

30/70



НИИЭФА

ПРЕПРИНТ Т-0194

В.Г. Смирнов  
А.Г. Смирнов

A14

ГОЛОГРАФИРОВАНИЕ ПЛАЗМЫ  
СИЛЬНОТОЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Ленинград 1974

Государственный комитет по использованию  
атомной энергии СССР

Научно-исследовательский институт  
электрофизической аппаратуры  
имени Д.В.Ефремова

В.Г.Смирнов, А.Г.Смирнов

ГОЛОГРАФИРОВАНИЕ ПЛАЗМЫ В СИЛЬНОТОЧНЫХ РАЗРЯДАХ

Ленинград  
1974

## А Н Н О Т А Ц И Я

Смирнов В.Г., Смирнов А.Г. Голографирование плазмы в сильноточных разрядах. Препринт Т-0194. Л., НИИЭФА, 1974, 14 стр., с илл., цена 7 коп.

Описана голографическая установка для изучения плазмы в сильноточных Z- и  $\theta$ -разрядах. Установка позволяет с помощью одной голограммы, записанной по методу двойной экспозиции, получить интерферограммы с различной частотой и ориентацией полос, а также получать теневые фотографии.

## A B S T R A C T

Smirnov V.G., Smirnov A.G. Plasma Holography in High-Current Discharges. Preprint T-0194. L., NII EFA, 1974, 14 p., with ill., price 7 cop.

A holographic installation for the study of plasma in high-current Z and  $\theta$ -discharges is described. The installation enables to get interferograms with different density and orientation of fringes as well as shadow photographs by means of double-exposure hologram.

Тенденция развития современных термоядерных установок на основе пинчующихся разрядов состоит в непрерывном увеличении вводимой в разряд энергии, что приводит к сокращению числа циклов работы таких установок. Характерной особенностью плазмы, образующейся в результате сильноточных разрядов ( $Z$  - и  $\theta$  -пинчи), является наличие неустойчивостей, приводящих к быстрым изменениям пространственной структуры плазмы. Поэтому часто возникает необходимость в одновременной диагностике плазменных образований в этих системах различными оптическими методами (теневыми и интерференционными). Постановка этих методов обычно сопряжена с рядом специфических трудностей, возникающих при диагностике плазмы

$Z$  - и  $\theta$  -разрядов. В этих условиях разделение процесса диагностики на два этапа - запоминание информации о плазме в виде голограммы и апостериорная обработка восстановленной голограммы различными оптическими методами - является наиболее целесообразным. Действительно, с помощью короткого лазерного импульса на голограмме можно зарегистрировать волновой фронт, несущий информацию о пространственном распределении оптических характеристик плазмы. Последующее изучение этого волнового фронта в стационарных установках дает возможность определить необходимые параметры плазмы [I-5].

Наиболее приемлемым путем реализации голографических методов для изучения плазмы  $Z$  - и  $\theta$  -разрядов является принцип использования самостоятельных узлов для записи и восстановления голограмм. В настоящей работе сообщается о голографической установке и методике диагностики плазмы

$Z$  - и  $\theta$  -разрядов, позволяющей с помощью одной голограммы осуществлять исследования плазмы методами интерферометрии и теневой фотографии.

В основу действия экспериментальной методики положен метод двойной экспозиции, который является самым простым при реализации и, кроме того, позволяет автоматически избежать погрешностей, возникающих за счет неидентичности оптических путей эталонной и предметной волн. Сущность этого метода заключается в том, что на одну фотопластинку записывают голограммы двух волновых фронтов, соответствующих разным физическим состояниям исследуемого объекта. При освещении голограмм лазерным пучком света восстанавливаются записанные на них волновые фронты, которые в зависимости от условий наблюдения могут быть визуализированы либо в виде теневой, либо в виде интерференционной картин.

Голографическая установка состоит из двух узлов - узла регистрации голограмм и голографического интерферометра с регулируемой шириной и ориентацией полос. Оптическая схема узла регистрации изображена на рис.1. В качестве источника когерентного излучения используется рубиновый лазер с управляемым моментом генерации [6]. Глухое зеркало и резонансный отражатель образуют резонатор. Активным элементом служит кристалл рубина длиной 120 мм и диаметром 10 мм /РЛ-10х120/180/. Модуляция добротности резонатора осуществляется путем управления бегущей дифракционной решеткой в акустической ячейке [7]. Параметры генерируемых лазером импульсов следующие: длительность импульса по уровню 0,5

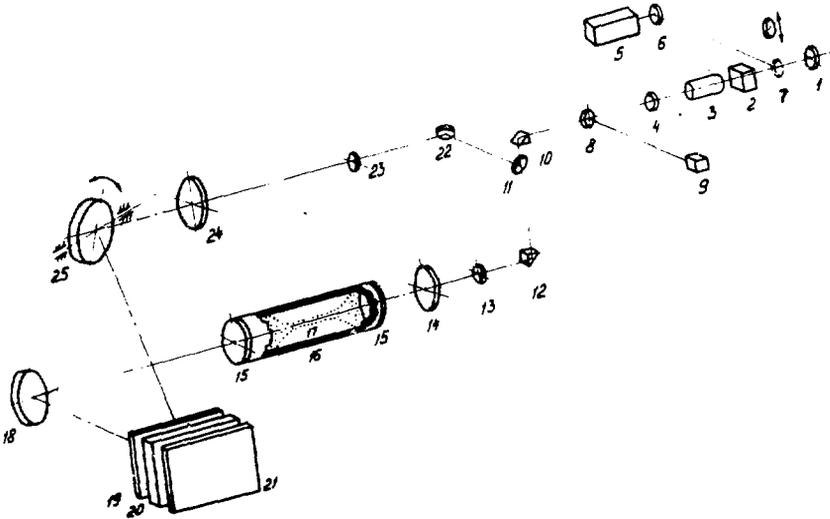


Рис.1. Оптическая схема

Импульсный источник света: 1 - зеркало; 2 - оптико-акустическая ячейка; 3 - кристалл рубина; 4 - резонансный отражатель.

Система формирования объектного и референтного пучков: 11 - светоделительный элемент; 13, 14 - элементы телескопической системы объектного пучка; 23, 24 - элементы телескопической системы референтного пучка; 10, 12, 22 - вспомогательные элементы.

Объект исследования: 15 - окна разрядной камеры;

16 - разрядная камера; 17 - плазма.

Голографическая камера: 25 - зеркало поворотное;

18 - зеркало.

Кассетный узел: 19 - фильтр КС-18; 20 - центральный фотозатвор.

Вспомогательные элементы для юстировки схемы:

6, 7 - зеркала; 5 - газовый лазер.

Элементы контроля параметров излучения импульсного источника света: 8 - светоделительная пластина;

9 - фотодиод.

$t_{0,5} = 40$  нсек, стабильность появления лазерного импульса относительно управляющего не хуже 0,2 мксек, энергия в импульсе 15 мДж, режим генерации одномодовый, длина когерентности более 1 м. Необходимо отметить, что использование акустической ячейки в качестве модулятора добротности резонатора дает ряд преимуществ по сравнению с использованием электрооптических затворов: на три порядка меньше амплитуда управляющего напряжения, конструкция более проста, низки потери излучения в открытом состоянии (см., например, работу [7]). Система формирования объектного и референтного пучков состоит из светоделительного элемента и телескопических систем, формирующих широкие параллельные объектный и референтный пучки. Телескопическая система, установленная в объектном пучке схемы, образована элементами 13, 14 и имеет 50-кратное увеличение, что позволяет просвечивать сквозь окна разрядную камеру диаметром 100 мм. Телескопическая система, установленная в референтном пучке, образована элементами 23, 24 и имеет 60-кратное увеличение. Совмещение на голограмме объектного и референтного пучков осуществляется в голографической камере, состоящей из зеркал 18, 25 и кассетного устройства — элементы 19, 20, 21. Зеркало 25, установленное в референтном пучке, выполнено поворотным, причем плоскость вращения совпадает с плоскостью совмещения объектного и референтного пучков. Перед голограммой 21 с целью уменьшения фоновой засветки от плазмы установлены фильтр 19 из красного стекла КС-18 и центральный фотозатвор 20. Световой

диаметр голограммы составляет 100 мм. В установке имеются вспомогательные оптические элементы, используемые для юстировки схемы: газовый лазер, отражательные элементы и элементы временных характеристик импульсного лазера — светоделительная пластина и фотодиод. Работа установки в требуемом режиме обеспечивается с помощью блока управления и синхронизации. Этот блок представляет собой электронную систему, состоящую из генератора запускающих импульсов, хронизатора, блока поджига и накачки, генератора управления акустической ячейкой и пятилучевого осциллографа. Задающий генератор вырабатывает запускающий импульс, который поступает на вход хронизатора, осуществляющего синхронизацию систем формирования исследуемого процесса с работой импульсного лазера и осциллографом. На входы осциллографа подаются сигналы с датчиков разрядного тока, внешнего магнитного поля и фотодиода.

Голографирование осуществлялось по методу двойной экспозиции. В первой экспозиции записывалась голограмма "установки", а во второй экспозиции записывалась голограмма "установки с исследуемой плазмой". Перед второй экспозицией угол между объектным и референтным пучками путем поворота зеркала 25 изменялся на угол  $\alpha$ . В качестве фотоматериалов использовались фотопластинки "Микрат ВРЛ-690" и пленка ФПВ.

Для восстановления голограмм использовался голографический интерферометр с регулируемой шириной и ориентацией шириной и ориентацией полос [8]. Оптическая схема этого интерферометра приведена на рис.2.

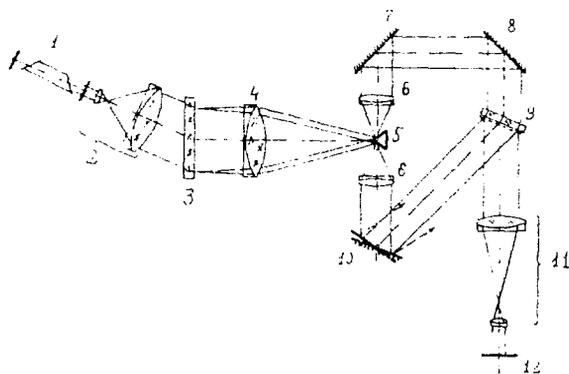


Рис.2. Схема голографического интерферометра  
 I - He - Ne лазер; 2 - телескопическая система; 3 - голограмма;  
 4 - объектив; 5 - разделительная призма; 6 - окуляр; 7, 8, 9, 10 - зеркала; II - телескопическая система; 12 - экран

Согласно этой схеме эталонная и предметная волны, восстановленные голограммой 3, разделялись в фокальной плоскости объектива 4 с помощью зеркальной призмы 5, которая направляла волны в плечи интерферометра, образованные соответственно зеркалами 7, 8 и 9, 10. В каждом из плеч располагалось по одинаковому окуляру 6, которые вместе с объективом 4 образовывали пару телескопических систем. Использование телескопических систем позволяет избежать астигматических aberrаций при совмещении волн на экране 12 с помощью светоделительной пластины 9. Ориентация и ширина полос интерференционной картины изме-

нялись поворотом зеркала 10. Поперечный сдвиг изображений, возникающий при повороте зеркала 8, устраняется поворотом светоделительной пластины 9. Для наблюдения интерферограмм использовалась оптическая система II.

Получение теневых изображений исследуемой плазмы обеспечивается путем перекрытия эталонного пучка в соответствующем плече интерферометра.

Интерферометр был собран на амортизированной поверочной плите. Для восстановления голограммы применялся газовый He - Ne лазер ЛГ-38. Фокусное расстояние объектива 4 и окуляров 6 составляло соответственно 1600 и 75 мм.

Объектом исследования являлась плазма, формируемая  $z$  и  $\theta$  -пинчами.  $z$  и  $\theta$  -пинчи создавались разрядом малоиндуктивной конденсаторной батареи в камере, заполненной водородом или гелием. Начальное давление газа составляло для гелия 40 - 0,01 мм рт.ст., для водорода - 1 + 0,01 мм рт.ст.. Длина разрядной камеры составляла 900 мм, при этом разрядный промежуток в случае  $z$  -пинча занимал 750 мм, а в случае  $\theta$  -пинча - 400 мм. Максимальное значение разрядного тока 300 кА достигалось через 2,5 мксек после начала разряда. Конструкция разрядной камеры позволяла просвечивать плазменный шнур вдоль оси. В качестве окон использовались полированные плоские пластины из органического стекла толщиной 15 мм.

Как уже упоминалось выше, голограммы записывались

по методу двойной экспозиции. Во время первой экспозиции в отсутствие разряда регистрировалась голограмма эталонного пучка. Затем угол между объектным и референтным пучками изменялся на несколько минут, после чего в заданной фазе развития разряда регистрировалась голограмма предметного пучка. Синхронизация момента голографирования с заданной фазой развития достигалась следующим образом. Одновременно с запуском системы накачки импульсного лазера возбуждались колебания в ячейке дифракционного модулятора. Это приводило к образованию в резонаторе оптической неоднородности — бегущей дифракционной решетки, — препятствовавшей возникновению генерации импульсного лазера. В момент достижения максимальной инверсии в кристалле рубина инициировался разряд малоиндуктивной конденсаторной батареи. Затем через регулируемый временной интервал, который определял момент голографирования, на ВЧ-генератор управления дифракционным модулятором подавался импульс. Под действием этого импульса колебания в ячейке дифракционного модулятора прекращались, что приводило к восстановлению оптической однородности резонатора и генерации короткого лазерного импульса.

Голограммы восстанавливались излучением непрерывного He - Ne лазера с помощью интерферометра, позволявшего менять ширину и ориентацию полос, а также использовать для изучения плазмы разряда теневые методы. В частности, для изучения неоднородности плазмы применялся прямой теневой метод и метод измерительного пучка. В последнем

случае для восстановления голограммы использовался узкий пучок.

Результаты, иллюстрирующие работу вышеописанной установки, приведены на рис.3 и 4. На рис.3 представлена интерференционная и теневая картины  $Z$ -разряда, полученные с одной голограммы. На рис.4 представлена интерференционная картина  $Z$ -разряда (а) и профиль распределения показателя преломления оптической неоднородности плазмы в зависимости от радиуса в направлении полос настройки.

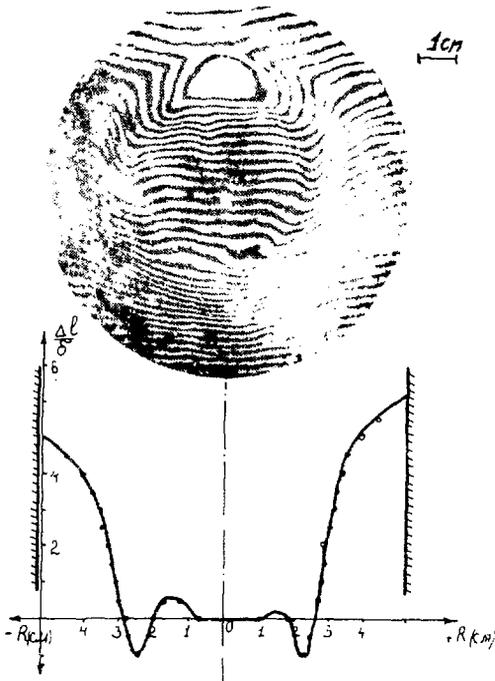


Рис.3. Интерференционная картина  $Z$ -разряда и соответствующее ей распределение изменения оптической длины пути зондирующего излучения, прошедшего через плазму, в зависимости от радиуса разрядной камеры.

Начало координат 0 находится в центре камеры, а направление оси абсцисс совпадает с направлением полос настройки интерферометра



Рис.4. Интерференционная (а) и соответствующая ей теньевая картина (б) Z-разряда

Физическая интерпретация этих результатов, а также подробное описание систем формирования разрядов будут приведены в отдельной работе. В заключение следует отметить, что вышеописанная установка может быть с успехом применена для исследования других плазменных образований, в частности для изучения процессов движения электрической дуги в мощных разрядниках.

Авторы выражают искреннюю благодарность инициатору проведения данной работы Л.В.Дубовому за значительную поддержку на всех этапах ее проведения, Ю.Н.Дениску за постоянный интерес и внимание к этой работе, Д.И.Стаселько за полезные обсуждения и Л.А.Зеленову за помощь в проведении экспериментов.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Зайдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И. "Ж.техн. физики", т.38, вып.9, 1405 (1968).
2. Jahoda F.G., Jeffries R.A., Sawyer G.A. Appl.Opt., Vol.6, 1407 (1967).
3. Nicholson J.P., Hogan A.I., Irving I. J.Phys.D: Appl. Phys., Vol.3, 1387 (1970).
4. Gribble R.F., Quinn W.E., Siemon R.E. Phys.Fluids, Vol.14, 2042 (1971)  
Phys.Fluids, Vol.15, 1666 (1972).
5. Дубовой Л.В., Смирнов А.Г., Смирнов В.Г., Стаселько Д.И. "УФН", т.108, вып.3, 597 (1972).
6. Смирнов А.Г., Стаселько Д.И., Терентьев В.Е. "Оптика и спектроскопия", т.ХХХI, вып.1, 103 (1971).
7. Смирнов А.Г., Терентьев В.Е. "Оптика и спектроскопия", т.ХХVII, вып.1, 163 (1969).
8. Смирнов А.Г., Смирнов В.Г., Стаселько Д.И. Использование двукратноэкспонированной голограммы для получения интерферограмм с различной ориентацией и шириной полос.  
Препринт Т-0195. Л., НИИЭФА, 1974.

---

Заказ № 41/450. Рукопись поступила на издание 28/ХП-1973 г.  
Отпечатано 200 экз. Ротапринт НИИЭФА. Цена 7 коп. Т-18109.

Ответственный за выпуск Гусева В.Л.

