

ПРИРОДА ОПТИЧЕСКИХ И РЕНТГЕНОВЫХ ДУБЛЕТОВ ¹⁾

С. Э. Фриш.

Как известно, Милликэн удалось с помощью его вакуум-спектрографа продвинуться далеко в ультра-фиолетовую часть спектра. Источником света служила искра в вакууме („hot-spark“). Исследованы были, главным образом, элементы первой строки периодической системы, обнаружившие в области около 1000 Å большое число спектральных линий.

Может быть поставлен вопрос: какова природа наблюдаемых спектров, промежуточных между оптическими и рентгеновским?

Водород, ионизованный гелий, дважды ионизованный литий и т. д., представляя собой системы из ядра и одного электрона, дают, по теории Бора, спектры, охватываемые обобщенной формулой Бальмера:

$$\nu = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right)$$

где Z — атомный номер. При $n' = 1$ указанная серия является аналогом K -серии рентгеновой области.

Ионизованный Be , дважды ионизованный B и т. д., должны давать спектры, такие же, как спектр Li , т. е. состоящие из дублетов, аналогичных дублетам щелочных металлов (только сдвинутые в ультра-фиолетовую область благодаря множителю Z^2). Обозначая, что спектр принадлежит не ионизованному атому через индекс I, ионизованному — через индекс II, дважды ионизованному — через индекс III и т. д., получим таблицу ожидаемых спектров:

H_I	Водородоподобные спектры (аналог K -сериям).	Li_I	Дублетные серии щелочных металлов (аналог L -сериям).
He_{II}		Be_{II}	
Li_{III}		B_{III}	
и т. д.		C_{IV}	
		N_V	

Чтобы обнаружить далекие ультра-фиолетовые дублеты, Милликэн воспользовался большой дифракционной решеткой в 4 дюйма, с фокусом в 1 м, разрешающей 0,15 Å. Оказалось, что действительно Be_{II} , B_{III} и т. д. имеют дублетные линии. Так как эти дублеты являются аналогами рентгеновским L -дублетам, то естественно было посмотреть, не приложимы ли к ним те же законы, что и в рентгеновской области.

Как известно, рентгеновский дублет L_2L_3 объясняется разницей между энергиями электрона на круговой орбите 2_2 (L_3) и эллиптической 2_1 (L_2), происходящей благодаря зависимости массы от скорости, согласно с принципом относительности. Теория приводит к формуле:

$$\nu = 0.365 (Z - \sigma)^4 \dots (*)$$

¹⁾ R. A. Millikan and J. S. Bowen. Extension of X-ray doublet laws into the field of Optics, Phys. Rev. 24, p. 209, 1924.

Some conspicuous successes of the Bohr atom and a serious difficulty. Phys. Review, 24, p 223; 1924.

где $\Delta\nu$ —разность частот между составляющими дублета, Z — атомный номер, σ — величина экранирования (из опытов $\sigma = 3.5$ для всех элементов).

В последующей таблице во второй строке даны разности частот между составляющими наблюдаемых ультра-фиолетовых дублетов; в третьей— значения $\sqrt[4]{\Delta\nu/0.365}$, в четвертой— значения σ , вычисленные по формуле (*)

$$2p_2 - 2p_1$$

	$\Delta\nu$	$\sqrt[4]{\Delta\nu/0.365}$	σ
Li_I	0.338	0.981	2.019
Be_{II}	6.61	2.063	1.937
B_{III}	34.4	3.116	1.884
C_{IV}	107.7	4.142	1.858
N_V	259.1	5.162	1.838

Из таблицы видно, что $\sqrt[4]{\Delta\nu/0.365}$ в согласии с формулой (*) растет линейно с атомным номером Z , и что σ приблизительно равно 2. Этот же закон оказался применим и к целому ряду других элементов.

Таким образом, мы получаем, что законы релятивистских рентгеновских дублетов применимы и в оптической области.

В рентгеновской области, кроме релятивистских L_2L_3 дублетов, есть еще так называемые иррегулярные, дублеты L_1L_2 , для которых $\Delta \sqrt{\nu}$ приблизительно не зависит от Z . Эти дублеты объясняются двумя различными величинами экранирования σ для орбит L_1 и L_2 .

Если оптические дублеты оказываются релятивистскими, то оптическим аналогам иррегулярных дублетов должны являться разности между s - и p -термами. Следующая таблица Милликена показывает, что это приблизительно оправдывается:

	$\frac{2s - 2p_2}{\sqrt{\nu_s} - \sqrt{\nu_p}}$
Be_{II}	44
B_{III}	45
C_{IV}	46
N_V	46

Таким образом:

$L_3 (2_2)$	соответствует	p_1
$L_2 (2_1)$	"	p_2
$L_1 (2_1)$	"	s

Но толкование оптических дублетов, как релятивистских, представляет целый ряд затруднений:

1) Орбиты p_1 и p_2 , сильно различаясь по виду (круг 2_2 и эллипс 2_1), должны были бы иметь различные значения экранирующей величины σ , в то время как на самом деле для них получаются значения σ почти совпадающие.

2) Так как орбиты p_2 и s являются оба эллипсами 2_1 (различаться могут лишь внутренними квантовыми числами, т.е. различной ориентировкой в пространстве),

то для них экранирующие величины σ должны были бы быть приблизительно одинаковыми, чего на самом деле нет.

3) В оптической области существуют не только дублеты, но и триплеты. Релятивистская же теория может приписать термам p (полное квантовое число 2) лишь два различных значения p_1 и p_2 . Таким образом, пришлось бы объяснить возникновение $p_1 p_2$ разности одной причиной, а $p_2 p_3$ — другой, что, очевидно, не допустимо.

4) Вся систематика спектральных серий (принципы отбора), а особенно явления, связанные с эффектом Зеемана, говорят против релятивистской природы оптических дублетов.

Окончательно: опыты приводят к тождественности законов, которым подчиняются рентгеновские релятивистские и оптические дублеты. Толкование же оптических дублетов, как релятивистских, представляет непреодолимые трудности.

Следует отметить, что работы Ланде ¹⁾ показали, что с точки зрения систематики рентгеновских спектров, релятивистская природа L_2L_3 спектров ставится также под сомнение. Пожалуй, особенно веским доказательством служит следующее: в периодической системе элементов оба уровня L_2 и L_3 появляются сразу (у одного, может быть, у двух соседних элементов). Если же орбита L_2 была бы эллипсом 2_1 , L_3 — кругом 2_2 , то они принадлежали бы к различным слоям и их одновременное появление в периодической системе было бы непонятно.

¹⁾ A. Landé. Das Wesen der relativistischen Röntgendoublets. Zs. f. Phys. 24, S. 88, 1924.