

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

К ИСТОРИИ ПРИНЦИПА ИСКЛЮЧЕНИЯ (ПРИНЦИПА ПАУЛИ)

В речи, произнесённой в Принстонском институте для углублённых исследований (Institute for Advanced Study) на чествовании Паули по поводу присуждения ему нобелевской премии *), Паули рассказывает историю установления принципа, носящего его имя. Он указывает на то, что начало этой истории относится к его студенческим годам, когда он учился у Зоммерфельда в Мюнхене. Ещё в средней школе Паули приобрёл знания классической физики и новой тогда теории относительности. Когда же в университете он ознакомился с теорией строения атома, то основные постулаты Бора ему, как и всем физикам в то время, показались очень странными. Паули напоминает, что в этот период развития квантовой теории существовало два направления. Одно, — возглавлявшееся Н. Бором, — стремилось навести порядок в новых идеях путём отыскания ключа для перевода классической механики и электродинамики на квантовый язык при посредстве «принципа соответствия». Зоммерфельд, однако, был представителем другого направления, которое пыталось преодолеть трудности использования кинематических моделей путём непосредственной интерпретации законов спектров в терминах целых чисел, следуя — подобно тому, как это делал Кеплер при установлении законов планетных движений — «внутреннему чувству гармонии». «Оба этих метода, которые мне не представлялись несовместимыми, оказали на меня влияние», — пишет Паули. В то время среди учеников Зоммерфельда горячо обсуждалось значение ряда целых чисел 2, 8, 18, 32 ..., которые дают длины периодов периодической системы. Обсуждалось также указание Ридберга на то, что эти числа имеют простую форму $2n^2$, где n — целое число. Зоммерфельд, однако, придавал особое значение числу 8 и пытался связать его с числом углов куба.

Новый этап в своём научном развитии Паули связывает с личным знакомством с Н. Бором. В 1922 г. Бор читал лекции в Гёттингене; в этих лекциях он излагал результаты своих работ по теории периодической системы. Уже в предшествующих работах Бор указывал, как на фундаментальную проблему в этой области, на объяснение причины, вследствие которой в основном состоянии атома все электроны атома не связываются в его самой внутренней оболочке. В столь гёттингенских лекциях Бор в особенности подробно останавливался на замыкании этой самой внутренней K -оболочки гелия и на связи этого замыкания с двумя некомбинирующимися спектрами гелия — спектрами парагелия и ортогелия. Никакого объяснения этой особенности на основе классической механики не было дано. Однако Паули более всего поразило то, что, в отличие от Зоммерфельда, Бор приписывал числу 2 такое же значение, как и числу 8.

Своё личное знакомство с Бором, состоявшееся в это время, Паули описывает юмористически. «Однажды, — рассказывал он, — Бор пришёл ко мне вместе со своим ассистентом Оскаром Клейном и спросил меня — не

*) W. Pauli, Science 103, 213, 1946 (№ 2639, 22 Febr).

соглашусь ли я поехать на год к нему в Копенгаген... Я был очень поражён и, подумав немного, ответил так, как может ответить только молодой человек: «Я думаю, что научные требования, которые Вы предъявите ко мне, не представят для меня никакого затруднения, но изучение нового языка, подобного датскому, превосходит мои способности». Бор и Клейн рассмеялись, и я приехал в Копенгаген в конце 1922 года. При этом оба моих утверждения оказались ложными. Первыми датскими словами, которым я научился, были названия целых чисел. Способ, которым такие простые числа, как 50, 70, 90, выражаются по-датски — сложным образом, как полуцелые кратные 20 ($50 = 20 \cdot 5/2$ и т. д.) — особенно поразил меня. Однако я усвоил идею и легко узнал слова. Но полуцелые числа, которые использовал Ланде в качестве магнитных квантовых чисел для объяснения аномального эффекта Зеемана, представили для меня гораздо большие затруднения... В то время Паули занимался теорией аномального эффекта Зеемана и его внимание было приковано к тому, что, с одной стороны, в этом явлении обнаруживаются простые закономерности, а с другой — самые общие допущения относительно свойств электрона как в классической, так и в квантовой теории ведут только к простому триплету Лоренца, а не к сложным типам расщепления. Задача казалась Паули неразрешимой. Тем не менее, ему удалось обобщить анализ Ланде для более простого случая сильных полей (эффект Пашена-Бака).

В 1923 г. свою вступительную лекцию в качестве приват-доцента, читанную в Гамбурге, Паули посвятил теории периодической системы. Содержание этой лекции представляется ему сейчас в высшей степени неудовлетворительным, так как проблема замыкания электронных оболочек не была разъяснена. Единственно существенным было указание на связь этой проблемы с мультиплетной структурой спектра атома. Принимая это во внимание, Паули вновь критически рассмотрел простейший случай щелочных металлов и пришёл к выводу, что ортодоксальная в то время точка зрения, согласно которой дублетная структура спектров этих атомов объясняется моментом количества движения «атомного остатка», состоящего из ядра и $Z-1$ внутренних электронов, — что эта точка зрения не верна. В работе 1924 г. Паули указал соображения, в силу которых для объяснения дублетной структуры следует приписать электрону новое квантовое свойство, которое он назвал «двузначностью, недоступной классическому описанию».

Именно в это время появилась работа Стонера, в которой не только была улучшена классификация электронов по подгруппам, но и сделано было существенное замечание, что число уровней энергии одного излучающего электрона щелочных металлов во внешнем магнитном поле при данном значении главного квантового числа равно числу электронов в замкнутых оболочках благородных газов, соответствующих тому же главному квантовому числу. Паули указывает, что это замечание в связи с его, т. е. Паули, предшествующими результатами, относившимися к классификации спектральных термов в сильном магнитном поле, сразу позволило ему дать общую формулировку принципа исключения. Идею этого принципа он формулирует следующим образом: сложные числа электронов в замкнутых подгруппах сводятся к простому числу один, если провести разделение групп, указывая значения четырёх квантовых чисел, при условии полного устранения вырождения. Один электрон занимает невырожденный энергетический уровень уже полностью. Изложение этой формулировки принципа исключения было дано Паули весной 1925 г. (Zschr. f. Physik 31, 765, 1925).

Паули отмечает, что, за исключением специалистов по классификации спектров, формулировка принципа исключения на этой стадии показалась физикам непонятной, так как неясно было, какие модельные представления можно связать с четвёртой степенью свободы электрона. Этот пробел был заполнен благодаря идее Юленбека и Гаудсмита о спине электрона, которая позволила понять аномальный эффект Зеемана. С тех пор принцип исключе-

ния всегда связывают именно с идеей спина. Паули отмечает, что, хотя он первоначально сильно сомневался в правильности этой идеи вследствие её классического механического характера, однако вычисление Томасом величины дублетного расщепления заставило Паули принять идею спина. С другой стороны, его ранние утверждения относительно «двузначности, недоступной классическому описанию», были подтверждены последующим развитием теории, которое показало, что свойство спина электрона является существенно квантовомеханическим.

Последующее развитие принципа исключения (принципа Паули) и его значение, далеко выходящее за пределы спектроскопии, общеизвестны.

Э. Шпольский