

УДК 535.34

ВЛИЯНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СВИНЦА НА ВЕЛИЧИНУ ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ ЛИНИИ PbI 283.3 нм

© 2015 В.Г. Мурадов, В.Л. Веснин

Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники
им. В.А.Котельникова РАН

Поступила в редакцию 08.04.2015

Рассчитано в условиях насыщенного пара свинца полное поглощение (A) линии PbI 283.3 нм при сильном обогащении (97% и более) одним из трех изотопов 206, 207, 208. Полученные результаты представлены в виде графиков зависимостей A от концентрации основного изотопа или малых добавок двух других.

Ключевые слова: полное поглощение (A) линии PbI 283.3 нм, изотопический состав свинца, функция Фойгта.

Известно, что величина полного поглощения спектральной линии A существенно зависит от её сверхтонкой структуры (СТС), обусловленной взаимодействием между ядром и электронной оболочкой атома, а также изотопическим сдвигом уровней [1, 2]. Применительно к линии PbI 283.3 нм влияние изотопного состава свинца ранее изучалось экспериментально [3-6]. Но общий анализ влияния изотопного состава этого элемента на величину A отсутствует.

Полное поглощение для сложной линии, характеризующей СТС с фойгтовской формой компонент, определяется следующей формулой [5]

$$A = \frac{1}{2\omega_2} \int_{-\omega_2}^{\omega_2} \left\{ 1 - \exp \left[-x \sum_{i=1}^n b_i H(\omega - \Delta\omega_i, a) \right] \right\} d\omega. \quad (1)$$

Здесь x – оптическая толщина поглощающего слоя; b_i – относительная интенсивность i – компонента СТС, отстоящего от центра линии на величину $\Delta\omega_i$, H и a – функция и параметр Фойгта соответственно; n – число компонентов СТС, ω_2 – спектральная полуширина в единицах Доплера.

Формула (1) может быть представлена в виде:

$$A = A_0 + \delta, \quad (2)$$

где

$$A_0 = \frac{1}{2\omega_2} \int_{-\omega_2}^{\omega_2} \left\{ 1 - \exp \left[-x H(\omega, a) \right] \right\} d\omega \quad (3)$$

представляет полное поглощение простой линии. Второе слагаемое в (2) всегда положительно, то есть поглощение в смеси изотопов всегда больше, чем для моноизотопа: $A \geq A_0$.

Формула (2) для линии, состоящей из n полностью разделенных компонентов СТС, преобразуется к виду

Мурадов Виталий Григорьевич, кандидат технических наук, профессор, старший научный сотрудник.

E-mail: ufire-spectrum@yandex.ru

Веснин Владимир Леонидович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник.

E-mail: ufire-spectrum@yandex.ru

$$A_R = \frac{1}{2\omega_2} \sum_{i=1}^n \int_{-\omega_2}^{\omega_2} \left\{ 1 - \exp \left[-x b_i H(\omega, a) \right] \right\} d\omega. \quad (4)$$

Применительно к свинцу задача решалась методом моделирования с использованием специальной компьютерной программы, в которую включена ранее разработанная схема вычисления функции Фойгта и методика вычислений полного поглощения линии PbI 283.3 нм, аналогичная той, которая описана в [5, 6].

В качестве объектов исследования выбраны составы свинца, обогащенные определенным изотопом из следующих трех: 206, 207, 208. Изотоп 204 в таких обогащенных образцах либо отсутствует, либо содержится в количестве 0.05...0.1%.

Остальные параметры в формуле (1) для линии PbI 283.3 нм взяты из [4]. Расчеты выполнены при $\omega_2 = 30$ и температуре насыщенного пара свинца $T=1000$ К для кюветы с оптической толщиной 5.8 см. Такие условия позволили сопоставить результаты вычисленных величин A с ранее полученными данными экспериментов [3-6].

Полное поглощение линии PbI 283.3 нм насыщенным паром свинца рассчитывалось для трех модельных образцов (изотопы 206, 207, 208) с концентрацией обогащения 97, 98, 99 и 100 %. При этом предполагалось, что изотоп 204 отсутствует в образце или его концентрация составляет 0,05 или 0.1%. Такие условия с учетом соотношения

$$\sum_{i=1}^n b_i = 1 \quad (5).$$

позволили представить результаты вычислений графически в форме либо зависимости величины A от концентрации основного изотопа обогащения b_i , либо от малой концентрации одного из двух оставшихся изотопов.

На рис.1 представлены результаты вычислений зависимостей $A = f(b_i)$ для трех случаев. В

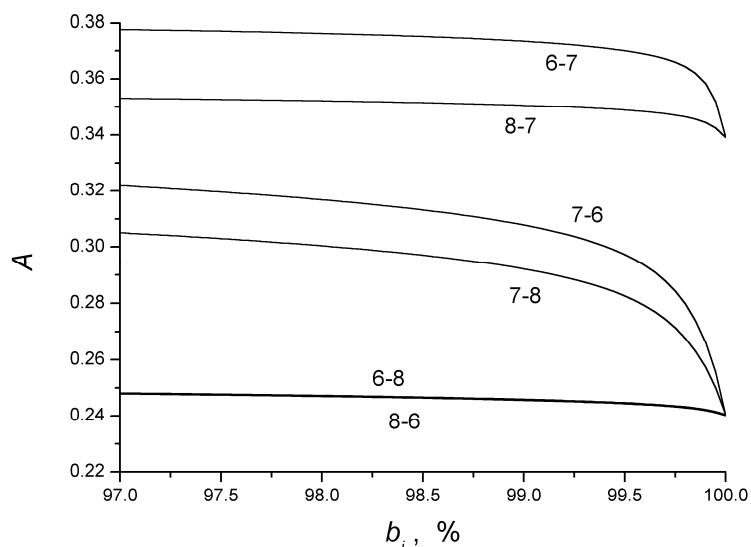


Рис. 1. Зависимости полного поглощения A линии PbI 283.3 нм от концентрации основного изотопа свинца в образце при отсутствии в нем изотопа 204. Обозначения кривых в тексте статьи

первом случае концентрация основного изотопа свинца 207 изменялась в пределах 97 до 100%, а малая добавка от 3 до 0% приходилась на изотоп 206 или 208 (кривые 6-7 и 8-7 на рис.1). Второй случай относится к основному изотопу свинца 206 в тех же пределах обогащения при добавках от 3 до 0% изотопов 207 или 208 (кривые 7-6 и 8-6 на рис.1). Третий случай характеризует обогащение изотопом 208 при добавках изотопов 206 или 207 (кривые 6-8 и 7-8 соответственно). Все результаты, представленные на рис.1, выполнены при отсутствии в модельных образцах изотопа свинца 204. Практическое совпадение кривых 6-8 и 8-6 означает, что добавка к одному из четных изотопов другого четного изотопа не изменяет полное поглощение линии PbI 283.3 нм. В тоже время обогащение нечетного изотопа 207 одним из четных существенно изменяет величину A .

Физический смысл этого факта состоит в том,

что контуры поглощения компонент сверхтонкой структуры для изотопов 206 и 208 близки друг к другу (рис. 2). При этом в рассматриваемых условиях зондирующее излучение в спектральном интервале, соответствующем центральной части этих компонент, поглощается практически полностью. Как следствие, близость контуров поглощения компонент сверхтонкой структуры изотопов 206 и 208 приводит к тому, что при добавлении к одному из этих изотопов примеси второго в пределах полосы, заданной параметром $\omega_2 = 30$, не появляется новой области поглощения, а в уже существующей области поглощения зондирующее излучение по-прежнему поглощается практически полностью.

В то же время положение контура линии сверхтонкой структуры для изотопа 207 заметно отличается от положения контура линии для изотопов 206 и 208, так как состоит из двух частей

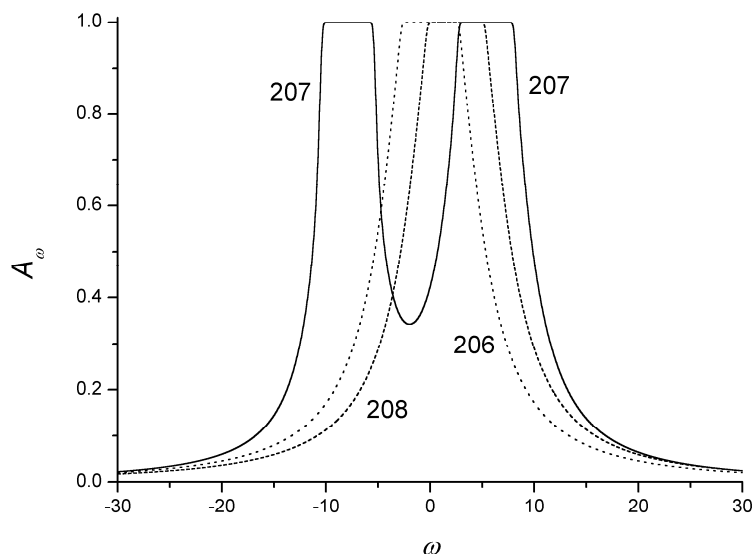


Рис. 2. Контурсы поглощения компонент СТС линии PbI 283.3 нм для моноизотопов 206, 207, 208

(рис. 2). Поэтому добавление к изотопу 206 или 208 изотопа 207 приводит к появлению новой области поглощения в пределах полосы, заданной параметром $\omega_2 = 30$, и, как следствие, к заметному увеличению полного поглощения.

Добавка в смесь изотопа 204 даже при малой его концентрации 0.05-0.1%, как показано на рис. 3а и 3б, заметно сказывается на величинах полного поглощения, кроме образцов, обогащенных изотопом 206 как с добавкой изотопом 208, так и 207. В цифровых обозначениях кривых на этих рисунках добавлены символы 40, 41, 42, указывающих соответственно концентрацию в смеси изотопа 204 0, 0.05, 0.1%, а сами зависимости изображены соответственно сплошными, пунктирными и точечными кривыми.

При фиксированной величине обогащения одним из трех изотопов, исключая изотоп 204, исследовано влияние двух других изотопов. Результаты вычислений представлены на рис. 4 для случая величины $b_i = 97\%$. Первая цифра в числовой символике обозначает основной изотоп обогащения. Две следующие относятся к малым добавкам двух других, процентное содержание

первой из которых указано по оси ординат. При отсутствии в образце изотопа 204 в цифровой символике добавлены цифры 40, а зависимости A от концентрации первой выделенной добавки изображены сплошными кривыми. Если же концентрация в образце изотопа 204 составляет 0.05%, то в цифровой символике добавлены цифры 41, а зависимости на рис.4 представлены точечными кривыми.

Полученные данные позволяют утверждать, что различие в величинах полного поглощения линии PbI 283.3 нм особенно заметно с приближением изотопного состава свинца к моноизотопу. Кроме того, при степени обогащения изотопом 207 97% и более эти образцы по величине A существенно превосходят свинец, обогащенный изотопом 206 или 208.

Таким образом, можно сделать вывод, что для образцов, обогащенных одним из четных изотопов свинца, изменения процентного содержания основного изотопа достаточно заметно сказываются на величине полного поглощения линии PbI 283.3 нм. Кроме того, по величине A образцы свинца, обогащенные изотопом 207,

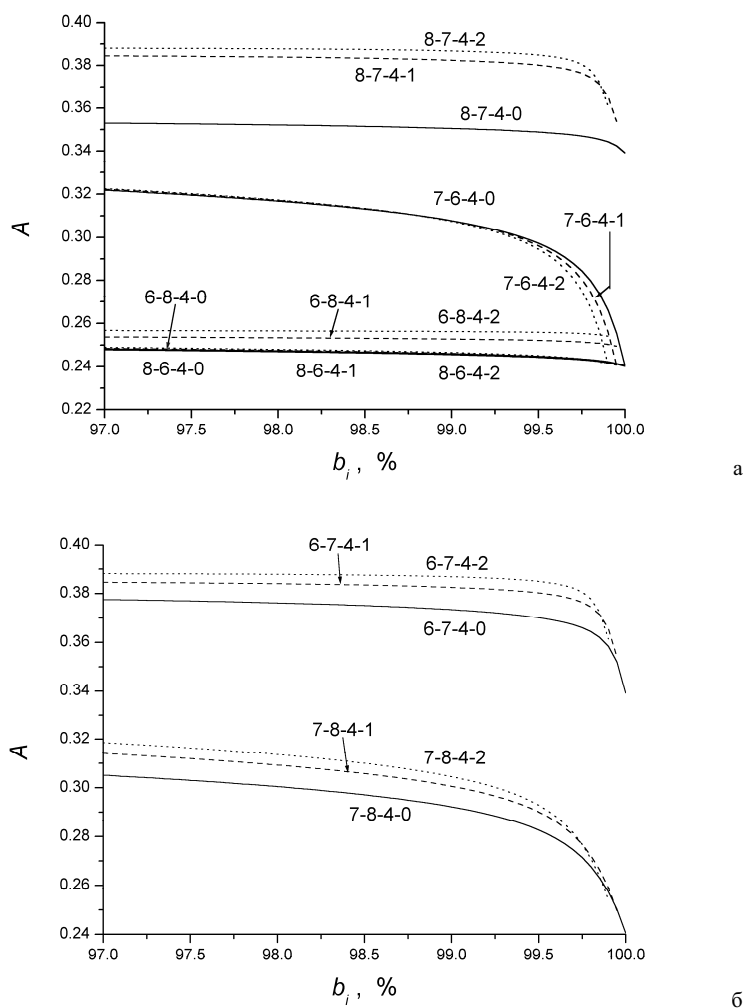


Рис. 3. Зависимости полного поглощения A от концентрации изотопа b_i для линии PbI 283.3 нм при различном содержании изотопов в свинце, включая 204. Обозначения кривых в тексте статьи.

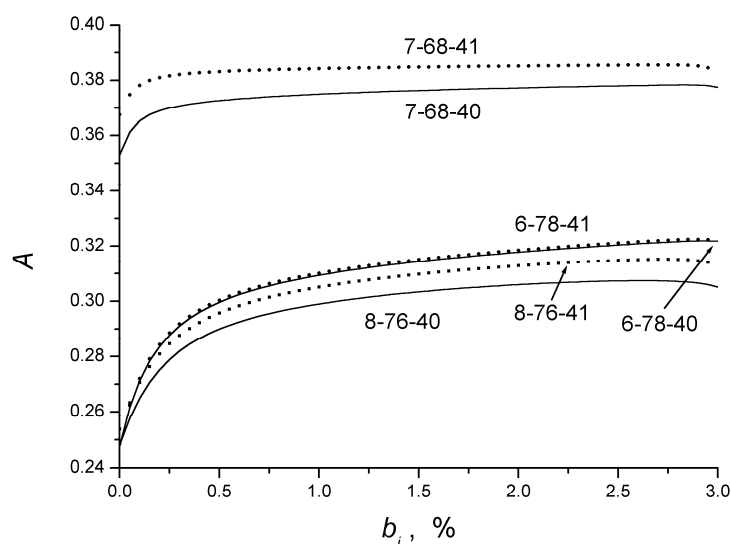


Рис. 4. Зависимости полного поглощения A от концентрации малой добавки b_i для линии PbI 283.3 нм при 97% основного изотопа в образце. Обозначения кривых в тексте статьи

однозначно отличаются от случаев обогащения четным изотопом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фриш С.Э. Оптические спектры атомов. М.-Л. Физматгиз 1963, с.514-519.
2. King W.H. Isotope Shifts in atomic spectra. Springer Science + Business Media, New York, 1984.
3. Мурадов В.Г. Применение источника сплошного спектра для изотопного анализа свинца // Журн. прикл. спектр. 1986. Т.44. №4. С.670-672.
4. Мурадов В.Г., Кудрявцев Ю.Н., Мурадова О.Н. Определение давления насыщенного пара свинца методом полного поглощения. // Журн. прикл. спектр. 1982. Т.36. №5. С.709-712.
5. Мурадов В.Г., Кудрявцев Ю.Н. Исследование методом полного поглощения кривой роста линии PbI 283.3 нм и оценка сечения резонансных соударений атомов свинца. // Опт. и спектр. 1982. Т.52. Вып.6. С.1086-1088.
6. Muradov V.G. Determination of absolute atomic concentration by the saturated vapour total absorption method. // Spectrochimica Acta. 1983.V.38B. №8. P.1151-1156.

EFFECT OF LEAD ISOTOPE STRUCTURE ON TOTAL ABSORPTION VALUE OF LINE PbI 283.3 nm

© 2015 V.G. Muradov, V.L. Vesnin

Ulyanovsk Branch of the Institute of Radioengineering and Electronics,
Russian Academy of Sciences

The total absorption (A) of a line PbI 283.3 nm is counted in conditions of saturated steam of lead at strong enrichment (97 % and more) one of three isotopes 206, 207, 208. The obtained results are shown on charts of relations A from concentration of the main isotope or small additions two other.

Keywords: a total absorption (A) of a line PbI 283.3 nm, isotopic structure of lead, Voigt function.

Vitaly Muradov, Candidate of Technics, Professor, Senior Research Fellow. E-mail: ufire-spectrum@yandex.ru
Vladimir Vesnin, Candidate of Physics and Mathematics, Senior Research Fellow. E-mail: ufire-spectrum@yandex.ru