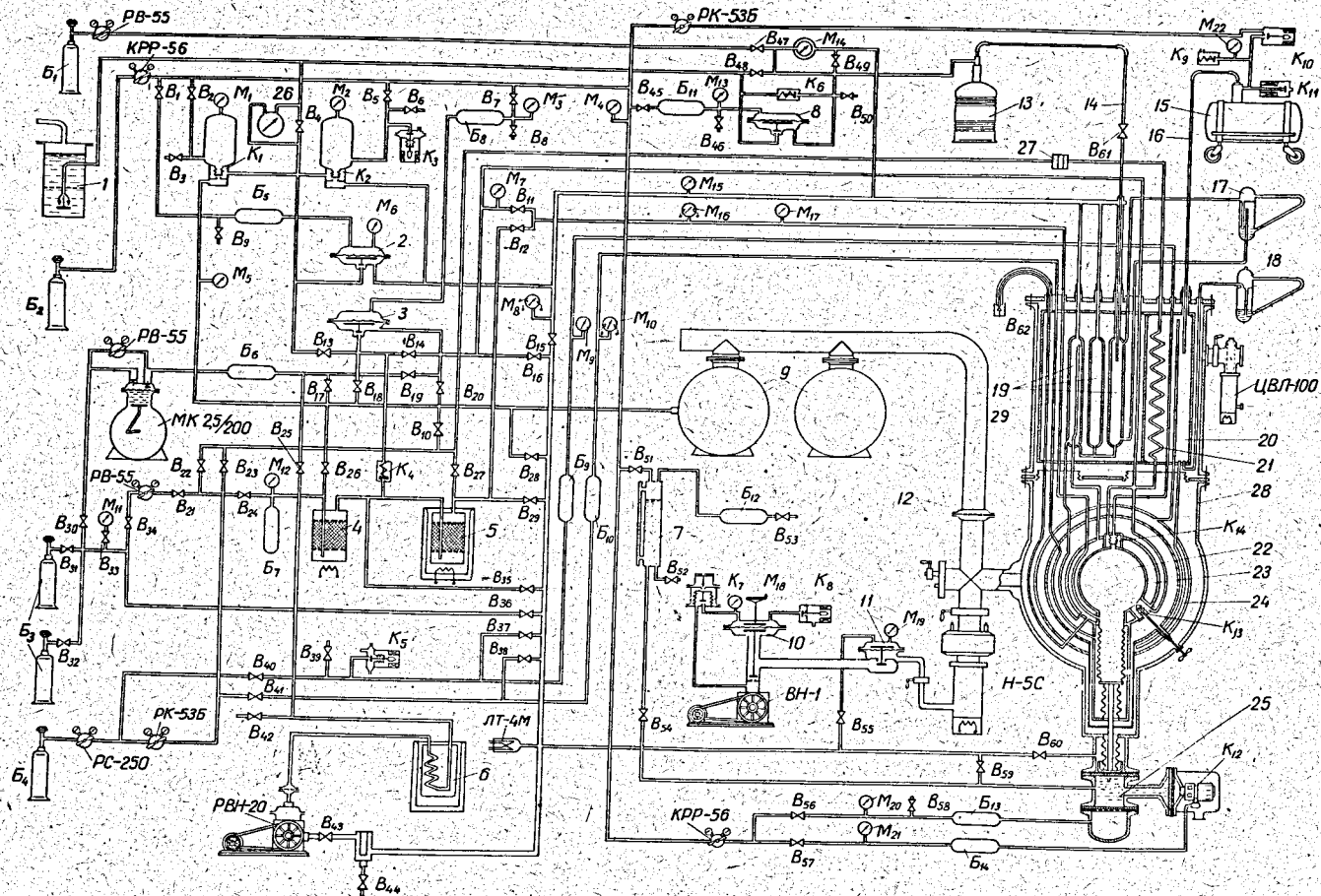


Рис. 6. Полная схема газовой системы камеры. Б - баллоны, В - вентили, М - манометры; К - клапаны; 1 - пламепреградитель; 2, 3 и 8 - стабилизаторы давления; 4 - ловушка, заполненная селикагелем; 5 - ловушка, заполненная активированным углем; 6 - маслоулавливатель; 7 - резервный бачок с жидкостью; 9 - ресиверы; 10 и 11 клапаны аварийного закрытия форвакуумной линии; 12 - разделительная мембрана; 13 - сосуд Дьюара с жидким водородом; 14 и 16 сифоны с вакуумной изоляцией; 15 - танк с жидким азотом; 17 - указатель уровня водорода; 18 - указатель уровня азота; 19 - резервные баки термостатирующей рубашки камеры; 20 - бачок для жидкого азота; 21 - змеевик предварительного охлаждения газообразного водорода; 22 - рабочий объем камеры; 23 - термостатирующая рубашка; 24 - радиационный экран; 25 гидроривод; 26 - газовый расходомер; 27 - фильтр очистки от механических примесей; 28 и 29 - вакуумные кожухи камеры.

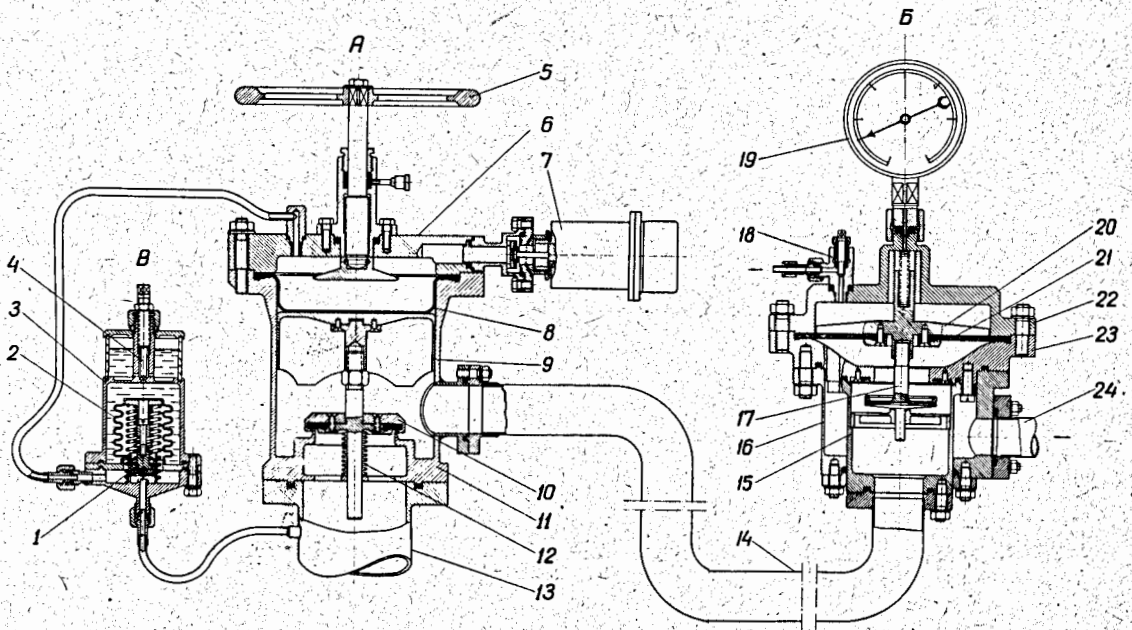


Рис. 7. Система аварийного закрытия форвакуумной линии. А - обратный клапан с пневматическим приводом, исключающий проникновение атмосферы в откачиваемый объем; Б - предельный клапан, предотвращающий попадание газообразного водорода в форвакуумную линию; В - автоматический вентиль с запаздыванием; 1 - уплотнительный грибок; 2 - сильфон; 3 - стальной кожух, заполненный вязким маслом; 4 - регулирующая игла; 5 - штурвал ручного управления; 6 - крышка; 7 - электромагнитный клапан; 8 - резиновая диафрагма; 9 - поршень; 10 - заглушка; 11 - корпус; 12 - возвратная пружина; 13 - патрубок форвакуумного насоса; 14 - форвакуумная линия; 15 и 16 - внутренний и внешний вакуумные стаканы; 17 - грибок; 18 - вентиль; 19 - мановакууметр; 20 - тарелка; 21 - резиновая диафрагма; 22 - крышка; 23 - корпус; 24 - патрубок диффузионного насоса.

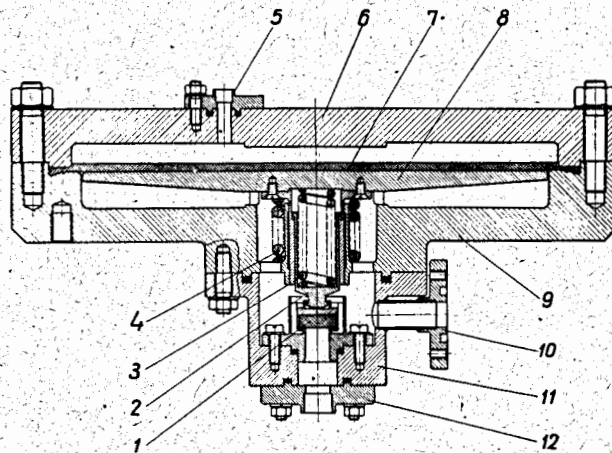


Рис. 8. Стабилизатор давления. 1 - уплотнительный грибок; 2 - прижимная втулка; 3 - распорная пружина; 4 - возвратная пружина; 5 - выходное отверстие для газа; 6 - крышка; 7 - резиновая диафрагма; 8 - тарелка; 9 - корпус; 10 - входной патрубок; 11 - разъемная часть корпуса с седловиной; 12 - фланец выхлопной линии.

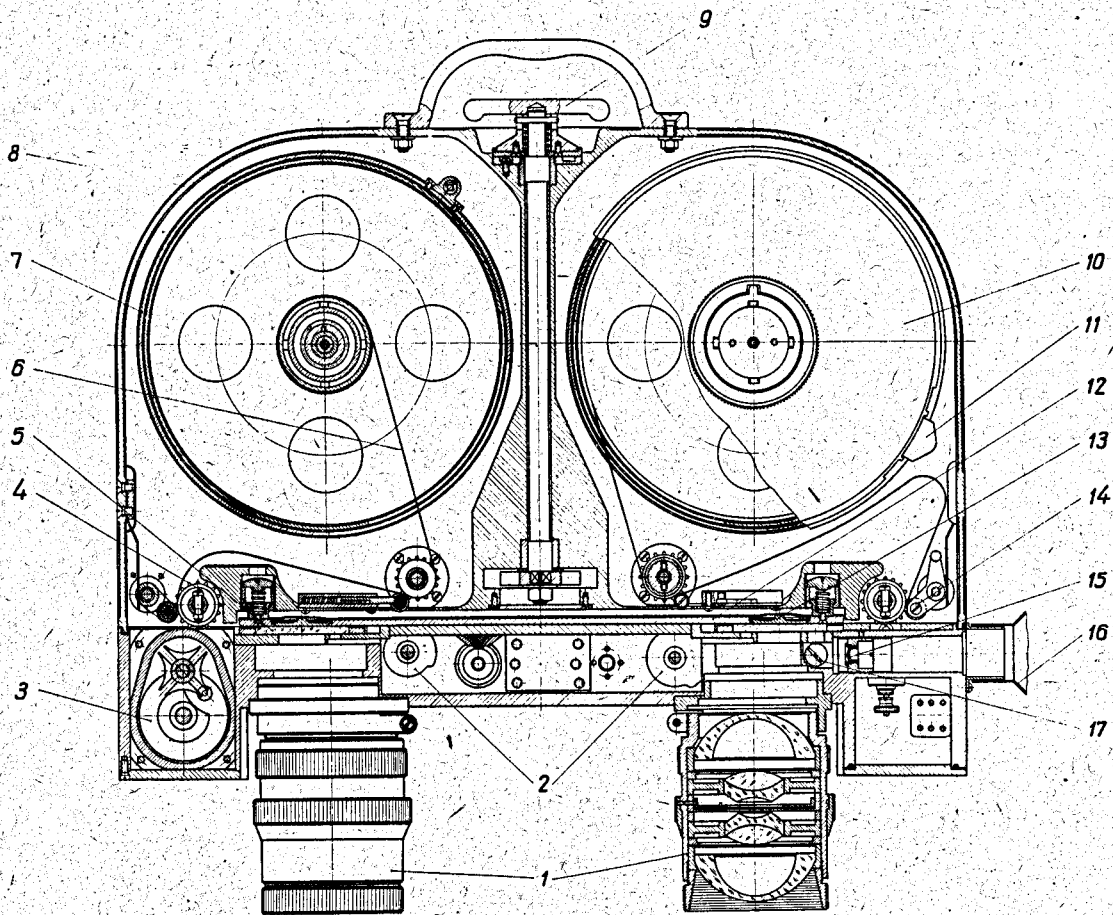


Рис. 9. Схематический чертеж стереофотоаппарата. 1 - объективы; 2 - кулачки подъема прижимного столика; 3 - мальтийский механизм; 4 - лентопротяжный ролик; 5 - компенсационное выравнивающее стекло; 6 - пленка; 7 - приемная катушка; 8 - кассетница; 9 - рукоятка фиксатора; 10 - кассета с подающей бобиной пленки; 11 - замок кассеты; 12 - прижимной столик; 13 - индивидуальные дисковые прижимы пленки; 14 - направляющий ролик; 15 - однолинзовый объектив; 16 - часть тубуса приставки (не показанной на рисунке) для фотографирования на пленку условий опыта; 17 - зеркало.

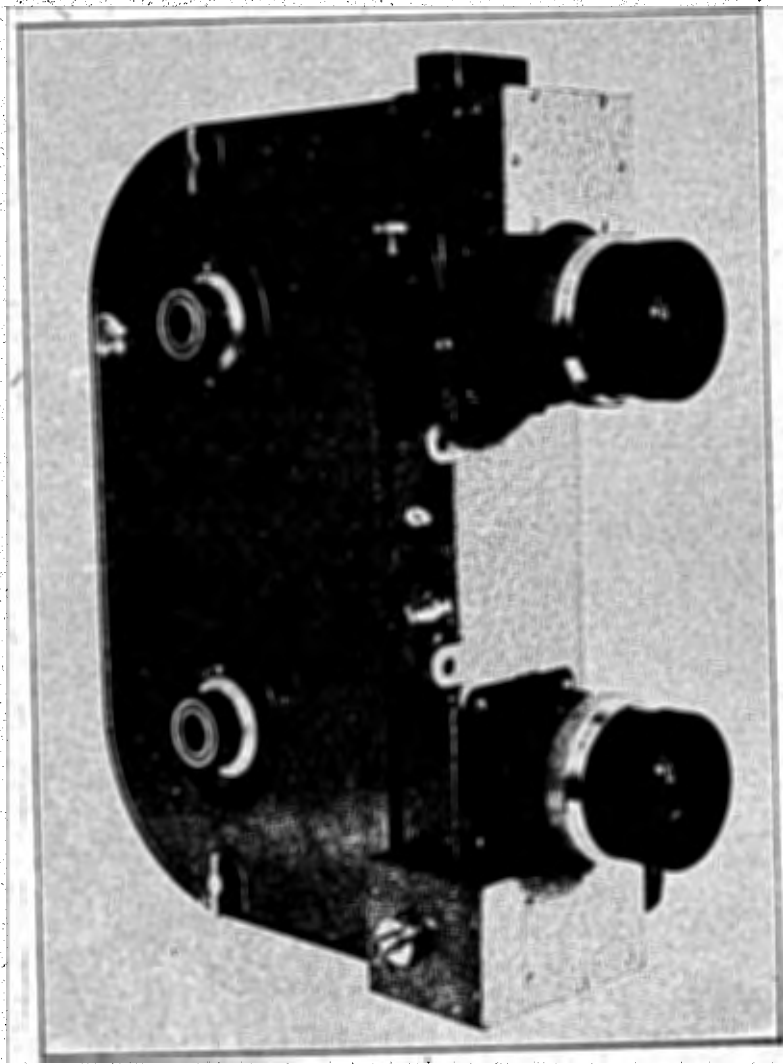


Рис. 10. Внешний вид стереофотоаппарата.

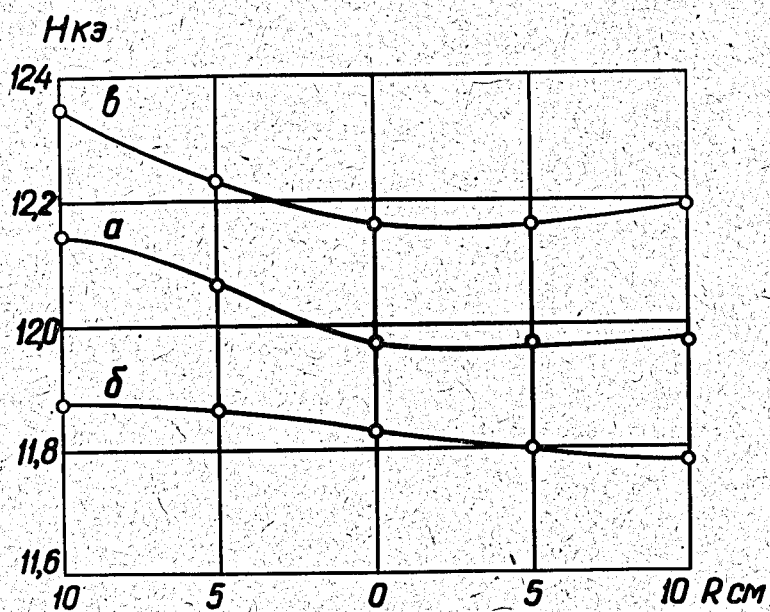


Рис. 11. Зависимость напряженности магнитного поля в зазоре магнита от радиуса при комнатной температуре. Кривая А - относится к медианной плоскости; кривые Б и В соответствуют уровню переднего и заднего смотровых стекол камеры, считая от фотоаппарата.

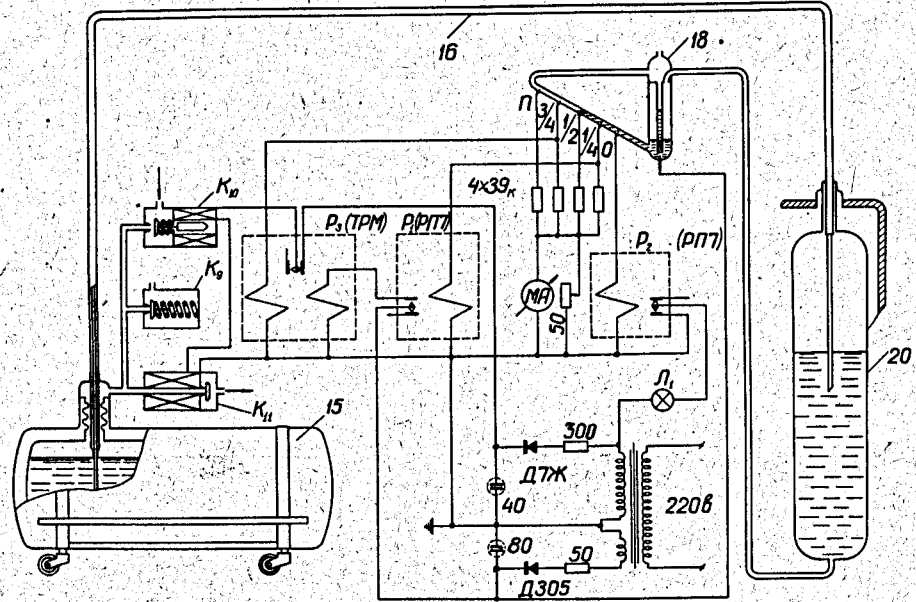


Рис. 12. Малоинерционное автоматическое устройство для питания резервного бака радиационного экрана камеры жидким азотом. К - клапаны, Р - электромагнитные реле; 15 - танк с жидким азотом; 16 - сифон с вакуумной изоляцией; 18 - указатель уровня азота; 20 - бачок для жидкого азота.

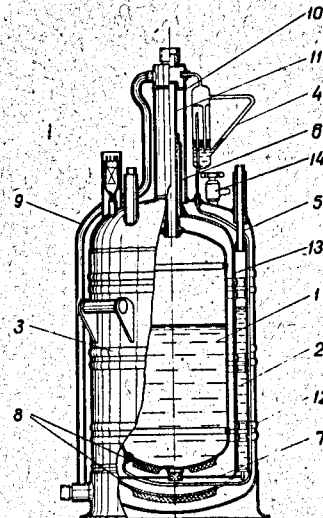


Рис. 13. Сосуд Дьюара для жидкого водорода емкостью 24 л. 1 - бачок с жидким водородом; 2 - кольцевой бачок для жидкого азота; 3 - вакуумный кожух; 4 - измеритель уровня водорода; 5 и 11 - тонкостенные трубки для крепления бачков и их заполнения; 6 - горловина радиационного экрана; 7 - растяжки; 8 - брикеты с активированным углем; 9 - трубка для выхода газообразного водорода; 10 - заливная горловина; 12 - капилляр, соединяющий внутренний бачок с измерителем уровня; 13 - радиационный экран, находящийся при температуре жидкого азота; 14 - вентиль для откачки.



Рис. 14. Типичная фотография следов частиц в камере. Виден случай упругого взаимодействия η^- -мезонов с водородом.

Л и т е р а т у р а

1. В.А. Бекетов, Я.М. Селектор, С.М. Зомбковский, М.С. Айнутдинов. ПТЭ, 1961, № 1, 182.
2. Г.А. Блинов, Ю.С. Крестников, М.Ф. Ломанов. ЖЭТФ, 1956, 31,762.
3. В.З. Колганов, А.В. Лебедев, С.Я. Никитин, В.Т. Смолянкин. ПТЭ, 1958, № 1, 31.