

Б-201

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 6196

М.П. Баландин

РАЗРАБОТКА ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР  
И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ  
ПРОЦЕССОВ  $\Pi^+ - \mu^+ - e^+$  - РАСПАДА  
И ЗАХВАТА ПИОНОВ ЯДРАМИ УГЛЕРОДА

Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1971

М.П. Баландин

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем  
Объединенного института ядерных исследований.  
Научный руководитель: академик В.М. ПОНТЕКОРВО  
Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

М.С. КОЗОДАЕВ

кандидат физико-математических наук

Э.В. КОЗУБСКИЙ

Ведущее научно-исследовательское учреждение:  
Ленинградский институт ядерной физики АН СССР

Автореферат разослан " " 1972 года.

Защита диссертации состоится " " 1972 го-

да на заседании Ученого совета Лаборатории ядерных проблем  
Объединенного института ядерных исследований ( Дубна,  
Московской области ).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета  
кандидат физико-математических наук

И.А. БАТУСОВ

РАЗРАБОТКА ПУЗЫРЬКОВЫХ КАМЕР  
И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ АСПЕКТОВ  
ПРОЦЕССОВ  $\pi^+ - \mu^+ - e^+$  - РАСПАДА  
И ЗАХВАТА ПИОНОВ ЯДРАМИ УГЛЕРОДА  
Специальность 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

В реферируемой диссертации изложен комплекс научно-методических и экспериментальных работ, выполненных автором в период с 1954 по 1970 г.

Диссертация состоит из двух частей. Первая из них - методическая - является центральной частью диссертации. Она посвящена проблемам разработки и исследования пузырьковых камер. Во второй части диссертации излагаются результаты исследования процессов  $\pi^+ - \mu^+ - e^+$ -распада и захвата пионов ядрами углерода. Эксперименты выполнены при помощи пропановых пузырьковых камер на синхротроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Однако нужно подчеркнуть, что эти исследования, хотя и выделены в самостоятельный раздел для удобства изложения, все-таки с позиции сегодняшнего дня должны рассматриваться как иллюстрация к успешному использованию в экспериментах созданных в то время первых пузырьковых камер. Поэтому в автореферате содержание второй части излагается крайне кратко.

Основные исследования, вошедшие в диссертацию, были опубликованы в работах /I-8/ и докладывались на международных конференциях и рабочих совещаниях /9-18/.

#### Часть первая

Пузырьковые камеры, изобретенные Глезером /19/ в 1952 г., прошли в своем развитии огромную дистанцию от небольшой трековой колбочки до прибора индустриального масштаба. Автор диссертации начал разработку пузырьковых камер и их методическое исследование в 1954 г. В то время, по существу, мало что было известно о пузырьковых камерах. Поэтому перед автором стояли многие проблемы инженерно-технического характера и проблемы, относящиеся к физи-

ке формирования пузырьков в перегретой жидкости по следу заряженной частицы. Конкретное решение этих задач связывалось непосредственно с созданием пузырьковой камеры как инструмента для исследований в области ядерной физики. В результате выполненных работ была создана первая "грязная" (т.е. металлическая) пропановая пузырьковая камера объемом 20 см<sup>3</sup>. Эта камера послужила основой для последующей разработки более крупных камер, предназначенных для физических экспериментов.

В первой и второй главах данной части диссертации рассмотрены вопросы разработки и испытания пропановых пузырьковых камер с фотографируемыми объемами 0,5 л (рис.1) и 4 л (рис.2). Отражены наиболее существенные особенности конструктивного исполнения основных узлов камер. Приведены технические характеристики систем термостатирования, освещения, фотографирования, синхронизации и контроля работы камер. Изложены расчеты времен сброса давления воздуха из расширительного устройства. Разобраны различные факторы, влияющие на чувствительность емкостного датчика давления. Приведены его технические характеристики.

Описан эксперимент по исследованию плотности следов заряженных частиц, проходящих через камеру в различные моменты времени относительно начала расширения. Показано, что допустимый разброс этого времени существенно зависит от режима работы камеры.

Изложены результаты исследования динамики процесса стабилизации нижнего уровня сброса давления в пропане четырехлитровой пузырьковой камеры. На осциллограммах рабочего цикла давления в пропане после окончания расширения обнаружены колебания. Вычисляется период этих колебаний. Расчетные данные хорошо согласуются с экспериментальными результатами. Рассматривается способ уменьшения амплитуды возникающих колебаний давления в пропане.

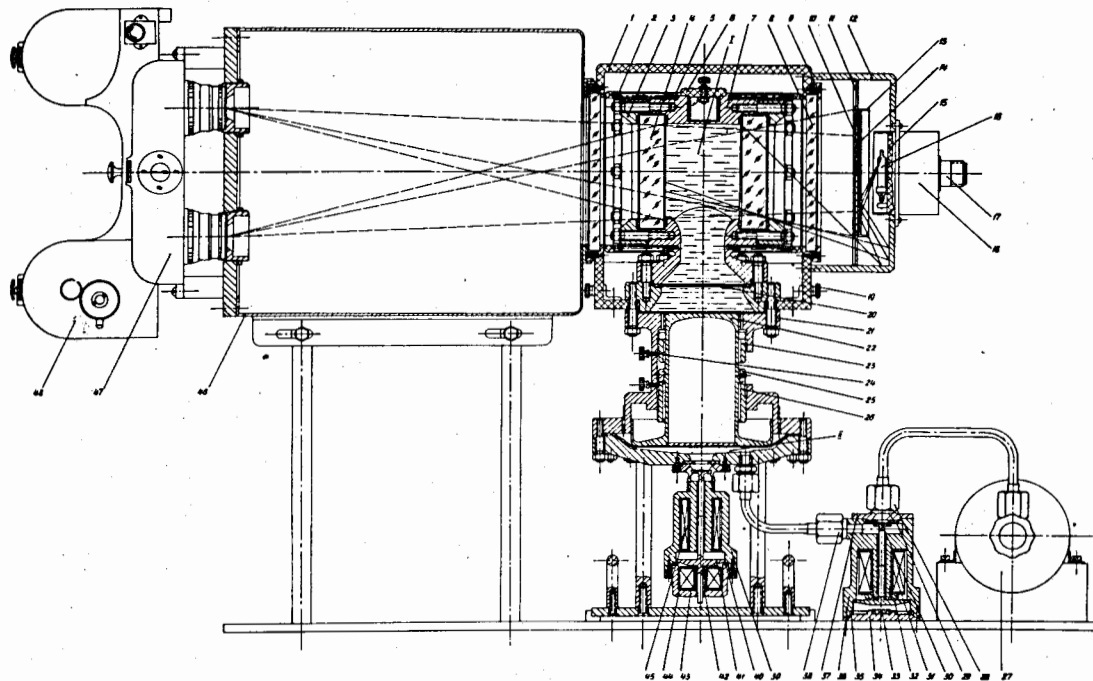


Рис. I. Схематический чертеж пропановой пузырьковой камеры с рабочим объемом 0,5л.

1, 12, 18, 46 - кожухи; 2 - электронагреватель; 3, 9, 13 - фланцы; 4, 8 - стекла;  
5 - датчик терморегулятора; 6, 31, 43, 45 - катушки; 7, 21 - корпуса; 10 - бархат;  
II - пластина; 14 - зеркало; 15 - панель; 16 - лампа; 17 - электрический разъем;  
19, 24 - винты; 20 - диафрагма; 22 - поршень; 23, 26 - ограничительные кольца; 25 -  
упор; 27 - баллон; 28, 38 - штуцеры; 29, 35 - уплотнения; 30 - грибок; 32, 41 - якоря;  
33, 40 - демпферы; 34, 37, 44 - крышки; 42 - пружина; 47 - оптическая головка; 48 -  
лентопротяжное устройство. I, II - полости.

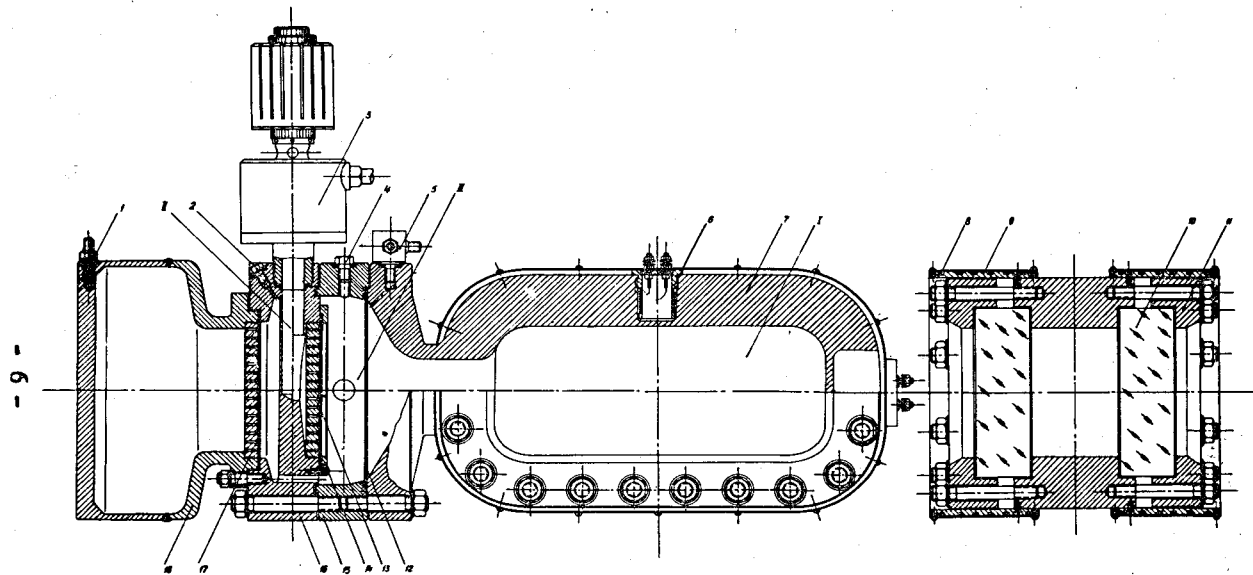


Рис.2. Схематический чертёж пропановой пузырьковой камеры с рабочим объёмом  $30 \times 12 \times 10 \text{ см}^3$ .  
 1 - штуцер; 2,4-пробки; 3-клапан; 5-вентиль; 6 - катушка, 7- корпус ; 8- датчик терморегулятора; 9 - электронагреватель; 10 - стекло; 11,14 - фланцы; 12,13,17 - диафрагмы; 15 - кольцо; 16 - диск; 18 - сосуд. I,II,III - полости.

Основные принципы, заложенные в разработку отдельных систем и узлов, позволили создать надежную аппаратуру, которая успешно использовалась в физических экспериментах на пучках частиц от синхроциклотрона ОИЯИ. Принципы, использованные в данной работе, сейчас являются типовыми при разработке камер любого размера.

Третья глава посвящена вопросам разработки и исследования узлов двухметровой пропановой пузырьковой камеры, помещенной в магнитное поле с индукцией 15,5 кгс. В настоящее время камера установлена на синхрофазотроне ИФВЭ на пучке  $\Pi^-$ -мезонов с энергией 40 Гэв.

В данной главе рассмотрен быстродействующий пневмоэлектромагнитный клапан двойного действия с проходным сечением  $7 \text{ см}^2$ . Приведены технические характеристики клапана. Описана система управления, контроля и синхронизации работы камеры с указанием временных характеристик. Изложена технология нанесения реперных перекрестий на смотровые стекла камер. При отработке этой технологии исследовалось влияние перекрестий на прочностные характеристики стекол. Приведены результаты исследования динамических характеристик камеры. Выполнены расчеты времен сброса и подъема давления газа в расширительном устройстве камеры. Рассчитано также время открытия и закрытия клапанов с трубчатым эластичным затвором и седлом цилиндрической формы. Полученные данные хорошо согласуются с экспериментальными результатами.

В четвертой главе рассмотрены вопросы проектирования автоколебательной расширительной системы. Изложен проект и расчет поршневой автоколебательной расширительной системы (рис.3), предназначенной для многокубовой водородной пузырьковой камеры. Выбор целесообразного конструктивного решения этой системы был сделан на основе анализа расширительных устройств камер крупного размера. При-

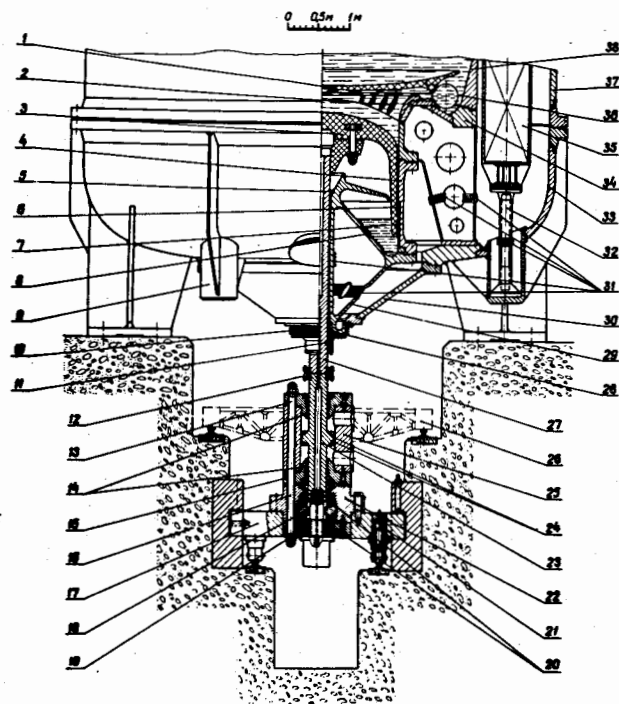


Рис. 3.

Схематический чертеж системы расширения. 1 - подвижное днище; 2, 8, 31 - теплообменники; 3 - поршень; 4 - цилиндр; 5, 14 - направляющие втулки; 6 - гильзы; 7, 11, 24 - уплотнения; 9 - опорный стакан; 10 - сильфон-компенсатор; 12 - стяжка разъемная; 13, 15, 30 - днища; 16 - шпилька; 17 - платформа; 18 - поршень аварийного цилиндра; 19 - крышка; 20 - пружина; 21 - гидроподъемник; 22 - аварийный цилиндр; 23 - поршень рабочего цилиндра; 25 - рабочий цилиндр; 26 - монтажно-транспортное приспособление; 27 - шток; 28 - надувное уплотнение; 29 - силовая растяжка; 32 - опора соленоида; 33, 34 - опорные днища, 35 - тороидальный сильфон.

ведены основные расчетные характеристики расширительной системы. Для уменьшения гидравлических потерь энергии рассмотрен вариант устройства, в котором функции силового элемента и клапана совмещены. Изложены результаты математического исследования колебаний давления в рабочей жидкости привода автоколебательной расширительной системы с двумя степенями свободы. Анализ полученных данных показал, что при определенных условиях возможна кавитация жидкости. Разбирается влияние различных факторов на амплитуду и частоту осцилляций давления в жидкости. Приведен расчет колебаний давления в водороде между разделительной перегородкой и поршнем расширительной системы. Расчет показал, что постановка разделительной перегородки в камере не вызывает более сильного вскипания водорода.

В данной главе рассмотрен также проект динамически скомпенсированной автоколебательной системы расширения для двухметровой пропановой пузырьковой камеры. Указанная система обеспечивает полную разгрузку камеры от толчков в момент расширения. Приведены основные расчетные характеристики спроектированной системы. Описан быстродействующий клапан высокого давления (рис. 4), разработанный для данной автоколебательной расширительной системы. Торможение поршня в клапане осуществляется с помощью воздушного демпфера с регулируемой дроссельной щелью. Клапан оснащен пьезоэлектрическими датчиками давления, по показаниям которых выбирается режим безударной остановки поршня. При помощи специально разработанного фотоэлектрического датчика измерялось время перемещения поршня. Осциллограммы показаний фотоэлектрического и пьезоэлектрического датчиков при различных размерах дроссельной щели приведены на рис. 5. Технические характеристики клапана следующие: проходное сечение -  $20 \text{ см}^2$ , рабочее давление - 100 ат, управляющее давление - 5 ат, время открытия нагнетательного окна - 5 мсек, ресурс рабочего времени -  $5 \cdot 10^5$  циклов.



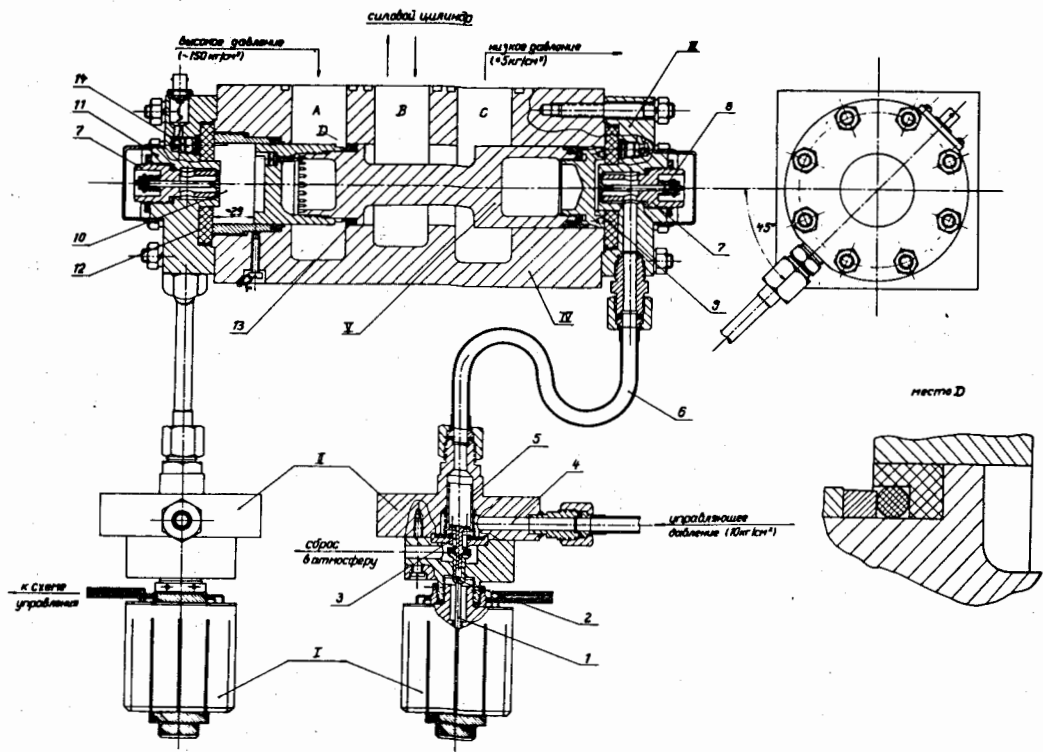


Рис. 4. Схематический чертёж клапана. I - электромагниты; II - командные ступени; III - крышки; IV - корпус; Y - поршень. А, В, С, 9, 10 - полости; 1 - толкатель; 2 - затвор; 3 - отверстие; 4 - управляющая магистраль; 5 - стакан; 6 - трубка; 7 - дроссель; 8 - грибок; II - крышка; I2 - демпфер; I3 - уплотнение; I4 - пьезоэлектрический датчик давления.

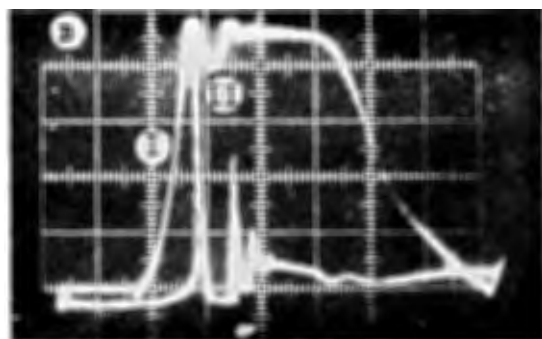
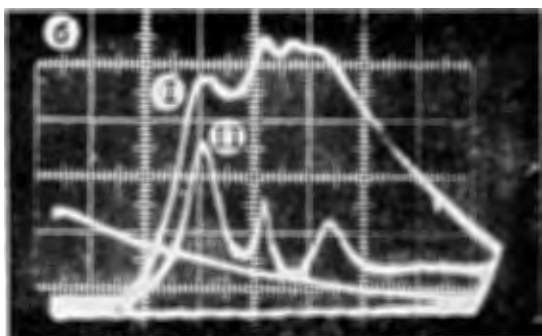
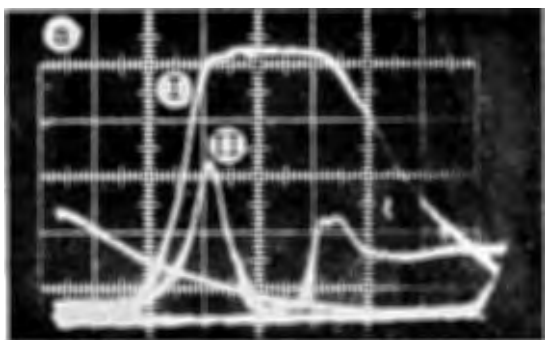


Рис. 5. Осциллограммы показаний фотоэлектрического I и пьезоэлектрического II датчиков. а-случай, когда щель в дросселе оптимальна; б-щель в дросселе меньше оптимальной; в-щель в дросселе больше оптимальной.

## Часть вторая

В пятой главе диссертации описывается эксперимент по изучению асимметрии в угловом распределении позитронов, рождающихся при распаде  $\mu^+$ -мезонов. Интерес к этим исследованиям в то время был вызван открытием в 1956 г. Ли и Янгом /20/ несохранения четности в процессах слабого взаимодействия. К настоящему времени результаты этих исследований в значительной степени потеряли свою актуальность и поэтому специального обсуждения или анализа их здесь не дается.

В шестой главе диссертации исследуются процессы поглощения  $\pi^+$ - и  $\pi^-$ -мезонов при энергии 40-70 Мэв в ядрах углерода. В эксперименте была использована пропановая пузырьковая камера объемом 4 л. В этом же разделе диссертации описана методика обработки стереофотографий, позволяющая отобрать события, представляющие собой совокупность процессов поглощения и перезарядки пионов на ядрах углерода. Найдена суммарная величина сечения этих процессов:

$$\sigma_{\pi^+} = 98_{-10}^{+17} \cdot 10^{-27} \text{ см}^2, \quad \sigma_{\pi^-} = 99_{-19}^{+24} \cdot 10^{-27} \text{ см}^2.$$

Представлены распределения событий поглощения по числу заряженных частиц, вылетающих из ядер углерода (рис.6). Среднее число заряженных частиц при поглощении  $\pi^+$ -мезонов равно  $\bar{i}^+ = 2,22_{-0,11}^{+0,13}$ , а при захвате  $\pi^-$ -мезонов  $\bar{i}^- = 0,94_{-0,13}^{+0,14}$ . Приведено распределение средней энергии протонов, выходящих из ядер углерода при поглощении пионов, в зависимости от их числа в звездах. Получен энергетический спектр протонов (рис.7), вылетающих из ядер углерода при поглощении  $\pi^-$ -мезонов. В спектре наблюдается крутой спад при энергии протонов  $\sim 25$  Мэв. Представлены угловые распределения заряженных частиц, вылетающих из ядер углерода при поглощении пионов.

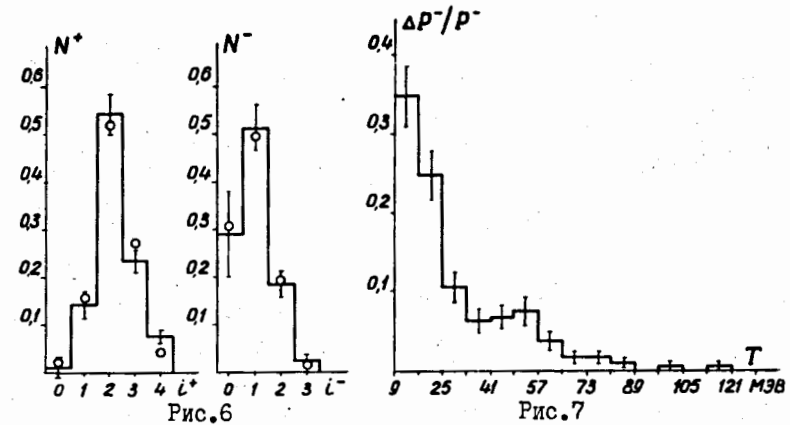


Рис.6. Распределение событий поглощения  $\pi^+$ -мезонов в ядре углерода по числу заряженных частиц  $i$ , имеющих пробег  $\geq 2$  мм. Приведенные ошибки обусловлены статистикой и неопознанными событиями. Кружочками отмечены расчетные значения.

Рис.7. Энергетический спектр протонов при поглощении  $\pi^-$ -мезонов ядром углерода.  $T$  - кинетическая энергия протона;  $\Delta P^-/P^-$  - относительное число протонов в интервале энергий 8 Мэв (ошибки статистические).

Для сравнения полученных распределений определены коэффициенты анизотропии  $a = (P_V - P_H) / (P_V + P_H)$ , где  $P_V$  и  $P_H$  - суммарное число заряженных частиц соответственно в переднюю и заднюю полусферы относительно направления пиона. Было найдено, что при поглощении  $\pi^+$ -мезонов в ядрах углерода  $a^+ = 0,164 \pm 0,034$ , а при захвате  $\pi^-$ -мезонов -  $a^- = 0,030 \pm 0,065$ . Обсуждаются причины, приводящие к наблюдаемой анизотропии. Дается анализ распределений событий поглощения по числу заряженных частиц. Анализируются также распределения средней энергии протонов в зависимости от их числа в звездах. Результаты анализа позволяют сделать вывод, что в ядре углерода пионы захватываются, в основном, парами нуклонов. Причем вероятность захвата парами разноименных нуклонов равна  $\eta = 0,65 \pm 0,10$ .

#### Основные результаты и выводы диссертации

##### По первой части.

1. Впервые создана "грязная" пропановая пузырьковая камера.
2. Разработаны пропановые пузырьковые камеры с рабочими объемами 0,5л и  $30 \times 12 \times 10 \text{ см}^3$ , которые использовались в физических экспериментах на пучках частиц синхроциклотрона.
3. Создана простая система термостатирования пропановой пузырьковой камеры с малой инерционностью.
4. Разработана система синхронизации для управления работой пузырьковых камер на синхроциклотроне и синхрофазотроне. Система обеспечивает малый разброс времени поджига импульсных ламп и воспроизводит стабильно режим фотографирования следов частиц в камере.
5. Создана аппаратура для автоматического контроля работы основных узлов камеры и обслуживающей ее электроники.
6. Разработаны быстродействующие клапаны двойного действия на давление 40 ат с проходными сечениями  $3 \text{ см}^2$  и  $7 \text{ см}^2$ .

7. Выполнены расчеты времен сброса и подъема давления воздуха в расширительном устройстве и определен период возникающих колебаний в камере. Исследована динамика процесса стабилизации давления в камере. Расчетные данные находятся в хорошем согласии с экспериментальными результатами.

8. Рассчитана автоколебательная расширительная система для многокубовых жидководородных пузырьковых камер. Показано, что для уменьшения потерь энергии в гидроприводе необходимо работать на предельно высоких давлениях жидкости. Рассмотрены некоторые варианты гидроприводов и системы управления ими.

9. Разработана динамически скомпенсированная автоколебательная система расширения для двухметровой пузырьковой камеры. Система полностью разгружает камеру от толчков в момент расширения.

10. Рассчитаны колебания давления в водороде между разделительной перегородкой и поршнем расширительной системы. Рассмотрены случаи кавитации жидкости в гидроприводе автоколебательной расширительной системы с двумя степенями свободы.

11. Создан быстродействующий высоконадежный клапан на давление 100 ат с проходным сечением  $20 \text{ см}^2$  для автоколебательной расширительной системы. После  $5 \cdot 10^5$  циклов срабатываний все технические характеристики клапана оставались в требуемых пределах.

##### По второй части диссертации:

12. С помощью пузырьковой камеры и электроники определено угловое распределение позитронов при распаде  $\mu^+$ -мезонов, останавливающихся в пропане.

13. Найдены суммарные сечения  $\sigma$ -поглощения и перезарядки пионов при энергии 40-70 Мэв в ядрах углерода:

$$\sigma_{\pi^+} = 98^{+17}_{-10} \cdot 10^{-27} \text{ см}^2; \quad \sigma_{\pi^-} = 99^{+24}_{-19} \cdot 10^{-27} \text{ см}^2.$$

14. Получены угловые распределения заряженных частиц, вылетающих из ядер углерода при поглощении пионов. Установлено, что угловое распределение частиц для  $\Pi^+$ -мезонов анизотропно (коэффициент анизотропии  $a^+ = 0,164 \pm 0,034$ ), а для  $\Pi^-$ -мезонов изотропно ( $a^- = 0,030 \pm 0,065$ ).

15. Оценены средние энергии протонов, выходящих из ядер углерода при захвате  $\Pi^+$ - и  $\Pi^-$ -мезонов, в зависимости от их числа в звездах.

16. Установлен энергетический спектр протонов, вылетающих из ядер углерода при поглощении  $\Pi^-$ -мезонов. В спектре наблюдается крутой спад при энергии протонов  $\sim 25$  Мэв.

17. Найдены распределения событий поглощения по числу заряженных частиц, вылетающих из ядер углерода. Среднее число заряженных частиц при поглощении  $\Pi^+$ -мезонов равно  $\bar{l}^+ = 2,22^{+0,13}_{-0,11}$ , а при захвате  $\Pi^-$ -мезонов -  $\bar{l}^- = 0,94^{+0,14}_{-0,13}$ .

18. Установлено, что в ядре углерода пионы захватываются, в основном, парами нуклонов. Причем вероятность захвата парами равноименных нуклонов равна  $\eta = 0,65 \pm 0,10$ .

#### Л и т е р а т у р а

1. М.П.Баландин, В.А.Моисеенко, А.И.Мухин, С.З.Отвиновский. *ЖЭТФ*, 36, 424, 1959.
2. Ж.В.Лаберриг-Фролова, М.П.Баландин, С.З.Отвиновский. *ЖЭТФ*, 37, 634, 1959; *J.Phys.Rad.* 21, 54, 1960.
3. М.П.Баландин, О.И.Иванов, В.А.Моисеенко, Г.Л.Соколов. *ЖЭТФ*, 46, 415, 1964.
4. М.П.Баландин, В.Г.Гребинник, Г.И.Селиванов. *ПТЭ*, № 5, 60, 1962.
5. Г.М.Александров, М.П.Баландин, С.К.Багдасаров и др. Сообщение ОИЯИ, 13-3322, 1967.

6. M.P.Balandin, N.G.Borisov, Wang Quang-Chang, R.P.Kukhareva, V.A.Moiseenko, V.I.Snyatkov, M.I.Soloviev and I.V.Chuvilo. *Nucl.Instr. and Meth.* 20, 110, 1963.

7. М.П.Баландин, В.И.Ганичев, В.А.Моисеенко, М.И.Соловьев, В.Л.Трифонов, Б.Шмидтке.

Препринт ОИЯИ, PI3-5420, 1970.

8. G.Vachy, M.Balandin. CERN/D.Ph. II/BEBC 67-45, 1967.

9. М.П.Баландин, В.И.Ганичев, В.А.Моисеенко, Г.И.Селиванов, М.И.Соловьев, Б.Шмидтке. Изд. ОИЯИ, 13-4466, 181, 1969.

10. М.П.Баландин, В.И.Ганичев, В.А.Моисеенко, Г.И.Селиванов, М.И.Соловьев, Б.Шмидтке. Изд. ОИЯИ, 13-4466, 185, 1969.

11. М.П.Баландин, В.А.Моисеенко. Тезисы докладов на Всесоюзной конференции по физике частиц высоких энергий (14-22 мая 1956г.), 210, Из-во АН СССР, М., 1956.

12. М.П.Баландин, А.Т.Василенко, В.А.Моисеенко.

Изд. ОИЯИ, P 230, 116, 1958.

13. М.П.Баландин. Препринт ОИЯИ, P 230, 138, 1958.

14. М.П.Баландин, В.А.Моисеенко. Препринт ОИЯИ, P 284, 94, 1959.

15. М.П.Баландин. Изд. ОИЯИ, 13-4466, 201, 1969.

16. М.П.Баландин. Изд. ОИЯИ, 13-4466, 113, 1969.

17. М.П.Баландин. Изд. ОИЯИ, 13-4466, 105, 1969.

18. М.П.Баландин, В.И.Ганичев, В.А.Моисеенко, М.И.Соловьев, Б.Шмидтке. Изд. ОИЯИ, 13-4466, 216, 1969.

19. D.A.Glaser. *Phys.Rev.* 87, 665, 1952.

20. T.D.Lee, C.N.Yang. *Phys.Rev.* 104, 254, 1956.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 декабря 1971 года.