

Посвящается памяти моего мужа —
Юрия Исаевича Островского

Голографическая интерферометрия физических процессов

© Г.В. Островская

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: galya_ostr@mail.ru

(Поступило в Редакцию 23 ноября 2015 г.)

Работа посвящена вкладу Юрия Исаевича Островского в одно из основных научных и практических приложений голографии — голографическую интерферометрию. Название настоящей работы повторяет название его докторской диссертации, которую он защитил в 1974 г., и, как мне кажется, в наибольшей степени отражает специфику большинства научных работ Ю.И. Островского, а именно неразрывную связь разработанных им методов с результатами осуществленных с их помощью исследований широкого круга физических процессов и явлений.

1. Непростой путь в науку

К моменту начала Великой Отечественной войны Юре Островскому исполнилось 15 лет и он окончил 7-й класс школы. Потом была зима в блокадном Ленинграде, дежурства на крышах домов во время бомбардировок, эвакуация по льду Ладожского озера и начало трудовой деятельности в леспромхозе в пос. Теша Рязанской области. Осенью 1943 г. в возрасте 17 лет Юра был призван в армию. Службу он проходил в Бакинском военном округе в прожекторном полку. Его задача состояла в том, чтобы завести двигатель грузовика, включить прожектор и направить его луч на самолет, после чего артиллеристы старались сбить его из зенитных орудий. По рассказам Юрия Исаевича, однажды самолет упал на землю прежде, чем зенитчики успели выстрелить. По-видимому, прожектор ослепил фашистского пилота, и тот не справился с управлением.

В армии Ю.И. Островский прослужил долгие 7 лет. 1950 год стал переломным в его жизни. Он экстерном сдал экзамены на аттестат зрелости и поступил на вечернее отделение одного из Бакинских вузов. Когда в конце лета была объявлена долгожданная демобилизация, Островский добился зачисления (в порядке перевода) на физический факультет ЛГУ.

2. Школа Д.С. Рождественского

Научной работой студент Островский начал заниматься на 3-м курсе в лаборатории аномальной дисперсии, созданной в НИФИ ЛГУ академиком Д.С. Рождественским. Этой лабораторией заведовал в то время ученик Рождественского, Н.П. Пенкин. В лаборатории хранились отснятые Дмитрием Сергеевичем фотопластинки с крюками его имени, а также лабораторные журналы с личными записями Д.С. Рождественского и результатами сделанных им расчетов сил осцилляторов. Сотрудники

лаборатории, студенты и аспиранты работали на тех же спектрографах и интерферометрах, на которых работал сам Дмитрий Сергеевич (рис. 1).

По окончании университета Ю.И. Островский был оставлен в аспирантуре при кафедре оптики и спектроскопии. Аспирантуру он окончил за 2 года, и в 1959 г. первым из своих однокурсников защитил кандидатскую диссертацию.

За время работы на кафедре оптики Ю.И. Островским были измерены относительные и абсолютные силы осцилляторов в спектрах следующих элементов: Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Cu, Al, Ga, In, Sr, Ba, Mg, Ca, Na и K. Он не только в совершенстве овладел техникой классической интерферометрии и методикой измерения сил осцилляторов, но и внес существенный вклад в усовершенствование



Рис. 1. Ю.И. Островский в лаборатории аномальной дисперсии.

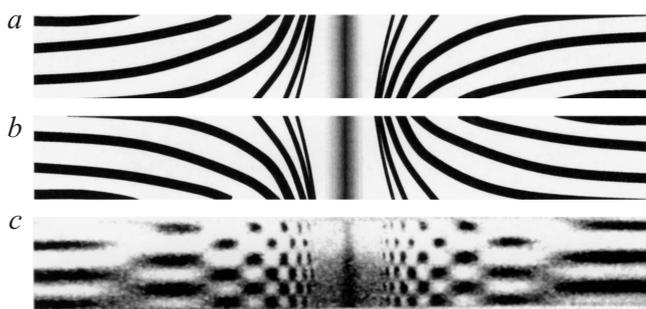


Рис. 2. Метод зеркального наложения: *a* — картина дисперсии в окрестности линии поглощения, *b* — зеркальное отражение картины дисперсии, *c* — результат наложения картин *a* и *b*.

вание этих методов. В частности, им в соавторстве с Н.П. Пенкиным и Л.Н. Шабановой был предложен метод определения абсолютных значений сил осцилляторов путем одновременного измерения расстояния между крюками и полного поглощения [1]. Островским был также предложен метод зеркального наложения картин дисперсии [2], позволяющий увеличить точность измерений сил осцилляторов (рис. 2), а также получено авторское свидетельство [3] на метод селективного увеличения чувствительности отдельной компоненты газовой смеси за счет получения интерференционной картины в свете излучения, близкого к линии поглощения данного сорта атомов. В общей сложности за период работы в ЛГУ Ю.И. Островским было опубликовано около 20 работ.

С 1962 по 1965 г. Островский занимался преподавательской деятельностью в Ленинградском Горном институте (ЛГИ): читал лекции по физике для студентов нескольких факультетов, принимал экзамены, много времени проводил в командировках за Полярным кругом, в Воркуте и Кировске, где располагались филиалы ЛГИ. Большая педагогическая нагрузка и отсутствие условий для научной работы угнетали Юрия Исаевича. Некоторой отдушиной для него стала изобретательская деятельность. По заявкам, сделанным в этот период, им было получено 4 авторских свидетельства на изобретения преимущественно по лазерной тематике.

Когда А.Н. Зайдель предложил Ю.И. Островскому перейти в его лабораторию в ФТИ, он сразу же согласился. Кандидатура Островского предварительно была согласована с директором института академиком Б.П. Константиновым. Островскому было предложено выступить на Ученом совете ФТИ с докладом о его работах по измерению сил осцилляторов. Доклад прошел успешно, и Островский был зачислен на должность старшего научного сотрудника лаборатории оптики плазмы.

3. Начало работ по голографии в ФТИ

Инициатором работ по голографической тематике в ФТИ был директор института Б.П. Константинов, и

первые работы по голографии были выполнены в 1965 г. в его лаборатории. Начало работ по голографии по времени совпало с переходом в ФТИ Ю.И. Островского, и Борис Павлович привлек его, как опытного интерферометриста, к этим исследованиям. В 1966–1967 гг. при участии Ю.И. Островского были выполнены исследования разрешающей способности голографического метода [4,5], предложены многочисленные схемы лазерных интерференционных резольвметров [6–9]. Совместно с сотрудниками лаборатории С.Б. Гуревича, была осуществлена голографическая передача изображения через телевизионную систему [10].

4. Голографическая интерферометрия

1965 год ознаменовался рождением голографической интерферометрии. Принципы и преимущества голографической интерферометрии настолько просты и очевидны, что в течение одного года независимо друг от друга появилось сразу 6 публикаций на эту тему [11–16]. Первая наша работа по голографической интерферометрии [17] была опубликована в 1966 г.

В классической интерферометрии интерференционная картина образуется световыми волнами, распространяющимися одновременно по разным каналам (плечам интерферометра), что приводит к высоким требованиям к качеству всех оптических элементов, через которые проходят интерферирующие волны.

В голографической интерферометрии интерферируют волны, прошедшие по одному и тому же пути, но в разное время и записанные на одной и той же голограмме (метод двух экспозиций). При освещении голограммы опорным пучком восстанавливаются две волны, соответствующие двум состояниям объекта. При интерференции этих волн образуется интерферограмма, сдвиги полос на которой обусловлены только изменением состояния объекта между первой и второй экспозициями. Все искажения волновых фронтов, вносимые оптическими деталями, практически полностью компенсируются.

Снижение требований к качеству оптики позволяет увеличить размеры исследуемых объектов. Появляется возможность исследования деформаций, вибраций и рельефа объектов с шероховатой поверхностью. Возникает возможность увеличения чувствительности интерферометрии за счет интерференции волн высших порядков, восстановленных голограммой [18]. Существенно упрощаются реализация схем киноголографии при исследовании быстропротекающих процессов. В последующие годы число публикаций по этой тематике росло стремительно. Среди ранних публикаций российских ученых отмечу здесь только статью Е.Б. Александрова и А.М. Бонч-Бруевича [19], посвященную расшифровке голографических интерферограмм.

5. Голографическая диагностика плазмы

В мае 1966 г. на семинаре лаборатории оптики плазмы состоялся доклад Ю.И. Островского о голографии. Когда Юрий Исаевич нарисовал на доске схемы записи голограмм по методам Габора [20] (однолучевая голография), Лейта [21] (голография с наклонным опорным пучком) и Денисюка [22] (голография во встречных пучках), я задала ему вопрос: „Чем отличается схема Габора от теневого метода, который мы используем для исследования лазерной искры?“. Немного задумавшись, Островский сказал: „Пожалуй, ничем“. Таким образом, оказалось, что полученные в нашей лаборатории теневые изображения лазерной искры — это однолучевые голограммы.

Сразу после семинара мы с Юрой собрали схему восстановления (рис. 3) и с ее помощью не только получили четкие контуры лазерной искры, но и обнаружили фокусирующее действие искры, что позволило оценить концентрацию электронов в ее плазме. Эта наша первая работа по голографической диагностике плазмы была опубликована в журнале „Письма ЖЭТФ“ в августе 1966 г. [23], опередив на год соответствующие публикации американских ученых [24]. Начиная с этого момента, разработка голографических методов диагностики плазмы стала одним из основных направлений научных исследований, проводимых в лаборатории оптики плазмы.

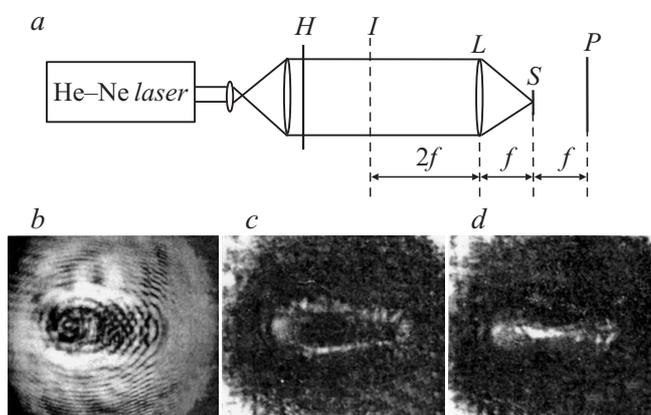


Рис. 3. *a* — схема восстановления: *H* — однолучевая голограмма, *I* — мнимое изображение, *L* — линза, *S* — точечный экран, *P* — фотопластинка; *b* — однолучевая голограмма лазерной искры; *c* — восстановленное изображение контуров лазерной искры; *d* — фокальное пятно эквивалентной астигматической линзы.

5.1. Исследование импульсных ламп и газоразрядных ламп, питаемых переменным током. Стробоголография

Одной из первых работ по голографической диагностике плазмы, выполненной Островским и его сотрудниками, стало исследование плазмы импульсного разряда,

а точнее лампы-вспышки ИФП-2000 [25]. Из-за сугубо неоднородной кварцевой трубки, в которой происходит разряд, исследование этой плазмы методом классической интерферометрии полностью исключено. Целью работы было показать возможность с помощью голографии исключить искажения волнового фронта, вносимые кварцевой трубкой. Однако в этом случае искажения волнового фронта оказались настолько велики, что было невозможно совмещение модовой структуры предметного и опорного пучков, что приводило к существенному падению дифракционной эффективности голограммы. Для решения этой проблемы пришлось разработать одномодовый рубиновый лазер. Интерферограмма, полученная с помощью этого лазера, представлена на рис. 4.

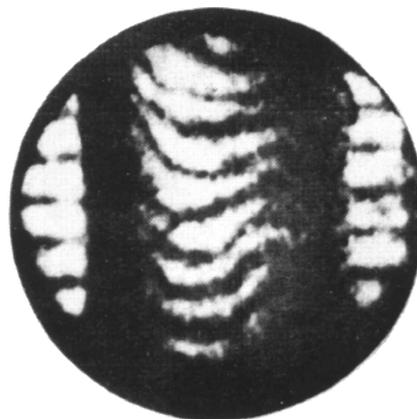


Рис. 4. Интерферограмма импульсной лампы ИФК-2000.

В том же 1967 г. для исследования плазмы разряда в ртутно-аргоновой лампе (ПРК-4) был разработан метод стробоголографии [26]. Схема установки и диск с отверстиями, модулирующий световой пучок от He-Ne-лазера, представлены на рис. 5. На оси электромотора был укреплен барабан прерывателя, через который питалась лампа, а также диск с отверстиями, через которые проходил световой пучок от He-Ne-лазера в моменты, соответствующие максимумам и паузам тока, питающего лампу.

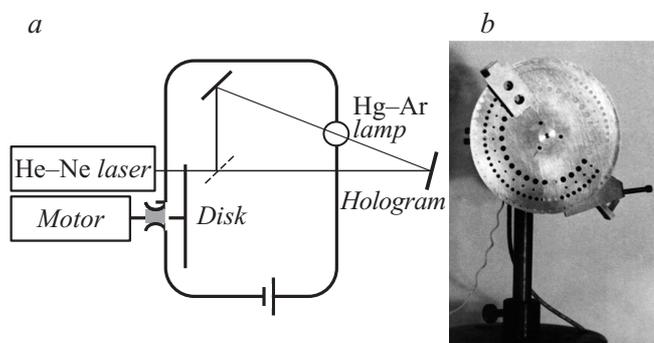


Рис. 5. Схема установки для стробо-голографического исследования газоразрядной плазмы, питаемой переменным током (*a*) и диск с отверстиями для создания стробирующих импульсов (*b*).

5.2. Исследования лазерной искры. Киноголография

Лазерная искра не только была первым объектом голографической диагностики [23], но и оказалась очень удобной для разработки различных методов голографической диагностики плазмы. В частности, для исследования лазерной искры были применены методы киноголографии [17,27] и 2-длинноволновой голографической интерферометрии [28].

В основу схем киноголографических установок, разработанных при участии Ю.И. Островского, положено предложенное им устройство для пространственно-временного разделения световых импульсов [29]. Схема пятикадровой киноголографической установки для исследования лазерной искры приведена на рис. 6. Для записи голограмм использовалось излучение импульсного рубинового лазера, прошедшее через фокус линзы 2, до возникновения искры. Временная задержка световых импульсов происходила за счет прохождения ими расстояния между зеркалами 4, 5.

Для разделения вклада электронов и атомов в рефракцию плазмы был использован метод двухдлинноволновой голографической интерферометрии. На одной фотопластинке методом двух экспозиций записывались одновременно две голограммы: красная (в свете рубинового лазера λ_1) и синяя (в свете второй гармоники лазерного излучения λ_2). На рис. 7 приведены интерферограммы лазерной искры, соответствующие λ_1 и λ_2 , и поперечные распределения концентрации электронов и атомов в плазме лазерной искры, рассчитанные при совместной обработке этих интерферограмм.

5.3. Методы резонансной и дисперсионной интерферометрии

В основу метода резонансной интерферометрии положен способ селективного увеличения чувствительности [3], предложенный Ю.И. Островским в 1961 г. Суть метода состоит в том, что показатель преломления быстро возрастает по мере приближения к линии поглощения (рис. 8, *a*), что позволяет, используя излучение, близкое к линии поглощения, селективно увеличить чувствительность интерферометрии к определению концентрации соответствующих атомов.

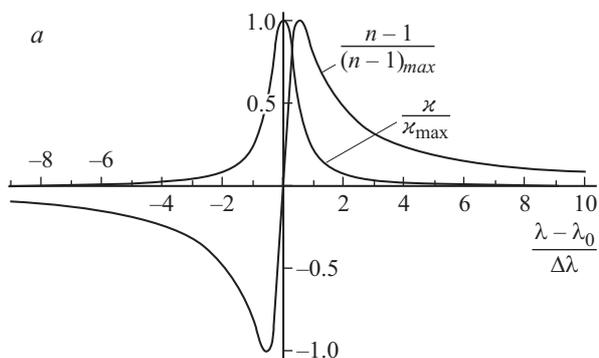


Рис. 8. Ход рефракции и коэффициента поглощения в окрестности спектральной линии (*a*) и интерферограммы дуги постоянного тока, зарегистрированные в свете двух волн: (*b* — $\lambda_1 = 694$, *c* — $\lambda_r = 766 \mu\text{m}$).

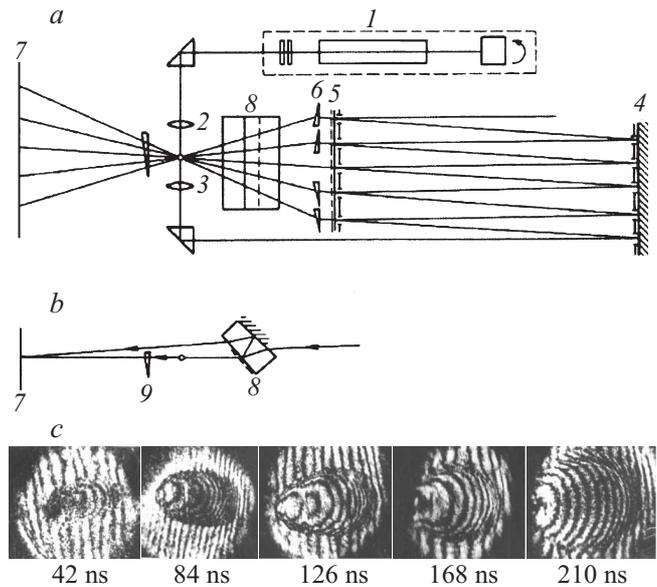


Рис. 6. Схема установки для киноголографического исследования лазерной искры (*a* — вид сверху, *b* — вид с боку). *c* — пять голографических интерферограмм, соответствующих последовательным стадиям эволюции лазерной искры: 1 — рубиновый лазер, 2, 3 — линзы, 4, 5 — зеркала световой линии задержки, 6, 9 — стеклянные клинья, 8 — светоделительный клин.

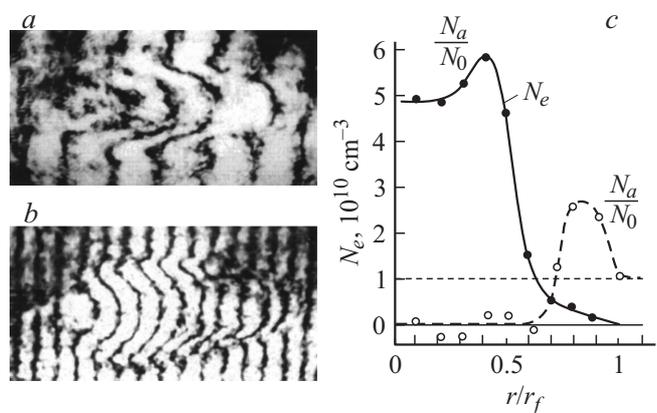
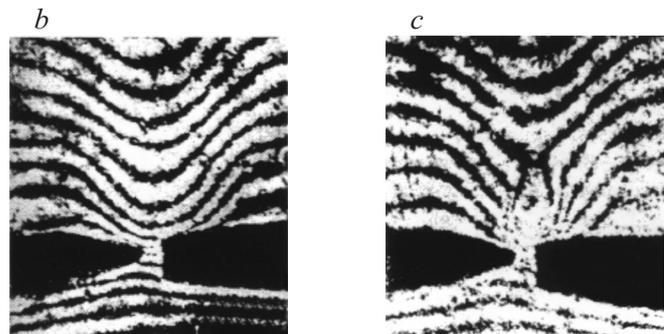


Рис. 7. Интерферограммы лазерной искры, в свете λ_1 (*a*) и λ_2 (*b*), и распределения электронов и атомов в плазме (*c*).



Разработкой голографического варианта резонансной интерферометрии под руководством Ю.И. Островского занимались его сотрудницы Г.В. Дрейден и Е.Н. Шедова [30]. Объектами исследования были плазма дуги постоянного тока, в один из электродов которой вводился препарат, содержащий калий (рис. 8, *b, c*), и лазерный факел на калиевой мишени. Резонансные интерферограммы регистрировались в свете вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) лазерного излучения в кювете с нитробензолом. Длина волны ВКР отличалась от линии поглощения калия всего на $0.7 \mu\text{m}$.

Исследование лазерного факела на калиевой мишени в воздухе проводилось в свете трех длин волн (основной частоты, второй гармоники и ВКР), что позволило разделить вклад в рефракцию электронов, атомов калия и молекул воздуха (рис. 9).

В более поздних работах по резонансной голографической интерферометрии для записи резонансных голограмм Островским и его сотрудниками использовались перестраиваемые лазеры на органических красителях. В частности, лазеры на красителях применялись при исследованиях низковольтной импульсной цезиевой дуги [31].

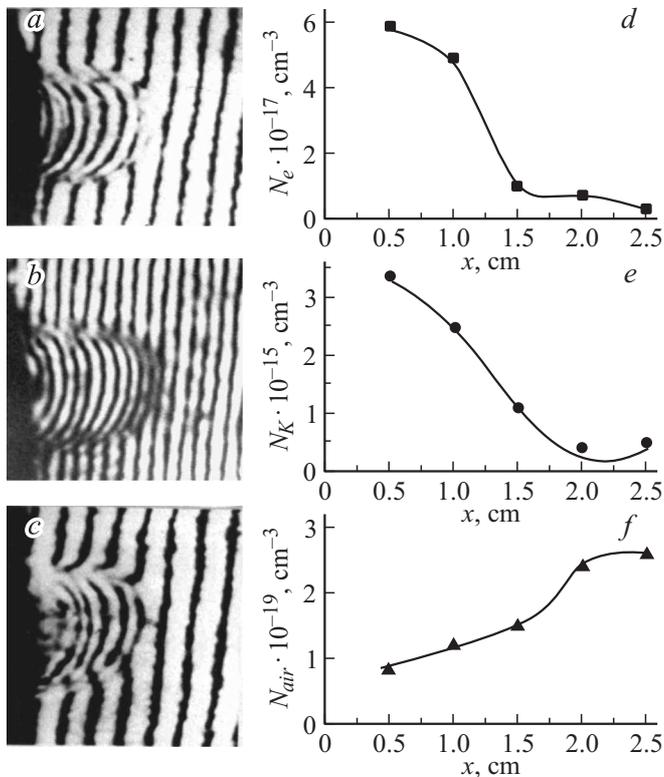


Рис. 9. Интерферограммы лазерного факела на калиевой мишени в воздухе, полученные в излучении трех длин волн: (*a* — $\lambda_1 = 694$, *b* — $\lambda_2 = 347$, *c* — $\lambda_r = 766 \mu\text{m}$) и рассчитанные по ним распределения концентрации электронов (*d*), атомов калия (*e*) и молекул воздуха (*f*).

Еще одним методом, обладающим селективной чувствительностью к разным компонентам плазмы, является метод дисперсионной голографической интерферометрии [32], предложенный Ю.И. Островским и мной. Схема записи голограммы и получения с ее помощью дисперсионной интерферограммы приведена на рис. 10. На фотопленке методом двух экспозиций записываются одновременно две голограммы: в свете излучения рубинового лазера λ_1 (красная голограмма) и его второй гармоники λ_2 (синяя голограмма). При освещении такой голограммы излучением гелий-неонового лазера в направлении, в котором распространяется волна 1-го дифракционного порядка, восстановленная синей голограммой, и волна 2-го порядка, восстановленная красной голограммой, образуется дисперсионная интерферограмма, сдвиги полос на которой пропорциональны разности показателей преломления объекта для двух волн: $\Delta n = n(\lambda_1) - n(\lambda_2)$. Если исследуемый объект не обладает дисперсией, т.е. его показатель преломления одинаков для волн λ_1 и λ_2 , то фазовые искажения этих волн одинаковы, и полосы на интерферограмме прямые (см. дисперсионную интерферограмму пламени свечи, рис. 10, *c*). В то же время на обычной интерферограмме полосы изогнуты за счет изменения плотности воздуха между первой и второй экспозициями.

Поскольку дисперсия плазмы в основном определяется ее электронной компонентой, данный метод диагностики позволяет получать пространственное распределение электронной плотности без внесения поправок на распределение тяжелых частиц (атомов и ионов).

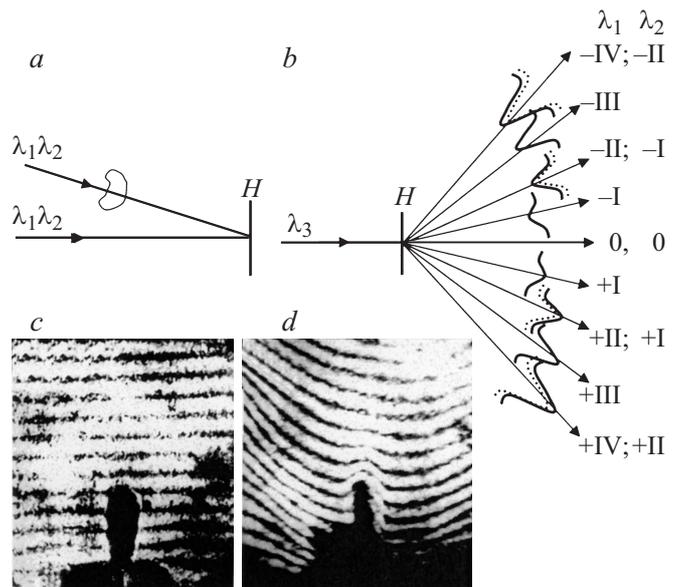


Рис. 10. *a, b* — схема записи двухдлинноволновой голограммы *H* и восстановления записанных на ней волновых фронтов в разных дифракционных порядках; *c, d* — дисперсионная и обычная интерферограммы пламени свечи.

5.4. Интерференционно-голографические исследования токовых слоев

Токовые слои могут возникать вблизи особых магнитных линий, как в астрофизической, так и в лабораторной высоко проводящей плазме. При взрывном разрушении слоя происходит выброс аккумулированной в нем энергии и ее преобразование в энергию плазменных потоков, быстрых частиц и радиации. Предполагается, что именно такие процессы происходят во время вспышек в хромосфере Солнца. Возможность возникновения токовых слоев в магнитных полях с нулевой линией была обоснована С.И. Сыроватским [33], а первые экспериментальные исследования формирования токовых слоев в лабораторных условиях были начаты в ФИАН в группе А.Г. Франк [34,35].

В 1974 г. были начаты наши совместные с сотрудниками ФИАН им. Лебедева работы по интерференционно-голографическому исследованию токовых слоев. На рис. 11 приведены схема плазменной установки и голографического интерферометра (*a* — вид сверху) и поперечное сечение плазменной камеры (*b*).

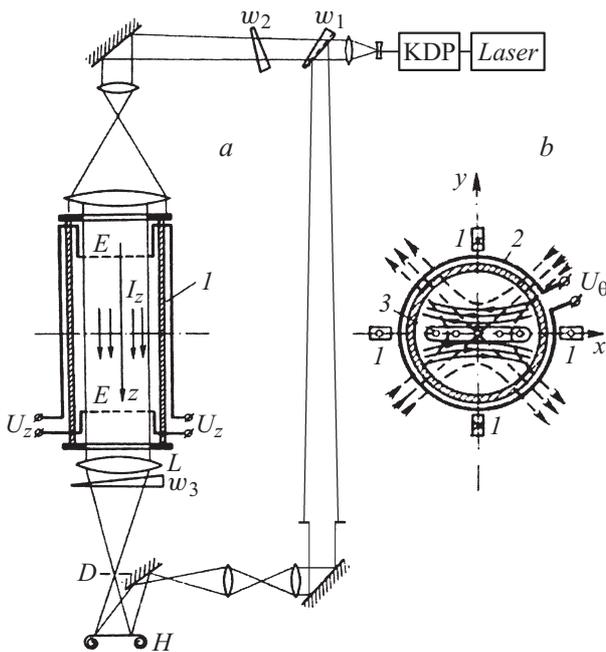


Рис. 11. Схема установки для исследования токовых слоев: *a* — вид сверху на плазменную камеру и голографический интерферометр; *b* — поперечное сечение плазменной камеры.

Токовые слои формируются в магнитном поле \mathbf{B} с нулевой линией на оси z :

$$\mathbf{B} = (B_x, B_y, B_z) = (hy, hx, 0). \quad (1)$$

Поле \mathbf{B} предварительно создается с помощью токов, протекающих через стержни I . Структура магнитных силовых линий этого поля показана на рис. 11, *b* штриховыми линиями со стрелками. Предварительная

ионизация газа осуществляется θ -разрядом 2. Ток I_z в камере возбуждается при подаче импульсного напряжения на сетчатые электроды E , расположенные вблизи торцов плазменной камеры. Взаимодействие тока I_z с магнитным полем I приводит к формированию токового слоя 3.

Голографический интерферометр, разработанный в соответствии с габаритами плазменной установки, был собран и опробован в ФТИ, после чего в разобранном виде доставлен в Москву. Однако нас забыли предупредить, что просвечивать плазму мы должны через сетчатые электроды, о наличии которых мы узнали только заглянув внутрь плазменной камеры, когда в первый раз приехали в ФИАН для съемки голограмм токового слоя. Из-за рассеяния света на этих электродах ни о каком совмещении модовой структуры предметного и опорного пучков не могло быть и речи. Сначала ситуация казалась безвыходной. Однако выход все-таки нашелся. Юрий Исаевич, которому мы в отчаянии позвонили по телефону, посоветовал применить метод пространственной фильтрации. Дело в том, что ранее [36] Островским совместно с Г.В. Дрейден и В.С. Сухоруких была показана возможность получения классических интерферограмм оптических деталей с шероховатой поверхностью путем пространственной фильтрации излучения, рассеянного поверхностью. Под руководством Г.В. Дрейден мы установили диафрагму D в фокусе линзы L (рис. 11, *a*), отделив тем самым излучение, прошедшее вдоль оси z , от излучения, дифрагировавшего на двух сетчатых электродах. Совместили модовую структуру предметного и опорного пучков и в результате получили интерферограммы токового слоя приемлемого качества. У нас тогда даже родилась поговорка: „Голография может все!“.

Уже в первой работе [37] была продемонстрирована высокая информативность метода, а именно возможность за один импульс лазера получить двумерную картину распределения электронов в плазме токового слоя (рис. 12) в момент времени, соответствующий задержке лазерного импульса относительно начала импульса тока I_z . Изменяя эту задержку, можно было исследовать эволюцию слоев во времени и пространстве. Было обнаружено эффективное сжатие плазмы в процессе формирования токового слоя.

В дальнейшем для более детальных исследований процессов формирования и взрывного разрушения токовых слоев была создана киноголографическая установка [38,39], позволяющая получать за один импульс плазменной установки пять голографических интерферограмм, сдвинутых во времени относительно друг друга на 60 ns. Схема установки приведена на рис. 13. На рис. 14 приведены 5 интерферограмм, полученных за один импульс тока I_z , и пространственные распределения электронной плотности в слое на разных стадиях его взрывного разрушения. Результаты работ по голографической диагностике плазмы обобщены в обзорных работах [40,41].

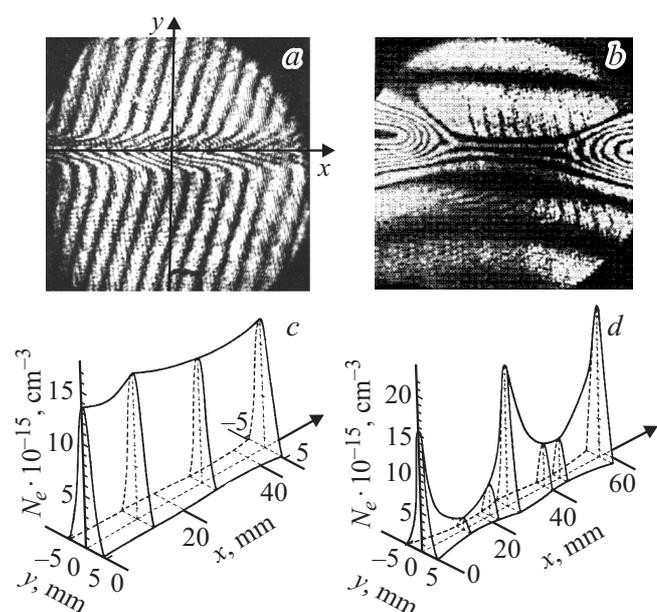


Рис. 12. Интерферограммы токовых слоев, формирующихся в различных экспериментальных условиях (*a, b*) и построенные по ним распределения концентрации электронов в токовых слоях (*c, d*).

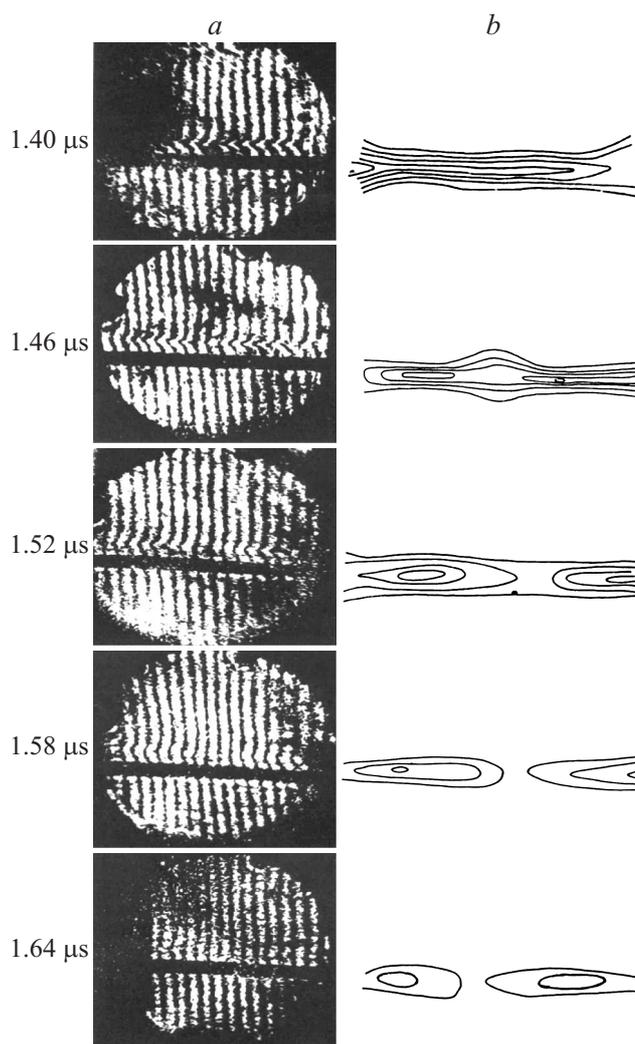


Рис. 14. Пять интерферограмм, полученные за один импульс работы плазменной установки и построенные по ним распределения N_e .

6. Динамическая голография и обращение волнового фронта

Работы по динамической голографии в парах натрия [42], выполненные Ю.И. Островским и его аспирантом Л.В. Таниным совместно с сотрудниками лаборатории Ю.Н. Денисюка, В.Г. Сидоровичем и Д.И. Стаселько, являются развитием описанных выше работ Ю.И. Островского по резонансной голографии. Использование излучения, близкого к линиям поглощения натрия, позволило существенно увеличить чувствительность данной среды при записи в ней объемных фазовых голограмм.

Схема эксперимента представлена на рис. 15. Источником излучения в этой работе служил разработанный Островским и Таниным лазер на красителе с когерентной накачкой [43], настроенный на резонансный дуплет натрия. Ширина полосы генерации лазера была около 10 \AA при длительности 10 ns и энергии в несколь-

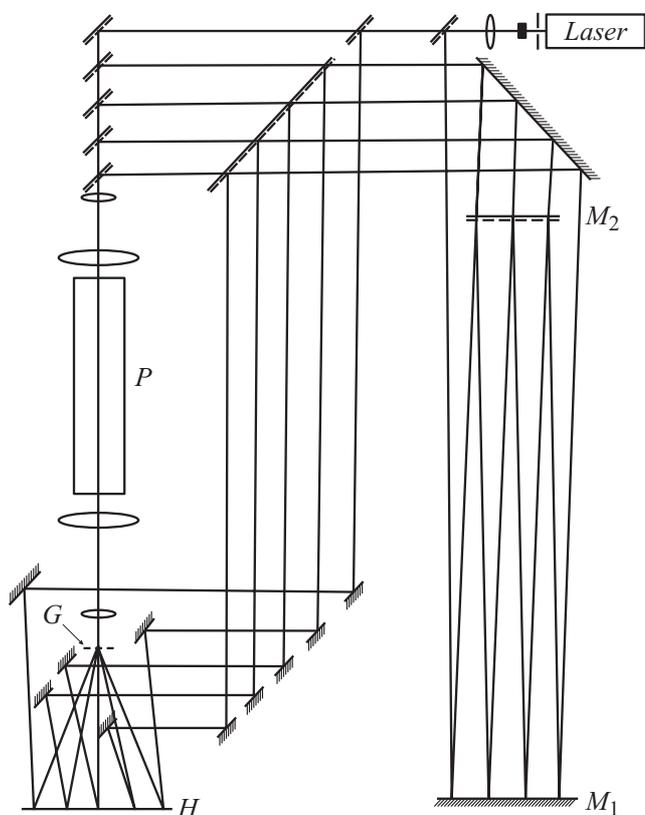


Рис. 13. Киноголографическая установка для исследования токовых слоев.

ко миллиджоулей. Лазерное излучение проходило через двухлучевой интерферометр *I* и кювету с парами натрия *4*, образуя в ней объемную фазовую голограмму, а затем фокусировалось на щель спектрографа *6*. Ход лучей в двух взаимно перпендикулярных плоскостях показан на рис. 15, *a, b*. На спектрах выходящего из кюветы излучения наряду с горизонтальными полосами, соответствующими интерференции исходных пучков, появлялись дополнительные эквидистантные полосы, соответствующие дифракции излучения на фазовой динамической решетке.

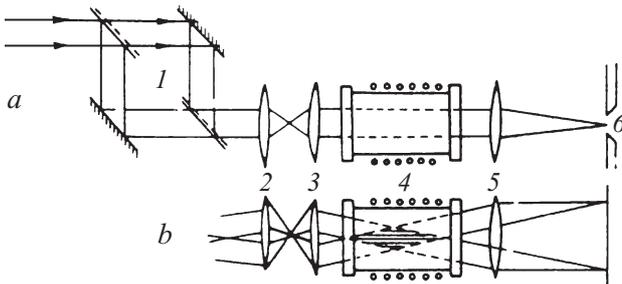


Рис. 15. Схемы записи динамических дифракционных решеток с использованием резонансного поглощения в парах натрия: *a* — вид сверху, *b* — сбоку.

Явление обращения волнового фронта импульсных лазерных пучков в реальном времени впервые наблюдалось в работе [44]. Одним из важных и перспективных приложений этого явления является возможность компенсации в реальном времени искажений световой волны, вносимых неоднородностью оптической среды.

Исследованию обращения волнового фронта пикосекундных импульсов при четырехволновом взаимодействии в ниобате лития посвящена работа Ю.И. Островского и др. [45]. Эта работа была выполнена интернациональным коллективом: помимо сотрудников лаборатории оптики плазмы в ней участвовали румынские ученые И.В. Влад, Р. Дабу и наш кубинский аспирант Хорхе Алум. Схема эксперимента представлена на рис. 16, *a*. Пикосекундный лазер *1* на YAG:Nd^{3+} генерировал одиночные импульсы длительностью 60 пикосекунд, $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$. Система призм *2* и зеркал *3* служила для формирования двух параллельных световых пучков, пересекающихся в фокусе линзы *L*. Кристалл ниобата лития *5* устанавливался перед зеркалом *7* перпендикулярно опорному пучку *I* и служил средой для записи динамической голограммы в излучении второй гармоники лазерных импульсов. Зеркало *7*, перпендикулярное оси опорного пучка, формировало считывающий пучок, сопряженный опорному пучку. При этом динамическая голограмма восстанавливала волну II^* , сопряженную предметной волне *II*. Зеркало *9* направляло эту волну на фотопленку *8*. Для сравнения на ту же пленку направлялся предметный пучок II' после прохождения им линзы и отражения от зеркал *7* и *10*.

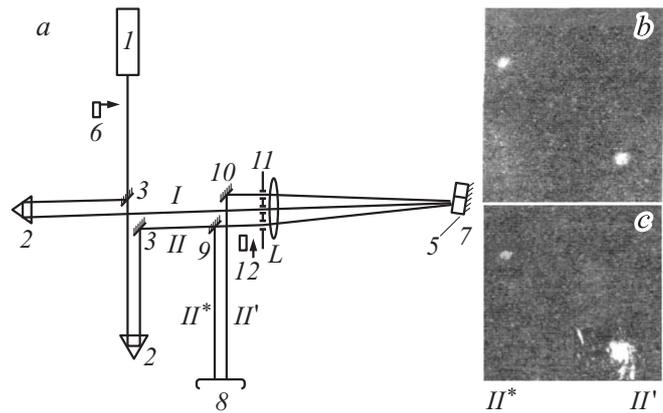


Рис. 16. *a* — схема экспериментальной установки для исследования обращения волнового фронта и фотографии обращенного пучка II^* и пучка сравнения II' : *b* — без пластины *12*, и *c* — при введении пластины в предметный пучок.

Как видно из рис. 16, *b*, структура и размеры пятен, соответствующих пучкам II^* и II' практически одинакова. В ряде экспериментов в предметный пучок вводилась неоднородная пластина из оргстекла *12*, что приводило к существенному увеличению сечения пучка II' (рис. 16, *c*). В то же время введение пластины практически не сказывалось на структуре обращенного пучка II^* . Таким образом, была продемонстрирована возможность с помощью динамической голограммы практически полностью компенсировать искажения, внесенные в исходный предметный пучок.

7. Голографические исследования гидродинамических процессов в конденсированных средах

7.1. Кавитация, инициируемая импульсным лазерным излучением

Работы в этом направлении были начаты Ю.И. Островским и его сотрудниками Г.В. Дрейден и М.И. Этинбергом в 1979 г. [46–50]. Для исследования процессов, возникающих при диэлектрическом пробое воды излучением импульсного рубинового лазера, были применены теневые и интерференционно-голографические методы.

Экспериментальная установка состояла из двух синхронизованных между собой рубиновых лазеров. Один из них генерировал импульс длительностью 20 пс, при фокусировке которого происходил пробой в воде, а второй использовался для диагностики. Теневые фотографии области пробоя при разных условиях фокусировки лазерного импульса приведены на рис. 17. При пробое в недистиллированной воде и фокусировании излучения длиннофокусной линзой возникало множество пузырьков и целый пакет ударных волн (рис. 17, *a*), центры которых были смещены вдоль каустики. При использовании дистиллированной воды и фокусировки

излучения короткофокусным зеркалом число пузырьков уменьшалось вплоть до одного (рис. 17, *b, c*).

С помощью теневых методов были исследованы процессы схлопывания пузырьков [46,47], взаимодействия кавитационных пузырьков между собой и с преградой [48], структура ударных волн, образующихся при схлопывании пузырьков [49], а также измерена скорость распространения ударных фронтов [50].

В дальнейшем для более детального исследования ударных волн была создана установка (рис. 18), позволяющая одновременно регистрировать голографическую интерферограмму *H* и двухэкспозиционную теневую картину *S* [51]. Интервал между двумя световыми импульсами, записывающими теневую картину, определялся длиной световой линии задержки (40 м), образованной зеркалами M_1, M_2, M_3 , и составлял 132 ns.

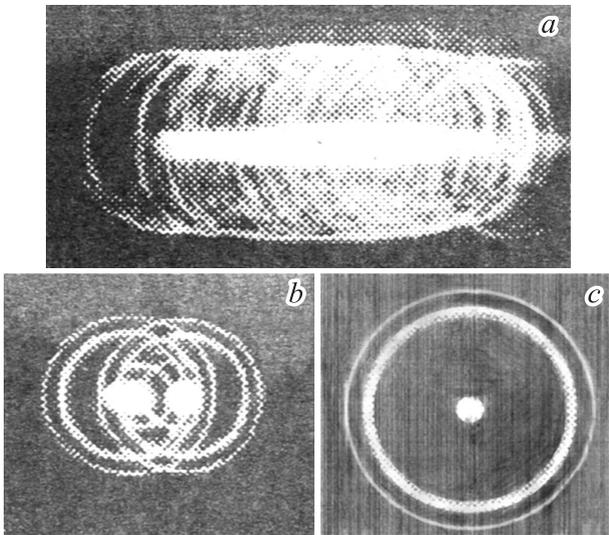


Рис. 17. Генерация ударных волн при диэлектрическом пробое воды излучением импульсного рубинового лазера.

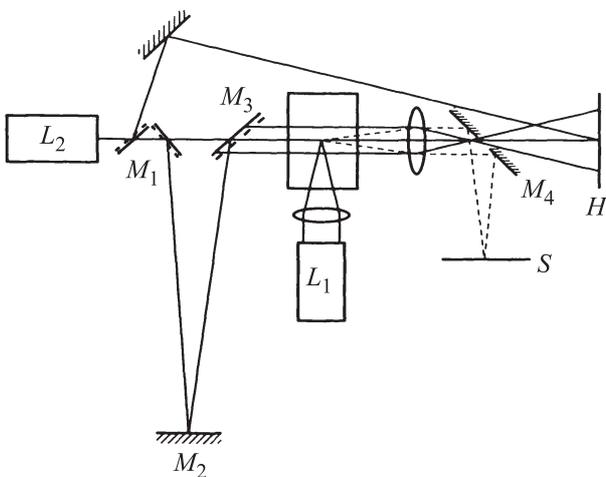


Рис. 18. Установка для одновременной регистрации двухэкспозиционной теневой картины *S* и голографической интерферограммы *H*. L_1, L_2 — импульсные рубиновые лазеры, M_1-M_4 — зеркала.

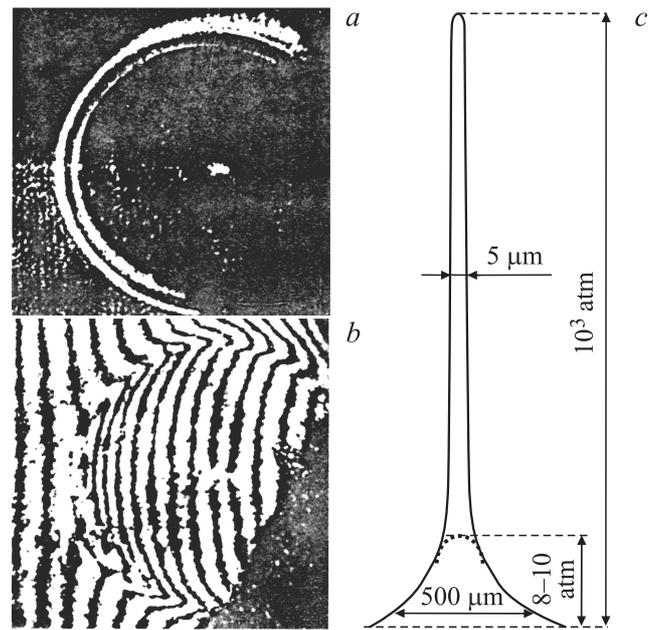


Рис. 19. Двухэкспозиционная теневая картина (*a*) и голографическая интерферограмма (*b*) ударной волны; *c* — профиль давления на фронте ударной волны, полученный в результате обработки тенеграммы и интерферограммы.

На рис. 19, *a, b* приведены голографическая интерферограмма и двухэкспозиционная тенеграмма ударной волны, возникающей при схлопывании одиночного кавитационного пузырька. Максимальное давление на фронте ударной волны, рассчитанное на основании обработки интерферограммы, составило около 8–10 atm. В то же время, измеряя расстояния между двумя фронтами на тенеграмме, можно рассчитать скорость перемещения фронта ударной волны, которая, согласно законам гидродинамики, однозначно связана с давлением на фронте. Расчетное давление в этом случае составило 10^3 atm. Такое расхождение авторы [51] объяснили тем, что ударный фронт за время лазерного импульса проходит расстояние, существенно превышающее его толщину, и поэтому не может быть зарегистрирован на голографической интерферограмме. Профиль импульса давления, построенный в результате обработки интерферограммы и двухэкспозиционной теневой картины, приведен на рис. 19, *c*.

С помощью установки, аналогичной рис. 18, были исследованы ударные волны, возникающие при воздействии импульсного лазерного излучения ($\Delta t = 20$ ns) на металлизированные полимерные пленки, погруженными в воду [52]. Прделанные авторами расчеты профиля давления на фронте ударной волны позволили сделать вывод о том, что в данном случае происходит взрывное разрушение слоя за время, существенно меньшее длительности лазерного импульса. На основе этих исследований в дальнейшем был разработан метод определения энергетического порога импульсного лазерного разрушения поверхности твердых материалов [53].

При взрывном испарении изогнутой алюминированной пленки были получены самофокусирующиеся ударные волны, которые могут найти применение в медицине для бесконтактного раздробления конкрементов в живом организме [54].

Следует отметить, что в ходе этих исследований Ю.И. Островским и его сотрудниками было получено более 10 авторских свидетельств на устройства и способы исследования лазерной кавитации, ударных волн в жидкости и возможные их применения.

7.2. Голографические исследования солитонов в твердотельных волноводах

В последние годы жизни Ю.И. Островского были начаты работы по интерференционно-голографическому исследованию солитонов деформации в твердых телах. Эти работы велись в тесном контакте с группой теоретиков, возглавляемой А.М. Самсоновым, предсказавшим возможность возбуждения при определенных условиях солитонов в нелинейно-упругом стержне. Впервые возбудить и зарегистрировать солитон в твердом теле удалось в работе [55]. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 20, *a*. Солитон возбуждался в цилиндрическом стержне 13, изготовленном из полистирола и помещенном в кювету с водой. Несфокусиро-

ванное излучение импульсного лазера 11 направлялось на алюминированное зеркало 12. В результате взрывного испарения алюминиевого слоя возникала первичная ударная волна. Эта волна проходила через торец внутри стержня 13 и распространялась вдоль него. Лазер 1 использовался для регистрации голографических интерферограмм. При этом предметный пучок просвечивал стержень в поперечном направлении через два отполированных продольных среза. На рис. 20, *b* приведена одна из голографических интерферограмм, на которой видны фронт первичной волны сжатия (*A*), солитон (*C*) и боковая волна Пуассона (*B*), возникающая в жидкости из-за деформации поверхности стержня [56].

Здесь следует отметить, что начатые при жизни Юрия Исаевича пионерские работы по голографическому исследованию солитонов в нелинейно упругих средах продолжались до последнего времени усилиями учениц и сотрудниц Ю.И. Островского — Г.В. Дрейден и И.В. Семеновой под руководством А.М. Самсонова, и неоднократно премировались на конкурсах на лучшую работу ФТИ.

8. Голографическая виброметрия и исследование рельефа

Как уже говорилось, голографическая интерферометрия дает возможность интерференционного исследования объектов с шероховатой (диффузно рассеивающей) поверхностью. Однако для получения контрастной голографической интерферограммы необходимо выполнить два условия: за время экспонирования голограммы объект не должен смещаться, а микроструктура его поверхности не должна изменяться. Но Юрий Исаевич не хотел мириться с этими „табу“ и искал способы их преодоления. Первые шаги в этом направлении были сделаны еще в 70-е годы, когда метод стробоголографии, первоначально разработанный для исследования плазменных процессов [26], был применен в голографической виброметрии [57].

8.1. Стробо-голографическая виброметрия

Здесь следует заметить, что уже в одной из первых работ по голографической интерферометрии [15] Р. Пауэллом и К. Стетсоном была продемонстрирована возможность получения интерферограммы вибрирующего объекта. В предложенном ими методе „усреднения во времени“ запись голограммы вибрирующего объекта осуществлялась в свете непрерывного He–Ne-лазера, а длительность экспонирования голограммы существенно превышала период вибраций. Это приводило к периодическому изменению фазы предметного пучка относительно опорного и существенному уменьшению контраста интерференционных полос, соответствующих областям объекта, колеблющимся с большой амплитудой.

В отличие от метода „усреднения во времени“ в стробо-голографической виброметрии голограмма экспони-

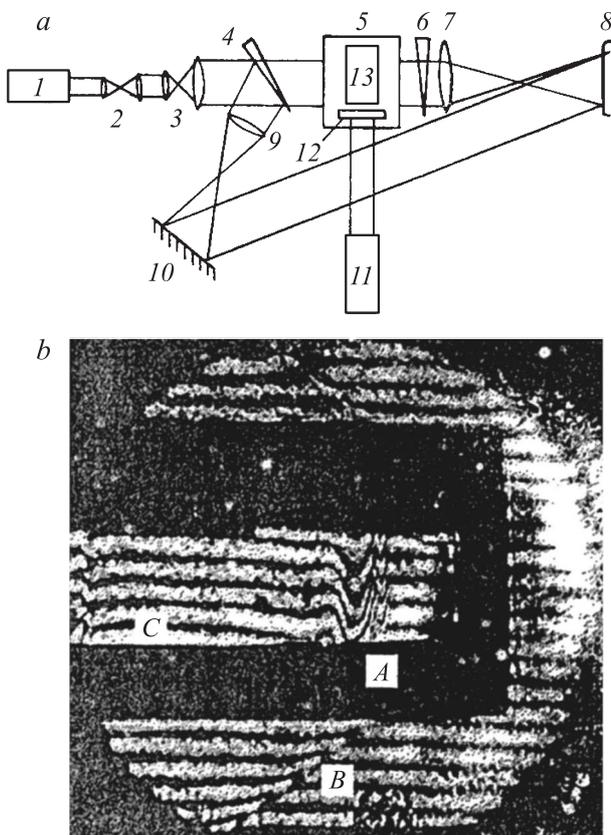


Рис. 20. Схема установки для генерации и наблюдения нелинейных волн деформации (*a*) и интерферограмма процесса формирования солитона (*b*).

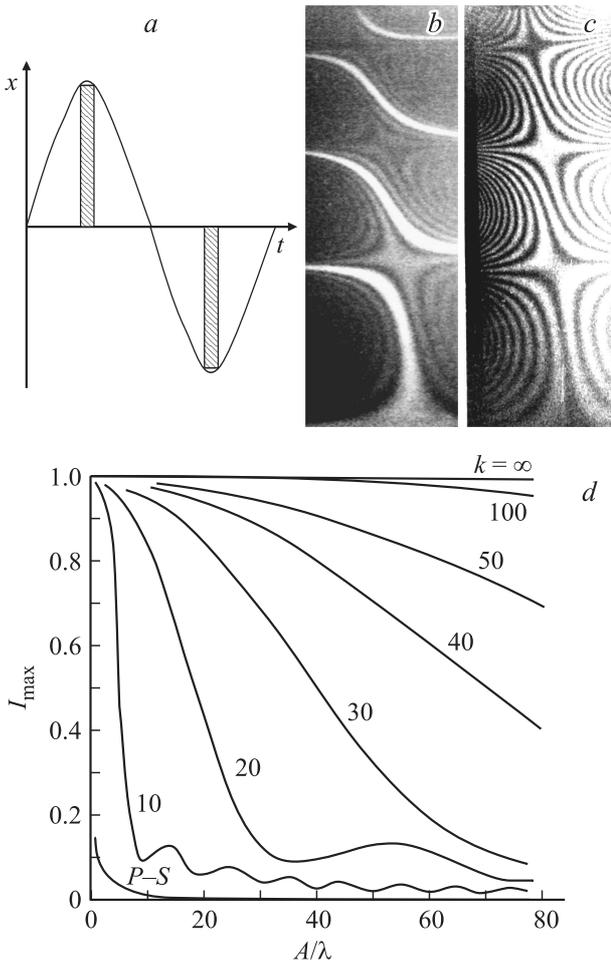


Рис. 21. *a* — смещение поверхности вибрирующего объекта во время экспонирования голограммы, *b, c* — голографические интерферограммы турбинной лопатки, зарегистрированные методом усреднения во времени (*b*) и методом стробоголографии (*c*), *d* — интенсивности интерференционных полос в зависимости от амплитуды колебаний A и скважности стробирующих импульсов k .

руется короткими лазерными импульсами, синхронизованными с моментами, когда вибрирующий объект находится в своих крайних положениях и практически останавливается. На рис. 21, *a* соответствующие временные интервалы заштрихованы. На рис. 21, *b* приведена голографическая интерферограмма вибрирующей турбинной лопатки, полученная методом Пауэлла–Стетсона. Линии на такой интерферограмме объединяют точки поверхности объекта, колеблющиеся с одинаковой амплитудой. Яркими на этой интерферограмме являются только узловые линии, на которых амплитуда колебаний равна нулю, а по мере увеличения амплитуды яркость и контраст полос быстро убывают. В то же время на интерферограмме, полученной методом стробоголографии (рис. 21, *c*), полосы остаются яркими и контрастными и при больших амплитудах колебаний. Результа-

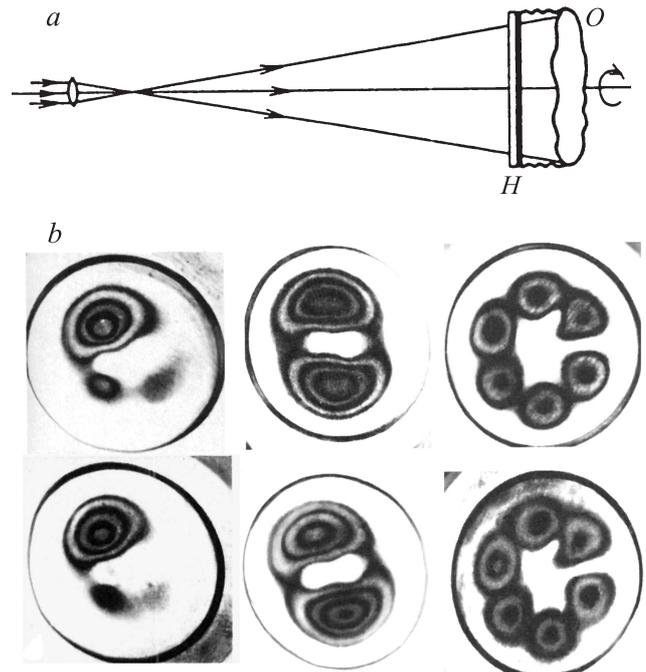


Рис. 22. Схема записи голограмм вращающегося и одновременно вибрирующего объекта (*a*) и интерферограммы сотовой диафрагмы, вибрирующей на разных частотах при вращении мембраны (*b*) и при неподвижной мембране (*c*).

ты расчетов интенсивности интерференционных полос, в зависимости от амплитуды вибраций и скважности стробирующих импульсов, приведены на рис. 21, *d* [58]. Кривая $P-S$ на этом рисунке соответствует методу Пауэлла–Стетсона.

8.2. Голографическая интерферометрия движущихся объектов

Следует напомнить, что в обоих описанных выше случаях (рис. 21, *b, c*) вибрирующий объект прочно закреплялся на вибростенде, чтобы избежать смещения микроструктуры его поверхности во время экспонирования голограммы. В дальнейшем Юрий Исаевич поставил перед собой и своими учениками более сложную задачу: разработать методы голографической интерферометрии движущихся объектов. В этих разработках участвовали его аспиранты — Николай Морозов и Хорхе Алум.

Не останавливаясь на различных подходах к решению этой проблемы, описанных в литературе, приведу здесь только простую и изящную схему исследования вибраций вращающегося объекта (рис. 22, *a*), предложенную Ю.И. Островским и его сотрудниками [59]. Фотопластинка (H) жестко скреплена с объектом (O) и вращается вместе с ним, а голограмма записывается по методу Денисюка — во встречных пучках. С помощью этого устройства были получены голографические интерферограммы сотовых мембран, вибрирующих на разных частотах (рис. 22, *b*): верхний ряд — при вращении мембраны, нижний ряд — при неподвижной мембране. Как

видно, вращение мембраны в данном случае практически не влияет на структуру и контраст интерференционных полос.

8.3. Исследование разностного рельефа

Серия работ Ю.И. Островского, в которой участвовали его аспиранты Луис Марти, Надежда Рейнланд, Ирина Семенова, а также многочисленные студенты и практиканты, посвящена исследованию рельефа методами голографической интерферометрии. При этом особый интерес Юрий Исаевич проявлял к исследованию разностного рельефа детали и эталонного образца, т.е. к сравнению двух объектов с заведомо разной микроструктурой поверхности. Тем самым он покусился и на второе табу голографической интерферометрии — неизменность микроструктуры объекта.

В ходе работ по решению этой проблемы, Островским и его соавторами были получены 10 свидетельств на

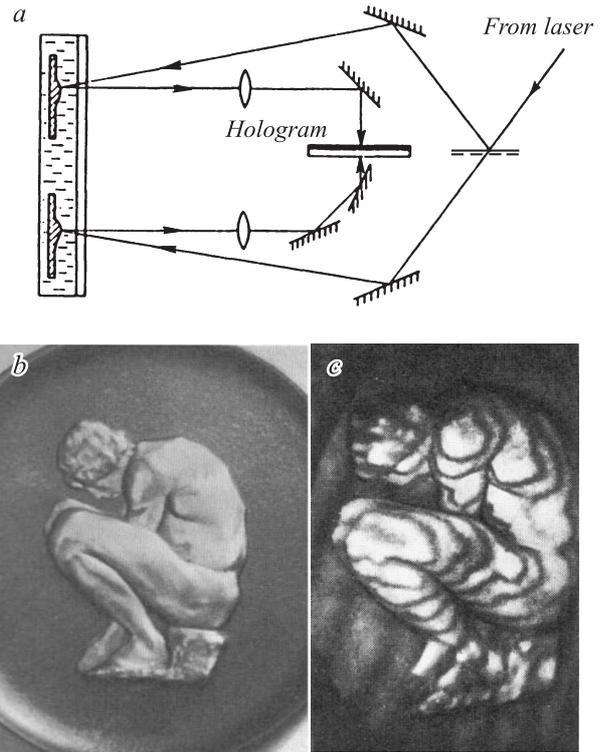


Рис. 24. Схема метода эталонной опорной волны при записи голограммы во встречных пучках (а), фотография объекта (b) и контурная карта рельефа (с).

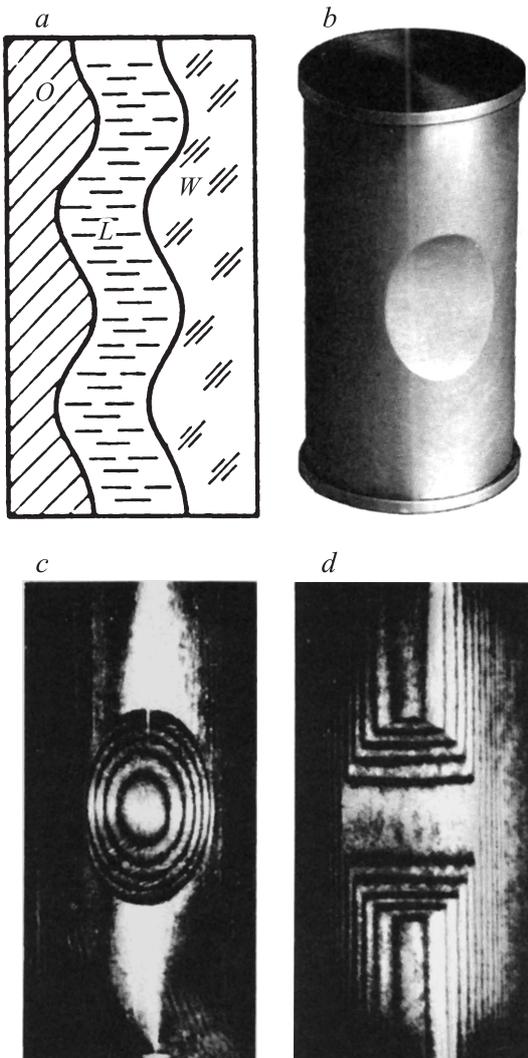


Рис. 23. Схематическое изображение иммерсионной кюветы с эталонным окном (а), фотография исследуемого объекта (b), и контуры разностного (с) и абсолютного (d) рельефа.

изобретения. Здесь я остановлюсь только на двух предложенных Ю.И. Островским способах получения контуров разностного рельефа: методах эталонного окна [60] и эталонной волны [61], являющихся разновидностью иммерсионного метода [62].

Метод эталонного окна отличается от [62] тем, что вместо плоскопараллельного окна кюветы используется окно W , внутренняя поверхность которого имеет рельеф, обратный рельефу эталонного образца O . При этом толщина слоя жидкости L между эталонным окном и поверхностью исследуемого образца характеризует разностный рельеф. На фотопластинке последовательно записываются две голограммы при разных значениях показателя преломления жидкости. На рис. 23 приведена иммерсионная кювета с эталонным окном (а), фотография исследуемого объекта (b), контуры разностного (с) и абсолютного (d) рельефа. В последнем случае окно кюветы было плоским.

В методе эталонной волны [61] голограмма регистрируется во встречных пучках, один из которых отражен от исследуемого объекта, а другой от эталонной детали (рис. 24, а). При записи голограмм изображения объекта и эталона фокусируются и совмещаются в плоскости голограммы. Восстановление контуров рельефа производится в белом свете. На рис. 24 приведена фотография объекта (b) и контуры его абсолютного рельефа (с). В качестве эталонного объекта в данном случае использовалась плоская пластина с диффузно отражающей поверхностью.

Различие микрорельефа сравниваемых объектов в обоих описанных выше методах роли не играет из-за снижения чувствительности интерференционного метода за счет малого изменения показателя преломления жидкости между первой и второй экспозицией голограммы.

9. Корреляционная голографическая и спекл-интерферометрия

Одним из наиболее успешных и плодотворных направлений научной деятельности Ю.И. Островского в 1985–1990 гг. была разработка методов корреляционной голографической и спекл-интерферометрии. Работы в этом направлении проводились совместно с сотрудниками МИФИ Осинцевым, Щепиновым и Яковлевым. Теоретические основы методов корреляционной спекл-фотографии и корреляционной голографической интерферометрии и обзор экспериментальных результатов приведены в работах [63–66].

Как известно, контраст интерференционных полос в голографической интерферометрии и полос Юнга в спекл-интерферометрии уменьшается при изменении микроструктуры шероховатой поверхности между двумя экспозициями, что обусловлено декорреляцией двух восстанавливаемых волн (в случае интерферометрии) или двух спекл-структур (в случае спекл-фотографии). Поэтому обычно при проведении исследований этими методами стараются избегать изменений микроструктуры объекта. С другой стороны, зависимость контраста полос от микроструктуры может быть использована как инструмент для исследования характера изменений микроструктуры поверхности при различного рода воздействиях на объект.

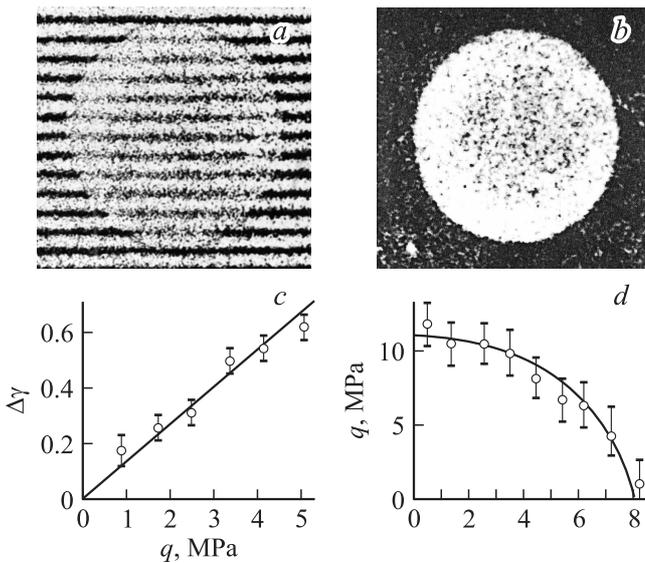


Рис. 25. Визуализация зоны контакта металлической плиты с торцом цилиндра: *a* — голографическая интерферограмма, *b* — спекл-фотография, полученная методом вычитания изображений, *c* — эмпирическая зависимость контраста $\Delta\gamma$ от давления, *d* — распределение давления по радиусу отпечатка.

9.1. Исследования контактных явлений

Метод корреляционной голографической интерферометрии был использован для исследования контактных давлений, возникающих при соприкосновении двух тел [67,68]. На рис. 25, *a* приведена двухэкспозиционная голографическая интерферограмма зоны контакта металлической плиты и металлического цилиндра (первая экспозиция до контакта, вторая — после контакта). Видно существенное уменьшение контраста полос в зоне контакта из-за декорреляции микроструктуры. На рис. 25, *b* приведена спекл-фотография, полученная методом вычитания изображений. В этом случае зона контакта видна как яркое пятно на темном фоне. Эмпирическая зависимость контраста от величины контактного давления приведена на рис. 25, *c*. Эта зависимость была в дальнейшем использована для получения распределения давления в зоне контакта сферы с плитой рис. 25, *d*. На этом рисунке точки соответствуют экспериментальным значениям давления, найденным по интерферограмме, а сплошная кривая — результат теоретического расчета.

9.2. Исследования кавитационной эрозии

В работе [69] метод корреляционной голографической интерферометрии был использован для исследования кавитационной эрозии. В этом случае исследуемый образец после первой экспозиции голограммы переносился на кавитационный стенд, где в течение определенного времени подвергался кавитационному воздействию. После этого образец снова возвращался на голографическую установку, и голограмма экспонировалась повторно. На интерферограммах (рис. 26) отчетливо видна зона кавитационного воздействия. Видно также, что контраст полос уменьшается при увеличении времени воздействия. Кроме того, помимо изменения контраста, наблюдается также искривление полос, свидетельствующее о макроскопических изменениях рельефа поверхности в результате кавитационного воздействия.

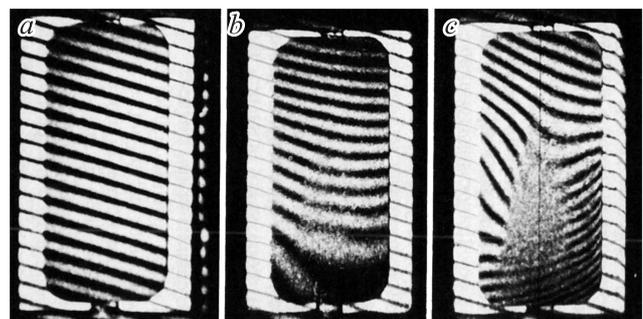


Рис. 26. Картина интерференционных полос на поверхности образца в исходном состоянии (*a*) и после кавитационного воздействия в течение 20 (*b*) и 40 (*c*) мин.

10. Научное наследие Ю.И. Островского

Научное наследие Ю.И. Островского включает около 250 научных работ, 45 изобретений и 15 книг. Первая из его книг „Голография“ [70] была издана в 1970 г. Ее научным редактором был акад. Б.П. Константинов. Эта книга сразу же стала бестселлером, в дальнейшем ее расширенное и дополненное издание было опубликовано в 1973 г. под названием „Голография и ее применение“ [71], затем были опубликованы переводы этой книги на английский, итальянский и немецкий языки. В 1977 г. Ю.И. Островским (совместно с М.М. Бутовским и Г.В. Островской) была опубликована первая монография по голографической интерферометрии [72], переведенная на английский и изданная в Springer-Verlag в 1980 г. [73]. По этим книгам не одно поколение ученых осваивало азы голографии и голографической интерферометрии. Книга „Техника и практика спектроскопии“ [74], написанная Островским в соавторстве с А.Н. Зайделем и мной, использовалась в качестве учебного пособия на физическом факультете Ленинградского университета и Института точной механики и оптики (ЛИТМО), а ее перевод на испанский язык — в ряде вузов на Кубе. Последняя книга Ю.И. Островского, В.П. Щепинова и В.В. Яковлева „Голографические интерференционные методы измерения деформаций“, вышедшая в 1988 г. [63], была издана в Springer-Verlag в 1992 г. [75].

Следует также отметить, что по инициативе Юрия Исаевича и при его участии в качестве редактора

переводов были изданы на русском языке основополагающие монографии по голографии и голографической интерферометрии. В частности, книги Кольера, Беркхарда и Лина [76], Франсона [77], Веста [78], Шумана и Дюба [79]. Юрий Исаевич также являлся членом редколлегии журнала „Optics and Laser Technology“.

Важное место в научной деятельности Ю.И. Островского занимало изобретательство. Им было получено 45 авторских свидетельств на изобретения. По числу изобретений он занимал 2-е место по ФТИ. Разработанные Ю.И. Островским интерференционно-голографические методы виброметрии и неразрушающего контроля были внедрены на многих промышленных предприятиях Ленинграда, см. [80].

Ю.И. Островский принимал активное участие в работе Совета по голографии АН СССР, созданного по инициативе Б.П. Константинова. С начала работы совета (1971 г.) и до конца своей жизни Юрий Исаевич был заместителем Ю.Н. Денисюка, по секции „Оптическая голография“ этого Совета. Он также был членом оргкомитета большинства школ по голографии. Лекции его на этих школах пользовались неизменным успехом, и почти всегда он избирался „лучшим лектором“ этих школ.

В течение многих лет Юрий Исаевич читал курс голографии на кафедре оптоэлектроники ЛЭТИ (рис. 27), возглавляемой Нобелевским лауреатом, академиком Ж.И. Алферовым. По представлению этой кафедры в 1979 г. Островскому было присвоено звание профессора. Островский был также членом Ученых советов по защите диссертаций при ЛГУ и ЛИТМО.



Рис. 27. Кафедра оптоэлектроники. Первый ряд (слева направо): В.Н. Абакумов, Ж.И. Алферов, Б.В. Царенков, Ю.И. Островский, В.Г. Скобов, О.В. Константинов, В.И. Перель. Второй ряд (слева направо): Б.И. Шкловский, В.Е. Челноков, Б.П. Перегуд.

Юрий Исаевич умер в январе 1992 года в возрасте 65 лет, на пике своей научной активности. Об этом свидетельствует, в частности, тот факт, что 14 его работ вышли в свет уже после его смерти. Часть из этих работ была направлена в печать еще им самим, другие — были завершены и опубликованы его учениками в период с 1992 по 1994 г.

11. Конкурс им. Ю.И. Островского

В день 70-летия Юрия Исаевича (9.06.1996) на семинаре, посвященном его памяти, было принято решение об учреждении премии им. Ю.И. Островского как общепризнанного основоположника Российской школы голографической интерферометрии. Учредителями этой премии явились Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе и Акционерный банк „Россия“. Председателем экспертного совета по присуждению премии был избран Ю.Н. Денисюк, исполнявший эту должность вплоть до своей смерти в 2006 г. Бессменным секретарем экспертного совета является сотрудница Ю.И. Островского Г.В. Дрейден.

Согласно принятому регламенту, премия им. Ю.И. Островского присуждается за лучшие научные работы в области голографии и интерферометрии, выполненные на территории России и стран СНГ и опубликованные в отечественных или зарубежных журналах в течение пяти лет, предшествующих году присуждения премии. Ежегодно присуждаются две премии: первая — 66.7% и вторая — 33.3% премиального фонда. К настоящему времени конкурс проводился уже 19 раз.

В текущем году должен состояться Юбилейный, 20-й конкурс. Подробности о конкурсе на премию Ю.И. Островского можно узнать на сайте: <http://ostrovsky-award.ru>

Список литературы

- [1] *Островский Ю.И., Пенкин Н.П., Шабанова Л.Н.* // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1958. Т. 22. № 6. С. 725–729.
- [2] *Островский Ю.И.* // Опτικο-механическая промышленность. 1962. № 11. С. 35–39.
- [3] *Островский Ю.И.* // А.С. № 268732 от 3.02.1970 по заявке № 693463 от 16.01.1961 г.
- [4] *Константинов Б.П., Зайдель А.Н., Константинов В.Б., Островский Ю.И.* // ЖТФ. 1966. Т. 36. Вып. 9. С. 1718–1721.
- [5] *Зайдель А.Н., Константинов В.Б., Островский Ю.И.* // Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии. 1966. Т. 11. Вып. 5. С. 381–382.
- [6] *Островский Ю.И.* // А.С. № 199659 от 16.05.1967 по заявке № 1064302 от 23.03.1966.
- [7] *Островский Ю.И.* // А.С. № 2122751 от 13.12.1967 по заявке № 1125594 от 13.01.1967.
- [8] *Островский Ю.И.* // А.С. № 2443216 от 24.02.1969 по заявке № 1130382 от 30.01.1967.
- [9] *Островский Ю.И.* // А.С. № 207018 от 25.09.1967 по заявке № 1131610 от 4.02.1967.
- [10] *Гуревич С.Б., Гаврилов Г.А., Константинов А.Б., Константинов В.Б., Островский Ю.И., Черных Д.Ф.* // ЖТФ. 1968. Т. 38. Вып. 3. С. 513–519.
- [11] *Brooks R., Heflinger L., Wuwerker R.* // Appl. Phys. Lett. 1965. Vol. 7. P. 248–249.
- [12] *Burch J.* // Prod. Eng. 1965. Vol. 44. P. 431–442.
- [13] *Horman M.H.* // Appl. Opt. 1965. Vol. 4. P. 333–336.
- [14] *Collier R.I., Doherty E.T., Pennington K.S.* // Appl. Phys. Lett. 1965. Vol. 7. P. 223–225.
- [15] *Powell R.L., Stetson K.A.* // JOSA. 1965. Vol. 55. P. 1593–1598.
- [16] *Heines K.A., Hildebrand B.P.* // Phys. Lett. 1965. Vol. 19. P. 10.
- [17] *Kakos A., Ostrovskaya G.V., Ostrovskii Yu.I., Zaidel A.N.* // Phys. Lett. 1966. Vol. 23. N 1. P. 81–83.
- [18] *Мустафин К.С., Селезнев В.А., Штырков Е.И.* // А.С. 272602, 1968 г. Опт. и спектр. 1970. Т. 28. С. 1186.
- [19] *Александров Е.Б., Бонч-Бруевич А.М.* // ЖТФ. 1967. Т. 37. Вып. 2. С. 360–369.
- [20] *Gabor D.* // Nature. 1949. Vol. 141. P. 777.
- [21] *Leith E.N., Upatnieks J.* // J. Opt. Soc. Amer. 1962. Vol. 52. P. 1123.
- [22] *Денисюк Ю.Н.* // ДАН СССР. 1962. Т. 144. С. 1275.
- [23] *Островская Г.В., Островский Ю.И.* // Письма ЖЭТФ. 1966. Т. 4. С. 121.
- [24] *Jahoda F.C., Jeffries R.A., Sawyer G.A.* // Appl. Opt. 1967. Vol. 6. P. 1407.
- [25] *Ashcheulov Yu.I., Dymnikov A.D., Ostrovsky Yu.I., Zaidel A.N.* // Phys. Lett. 1967. Vol. 25. N 1. P. 61–62.
- [26] *Zaidel A.N., Ostrovsky Yu.I.* // Conf. on Phenom. in Ionized Gases. Vienna, 1967. P. 508.
- [27] *Комиссарова И.И., Островская Г.В., Шапиро Л.Л.* // ЖТФ. 1969. Т. 38. С. 1369.
- [28] *Комиссарова И.И., Островская Г.В., Шапиро Л.Л.* // ЖТФ. 1970. Т. 40. С. 1072.
- [29] *Островский Ю.И.* А.С. № 179188 от 29.11.1965 по заявке № 819045 от 14.02.1963 г.
- [30] *Dreiden G.V., Ostrovsky Yu.I., Shedova E.N., Zaidel A.N.* // Opt. Comm. 1970. Vol. 4. N 3. P. 209–313.
- [31] *Мизабеков А.М., Митрофанов Н.К., Островский Ю.И., Шедова Е.Н.* // ЖТФ. 1981. Т. 51. Вып. 10. С. 2038–2042.
- [32] *Островская Г.В., Островский Ю.И.* // ЖТФ. 1970. Т. 40. С. 2419–2422.
- [33] *Сыроватский С.И.* // ЖЭТФ. 1966. Т. 50. С. 1133.
- [34] *Сыроватский С.И., Франк А.Г., Ходжаев А.З.* // Письма в ЖЭТФ. 1972. Т. 15. С. 138.
- [35] *Франк А.Г.* // Тр. ФИАН. 1974. Т. 43. С. 10.
- [36] *Дрейден Г.В., Островский Ю.И., Сухоруких В.С.* // Опт. и спектр. 1972. Т. 32. С. 226.
- [37] *Дрейден Г.В., Зайдель А.Н., Марков В.С., Мирзабеков А.М., Островская Г.В., Островский Ю.И., Токаревская Н.П., Франк А.Г., Ходжаев А.Г., Шедова Е.Н.* // Письма в ЖТФ. 1975. Т. 1. Вып. 3. С. 141–146.
- [38] *Дрейден Г.В., Марков В.С., Островская Г.В., Островский Ю.И., Петров М.В., Филиппов В.Н., Франк А.Г., Ходжаев А.З., Шедова Е.Н.* // Физика плазмы. 1978. Т. 4. Вып. 1. С. 14–17.
- [39] *Дрейден Г.В., Комиссарова И.И., Марков В.С., Островская Г.В., Островский Ю.И., Филиппов В.Н., Франк А.Г., Ходжаев А.З., Шедова Е.Н.* // ЖТФ. 1981. Т. 51. Вып. 9. С. 1850–1857.
- [40] *Зайдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И.* // ЖТФ. 1968. Т. 38. Вып. 9. С. 1405–1419.

- [41] *Ostrovskaya G.V., Ostrovsky Yu.I.* // Progr. Opt. 1985. Vol. 22. P. 199–270.
- [42] *Островский Ю.И., Сидорович В.Г., Стаселько Д.И., Танин Л.В.* // Письма в ЖТФ. 1975. Т. 1. Вып. 22. С. 1030–1033.
- [43] *Островский Ю.И., Танин Л.В.* // ЖТФ. 1975. Т. 45. Вып. 8. С. 1756–1766.
- [44] *Степанов Б.П., Ивакин Е.В., Рубанов А.С.* // ДАН СССР. 1971. Т. 196. С. 567.
- [45] *Алум Х.П., Влад И.В., Дабу Р., Ковальчук Ю.В., Островская Г.В., Островский Ю.И.* // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. Вып. 22. С. 1365–1368.
- [46] *Дрейден Г.В., Островский Ю.И., Этинберг М.И.* // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. Вып. 11. С. 669–674.
- [47] *Дрейден Г.В., Островский Ю.И., Этинберг М.И.* // Письма в ЖТФ. 1980. Т. 6. Вып. 13. С. 805–811.
- [48] *Дрейден Г.В., Островский Ю.И., Этинберг М.И.* // ЖТФ. 1981. Т. 51. Вып. 11. С. 2337–2344.
- [49] *Дрейден Г.В., Островский Ю.И., Этинберг М.И.* // Письма в ЖТФ. 1981. Т. 7. Вып. 13. С. 822–826.
- [50] *Дрейден Г.В., Дмитриев А.П., Островский Ю.И., Этинберг М.И.* // ЖТФ. 1983. Т. 53. Вып. 2. С. 311–314.
- [51] *Дмитриев А.П., Дрейден Г.В., Островский Ю.И., Этинберг М.И.* // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 2. С. 384–387.
- [52] *Дрейден Г.В., Островский Ю.И., Семенова И.С.* // Изв. Сиб.отд. АН СССР. 1990. Вып. 4. С. 47–50.
- [53] *Вейко В.П., Дрейден Г.В., Островский Ю.И., Семенова И.В., Шахно Е.Ф.* // ЖТФ. 1990. Т. 60. Вып. 4. С. 162–164.
- [54] *Ostrovsky Yu.I., Dreiden G.V., Semenova I.V.* // Optics in Life Science. Proc. of Garmish-Partenkirchen's Conf., 1990.
- [55] *Дрейден Г.В., Островский Ю.И., Самсонов А.М., Семенова И.В., Сокуринская Е.В.* // ЖТФ. 1988. Т. 58. Вып. 10. С. 2040–2047.
- [56] *Дрейден Г.В., Островский Ю.И., Самсонов А.М., Семенова И.В., Сокуринская Е.В.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. Вып. 4. С. 310–313.
- [57] *Зайдель А.Н., Малхасян Л.Г., Маркова Г.В., Островский Ю.И.* // ЖТФ. 1968. Т. 38. С. 1824–1927.
- [58] *Листовец В.С., Островский Ю.И.* // ЖТФ. 1974. Т. 44. Вып. 7. С. 1345–1372.
- [59] *Морозов Н.В., Алум Х.П., Островский Ю.И.* // ЖТФ. 1981. Т. 51. Вып. 2. С. 355–360.
- [60] *Марти Л., Морено В., Островский Ю.И., Рейнганд Н.О.* // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. Вып. 22. С. 1395–1398.
- [61] *Жукова Е.А., Митина Ф.А., Островский Ю.И., Рейнганд Н.О.* // ЖТФ. 1987. Т. 57. Вып. 12. С. 2340–2345.
- [62] *Tsuruta T., Shiotake N., Tsuruchi J. et al.* // Jap. J. Appl. Phys. 1967. Vol. 6. P. 661–662.
- [63] *Островский Ю.И., Щепинов В.П., Яковлев В.В.* Голографические интерференционные методы измерения деформаций. М.: Наука, 1988.
- [64] *Ostrovsky Yu.I., Shchepinov V.P.* Correlation Holographic and Speckle Interferometry, Int. Conf. on Baltimore Holographic and Speckle Interferometry, USA, 1990. P. 508–514.
- [65] *Ostrovsky Yu.I., Shchepinov V.P.* Correlational holographic and speckle Interferometry (review). Progress in Optics, North-Holland. 1992. Vol. 30. P. 87–135.
- [66] *Осицев А.В., Островский Ю.И., Пресняков Ю.И., Щепинов В.П.* // ЖТФ. 1992. Т. 62. Вып. 8. С. 128–136.
- [67] *Осицев А.В., Островский Ю.И., Щепинов В.П., Яковлев В.В.* // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. Вып. 4. С. 202–204.
- [68] *Осицев А.В., Островский Ю.И., Щепинов В.П., Яковлев В.В.* // ЖТФ. 1988. Т. 58. Вып. 7. С. 1440–1423.
- [69] *Дмитриев А.П., Дрейден Г.В., Осицев А.В., Островский Ю.И., Щепинов В.П., Этинберг М.И., Яковлев В.В.* // ЖТФ. 1989. Т. 59. Вып. 3. С. 192–197.
- [70] *Островский Ю.И.* // Голография. Л.: Наука, 1970.
- [71] *Островский Ю.И.* // Голография и ее применение. Л.: Наука, 1973.
- [72] *Островский Ю.И., Бутусов М.М., Островская Г.В.* // Голографическая интерферометрия. М.: Наука, 1977.
- [73] *Ostrovsky Yu.I., Butussov M.M., Ostrovskaya G.V.* // Interferometry by holography. Berlin–NY: Springer-Verlag, 1980.
- [74] *Зайдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И.* Техника и практика спектроскопии. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Наука, 1976.
- [75] *Ostrovsky Yu.I., Shchepinov V.P., Yakovlev V.V.* // Holographic Interferometry in Experimental Mechanics. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 1991. 288 p.
- [76] *Кольер Р., Беркхарт К., Линч Л.* // Оптическая голография / Пер. с англ. под ред. Ю.И. Остроковского. М.: Мир, 1973.
- [77] *Франсон М.* Оптика спеклов / Пер. с фр. под ред. Ю.И. Островского. М.: Мир, 1980.
- [78] *Вест Ч.* Голографическая интерферометрия / Пер. с англ. под ред. Ю.И. Островского. М.: Мир, 1982.
- [79] *Шуман В., Дюба М.* Анализ деформаций непрозрачных объектов методом голографической интерферометрии / Пер. с англ. под ред. Ю.И. Островского. Л.: Машиностроение, 1983.
- [80] *Бовельский Д.М., Листовец В.С., Островский Ю.И.* // Опыт применения голографии для исследования и контроля деталей на ленинградских предприятиях. Л.: ЛДНТП, 1976. 30 с.