

вычисления этих величин можно использовать обобщённое ур-ние Фоккера — Планка. К более сложным ур-ниям для функционала плотности вероятности полей приводят учёт негауссовых сторонних воздействий (при сохранении их дельта-коррелированности по времени) и неадекватность этих воздействий в стохастич. ур-ниях и многомерность рассматриваемого С. п.

Лит.: Моин А. С., Яглом А. М., Статистическая гидродинамика, ч. 1—2, М., 1965—67; Хохлов Р. В., Маков Ю. Н., О марковских волновых процессах, в сб.: Проблемы математической физики и вычислительной математики, М., 1977; Введение в статистическую радиофизику, ч. 2 — Рытов С. М., Кравцов Ю. А., Татарский В. И., Стохастические уравнения и волны в случайно-неоднородных средах, М., 1980; Розанов Ю. А., Марковские случайные поля, М., 1981; Ахманов С. А., Дьяков Ю. Е., Чиркин А. С., Введение в статистическую радиофизику и оптику, М., 1981. Ю. А. Кравцов, А. В. Шмелёв.

**СЛУЧАЙНЫЕ ВОЛНЫ** — случайные поля волновой природы (акустич., эл.-магн., упругие, концентрационные и др.). С. в. могут возникать по мн. причинам. Волновые задачи классич. физики описываются дифференциальными (или интегродифференциальными) ур-ниями вида  $\hat{L}u = q$ , где  $u$  — волновое поле,  $k$ -рое может быть скалярным или векторным,  $\hat{L}$  — волновой оператор (в общем случае — нелинейный), а  $\hat{F}$ -ция  $q$  задаёт источники волн. В таких задачах наиб. распространёнными причинами случайности являются: 1) источники поля (задана «статистика источников»  $q$ ; в области, свободной от источников, должна быть задана статистика «виртуальных» источников, т. е. статистика граничных значений поля); 2) свойства среды (задана «статистика среды», т. е. статистич. характеристики оператора  $\hat{L}$ ); 3) форма и положение границ раздела (должна быть задана «статистика границ»); 4) условия приёма и регистрации воли (подразумевается задание «статистики приёмника» и «статистики помех»); 5) нелинейность волнового ур-ния, когда даже в отсутствие внеш. источников случайности поведение воли может быть «квазислучайным» или «стохастичным» за счёт возникновения динамического стохастич. режима. К этим статистич. схемам сводятся постановка большинства задач теории С. в. Возможны и задачи смешанного типа.

Задачи теории С. в. решаются приближёнными методами, приспособленными к тем или иным особенностям задачи: флуктуации случайных параметров и  $\hat{F}$ -ций могут быть сильными и слабыми, плавными, медленными или, наоборот, быстрыми, резкими, корреляция может быть сильной («далёкой») или же слабой («короткой») и т. п. Лишь нек-рые задачи допускают простое описание. Напр., для линейного оператора  $\hat{L}$  формально просто решаются задачи схемы 1. Если известен оператор  $\hat{G}$ , ядро  $k$ -рого есть  $\hat{F}$ -ция Грина задачи, то волновое поле  $u$  связано с источниками  $q$  соотношением  $u = \hat{G}q$ , что позволяет найти все моменты поля  $u$ :  $\langle u \rangle = \hat{G}\langle q \rangle$ ,  $\langle u_1 u_2 \rangle = \hat{G}_1 \hat{G}_2 \langle q_1 q_2 \rangle$  и т. д. Вероятностные законы распределения поля при этом явно не определяются.

К статистич. схеме 1 приводят мн. задачи акустики, радиофизики, оптики, в т. ч. задачи о тепловых флуктуациях в распределённых системах; тепловые флуктуации в волноводах и антеннах, проблемы диагностики природных сред по их тепловому излучению (атмосфера Земли и планет, поверхность океана, поверхность Луны и т. д.). Сюда же относится задача о возбуждении шумов в океане случайными источниками, расположенными на поверхности, на дне и в водной толще. Задача об излучении виртуальных случайных источников типична не только для статистич. оптики (формирование оптич. изображения в частично когерентном освещении, голография, интерферометрия), но также для дифракции звука и радиоволи (дифракция воли на случайных экранах; статистич. теория антенн, теория апертурного синтеза, дифракция частично коге-

рентных воли), для радиоастрономии (определение угл. размеров радиосточников, радиоинтерферометрия, радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами), для дифракц. задач рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии.

Статистич. схема 2 охватывает проблему распространения воли в случайных средах,  $k$ -рая представляет интерес для атм. оптики и акустики, для распространения радиоволи в атмосфере и ионосфере Земли, в межпланетной, околосолнечной и межзвёздной плазме, для диагностики лаб. плазмы, для акустики океана и др. В рамках этой схемы разработаны методы,  $k$ -рые удовлетворительно описывают значит. долю всех задач. Приближение однократного рассеяния (первое борновское приближение) применяют в случае достаточно слабых и мелкомасштабных (относительно длины воли) неоднородностей, когда существенно рассеяние назад и в стороны. Для больших скоплений рассеивателей, образующих мутные среды, существенно многократное рассеяние,  $k$ -рое описывают при помощи теории переноса излучения. В случае крупномасштабных неоднородностей, когда преобладает многократное рассеяние вперёд, применяют след. методы: геометрической оптики метод (правильно описывает лишь слабые флуктуации амплитуды на ограниченных расстояниях), плавных возмущений метод (учитывает дифракц. эффекты, но применим лишь в области слабых флуктуаций), параболического уравнения приближение вместе с марковского процесса приближением (позволяет получить ур-ния для произвольных моментов и описать поведение  $\hat{F}$ -ции когерентности на произвольных расстояниях).

Методы теории многократного рассеяния (диаграммный метод или метод  $\hat{F}$ -ций Грина) позволяют получить замкнутые ур-ния для моментов поля. В частности, с этих позиций удаётся обосновать результаты феноменологич. теорий переноса излучения. Кроме того, для расчёта флуктуаций волновых полей в случайных средах используют Кирхгофа метод, метод интерференц. интегралов, гибридный подход (теория однократного рассеяния назад на мелкомасштабной компоненте с использованием в качестве исходного приближения методов, учитывающих влияние крупномасштабной компоненты неоднородностей) и др.

Для решения задач схемы 3 также разработаны эфф. подходы: метод малых возмущений, метод Кирхгофа, гибридный (двухмасштабный) подход, метод  $\hat{F}$ -ции Грина и др.,  $k$ -рые охватывают значит. долю всех физ. проблем (см. Рассеяние воли на случайной поверхности).

Задачи схемы 4 сводятся к проблеме пространственно-временной обработки волновых полей в присутствии помех разд. типов. Такие проблемы изучают в радиолокации, гидроакустике, теории связи.

Задачи схемы 5 отличаются «внутр.» механизмом возникновения случайности и представляют интерес для синергетики, задачи о возникновении турбулентности, проблемы обоснования статистич. физики и термодинамики.

С. в. в нелинейных средах отличаются гораздо большим разнообразием, чем в линейных. В частности, нелинейное взаимодействие воли разных частот и разных направлений приводит к генерации новых воли (гармоники и субгармоники, комбинац. колебания), т. е. к существенному обогащению пространственно-временного спектра. В результате такого взаимодействия ур-ние переноса излучения,  $k$ -рое в нелинейной волновой теории наз. кинетич. ур-нием для воли, становится нелинейным. Ур-ния такого типа описывают поведение неравновесных распределённых систем (напр., турбулентной плазмы и поверхностного морского волнения). Возникающие стохастич. колебания не зависят от нач. условий и потому заслуживают названия ст о х а с т и ч е с к и х а в т о в о л н. Стохастич. автоволны возникают также в распределённых диссипативных системах (самоорганизующиеся системы).