

В. И. ЧЕРНЯЕВ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ РИДБЕРГА ДЛЯ ВОДОРОДА И ДЕЙТЕРИЯ

*(Представлено академиком С. И. Вавиловым 10 VI 1938)*

В ряде работ (1) из спектров водорода и дейтерия вычислялись различные физические константы, например  $\frac{e}{m_0}$ , постоянная тонкой структуры  $\alpha$  и т. д. Однако точного абсолютного значения постоянной Ридберга для дейтерия, вычисленной непосредственно из наблюдения спектров, до сих пор в литературе не имеется. Грубое определение  $R_D$  (2), в котором тонкая структура линий не рассматривалась, в счет не идет. Значение  $R_D$ , которое приводится в книге Уайта (3), повидимому просто вычислено при помощи имевшихся тогда данных для масс протона и дейтона. Целью настоящей работы являлось изучение тонкой структуры линий дейтерия и водорода для определения  $R_D$  и  $R_H$  и попутно для новых измерений ряда других констант.

Разрядная трубка внутреннего диаметра 5 мм, опущенная в жидкий воздух, наполнялась гелием или неоном при давлении около 0.1 мм, причем водород и дейтерий присутствовали в разряде лишь в виде следов (4) и приблизительно в одинаковом количестве. Трубка питалась либо трансформатором, дающим 2 000 V, либо постоянным током напряжения 3 000 V. Сила тока, шедшего через трубку, составляла 150—200 mA. Спектры фотографировались при помощи большой диффракционной решетки радиуса кривизны 640 см с общим числом штрихов 180 000 при 30 000 штрихов на дюйм, нарезанной Вудом и Ферри. Линии  $H_\alpha$  и  $D_\alpha$  снимались в первом порядке (так как красная часть второго порядка получается уже за щелью и решетка в этом месте диафрагмируется массивным ящиком, в котором она расположена для лучшей защиты от колебаний температуры), а линии  $H_\beta$ ,  $D_\beta$ ,  $H_\gamma$  и  $D_\gamma$  — во втором. На пластинки кроме линий наносились марки интенсивности при помощи ступенчатых фильтров, накладываемых непосредственно на пластинки. При помощи марок увеличенные проекции микрфотометрических кривых переводились в кривые интенсивности.

Систематического различия в виде контуров линий и в относительных интенсивностях главных компонент при наполнении трубки гелием и неоном и точно так же при разных источниках тока не найдено. Отношение интенсивности коротковолновой компоненты к длинноволновой несколько меняется от пластинки к пластинке (вероятно в зависимости от давления, которое точно не измерялось) и в среднем для десяти пластинок с  $H_\alpha$  и  $D_\alpha$ , четырех с  $H_\beta$ ,  $D_\beta$  и стольких же с  $H_\gamma$ ,  $D_\gamma$  дают числа табл. 1.

Таблица 1  
 Отношение интенсивности коротковолновой составляющей дублетной структуры к длинноволновой  $\left(\frac{I_k}{I_l}\right)$

Линия	$\frac{I_k}{I_l} = \text{наблюд.}$	$\frac{I_k}{I_l} = \text{теорет.}$
H <sub>α</sub> . . . . .	0.83	} 0.80
D <sub>α</sub> . . . . .	0.82	
H <sub>β</sub> . . . . .	0.91	} 0.91
D <sub>β</sub> . . . . .	0.89	
H <sub>γ</sub> . . . . .	0.96	} 0.96
D <sub>γ</sub> . . . . .	0.94	

Отношения интенсивностей близки к теоретическим, тогда как в большинстве исследований отступления больше. Но в настоящей работе сила тока была большой, а при увеличении силы тока распределение интенсивности должно приближаться к теоретическому (5). Вряд ли имеет реальное значение несколько меньшая величина отношения для D, так как линии H обладают большей шириной и поэтому более интенсивная длинноволновая компонента для H может слегка накладываться на коротковолновую, несколько приподнимая ее максимум.

На микрофотограммах и кривых интенсивности для H<sub>α</sub> и D<sub>α</sub> хорошо заметна асимметрия коротковолновой компоненты, происходящая от наличия компоненты 2S<sub>1/2</sub>, P<sub>1/2</sub> — 3P<sub>1/2</sub>, S<sub>1/2</sub>. Для линий H<sub>β</sub> и D<sub>β</sub> эта асимметрия значительно меньше и едва заметна для H<sub>γ</sub> и D<sub>γ</sub>. Длинноволновая компонента симметрична.

Длины волн максимумов длинноволновых компонент H<sub>α</sub> и D<sub>α</sub> тщательно промерялись с помощью неоновых нормалей λλ = 6506.528 Å, 6532.882 Å и 6598.953 Å, которые накладывались одновременно на пластинку, когда трубку наполнял неон и свечение водорода еще не преобладало(4). В среднем из шести пластинок получены следующие значения длин волн и соответствующих им вакуумных значений волновых чисел длинноволновых составляющих H<sub>α</sub> и D<sub>α</sub>.

Таблица 2

	λ воздух Å	ν, вакуум см <sup>-1</sup>
H <sub>α</sub> <sup>l</sup> . . . . .	6 562.846 ± 0.002	15 233.091 ± 0.0046
D <sub>α</sub> <sup>l</sup> . . . . .	6 561.063 ± 0.002	15 237.232 ± 0.0046
	Δλ = 1.783 ± 0.004	Δν = 4.141 ± 0.0092

Для перехода от волнового числа максимума длинноволновой группы компонент к волновому числу наиболее интенсивной компоненты (2P<sub>3/2</sub> — 3D<sub>5/2</sub>) следует ввести поправку.

Так как для нашего случая интенсивности дублетных компонент близки к теоретическим, то можно предположить, что и распределение интенсивностей среди отдельных компонент тонкой структуры совпадает с теорети-

ческим. В таком случае центр тяжести длинноволновой группы, состоящей из трех компонент, смещен относительно положения компоненты  $2P_{3/2}-3D_{5/2}$  в сторону больших волн приблизительно на  $0.006 \text{ см}^{-1}$ . Однако при конечной ширине линий центр тяжести группы компонент не обязан совпадать с измерявшимся максимумом интенсивности. Виллиамс и Гиббс<sup>(6)</sup> показали, что при ширине компонент порядка доплеровской ширины, получающейся в трубке, погруженной в жидкий воздух, максимум интенсивности длинноволновой группы для  $H_\alpha$  и  $D_\alpha$  отстоит всего на  $0.003 \text{ см}^{-1}$  от положения компоненты  $2P_{3/2}-3D_{5/2}$ . Вводя поэтому поправку  $+0.003 \text{ см}^{-1}$  к числам табл. 2, получим волновые числа компонент  $2P_{3/2}-3D_{5/2}$ :

$$H'_\alpha : (15\ 233.094 \pm 0.0046) \text{ см}^{-1},$$

$$D'_\alpha : (15\ 237.235 \pm 0.0046) \text{ см}^{-1}.$$

Из формулы Дирака для волновых чисел термов

$$\nu_i = -\frac{R}{n^2} \left[ 1 + \frac{\alpha^2}{n^2} \left( \frac{n}{j + \frac{1}{2}} - \frac{3}{4} \right) \right],$$

подставляя значение  $\alpha^2 = 5.297 \cdot 10^{-5}$  (7) и соответственные квантовые числа, получим волновое число компоненты  $2P_{3/2}-3D_{5/2}$ :

$$\nu = 0.138889553 R.$$

Пользуясь измеренными значениями  $\nu$ , приходим к числам:

$$R_H = (109\ 677.753 \pm 0.030) \text{ см}^{-1},$$

$$R_D = (109\ 707.567 \pm 0.030) \text{ см}^{-1}.$$

Если подставить  $\alpha^2 = 5.305 \cdot 10^{-5}$  (8), то отличие от приведенных чисел достигает лишь  $0.002 \text{ см}^{-1}$ .

Далее, пользуясь формулами

$$\frac{M_P}{m_0} = \frac{\nu_D}{\nu_D - \nu_H} \frac{M_D - M_P}{M_D} - 1$$

и

$$\frac{e}{m_0} = \frac{M_P}{m_0} \frac{F}{A_H},$$

где  $m_0$ ,  $M_P$  и  $M_D$ —массы электрона, протона и дейтона соответственно,  $F$ —число Фарадея,  $A_H$ —атомный вес водорода, и подставляя значения  $M_D$  и  $M_P$  по Астону<sup>(9)</sup>, измеренные значения  $\nu$  и значение  $F$  по Берджу<sup>(8)</sup>, получим значения отношения массы протона к массе электрона и удельного заряда электрона. Отсюда можно вычислить также постоянную Ридберга для бесконечно тяжелого ядра, атомный вес электрона, его массу и заряд и постоянную тонкой структуры  $\alpha$ . При этом использованы данные Берджа<sup>(8)</sup> для скорости света, постоянной Планка и массы протона. Кроме того из значений  $R_D$ ,  $R_H$  и  $\frac{M_P}{m_0}$  вычислено отношение массы дейтона к массе протона.

В силу довольно большой погрешности для  $\frac{M_P}{m_0}$  получается заметная погрешность для  $m_0$ , а отсюда для  $e$  и  $\alpha$ . Отсюда же проистекает большая неточность в определении  $R_\infty$  и  $\frac{M_D}{M_P}$ . Однако все вычисленные величины (за исключением возможно  $\alpha$ ) в пределах ошибок опыта совпадают с изме-

Таблица 3

Величина	Значение
Постоянная Ридберга для водорода, $R_H$	$(109\,677.75_3 \pm 0.030) \text{ см}^{-1}$
Постоянная Ридберга для дейтерия, $R_D$	$(109\,707.56_7 \pm 0.030) \text{ см}^{-1}$
Постоянная Ридберга для бесконечно тяжелого ядра, $R_\infty$	$(109\,737.4_{58} \pm 0.16) \text{ см}^{-1}$
Отношение массы протона к массе электрона, $\frac{M_P}{m_0}$	$1\,837 \pm 4$
Удельный заряд электрона, $\frac{e}{m_0}$	$(1.758 \pm 0.004) \cdot 10^7 \frac{\text{эл. магн. ед.}}{\text{г}}$
Атомный вес электрона, $A_{el}$	$(5.488 \pm 0.010) \cdot 10^{-4}$
Масса электрона, $m_0$	$(9.11_8 \pm 0.030) \cdot 10^{-28} \text{ г}$
Заряд электрона, $e$	$(1.603 \pm 0.009) \cdot 10^{-20} \text{ CGSEM}$ или $(4.80_6 \pm 0.027) \cdot 10^{-10} \text{ CGSE}$
Постоянная тонкой структуры, $\alpha$	$(7.39 \pm 0.10) \cdot 10^{-3}$
Отношение массы дейтона к массе протона, $\frac{M_D}{M_P}$	$1.998 \pm 0.018$

рениями других авторов (1, 8, 9, 10). На значения  $R_D$  и  $R_H$  эта неточность в  $\alpha$  не сказалась, так как для вычислений в этом случае бралось значение  $\alpha$ , измеренное более точно, при помощи интерферометра, другими авторами. Кроме того погрешность в определении  $R$  почти исключительно происходит от неточности измерения абсолютных значений волновых чисел. Значение  $\frac{M_D}{M_P}$ , измеренное с помощью масспектрографа (9), равно  $1.9985 \pm 0.00015$ . Наше значение в пределах ошибок опыта совпадает с этим; однако естественно, что при таком косвенном измерении неточность во много раз превосходит погрешность опытов Астона.

Лаборатория молекулярной и атомной спектроскопии.  
Государственный оптический институт.  
Ленинград.

Поступило  
13 VI 1938.

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> C. D. Shane a. F. H. Spedding, Phys. Rev., **47**, 33 (1935); F. H. Spedding, C. D. Shane a. N. S. Grace, *ibid.*, **47**, 38 (1935); R. C. Williams a. R. C. Gibbs, *ibid.*, **48**, 971 (L) (1935); **49**, 416 (A) (1936). <sup>2</sup> A. Hagenbach u. H. Gärtner, *Helv. Phys. Acta*, **8**, 314 (1935). <sup>3</sup> H. E. White, *Introduction to Atomic Spectra*, N. Y. (1934). <sup>4</sup> В. И. Черняев, ДАН, XIX, 245 (1938). <sup>5</sup> H. Bethe, *Hndb. d. Physik*, XIV, I Teil, § 43. <sup>6</sup> R. C. Williams a. R. C. Gibbs, *Phys. Rev.*, **45**, 475, 491(L) (1934). <sup>7</sup> F. H. Spedding, C. D. Shane a. N. S. Grace, *loc. cit.* <sup>8</sup> T. R. Birge, *Rev. Mod. Phys.*, **1**, 1 (1929). <sup>9</sup> F. W. Aston, *Nature*, **137**, 357 (1936). <sup>10</sup> W. W. Houston, *Phys. Rev.*, **30**, 608 (1927).