

Рис. 2

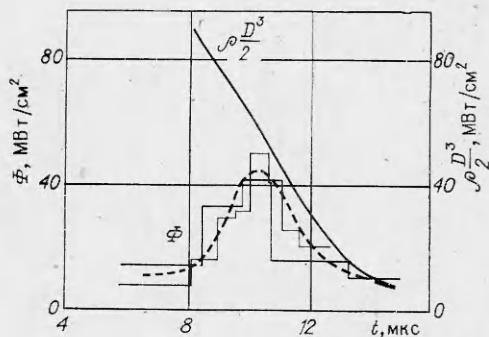


Рис. 3

выхода УВ из диффузора $\sim 10 \text{ МВт/см}^2$. В дальнейшем при приближении фронта к мишени на расстояние 100 мм плотность потока начинала возрастать и достигала на расстоянии 70 мм от мишени максимального значения 45 МВт/см^2 , а потом вследствие затухания УВ уменьшалась. После достижения максимума плотность потока излучения составляла 0,7—0,9 от плотности гидродинамического потока энергии $\rho D^3/2$ через фронт УВ, где ρ — плотность газа перед фронтом.

Полученные результаты показывают, что за счет ограничения толщины слоя ксенона, по которому движется сильная УВ, возможно существенное увеличение параметров излучения УВ. Зарегистрированные на значительных расстояниях от фронта УВ, яркостные температуры и потоки излучения в 1,5 и 2,5 раза превышают соответствующие максимальные значения, полученные для УВ в ксеноне нормальной плотности.

Авторы выражают благодарность И. В. Немчинову, Б. Д. Христофорову и В. В. Шувалову за внимание к работе и полезное обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных явлений.— 2-е изд.— М.: Наука, 1966.
2. Киселев Ю. Н., Христофоров Б. Д., Цикулин М. А. Экспериментальное исследование воздействия на преграду источников мощного излучения сплошного спектра // Низкотемпературная плазма в космосе и на земле.— М.: ВАГО, 1977.
3. Киселев Ю. Н. Исследование излучения сильных ударных волн в инертных газах в широком спектральном диапазоне// Тр. IV Всесоюз. конф. «Динамика излучающего газа».— М.: Изд-во МГУ, 1981.— Т. 1.
4. Киселев Ю. Н. Излучательные свойства сильной ударной волны в неоне // ПМТФ.— 1983.— № 1.
5. Киселев Ю. Н., Самонин К. Л., Христофоров Б. Д. Параметры струи взрывного газового компрессора // ПМТФ.— 1981.— № 3.
6. Немчинов И. В., Шувалов В. В. Излучение сильных ударных волн, выходящих на границу с вакуумом // ДАН СССР.— 1980.— Т. 253, № 4.

Поступила 27/I 1986 г.

УДК 535.532.517

ВОЗМОЖНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОФИЛЯ СКОРОСТЕЙ ТОНКИХ ПОТОКОВ МЕТОДАМИ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

B. B. Блаженков, B. B. Власенко, F. M. Пеньков, C. I. Щеглов
(Москва)

Исследование профиля скоростей ламинарных и турбулентных потоков методами корреляционной спектроскопии (КС) показало широкие возможности данного подхода [1—3] как в точности разрешения по координатам (порядка сотен микрометров) и времени получения информации, так и в диапазоне исследуемых скоростей (от миллиметров до сотен метров в секунду).

Развитие в последние годы новых процессов, базирующихся на применении веществ в монодисперсной фазе [4], стимулировало изучение механизмов вынужденного капиллярного распада жидких струй — явления, лежащего в основе получения монодисперсных макрочастиц, т. е. частиц, обладающих малым разбросом параметров и имеющих размеры в пределах 10–1000 мкм [5].

При изучении монодисперсного распада струи возникают вопросы, связанные с релаксацией поля скоростей и нарастанием возмущений в потоке. Для исследования этих эффектов предлагается использовать методы КС. Экспериментальная методика в этом случае достаточно проста и заключается в измерении корреляционной функции (КФ) рассеянного на потоке когерентного излучения (например, излучения гелий-неонового лазера).

Цель настоящей работы — краткий анализ возможностей корреляционной спектроскопии для изучения профилей распределения скоростей в тонких струях.

Корреляционная функция рассеянного света определяется выражением [1]

$$G^{(1)}(\tau) = \langle \varepsilon^*(0)\varepsilon(\tau) \rangle,$$

где $\varepsilon(\tau)$ — напряженность электромагнитного поля в момент времени τ , а угловые скобки означают осреднение по ансамблю или по времени. Для нашего случая имеет место гауссова статистика рассеянного света*, т. е. справедливо соотношение Зигера

$$g^{(2)} = 1 + |g^{(1)}|^2.$$

Здесь $g^{(1)}$ и $g^{(2)}$ — нормированные КФ первого и второго порядка. Для ансамбля рассеивающих частиц

$$g^{(1)} = e^{-i\omega_0\tau} \langle e^{iqv\tau} \rangle,$$

где v — скорость рассеивателя; q — вектор рассеяния, равный разности волновых векторов K_i и K_s падающего и рассеянного излучения; ω_0 — циклическая частота излучения начального пучка. Корреляционная функция рассеянного на потоке света имеет вид

$$(1) \quad g^{(1)} = e^{-i\omega_0\tau} \int \int e^{iqv\tau} P(r, v) d^3r d^3v$$

($P(r, v)$ — функция распределения рассеивателей по координатам и скоростям). В случае равновероятного распределения источников рассеяния по объему $P(r, v)$ можно представить как

$$(2) \quad P(r, v) = \frac{1}{V} \delta(v - v(r))$$

(V — объем рассеивающей области). Подставляя (2) в (1), получим

$$(3) \quad g^{(1)} = \frac{1}{V} e^{-i\omega_0\tau} \int_V e^{iqv(r)\tau} d^3r.$$

Для исследования профиля скоростей в интересующих нас областях возможны две реализации эксперимента. В первом случае вектор рассеяния q расположим параллельно потоку и используем малые углы наблюдения (что разумно при высоких скоростях) в плоскости истекания струи. Направляя координату z цилиндрической системы координат (z, ρ, ϕ) по направлению потока и учитывая, что для реальных потоков изменение скорости в области съема по z незначительно, запишем выражение (3) в виде

$$g^{(1)} = \frac{2}{R^2} e^{-i\omega_0\tau} \int_0^R e^{iq_z v_z(\rho)\tau} \rho d\rho$$

(R — радиус потока). Используя соотношение Винера—Хинчина, из вы-

* В принципе эффекты негауссности [6] рассеянного света могут дать дополнительную информацию для нестационарных потоков.

ражения (3) можно определить спектральную плотность мощности сигнала и по частотной зависимости указать характеристики профиля скоростей $v_z(\rho)$. Такой анализ выходит за рамки сообщения, поэтому остановимся на модельном профиле скоростей

$$v_z(\rho) = v_0(1 - \alpha x^2).$$

Здесь $x = \rho/R$; v_0 — скорость центра потока; α — параметр, изменяющийся от 0 (скорость постоянна по сечению) до 1 (для профиля скоростей ламинарного потока в капилляре). Тогда

$$(4) \quad g^{(1)} = \frac{2 \sin \left(\frac{q_z v_0 \alpha \tau}{2} \right) e^{i \tau q_z v_0 \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right) - i \omega_0 \tau}}{q_z v_0 \alpha \tau}.$$

Рассмотрим две экспериментальные ситуации — собственно биения интенсивности рассеянного света и оптическое гетеродинирование. В первом случае наблюдаем $|g^{(1)}|$. Поэтому при $\alpha = 0$ нет никакой дополнительной информации, кроме той, что скорость равна по сечению. При $\alpha \neq 0$ легко получить скорость границы струи $qv_0(1 - \alpha)$. В режиме гетеродинирования имеем из опыта $\text{Re}(e^{i\omega_0 \tau} g^{(1)})$, т. е. сумму двух гармоник — первой на частоте qv_0 , второй на $qv_0(1 - \alpha)$, что позволяет определить скорость как центра потока, так и его границы.

Для определения перпендикулярных потоку скоростей выгодно наблюдать рассеяние света в плоскости, перпендикулярной потоку. Из выражения (2) для этого случая

$$g^{(1)} \sim e^{-i\omega_0 \tau} \int_0^R J_0(q_\rho v_\rho(\rho) \tau) \rho d\rho$$

(J_0 — функция Бесселя нулевого порядка). Поскольку $e^{i\omega_0 \tau} g^{(1)}$ — действительная функция, то метод флюктуаций интенсивности и метод оптического гетеродинирования дадут идентичную информацию.

Таким образом, используя различные экспериментальные ситуации, можно анализировать параметры распределения скоростей, параллельных или нормальных к оси потока. Из краткого анализа выражений (3) и (4) следует, что можно различать скорости середины и края потока, причем наблюдения лучше проводить методом оптического гетеродинирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Камминс Г., Пайк Э. Спектроскопия оптического смещения и корреляция фотонов.— М.: Мир, 1978.
- Cummins H., Pike E. Photon correlation spectroscopy and velocimetry.— N. Y.: Plenum Press, 1977.
- Durrani T. S., Greated C. A. Spectral analysis and cross-correlation techniques for photon counting measurements of fluid flows // Appl. Opt.— 1975.— V. 14, N 3.
- Блаженков В. В., Дмитриев А. С., Шипов В. В. Монодиспергирование вещества (от опытов Савара до современных технологий: ретроспектива и перспективы) // Тр. МЭИ.— 1983.— Вып. 615.
- Рэлей Дж. Теория звука.— М.: Гостехиздат, 1955.— Т. 2.
- Александров Е. Б., Голубев Ю. М. и др. Спектроскопия флюктуаций интенсивности оптических полей с негауссовой статистикой // УФН.— 1983.— Т. 140, вып. 4.

Поступила 6/II 1986 г.