

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

Д13-82-417

Ю. А. Щербаков

**ЛАЗЕРНЫЕ СТРИМЕРНЫЕ КАМЕРЫ
ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ**

Направлено в журнал "Приборы и техника эксперимента"
и на XXI Международную конференцию по физике
высоких энергий /Париж, 1982 г./

1982

ВВЕДЕНИЕ

Разработка стримерных камер с самошунтированием разряда позволяет получать в стримерах на треке довольно значительную мощность в разряде^{/1/}, в результате чего число возникающих ионов оказывается достаточно высоким и это позволяет надеяться получить значительное изменение коэффициента преломления в месте образования стримера. Самошунтирующий разряд связан с подачей длинного высоковольтного импульса. Локализация разряда около первичной траектории частицы достигается путем введения в камеру малых добавок, меняющих структуру разряда^{/2/}. Добавки меняют процессы фотопоглощения, а также приводят к определенным изменениям в центре и периферии разряда. Таким образом, самошунтирующий разряд существенно отличается от принятого метода, используемого в обычной стримерной камере, а именно - обрывания по времени разряда и получения незавершенного разряда.

Использование самошунтирующего режима позволяет работать при меньших напряженностях электрического поля, избежать применения электронно-оптических преобразователей и работать при повышенных давлениях газа в стримерных камерах^{/3/}. При этом оказывается возможным легко получать треки и в водородной стримерной камере при атмосферном давлении^{/4/}.

Первая попытка наблюдать следы частиц при освещении стримерной камеры лазером была сделана нами еще в 1972 г.^{/5/}.

Авторы использовали рубиновый лазер с модулированной добротностью. Были получены как первые тенеграммы следов частиц, так и голограммы. Уже эти измерения показали, что наблюдаемые следы имеют, по-видимому, меньший размер, чем стримеры в обычной стримерной камере. Используемая система оказалась весьма неудобной, так как лазер имел медленное время накачки ~400 мкс и позволял работать только в режиме синхронизации. Более детальные исследования тенеграмм следов частиц стримерной камеры были выполнены нами с применением газовых импульсных лазеров, которые обладают характеристиками, делающими их исключительно пригодными для регистрации ядерных частиц в управляемом режиме.

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В экспериментах использовались небольшие стримерные камеры диаметром до 10 см и глубиной 1-2 см. Камеры имели стеклянные

крышки с двух сторон, что давало возможность производить освещение камеры напросвет. Стримерные камеры запитывались от высоковольтных генераторов с выходным напряжением от 140 до 400 кВ. Типичная длительность импульса составляла около 300 нс, фронт - 15 нс.

Для освещения камеры использовались ультрафиолетовые азотные лазеры, конструкция одного из которых была разработана в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Это был лазер с поперечным типом возбуждения колебаний^{/8/}. Второй лазер был использован в работах^{/7,8/} и представлял собой систему с продольным возбуждением колебаний. Оба лазера имели мощность около 1 МВт. Длительность импульса составляла около 4 нс. Излучение от лазеров с длиной волны 337,1 нм конвертировалось в кювете с родамином BG в область видимых длин волн /570-600 нм/. При подаче излучения на кювету оно фокусировалось кварцевыми линзами.

Запуск лазеров осуществлялся или прямо от первых каскадов ГИН, питающего стримерную камеру, или же от специальной тира-тронной схемы, которая вырабатывала сигнал для разрядника лазера. В первом случае необходимая задержка осуществлялась путем введения дополнительного кабеля, во втором она производилась специальным блоком задержки.

При фотографировании тенеграм следов перед камерой размещался объектив, который давал параллельный или расходящийся пучок. Пленка размещалась за камерой и в ряде случаев для уменьшения изображения использовался объектив, уменьшающий изображение до нужных размеров. При фотографировании в расходящемся пучке за камерой размещалось сферическое зеркало с радиусом кривизны около двух метров.

Во всех случаях фотографирование производилось на пленку чувствительностью 3-5 единиц ГОСТ /Микрат-300/. Треки частиц в стримерной камере получались от источника ⁹⁰Sr, и сцинтилляционные счетчики, детектировавшие проходящие электроны, давали сигнал для запуска ГИН и лазеров. Типичная задержка ГИН составляла около 400 нс, задержка импульса лазера относительно импульса ГИН менялась в диапазоне от 0 до 2 мкс.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

При разработке лазерной стримерной камеры мы ставили перед собой задачу осуществить работу камеры в двух вариантах: наполнение гелием и наполнение водородом, т.е. веществами, представляющими наибольший интерес при исследовании взаимодействия частиц высоких энергий с ядрами H, ³He и ⁴He.

Измерения, выполненные с наполнением стримерной камеры смесью 70% He + 30% CH₄ при давлении 100 кПа, показали, что



Рис.1. а/ Тенеграмма следа электрона, зарегистрированного с азотным лазером на красителе. Высоковольтные электроды из SnO_2 . Задержка лазерного импульса по отношению к моменту срабатывания камеры около 300 нс. б/ Прямая фотография следа электрона в стримерной камере с тем же наполнением $\text{He}+\text{CH}_4$.

тенеграмма от стримера представляет собой контрастную точку диаметром около 0,2-0,3 мм при задержке лазера около 300 нс. На рис.1 показаны фотографии обычного стримера, а рядом фотография трека, снятого при лазерном освещении. При задержках менее 100 нс тенеграммы стримеров не наблюдались.

Использование стримерной камеры в самошунтирующем режиме не налагает жестких ограничений на конструкции высоковольтных электродов. В связи с этим были использованы прозрачные проводящие электроды из SnO_2 ¹⁷. На приведенных фотографиях хорошо видно большое различие в диаметрах изображений стримеров и их контрастности. В первом случае использовалась пленка чувствительностью 2000 ед. ГОСТ, во втором - 5 ед. ГОСТ.

РАБОТА КАМЕРЫ С ГЕЛИЕМ

Получение тенеграмм на гелии представляет особые трудности, так как изменение показателя преломления гелия на порядок мень-



Рис.2. Тенеграмма следа электрона в гелии при введении примеси CH_4 —0,6%. Задержка лазера 725 нс. Поперечные полосы — сетка от высоковольтных электродов. Напряженность поля около 56 кВ/см. Давление в камере 500 кПа.

ше, чем, например, воздуха, метана, водорода. Поэтому мы вначале использовали смесь гелия с такими газами, как метан. При электрических полях в стримерной камере с напряженностью около 12 кВ/см треки в гелии при атмосферном давлении могут регистрироваться с примесью метана не менее 5%^{/7/}. В чистом гелии треки визуально наблюдаются, но не могут быть сфотографированы при лазерном освещении. Получается фотография, на которой произвольно разбросаны фоновые стримеры и неразличимые стримерные треки. Исследование искрового разряда в чистом гелии показало, что регистрация следов будет, по-видимому, возможна при значительном повышении напряженности электрического поля и давления.

Действительно, мы выполняли серию экспериментов, в которых напряженность электрического поля в стримерной камере была поднята до величины 55 кВ/см /при $p = 100$ кПа/. При изменении давления от 100 до 500 кПа величина E/P менялась от 73,6 до 14,5 В/мм рт.ст.^{/9/}. Результаты эксперимента показаны на рис.2.

Как видно, треки удается получить при давлении вплоть до 500 кПа. При этом примесь метана оказывается на уровне всего 0,6%. Это делает стримерную камеру уже практически чистым гелиевым детектором. Удивительным остается отсутствие возрастания числа детектируемых стримеров в гелии с увеличением давления. Использование же смесей газов $\text{He} + \text{CH}_4$ дает заметное увеличение числа стримеров.

РАБОТА КАМЕРЫ С ВОДОРОДОМ

Треки в водородной стримерной камере были зарегистрированы нами при напряженности электрического поля около 30 кВ/см. Давление в камере составило $\sim 100 \text{ кПа}^{10}$. На рис.3 показана фотография трека в водородной стримерной камере при задержке лазера около 300 нс.



Рис.3. Тенеграмма следа в водороде при давлении 100 кПа. Напряженность поля 70 кВ/см. Задержка лазера 300 нс.

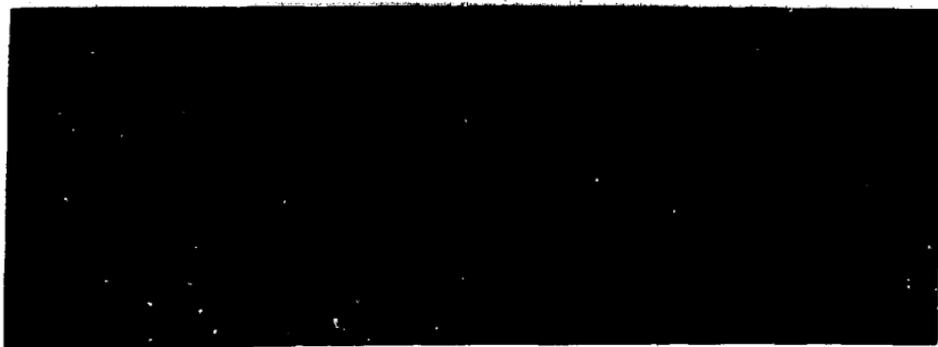


Рис.4. Тенеграмма следа в водороде при давлении 200 кПа . Напряженность электрического поля 70 кВ/см . Задержка лазера 250 нс .

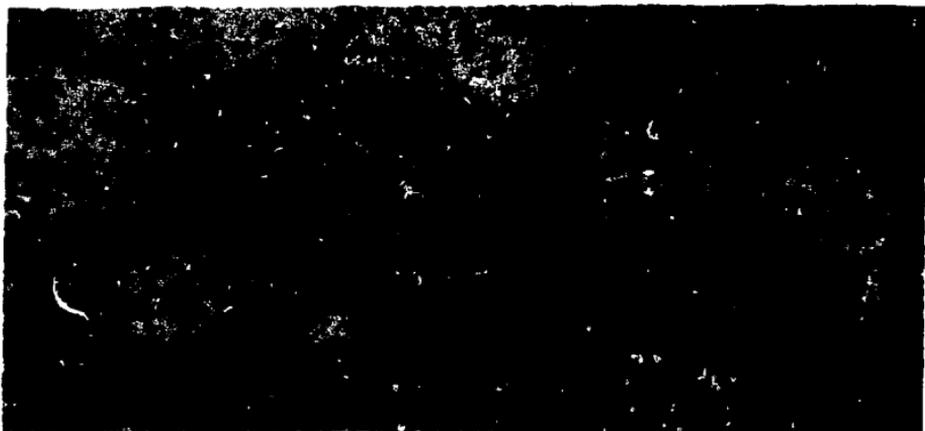


Рис.5. Тенеграмма следа электрона в гелии $\text{He}+\text{CH}_4$ при давлении 100 кПа . Задержка лазера 2250 нс . Видны ударные волны, распространяющиеся в гелии от центра стримера.

В чистом водороде нам удалось также получить треки при давлении около $200 \text{ кПа}^{11/с}$ той же напряженностью электрического поля 30 кВ/см . На рис.4 показан след при задержке лазера около 250 нс , а на рис.5, сделанном при задержке лазера $2,25 \text{ мкс}$, хорошо видны центры, на которых произошло рассеяние, а также ударная волна, исходящая из центра стримера. Скорость ее оказалась около 3 км/с при задержке порядка 2 мкс . Это в два раза

превышает скорость звука в водороде. Оценка диаметра рассеивающего центра показывает, что этот диаметр составляет около 100 мкм, т.е. приблизительно в 10 раз меньше, чем диаметр обычного стримера.

СТЕРЕОСКОПИЧЕСКОЕ ФОТОГРАФИРОВАНИЕ В ЛАЗЕРНОЙ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЕ

Для того, чтобы получить стереоскопические фотографии в лазерной стримерной камере, которая должна работать в магнитном поле и должна быть окружена сцинтилляционными счетчиками управления, т.е. в условиях ограниченного пространства, мы воспользовались методом Теплера со сферическим зеркалом, размещающимся за стримерной камерой^{/12/}. На рис.6 показана схема освещения камеры, радиус кривизны зеркала составлял около 2 м. Это один из выбранных и проверенных нами методов, который обеспечивает наибольшую компактность системы фотографирования в реальных условиях. На рис.7 показана фотография, полученная в стримерной камере, на которой видны два изображения одного следа, повернутые на некоторый угол относительно друг друга. Этот поворот вызван неточной юстировкой зеркала при фотографировании. Свет от лазера дважды проходит через стример: прямой луч и луч, отраженный от зеркала.

Относительное смещение следов дает параллакс, из которого можно получить глубинную координату следа. Как видно, яркость прямого и обратного изображений следа приблизительно одинакова, и следы имеют приблизительно одинаковую контрастность.

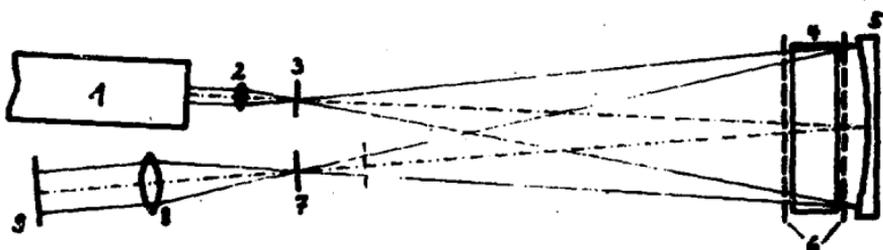


Рис.6. Схема освещения стримерной камеры теньевым методом со сферическим зеркалом за камерой: 1 - лазер, 2 - линза, 3 - кювета, 4 - стримерная камера, 5 - зеркало, 6 - высоковольтные электроды, 7 - диафрагма, 8 - линза, 9 - пленка.

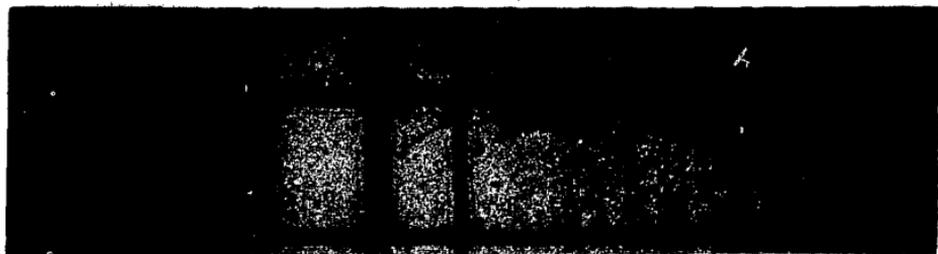


Рис.7. Тенеграмма, полученная при стереоскопическом фотографировании. Видны два изображения следа приблизительно одинаковой яркости. Следы сдвинуты относительно друг друга из-за неточной установки зеркала. Давление в камере 100 кПа He + 5%CH₄.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Возможность получения малых изображений стримеров в лазерной стримерной камере связана с тем, что рассеяние света происходит не на электронной компоненте плазмы^{/8/}, а на ее ионной части. Коэффициент преломления плазмы определяется формулой

$$n-1 = \left(A + \frac{B}{\lambda^2}\right) N_e - 4,5 \cdot 10^{-14} \lambda^2 N_i.$$

Здесь: А и В - константы газа; λ - длина волны света, а N_e и N_i - концентрации ионов и электронов, соответственно.

Рассеяние света на электронах имеет очень малую величину. Основное рассеяние идет, в основном, на ионах. В связи с тем, что подвижность ионов на два порядка меньше подвижности электронов, то рассеивающий центр растет более плотно и медленнее во времени. Именно поэтому при задержках, меньших 100 нс, мы не можем получить тенеграммы.

Быстрый рост числа ионов приводит также к локальному повышению давления, которое определяется формулой:

$$\frac{p_1}{p} = (1+x) \frac{T_1}{T},$$

где Т - начальная температура, T_1 - конечная температура, $x = N_i/N_e$.

В наших условиях скачок давления обычно составляет 33 и соответствует числу Маха, равному около пяти. Это подтверждается измерениями скорости движения ударной волны на тенеграмме.

Использование камеры в режиме самошунтирования позволяет легче получать высокие напряженности электрического поля, необходимые для работы с повышенным давлением, и работать с меньшими напряженностями по сравнению с обычной стримерной камерой^{/18/}.

Если в работе^{/14/} треки были получены в неоне при давлении 20 атм и при этом диаметр стримера оказывался около 50 мкм, то фотографирование в лазерном режиме с самошунтирующей камерой позволяет надеяться получить еще лучшую локализацию /<50 мкм/, близкую к требованиям, предъявляемым к современным вершинным детекторам. Что касается применения лазерного освещения к обычной стримерной камере, то это еще нуждается в экспериментальной проверке.

Повышение давления в стримерной камере позволяет рассчитывать на большие точности и при измерении кривизны следа. Диффузия первичных электронов определяется выражением

$$r = \sqrt{4Dt},$$

в котором имеется зависимость как от давления газа, так и от задержки в подаче высоковольтного импульса на стримерную камеру. Величина этой задержки может быть уменьшена почти на порядок усовершенствованием ГИН /введением лазерного поджига/ и, таким образом, возрастет точность за счет давления и задержки.

Автор благодарен П.Ульману, Х.Ульман, А.Будзяку, И.Иванову, Н.Бобровой, В.Панюшкину, В.Ляшенко, К.Зелигеру, И.Фаломкину, Я.Экснеровой, З.Цисеку, Д.Понтекорво, с которыми были выполнены различные исследования по данному направлению, а также М.В.Стабникову и М.А.Бомбаку за постоянные контакты.

Автор признателен В.П.Джелепову за поддержку исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Falomkin I.V. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1967, 53, p.266.
2. Falomkin I.V. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1975, 131, p.431.
3. Korolev V.M. et al. Lett.Nuovo Cim., 1972, 5, p.757.
4. Falomkin I.V. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1976, 137, p.589.
5. Kulyukin M.M. et al. Proc.Int.Conf.Instr., Frascati, 1973.
6. Budzyak A. et al. JINR, 13-12778, Dubna, 1979.
7. Ulmann P. et al. JINR, P13-12260, Dubna, 1979.
8. Ulmann P. et al. JINR, 13-81-321, Dubna, 1981.
9. Budzyak A. et al. JINR, 13-80-160, Dubna, 1980.
10. Budzyak A. et al. JINR, 1-80-303, Dubna, 1980.
11. Budzyak A. et al. JINR, 1-80-299, Dubna, 1980.
12. Ulmann P. et al. JINR, 13-81-321, Dubna, 1981.
13. Rohrbach F., Bonnet J., Gathenoz M. Nucl.Instr. and Meth., 1973, 111, p.485.
14. R.Majka et al. Nucl.Instr.and Meth., 1982, 192, p.241.

Рукопись поступила в издательский отдел

Щербаков Ю.А.

D13-82-417

Лазерные стримерные камеры повышенного давления

Дается краткий обзор работ, выполненных в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ по разработке нового типа детекторов ядерных частиц - лазерной стримерной камеры. Камера может служить вертекс-детектором при регистрации малознергичных или короткоживущих частиц.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Shcherbakov Yu.A.

D13-82-417

Laser Streamer Chambers with Increased Pressure

The short review is given of the works performed at the Laboratory of Nuclear Problems on the development of the new type of detectors for nuclear particles, i.e., laser streamer chambers. The chamber can be employed as a vertex detector for low-energy or short-lived particles.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Редактор **Б.Б. Колесова.** Макет **Н.А. Киселевой.**
Набор **В.С. Румянцевой, Н.И. Коротковой.**

Подписано в печать **09.06.82.**
Формат **60x90/16.** Офсетная печать. Уч.-изд. листов **1,01.**
Тираж **365.** Заказ **31431.**

Издательский отдел **Объединенного института ядерных исследований.**
Дубна Московской области.