

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

С 344.1

С-65Δ

Г.М. Сташков

1963

55-САНТИМЕТРОВАЯ КСЕНОНОВАЯ  
ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА

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

Дубна 1965

Г.М. Сташков

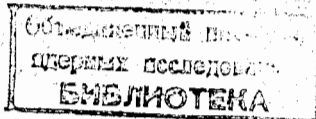
С 344.1  
С-658

1983

55-САНТИМЕТРОВАЯ КСЕНОНОВАЯ  
ПУЗЫРЬКОВАЯ КАМЕРА

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

Дубна 1985



2572 80

Пузырьковые камеры, как приборы для исследования процессов взаимодействия частиц высоких энергий, характерны тем, что рабочая жидкость камеры является одновременно и мишенью, на ядрах которой происходят исследуемые взаимодействия, и детектором частиц, образующихся при взаимодействии. Применение тяжелых жидкостей для наполнения пузырьковых камер позволяет хорошо детектировать вторичные частицы, и в первую очередь,  $\gamma$ -кванты, которые регистрируются в камере по конверсионным электроно-позитронным парам. В такой камере хорошо идентифицируются случаи распадов различных частиц, например, типа  $K_{s3}$  и  $K_{\mu 3}$ , исследование которых представляет интерес для теории слабых взаимодействий.

В Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований была сконструирована, изготовлена и пущена в эксплуатацию пузырьковая камера общим объемом 30 литров, в которой рабочей жидкостью является ксенон.

Реферлируемая диссертация посвящена изложению работы по конструированию, наладке и эксплуатации этой, самой большой в мире ксеноновой пузырьковой камеры.

Диссертация состоит из 4 глав. В первой главе разбираются вопросы выбора рабочей жидкости и выясняется специфика тяжелых жидкостей. Во второй главе обсуждаются вопросы конструирования камеры. В третьей главе описывается установка в ксеноновой камерой, измерение рабочих параметров ксенона, и некоторые вопросы эксплуатации камеры. Здесь же излагаются методы измерения координат событий, зарегистрированных в рабочем объеме камеры. В заключительной главе изложены вопросы идентификации частиц на основе измерения параметров многократного рассеяния и измерения энергии частиц по пробегу в ксеноне.

## 1.

Для выбора исходных данных при конструировании камеры были использованы приведенные в литературе зависимости плотности жидкого и газообразного ксенона и упругости его насыщенных паров от температуры. По этим данным были рассчитаны пограничные кривые, объем моля жидкого ксенона, показатель преломления и оценена степень расширения рабочей жидкости.

При выборе конструкции камеры основное внимание было обращено на обеспечение герметичности рабочего объема, сокращение числа уплотнений в камере и приме-

нение промежуточных объемов, которые гарантировали бы сохранность дорогостоящего ксенона.

В диссертации показано, что при освещении камеры параллельным пучком света для жидкого ксенона может быть использована схема освещения, при которой пучок света идет под прямым углом относительно оптических осей объективов. Такая схема позволяет применить конструктивно более простые решения по сравнению с методом освещения "напросвет". Выбор системы освещения определил основные конструктивные решения установки - взаимное расположение фотоаппарата, осветителя, механизма расширения.

## II.

Общая схема камеры приведена на рис. 1. Ее рабочий объем имеет форму параллелепипеда с размерами  $550 \times 280 \times 153$  мм<sup>3</sup> (около 24 литров). Всего в камеру заливается 30 литров жидкого ксенона. Для гашения сцинтилляций и получения качественных треков в ксенон добавлено 2% этилена.

Сверху рабочий объем закрыт большим блоком органического стекла, через которое производится фотографирование. Стекло сверху закрыто герметичным конусом, в который подается воздух под давлением для разгрузки стекла от напряжений. Давление в рабочем объеме  $P_{\infty} + \Delta P = 38$  атм, давление в конусе  $P_{\text{кон}} = 25$  атм.

На боковой стенке камеры крепится механизм расширения. Нами применен механизм с регулировкой степени расширения по объему, что достигается изменением количества промежуточной жидкости, заключенной между двумя мембранами. Мембраны изготовлены из листовой масло- и морозостойкой резины, в качестве промежуточной жидкости используется этиловый спирт.

Клапан камеры - трехступенчатый, с последовательной редукцией от 38 атм в первой ступени до 25 атм во второй и до 1,5 атм в третьей. В третьей ступени используется искровой клапан. Во все ступени клапана подается воздух со стабилизированным давлением, что обеспечивает стабильность процесса расширения, который можно контролировать по видимой на экране осциллографа кривой расширения. Время срабатывания клапанов 3 и 2 ступени составляет  $t_0 \approx 10$  мсек. Фронт кривой расширения имеет длительность  $t_1 \approx 10$  мсек.

Прохождение пучка частиц через камеру регистрируется телескопом сцинтилляционных счетчиков, импульс от которого запускает схему поджига лампы осветителя. При такой схеме нет "пустых" кадров. Время задержки света относительно прохождения пучка частиц составляет 15-17 мсек.

Камера освещается параллельным пучком света через два отверстия в боковой стенке камеры. В осветителе применена цилиндрическая импульсная лампа, помещенная в фокусе металлического отражателя.

Рабочая температура камеры равна  $t = -19^{\circ}\text{C}$ . Камера охлаждается двумя типовыми фреоновыми холодильными машинами. На корпусе камеры сделаны пазы, в которые впаяны трубки, образующие испаритель холодильного контура.

При наполнении камеры ксеноном используется примененный в работе <sup>/1/</sup> метод замораживания ксенона в промежуточном баллоне, который охлаждается снаружи жидким азотом. При этом в ксеноновых магистралях создается перепад давлений, обеспечивающий перекачку ксенона в промежуточный баллон. При нагревании промежуточного баллона ксенон перегоняется в камеру. Для сбережения ксенона нами был специально сконструирован герметичный сифонный вентиль, испытанный на давление в 150 атм.

Для обеспечения контроля за надежностью уплотнений, герметизирующих рабочий объем, каждое уплотнение сделано из двух рядов прокладок так, что между прокладками получается герметичный промежуточный объем (т.н. "ловушка"), который можно откачать на вакуум. Нарушение вакуума в ловушке служит индикатором утечек ксенона и является сигналом остановки работы на камере.

Фотографирование камеры производится двумя объективами, база которых равна 190 мм. Оба кадра фотографируются на одну пленку, масштаб фотографирования верха и низа рабочего объема равен 10,2 и 8,7 соответственно. Головка стереофотоаппарата, в которой размещены объективы и прижимные стекла, жестко крепится к верхней части конуса. При перезарядке кассет снимается только лентопротяжный механизм, представляющий отдельный блок. В изготовленном нами лентопротяжном механизме используется пневматический привод. Простота конструкции лентопротяжного механизма обеспечила большую надежность в работе (порядка 50.000 фотографий без профилактического ремонта).

Общий вид камеры приведен на рис. 2.

В диссертации показано, что большое количество реперных крестов, нанесенных на поверхности стекла, соприкасающейся с ксеноном, и на дне камеры, позволяет уточнить параметры системы фотографирования: отклонение положения оптических осей от нормали к стеклу камеры, неточность определения координаты  $y'$  оптических осей, вид зависимости между полярной координатой  $\rho$  на пленке и  $\theta$  углом входа луча в объектив.

Для системы фотографирования ксеноновой камеры поправка, вводимая в значение полярной координаты  $\rho$  для учета отклонения положения оптических осей от нормали к стеклу, имеет вид

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \beta y'}, \quad (1)$$

где  $\beta = 8 \cdot 10^{-5}$ .  
 Неточность определения координаты "y" оптических осей при юстировке не превышает значения  $\delta y' = -0,003$  мм для левого объектива и  $\delta y' = +0,009$  мм - для правого; таким образом, независимым способом получено доказательство правильности проведения юстировки объективов.

Зависимость между полярной координатой  $\rho$  и углом  $\theta$  для системы фотографирования ксеноновой камеры получена в виде:

$$\operatorname{tg} \theta = A \rho, \quad (2)$$

где  $A_{\text{лев.}} = 0,01693$        $A_{\text{пр.}} = 0,01685$ .

Приводятся данные об измерении показателя преломления жидкого ксенона в момент фотографирования. Измерения были проведены двумя методами - методом сравнения масштабов фотографирования реперных крестов (расположенных на дне камеры) в различных средах (в воздухе и в жидком ксеноне) и методом расчета значений  $n_{x_0}$  для точек с известной глубинной координатой  $z$ . Получены совпадающие между собой значения  $n_{x_0} = 1,276$  и  $n_{x_0} = 1,279 \pm 0,002$ . Оба значения не согласуются с данными Глезера<sup>2/</sup>, получившего  $n_{x_0} = 1,18$ .

Плотность жидкого ксенона была определена методом гидростатического взвешивания ( $\gamma_{x_0} = 2,2$  г/см<sup>3</sup>) и вычислена по показателю преломления ксенона по формуле Лоренц-Лорентца ( $\gamma_{x_0} = 2,17$  г/см<sup>3</sup>). Эти данные хорошо согласуются с данными Глезера ( $\gamma_{x_0} = 2,16$  г/см<sup>3</sup>).

Измерения показателя преломления (с последующим пересчетом на плотность) нами были использованы для контроля за работой камеры в длительном режиме работы. По измерениям на 100 кадрах одной пленки среднее квадратичное отклонение значений плотности равно  $\sigma_y = 0,020$  г/см<sup>3</sup>. В более длительном режиме по измерениям на 20 пленках, среди которых были пленки даже разных пусков камеры, полуширина распределения значений плотности ксенона равна  $\sigma_y = 0,025$  г/см<sup>3</sup>.

Измерения показателя преломления нами были использованы для сопоставления значений плотности ксенона до расширения и в момент расширения. Измерения проводились на кадрах, на которых по каким-либо причинам не произошло расширение, и на соседнем кадре, чтобы обнаруженный эффект можно было отнести только за счет расширения. Получены следующие данные: изменение показателя преломления ксенона до расширения и в момент расширения не превышает значения  $\Delta n \leq 0,004$ , что в пересчете на плотность соответствует ее изменению не более, чем на 2%. Полученное значение лежит почти в пределах точности наших измерений.

<sup>x/</sup> По нашим измерениям пробега  $\pi$ -мезона от распада остановившихся К-мезонов значение плотности ксенона равно  $\gamma_{x_0} = 2,16$  г/см<sup>3</sup>.



Радиационная единица длины для ксенона, вычисленная с поправками, учитывающими неточность борновского приближения для случая полного экранирования и учитывающими вклад тормозного излучения и образования пар в поле атомных электронов<sup>1/3/</sup>, равна  $t_0 = 3,32 \text{ г/см}^2$  или  $X_0 = 3,8 \text{ см}$  для рабочей плотности.

Критическая энергия для ксенона  $\epsilon = 11,0 \text{ Мэв}$ .

### III.

Большая плотность ксенона позволяет использовать измерения многократного рассеяния для определения величины

$$\rho\beta = \frac{kt^{3/2}}{|\bar{D}|} = \frac{kt^{1/2}}{|\bar{\theta}|} \quad (3)$$

Предельно измеримое значение  $\rho\beta$  определяется шумами пузырьков, шумами микроскопа и шумами отсчета. Шумы в ксеноновой камере были определены по измерениям на пленках. Среднее значение модуля второй разности, определяемое шумами, равно в камере  $|\bar{D}| = 80 \text{ мк}$ , что соответствует предельно измеримому значению  $\rho\beta \leq 800 \text{ Мэв/с}$ .

Для измерений следов частиц, теряющих на измеряемом участке большую долю энергии, нами предложен метод, в котором параметром, сохраняющим свое постоянное значение вдоль следа, является произведение

$$\rho\beta|\bar{\theta}| = kt^{1/2} \quad (4)$$

где  $t$  — ячейка постоянной длины.

Используя зависимость  $\rho\beta = aR_0^\alpha$  (где  $R_0$  — пробег частицы до остановки), можно для каждой ячейки записать:

$$(R_0 - mt) a^{1/\alpha} |\bar{\theta}|^{1/\alpha} (kt^{1/2})^{1/\alpha} \quad (5)$$

Показано, что в предположении о гауссовском распределении величин углов рассеяния может быть проведено усреднение измеряемых величин и тогда величина  $\rho\beta$  (определяемая полным пробегом  $R_0$ ) равна:

$$\rho\beta = \frac{(C^{1/\alpha} a^{1/\alpha} |\bar{\theta}|^{1/\alpha} t)^{\alpha}}{(|\bar{\theta}|^{1/\alpha})^{\alpha}} \quad (6)$$

где  $C = 1,08 kt^{1/2}$ ,  $a$  и  $\alpha$  — постоянные.

Пробег тяжелых частиц в ксеноне рассчитан по формуле, предложенной Штернхеймером<sup>1/4/</sup> и дающей хорошее согласие с экспериментом (в пределах 0,5% для углерода):

$$R(T_p, I) = R(2 \text{ Мэв}, I) + \Phi_{A,Z} [1 + G_1 X + G_2 X^2 + G_3 X^3] \quad (7)$$

Зависимость от вещества введена здесь сравнительным способом, относительно алюминия, с помощью множителя  $\chi = \frac{I_{Xe}}{I_{Al}}$ , где  $I$  - ионизационный потенциал.

Значение ионизационного потенциала для ксенона нами было оценено по экспериментальным данным для кадмия и вольфрама<sup>/5/</sup>, по спектрометрическим данным и по зависимости  $I = k z^n / 6/$ , где  $k$  и  $n$  получены также из экспериментальных данных для  $I_{Pb}$  и  $I_{Cu}$ . Для ксенона значение ионизационного потенциала оказалось равным  $I_{Xe} = 570$  эв. Зависимость импульс - пробег для тяжелых частиц в ксеноне, рассчитанная при  $I = 570$  эв, приведена на рис. 3. Идентификация тяжелых частиц в камере производится по измерениям пробега и многократного рассеяния.

Т а б л и ц а 1

	Верхний предел измерений импульса	
	по пробегу	по многокр. рассеянию
$\pi$ - мезоны	250 Мэв/с	600 Мэв/с
K - мезоны	500	750
протоны	800	900

Для электронов зависимость пробег-энергия представлена в виде:

$$R = A \ln \left( \frac{E}{B} + 1 \right). \quad (8)$$

Константы  $A$  и  $B$  определены по измерениям электронно-позитронных пар, образующихся при распадах остановившихся K - мезонов по схеме  $K^+ \rightarrow \pi^+ + \pi^0$ . В таких распадах энергия пары определяется независимо по кинематике распада и по измерениям пробегов электронов и позитронов. Для ксенона значения констант равны  $A = 99 \pm 7,5$   $B = 39 \pm 3,5$ .

Показано также, что при измерениях энергичных  $\gamma$  - квантов по суммарному пробегу каскадных электронов с помощью соотношения

$$E = k \sum R \quad (9)$$

значение  $k$  зависит от энергии  $\gamma$  - кванта.

#### IV

Основные итоги диссертации.

1. Спроектирована, налажена и пущена в эксплуатацию ксеноновая пузырьковая камера с рабочим объемом  $550 \times 280 \times 163$  мм<sup>3</sup>.



2. Камера выдерживает непрерывную работу в течение длительного времени, узлы и механизмы камеры работают нормально. Эксплуатация камеры началась в 1960 году. Камера облучалась в пучках  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 5 и 9 Гэв/с и в пучке  $K^+$ -мезонов с импульсом 600 Мэв/с. На камере получено около 500.000 фотографий. Сейчас продолжается эксплуатация камеры в пучке  $\pi^+$ -мезонов с импульсом  $PC=2,4$  Гэв/с.

3. Оценены методические возможности камеры, как прибора для исследований элементарных частиц высоких энергий. Предложен метод измерения многократного рассеяния следов частиц, теряющих большую долю энергии на измеряемом участке следа (см. 6). При представлении зависимости пробег - энергия для одиночных электронов в виде  $R = A\lambda \ln \left( \frac{E}{B} + 1 \right)$  для ксенона значения констант получены следующими:  $A = 100$ ,  $B = 40$ .

Рассчитана зависимость пробег - импульс для тяжелых частиц в ксеноне, экспериментально определена плотность ксенона в момент фотографирования камеры ( $\gamma_{Xe} = 2,18$  г/см<sup>3</sup>), определена радиационная единица длины  $t_0 = 8,32$  г/см<sup>2</sup>.

4. Материалы, полученные на ксеноновой камере, обрабатываются в лабораториях стран - участниц Объединенного института ядерных исследований (Дубна, Варшава, Краков, Будапешт, Бухарест). На этих материалах выполнен ряд работ по физике частиц высоких энергий см., например, /7-9/.

Диссертация основана на материалах, опубликованных в работах /10-12/.

#### Л и т е р а т у р а

1. Е.В. Кузнецов, И.Н. Тимошин. ПТЭ, № 4, 40 (1959).
2. I.L. Brown. Proc. of the Intern. Conf. of H.E. Berkley (1960)
3. О.И. Довженко, А.А. Поманский. Труды ФИАН т.26 (166, (1964).
4. R. Sternheimer. Phys. Rev., 118, 1045 (1960).
5. В.П. Зрелов, Г.Д. Столетов. ЖЭТФ, 36, 658 (1959).
6. До Ин Сэб. Препринт ОИЯИ Р-871 (1962).
7. А. Прокош. Кандидатская диссертация. ОИЯИ Дубна (1964).
8. В.С. Курбатов, Э.И. Мальцев, И. Маслаков, И.В. Чувилло, А.И. Шкловская. Препринт ОИЯИ Р-1763, Дубна (1964).
9. В.С. Курбатов, Э.И. Мальцев, А.И. Маслаков, Д. Пинтер, Г.М. Сташков, И.В. Чувилло, А.И. Шкловская. Международная конференция по физике высоких энергий, Дубна (1964).
10. T. Kanarek, E.I. Maltsev, T. Nagy, I. Nagy, A. Prokes, G.M. Stachkov, E.P. Ustenko, I.V. Chuvilo, U.N. Skobin. Proc. of the Intern. Conf. on H.E. CERN (1959).

11. В.С. Курбагов, Э.И. Мальцев, А.И. Маслаков, Г.М. Сташков, И.В. Чувило, А.И. Шкловская. Препринт ОИЯИ № 1748, Дубна (1964).

12. И.М. Граменицкий, Г.М. Сташков, Л.И. Тихонова. Препринт ОИЯИ № 1783 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 января 1965 г.

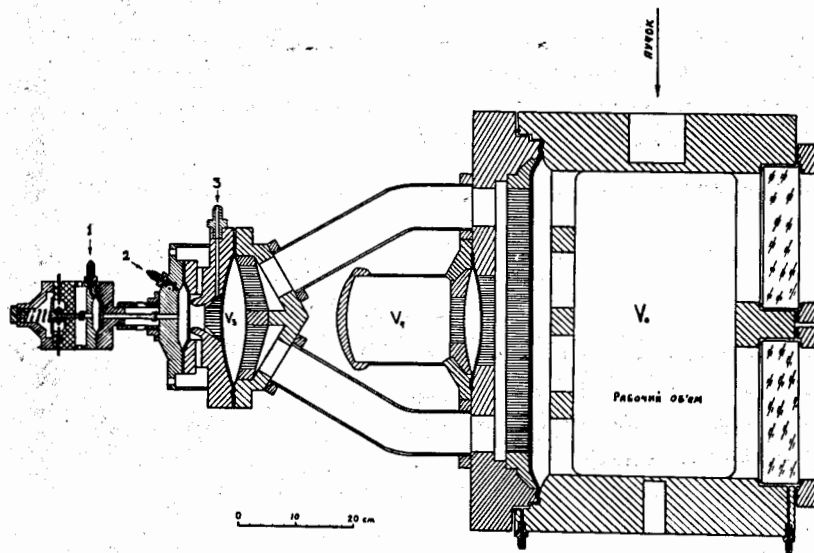


Рис. 1. Ксеноновая камера. Схема.

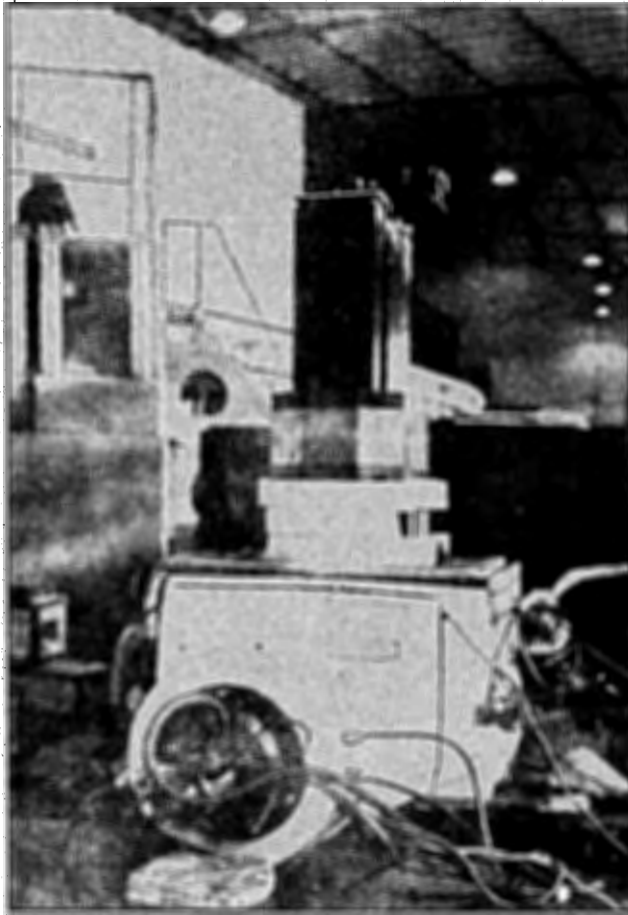


Рис. 2. Ксеноновая камера. Общий вид.

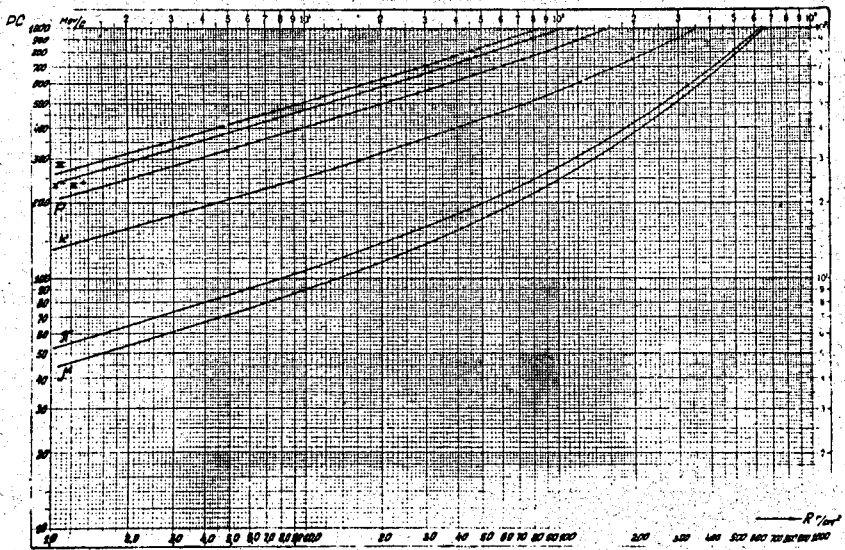


Рис. 3. Зависимость пробег - импульс в ксеноде.