

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В КВАНТОВОЙ
СТАТИСТИКЕ И НЕКОТОРЫЕ ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ****§ 70. Последовательный учет тождественности
элементарных частиц**

Мы неоднократно уже указывали ранее, что классические представления оказались недостаточными для изучения движения атомных систем и должны быть заменены представлениями квантовой теории. В главе I мы привели те минимальные сведения из квантовой теории, которые были необходимы для предыдущего изложения. Однако для более глубокого разбора тех изменений, которые вносит квантовая теория в статистическую физику, необходимо остановиться еще на некоторых важных результатах квантовой теории.

Как мы уже подчеркивали ранее, для статистической физики основное значение имеют два положения квантовой механики:

- 1) существование дискретных состояний системы;
- 2) принцип тождественности элементарных частиц.

Дискретность квантовых состояний учитывалась нами с самого начала. Нами было установлено, когда необходимо учитывать дискретный характер энергетических уровней, а когда их можно приближенно считать распределенными непрерывно, а также выявлено и влияние дискретности энергетического спектра на поведение статистических систем. Однако последовательный учет тождественности частиц нами до сих пор произведен не был. Правда, состояния, отличающиеся друг от друга только перестановкой частиц, мы считали одним состоянием. Для этого мы произвели деление фазового пространства на число возможных перестановок частиц. Такое деление представляло простейшую попытку учета тождественности частиц. Деление на $N!$ производилось, в сущности, еще до появления квантовой теории. В противном случае, как мы уже указывали в § 37, из статистики получались неправильные выражения для термодинамических функций. Соображения, основанные на принципе тождественности элементарных частиц, до некоторой

степени оправдали деление функции состояний на $M!$. Однако непоследовательность этой операции очевидна. Действительно, мы считали вначале, что все частицы отличимы друг от друга, так что их можно в принципе последовательно переинумеровать, приписать каждой частице определенный номер или метку. Исходя из этой точки зрения, мы провели подсчет возможных состояний системы, состоящей из N независимых частиц, интегрируя по координатам и импульсам первой, второй и так далее частиц. После этого мы, в противоречие с исходной предпосылкой о возможности нумерации частиц, объявили часть состояний, отличающихся друг от друга только перестановкой частиц, совершенно тождественными и потребовали, чтобы каждое из них учитывалось один раз.

Опыт и теория показывают, однако, что тождественность атомных частиц имеет гораздо более глубокий характер. Полная тождественность атомных частиц приводит к тому, что теряет физический смысл первая из произведенных нами операций — нумерация частиц. Не имеет смысла называть одну из частиц первой, другую — второй и так далее и интегрировать по их состояниям, поскольку нет никаких физических различий между первой, второй и так далее частицами. Если назвать первой частицу, находящуюся в начальный момент в определенном состоянии, то в следующий момент уже нельзя было бы утверждать, что в этом состоянии находится именно первая частица, так как отличить первую частицу от «не первой» было бы невозможно. Поэтому нужно с самого начала отказаться от попытки различать между собой отдельные атомные частицы, т. е. от принятой нами характеристики системы атомных частиц¹⁾.

Мы посмотрим сейчас, к каким изменениям в статистическом распределении приводит последовательный учет полной тождественности атомных частиц. Все дальнейшие рассуждения будут относиться только к одноатомному идеальному газу.

§ 71. Другой метод вывода статистического распределения

Для вывода статистического распределения в газе с учетом принципа тождественности элементарных частиц мы прибегнем к особому приему, могущему служить прекрасной характеристикой гибкости и общности статистических методов. Чтобы сделать различие между классическим и квантовым рассмотрением особенно рельефным, мы сначала еще раз выведем

¹⁾ Исключения составляют так называемые системы локализованных частиц, отделенных друг от друга непроницаемыми барьерами. Такие системы мы рассматривать не будем.