

О.Г. ВЕРИН

КВАНТОВЫЙ ДЕФЕКТ И ПРОСТЫЕ ДРОБИ

Простые дроби вида N_1/N_2 , где N_1 и N_2 – небольшие целые числа, нередко используются при квантовомеханическом описании объектов микромира (например, это дробные заряды кварков и некоторые квантовые характеристики, такие, как спин частиц). Относительно недавно был открыт дробный квантовый эффект Холла, и простые дроби значительно расширили свое присутствие в физике микромира. Теория дробного квантового эффекта Холла оказалась весьма нетривиальной, так что Нобелевская премия по физике в 1998 г. была присуждена и за само открытие в 1982 г. (Даниэль Цуи и Хорст Штёрмер), и за создание теории эффекта в 1983 г. (Роберт Лафлин). И вот теперь еще одно сенсационное открытие: простые дроби были «обнаружены» при анализе экспериментальных характеристик «водородоподобных» атомов и ионов (с единственным электроном на внешней оболочке). Оказалось, что эффективные главные квантовые числа внешнего электрона, т.е. с учетом квантового дефекта (поправки Ридберга), могут быть выражены простыми дробями N_1/N_2 .

Ключевые слова: квантовый дефект, атом, атомный остаток, квантовое число, простая дробь, водородоподобное состояние.

Значения главного квантового числа n состояний атома водорода определяются непосредственно из формулы для энергии электрона [1]

$$E = -\frac{me^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}. \quad (1)$$

Однако «похожие» на водород атомы с одним внешним электроном имеют очень сложные спектры. В частности, в [1] (§ 68) относительно состояний, напоминающих водородные, сказано следующее:

«У других атомов существуют состояния, по своим свойствам напоминающие водородные. Речь идет о сильно возбужденных состояниях, в которых один из электронов обладает большим главным квантовым числом и потому находится в основном на больших расстояниях от ядра. Движение такого электрона можно рассматривать, в некотором приближении, как движение в кулоновом поле «атомного остатка» с эффективным зарядом равным единице. Получающиеся, таким образом, значения уровней энергии оказываются, однако, слишком неточными, и в них надо внести поправку, учитывающую отклонение поля на малых расстояниях от чисто кулонового».

«... мы можем заключить, что для уровней энергии получится выражение, отличающееся от водородного заменой радиального, или, что то же, главного квантового числа n на $(n+\Delta_i)$, где Δ_i – некоторая постоянная (так называемая поправка Ридберга):

$$E = -\frac{me^4}{2\hbar^2} \frac{1}{(n+\Delta_i)^2}. \quad (2)$$

Поправка Ридберга не зависит (по самому своему определению) от n , но является, конечно, функцией азимутального квантового числа l возбужденного электрона (которое мы приписываем к Δ в виде индекса), а также от моментов L и S атома в целом. При заданных L и S Δ_i быстро убывает с увеличением l . Чем больше l , тем меньше времени электрон проводит вблизи ядра, а потому уровни энергии должны все больше приближаться к водородным».

Поправка Ридберга (квантовый дефект) определяется эмпирически, а теоретический расчет наталкивается на большие трудности.

Однако в последние несколько лет анализ накопленных за многие десятилетия экспериментальных данных показал [2], что эффективные главные квантовые числа внешнего электрона $n^* = (n+\Delta_i)$, т.е. с учетом квантового дефекта, оказываются близкими к величинам некоторых простых дробей $n^* \approx N_1/N_2$, где N_1 и N_2 – небольшие целые числа.

Рассмотрим подробнее эту экспериментальную закономерность, используя характеристики атомов и ионов с единственным внешним электроном в невозбужденном состоянии. В этом случае

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>