

СПЕКТР ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРОВ СТРОНЦИЯ В ВАКУУМНОЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

М. Г. Козлов и Г. П. Старцев

Методом полного поглощения измерены силы осцилляторов автоионизованных линий стронция в интервале длин волн от 2177.1 до 1645 Å, сходящихся к пределу $\text{Sr II } ^2D_{3/2, 5/2}$. Определена зависимость сечения фотоионизации от длины волны в этой области. Измерены времена жизни состояний, соответствующих одновременному возбуждению двух электронов.

Введение

Спектры поглощения в вакуумной ультрафиолетовой области элементов второй группы системы Менделеева представляют интерес в связи с тем, что в этой области лежит большинство линий, соответствующих переходам на уровни, связанные с одновременным возбуждением двух электронов. Наблюдение серий, сходящихся к состоянию возбужденного иона, стало возможным в связи с появлением аппаратуры, позволяющей получать качественные спектры с хорошим разрешением в области длин волн короче 2100 Å.

Ранее спектр поглощения паров стронция исследовался в видимой и ультрафиолетовой области. Подробные количественные измерения проведены Пенкиным и Шабановой [1], измерившими методом крюков силы осцилляторов линий, сходящихся к первому ионизационному потенциалу. В области вакуумного ультрафиолета спектр поглощения стронция получен сравнительно недавно. Авторы работы [2] классифицировали 94 линии поглощения стронция, соответствующих двухэлектронному возбуждению. Однако в этой работе не содержится даже оценочных значений сил осцилляторов линий и сечения фотоионизации паров стронция, хотя именно в таких количественных величинах проявляются особенности, присущие автоионизованным линиям.

Эксперимент

Спектры поглощения паров стронция были получены на трехметровом вакуумном спектрографе нормального падения с вогнутой решеткой, имеющей 1200 штр./мм. Источником [сплошного] спектра в области 2300—1850 Å служила водородная лампа с окном из фтористого лития. В более коротковолновой области спектра применялся ксеноновый источник, дающий непрерывный спектр от 1900 до 1500 Å.

Пары стронция получались в вакуумной печи типа печи Кинга при температурах от 500 до 800° С. Температура печи регистрировалась термпарой из платины и платины с 10%-м содержанием родия. Графитовое тело накала печи экранировалось от паров стронция трубой из нержавеющей стали. Вследствие быстрой диффузии паров стронция от нагретых частей печи к холодным в печь напускался гелий высокой чистоты через ловушку с активированным углем до давления 3—150 мм рт. ст.

Спектр за границей ионизации состоит из шести серий, отождествленных [2] как серии, соответствующие переходам на термы ${}^1P_1^0 {}^3P_1^0 {}^3D_1^0$ конфигурации $4dnp$, а также на термы конфигурации $4dnf {}^1P_1^0$. Принадлежность термов двух серий конфигурации $4dnf$, сходящихся к двойному состоянию иона SrII^2D , в работе [2] точно не установлена. По степени уширения линий этих серий за счет автоионизации можно предположить, что это серии типа $5s^2 {}^1S_0 - 4dnf {}^3P_1^0$. Ввиду отсутствия стандартов длин волн в нашем эксперименте отождествить эти серии по каким-либо другим признакам не представлялось возможным, и поэтому принадлежность этих линий остается спорной.

Результаты измерений

Из полученного спектра поглощения было найдено сечение поглощения за границей ионизации, определяемое как

$$\sigma(\nu) = \frac{\ln \frac{I_0}{I_\nu}}{Nl}, \quad (1)$$

где I_0 и I_ν есть интенсивности падающего и прошедшего через столб паров света на частоте ν , N — концентрация поглощающих атомов и l — длина столба паров. Таким образом, точность определения сечения поглощения в основном зависит от точности, с которой известно произведение Nl . Зная температуру печи, можно рассчитать концентрацию поглощающих атомов

$$N = N_0 \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}. \quad (2)$$

Здесь $N_0 = 2.687 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, T — абсолютная температура и p — давление насыщающих паров элемента в мм рт. ст. при температуре T , которое для стронция можно найти из уравнения [3].

$$\log p = 7.435 - \frac{7548}{T}. \quad (3)$$

Неопределенной остается длина столба паров. Вследствие химической активности паров стронция и быстрой диффузии паров в холодные участки печи нельзя без дополнительных исследований полагать длину столба равной длине нагретой части печи. Для определения эффективной длины столба паров при различных давлениях постороннего газа в печи измерялась величина полного поглощения линий серии $5s^2 {}^1S_0 - 5snp {}^1P_1^0$ для $n=14, 15, 16$. Затем, по известным из работы [1] значениям сил осцилляторов этих линий определялось произведение Nl . Результаты таких измерений показали, что при достаточно больших давлениях постороннего газа, около 50—100 мм рт. ст. в случае гелия, и при малых экспозициях, не превышающих 3 мин., эффективная длина столба паров, найденная по резонансным линиям, отличалась от длины разогретой части печи не более, чем на 10—15%.

Значение сечения фотоионизации непосредственно вблизи границы можно оценить путем экстраполяции плотности сил осцилляторов линий главной серии до границы ионизации [4]

$$\sigma(\nu) = c \frac{df}{d\varepsilon}, \quad (4)$$

где $c = 8.07 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$ и ε — энергия вырванного электрона, выраженная в ридбергах. Если вблизи границы ионизации нет сильного возмущения со стороны уровня посторонней конфигурации, и если измерены силы осцилляторов достаточно большого числа линий серии, сходящейся к данной границе, то можно провести экстраполяцию достаточно надежно и найти значение сечения фотоионизации.

На рис. 1 слева отложена зависимость величины $0.5n^{*3}f$ для линий серии $5s^2 1S_0 - 5Sn p^1 P_1^0$ стронция, построенная по измерениям работы [1].

На рис. 1 справа представлена зависимость сечения поглощения стронция от энергии непосредственно за границей ионизации, полученная нами методом поглощения. Как видно из этого рисунка, на расстоянии 5172 см^{-1}

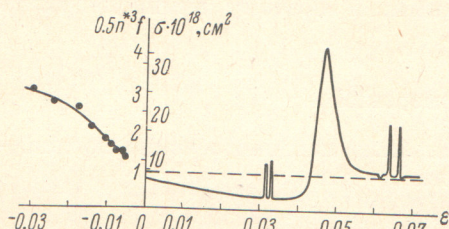


Рис. 1. Силы осцилляторов линий главной серии стронция и сечение поглощения паров стронция за границей ионизации.

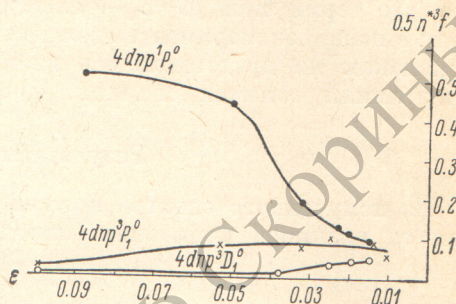


Рис. 2. Силы осцилляторов автоионизованных линий стронция.

за границей ионизации лежит уровень $4d6p^1 P_1^0$, возмущающий ионизационный континуум. Анализ профиля линии с длиной волны 1957 \AA , соответствующей переходу на этот уровень, по теории взаимодействия различных конфигураций с одинаковыми энергиями [5] показывает, что сечение невозмущенного континуума (на рис. 1 обозначен штриховой линией) вблизи границы ионизации должно быть около $8 \cdot 10^{-18} \text{ см}^2$. Экстраполяция плотности сил осцилляторов линий главной серии приводит к тому же значению. Таким образом, можно считать, что полученная зависимость сечения поглощения стронция от длины волны в пределах погрешности метода поглощения, составляющей 20—25%, соответствует

Т а б л и ц а 1

Силы осцилляторов линий стронция конфигурации $4dnp$

Переход	$\lambda, \text{ \AA}$	$f_{\text{абс.}}$	$\Delta\lambda, \text{ см}^{-1}$	$\tau \cdot 10^{15}, \text{ сек.}$
$5s^2 1S_0 - 4d6p^1 P_1^0$	1957.0	0.027	542	10
$4d7p^1 P_1^0$	1810.8	0.010	793	7
$4d8p^1 P_1^0$	1755.9	0.0025	168	31
$4d9p^1 P_1^0$	1721.97	0.0010	57	93
$4d10p^1 P_1^0$	1703.20	0.0006	43	123
$4d11p^1 P_1^0$	1689.62	0.0003	30	183
$5s^2 1S_0 - 4d5p^3 P_1^0$	2680.76	0.00034	—	—
$4d6p^3 P_1^0$	2018.3	0.0004	58	92
$4d7p^3 P_1^0$	1827.19	0.0030	92	58
$4d8p^3 P_1^0$	1766.47	0.0010	50	106
$4d9p^3 P_1^0$	1731.81	0.0008	32	128
$4d10p^3 P_1^0$	1710.58	0.0003	19	277
$4d11p^3 P_1^0$	1698.21	0.0003	18	286
$4d12p^3 P_1^0$	1688.63	0.0001	—	—
$5s^2 1S_0 - 4d5p^3 D_1^0$	2757.54	0.00037	—	—
$4d6p^3 D_1^0$	2033.86	0.0002	25	210
$4d7p^3 D_1^0$	—	—	—	—
$4d8p^3 D_1^0$	1772.79	0.0002	6.3	860
$4d9p^3 D_1^0$	1734.71	0.0002	6.3	860
$4d10p^3 D_1^0$	1712.44	0.0002	—	—
$4d11p^3 D_1^0$	1700.44	0.00018	—	—
$4d12p^3 D_1^0$	1690.69	0.00004	—	—

действительности, и непосредственно за границей ионизации сечение фотоионизации стронция имеет величину порядка $6.5 \cdot 10^{-18}$ см².

Имея зависимость сечения поглощения от частоты, можно определить силы осцилляторов линий, соответствующих двухэлектронному возбуждению и сходящихся к пределу $\text{SrII}^2D_{3/2, 5/2}$ с длинами волн 1653.2 и 1645.5 Å. По полуширине линий поглощения можно найти времена жизни соответствующих состояний. Результаты таких измерений приведены в табл. 1 для линий серий $4dnp \ ^1P_1^0 \ ^3P_1^0 \ ^3D_1^0$ и в табл. 2 для серий конфигурации $4dnf$. Классификация уровней и значения длин волн в таблицах взяты из работы [2], а силы осцилляторов линий $5s^2 \ ^1S_0 - 4d5p \ ^3P_1^0$ и $5s^2 \ ^1S_0 - 4d5p \ ^3D_1^0$ из работы [1]. Сила осциллятора ионизационного континуума, лежащего за пределом 2177.1 Å, вплоть до длины волны 1650 Å оказывается равной 0.07.

Таблица 2

Силы осцилляторов линий стронция конфигурации $4dnf$

Переход	λ , Å	$f_{\text{абс.}}$	$\Delta\lambda$, см ⁻¹	$\tau \cdot 10^{10}$, сек.
$5s^2 \ ^1S_0 - 4d4f \ ^1P_1^0$	1867.55	0.0002	30	227
$4d5f \ ^1P_1^0$	1780.32	0.0004	35	152
$4d6f \ ^1P_1^0$	1737.03	0.0003	36	145
$4d7f \ ^1P_1^0$	1711.67	0.0003	20	260
$4d8f \ ^1P_1^0$	1695.76	0.0001	—	—
$5s^2 \ ^1S_0 - 4d4f \ ?$	1877.83	0.0002	26	201
$4d5f \ ?$	1790.60	0.0004	50	106
$4d6f \ ?$	1747.17	0.0004	41	130
$4d7f \ ?$	1723.50	0.0008	—	—
$4d8f \ ?$	1705.95	0.0003	—	—
$5s^2 \ ^1S_0 - 4d5f \ ?$	1782.29	0.0004	—	—
$4d6f \ ?$	1739.82	0.0002	25	200
$4d7f \ ?$	1715.65	0.0001	20	260
$4d8f \ ?$	1697.03	0.0002	22	242

Пользуясь полученными значениями сил осцилляторов линий, сходящихся к пределу $\text{SrII}^2D_{3/2, 5/2}$, можно указанным выше способом оценить вклад в сечение ионизации, вносимый континуумом за границей, к которой сходятся термы конфигурации $4dnp$ и $4dnf$. На рис. 2 представлена зависимость плотности сил осцилляторов от энергии линий серий $4dnp \ ^1P_1^0 \ ^3P_1^0 \ ^3D_1^0$. Интересно отметить, что для различных серий, соответствующих двухэлектронному возбуждению, произведение $0.5n^*3f$ стремится к одинаковому значению, равному 0.06. Возможно, это связано с сильным взаимным возмущением термов, приводящим к нарушению LS -связи. Путем экстраполяции плотности сил осцилляторов к границе ионизации можно найти, что за пределом $\text{SrII}^2D_{3/2, 5/2}$ сечение фотоионизации стронция должно возрастать примерно на $2 \cdot 10^{-18}$ см².

В заключение следует отметить, что значения сил осцилляторов автоионизированных линий стронция серий $4dnp \ ^1P_1^0$ и $4dnp \ ^3P_1^0$ по порядку величины совпадают с силами осцилляторов аналогичных серий кальция [6].

Литература

- [1] Н. П. Пенкин, Л. Н. Шабанова. Опт. и спектр., 12, 3, 1962.
- [2] W. R. S. Garton, K. Codling. J. Phys., B1, 106, 1968.
- [3] А. Н. Несмеянов. Давление паров химических элементов. М., 1961.
- [4] Г. А. Кобзев, Г. Э. Норман, К. И. Серяков. Теплофизика высоких температур, 4, 473, 1966.
- [5] U. Fano. Phys. Rev., 124, 1866, 1961.
- [6] R. W. Ditchburn, R. D. Hudson. Proc. Roy. Soc., A256, 53, 1960.

Поступило в Редакцию 16 июня 1969 г.