1981 г. Ноябрь Том 135, вып. 3
УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

БИБЛИОГРАФИЯ

621.3.018.7(049.3)

СОВРЕМЕННАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ РАДИОФИЗИКА

Введение в статистическую радиофизику/Под общей ред. С. М. Рытова.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-матем. лит-ры.— Ч. I: **Рытов С. М.** Случайные процессы.— 1976.— 494 с.; ч. II: **Рытов С. М., Кравцов Ю. А., Татарский В. И.** Случайные поля.— 1978.— 464 с.

Первое издание «Введения в статистическую радиофизику» С. М. Рытова увидело свет в 1966 г. Книга сразу же приобрела популярность не только среди студентов и аспирантов, которым она адресовалась в первую очередь, но и среди широкого круга специалистов,— как радиофизиков, в узком смысле этого слова, так и представителей других областей науки, имеющих дело с колебаниями и волнами,— оптиков, акустиков, гидродинамиков и др.

Последние 10—15 лет были периодом интенсивного развития статистической теории колебаний и волн, проникновения статистических методов в различные разделы собственно радиофизики, оптики, акустики, квантовой электроники и ряда других областей физики. Особенно много теоретических и экспериментальных работ появилось по вопросам распространения волн в случайно-неоднородных средах. Развитие лазерной техники, радиолокации и акустики стимулировало разработку новых методов самой статистической теории волн и сделало овладение этими методами необходимым элементом общефизического образования. Поэтому выход второго (на этот раз двухтомного) издания книги явился весьма своевременным.

Указанные обстоятельства оправдывают как увеличение объема рецензируемой книги по сравнению с первым изданием, так и выделение в отдельный (второй) том раздела, посвященного случайным полям и волнам, тем более, что он написан специалистами, внесшими весомый вклад в современную теорию распространения волн в случайно-неоднородных средах.

Первый том («Случайные процессы») знакомит читателя с основными методами теории случайных процессов и их приложениями к широкому кругу статистических задач радиофизики.

Основой этого тома явились первые пять глав первого издания, посвященные элементам теории вероятности, случайным импульсам, марковским процессам и корреляционной теории случайных функций.

Материал этих глав существенно расширен и дополнен в первую очередь за счет более обстоятельного изложения математического аппарата теории случайных функций. Так, например, в гл. IV (Марковские процессы) подробно обсуждаются скачкообразные марковские процессы, приводящие к уравнению Колмогорова — Феллера, которое описывает, например, задачи о соударениях частиц и задачи, связанные с квантовыми переходами.

Кроме того, расширен сам круг физических задач, анализируемых методами теории случайных функций. Например, в шестую главу включены важные и интересные вопросы корреляционной теории когерентности; эта теория позволяет, в частности, с общих позиций описать основные явления в оптической и радиоинтерферометрии.

Изложение большинства вопросов потребовало привлечения современных математических методов (например, сведений из функционального анализа, теории функций Грина, диаграммной техники и т. д.). Однако «строгая математика» не является здесь самоцелью — она служит прежде всего изучению физических аспектов статистических проблем. Это достигается в значительной мере благодаря тому, что утверждения математической теории, а зачастую и сама постановка вопроса, широко иллюстрируются конкретными радиофизическими примерами. Такой способ изложения позволяет (во всяком случае, физику) легче понять сущность рассматриваемого математического метода, ощутить свойственные ему ограничения, а кроме того, делает само изложение математических вопросов живым и увлекательным.

Существенно помогают изложению материала и задачи, которые вместе с их подробными решениями приводятся в конце каждой главы.

Первая часть содержит почти восемьдесят задач, умело подобранных из самых различных областей статистической радиофизики. Как и в классическом курсе Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица, они не только выступают в качестве материала для тренировки и проверки успехов читателя, но и содержат также дополнительные сведения по теории и ее приложениям, ссылки на соответствующую литературу. Задачи методически тщательно продуманы, освобождены от описания маловажных деталей, что делает их решение прекрасной иллюстрацией применения общих методов теории. Рассмотрение каждой из задач сопровождается как разносторонним физическим истолкованием результатов, так и анализом ограничений, в рамках которых справедливы данная постановка вопроса и использованный метод решения.

Следует, впрочем, отметить, что при чтении первой части явно ощущается отсутствие раздела об экспериментальных методах статистической радиофизики, в частности о принципиальных вопросах измерения случайных шумов. Этот аспект статистической радиофизики, имеющий важное методическое значение, вполне мог бы быть изложен в небольшой специальной главе, тем более, что различные стороны проблемы статистических измерений неоднократно затрагиваются в разных местах книги (например, при обсуждении «аксиомы измерения» (§ 2), центральной предельной теоремы теории вероятностей (§ 3), эргодичности случайных процессов (§ 20) и, наконец, в параграфе, посвященном вопросам измерения мощности шумовых сигналов).

Вторая часть монографии («Случайные поля»), написанная С. М. Рытовым совместно с Ю. А. Кравцовым и В. И. Татарским, построена в соответствии с тем же принципом, что и первая часть: математически теория излагается в тесной связи с приложениями к физическим задачам.

Первая глава второй части посвящена математическим вопросам теории случайных полей. Вторая глава открывается обзором возможных физических постановок волновых задач и классификацией их по характеру статистического описания волновых полей. Такая беглая экскурсия по задачам и методам статистической волновой радиофизики задает тон второй части книги и позволяет не только лучше ориентироваться в последующем материале, но и яснее представить структуру всего здания статистических волновых задач, а также познакомиться с наиболее характерными эффектами, присущими случайным волнам.

В третьей главе обстоятельно рассмотрена флуктуационная электродинамика полей теплового происхождения. Здесь приведен обстоятельный и вместе с тем физически наглядный вывод обобщенного закона Кирхгофа и волновой флуктуационно-диссипационной теоремы, опирающийся на теорему взаимности и комплексную лемму Лоренца. Как и всюду в монографии, разнообразные примеры и всесторонние физические обсуждения облекают в «плоть и кровь» общетеоретические выводы данной главы. В четвертой главе излагается один из наиболее распространенных методов анализа рассеяния волн — теория однократного рассеяния.

Последующие три главы посвящены анализу распространения волн в средах с крупномасштабными случайными неоднородностями, проведенному с помощью различных приближенных подходов: метода геометрической оптики, метода плавных возмущений (известного в зарубежной литературе как «приближение Рытова») и метода параболического уравнения. Изложение опирается на большое количество фактического материала и знакомит читателя с новыми физическими понятиями, характерными для описания волновых полей в крупномасштабных случайно-неоднородных средах. К сожалению, авторы ограничились лишь кратким упоминанием о распространении волн в плоско-слоистой случайно-неоднородной среде. Как известно, это практически единственная задача статистической теории распространения волн в случайно-неоднородных средах, допускающая точное решение и, следовательно, позволяющая детально проследить влияние различных моделей среды на статистические характеристики волнового поля. Учитывая важность этой задачи для понимания распространения волн в случайных средах, ее целесообразно было бы включить в книгу.

В восьмой главе излагаются элементы общей теории многократного рассеяния волн в случайно-неоднородных средах. Важное место здесь занимает обоснование широко используемого в разных областях физики уравнения переноса излучения и обсуждение дифракционного содержания этого уравнения.

Основные идеи и методы анализа рассеяния волн на шероховатых поверхностях рассмотрены в девятой главе. Несмотря на краткость изложения этой проблемы, включение этой главы в книгу придает последней определенную цельность.

Как и в первой части, в конце всех глав второй части читателям предложены тщательно подобранные задачи (их около 70), иллюстрирующие применение используемых методов. Каждая из задач по своей смысловой и методической нагрузке часто стóит самостоятельного параграфа.

Таким образом, читатель получил в свое распоряжение прекрасную монографию, представляющую собой первое в мировой литературе систематическое изложение широкого круга проблем, составляющих содержание современной статистической радиофи-

зики, и одновременно учебник, написанный на высоком уровне педагогического мастерства. С. М. Рытову, который выступил не только как автор, но и как редактор всего издания в целом, удалось добиться и смыслового, и стилистического единства книги. Само построение книги иллюстрирует основную направленность радиофизики — реализацию единого подхода к колебательно-волновым явлениям разнообразной физической природы. Это наилучшим образом отвечает традициям мандельштамовской школы в отечественной физике.

А. В. Гапонов-Грехов, А. Н. Малахов

539.17(049.3)

ГИГАНТСКИЕ РЕЗОНАНСЫ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ ПРИ СРЕДНИХ ЭНЕРГИЯХ

Cannata F., Uberall H. Giant Resonance Phenomena in Intermediate-energy Nuclear Reactions.— Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1980.— 112 p.— (Springer Tracts in Modern Physics. V. 89).

Изучение гигантских мультипольных резонансов (ГМР) является одним из наиболее актуальных направлений современной ядерной физики. ГМР — интенсивные максимумы в сечениях ядерных реакций при энергии ~10—30 МэВ, интерпретируемые как результат простейших когерентных возбуждений в ядрах. К настоящему времени в основном исследованы электрические резонансы различной мультипольности, проявляющиеся в кулоновском рассеянии электронов, а также в рассеянии ядерных частиц. Сейчас актуален вопрос о выборе пути, по которому должно следовать дальнейшее изучение ГМР. Этому в значительной степени посвящена рецензируемая книга. Ее основное содержание состоит в предсказании новых, еще не наблюдавшихся ГМР, а также в описании и систематизации различных реакций, в которых они могут проявиться. Характер изложения отличается простотой и достаточно систематичен, благодаря тому, что авторы везде используют один и тот же формализм — импульсное приближение.

Книга состоит из шести глав. Основные идеи и результаты изложены в гл. 1 «Взаимодействие между ядром и внешними полями». Здесь дано краткое изложение формализма, используемого при описании взаимодействия ядер с электромагнитными и слабыми токами. Отмечается, что амплитуды разных процессов, обусловленных слабыми и электромагнитными взаимодействиями, обладают аналогичной структурой; различие заключается в спиновых и изоспиновых множителях. Производится классификация ГМР. Последние, помимо мультипольности, разделяются на 4 вида, обусловленные 4 видами волн: 1. Волны, соответствующие смещениям только координат, условно называемые в книге волнами сжатия, или с-модой. 2. Изоспиновые волны (i-мода). 3. Спиновые волны (s-мода). 4. Спин-изоспиновые волны (is-мода).

Состояние, описывающее с-моду, и совокупность состояний, описывающих i-, s- и is-моды, образуют соответственно скалярное и векторное представление группы SU_4. Операторам перехода, описывающим различные ГМР, можно поставить в соответствие амплитуды реакций, обладающих аналогичной спин-изоспиновой (а иногда и координатной) структурой. Таким образом, предсказывается, в какой реакции должен преобладать тот или иной тип ГМР. Например, фотоядерные реакции возбуждают преимущественно i-моду, радиационный захват пионов и фоторождение заряженных пионов — в основном is-моду; в рассеянии электронов назад, в μ-захвате и реакциях с нейтрино могут проявиться is- и s-мода и т. д. Подробно излагаются используемые в дальнейшем для описания координатных смещений гидродинамические модели Гольдхабера — Теллера и Штайнведеля — Йенсена.

В гл. 2—6 дается более подробное изложение тематики, сформулированной в гл. 1. Глава 2 посвящена рассеянию электронов на ядрах. Здесь особого внимания заслуживает обсуждение свойств поперечного (токового) формфактора, который к настоящему времени изучен гораздо меньше, чем продольный (зарядовый) формфактор.

В поперечном формфакторе должны, как предполагают авторы книги, преобладать спин-изоспиновые возбуждения. Приводятся экспериментальные данные (для легких ядер), интерпретируемые как проявление такого вида возбуждений. В данной главе также рассмотрен ряд правил сумм для операторов электромагнитных переходов. Интересен своей новизной раздел, где содержится интерпретация характеристик ГМР в рамках теории полюсов Редже.

В третьей главе обсуждается ряд вопросов, связанных с теорией μ-захвата. Рассматривается дипольное приближение; в этом случае вероятность μ-захвата (в предположении SU_4-инвариантности гамильтониана) может быть выражена через сечение дипольного фотопоглощения (в случае ядер с $N \neq Z$ через ту его часть, которая обусловлена переходами с увеличением изоспина на 1). Сравнение результатов теории с экспериментальными данными для легких ядер подтверждает, по мнению авторов,

исходное предположение о дипольном механизме μ-захвата. Дан обзор теоретических работ, где оцениваются в рамках различных предположений вероятности μ-захвата.

В главе 4 рассмотрены возбуждения ГМР в реакциях с нейтрино. Сюда включены рекции рождения мюона и электрона, а также рассеяние нейтрино. В этих процессах возбуждаются преимущественно s- и is-моды. Делается численное предсказание основных характеристик этих процессов. Указывается, что экспериментальных данных пока нет, но эксперименты проводятся (на Лос-Аламосской мезонной фабрике).

Гл. 5 посвящена реакция фоторождения и радиационного захвата пионов. Здесь содержится краткий обзор существующих экспериментальных и теоретических работ по захвату отрицательных пионов с орбиты мезоатома. Особенностью данного процесса, как отмечают авторы, является усложнение спектра возбужденных состояний с ростом Z (обусловленное увеличением углового момента орбиты, с которой поглощается пион). Так, если в O^{16} возбуждаются дипольный и квадрупольный гигантские резонансы, то в спектре γ-квантов от захвата пиона ядром P^{208} преобладают магнитные переходы высокой мультипольности: 6^-, 7^+.

Подробно анализируются различные аспекты проблемы фоторождения спинов. В этой реакции должны интенсивно возбуждаться спин-изоспиновые волны; сравнивая спектры π^-- и π^+-фоторождения, можно, как отмечают авторы, получить наиболее прямую информацию об изоспиновом расщеплении гигантских резонансов. Глава содержит обзор большого числа работ по расчету характеристик данной реакции; экспериментальные данные пока немногочисленны и ограничены легкими ядрами.

В последней главе рассматривается проявление ГМР в рассеянии адронов. Такие реакции, наряду с рассеянием электронов, являются пока основным источником экспериментальных сведений о ГМР высшей мультипольности. Отмечается ряд достоинств реакций с адронами: передача относительно большого импульса, позволяющая наблюдать ГМР высокой мультипольности, разнообразие сильно взаимодействующих частиц, позволяющее выделять в экспериментах различные типы резонансов: так, в рассеянии протонов могут возбуждаться все возможные типы резонансов; в рассеянии дейтонов должны преобладать изоскалярные резонансы, электрические и магнитные; в рассеянии α-частиц — изоскалярные электрические резонансы. Дальше следует краткий обзор работ по рассеянию протонов и α-частиц. Рассматривается также рассеяние пионов; последняя тема только начинает разрабатываться теоретически, а эксперименты вообще не производились. Омечается интересная особенность рассеяния пионов назад — преобладание спиновых изоскалярных резонансов среди возбужденных состояний (в отличие от рассеяния электронов назад, где должны преимущественно возбуждаться спин-изоспиновые волны.) В приложениях обсуждаются некоторые правила сумм, а также ряд деталей формализма алгебры токов, используемого в основном тексте.

Книга особенно актуальна тем, что большая часть ее посвящена практически не исследованным явлениям — спиновым и изоспиновым гигантским резонансам, а также потому, что в ней систематизированы сведения о большом числе реакций, где эти резонансы могут проявиться. Книга представит несомненный интерес для специалистов, работающих в области физики атомного ядра и элементарных частиц, а также для студентов и аспирантов.

С. Ф. Семенко