

УДК 539.194:535.37

DOI: 10.17223/00213411/63/8/9

И.Г. КАПЛАН

ПРИНЦИП ЗАПРЕТА ПАУЛИ И ПРОБЛЕМЫ ЕГО ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ

Обсуждается современное состояние принципа запрета Паули (ПП). ПП можно рассматривать с двух точек зрения. С одной стороны, утверждается, что частицы с полуцелым спином (фермионы) описываются антисимметричными волновыми функциями, а частицы с целым спином (бозоны) – симметричными волновыми функциями. Это так называемый спин-статистический аспект (SSC). Физические причины существования SSC до сих пор неизвестны. С другой стороны, согласно ПП, симметрия перестановок полных волновых функций может быть только двух типов: симметричная или антисимметричная, оба типа принадлежат одномерным представлениям группы перестановок, все другие типы симметрии перестановок запрещены, тогда как решение уравнения Шредингера может иметь любую симметрию перестановок. Показано, что в некоторых учебниках по квантовой механике доказательство того, что могут существовать только симметричные и антисимметричные состояния, неверно. Однако сценарии, в которых допускается произвольная симметрия перестановок (вырожденные состояния перестановок), приводят к противоречиям с понятиями идентичности частиц и их независимости. Таким образом, существование в нашей природе частиц только в невырожденных состояниях перестановок (симметричных и антисимметричных) не является случайным, и так называемый постулат симметризации не следует рассматривать как постулат, поскольку все другие варианты симметрии для полной волновой функции могут быть не реализованы. Из этого следует важный вывод: мы не можем ожидать, что в будущем могут быть обнаружены некоторые неизвестные элементарные частицы, которые не являются фермионами или бозонами.

Ключевые слова: принцип Паули, спин-статистика, принцип неразличимости, перестановочная симметрия, бозонные и фермионные частицы.

1. Открытие принципа Паули для электронов и его обобщение в рамках квантовой механики для всех элементарных частиц

Вольфганг Паули сформулировал свой принцип еще до создания современной квантовой механики. Хорошо известно, что основные концепции квантовой механики были сформулированы в 1925 г. Гейзенбергом, Борном и Йорданом [1, 2] в матричном формализме. В 1926 г. Шредингер на основе дуализма волновой частицы, предложенного де Бройлем [3], ввел волновую функцию ψ , описывающую микрочастицы, и сформулировал свое знаменитое волновое уравнение [4, 5].

Паули пришел к формулировке своего принципа, пытаясь объяснить закономерности аномального эффекта Зеемана в сильных магнитных полях. В своих первых исследованиях эффекта Зеемана Паули интересовался объяснением простейшего случая – дублетной структуры щелочных спектров. В декабре 1924 г. Паули представил доклад об эффекте Зеемана [6], в котором показал, что теория Бора дублетной структуры, которая была основана на исчезающем угловом моменте замкнутой оболочки, такой, как К-оболочка щелочных атомов, является неверной и закрытые оболочки не имеют угловых и магнитных моментов. Паули пришел к выводу, что вместо углового момента замкнутых оболочек атомного ядра необходимо ввести новое квантовое свойство электрона. В этой статье он написал замечательные для того времени пророческие слова:

*«Согласно этой точке зрения, дублетная структура щелочных спектров... обусловлена одной двойственностью квантово-теоретических свойств электрона, которая не может быть описана с классической точки зрения (According to this point of view, the doublet structure of alkali spectra ... is due to a particular **two-valuedness** of the quantum theoretic properties of the electron, which cannot be described from the classical point of view.)».*

Эта неклассическая двойственная природа электрона теперь называется спином. Предвидя квантовую природу магнитного момента электрона до создания современной квантовой механики, Паули проявил поразительную интуицию. Основываясь на своих результатах классификации спектральных термов в сильном магнитном поле, он пришел к выводу, что один электрон должен занимать полностью невырожденный энергетический уровень. В документе, представленном для публикации 16 января 1925 г., Паули сформулировал свой принцип следующим образом [7]:

«В атоме не может быть двух или более эквивалентных электронов, для которых в сильных полях значения всех четырех квантовых чисел совпадают. Если в атоме существует электрон,

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>