

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

СЗУ.1
Б-903

Ю.А. Будагов

1885

МЕТРОВАЯ ПРОПАНОВАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ 17000 ЭРСТЕД
И ГИДРОДИНАМИКА ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
доктор физико-математических наук,
профессор

В.П. Джелепов

Дубна 1964

Ю.А. Будагов

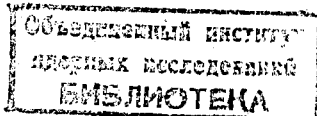
1885

МЕТРОВАЯ ПРОПАНОВАЯ ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА
В МАГНИТНОМ ПОЛЕ 17000 ЭРСТЕД
И ГИДРОДИНАМИКА ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель
доктор физико-математических наук,
профессор

В.П. Желелов



Пузырьковые камеры прочно вошли в практику современного физического эксперимента в качестве одного из важнейших методов исследований в области физики элементарных частиц и атомного ядра. Выдающиеся качества этого прибора как средства изучения закономерностей микромира явились причиной того поразительного прогресса, который был достигнут в технике сооружения этих камер, выросших за прошедшее десятилетие от лабораторной колбы Глезера до современных крупных многотонных установок индустриального типа. В опытах с частицами высоких энергий пузырьковые камеры, как правило, используются в сочетании с сильными магнитными полями, создаваемыми мощными электромагнитами.

В настоящее время основная тенденция в развитии методики пузырьковых камер состоит в строительстве все более мощных установок, наиболее полно отвечающих непрерывно растущим возможностям ускорительной техники, а также повышающимся требованиям к точности измерений и интерпретации исследуемых физических процессов.

Общая программа научных исследований на синхрофазотроне ОИЯИ предусматривала создание ряда крупных установок для проведения экспериментов в пучках частиц высоких энергий. Эта программа включала разработку 200-литровой пропановой пузырьковой камеры в сильном магнитном поле.

Создание камеры большого объема сопряжено с рядом трудностей методического и конструктивно-технологического характера. Среди них проблемы быстрого и одновременного изменения давления во всей массе рабочей жидкости, однородности освещения большого объема жидкости, стабилизации ее температуры, получения высококачественного изображения следов, уплотнения крупных стеклянных пластин являются наиболее важными,

В ряду этих проблем необходимость быстрого изменения давления в рабочей жидкости занимает особое место, ибо является, как известно, главным условием образования следов заряженных частиц, а также увеличения частоты срабатывания камеры.

Если при изготовлении камер небольшого объема реализация указанного выше условия в настоящее время уже не встречает затруднений, то при сооружении камер большого объема положение существенно иное. Осуществление в значительной массе ($\sim 10^3$ литров) жидкости импульсного и безградиентного (по объему камеры) изменения давления с требуемыми временными параметрами цикла и большой скоростью ($\sim 10^3 - 10^4$ атм/сек) является достаточно сложной задачей. Ее решение должно основываться на гидродинамическом рассмотрении процесса изменения давления в жидкости.

Ко времени начала наших работ (1958 г.) в литературе такой общий подход к решению указанной задачи не обсуждался. В то же время разработка строгого математического метода нахождения оптимальных параметров установки является весьма актуальной задачей в особенности при значительном масштабе сооружений, когда в ряду многих факторов значительную роль начинают играть и соображения экономического характера.

Наряду с этим в существующих условиях в опытах с пузырьковыми камерами, проводимых на синхрофазотронах, циркулирующий протонный пучок используется крайне неэффективно: обычно камеры совершают лишь один цикл расширения в одном цикле ускорения. Реальная возможность существенного повышения этой эффективности состоит в осуществлении многократного последовательного сброса пучка на мишень ускорителя по сигналу от системы управления быстродействующей камеры большого объема, способной совершать более одного цикла расширения в конце каждого цикла ускорения. Естественный способ увеличения быстродействия камеры состоит в возбуждении и поддержании периодических осцилляций давления в рабочей жидкости с частотой, равной частоте собственных - "резонансных" колебаний давления.

Очевидная область использования резонансных камер - это быстродействующие кольцевые и линейные ускорители, частота повторения циклов в которых составляет $\sim 10^2 \text{ сек}^{-1}$. При разработке камер резонансного типа применение общего гидродинамического метода описания процессов возбуждения и поддержания незатухающих осцилляций давления было бы также весьма эффективным.

В течение последних нескольких лет в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ была создана комплексная установка с большой пузырьковой камерой с чувствительным объемом 200 литров, работающей в магнитном поле 17000 эрстед. В процессе разработки этой установки нами был развит общий гидрогазодинамический метод расчета основных временных и геометрических параметров крупных камер.

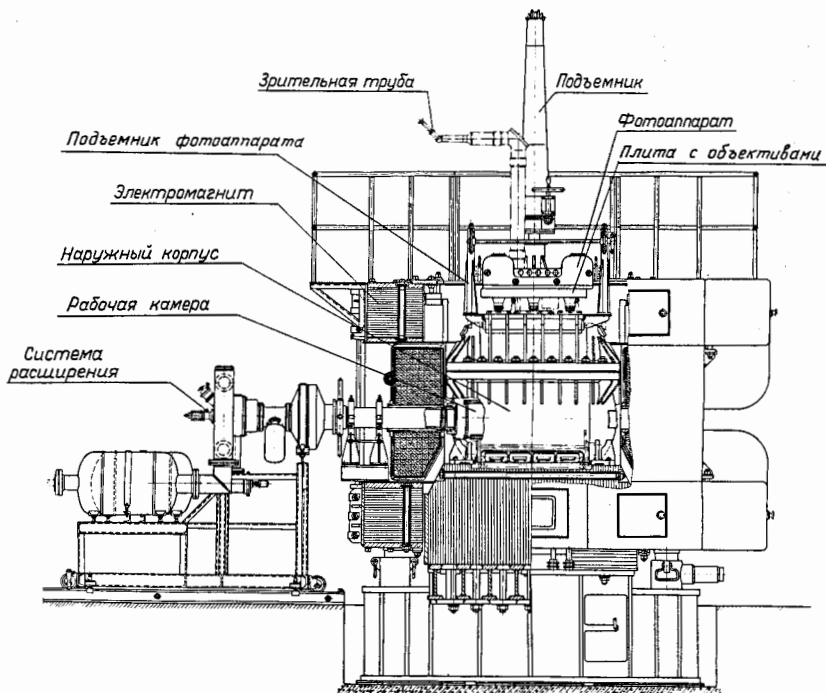
На основании предложенного общего рассмотрения пузырьковых камер как резонансных систем разработана гидродинамика этих камер; исследован широкий круг вопросов, связанных с действием камер в различных гидродинамических режимах, а также развита гидродинамика процессов возбуждения и поддержания незатухающих осцилляций давления в пузырьковой камере нового - резонансного типа с частотой срабатывания порядка десятков циклов в секунду.

Выполнен обширный круг экспериментальных исследований по проверке основных положений и результатов развитых методов расчета.

Основные результаты всех этих исследований, а также опыт разработки 200-литровой камеры обобщаются в настоящей диссертации.

Работы, положенные в основу диссертации, выполнены автором совместно с группой сотрудников ЛЯП ОИЯИ и опубликованы ^{/1-9/}; основная часть результатов доложена на международных конференциях в Беркли (1960 г.), Женеве (1962 г.) и Дубне (1964 г.).

В главе 1 диссертации дается описание экспериментальной установки с 200-литровой пузырьковой камерой в постоянном магнитном поле напряженностью 17000 эрстед ^{/1,2/}. В качестве рабочей жидкости могут использоваться пропан, фреоны и другие жидкости или их смеси, выбираемые в соответствии с требованиями эксперимента.

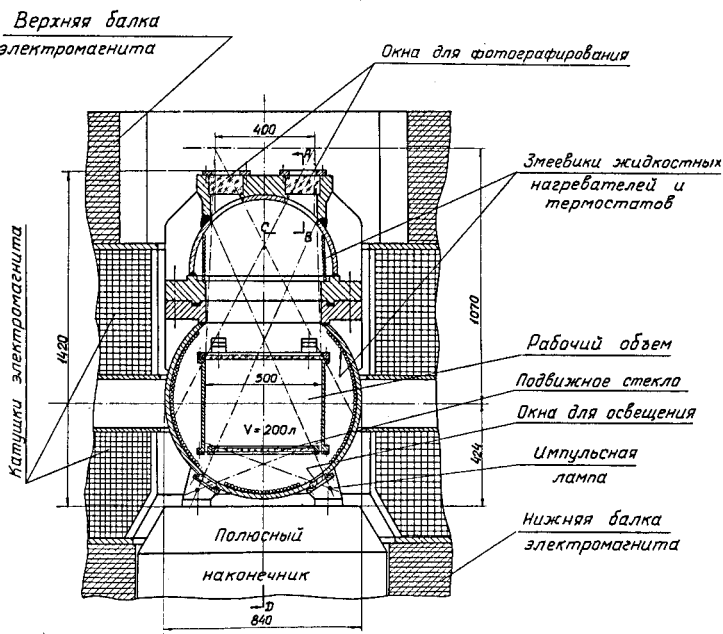


Р и с . 1

Метровая пропановая камера в магнитном поле 17000 эрстед.

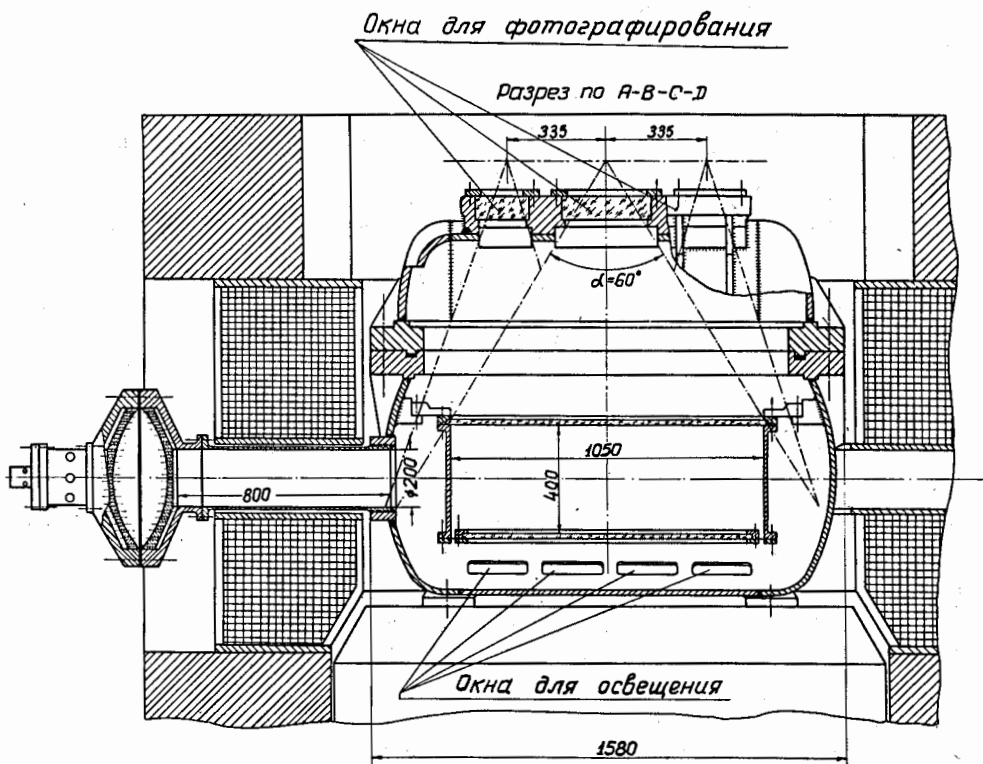
Общая конструктивная схема камеры определялась при совместном учете целого ряда требований: а) достаточной эффективности камеры как мишени и детектора вторичных частиц и γ -квантов при работе ее в пучках частиц высоких энергий; б) условий размещения камеры внутри имевшегося в нашем распоряжении электромагнита ИК-3-4; в) стремления избежать больших стекол в смотровых окнах и трудностей, связанных с их изготовлением, качеством обработки больших посадочных плоскостей и уплотнением стекол.

Чувствительный объем камеры (1м x 0,5м x 0,4м) располагается внутри защитного кожуха, заполненного дистиллированной водой, через которую производится освещение и фотографирование следов. При таком методе разгрузки стенок сосуда с рабочей



Р и с. 2а

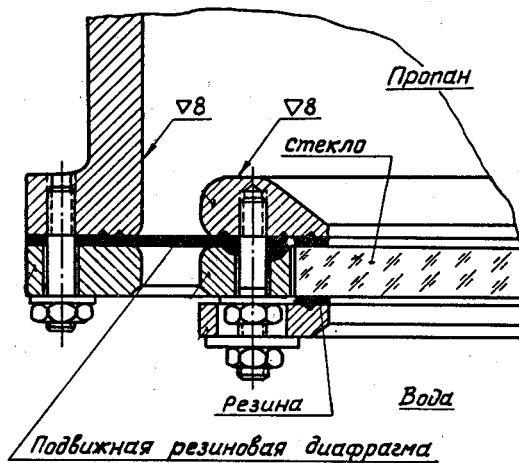
Разрез камеры и электромагнита вертикальной плоскостью.



Р и с. 26

жидкостью все смотровые окна достаточно удалены от рабочего объема и поэтому невелики. Одновременность изменения давления в воде и рабочей жидкости обеспечена тем, что одно из стеклянных окон рабочей камеры выполнено подвижным.

Вся конструкция является сварной и изготовлена из немагнитной нержавеющей стали марки IX18N9T. Наружный корпус составлен из элементов пространственных оболочек, выгодных в отношении прочности и являющихся стандартной продукцией металлургических предприятий. После изготовления произведен детальный рентгеновский и люминес-



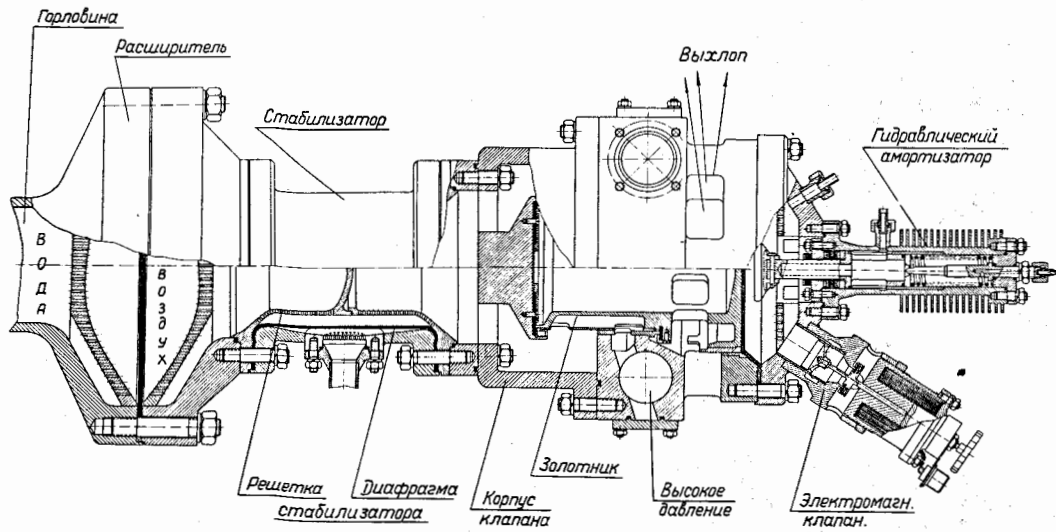
Р и с. 3

Уплотнение плавающего стекла.

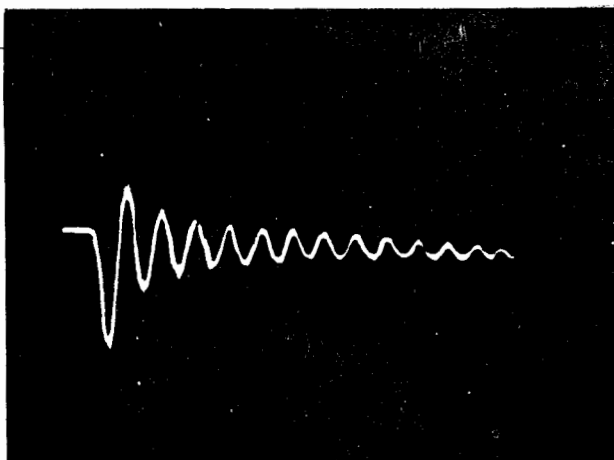
центный контроль конструкции. Тензометрические испытания подтвердили правильность расчета на прочность.

Механизм изменения давления (М.И.Д.) вынесен за пределы электромагнита с целью максимального использования полезного объема электромагнита. Основным элементом М.И.Д. является быстродействующий пневматический дифференциальный клапан золотникового типа, конструкция которого является новой^{/3/}. Принципиальная особенность конструкции М.И.Д. в целом состоит в использовании определенных резонансных свойств всей установки^{/4-7/}. Это позволило: а) по-новому решить задачу стабилизации давления в рабочей жидкости; б) устранить гидравлический удар в конструкции; в) применить новый режим работы камеры - режим перекомпрессии. В конструкции М.И.Д. впервые используется гидравлический амортизатор для предотвращения динамических перегрузок материала конструкции.

Приводится схема форсированного нагнетания газа (в критическом режиме истечения) в систему пневмоустройств. При этом используется стандартная промышленная арматура (электроконтактные манометры и электромагнитные вентили), что исключает необходимость в разработке для крупных камер специальных редуцирующих устройств с большим диаметром сопла.



Р и с. 4. Общая схема устройства изменения давления в пузырьковой камере.



Р и с. 5

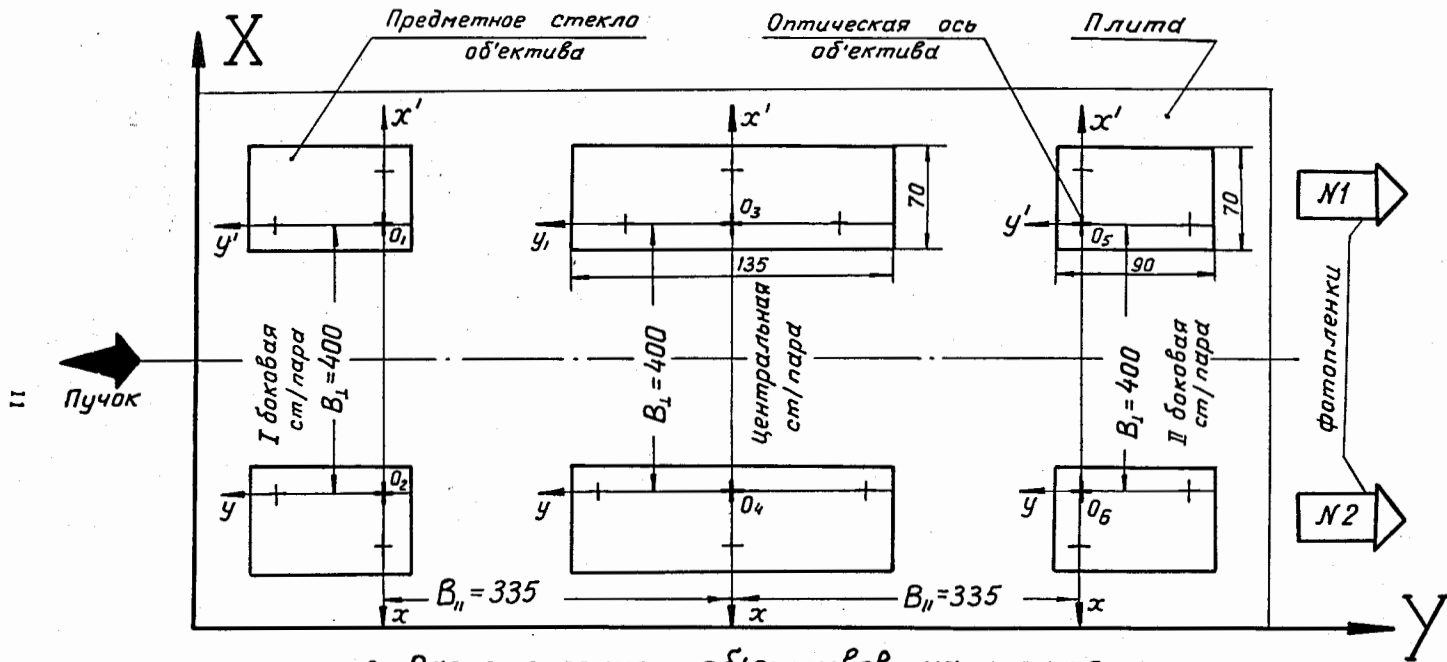
Осциллограмма затухающих собственных колебаний давления в рабочей жидкости в одном цикле срабатывания метровой камеры. Период осцилляций $T = 70$ мсек.

Камера освещается по схеме "напросвет" двумя импульсными лампами ИФП-4000 через 8 отверстий в нижней части корпуса. Окна для освещения закрыты плоско-вогнутыми цилиндрическими линзами, повышающими светоотдачу импульсных ламп в направлении рабочего объема.

Фотографирование выполняется шестью фотограмметрическими камерами "ГИДРО-РУССАР 4", специально рассчитанными для наших условий съемки и изготовленными в Ленинградском институте точной механики и оптики^{/14/}. Съемка производится на две параллельные 80-миллиметровые перфорированные аэрофотопленики типа ПАНХРОМ-10 чувствительностью 1200 ед. ГОСТ.

Окна для фотографирования закрыты стеклянными пластинами, заделка которых, благодаря использованию торцевого уплотнения, является в известной степени нежесткой. Поэтому под воздействием внутреннего давления эти стекла сами выставляются параллельно общей опорной плите, что исключает оптические искажения, которые могли бы возникнуть вследствие неточностей в установке стекол при сборке.

Существенно, что в отличие от других пузырьковых камер аналогичного типа в данной камере подвижное стекло установлено со стороны освещения, но не фотографирования. Это исключает дополнительные искажения, вносимые неконтролируемыми перекосами плавающего стекла. Вследствие резко-асимметричного расположения механизма изменения давления разгрузочная жидкость во время расширения и поджатия интенсивно перемешивается, что устраняет конвективные искажения следов, вносимые промежуточным слоем жидкости. (По всему объему камеры градиент температуры не превосходит $0,1^{\circ}\text{C}$).



Р и с. 6. Расположение объективов на плите
 и реперных перекрестий на предметных
 стеклах фотообъективов.

Искажения следов вследствие движения рабочей жидкости во время расширения пренебрежимо малы, поскольку при площади плавающего стекла $\sim 5000 \text{ см}^2$ последнее перемещается не более чем на сантиметр.

Применение специальных фотокамер и выполнение перечисленного выше комплекса дополнительных мероприятий обеспечило достаточно высокую точность воспроизведения пространственных координат следов: по всему объему камеры $\Delta X = 0,3 \text{ мм}$; $\Delta Y = 0,3 \text{ мм}$ и $\Delta Z = 0,7 \text{ мм}$.

Система управления обеспечивает синхронную работу камеры с ускорителем, позволяет поддерживать основные рабочие параметры камеры во время ее действия, а также сигнализирует о различных нарушениях режима эксплуатации.

Система заполнения и слива рабочей жидкости, а также система подогрева и термостатирования обеспечивают достаточно быстрый ввод камеры в рабочий режим (~ 7 часов), температурную стабилизацию в пределах $\pm 0,1^\circ\text{C}$ на заданном уровне, безопасную эксплуатацию установки и экстренный слив рабочей жидкости в аварийных ситуациях. Температура измеряется медь-константановыми термопарами, подключенными к модифицированным (с учетом диапазона измеряемых температур) электронным потенциометрам ЭПП-09 и ЭПВ-01.

Камера располагается в электромагните ИК-3-4. Напряженность магнитного поля составляет 17000 эрстед; подводимая к магниту мощность 2,2 Мвт; тепловой режим магнита и его системы питания (2 генератора ГП-5000, включенные в параллель при токе 6650А в каждом) допускает работу в указанных условиях практически неограниченное время. Измерения топографии магнитного поля показали, что в любой горизонтальной плоскости внутри камеры неоднородность поля не превышает 1% в произвольном направлении. Отклонение величины напряженности поля от его среднего значения по вертикали, проходящей через центр, составляет $\pm 4\%$.

В настоящее время камера действует в пучке отрицательных π -мезонов с энергией 5 Гэв; разброс пучка по импульсу не превышает 2%. В этих условиях уже получено около 25000 фотографий. Ведется дальнейший набор материала и его обработка с целью исследования различных типов электромагнитных распадов бозонных и барионных резонансов, а также ассоциативного рождения резонансов.

В главе II диссертации рассматривается гидродинамика процессов изменения давления в пузырьковых камерах^{14/} и выводятся соотношения, связывающие основные параметры, которые определяют изменение давления в рабочей жидкости.

На основании предложенного общего рассмотрения пузырьковой камеры как объемного резонатора выделяются два предельных случая изменения давления в камере и детально рассматривается один из них, отвечающий реально действующим камерам.

Этот случай соответствует такому режиму изменения давления в жидкости, когда выполняется условие $\bar{L} \ll \lambda$. Здесь \bar{L} — эффективный размер камеры, а λ — длина стоячей волны, соответствующей процессу изменения давления в камере в одном цикле. Приведенное неравенство эквивалентно условию $\nabla P (V_0, t) = 0$, выражающему тот факт, что в процессе расширения (или сжатия) в объеме V_0 — камеры в произвольный момент времени давление одинаково в любой точке, и жидкость перегрета равномерно.

Применение законов сохранения к потоку несжимаемой жидкости, движущейся с дозвуковой скоростью в расширительной горловине камеры, приводит к нелинейному дифференциальному уравнению второго порядка, описывающему изменение давления P в камере

$$\ddot{P} + C_1 \dot{P}^2 + \omega_0^2 P = \omega_0^2 P_B. \quad (1)$$

Здесь P_B — давление в системе расширения, ω_0 — частота собственных осцилляций давления в жидкости, зависящая, также как и параметр C_1 , от объема камеры, физических свойств жидкости и геометрических условий расширения.

Примененный в диссертации метод линеаризации этого уравнения состоит в замене квадратичной формы $C_1 \dot{P}^2$ линейной $2b \dot{P}$ и основывается на предположении о малом затухании колебаний давления, выражаемом условием $(b/\omega_0) \ll 1$, где $2b$ — коэффициент затухания колебаний. Полученное таким методом уравнение колебаний

$$\ddot{P} + 2b \dot{P} + \omega_0^2 (P - P_B) = 0 \quad (2)$$

является основным при описании процесса изменения давления в камерах, действующих в различных гидродинамических режимах — ограничения по давлению, объему, перекompрессии и автоколебаний.

Выводятся выражения для коэффициента затухания $2b$ и безразмерного параметра (b/ω_0) , величина которого характеризует область применимости основных результатов главы II.

В главе III диссертации изложен общий метод гидрогазодинамического расчета основных рабочих параметров пузырьковой камеры и механизма изменения давления, обеспечивающих необходимую продолжительность процессов расширения и сжатия рабочей жидкости /8/.

Изменение давления внутри камеры описывается линеаризованным уравнением (2). Параметры, входящие в это уравнение, ($2b$ и ω_0) были выбраны так, что-

бы в условиях свободного расширения жидкости время релаксации давления τ_0 не превосходило 40 мсек.

Параметры конструкции механизма изменения давления (площади отверстий для выхлопа газа, массы подвижных элементов и т.д.) рассчитываются таким образом, чтобы в условиях реального изменения давления $P_B(t)$ продолжительность спада давления в камере не слишком сильно отличалась от установленного предела $\tau_0 \approx 40$ мсек. Эта задача имеет гидрогазодинамический характер. Условие совместности изменения давлений $P(t)$ и $P_B(t)$ представляется в форме $\dot{V}_B = \text{const } \dot{P}$ (\dot{V} - скорость изменения объема газа в системе расширения).

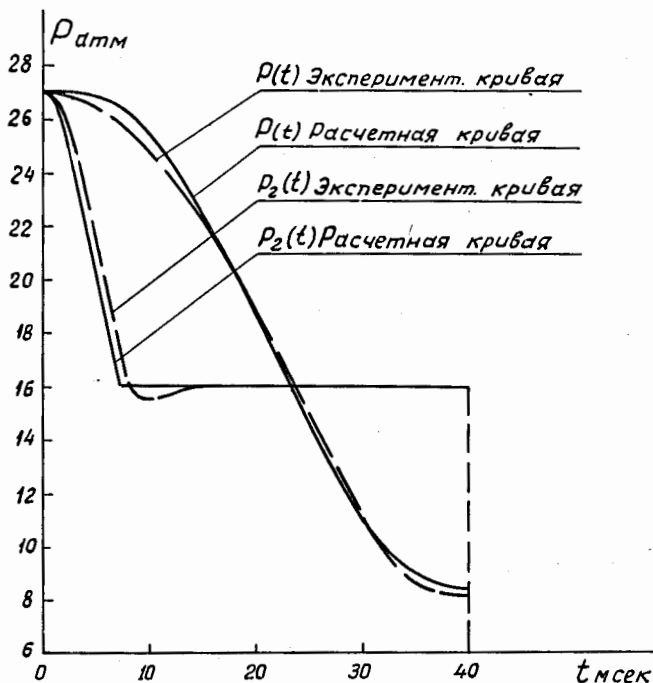
Процесс истечения газа описывается совершенно общим соотношением $\dot{m}_B = (\rho_B \dot{V}_B) = -Q$, в котором m_B , ρ_B , Q - масса, плотность и расход газа через выхлопные отверстия, сечения которых подлежат определению. Естественно считать процесс истечения адиабатическим и квазистационарным; $Q(t)$ является аналитической функцией, вид которой определяется в соответствии с тем, является ли истечение докритическим или критическим ^{/10/}.

Как отмечалось, в конструкцию введен гидравлический демпфер для устранения пластических деформаций, которые могут возникнуть при мгновенной остановке массивного золотника. При отсутствии демпфера энерговыделение может достигнуть ~ 170 кгм и будет иметь ударный характер.

Для учета влияния демпфера на процесс расширения жидкости в камере перечисленные выше уравнения дополнены уравнением движения золотника под воздействием давления в системе расширения и давления демпфирующей жидкости. Демпфирующая жидкость вытекает через переменное дросселирующее отверстие; зависимость его сечения от времени определяется.

Полученные в результате системы дифференциальных уравнений полностью определяют изменение давлений внутри камеры и расширительного устройства на различных этапах их действия. Эти системы решены с помощью электронной вычислительной машины ОИЯИ. Все рассчитанные зависимости согласуются с экспериментальными кривыми, что свидетельствует о справедливости всего метода. Совпадение рассчитанного и экспериментального значений безразмерного параметра (b/ω_0) является существенным аргументом в пользу обоснованности изложенного во II главе метода линеаризации. Развитый в этой главе метод наиболее целесообразно применять при разработке камер большого объема, т.к. в этом случае при эмпирическом подходе трудно осуществить объективный выбор оптимальных временных и прочностных параметров конструкции, и ошибки в их выборе могут иметь трудноустраняемые последствия.

В главе IV диссертации детально исследуются различные гидродинамические



Р и с. 7.

Сравнение экспериментальных и расчетных зависимостей изменения давления внутри камеры (P) и расширительной системы (P_2).

режимы работы пузырьковых камер /7/. Устанавливаются соотношения, которые связывают амплитуды и периоды осцилляций давления в жидкости с основными геометрическими и временными параметрами конструкции камеры и механизма изменения давления. Указанные соотношения имеют непосредственное практическое значение и должны быть учтены при разработке быстродействующих камер.

Ограничение по объему. В предположении линейного характера зависимости давления $P_B(t)$ в системе расширения от времени получено аналитическое выражение для закона изменения давления в рабочей жидкости $P(t)$. Получено выражение для амплитуды гидравлического удара ΔP , возникающего в момент мгновенной остановки расширяющейся жидкости: $\Delta P \sim |\dot{P}|_{\text{ост}}$, где $|\dot{P}|_{\text{ост}}$ - значение производной в момент окончания расширения. В быстродействующих камерах величина $|\dot{P}|_{\text{ост}}$ оказывается весьма значительной, в силу чего гидравлический удар представляет совер-

шенно реальную угрозу (особенно в больших камерах), поскольку практически вся энергия потока жидкости расходуется на деформацию материала конструкции. В описываемой камере $\Delta P \approx 170$ атм, что соответствует ударному усилию $F \approx 400$ т длительностью ~ 5 мсек. Это могло вызвать пластические деформации материала конструкции. Поэтому быстрое действие камеры могло быть реализовано только в режиме ограничения по давлению.

Другой недостаток рассматриваемого режима - это обусловленные гидравлическим ударом осцилляции давления в рабочей жидкости с амплитудой $(V/V_0) \Delta P$ (V - объем жидкости в горловине) и периодом $T' = \frac{2L}{c} \ll T = 2\pi/\omega_0$ (L - эффективный размер камеры). Осцилляции являются затухающими и в случае значительных потерь на трение могут проявляться в виде одиночного аperiodического выброса давления ниже уровня $P_{\min} = P_0 - \Delta V/k_0 V_0$. Осцилляции давления могут затруднить измерения ионизации, т.к. структура следов частиц с одинаковой ионизацией в этих условиях будет воспроизводиться нестабильно.

Установлено, что оба недостатка этого режима могут быть устранены (или сведены к допустимому пределу) подбором параметров F , L и t_r (F и L - сечение и длина расширительной горловины, а t_r - продолжительность выхлопа газа из системы расширения). Если $(b/\omega_0) \ll 1$ и t_r кратно $T = 2\pi/\omega_0$, то $\Delta P \approx 0$

Ограничение по давлению. Для получения стабилизированного рабочего давления и проведения точных измерений ионизации обычно используется предложенная в работах /11,12/ схема ограничения по давлению. Анализ действия камеры в этом случае показывает, что при быстром расширении жидкости внутри камеры могут возникнуть значительные осцилляции давления, как это отчетливо наблюдалось в рассматриваемой камере.

Получено общее аналитическое выражение для амплитуды осцилляции δP и установлено, что если, в частности, $b/\omega_0 \ll 1$, то $\delta P = |\dot{P}| / \omega_0$, где $|\dot{P}|$ - значение производной в момент, когда давления в камере и стабилизирующей системе сравниваются. Осцилляции происходят с периодом $T = 2\pi/\omega_0$ и затухают вследствие потерь на трение. Установлено, что если $b/\omega_0 \ll 1$ и t_r кратно T , то $\delta P \approx 0$.

Имеются две возможности действия камеры в режиме ограничения по давлению: а) обычный вариант, когда $P_{\text{раб}} = P_{\text{ст}}$ и б) вариант с $P_{\text{раб}} < P_{\text{ст}}$, использующий энергию потока жидкости в горловине (или массивных деталей системы расширения) и упругие свойства рабочей жидкости.

В крупных камерах период собственных осцилляций T обычно велик (десятки миллисекунд), и поэтому в минимуме кривой давления всегда существует интервал времени, когда изменение давления в жидкости незначительно, что гарантирует возможность точных измерений ионизации.

Режим перекомпрессии. Осцилляции давления в рабочей жидкости при $t_r \neq T$ (и особенно при $t_r < T$) позволяют по-новому реализовать режим ограничения по давлению. Использование резонансных свойств камеры в этом случае дает возможность осуществить перекомпрессию рабочей жидкости до давления $P_{\max} > P_0$. Благодаря этому сокращается продолжительность конденсации пузырьков и, стало быть, уменьшается время подготовки камеры к следующему циклу расширения.

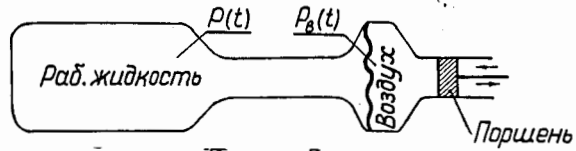
Установлено, что при перекомпрессии в 12 атм ($P_{\max} = 38$ атм и $P_0 = 26$ атм) в описываемой камере все видимые следы пузырьков исчезают в течение ~ 1 сек вместо ~ 5 сек, как это бывает при работе камеры в обычном режиме.

В приложении ^{/8/} сообщается об экспериментальной проверке эффекта радиационной чувствительности неперегретой жидкости, наблюдавшегося в работе ^{/13/} при условии $|P| > 0,3$ атм/мсек и $P < P_0$. Установлено, что даже при $|P| \geq 0,8$ атм/мсек в камере не наблюдается следов частиц. В соответствии с обычными рабочими условиями жидкость чувствительна к ионизирующему излучению только при давлениях, меньших границы области чувствительности. Это позволяет высказать сомнение относительно правильности вывода работы ^{/13/} о возможности создания быстродействующей камеры на основе использования чувствительности к излучению в области неперегретой быстрорасширяющейся жидкости.

В главе V диссертации на основе дальнейшего развития общего подхода к пузырьковой камере, как к своего рода объемному резонатору, рассматривается гидродинамика процесса изменения давления в быстродействующей пузырьковой камере нового - резонансного типа и дается общее описание процесса возбуждения и установления резонансных осцилляций давления ^{/9/}.

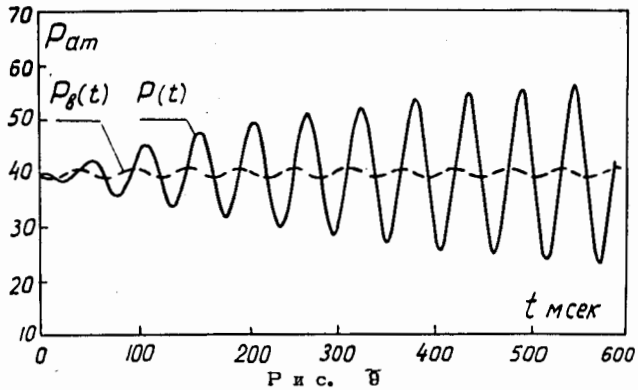
В диссертации предлагается конкретная конструктивная схема резонансной камеры. Синусоидальные осцилляции давления в жидкости возбуждаются малыми колебаниями давления газа в расширительном механизме, которые, в свою очередь, обусловлены незначительными перемещениями поршня, осциллирующего гармонически.

Важным достоинством камеры резонансного типа является существенное превышение амплитуды Q вынужденных колебаний над амплитудой q вынуждающих: $Q = q \frac{\omega_0}{2b} \gg q$, если $b/\omega_0 \ll 1$. Это обстоятельство, во-первых, определяет малый ход поршня, что исключительно выгодно в конструктивно-техническом отношении, и, во-вторых, позволяет ввести газовый объем между жидкостью и поршнем. Этот термостатируемый объем представляет собой тепловой экран, защищающий рабочую жидкость от притока тепла со стороны быстродействующего механизма изменения давления. Применение такого теплового экрана представляется особенно эффективным при сооружении крупных пузырьковых жидководородных камер.



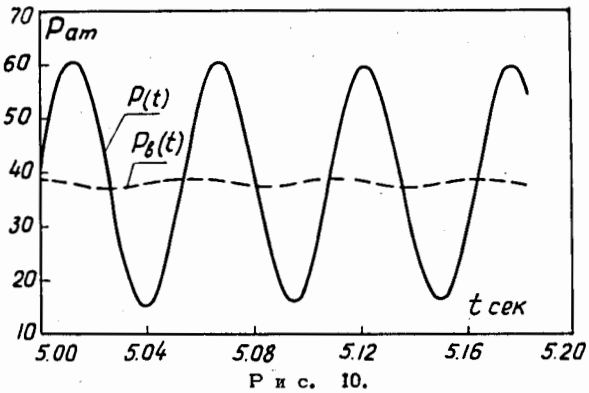
Р и с. 8

Схема конструкции резонансной пузырьковой камеры.



Р и с. 9

Общая картина возбуждения резонансных осцилляций давления (расчет).



Р и с. 10.

Резонансные осцилляции давления в установившемся режиме.

Резонансная камера может быть сделана высокочастотной системой – узкая резонансная кривая; при этом сокращается длительность переходного процесса и облегчается регулирование амплитуды вынужденных колебаний $Q(\omega, \omega_0)$ посредством небольшого отклонения частоты ω вынуждающих колебаний от собственной частоты ω_0 .

В диссертации получены выражения, связывающие основные геометрические, временные и динамические характеристики резонансных камер.

З а к л ю ч е н и е

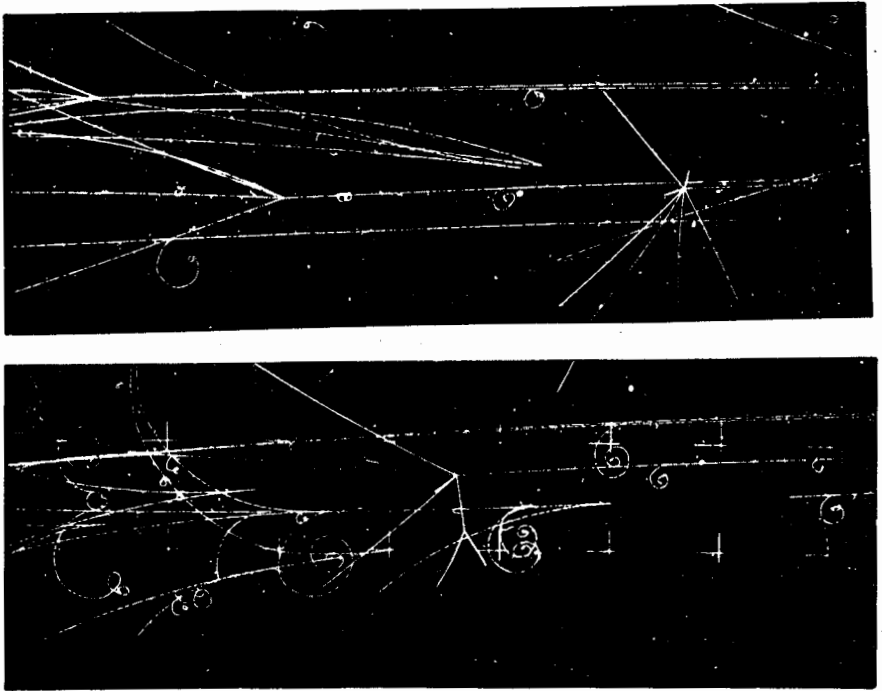
1. Создана двухсотлитровая пропановая пузырьковая камера в магнитном поле 17000 эрстед с большим комплексом экспериментальной аппаратуры. Камера действует в пучке отрицательных π^- -мезонов синхрофазотрона ОИЯИ с энергией 5 Гэв; получено около 25000 фотографий, которые обрабатываются с целью исследования различных схем радиационных распадов бозонных и барионных резонансов, а также ассоциативного рождения резонансов.

2. На основе общего подхода к пузырьковой камере как к своего рода объемному резонатору разработана гидродинамика этих камер. Получено линеаризованное дифференциальное уравнение колебаний давления в рабочей жидкости $\ddot{P} + 2b\dot{P} + \omega_0^2(P - P_B) = 0$ установлена зависимость коэффициента затухания колебаний $2b$ и частоты обертона ω_0 от размеров камеры, геометрических условий расширения и физических свойств рабочей жидкости.

3. Разработан общий метод расчета основных временных и конструктивных параметров камер и механизма изменения давления. В гидрогазодинамическом отношении метод обладает достаточной общностью, поскольку положенное в его основу уравнение колебаний и предположения об адиабатичности и квазистационарности процессов изменения давления газа в системе пневмоустройств справедливы во всех случаях, представляющих практический интерес.

4. Выполнена экспериментальная проверка основных положений и результатов развитых методов расчета. Полученные в опытах зависимости от времени давлений жидкости и газа в различных узлах камеры и расширительной системы согласуются с расчетными кривыми. Это свидетельствует о справедливости метода линеаризации, изложенного во II главе, а также о правильности всего метода гидродинамического расчета конструкции.

5. Исследованы различные гидродинамические режимы работы пузырьковых камер; установлены основные соотношения, определяющие амплитуды и периоды осцилляций давления жидкости в камере и указаны пути устранения этих осцилляций; описаны условия действия камеры в режиме перекомпрессии.



Р и с. 11.

Фотографии случаев взаимодействия π^- -мезонов с энергией 5 Бэв в камере с образованием V_0 -частиц и γ -квантов.

6. Развита гидродинамика быстродействующей пузырьковой камеры нового - резонансного - типа; получены соотношения, связывающие конструктивные, временные и динамические характеристики камеры; рассчитана двухлитровая модель резонансной камеры, которая в настоящее время изготавливается.

Л и т е р а т у р а

1. Yu. A. Budagov, V. P. Dzheleпов, V. G. Ivanov, V. I. Lepilov, V. I. Moskalev, V. B. Flyagin, T. I. Shatet. Intern. Conf. on H.E. Accel. and Instrum. Berkeley, p. 135 (1960).
2. 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. Препринт ОИЯИ 1278, Дубна, 1983; ПТЭ № 1, 61, 1984.
3. Ю. А. Будагов, Н. И. Дьяков, Е. Д. Кохов, В. Б. Флягин, Т. И. Шетет. Препринт ОИЯИ № Д-819, Дубна, 1960.
4. Ю. А. Будагов, В. П. Джелепов, В. Г. Иванов, Ю. Ф. Ломакин, В. Б. Флягин, П. В. Шляпников. Препринт ОИЯИ 1307, Дубна; ПТЭ № 2, 46, 1984.
5. Yu. A. Budagov, V. P. Dzheleпов, V. G. Ivanov, Yu. F. Lomakin, V. B. Flyagin, P. V. Shlyapnikov. Nucl. Instrum. and Methods, 20, 128 (1960).
6. Ю. А. Будагов, В. П. Джелепов, В. Г. Иванов, Ю. Ф. Ломакин, В. Б. Флягин, В. П. Шляпников. Препринт ОИЯИ Р-1387, Дубна, 1983.
7. Ю. А. Будагов, В. П. Джелепов, В. Г. Иванов, Ю. Ф. Ломакин, В. Б. Флягин, П. В. Шляпников. Препринт ОИЯИ 1428, Дубна, 1983.
8. Ю. А. Будагов, В. П. Джелепов, Ю. Ф. Ломакин, В. Б. Флягин, П. В. Шляпников. Препринт ОИЯИ 1699, Дубна, 1984.
9. Ю. А. Будагов, В. П. Джелепов, Ю. Ф. Ломакин, В. Б. Флягин, П. В. Шляпников. Препринт ОИЯИ, 1707, Дубна, 1984.
10. И. П. Гинзбург. Прикладная гидрогазодинамика. Изд. Ленинградского университета, 1958.
11. P. Bassi, A. Loria, T. Meyer, P. Mittner, G. Scotoni. Nuovo Cim., 4, 491 (1956).
12. Г. А. Блинов, Ю. С. Крестников, М. Ф. Ломанов. ЖЭТФ, 4, 661 (1957).
13. Ю. А. Александров, Г. С. Воронов, Н. Б. Делоне. Препринт ФИАН СССР, А-151, Москва, 1962.
14. М. М. Русинов. Фотограмметрическая оптика. Геодиздат. М. 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 ноября 1984 г.