

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

6161/2-80

22/12-80

P13-80-605

Ю.К.Акимов, В.Х.Додохов, В.А.Жуков, А.И.Калинин,
Нгуен Нгок Лам, В.К.Тюпиков, С.Н.Шилов

**МНОГОСЕКЦИОННАЯ
ЖИДКОАРГОНОВАЯ ИОНИЗАЦИОННАЯ КАМЕРА**

Устройство и результаты испытаний

1980

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во многих физических лабораториях мира ведутся интенсивные работы по исследованию и применению ионизационных детекторов на основе конденсированных инертных газов /1,2/. По своему энергетическому разрешению эти детекторы занимают промежуточное место между полупроводниковыми и сцинтилляционными счетчиками. Привлекательной их особенностью является возможность создания сравнительно недорогих детектирующих устройств большого объема практически произвольной формы, отличающихся однородной чувствительностью.

Нашей целью являлась разработка камеры для регистрации заряженных частиц относительно невысоких энергий с пробегом до 10 см в жидком аргоне. Камера действует как пробегный телескоп и вместе с тем дает возможность по ионизации определить сорт регистрируемой частицы.

КОНСТРУКЦИЯ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЫ

На рис.1 представлен внешний вид детектирующей части камеры. Она представляет собой стопку из 48 плоских медных электродов толщиной 20 мкм, разделенных стеклотекстолитовыми кольцами. Расстояние между электродами для входных первых 10 промежутков составляет 2,5 мм, для остальных - 1,8 мм. Каждый электрод выполнен в виде кольца с внутренним диаметром 100 мм из фольгированного стеклотекстолита с напаянной на него в горячем состоянии медной фольгой, которая при охлаждении за счет температурной усадки туго натягивается на электрод. Общая высота стопки электродов составляет 100 мм. Плотно стянутый четырьмя металлическими шпильками набор из чередующихся сигнальных и высоковольтных электродов укрепляется на основании из нержавеющей стали, служащем одновременно крышкой цилиндрической камеры.

К внешней стороне крышки прикреплен кольцевой каркас со смонтированными на нем 24 предусилителями. Соединение сигнальных электродов с входами предусилителей осуществляется через герметичные стеклянные вводы /типа слезок/, впаянные в специальные гнезда на крышке. Через общий отдельный ввод подается высокое напряжение на высоковольтные электроды. В центральной части крышки имеется отверстие диаметром 10 см,

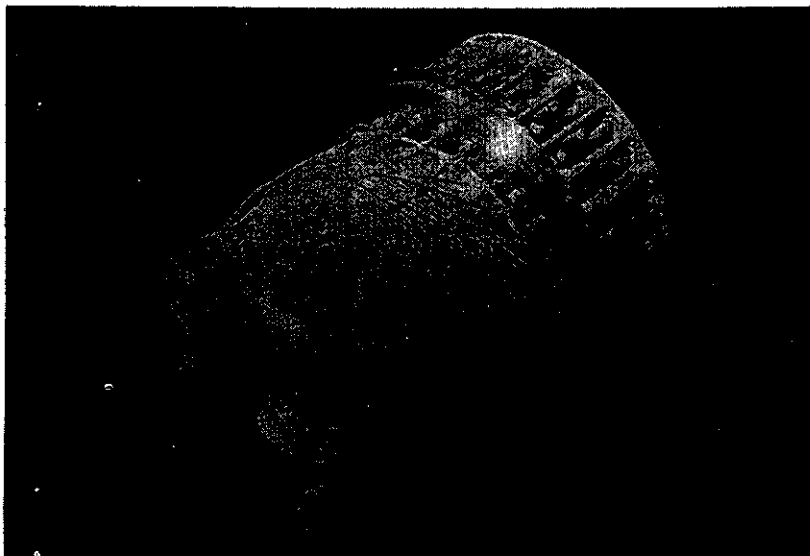


Рис.1. Общий вид детектирующей части жидкоаргоновой ионизационной камеры.

закрытое тонкой мембраной из нержавеющей стали. Общее количество вещества на входе пучка частиц в камеру составляет $\sim 0,1$ г/см².

Схематический чертеж всего прибора представлен на рис.2. Герметизация крышки камеры с ее корпусом осуществляется с помощью индиевого уплотнения. Внутри корпуса имеется спиральный теплообменник, в который поступает жидкий азот из резервного азотного бачка емкостью ~ 10 л. Камера и азотный бачок размещаются внутри вакуумного кожуха, откачиваемого в рабочем состоянии до давления $\sim 10^{-8}$ Торр. Вводы и выходы газовых трубок и высокочастотных кабелей осуществляются через крышку вакуумного кожуха при помощи герметизированных разъемов и соединений.

Схема очистки газа и термостатирования камеры приведена на рис.3. Чтобы получить нужную температуру, в азотном бачке /1/ при помощи стабилизатора давления /2/ устанавливается давление в пределах от 2 до 2,7 атм. Температура кипения жидкого азота при этом повышается до 84 ± 87 К, соответствуя температурному диапазону жидкого аргона, который в камере находится при давлении 0,7-0,9 атм. Такая схема охлаждения позволяет обходиться без температурных датчиков, обеспечивая хорошую стабильность температуры, изменения которой не превышают $\pm 0,2$ К/ч. Расход жидкого азота в стационарном режиме составляет при этом около одного литра в час.

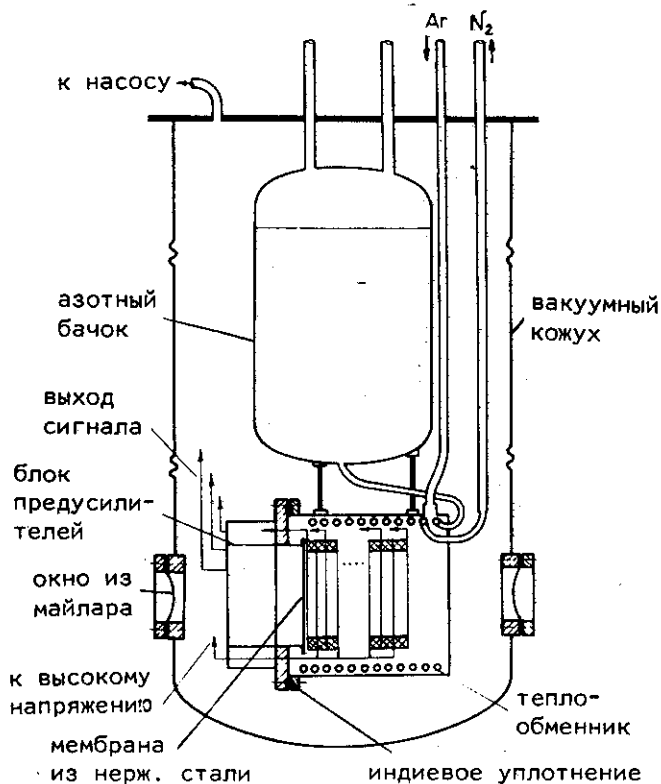


Рис.2. Схема жидкоаргоновой ионизационной камеры.

Аргон конденсируется прямо в камере /3/ /объем которой ~ 3 л./, куда поступает после очистки от кислорода в реакторе /4/ с разогретой до 660°C кальциевой стружкой и от паров воды в охлажденной до -110°C вымораживающей ловушке /5/. Перед заполнением камера откачивается в течение одного-двух дней до $2-3 \cdot 10^{-8}$ Торр и непосредственно перед охлаждением "промывается" очищенным газом. Количество примесей в очищенном газе, измеренное газоанализатором ГЛ-5108, составило $\leq 0,1$ ppm. С течением времени чистота жидкого аргона, по-видимому, менялась незначительно, так как мы не наблюдали заметного изменения в величине собираемого заряда за время непрерывной работы камеры, достигавшее в отдельных случаях недели.

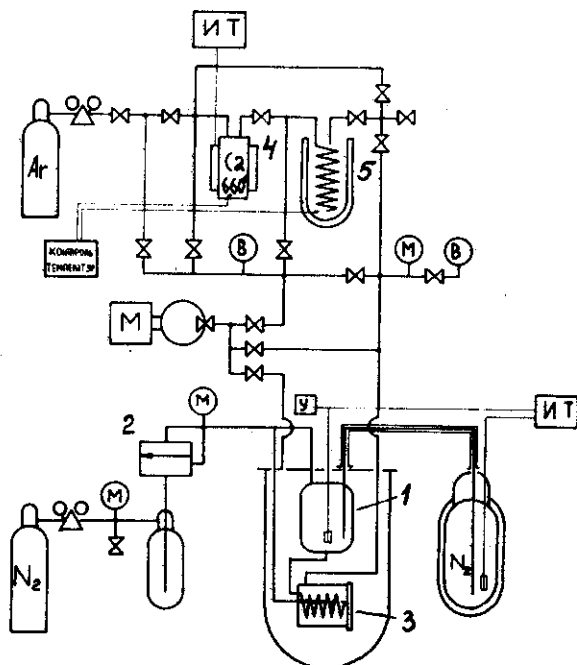


Рис.3. Схема установки с жидкоаргоновой ионизационной камерой: 1 - азотный бачок; 2 - стабилизатор давления; 3 - камера; 4 - реактор с кальциевой стружкой; 5 - вымораживающая ловушка; М - манометры; В - вакуумметры; У - уровнемер; ИТ - источник тока.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Для проверки чувствительности камеры к ионизирующему излучению и исследования ее характеристик, использовались внешние источники гамма-квантов ^{60}Co / $E_\gamma = 1,33$ МэВ/ и ^{137}Cs / $E_\gamma = 0,66$ МэВ/, которые позволяли наблюдать одновременно работу всех секций, а также внутренний источник α -частиц ^{241}Am / $E_\alpha = 5,64$ МэВ/, распыленный равномерно по поверхности катодов в четырех секциях.

Импульсы с каждой секции усиливались и формировались с помощью электронной аппаратуры, включавшей разработанные специально для этой камеры предусилители, основные усилители 13 / и амплитудно-цифровые преобразователи 14 /, после чего записывались в амплитудном анализаторе АИ-4096.

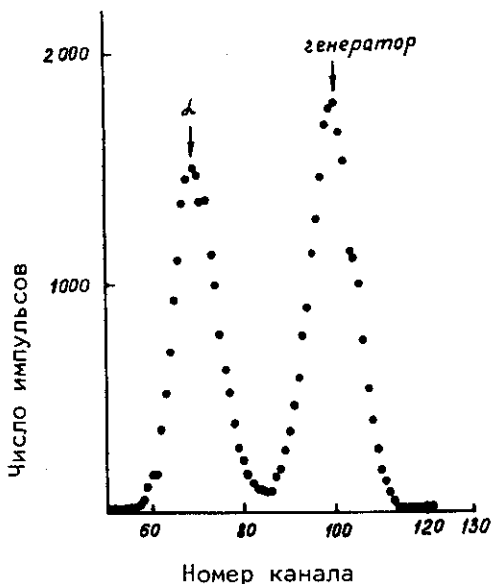


Рис. 4. Спектр импульсов α -частиц от источника ^{241}Am .

При регистрации гамма-квантов во всех каналах наблюдались идентичные спектры с характерной для комптон-электронов ступенчатой формой. Спектры регистрируемых α -частиц, типичные для каналов с α -источниками, имеют вид, представленный на рис. 4. Для сравнения на этом же рисунке справа от α -линии показан пик от генератора.

Соответствующая гамма-квантам и α -частицам величина выходного сигнала Q в зависимости от электрического поля E в жидком аргоне изучалась в нескольких сечениях. Характерный результат приведен на рис. 5, где точки кривой /а/ определяют положением края спектра комп-

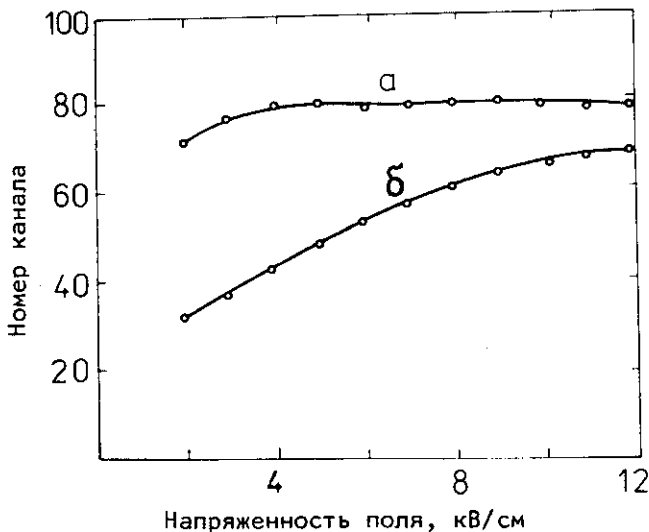
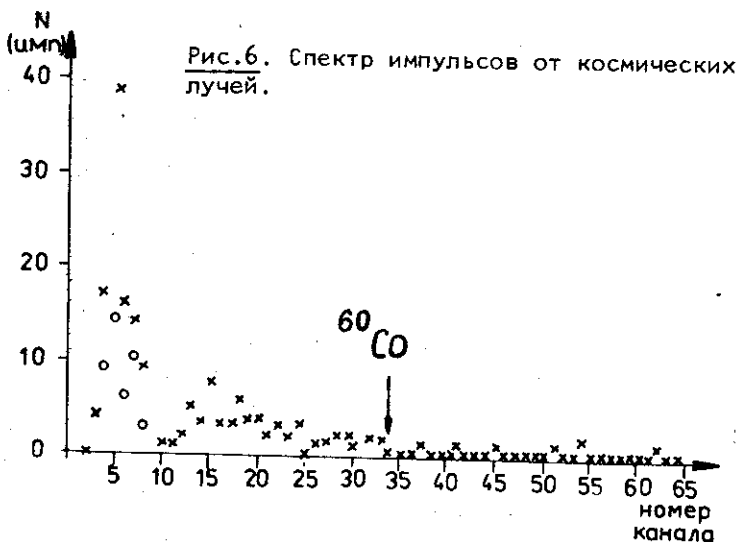


Рис. 5. Амплитудные характеристики жидкоаргоновой ионизационной камеры для γ -квантов /а/ и α -частиц /б/.



тон-электронов, который соответствует максимальному заряду Q_{max} , образованному электроном в жидком аргоне, а точки кривой /б/ - положению пика в спектре альфа-частиц. Из этого рисунка видно, что кривая /а/ быстро входит в насыщение, отвечающее почти полному собиранию образованного заряда.

В дополнение к экспозициям с радиоактивными источниками была проведена также экспозиция камеры в космических лучах, при которой импульс, возникающий при прохождении релятивистской частицы, выделялся по совпадению сигналов от внешних сцинтилляционных счетчиков и отдельных секций самой камеры. Соответствующий спектр ионизационных потерь в отдельной секции приводится на рис.6. Крестики соответствуют случаю, когда камера помещалась между сцинтилляционными счетчиками. Спектр от космических частиц лежит выше десятого канала, где не наблюдалось фоновых отсчетов /кружочки/, полученных при смещении одного из сцинтилляционных счетчиков в сторону. На рисунке стрелкой указано положение края γ -спектра от ^{60}Co .

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Амплитудные характеристики, представленные на рис.5, отражают ту существенную роль, которую играет рекомбинация свободных электронов и ионов в жидком аргоне. В отличие от кривой /а/, поведение которой типично для частиц со слабой ионизирующей

щей способностью, амплитудная характеристика для альфа-частиц, трек которых в жидком аргоне ~ 45 мкм/ характеризуется большой плотностью ионизации, не достигает насыщения, а максимальная амплитуда выходного сигнала составляет только 20,6% от полного заряда, соответствующего энергии α -частицы. В этом случае, как было показано Крамерсом ^{/5/}, избежавший рекомбинации заряд определяется отношением E/E_0 , в котором E_0 представляет собой напряженность поля, соответствующую насыщению амплитудной характеристики. Величина E_0 пропорциональна плотности ионизации, а именно:

$$E_0 = 4\sqrt{\pi}en/b,$$

где $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл, n - число пар ионов на единицу длины трека, b - диаметр ионизационной колонки.

Ранее ^{/6/} в геометрии, близкой к нашей, было найдено, что полученное Крамерсом выражение /для избежавшего рекомбинации заряда/ хорошо описывает экспериментальные данные для альфа-частиц. В этой же работе были получены значения E_0 и b , равные соответственно 798 ± 5 кВ/см и 0,5 мкм. Если принять во внимание приведенную зависимость E_0 от n и допустить, что с уменьшением ионизирующей способности частицы величина b меняется мало, то при регистрации протонов и пионов, для которых плотность ионизации в жидком аргоне в 50 ± 100 раз меньше, чем для α -частиц, соответствующая напряженность поля в насыщении составит несколько десятков кВ/см $\sim 10 \div 30$ кВ/см/, что обычно для жидкого аргона.

Определяемая рекомбинацией величина E_0 может возрастать в зависимости от потерь электронов, связанных с их захватом электроотрицательными примесями. Однако, поскольку используемый нами газ имел высокую чистоту $\leq 0,1$ ppm /, потери эти незначительны и составляют, по нашим оценкам, менее одного процента в полях ~ 10 кВ/см, мало влияя на амплитуду выходного сигнала /и соответственно на E_0 /.

Энергетическое разрешение камеры при регистрации альфа-частиц определяется в основном шумами электроники, как это можно видеть из сравнения двух линий в спектре, приведенном на рис.4. Ширина генераторного пика на полувысоте (FWHM), связанная с шумами, примерно равна ширине α -линии и составляет ~ 150 кэВ. Из рис.6 хорошо видно, что полученная величина позволяет регистрировать в отдельной секции сигнал от частицы с минимальной ионизирующей способностью, который при используемых нами промежутках между электродами существенно превышает уровень шумов /максимум спектра соответствует энергосодержанию $\sim 0,5$ МэВ/.

Размеры представленной на рис.1 камеры достаточны для того, чтобы в ней полностью укладывался пробег протонов с энергией до 120 МэВ и пионов с энергией до 50 МэВ. При необходимости

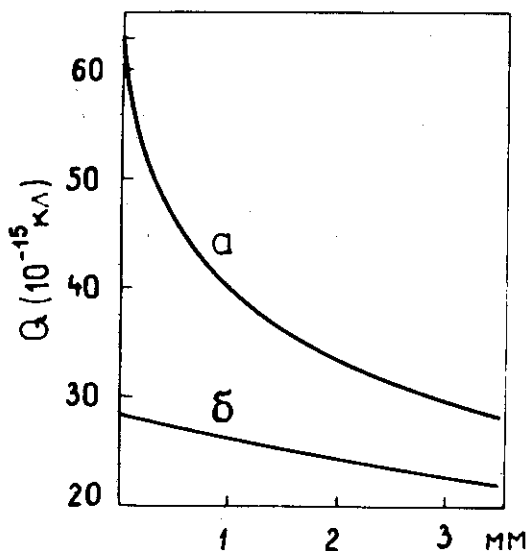


Рис. 7. Кривые корреляции между пробегом частицы в секции, где произошла остановка, и сигналами в двух предыдущих секциях.

Точность измерения пробега можно повысить и другим путем, дополнив определение места остановки частицы измерением ионизации в двух предыдущих секциях. На рис. 7 приводятся кривые корреляции между пробегом R в секции, где произошла остановка частицы, и величиной сигнала в предыдущей /а/ и расположенной перед ней секции /б/, при вычислении которого использовалось эмпирическое выражение, связывающее пробег протонов с его энергией из работ^{17/}. Точность измерения пробега в этом случае $\sim R \frac{\Delta Q}{Q}$ / $0 \leq R \leq 3,6$ мм/ определяется в основном шумами электроники и составляет, по нашим оценкам, $\sim 100 \div 400$ мкм.

Кроме этого, сравнительно простого, способа, можно, обеспечив точное измерение ионизации во всех секциях камеры, определять начальную энергию частицы методами, изложенными в работе^{18/}.

Таким образом, как показывают исследования многосекционной жидкоаргоновой камеры с очень тонкими электродами, ионизационный детектор такого типа может быть использован для идентификации и спектрометрии заряженных частиц относительно невысоких энергий по пробегу и ионизационным потерям.

глубина ее может быть увеличена, что позволяет расширить этот диапазон до 150 МэВ и 60 МэВ для протонов и пионов соответственно. Так как энергия частицы полностью поглощается в камере, самым простым способом ее можно оценить, измерив пробег, что не трудно сделать, выделяя с помощью сравнительно несложной электроники секцию, в которой произошла остановка частицы. Неопределенность в оценке пробега при этом будет соответствовать толщине отдельной секции /3,6 мм/, что несколько больше неопределенности, связанной со страгглингом. При необходимости можно сделать выводы сигналов и с высоковольтных электродов, тем самым увеличив точность определения места остановки частицы.

Авторы благодарят Б.М.Понтекорво и А.А.Поманского за поддержку в работе, В.Г.Гребинника за полезные обсуждения при создании камеры, В.А.Столупина и В.И.Травкина за помощь при исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгошеин Б.А. Пропорциональные и дрейфовые камеры. ОИЯИ, Д13-9164, Дубна, 1975, с.285.
2. Brassard C. Nucl.Instr. and Meth., 1979, 162, p.29.
3. Андерт К., Габриэль Ф., Калинин А.И. ОИЯИ, 13-7125, Дубна, 1973.
4. Мерзляков С.И., Нгуен Нгок Лам. ОИЯИ, 13-11818, Дубна, 1978.
5. Kramers H.A. Physica, 1952, 18, p.665.
6. Hofmann W. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1976, 135, p.151.
7. Миронов В. и др. АЭ, 1978, 45, с.289; Препринт ФЭИ-939, Обнинск, 1979.
8. Акимов Ю.К. и др. ОИЯИ, 1-11845, Дубна, 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 сентября 1980 года.