

## Предисловие

Физическая кинетика является наиболее интересным и в то же время наиболее сложным разделом теоретической физики. Для успешного усвоения даже основ этого предмета необходимо овладеть основными принципами предыдущих разделов теоретической физики, таких как классическая и квантовая механика, теория поля, статистическая физика. В этом смысле идеальным порядком изучения теоретической физики было бы последовательное изучение всех томов известного курса теоретической физики Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица. К сожалению, уровень изложения материала по мере возрастания номера тома этого курса настолько возрастает, что заключительный, 10-й том (Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П., Физическая кинетика) доступен только высококвалифицированным физикам-теоретикам. Однако знакомство с основными методами физической кинетики в настоящее время необходимо не только традиционным «потребителям» этой области науки — физикам (в том числе экспериментаторам), химикам, математикам, но и, например, тем, кто собирается специализироваться в области актуальных в данное время информационных технологий, наноэлектроники, молекулярной биологии и даже социологии. Именно такой точкой зрения мы руководствовались при подготовке первого издания этой книги, вышедшего в 2007 году. При этом мы исходили из того, что изложение должно быть доступным для тех, кто впервые знакомится с предметом. Оно также должно содержать минимально возможное число отсылок к каким-либо другим источникам.

В предлагаемой книге продемонстрированы основные методы физической кинетики для описания кинетических и релаксационных явлений в нейтральных газах, кристаллических диэлектриках и металлах, аморфных диэлектриках, разреженной низкотемпературной плазме. Мы отказались от последовательного динамического вывода кинетического уравнения методом Боголюбова—Борна—Грина—Кирквуда—Ивона (ББГКИ), исходя из многочастичной функции распределения. Вместо этого «вывод» кинетического уравнения проведен на физическом уровне строгости, основанном на уравнении непрерывности для одночастичной функции распределения, а состояние частицы может быть описано квазиклассически.

В 1-й главе метод кинетического уравнения применяется для расчета различных кинетических коэффициентов в разреженных нейтральных газах. При этом, следуя Людвигу Больцману, мы устанавливаем вид интеграла столкновений «гипотезой о числе столкновений» (нем. *Stosszahlansatz*). Фактически идея восходит к Джеймсу Максвеллу, который выдвинул гипотезу о молекулярном хаосе — предположение в статистической физике об отсутствии корреляций между состояниями сталкивающихся частиц. Эта гипотеза упрощает многие вычисления. Используя следующий из принципов квантовой механики закон унитарности столкновений, мы выводим основные свойства интеграла столкновений в форме Больцмана, в частности *H*-теорему Больцмана, заменяющую в физической кинетике постулат о возрастании энтропии в статистической физике. Далее мы приводим вывод уравнений гидродинамики из кинетического уравнения методом Грэда. Затем развивается метод вычисления основных кинетических коэффициентов в  $\tau$ -приближении. И наконец, излагается наиболее употребительный в настоящее время метод Чепмена—Энгсгога для вычисления кинетических коэффициентов.

В главе 2 метод кинетического уравнения используется для исследования явлений переноса в кристаллах. Изучается поведение кинетических коэффициентов как для диэлектриков, так и для металлов, где электронный газ является вырожденным. При этом для интеграла столкновений используется  $\tau$ -приближение. Для определения времени релаксации  $\tau$  используются различные физические оценки в зависимости от того, какое кинетическое явление исследуется.

В третьей главе исследуются кинетические явления в аморфных диэлектриках. Изложение ведется на основе модели двухуровневых систем (ДУС), на которых релаксируют фононы, ответственные за явление переноса. Кроме того, исследуется прыжковая проводимость, в частности, в случае, когда в спектре электронных возбуждений имеется кулоновская щель.

В главе 4 метод двухвременных функций Грина применяется для расчета кинетических коэффициентов в рамках теории линейного отклика.

И наконец, в 5-й главе исследуются кинетические явления в низкотемпературной плазме. Для этого выводится система уравнений Власова. Основные физические явления в плазме, такие как соб-

ственные колебания, затухание Ландау, пучковая неустойчивость, описаны с помощью решения линеаризованной системы этих уравнений.

Что касается объема книги и отбора материала, то он, по нашему мнению, должен соответствовать насыщенному семестровому курсу, который авторы длительное время читали студентам МФТИ. Читатель практически не встретит в книге фразу «можно показать». Мы старались проводить все выкладки максимально подробно. Основной целью авторов было изложение основных методов физической кинетики на уровне, достаточном для последующего чтения журнальной литературы и специальных книг.

В течение нескольких десятков лет мы обсуждали различные детали рассмотренных в книге проблем с многими коллегами нескольких поколений по кафедре теоретической физики МФТИ. Авторы искренне признательны им всем за дискуссии, пользу которых невозможно переоценить. Мы с сожалением не приводим здесь соответствующего длинного списка наших коллег, поскольку их поименное перечисление заняло бы очень много места. Кроме того, мы опасались, что с большой вероятностью имена некоторых наших коллег могли бы быть беспричинно, по невнимательности, пропущены.

Леонид Александрович Максимов, безвременно ушедший от нас в 2018 году, практически полвека преподавал на кафедре теоретической физики МФТИ. Он был выдающимся специалистом в области кинетической теории. Однако его многочисленные научные достижения в теории конденсированного состояния выходят далеко за рамки собственно кинетических явлений в различных средах.

И. Я. Полищук, будучи студентом старших курсов МФТИ, слушал лекции, положенные в основу предлагаемой читателю книги. В настоящее издание внесены небольшие изменения и уточнения, устранены замеченные опечатки.

*И. Я. Полищук*