

†

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

У547/2-80

22/9-80
1-80-299

А.Будзьяк, И.Ц.Иванов, В.А.Панюшкин,
И.В.Фаломкин, З.Цисек, Ю.А.Щербаков

ЛАЗЕРНАЯ ВОДОРОДНАЯ
СТРИМЕРНАЯ КАМЕРА
ПОВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

Направлено на конференцию по квантовой электронике
и нелинейной оптике "ЕКОН-80" /Познань, ПНР/

1980

ВВЕДЕНИЕ

В^{1/} сообщалось о разработке метода лазерной регистрации треков электронов в водородной стримерной камере /ВСК/ при давлении в одну атмосферу. Дальнейшее развитие метода, очевидно, связано с повышением давления в объеме камеры, поскольку в этом случае она является более эффективным детектором при работе на ускорителях. С повышением давления камера становится более плотной мишенью и поэтому возрастает число детектируемых взаимодействий. Кроме того, при повышении давления уменьшается отклонение регистрируемых объектов /изображений стримеров/ от истинного следа частицы и возрастает плотность стримеров на треках. Так как объектами регистрации являются оптические неоднородности, возникающие в области формирования стримеров, то мы хотели показать, что с повышением давления повышается и эффективность метода лазерной регистрации.

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований лазерной водородной стримерной камеры при повышенном до двух атмосфер давлении водорода.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Стримерная камера представляет собой плексигласовый цилиндрический сосуд с внутренним диаметром $91 \cdot 10^{-3}$ м, толщиной стенок $20 \cdot 10^{-3}$ м и высотой $19 \cdot 10^{-3}$ м. В качестве боковых стенок использовались оптические стекла толщиной $11 \cdot 10^{-3}$ м. После откачки до $2,5 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст. камера заполнялась водородом чистотой 99,99% /рис.1/.

Высоковольтные электроды изготовлены из натянутой на плексигласовые кольца бронзовой проволоки диаметром $0,1 \cdot 10^{-3}$ м, расстояние между отдельными проволоками

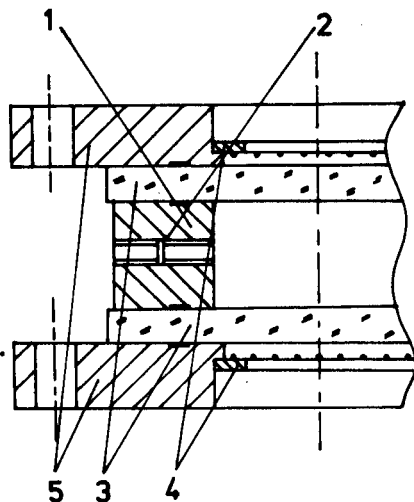


Рис.1. 1 - камера, 2 - майларовое окошко, 3 - боковые стекла, 4 - электроды, 5 - держатель.

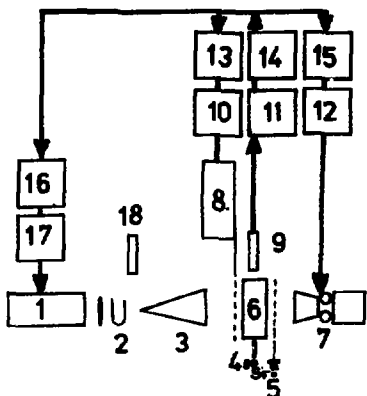


Рис.2. 1 - азотный лазер, 2 - кювета лазера на красителе родамин 6Ж, 3 - расширитель лазерного пучка, 4 - высоковольтный электрод, 5 - земляной электрод, 6 - стримерная камера, 7 - фотокамера РФК-5, 8 - ГИН Аркадьева-Маркса, 9 - ФЭУ, 10 - блок запуска ГИН, 11 - формирователь, 12 - блок запуска РФК-5, 13 - линия задержки, 14 - одновибратор, 15 - блок питания РФК-5, 16 - блок запуска разрядника азотного лазера, 17 - кабельная линия задержки, 18 - юстировочный гелий-неоновый лазер.

$3 \cdot 10^{-8}$ м. После сборки камеры междуэлектродное расстояние составляет $50 \cdot 10^{-8}$ м.

Запуск камеры осуществляется с помощью сцинтилляционного счетчика, регистрирующего проходящие через нее электроны, испускаемые бета-источником ^{90}Sr /рис.2/. Управляющий сигнал со счетчика после формирования и разветвления через линию задержки подается на блок запуска генератора импульсов напряжения по типу Аркадьева-Маркса /ГИН/, блок запуска разрядника азотного лазера и блок запуска фотокамеры РФК-5. Минимальные аппаратные задержки выходного импульса ГИН и светового импульса лазера относительно сигнала управления равны соответственно $260 \cdot 10^{-9}$ с и $700 \cdot 10^{-9}$ с /рис.3/. Амплитуда высоковольтного импульса ГИН равна $150 \cdot 10^3$ В, время нарастания фронта импульса $20 \cdot 10^{-9}$ с, длина импульса $700 \cdot 10^{-9}$ с.

Рис.3. 1 - запускающий импульс, 2 - выходной импульс ГИН, 3 - световой импульс лазера.

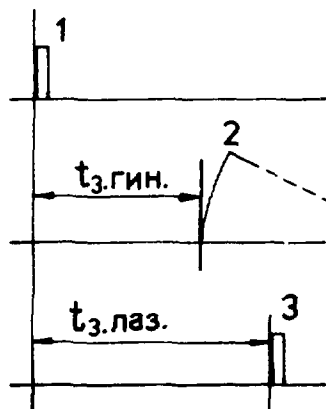




Рис. 4. $\Delta t_{\text{зад.}} = 250$ нс, расстояние 43 см.



Рис. 5. $\Delta t_{\text{зад.}} = 300$ нс, расстояние 43 см.

Световой импульс азотного лазера с поперечным возбуждением^{18/} мощностью около 1 МВ и длительностью импульса около 6×10^{-9} с фокусируется кварцевой линзой на кювету с кварцевыми окошками, заполненную спиртовым раствором красителя родамин 6Ж. Таким образом, после прохождения через кювету длина волны азотного лазера $\lambda = 337,1 \cdot 10^{-9}$ м трансформируется из ультрафиолетового диапазона в видимый свет длиной волны $\lambda = 560 \times 10^{-9}$ м, что позволяет применять некварцевую оптику и стекла. Расширенный и сколли-

мированный лазерный пучок просвечивает полностью объем камеры вдоль электрического поля. Сформированные после лазерной подсветки дифракционные картины следов электронов проектируются на пленку объективом "Гелиос-40". Съемка велась при диафрагме 1,5 на пленку "Микрат-300" с чувствительностью $S_{0,85} = 11$ ГОСТ. Фотокамера работала с открытым затвором, и пленка перетягивалась после каждого срабатывания ГИНа.

Надо отметить, что можно было вести визуальный контроль за качеством проецируемых дифракционных картин с помощью матового стекла, либо экрана, установленного за камерой.

Измерение зарегистрированных на пленке дифракционных картин производилось на микроскопе УИМ-21, а также на микрофотометре МФ-4.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе экспериментов, ранее при давлении 1 атм водорода, было установлено, что надежная регистрация следов электронов лазерной подсветкой камерного объема происходит при напряженностях электрического поля в междуэлектродном промежутке не меньше, чем 20×10^8 В/см и поэтому все дальнейшие исследования были проведены при напряженности 30×10^8 В/см.

В отличие от работ ^{4,5/} после темновой адаптации глаз, свечение стримеров наблюдалось визуально при напряженности 30×10^8 В/см.

На рис. 4-8 показаны фотографии дифракционных картин, снятые на расстоянии 43 см от стримерной камеры при задержке лазерного импульса относительно высоковольтного импульса ГИНа соответственно 250, 300; 440, 1000 и 2250 нс. Две первые картины были сняты с увеличенной задержкой ГИНа на 190 и 140 нс относительно его постоянной задержки 260 нс, рассчитанной от времени подачи запускающего импульса на ГИН до времени срабатывания ГИНа. На показанных рисунках хорошо видны яркие и контрастные треки электронов, образованные стримерами, которые здесь видны как пятна с окружающими их черными и белыми кольцами. Центр каждого пятна соответствует центру канала стримера, а кольца, окружающие пятно, представляют дифракцию света на канале стримера. На фотографиях можно наблюдать ударную волну, расходящуюся симметрично от канала стримера. Отрыв ударной волны от шейки стримера в этом эксперименте происходил через ~440 нс после срабатывания ГИНа. Оценки скорости движения ударной волны в водороде при 2 атм дали величину $2,7 \times 10^3$ м/с при задержке $1-2/\times 10^{-6}$ с, что находится в хорошем согласии с результатом работы ^{6/} и превышает в два раза скорость звука в водороде $v_H = 1,28 \times 10^3$ м/с.

На рис. 9 показаны типичные денситограммы изображения стримеров, полученные на микрофотометре. Диаметр пятна и колец

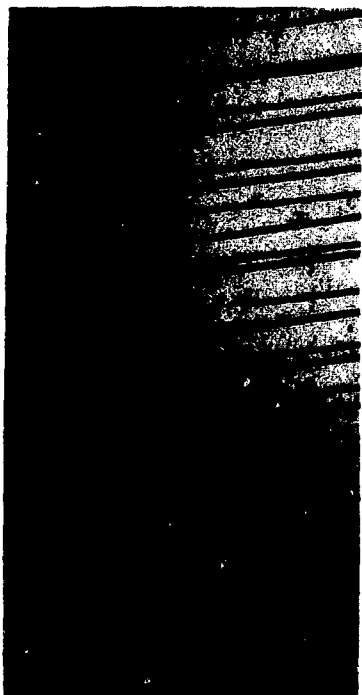


Рис. 6. $\Delta t_{\text{зад.}} = 440$ нс, расстояние 43 см.

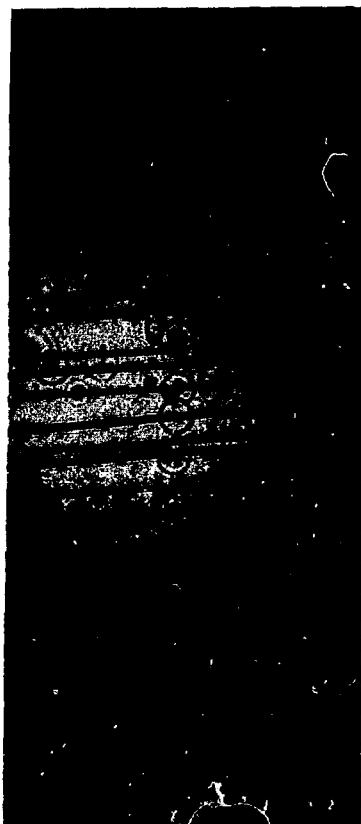


Рис. 7. $\Delta t_{\text{зад.}} = 1000$ нс, расстояние 43 см.

является функцией диаметра канала стримера, расстояния плоскости регистрации от плоскости возникновения стримеров и длины волны дифрагирующего лазерного излучения. Диаметр центрального пятна, измеренный нами на полученных дифракционных картинах, оказался равным в реальном масштабе $0,25 \pm 0,33$ мм. Для сравнения, диаметр изображения стримеров в реальном масштабе, полученный в работе [1] для стримерной камеры, наполненной гелием и метаном, имел значение $0,38 \times 10^{-3}$ м. В обычной камере диаметр следа составляет $1 \pm 1,5$ мм.

Рассчитанный из дифракционных картин действительный диаметр канала стримера оказался ~ 100 мкм.

По полученным фотографиям мы провели оценку отклонения центра изображения стримеров относительно аппроксимирующей



Рис.8. $\Delta t_{\text{зад.}} = 2250$ нс, расстояние 43 см.

прямой. Среднее квадратичное отклонение составило около 0,12 мм, и мы не обнаружили его зависимости от задержки импульса от лазера. При тех же условиях для (He-CH₄) камеры это отклонение составило 0,19 мм^{1/9}. Плотность стримеров на единицу длины трека составляет 6,5 см⁻¹.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как показывают экспериментальные результаты и измерения, диаметр изображения стримера на тенеграмме и самого стримера в камере, оказывается значительно меньшим, чем видимый диаметр стримера, если его фотографировать прямо фотоаппаратом.

Второе важное обстоятельство заключается в том, что тенеграммы стримера удается получить только при задержках лазерного импульса относительно импульса ГИН больше 200 нс. Таким образом, можно считать,

что центр, рассеивающий свет, в основном связан с локальным изменением показателя преломления среды.

Как показано в работах^{7,8} в формуле, описывающей рефракцию $n-1$ частично ионизованного газа

$$n-1 = (n_e - 1) + (n_a - 1), \quad //1/$$

где: $n_e - 1$ - рефракция, определенная электронами, $n_a - 1$ - рефракция, определенная тяжелыми частицами, можно для стримера не учитывать рефракцию на электронах и, таким образом, рефракция лазерного света в области формирования стримерного канала будет в первом приближении определяться тяжелыми компонентами газа /ионы и молекулы/.

Рис.9. Денситограммы изображения стримеров.



Связь между коэффициентом преломления света и плотностью газа получаем из теории дисперсии по формуле Лорентц-Лоренца ^{/2/}:

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{4\pi N_0}{3} \cdot \frac{a}{\mu} \cdot \rho, \quad /2/$$

где N_0 - число Авогадро, a - средняя поляризуемость, ρ - плотность газа, μ - молекулярный вес.

При невысоких давлениях, когда n близко к единице, формула принимает вид: $n-1 = 2\pi N_0 \cdot \frac{a}{\mu} \cdot \rho = k\rho$, где k - константа Гладстона-Дейли. Очевидно, что изменение плотности на величину $\Delta\rho$ соответствует изменению показателя преломления на величину Δn , т.е. $k\Delta\rho = \Delta n = n_0 - n = (n_0 - 1) - (n - 1)$, где n_0 - показатель преломления газа в камере, а n - показатель преломления в области формирования стримерного канала. Отсюда видно, что с повышением давления, а значит, и плотности газа, повышается эффективность метода лазерной регистрации следов в камере, т.к. Δn растет.

При этом следует отметить, что Δn в водороде больше, чем в гелии.

Таким образом, природа оптического рассеивающего центра представляет собой локальные изменения давления, которые возникают при выделении энергии разряда в узком стримерном канале. Повышение давления в стримере приводит к появлению ударной волны, которая хорошо детектируется на фотографии. На фотографиях, сделанных при малых и больших задержках, видно, что свет рассеивается двумя центрами: нагретым веществом в центре стримера

и ударной волной. Данный детектор может служить основой для создания приборов с очень высоким пространственным разрешением, а также с повышенной точностью измерения импульсов. Кроме того, повышение давления позволит уменьшить разбросы центров стрименов относительно траектории частицы, так как известно, что коэффициент диффузии уменьшается с увеличением давления.

Авторы выражают признательность В.П.Джелепову за поддержку данной работы, Д.Б.Понтекорво и Л.М.Сороко за полезные обсуждения, А.Г.Потехину за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калимов А.Г. Препринт ЛИЯФ, 518, Л., 1979; Будзяк А. и др. ОИЯИ, 1-80-303, Дубна, 1980.
2. Борн М. Основы оптики. "Наука", М., 1973.
3. Будзяк А. и др. ОИЯИ, Р-12778, Дубна, 1979.
4. Rohrbach F. et al. NIM, 1977, 141, p.229.
5. Falomkin I.V. et al. Nucl.Instr. & Meth., 1967, 53, p.266.
6. Гегечкори Н.М. ЖЭТФ, 1951, 21/4/, с.493.
7. Стабников М.В., Томбак М.А. Препринт ЛИЯФ, 497, Л., 1979.
8. Томбак М.А. Препринт ЛИЯФ, 499, Л., 1979.
9. Калимов А.Г. и др. Препринт ЛИЯФ, 407, Л., 1978.