

H-379

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1 - 9647

Нгуен Минь Као

ИССЛЕДОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
МЕТОДИКИ САМОШУНТИРУЮЩИХСЯ  
СТРИМЕРНЫХ КАМЕР

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1976

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем  
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук Д.А.Шербаков.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук В.Б.Флягин,

доктор физико-математических наук М.И.Дайон .

Ведущее учреждение:Московский инженерно-физический институт.

Защита диссертации состоится " " 1976 г.

в " " часов на заседании Специализированного Ученого совета  
Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных  
исследований.

Автореферат разослан " " 1976 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета

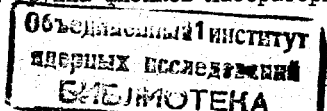
кандидат физико-математических наук

Я.А.БАТУСОВ

Создание трекового детектора, обладающего пространственной изотропностью и хорошим временным разрешением, является актуальной методической задачей в экспериментальной физике высоких энергий. Несмотря на то, что в настоящее время имеется большое количество работ по разработкам и методическим исследованиям различных детекторов частиц, проблема пространственного и временного разрешения все же волнует физиков-экспериментаторов. При работе со стримерными камерами важнейшим вопросом является яркость свечения и локализация следов частиц. Существует два основных метода локализации следов частиц: метод незавершенного стримерного разряда и метод самошунтирования и введения примесей.

Наиболее распространенным методом локализации является метод незавершенного стримерного разряда. Дубненская группа физиков (О.В.Савченко, М.М.Бутслов, В.И.Комаров) добилась хорошей локализации следов частиц при регистрации разряда на стадии лавинно-стримерного перехода в изотропной разрядной камере, однако яркость следов настолько мала, что приходится применять электронно-оптический преобразователь. Яркость следов значительно увеличивается при использовании разрядника для обрывания разряда на ранней стадии развития стримера (Б.А.Долгошеин, Г.Е.Чиковани и др.), но при этом степень локализации следов ухудшается. Для повышения одновременно яркости и локализации следов частиц другие физики (SLAC, ЦЕРН) применяли сложную и дорогостоящую аппаратуру (блимлайн), однако они всё же не достигли достаточной яркости и локализации следов.

Другой более простой метод (метод самошунтирования и введения примесей) получения ярких и локализованных следов частиц впервые применила группа физиков Лаборатории ядерных проблем



ОИЯИ в 1964 году. Этот метод основан на воздействии примесей на конфигурацию разрядных каналов при подаче на камеру длинного высоковольтного импульса (порядка  $\sim 1,5$  мкс). Однако этот метод плохо изучен, недостаточное понимание природы механизмы локализации разрядных каналов не позволяло стабильно получать хорошо локализованные следы частиц.

Автор настоящей работы поставил себе задачу провести систематические исследования рабочих характеристик стримерной камеры, наполняемой различными газами, для изучения природы разряда в смеси газов в режиме самозатухания и найти "рецепт" получения стабильных, ярких и одновременно хорошо локализованных следов частиц.

Диссертация состоит из семи глав.

В первой главе - введении - дан краткий обзор развития методики стримерных камер. Рассмотрены основные направления в способах достижения хорошей яркости и локализации следов частиц в стримерной камере. Обсуждаются проблемы, исследование которых представляет наибольший интерес при постановке экспериментов по изучению влияния примесей на развитие разряда в стримерной камере. Важнейшей задачей исследований является выяснение механизма локализации разрядных каналов в смеси газов с целью нахождения оптимальных условий для получения стабильных, ярких и хорошо локализованных следов частиц.

Кроме того, был рассмотрен также вопрос о регулировании времени памяти для улучшения временных характеристик стримерной камеры.

Во второй главе диссертации описана экспериментальная ус-

тановка по исследованию рабочих характеристик стримерной камеры, работающей в режиме самозатухания. В качестве основного элемента для исследования была использована стеклянная стримерная камера диаметром 260 мм с разрядным промежутком 100 мм. Внутренний объем камеры был отделен от электродов стеклянными дисками толщиной 6 мм, которые приклеивались клеем Silicon Rubber. Блок-схема установки представлена на рис. 1. На электроды камеры непосредственно от генератора высоковольтных импульсов (типа генератора Аркальева-Маркса) подавался экспоненциальный импульс с передним фронтом около 10 нс, временем спада  $\sim 1,5$  мкс и амплитудой до 280 кВ. Для управления камерой с  $\beta$ -источником  $Sr^{90}$  (1) использовался сцинтилляционный счетчик (3). Импульсы от счетчика подаются на блок усиления (4), а затем на схему управления (5). Схема управления вырабатывает сигнал, проходящий через линию задержки (6) и запускающий тиратрон (7). Импульс от тиратрона подается на поджигающий электрод ГИНа (8). Одновременно схема управления вырабатывает импульс для запуска фотоаппаратов. После срабатывания схема управления блокируется. Время блокировки можно регулировать в пределах 0,1-30 с. Схема запуска фотоаппаратов позволяет производить одновременно фотографирование следов частиц в направлении, перпендикулярном и параллельном электрическому полю, а также фотографировать изображение высоковольтного импульса на экране осциллографа.

Для фотографирования следов электронов в камере использовалась пленка чувствительностью  $S_{0,85} = 900$  и  $S_{0,85} = 2000$  ед. ГОСТ.

Перед наполнением рабочей смесью камера откачивалась через азотную ловушку до давления  $10^{-3}$  мм.рт.ст.

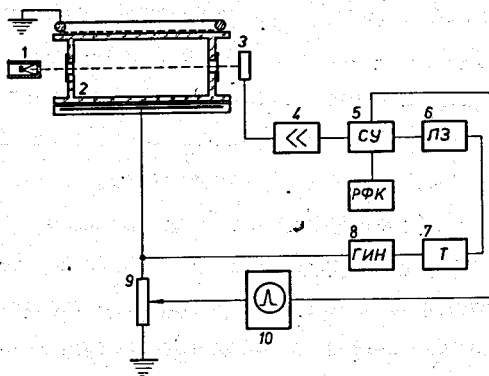


Рис.1. Блок-схема установки для управления камерой

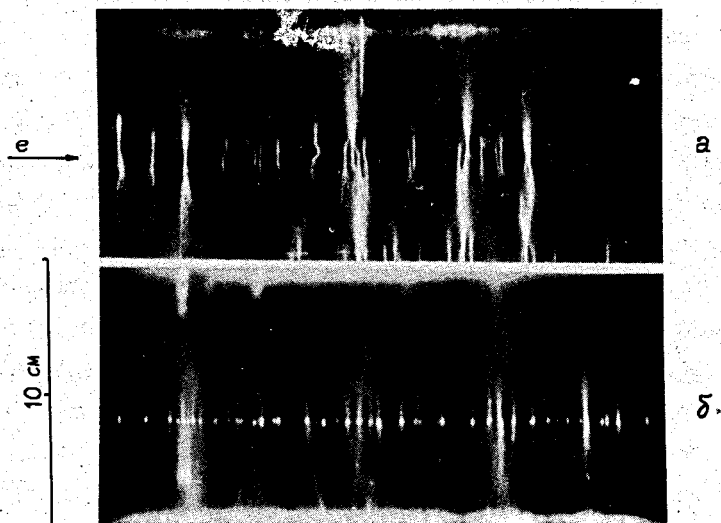


Рис.2. Фотографии следов электронов при давлении газа 1 атм. (вид сбоку): а) в чистом гелии, б) в смеси He+0,1% паров воды,  $E = 22,5$  кВ/см, диафрагма  $D = 4$

В третьей главе изложены результаты по исследованию воздействия примесей на конфигурацию разрядного канала в самошунтирующейся стримерной камере, наполненной гелием /1/. Проведены серии экспериментов по изучению природы разряда в камере, наполненной смесью гелия с различными примесями. С помощью микрофотометра проделаны измерения размера разрядных каналов в широком диапазоне концентрации примесей, напряжения и давления газовой смеси. Было найдено, что, в принципе, примеси могут быть атомарные или молекулярные, органические или неорганические, однако необходимое условие для всех примесей: потенциал ионизации и возбуждения атомов или молекул примесей должен быть ниже первого потенциала возбуждения атомов основного газа. В режиме самошунтирования, уменьшая среднюю энергию электронов в разряде, примеси воздействуют на распределение яркости свечения вдоль разрядных каналов, обозначающих траектории частиц, что приводит к локализации треков. Было найдено, что из всех исследуемых нами примесей ( $H_2$ ,  $He$ ,  $CH_4$ ,  $C_6H_6$ ,  $\alpha$ -пинен,  $H_2O$ ) наиболее эффективной добавкой являются пары воды /2/. На рис.2 показаны фотографии, снятые в направлении, перпендикулярном электрическому полю, для случая чистого гелия и смеси гелия и 0.1 % паров воды.

Для получения количественной оценки степени локализации следов с помощью микрофотометра были получены распределения вдоль изображений разрядных каналов интенсивности почернения фотопленки (т.е. фактически интенсивности излученного разрядом видимого света). За длину видимой части разрядного канала мы условно принимаем среднюю ширину на полувысоте кривой распределения. В случае чистого гелия размер ярко светящегося участка

разрядного канала составляет в среднем  $\sim 7$  мм, а в смеси гелия и 0,1 % паров воды -  $1 + 1,5$  мм /2/. Другой важной характеристикой качества треков является отношение числа "точек", ярко светящихся в центре стримеров, к общему числу разрядных каналов вдоль следа частицы  $\frac{n_T}{n_{ос}}$ . Смесь гелия и незначительных количеств паров воды (на уровне  $\sim 0,1$  %) дает лучшее качество следов частиц и  $\frac{n_T}{n_{ос}} = 0,8 + 0,9$ , что не достигнуто ни для одной другой примеси.

В четвертой главе исследованы временные характеристики гелиевой стримерной камеры /3/. Главной целью данной работы являлось изучение поведения динамических временных характеристик камеры при введении  $CCl_4$  для регулирования времени памяти и нахождения других электроотрицательных примесей, которые позволяют получить стабильные характеристики камеры. Проведены эксперименты по поиску смесей газов, которые дают возможность достигнуть пространственной изотропности и желаемого временного разрешения. Использование в камере незначительного количества добавок  $CCl_4$  позволяет "управлять" числом электронов к началу действия высоковольтного импульса, т.е. влиять на величину времени памяти. Известно, что  $CCl_4$  обладает большим сечением захвата электронов с тепловой энергией. При диссоциации  $CCl_4$  электрон остается с атомом хлора, образуя отрицательный ион. Кроме того, ионизационный потенциал хлора меньше, чем у содержащегося в камере гелия, и поэтому уменьшается средняя энергия электронов в разряде. Так как область наибольшей концентрации электронов находится в районе первичной лавины, то именно там и реализуются условия для ионизации гелия, в то время

как в остальных областях разряда ионизоваться будут в основном молекулы примесей. При этом создаются условия для локализации светового излучения в области первичной лавины и подавления общего диффузного свечения

На рис.3 приведена кривая зависимости времени памяти камеры от концентрации  $CCl_4$ . Время памяти стримерной камеры можно характеризовать как время, за которое первоначальное число стримеров уменьшается в два раза. Из этого рисунка видно, что время памяти заметно уменьшается с увеличением концентрации  $CCl_4$ . Для концентрации  $CCl_4$ , равной 0,002 %, время памяти равно 2,3 мкс, с увеличением концентрации до 0,01 % время памяти уменьшается приблизительно до 0,7 мкс. Таким образом, достаточное маленькое количество  $CCl_4$  заметно влияет на время памяти стримерной камеры, наполненной гелием. Однако временные характеристики стримерной камеры, наполненной смесью гелия и  $CCl_4$ , меняются со временем работы камеры. Это говорит о том, что молекулы  $CCl_4$ , по-видимому, разлагаются под действием газового разряда и при этом образуются отрицательные ионы, которые рекомбинируют в нейтральные молекулы при отсутствии разряда в камере. Кроме того, смесь гелия и  $CCl_4$  дает контрастные треки, но степень локализации недостаточно хороша.

Оказывается, что смесь гелия и незначительных количеств паров воды и воздуха позволяет регулировать время памяти камеры и при этом сохраняется высокая степень локализации следов частиц /2/. На рис.4 показаны фотографии следов электронов для смеси гелия и 0,1 % паров воды (при задержке высоковольтного импульса  $\tau = 0,4$  мкс) и смеси гелия и 0,1 % паров воды и

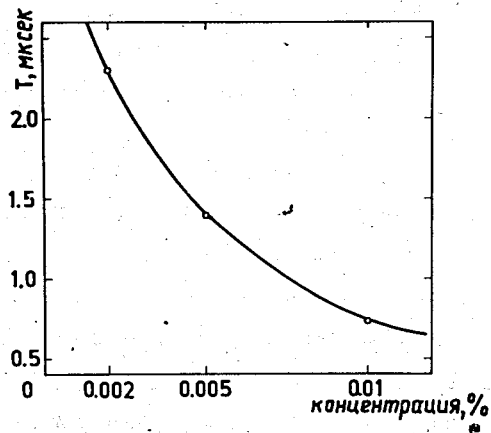


Рис.3. Зависимость времени памяти камеры от концентрации  $\text{CCl}_4$ .

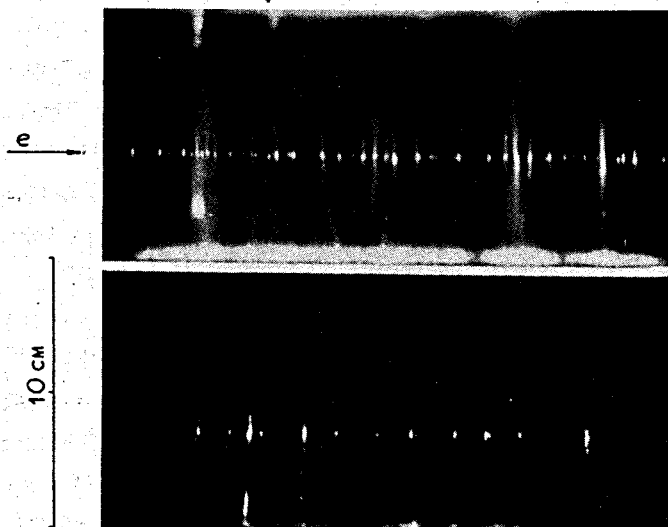


Рис.4. Фотографии следов электронов при давлении газа 1 атм.  
(вид сбоку): а) в смеси  $\text{Ne} + 0,1\%$  паров воды, задержка  $\tau = 0,4 \text{ мкс}$ ,  
б) в смеси  $\text{Ne} + 0,1\%$  паров воды  $+ 0,05\%$  воздуха,  $\tau = 1 \text{ мкс}$ ,  $E = 22,5 \frac{\text{кВ}}{\text{см}}$ .

0.05 % воздуха при  $\tau = 1,1 \text{ мкс}$ . Время памяти камеры, наполненной смесью  $\text{Ne} + 0,1\% \text{ H}_2\text{O} + 0,05\% \text{ воздуха}$ , составляет  $\approx 1 \text{ мкс}$ .

В пятой главе исследованы возможности использования метода самопунтирования для получения следов частиц в различных газах, таких как  $\text{Xe}$ ,  $\text{Ne}$  и  $\text{H}_2$ . Было обнаружено, что стримеры в ксеноне имеют резко выраженные области яркого свечения в районе первичной лавины [4], поэтому при малых давлениях треки имеют хорошую локализацию. При повышении давления характер отдельных стримеров не изменяется, но наблюдается значительный разброс ярко светящихся участков на стримерах, расположенных вдоль трека. Следы наблюдались при давлениях ксенона до 150 Тор, а при дальнейшем увеличении давления треки исчезают. Все это говорит о значительном вкладе вторичной ионизации, вызываемой фотонами, появляющимися на первых стадиях стримерного разряда, в механизм исчезновения трека при повышении давления. Имея в виду, что потенциал ионизации и возбуждения ксенона ниже первого потенциала возбуждения гелия, мы пытались использовать ксенон в качестве добавки для получения локализованных следов в смеси с гелием. Мы надеялись на то, что ксенон является атомарным газом и не претерпевает изменений в разряде, такая добавка могла бы обеспечить хорошую стабильность работы камеры. Однако, как оказалось, добавка ксенона в гелии не очень хороша, так как эффект локализации в смесях гелия и ксенона проявляется при относительно большой концентрации ксенона (2-3%), что неудовлетворительно с точки зрения однородности мишени.

В самошунтирующихся стримерных камерах, наполненных чистым неоном или смесью гелия и неона, так же как и в гелиевых камерах, наблюдаются очень яркие следы частиц. Но резко улучшить локализацию следов в неоне с помощью различных добавок, подобно тому, как это делается в гелии, пока не удается /1,2/. Действительно, в гелии локализация видимого света в центре разрядного канала достигается за счет того, что средняя энергия электронов в области "шейки" канала выше, чем вне "шейки" /1/. Поскольку в области видимого света высвечивается малое число уровней атомов гелия, то уменьшение средней энергии электронов, по-видимому, приводит к возбуждению уровней, которые высвечиваются в невидимой области спектра. Атом же неона имеет много возбужденных уровней, высвечивающихся в видимой области спектра, поэтому некоторое изменение средней энергии электронов в неоне не приводит к существенному изменению полного выхода видимого света.

Метод самошунтирования и введения примесей был применен также для разработки водородной стримерной камеры /5/. Такой детектор, работая одновременно в качестве мишени, дает новые возможности для проведения исследований взаимодействия частиц с легчайшими ядрами - водородом и дейтерием. Как известно, главной трудностью в создании водородной стримерной камеры является малый световой выход. Надеясь на увеличение яркости треков в водороде, мы применили метод самошунтирования и введения примесей. В чистом водороде треки наблюдаются при давлении до 400 мм.рт.ст., а при дальнейшем повышении давления исчезают на фоне общего свечения всего газового объема. Путем введения различных фотопоглощающих примесей (метан, бензол при

концентрации  $0,2 \div 0,5 \%$ ) нам удалось впервые получить и сфотографировать следы частиц в водороде при давлении вплоть до атмосферного на пленку промышленного производства ( $S_{0,85} = 2000$  ед.ГОСТ) при напряженности электрического поля всего лишь 27 кВ/см. При этом отпадает необходимость использовать дополнительную технику усиления света (ЭОП).

На рис.5 представлена фотография следа электрона в водороде с добавкой 0,5% метана.

В шестой главе дается качественное объяснение механизма локализации разрядного канала в самошунтирующейся гелиевой стримерной камере.

Рассмотрим сначала разряд в чистом гелии. В этом случае разрядный канал в месте лавиностримерного перехода имеет "шейку", т.е. сравнительно узкое место. Для оценок можно принять, что зависимость радиуса канала стримера от координаты  $Z$ , вдоль которой направлено внешнее электрическое поле  $E$ , имеет вид /1/:

$$r = r_0 + C|Z|^N \quad (1)$$

Здесь  $r_0$  - радиус головки лавины в момент лавиностримерного перехода;  $C$  - некоторая постоянная; начало координат выбрано в центре головки лавины.

Значение показателя степени  $N$  неизвестно, но численные расчеты формы канала стримера показывают, что он значительно больше единицы. В связи с этим, после замыкания искрового промежутка разрядным каналом; плотность разрядного тока будет также зависеть от  $Z$  и максимальна в области "шейки".

Соответственно в этой области будет максимальна и концентрация электронов. Действительно, концентрацию электронов можно оценить по формуле /1/

$$N_e \sim \frac{i}{eUr^2k} \quad (2)$$



Здесь  $i$  - разрядный ток,  $U$  - дрейфовая скорость электронов,  $k$  - число разрядных каналов,  $e$  - заряд электрона. В наших условиях оценочные значения параметров, полученные из осциллограмм, таковы:  $i \approx 10^3$  А,  $U \approx 10^6$  см/с,  $r \approx 10^{-1}$  см,  $k=10-100$ . Подставляя эти значения в (2) находим, что в области "шейки" величина  $N_e \approx 10^{16} - 10^{17}$  см $^{-3}$  и довольно быстро падает с удалением от этой области. В области "шейки", где концентрация электронов  $N_e \gg 10^{16}$  см $^{-3}$ , основную роль в установлении равновесных параметров плазмы будут играть столкновения заряженных частиц, в то время как вне "шейки", где  $N_e \ll 10^{16}$  см $^{-3}$ , определяющими становятся упругие соударения электронов с нейтральными атомами гелия. Для гелия при атмосферном давлении время релаксации энергии электронов имеет величину порядка  $\frac{M}{m \nu_y} \approx 10^{-8}$  с. Следовательно, можно считать, что в наших условиях релаксация наступает. При этом средняя энергия электронов равна  $\bar{\epsilon}$

$$\bar{\epsilon} = \frac{M e^2 E^2}{2 m^2 \nu_y^2} \quad (3)$$

Если добавить теперь к гелию примесь молекулярного газа, то следует принять во внимание неупругие потери энергии, связанные с возбуждением колебательно-вращательной структуры молекул, а также с возбуждением электронных состояний молекул и

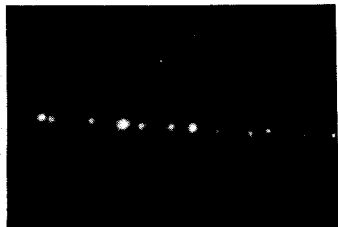


Рис.5. Фотография следа электрона в водороде с добавкой 0,5% метана при давлении газа 1 атм.,  $E = 27$  кВ/см, диафрагма  $D = 0,85$  (вид сверху).

их ионизацией. Как известно, при средней энергии электронов  $\approx 1$  эВ основную роль будут играть неупругие потери на возбуждение колебательных уровней. Оценить среднюю энергию электронов в этом случае можно из уравнения баланса энергии, в котором добавлен член, описывающий неупругие потери.

Выражение для средней энергии электронов в этом случае имеет вид  $\bar{\epsilon}$

$$\bar{\epsilon} = \frac{M e^2 E^2}{2 m^2 \nu_y^2} - \frac{M}{2m} \hbar \omega \frac{\nu_n}{\nu_y} \quad (4)$$

Здесь  $\hbar \omega$  - средняя энергия возбуждения колебательных уровней;  
 $\nu_y$  - частота упругих столкновений;  
 $\nu_n$  - частота неупругих столкновений.

Несмотря на то, что  $\nu_n \ll \nu_y$  и  $\hbar \omega \ll 1$  эВ, наличие во втором слагаемом большого множителя  $\frac{M}{m}$  приводит к тому, что средняя энергия электронов заметно снижается. Кроме того, некоторое снижение средней энергии может произойти за счет увеличения частоты упругих соударений, так как сечения упругих столкновений электронов с молекулами применяемых нами примесей значительно превышают сечения для He.

Таким образом, добавка примесей ведет к уменьшению средней энергии электронов в области вне "шейки". Такое уменьшение, в свою очередь, ведет к существенному уменьшению свечения канала в этой области, так как интенсивность спектральной линии пропорциональна  $e^{-\epsilon^*/\bar{\epsilon}}$ , где  $\epsilon^*$  - энергия возбуждения соответствующего уровня. В то же время средняя энергия электронов в области "шейки" при добавлении примеси практически

ки не изменится, так как здесь она определяется уравнением баланса энергии, в которое, как было показано выше, не входят параметры столкновений электронов с нейтралами. Отметим, что подтверждением сделанных оценок служит отсутствие локализации следов в He с примесью Ne, так как частота упругих и неупругих соударений электронов с атомами Ne несколько меньше, чем у He (при энергии порядка 1 эВ), а потенциал возбуждения Ne достаточно высок: 16,5 эВ.

В седьмой главе описана гелиевая стримерная камера высокого давления (до 4 атм.). При разработке гелиевой стримерной камеры высокого давления (до 4 атм.) для исследования взаимодействия пионов высоких энергий с ядрами  $^4\text{He}$  и  $^3\text{He}$  [6,7] мы пытались применить метод введения примесей для получения локализованных следов частиц. При исследовании рабочих характеристик камеры, наполненной смесью гелия и различных примесей, таких как бензол,  $\alpha$ -пинен, пары воды (давление газовой смеси 4 атм.) — было установлено, что смесь гелия и незначительных количеств паров воды так же, как и при более низких давлениях, резко улучшает качество следов частиц, и стабильность работы камеры увеличивается.

В заключении сформулированы основные выводы, полученные при исследовании рабочих характеристик стримерной камеры, работающей в режиме самопунтирования.

I. Разработан новый метод получения стабильных, хорошо локализованных следов заряженных частиц в самопунтирующейся гелиевой стримерной камере. Путем введения примесей, атомы или молекулы которых имеют потенциал возбуждения и ионизации

ниже первого потенциала возбуждения атомов основного газа, в рабочий объем камеры можно управлять распределением интенсивности свечения разрядных каналов, что приводит к локализации следов. Исследование характеристик стримерной камеры, наполненной гелием и различными примесями, показывает, что смесь гелия и незначительных количеств паров воды (на уровне десятых долей процента) является оптимальной для работы камеры (давление газовой смеси 1 атм.). При этом длина ярко светящегося участка разрядного канала составляет  $\sim 1-1,5$  мм, поперечный размер  $\sim 0,5$  мм, отношение числа ярких "точек" к общему числу разрядных каналов  $\sim 0,9$ .

2. Полученный метод локализации при давлении гелия 1 атм. успешно применялся при разработке гелиевой стримерной камеры высокого давления (до 4 атм.), рабочий газ которой являлся одновременно и мишенью для исследования взаимодействия пионов высоких энергий с ядрами гелия. Оказалось, что при высоких давлениях смесь гелия и паров воды (на уровне десятых долей процента) дает стабильные следы хорошего качества. При этом на внутренних стенках камеры, наполненной такой смесью, не образуется непрозрачной пленки (как в случае углеводородных примесей), которая ухудшает оптические условия для фотографирования следов частиц.

3. Для стримерной камеры с внешними электродами эффективным методом регулирования времени памяти является введение электроотрицательных примесей. В качестве электроотрицательных добавок были использованы  $\text{CCl}_4$  и воздух. Необходимо отметить, что добавка незначительных количеств воздуха (на уровне сотых

долей процента) к смеси гелия и паров воды позволяет регулировать время памяти камеры, при этом сохраняется хорошая локализация следов частиц. Смесь He + пары воды + воздух дает хорошее пространственное и временное разрешение в работе камеры.

4. Режим самошунтирования позволяет также получить следы заряженных частиц в других газах - в ксеноне, неоне и, что особенно важно, в водороде. Путем введения фотопоглощающих примесей при концентрации  $0,2 + 0,5\%$  (метан, бензол) нам удалось впервые получить удовлетворительные следы частиц в водороде при давлении вплоть до атмосферного и сфотографировать их на пленку промышленного производства с чувствительностью  $S_{0.85} = 2000$  ед. ГОСТа. Напряженность электрического поля сравнительно невысокая  $\sim 27$  кВ/см, при этом мы не применяли электронно-оптического преобразователя.

5. Качественные оценки средней энергии электронов в разряде и полученные экспериментальные данные позволяют объяснить механизм локализации следов в самошунтирующейся стримерной камере, что весьма важно не только с точки зрения изучения газового разряда, но также для практического выбора смеси газов и режима работы для данного эксперимента.

Практика работы с самошунтирующейся стримерной камерой показывает, что прибор такого вида прост в конструкции, легко управляем, надежен в эксплуатации и имеет хорошие пространственные и временные характеристики.

Работы, по которым написана диссертация, опубликованы / I - 7 / и докладывались на 6 Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра ( США, 1975 ) / 6, 7 /.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Буссо, М. М. Кулджин, Э. Д. Лозанский, В. И. Ляшенко, Нгуен Минь Као, Г. Пираджино, Д. Б. Понтекорво, Т. М. Трошев, И. В. Фаломкин, Ю. А. Щербаков. Препринт ОИЯИ РГЗ-9131, Дубна, 1975.
2. Л. Буссо, М. М. Кулджин, В. И. Ляшенко, Нгуен Минь Као, Г. Пираджино, Д. Б. Понтекорво, Т. М. Трошев, И. В. Фаломкин, Ю. А. Щербаков. Препринт ОИЯИ РГЗ-9522, Дубна, 1976.
3. Л. Буссо, Е. С. Годунова, М. М. Кулджин, В. И. Ляшенко, Нгуен Минь Као, Г. Пираджино, Д. Б. Понтекорво, Р. Скримальо, Т. М. Трошев, И. В. Фаломкин, Ю. А. Щербаков, Препринт ОИЯИ РГЗ-8267, Дубна, 1975.
4. Л. Буссо, М. М. Кулджин, В. И. Ляшенко, Нгуен Минь Као, Г. Пираджино, Д. Б. Понтекорво, Р. Скримальо, Т. М. Трошев, И. В. Фаломкин, Ю. А. Щербаков. Препринт ОИЯИ, РГЗ-8268, Дубна, 1974.
5. Л. Буссо, М. М. Кулджин, В. И. Ляшенко, Т. М. Трошев, И. В. Фаломкин, Ю. А. Щербаков, Нгуен Минь Као, Д. Б. Понтекорво, Г. Пираджино. Препринт ОИЯИ РГЗ-8867, Дубна, 1975. *Lettere al Nuov. Cim.*, 13, II, 1975.
6. Ю. А. Щербаков, Л. Александров, Т. Ангелеску, М. М. Кулджин, В. И. Ляшенко, Р. Мах, А. Михул, Нгуен Минь Као, Ф. Никитиу, Д. Б. Понтекорво, М. Г. Сапожников, В. К. Сарычева, М. Семерджиева, Н. Трошева, Т. Трошев, И. В. Фаломкин, Ф. Балестра, Л. Буссо, Р. Гарфаньини, Г. Пираджино. Препринт ОИЯИ РГ-8954, Дубна, 1975. *Nuov. Cim.*, 31A, s. II, No. 2, p. 249 (1976).
7. Ю. А. Щербаков, Т. Ангелеску, М. М. Кулджин, В. И. Ляшенко, Р. Мах, А. Михул, Нгуен Минь Као, Ф. Никитиу, Д. Б. Понтекорво, М. Г. Сапожников, В. К. Сарычева, М. Семерджиева, Т. Трошев, Н. Трошева, И. В. Фаломкин, Ф. Балестра, Л. Буссо, Р. Гарфаньини, Г. Пираджино, Препринт ОИЯИ РГ-8955, Дубна, 1975. *Nuov. Cim.*, 31A, s. II, No. 2, p. 262 (1976).

Рукопись поступила в издательский отдел  
25 марта 1976 года.