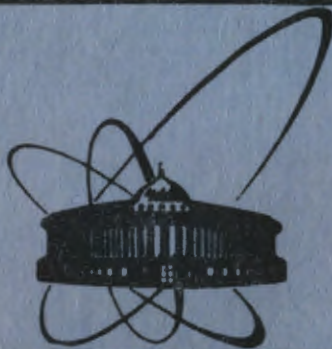


9/1-84



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

283/84

P13-83-766

И.Ц.Иванов, Л.Н.Сомов, Ю.А.Щербаков

ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
РАЗВИТИЯ ИСКРЫ В ВОДОРОДЕ.

Зависимость расширения канала искры  
от времени и давления

Направлено в журнал "Квантовая  
электроника"

1983

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Развитие искрового разряда изучалось довольно тщательно в пятидесятые годы <sup>/1-4/</sup>. В этих работах исследовалась временная зависимость развития диаметра искрового канала от вводимой в него энергии, определялась скорость ударной волны, температура и плотность плазмы. В работах <sup>/5-7/</sup> была развита гидродинамическая модель теории искры. Через двадцать лет интерес к исследованию искрового разряда вновь возродился, что связано с изучением лазерной искры <sup>/8,9/</sup>. В отличие от ранних работ, в которых это явление изучалось при давлениях порядка атмосферы, исследования лазерной искры проводились при давлении в несколько десятков атмосфер. Развитие техники стримерных камер высокого давления <sup>/10,11/</sup> также требует изучения условий формирования стримера и электрического разряда в газах при больших давлениях. Представляется также возможность исследования мезокатализа <sup>/12/</sup> при высоких температурах, основанная на эффекте локального нагрева вещества в области трека частицы /например,  $\mu^-$ -мезона/ в искровой камере.

Использование голографического метода регистрации оптических неоднородностей <sup>/9/</sup>, существующих в лазерной или электрической искре, позволяет осуществлять более детальное изучение процесса искрового разряда.

Целью настоящей работы является исследование развития электрической искры голографическим методом при больших давлениях рабочего газа. Эксперименты проводились при  $E/\rho = \text{const}$ , где  $E$  - энергия, вводимая в искру на единицу ее длины, а  $\rho$  - плотность окружающей среды. Кроме того, исходя из условий реального эксперимента со стримерными камерами, изучения  $\mu^-$ -катализа в данной работе, мы приводим усредненные значения параметров различных искр, в то время как в цитируемых работах исследовалось временное развитие одной и той же искры.

## 2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Голографирование искры велось разработанной в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ <sup>/13/</sup> лазерной системой /рис.1/. Излучение импульсного лазера на азоте / $\lambda = 337,1$  нм,  $W = 700$  кВт,  $\tau = 7$  нс,  $U_{\text{зар.}} = 21$  кВ,  $R = 30$  мм рт.ст./ фокусировалось кварцевой линзой на кювету с раствором красителя родамин-6Ж. Для возбуждения красителя использовалась продольная схема накачки. Лазер на красителе работал в режиме сверхфлуоресценции без использования оптического резонатора. Таким образом, ультрафиолетовое излучение азотного лазера конвертировалось в видимый свет с длиной

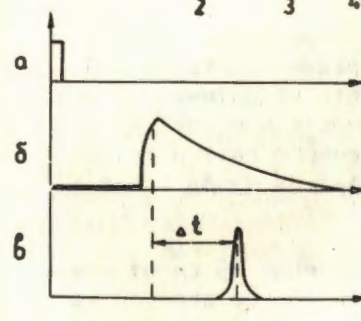
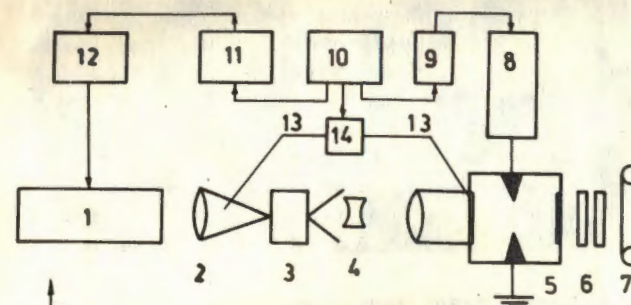


Рис.1. 1 -  $N_2^+$  лазер; 2 - кварцевая линза; 3 - лазер на красителе родамин-6Ж; 4 - коллиматор; 5 - разрядник; 6 - фильтры; 7 - фотокамера; 8 - генератор импульсов напряжения /ГИН/; 9 - блок запуска ГИНа; 10 - блок-разветвитель; 11 - блок временной задержки лазерного импульса; 12 - блок запуска  $N_2^+$  лазера; 13 - детекторы лазерного излучения и света искры; 14 - осциллограф; а - сигнал запуска, б - высоковольтный импульс, в - импульс лазерного излучения.

волны  $\lambda = 575$  нм. Длина когерентности этого излучения составляла  $L_{\text{ког.}} = 66$  мкм. Габоровская голограмма искры регистрировалась фотоэмulsionей "Микрат-300" на пленочной подложке. Собственное свечение искры подавлялось фильтрами 3С7, ОС12.

Искра формировалась вольфрамовыми электродами, вклеенными в цилиндрическую плексигласовую камеру с двумя кварцевыми окошками, которая заполнялась водородом до давления 30 атм. На электрод камеры подавался высоковольтный импульс от генератора импульсов напряжения /ГИН/ Аркадьева-Маркса с ударной емкостью 370 пФ. ГИН вырабатывал импульс амплитудой до 600 кВ с постоянной времени спада 1,5 мкс и фронтом нарастания ~20 нс. Голограммы регистрировались коллимированным пучком лазерного излучения при давлениях водорода 5, 10, 20 и 30 атм. Временная задержка лазерного импульса относительно высоковольтного ГИНа составляла 20, 200, 400, 800 и 2500 нс. Поскольку амплитуда высоковольтных импульсов при всех давлениях была неизменной, постоянство отношения  $E/\rho$  сохранялось путем изменения межэлектродного расстояния.

## 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Известно, что вслед за пробоем межэлектродного промежутка на образовавшейся токопроводящей нити выделяется энергия  $\sim 10^7$  эрг, запасенная в конденсаторах ГИНа. В течение времени

порядка  $10^{-8}$  с после пробоя из-за джоулева тепла в этой тонкой нити канала происходит резкое повышение температуры и давления. Канал искры представляет собой токопроводящую плазму с низкой плотностью и с температурой порядка  $4 \cdot 10^4$  К<sup>3/2</sup>. Возникшая при этом ударная волна с азимутальной симметрией и температурой на ее фронте  $\sim 10^4$  К<sup>3/2</sup> интенсивно ионизирует газ. В течение времени, меньшего 1 мс, границы канала и фронта ударной волны совпадают. В последующие моменты времени температура понижается и ударная волна отделяется от канала искры. К этому времени прекращается рост канала.

Канал и фронт ударной волны разделены переходным слоем - оболочкой канала. Голографическая регистрация электрической искры основана на рефракции лазерного света на оптической неоднородности, вызванной перепадами по плотности в искре. Изменение коэффициента преломления  $\Delta n$  возмущенного газа в канале искры вызвано изменением плотности газа  $\Delta \rho$ :  $\Delta n = k \cdot \Delta \rho$ , где  $k$  - константа Дейли-Гладстоуна /для H<sub>2</sub>: P = 1 атм., T = 293 К, K = 1,34/.

Так как фотопленка размещалась на расстоянии 25 см от искры /для давлений 5, 10, 20, 30 атм. междуэлектродное расстояние составляло соответственно 0,3; 0,6; 1,2 и 1,8 см/, то голограмма регистрировала ее геометрическую тень.

На рис. 2 показана временная развертка искр при давлении водорода 20 атм. Если в начальные моменты времени рефракция происходит лишь на канале искры /см. рис.2а/, то в последующие моменты ее структура усложняется и свет рефрактирует на ее компонентах: канале, оболочке и ударной волне. Это хорошо заметно на рис.2д, где четко видны эти три образования. Например,



Рис.2. Временное развитие искры в водороде при давлении 20 атм. Время задержки импульса лазерного излучения относительно высоковольтного импульса ГИНА-20, 200, 400 и 800 нс соответственно.

3



Рис.3. Развитие искры в водороде при давлениях 5, 10, 20 и 30 атм. соответственно и постоянной задержки импульса лазерного излучения относительно высоковольтного импульса  $\Delta t = 2500$  нс.

изображение ударной волны сформировано из черной и белой полос, что связано с резким градиентом плотности /темная полоса отвечает области пониженной плотности, светлая - повышенной/. Из-за введенной в канал искры энергии давление в нем становится существенно большим, чем давление окружающего газа. Этот перепад по давлению вызывает расширение искрового канала, что приводит к резкому уменьшению плотности газа в нем.

За размер диаметра канала бралось расстояние между областями с максимальным перепадом почернения фотопленки. В таблице показана усредненная величина диаметров различных искр /~20 шт./ при одной и той же задержке лазерного импульса по отношению к высоковольтному /t = 20, 200, 400, 800, 2500 нс/. Фотографии искр при различных давлениях и постоянной задержке лазерного импульса показаны на рис.3. Именно эта усредненная величина диаметра канала искры при задержках, не превышающих микросекунды, представляла для авторов интерес.

При этих задержках можно пренебречь влиянием противодействия окружающего газа. Так как в нашем случае энергия вводится за время  $\sim 10$  нс, то диаметр искры можно определить по формуле /5/

$$d = (aE/\rho)^{1/4} t^{1/2} \quad (1)$$

где  $a$  - безразмерная постоянная;  $E$  - энергия, вводимая в искру на единицу длины;  $\rho$  - начальная плотность газа. Из этой формулы видно, что размер канала искры является функцией  $E/\rho$ , т.е. он не изменяется, если сохраняется постоянство отношения  $E/\rho$ .

Регистрация велась при амплитуде высоковольтного импульса, равного 140 кВ.

Таблица  
Зависимость диаметра канала искры  $d$  /мм/ от давления  
водорода  $P$  /атм./ и времени регистрации голограммы  $t$  /нс./

$P$	$t$ 20	200	400	800	2500
5	1,01 $\pm$ 0,13	2,68 $\pm$ 0,21	3,44 $\pm$ 0,15	3,93 $\pm$ 0,05	3,65 $\pm$ 0,05
10	0,82 $\pm$ 0,15	1,99 $\pm$ 0,17	2,73 $\pm$ 0,22	3,69 $\pm$ 0,13	3,49 $\pm$ 0,14
20	0,82 $\pm$ 0,16	1,88 $\pm$ 0,2	2,70 $\pm$ 0,12	4,32 $\pm$ 0,2	3,22 $\pm$ 0,19
30	0,79 $\pm$ 0,06	1,96 $\pm$ 0,24	2,55 $\pm$ 0,12	3,62 $\pm$ 0,18	2,89 $\pm$ 0,14
*		2,0	2,8	4,0	

Как видно из таблицы, и при больших давлениях /5, 10, 20, 30 атм./ диаметр искрового канала остается функцией отношения  $E/\rho$ . В последней строке (\*) приведены величины диаметра искрового канала, вычисленные по формуле /1/, которые в пределах экспериментальных ошибок согласуются с экспериментальными данными.

Авторы выражают благодарность В.А.Панюшкину, Я.Экснеровой за обсуждение и помощь в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Гегечкори Н.М. ЖЭТФ, 1951, 21, с. 413.
- Абрамсон И.С. и др. ЖЭТФ, 1947, 17, с. 862.
- Долгов Г.Г., Мандельштам С.Л. ЖЭТФ, 1953, 24, с. 691.
- Вульфсон К.С., Лидин И.Ш. ЖЭТФ, 1951, 21, с. 511.
- Драпкина С.И. ЖЭТФ, 1951, 21, с. 473.
- Мандельштам С.Л., Суходрев Н.И. ЖЭТФ, 1953, 24, с. 701.
- Брагинский С.И. ЖЭТФ, 1958, 34, с. 1548.
- Kakos A. et al. Phys.Lett., 1966, 23, p. 81.
- Островский Ю.И., Бутусов М.М., Островская Г.В. Голографическая интерферометрия. "Наука", М., 1977.
- Иванов И.Ц. и др. ОИЯИ, P13-83-154, Дубна, 1983.
- Escard V., Weniq S. CERN/EP/0011P/SW/J, 1982.
- Gerstein S.S., Попомарев L.I. In: Muon Physics, VIII, Eds. V.Hughes and C.S.Wu, 1975.
- Бартке Е., Иванов И.Ц., Экснерова Я. ОИЯИ, P13-83-198, Дубна, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 ноября 1983 года.

Иванов И.Ц., Сомов Л.Н., Щербачев Ю.А. P13-83-766  
Голографическое исследование развития искры в водороде. Зависимость расширения канала искры от времени и давления

В работе продемонстрирована возможность голографического метода регистрации при исследовании временного развития электрической искры в водороде при разных давлениях. С помощью этого метода регистрировались габоровские голограммы геометрической тени искры при давлениях 5, 10, 20, 30 атм. В эксперименте прослеживалось временное развитие диаметра искрового канала при сохранении постоянства отношения  $E/\rho$ , где  $E$  - вводимая в искру энергия, а  $\rho$  - плотность газа. В отличие от других работ, где изучалась временная зависимость диаметра одной и той же искры, в работе приведены усредненные значения диаметров различных искр. Такая постановка эксперимента вызвана развитием техники голографических стримерных камер высокого давления и изучением мезокатализа при высоких температурах газа. Показано, что и при больших давлениях газа диаметр канала искры является функцией  $E/\rho$ .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Ivanov I.Ts., Somov L.N., Shcherbakov Yu.A. P13-83-766  
Holographic Investigation of Spark Development of Hydrogen. Spark Channel Widening as a Function of Time and Pressure

The electrical spark time-development in hydrogen at 5, 10, 20 and 30 atm with Gabor hologram registration is described. During all experiments the ratio  $E/\rho$  remained constant ( $E$  - the spark, electrical input energy,  $\rho$  - gas density). Something new in this paper is that the mean-time value of the spark channel diameter from many sparks is shown unlike other papers, where the time-development of spark channel diameter only from one spark is described. So, these experiments are due to the study of high-pressure streamer chamber with a holographic track registration and  $\mu$ -catalysis at high temperatures of gas. It is shown that the spark channel diameter is a function of  $E/\rho$  and remains constant when  $E/\rho$  is constant.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой