

[621.378.325:551.513](049.3)

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЕ

Laser Beam Propagation in the Atmosphere/Ed. J. W. Strohbehn.—Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1978.— 325 p.— (Topics in Applied Physics. V. 25).

Огромное количество публикаций в направлении исследований по лазерной физике, указанном в заглавии книги, сделало необходимым издание руководства, которое позволило бы читателю быстро «войти» в проблему и одновременно служило бы справочником по литературе. Этим требованиям прекрасно соответствует 25-й том шпрингеровской серии «Актуальные проблемы прикладной физики», посвященный основным вопросам распространения лазерного излучения в атмосфере — влиянию атмосферной турбулентности и теплового самовоздействия. Книга написана известными специалистами, много и плодотворно работавшими в указанных областях, и содержит семь глав.

Гл. 1 написана редактором книги И. В. Штробеном и носит вводный характер; в ней очерчен круг вопросов, рассмотренных в данном томе.

В гл. 2 «Классическая теория распространения волн в турбулентной среде» С. Ф. Клиффорд дает краткое описание статистики турбулентности атмосферного канала распространения и приводит расчет корреляционной функции и спектров амплитуды и фазы исходной плоской волны, выполненный по методу малых возмущений. Клиффорд указывает, что использование метода Рытова применительно к волновому уравнению Гельмгольца приводит к тем же результатам, но при существенно более слабых ограничениях на область применимости результатов для статистики фазы. Здесь следовало бы упомянуть о важном результате, полученном в последнее время — существенный прогресс метод Рытова обеспечивает при его применении к решению уравнения для четвертого момента поля в случае, когда исходный пучок сфокусирован. Получаемые при этом формулы описывают наблюдаемые на эксперименте эффект насыщения мерцаний и корреляционные характеристики флуктуаций интенсивности.

Гл. 3 написана И. В. Штробеном и посвящена описанию современных теорий по распространению оптических волн в турбулентной среде. Основным мотивом в создании новых теорий было объяснение так называемой области насыщения мерцаний излучения источника на больших расстояниях в турбулентной атмосфере. Этот эффект, открытый в 1948 г. Зидентопфом и Виссаком (*Optics*, 1948, в. 3, р. 430) получил детальное теоретическое описание лишь в самое последнее время. Решение этой проблемы даже в простейшем случае исходной плоской волны представляло трудно-преодолимую задачу (дифференциальное уравнение в частных производных при пяти независимых переменных), вне зависимости от того, привлекается численная или аналитическая техника вычислений.

И. В. Штробен указывает, что в настоящее время в литературе достигнуто полное согласие по форме уравнений для моментов поля для всех порядков, поскольку одни и те же уравнения были выведены с использованием совершенно различных формальных подходов, но на основе, по существу, одних и тех же приближений.

Дан подробный анализ формализмов с использованием диаграммной техники, локального метода малых возмущений, аппарата марковских случайных процессов. Обсуждаются решения уравнений для наиболее важных моментов поля, полученные различными авторами, а также дан анализ подходов по расчету функции распределения вероятностей для интенсивности.

Такое полное сопоставление различных современных теорий проведено, насколько мне известно, в мировой литературе впервые и представляет безусловную ценность. Автор подробно излагает также эвристические теории, позволяющие получить правильные качественные результаты на основе чисто физического рассмотрения.

Гл. 4 содержит описание обширного экспериментального материала, полученного М. Е. Грачевой, А. С. Гурвичем, С. С. Кашкаровым и В. В. Покасовым для области насыщенных мерцаний, и представляет адаптированный перевод препринта ООФАГ, опубликованного авторами в 1973 г. В начале работы авторы задают вопрос: не существует ли в проблеме, описываемой уравнением для четвертого момента исходной плоской волны, некоторых характеристических масштабов, определяемых из вида самого уравнения? И получают на него ответ, известный из ранее опубликованной в 1971 г. работы других авторов (*Optica Acta*, 1971, v. 18, p. 767), Препринт ФИАН СССР № 71. — М.: 1971): да, существует. Ссылка на оригинальную работу при этом отсутствует, хотя она, безусловно, здесь необходима.

Далее, хорошо известно (см.: Седов Л. И. Метод подобия и размерности в механике. — М.: Наука, 1977), что масштабы, служащие для приведения уравнения к безразмерному виду, не обязательно будут служить характерными для решения этого уравнения — в роли последних могут выступать некоторые комбинации исходных масштабов, имеющие соответствующую размерность. Поскольку авторы упускают указанное обстоятельство, то их интерпретация полученного экспериментального материала находится в несоответствии практически со всеми теоретическими построениями, выполненными к настоящему времени. Вместе с тем, работа может служить наиболее полным из известных на сегодняшний день собранием экспериментальных данных по распространению лазерного излучения на большие расстояния в турбулентной атмосфере. Здесь приведены корреляционные и спектральные характеристики флуктуаций интенсивности, результаты измерения функции распределения вероятностей для интенсивности.

В предыдущих главах рассматривались вопросы, связанные главным образом с распространением исходной плоской волны. Первая часть гл. 5, написанной А. Илимару, нацелена на описание особенностей распространения волновых пучков, с необязательно плоским исходным волновым фронтом. Здесь рассмотрены специфические для ограниченных пучков вопросы — проблема размытия пучков в турбулентной атмосфере, влияние турбулентности на фокусировку. Изложены результаты, полученные в пределе слабых флуктуаций с использованием метода Рытова, а также на основе уравнения для функции когерентности второго порядка.

Важные аналитические результаты по теории насыщенных мерцаний исходной сферической волны и фокусированного пучка, полученные в последнее время, оказались, к сожалению, вне поля зрения автора и не рассмотрены в этой главе.

Вторая часть пятой главы посвящена лазерному дистанционному зондированию атмосферных параметров. Это направление исследований имеет важные приложения для предсказания погоды, изучения загрязнения окружающей среды и др. Здесь разобраны вопросы определения как профиля атмосферных параметров — интенсивности турбулентности и скорости ветра — вдоль пути распространения, так и усредненных по трассе значений.

Изложение обратных задач атмосферной оптики строится на основе теории слабых флуктуаций, с описанием различных методов обращения — метода регуляризации, статистического метода и техники Бакуса — Гильберта.

Гл. 6 «Передача изображений и оптическая связь через атмосферную турбулентность» написана И. Х. Шапиро. Характеристики работы систем видения при наличии турбулентного канала распространения изучены как для некогерентно освещенных или самосветящихся объектов (астрономическая проблема), так и для когерентно освещенных объектов (проблема радарного видения). Дан обширный обзор литературы, начиная с ранних работ по телескопической фотографии и кончая недавними результатами по теории интерферометрического видения и теорий видения с компенсацией фазы.

При анализе простой дифракционно-ограниченной системы связи, эффективно функционирующей в вакууме, показано, сколь резко ухудшаются ее характеристики в присутствии турбулентности. Обсуждаются и сравниваются принципы построения систем связи, обеспечивающие возможность преодолевать это ухудшение характеристик работы — апертурного интегратора, приемника с подгонкой фильтра под канал, приемника с компенсацией фазы.

Поскольку в настоящее время ограничения на характеристики работы оптических систем часто устанавливаются несовершенством их собственной конструкции, приведенные расчеты указывают пределы, до которых имеет смысл улучшить параметры устройств оптического диапазона.

В последней, гл. 7 книги описано явление теплового самовоздействия лазерного излучения при распространении в атмосфере поглощающего газа. И. Л. Вальш и П. Б. Ульрих дают подробное изложение вопросов механики жидкости и электродинамики, имеющих отношение к проблеме. Обсуждены приближенные аналитические решения уравнений, включая подходы геометрической и волновой оптики и приближение «приклеивной» фазы. В последней части главы дан обзор техники и результатов численных расчетов, используемых в задачах по тепловому самовоздействию. Превосходный стиль изложения доставляет особое удовольствие при чтении этой главы.

В целом книга может служить настольным руководством для широкого круга читателей, как специалистов в области прикладной лазерной физики, так и для начинающих исследователей.

К. С. Гочелашвили