

0,6 до 0,7 (T_{e0} — значение температуры в невозмущенной плазме). Отличие между кривыми 1 и 2, как видим, остается существенным.

Очевидно, причины отличия носят более принципиальный характер. Их следует искать в выборе метода измерений T_e и соответствии используемой модели взаимодействия УВ с плазмой реальным условиям эксперимента. Выражения (1), а следовательно и (2), строго справедливы для бесконечного поперек направления зондирования слоя плазмы. Эксперимент [4] проводился в случае цилиндрического столба плазмы с пучком зондирующих волн, направленных перпендикулярно к оси разряда, причем диаметр столба составлял несколько длин волн. В этом случае возможны рефракционные и интерференционные эффекты, дифракция и возникновение поверхностных волн. Все они приводят к ошибкам в амплитуде и фазе результирующего сигнала у приемной антенны, причем наиболее чувствительны к перечисленным эффектам амплитудные измерения. В частности, оценки согласно [6] показывают, что в ослабление зондирующей СВЧ-волны существенный вклад должна внести ее рефракция на плазменном цилиндре.

Другой причиной является обратное влияние УВ на разряд. Эксперименты [4] проводились в условиях, когда направление распространения фронта УВ, падающей из области газа на разрядную область, параллельно разрядному току. Низкое значение T_e за фронтом УВ существует длительное время, несоизмеримое со временем, соответствующим ширине скачка плотности нейтральных частиц для данного числа Маха УВ, и первоначальное значение T_e восстанавливается только после выхода УВ из разрядной области. По-видимому, в процессе распространения УВ через разряд электрическое поле, определяющее электронную температуру, меняется в пространстве и времени, тогда как в модели [1] оно полагалось неизменным. Поэтому описание процесса взаимодействия сложнее, поскольку должно определяться из совместного решения уравнений баланса для плотности, скорости, температуры электронов и электротехнических уравнений для электрической цепи разряда.

Рассмотрим теперь результаты сравнения экспериментального профиля $T_e(t)$, полученного в плазме поперечного ВЧ-разряда в воздухе для УВ с постоянным давлением [3], и расчетного (рис. 3). Условия эксперимента [3] более близки к теоретической постановке задачи [1], а значения T_e измерялись не с помощью СВЧ-интерферометра, а спектроскопическим методом [7]. Согласно экспериментальных и расчетных размеров зоны охлаждения электронов перед фронтом УВ здесь существенно лучше, чем в предыдущем случае. Различие в поведении $T_e(t)$ наблюдается в области за фронтом УВ, что, видимо, связано с не учитываемым в теоретической модели обратным влиянием УВ на разряд. Так, в работе [3] отмечалось, что УВ гасила ВЧ-разряд по мере распространения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Теселкин С. Ф. // Кинетические и газодинамические процессы в неравновесных средах / Под ред. А. М. Прохорова. М., 1986. С. 99. [2] Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М., 1966. [3] Ершов А. П., Клишин С. В., Кузовников А. А. и др. // ТВТ. 1990. 28, № 5. С. 1041. [4] Сухов А. К. Изменение структуры и параметров плазмы и ударной волны при их взаимодействии в инертных газах: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 1988. [5] Самарский А. А. Теория разностных схем. М., 1977. [6] Хилд М., Уортон С. Микроволновая диагностика плазмы. М., 1968. [7] Бердичевский М. Г., Марусин В. В. // Журн. прикл. спектр. 1973. 18, № 6. С. 1055.

Поступила в редакцию
28.06.93

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1994. Т. 35, № 2

ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 535.41

АНИЗОТРОПИЯ ЛАЗЕРНЫХ СПЕКЛОВ

Ю. В. Васильев, А. В. Козарь, Е. Ф. Курицына
(кафедра общей физики; кафедра радиофизики)

Установлено существование трехмерной пространственной анизотропии для корреляции лазерных спекл-структур.

Термин «спеклы» в настоящее время используется в широком смысле слова для хаотических структур в распределении интенсивности рассеянного когерентного света

в пространстве, окружающем освещенный объект. Они возникают при освещении лазером объекта, если выполняются следующие условия [1]:

- 1) падающий линейно поляризованный свет высококогерентен,
- 2) на поверхности непрозрачного объекта или в объеме/на поверхности прозрачного содержится очень большое число центров, которые рассеивают свет по всевозможным направлениям,
- 3) при рассеянии не происходит деполяризации света,
- 4) вторичные сферические волны от центров рассеяния приходят в точку наблюдения с фазовыми сдвигами, статистически равномерно распределенными в интервале от 0 до 2π . Возникающая стационарная картина интерференции нерегулярных волновых фронтов является сложной функцией пространственных координат. Возникающие объемные интерференционные картины называются спекл-структурами, а объекты, порождающие их, — диффузорами.

Известно [2], что даже в отсутствие опорной волны при записи голограммы на высокоразрешающей фотопластинке, которая удалена на расстояние L от диффузора с характерным поперечным размером b , полностью освещенного предметным лазерным пучком, будет зарегистрирована хаотическая интерференционная картина в виде черно-белых пятен, также называемых спеклами. В зависимости от численного значения апертуры $\alpha = b/L$ минимальные детали картины могут иметь размеры от величин порядка длины волны света λ при апертуре $\lambda \sim 1$ до произвольно больших величин при очень малой апертуре.

Вследствие хаотичности объемных спекл-структур их можно рассматривать как статистические анизотропные поля с различными масштабами пространственной корреляции. Так, например, считается [3], что при перпендикулярном освещении неограниченного плоского диффузора однородным пучком света диаметром $D \ll L$ спеклы распределяются в пространстве веерообразно и имеют вид сигарообразных капелек диаметром $d \approx \lambda L/D$ и длиной $l \approx 4\lambda L^2/D^2$, что указывает на существование продольно-поперечной анизотропии спекл-структур.

Цель настоящей работы состоит в исследовании поперечной структуры этих сигарообразных капелек.

Исследования характеристик полей светорассеяния проводились на голографической измерительной установке УИГ-22М при перпендикулярном падении на плоский диффузор пучка света от аргонового лазера типа ЛГН-503. Он генерирует одноименное монохроматическое излучение с пространственной модой TEM_{00} и длиной волны света $\lambda = 488$ нм. В качестве непрозрачного диффузора использовалось плоское стальное лезвие безопасной бритвы для технических целей. Естественная шероховатость металлической поверхности лезвия обеспечивает диффузное рассеяние света назад в пределах телесного угла 2π ср.

На рис. 1 представлено негативное изображение картины спеклов, образующейся на листе фотобумаги в плоскости, параллельной плоскости лезвия и удаленной от нее на расстояние $L = 5$ м. Интенсивность лазерного излучения в сечении пучка распределена по гауссову закону с

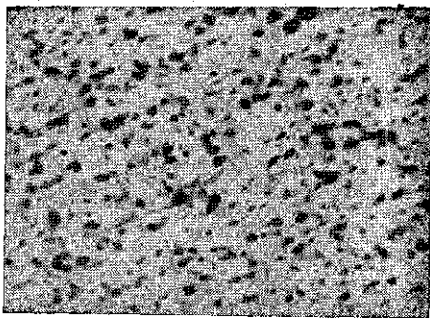


Рис. 1. Картина спеклов (негативное изображение) на расстоянии $L = 5$ м при диффузном отражении назад лазерного света от плоской стальной пластины

эффективным диаметром $D = 2,5$ мм. Поэтому черные пятна имеют типичные размеры порядка миллиметра. Форма же этих черных пятен не имеет строго определенного вида. Поэтому только в усредненном, статистическом описании ансамбль спеклов может быть охарактеризован условным диаметром $d \sim 1$ мм.

Совершенно иная картина наблюдается при изменении условий фотографической регистрации спеклов. Так, на рис. 2 показаны два обнаруженных типа лазерных спеклов в расходящемся веерообразном пучке. В обоих случаях расстояние вдоль радиус-вектора от центра освещенного участка диффузора до центра каждого фотоснимка было равно $L = 1,25$ м, причем плоскость фотобумаги была перпендикулярна к этому радиус-вектору, который всегда лежит в плоскости колебаний магнитного вектора падающего нормально на диффузор линейно поляризованного лазерного пучка света. Угол β между радиус-вектором и осью пучка на рис. 2, а составляет 10° , а на рис. 2, б — 80° . Поэтому можно считать, что плоскость фотоснимка (а) почти параллельна плоскости лезвия, а фотоснимка (б) — почти перпендикулярна. Видно, что в первом случае ансамбль спеклов статистически изотропен, как и на рис. 1, тогда как во втором случае существенно анизотропен. Это говорит о том, что в ве-

еорообразном пучке при малых углах его раскрытия элементы спекл-структуры имеют сходство с круглыми в поперечном сечении сигарами, тогда как при больших углах — с эллиптическими. Следовательно, в общем случае анизотропия спекл-структур в веерообразном пучке характеризуется большим набором различных масштабов пространственной корреляции, зависящих от величины угла β . Возможно объяснить этот факт, если учесть апертуру, которая в условиях нашего эксперимента по одному направлению фиксированная ($\alpha_1 = D/L$), а по перпендикулярному переменная ($\alpha_2 = D \cos \beta/L$). Поэтому с ростом угла β вполне естественным оказывается уменьшение апертуры по одному направлению. Соответственно возрастает корреляционная длина по закону $1/\cos \beta$. Это существенно только при больших углах раскрытия веера. Однако при этом средняя интенсивность картины лазерных спеклов с ростом угла β довольно быстро убывает, как это показано в полулогарифмическом масштабе на рис. 3. Поэтому для получения фотоснимка *б* на рис. 2 время экспонирования при-

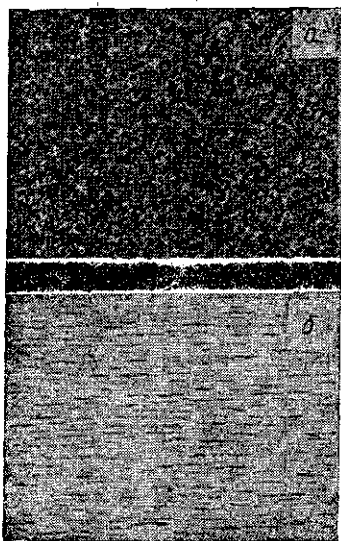


Рис. 2. Картины спеклов (негативное изображение) на расстоянии $L=1,25$ м от освещенного участка диффузора для различных направлений наблюдения в пространстве

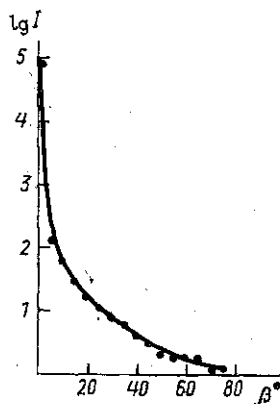


Рис. 3. Угловая зависимость среднего значения интенсивности I (в условных единицах) в картине лазерных спеклов

ходило увеличивать в несколько десятков раз по сравнению со снимком *а*.

Регистрируемый фотоматериалом угол раскрытия веерообразного пучка сильно зависит от выбора условий экспонирования по всей плоскости фотоматериала. С этим приходится считаться при исследовании краевых эффектов полубесконечных или сильно ограниченных в своих размерах диффузоров. Анизотропия лазерных спеклов в этом случае проявляет себя уже в полном объеме.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Laser speckle and related phenomena/Ed. J. C. Dainty. Berlin, 1975.
- [2] Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. М., 1973.
- [3] Колфилд Г.//Оптическая голография/Под ред. Г. Колфилда. 1982. Т. 2. С. 401.

Поступила в редакцию
05.11.93