

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА СЛУЧАЙНЫХ СМЕЩЕНИЙ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА В АТМОСФЕРЕ

Г. В. АЗИЗЯН, А. С. АЛЕКСАНЫАН, К. П. ПОГОСЯН

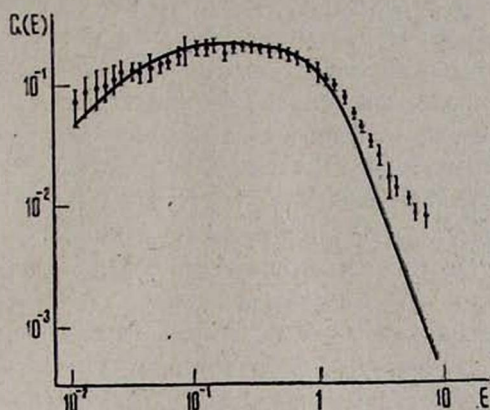
Приведены результаты измерений частотных спектров случайных смещений «центра тяжести» распределения интенсивности в поперечном сечении фокусированного лазерного пучка с длиной волны 0,63 мкм. Для измерения смещений центра тяжести пучка перед фотоприемником устанавливалась маска с линейно изменяющимся вдоль выбранного направления коэффициентом пропускания. Экспериментально полученный частотный спектр случайных смещений пучка несколько шире расчетного, что, по-видимому, объясняется непостоянством поперечной составляющей скорости ветра.

Исследование случайных смещений ограниченных световых пучков при распространении в атмосфере имеет как сугубо научный интерес, так и важное прикладное значение в связи с использованием лазерных пучков для целей связи, локации, геодезических измерений и некоторыми другими применениями. Теоретическое исследование временных частотных спектров случайных смещений «центра тяжести» световых пучков в атмосфере проведено в работе [1], экспериментальное — в работе [2].

В настоящем сообщении приводятся результаты измерений частотных спектров случайных смещений «центра тяжести» фокусированного лазерного пучка с длиной волны 0,63 мкм. Измерения выполнены на горизонтальной трассе длиной 950 м и высотой 15 м. Начальный радиус пучка был равен 4 см. На приемном конце трассы световой пучок проходил через маску, коэффициент пропускания которой в вертикальном (или горизонтальном) направлении менялся по линейному закону. Прошедший через маску световой поток поступал на фотоэлектронный умножитель. Легко убедиться, что при постоянном световом потоке, падающем на маску, изменения тока фотоэлектронного умножителя будут пропорциональны вертикальным (или, соответственно, горизонтальным) смещениям «центра тяжести» распределения интенсивности в поперечном сечении светового пучка. При помощи устройства, аналогичного описанному в [3], сигнал, несущий информацию о случайных смещениях «центра тяжести» пучка, записывался на магнитную ленту. Длительность каждой реализации составляла 256 с, частота выборки — 512 Гц.

Обработкой магнитных записей на ЭВМ по программе быстрого преобразования Фурье были получены частотные спектры смещений пучка. Одновременно с измерениями смещений светового пучка измерялись средняя скорость и направление ветра, а также структурная характеристика показателя преломления воздуха. Средние значения нормальной составляющей скорости ветра для разных реализаций оказались в интервале от 0,3 до 2,5 м/с, а средние значения структурной характеристики показателя преломления воздуха лежали в пределах от $3,5 \cdot 10^{-16}$ до $1,8 \cdot 10^{-15} \text{ см}^{-2/3}$.

Результаты эксперимента, усредненные по пяти реализациям, приведены на рисунке. По оси ординат отложена безразмерная нормированная



функция спектральной плотности $G(E) = f W_c(f) / \sigma_c^2$, где f — частота, $W_c(f)$ — спектральная плотность смещений, σ_c^2 — дисперсия смещений. По оси абсцисс отложена безразмерная частота $E = f/f_0$, где $f_0 = v/a\pi\sqrt{2}$ — характерная частота смещений, v — перпендикулярная к пучку составляющая скорости ветра, a — начальный радиус пучка. Вертикальными отрезками отмечены доверительные интервалы при доверительной вероятности, равной 0,95. Сплошная линия есть заимствованный из работы [1] теоретически рассчитанный частотный спектр смещений фокусированного пучка при $\beta = 2(L_0/2\pi a)^2 = 10^3$, $\Omega = ka^2/L = 10^2$, $\sigma_0^2 = 0,31 \times C_n^2 k^{7/6} L^{11/6} \ll 1$, где L_0 — внешний масштаб турбулентности, k — волновое число, L — длина трассы, C_n^2 — структурная характеристика показателя преломления воздуха.

Эти же параметры при измерении смещений имели следующие значения: $\beta = 10^3$, $\Omega = 16$, $\sigma_0^2 = 0,1 \div 0,5$. Поскольку функция $G(E)$ слабо зависит от параметров σ_0^2 и Ω , мы нашли возможным сравнить расчетные и экспериментальные значения $G(E)$, приведенные на рисунке. В [1] показано, что при слабой турбулентности ($\sigma_0^2 \ll 1$) функцию $G(E)$ для фокусированного пучка с большим начальным радиусом в области высоких частот, когда $E \gg 1$ и $\Omega^2 \gg E^2$, можно выразить приближенной формулой

$$G(E) = \frac{0,077 E^{-8/3}}{\frac{3}{8} - \frac{1}{3} \beta^{-1/6}},$$

а в области низких частот при $E^2\beta \ll 1$ $G(E)$ пропорциональна E . Полученные нами экспериментальные значения $G(E)$ в высокочастотной области убывают медленнее, чем $E^{-8/3}$ (приблизительно, как $E^{-5/3}$), а в низкочастотной области возрастают медленнее, чем E . То, что экспериментально полученный спектр несколько шире расчетного, объясняется тем, что в реальных условиях эксперимента поперечная составляющая скорости

ветра флуктуирует во времени и в пространстве [2], тогда как расчеты в [1] выполнены в предположении его постоянства.

Частотные спектры смещений фокусированного пучка, полученные в [2] и в настоящей работе, существенно различаются в низкочастотной части, где $f < f_0$. Это различие обусловлено тем, что наши измерения выполнены на трассе, пролегающей сравнительно высоко (15 м) над подстилающей поверхностью, при сравнительно малом начальном радиусе пучка. Вследствие этого параметр β , характеризующий отношение размеров наиболее крупных неоднородностей воздуха, наблюдаемых на данной высоте, к начальному радиусу пучка, при наших измерениях был приблизительно в 40 раз больше, чем при измерениях, выполненных в [2]. По этой причине убывание функции $G(E)$ с уменьшением безразмерной частоты E при $E^2\beta \ll 1$, обусловленное конечностью внешнего масштаба турбулентности, в наших измерениях начинает проявляться при значительно меньших значениях E , чем это наблюдалось в работе [2]. Таким образом, сопоставление низкочастотных участков спектров, измеренных в настоящей работе и в [2], подтверждает теоретические выводы [1] о влиянии конечности внешнего масштаба турбулентности на спектр случайных смещений фокусированных световых пучков в турбулентной атмосфере.

Авторы выражают глубокую благодарность С. О. Ломадзе за помощь при обработке экспериментальных данных на ЭВМ.

Институт физических
исследований АН АрмССР

Получила 30.I.1978

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Мироноз, В. В. Носов. Изв. вузов, Радиофизика, 18, 990 (1975).
2. А. С. Дрофа. Тезисы докладов IV Всесоюзного симпозиума по распространению лазерного излучения в атмосфере, Томск, 1977, ч. IV, стр. 45.
3. В. М. Бовшевзоров, Е. К. Ким, С. О. Ломадзе. Многоканальная система регистрации и ввода данных в ЭВМ, Препринт ООФАГ АН СССР, М., 1974.

ՄԲԵՐՈՒՄՏՈՒՄ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ՓԵՋԻ ՊԱՏԱՀԱԿԱՆ ՇԵՂՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՃԱԽԱՅԻՆ ՍՊԵԿՏՐԻ ՓՈՐՁԱԿԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Հ. Վ. ԱՋԻՋՅԱՆ, Ա. Ս. ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ, Կ. Պ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ

Հոդվածում բերված են տուրբուլենտ մթնոլորտում լազերային փնջի, «ծանրության կենտրոնի» պատահական տեղաշարժերի հաճախային սպեկտրի չափման արդյունքները, փնջի «ծանրության կենտրոնի» տեղաշարժերի չափման համար ֆոտոռեզոնանսի մոտեցում տեղադրված է եղել ընտրված ուղղությամբ զծային օրենքով փոփոխվող թափանցելիություն ունեցող դիմակ: Դրա շնորհիվ ֆոտոհոսանքի փոփոխությունները եղել են փնջի «ծանրության կենտրոնի» տեղաշարժերին համեմատական: Փնջի «ծանրության կենտրոնի» պատահական տեղաշարժերի փորձական եղանակով ստացված հաճախային սպեկտրը հաշվարկված սպեկտրից փոքր-ինչ լայն է: Դա, ըստ երևույթին, քանի որ արագության լազերային փնջին ուղղահայաց բաղադրիչ անկայունության հետևանք է:

THE EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE FREQUENCY SPECTRUM OF RANDOM DISPLACEMENTS OF A LASER BEAM IN THE ATMOSPHERE

H. V. AZIZYAN, A. C. ALEKSANYAN, K. P. POGOSYAN

The frequency spectrum of random displacements of intensity distribution centre in the cross section of a focused laser beam ($\lambda=0.63 \text{ mkm}$) was measured. For measurements a screen with transparency linearly changing along the selected direction was placed in front of a photodetector. The measured spectrum appears to be somewhat wider than the calculated one, the discrepancy being presumably due to the unconstancy of the transverse component of the wind velocity.