



RU0210723

## Двух- и трехступенчатая селективная фотоионизация атомов и димеров лития.

Григорьев И.С., Гельман Э.Б., Семерок А.Ф., Латышев О.В., Фирсов В.А., Чанкин А.В., Лабозин В.П.

РНЦ "Курчатовский институт" Институт Молекулярной Физики  
123182, Москва, пл. Курчатова д.1  
тел. (095) 196 76 60 факс. (095) 194 19 94 e-mail labozin@imp.kiae.ru

### Введение.

Поскольку в последнее время актуальной задачей является поиск новых экологически безвредных методов разделения изотопов лития, возник вопрос об изучении применимости лазерного метода для разделения изотопов этого элемента. Наиболее очевидным путем решения данной проблемы представляется исследование селективной фотоионизации атомов лития.

Впервые селективная фотоионизация атомов лития была показана в работе [1]. Схема фотоионизации приведена на рис.1. В этой работе была осуществлена 2-х ступенчатая схема фотоионизации  $2S \rightarrow 2P \rightarrow$  ионизация и измерено сечение фотоионизации с уровня  $2P$ . В связи с этим представлялось интересным провести исследования 3-х ступенчатой схемы фотоионизации с использованием уровня  $3D$  как непосредственно в континуум, так и через Ридберговские уровни в электрическом поле.

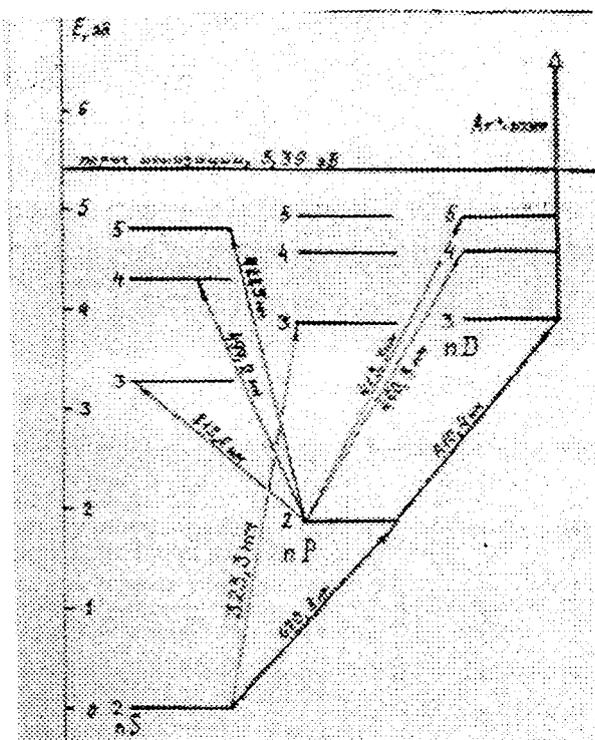


Рис.1. Диаграмма Гротриана атома лития.

Фотоионизация атомов Li - не единственный способ решения задачи лазерного разделения изотопа (ЛРИ) этого элемента. Существует также другой путь: селективная фотоионизация димеров  $Li_2$ . Потенциал ионизации димеров щелочных металлов равен  $4 \div 5$  эВ, так что разделение изотопов может быть произведено путем селективной фотоионизации молекул в две ступени лазерным излучением видимого диапазона. Возможность селективной двухступенчатой фотоионизации димеров  $Li_2$  с использованием  $Ag^+$ -лазера была показана в работе [2].

Благодаря наличию множества автоионизационных уровней вблизи порога ионизации димеров  $Li_2$  представляется интересным измерение величины сечения фотоионизации, которое может оказаться значительно большим, чем величина сечения фотоионизации для атомов Li.

### Экспериментальные результаты.

Блок-схема экспериментальной установки для исследования 3-х ступенчатой селективной фотоионизации атомов лития показана на рис. 2. Пучок атомов Li создавался в вакуумной камере при испарении из тигля при температуре  $350 \div 500^\circ C$ . Излучение  $Ag^+$ -лазеров использовалось для накачки лазеров на красителях OX17 и R6G, настроенных на длины волн генерации 670 нм и 610 нм соответственно и возбуждающих атомы Li на уровень  $3D$ . Ионизация с уровня  $3D$  осуществлялась излучением  $Ag^+$ -лазера. Изучение масс-спектра образованных ионов производилось с помощью спектрометра MX-7303.

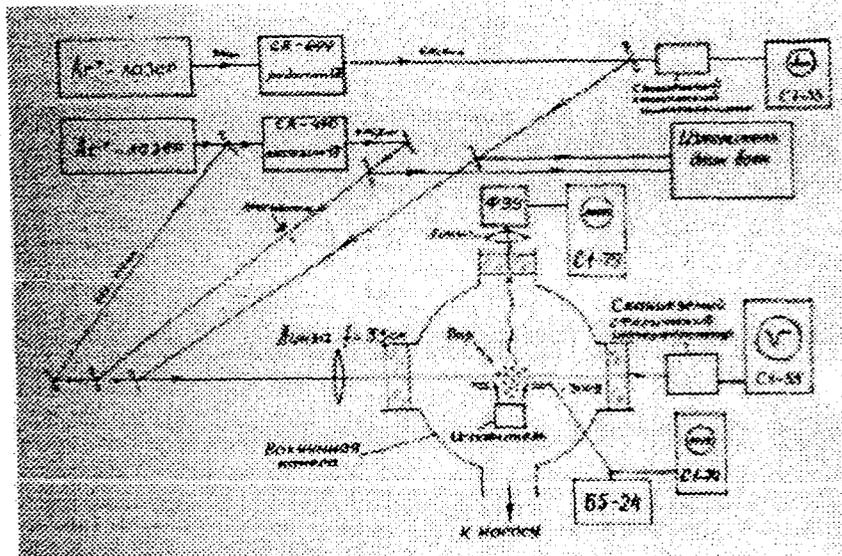


Рис.2. Блок-схема экспериментальной установки для исследования трехступенчатой селективной фотоионизации атомов лития.

Схемы трехступенчатой фотоионизации, реализованные в эксперименте, показаны на рис. 3. Результаты измерений длин волн переходов, изотопического сдвига и коэффициент разделения процессов приведены на рис. 4.

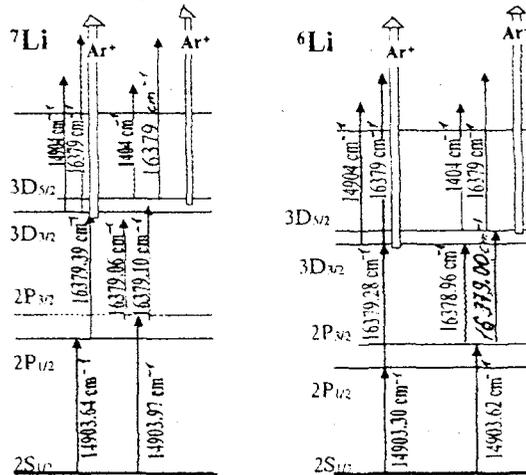


Рис. 3. Схемы трехступенчатой фотоионизации, реализованные в эксперименте.

Изотоп	Переход	Длина волны, см <sup>-1</sup>	Изотопический сдвиг	
<sup>7</sup> Li	2S <sub>1/2</sub> → 2P <sub>3/2</sub>	14903,37	ΔV <sub>изот.сд.</sub> ≈ 0,3 см <sup>-1</sup>	
<sup>7</sup> Li	2S <sub>1/2</sub> → 2P <sub>1/2</sub>	14903,64		
<sup>6</sup> Li	2S <sub>1/2</sub> → 2P <sub>1/2</sub>	14903,30		
<sup>7</sup> Li	2P <sub>1/2</sub> → 3D <sub>3/2</sub>	16379,39	ΔV <sub>изот.сд.</sub> ≈ 0,1 см <sup>-1</sup>	
	2P <sub>3/2</sub> → 3D <sub>3/2</sub>	16379,06		
	2P <sub>3/2</sub> → 3D <sub>5/2</sub>	16379,10		
<sup>6</sup> Li	2P <sub>1/2</sub> → 3D <sub>3/2</sub>	16379,28		
	2P <sub>3/2</sub> → 3D <sub>3/2</sub>	16378,96		
	2P <sub>3/2</sub> → 3D <sub>5/2</sub>	16379,00		
Изотоп	Переходы	Содержание, %		α <sub>кр</sub>
		<sup>6</sup> Li	<sup>7</sup> Li	
<sup>6</sup> Li	2S <sub>1/2</sub> → 2P <sub>1/2</sub> → 3D <sub>3/2</sub> → <sup>7</sup> Li <sup>+</sup>	<0,3	>99,7	α > 27
	2S <sub>1/2</sub> → 2P <sub>3/2</sub> → 3D <sub>5/2</sub> → <sup>7</sup> Li <sup>+</sup>	<0,2	>99,8	α > 41
<sup>7</sup> Li	2S <sub>1/2</sub> → 2P <sub>1/2</sub> → 3D <sub>3/2</sub> → <sup>6</sup> Li <sup>+</sup>	>99,5	<0,05	α > 24000
	2S <sub>1/2</sub> → 2P <sub>3/2</sub> → 3D <sub>5/2</sub> → <sup>6</sup> Li <sup>+</sup>	99,5	0,5	α ≈ 2400

Рис. 4. Результаты экспериментов по 3-х ступенчатой фотоионизации атомов Li.

Необходимо отметить, что максимальный коэффициент разделения 24000 получен при использовании изотопического сдвига как на первом, так и на втором переходе. Оцененная величина сечения фотоионизации процесса оказалось равной  $\sigma \approx 2,5 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$ .

На рис. 5 показана блок-схема экспериментальной установки для исследования автоионизации ридберговских атомов лития в электрическом поле. Эксимерный XeF лазер накачивал импульсный лазер на красителе, возбуждающий атомы Li в состояние nP, кроме этого излучение XeF лазера использовалось для довозбуждения атомов Li в ридберговские состояния с квантовыми числами  $n = 30, 31, 32$ . Автоионизация ридберговских атомов осуществлялась как в постоянном, так и в импульсном электрическом поле.

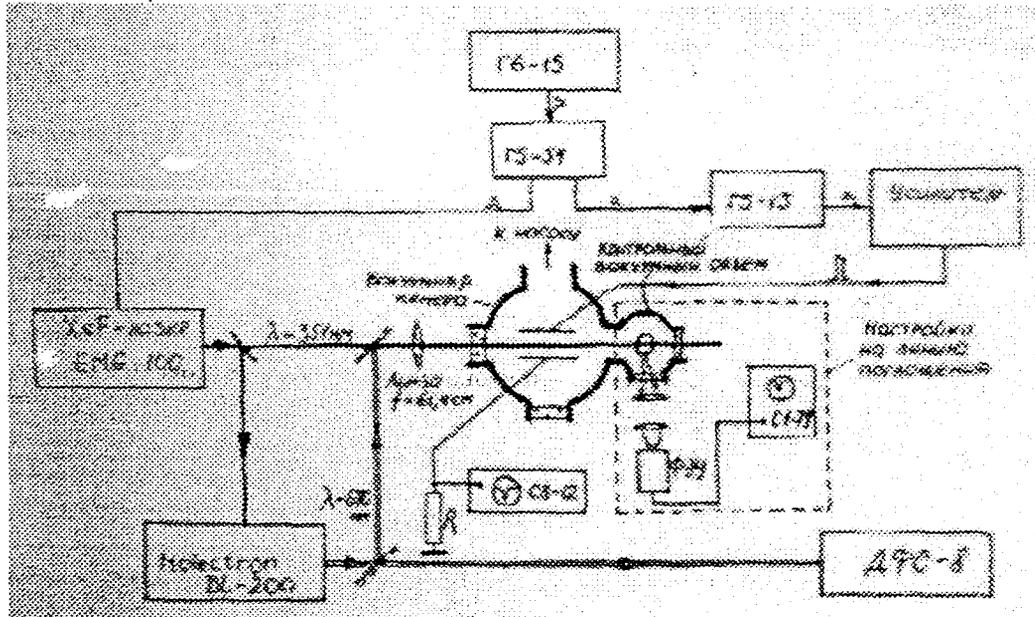
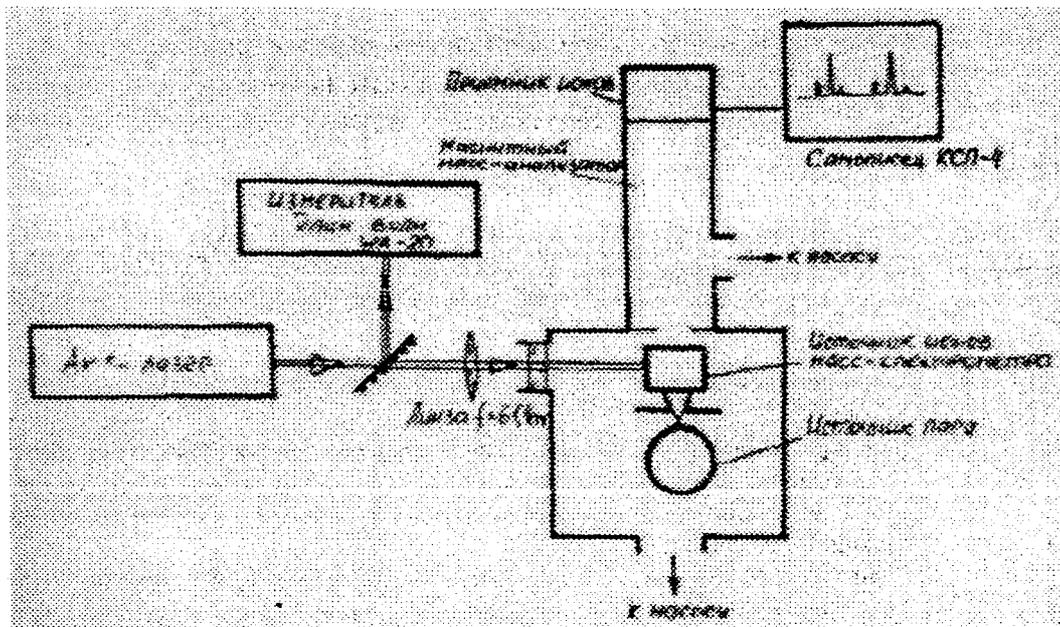


Рис. 5. Блок-схема экспериментальной установки для исследования автоионизации ридберговских атомов лития в электрическом поле.

В экспериментах было определено:

1. Время жизни ридберговских уровней  $\tau_R \geq 8 \text{ нс}$ .
2. Величина критического электрического поля ( $n = 30, 31, 32$ )  $\sim 500 \text{ В/см}$ .
3. Степень извлечения образованных фотоионов в зависимости от плотности образованной фотоионной плазмы: 100% при  $n_i \leq 10^{12} \text{ см}^{-3}$ ; 40% при  $n_i \approx 5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ .
4. Оцененное сечение возбуждения на соответствующие ридберговские уровни ( $n = 30, 31, 32$ )  $\sigma_{\text{возб}} \approx 2 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2$ .

Эксперименты по 2-х ступенчатой фотоионизации димеров Li осуществлялись на установке, схема которой показана на рис. 6. Излучение  $\text{Ag}^+$ -лазера направлялось в вакуумную камеру внутрь источника ионов масс-анализатора. Источник паров Li также располагался внутри вакуумной камеры. Li испарялся из никелевого тигля при температуре  $T \approx 500^\circ\text{C}$ . Плотность димеров в паре составляла при этом  $\approx 1\%$  от плотности атомов. Пучок атомов и димеров Li, пучок электронов источника ионов масс-спектрометра и луч лазера пересекались под прямыми углами. В проведенных экспериментах определялись коэффициенты разделения для различных длин волн генерации  $\text{Ag}^+$ -лазера и оценивались некоторые соответствующие сечения фотоионизации для состояния  $\text{V}^1\Pi$  димеров Li. Основные результаты работ представлены на рис. 6. Предельный коэффициент разделения для  ${}^6\text{Li}$   $\alpha_6 \approx 14$  был достигнут на линии генерации  $\text{Ag}^+$ -лазера  $\lambda = 465,8 \text{ нм}$ , а оценка величины сечения фотоионизации для состояния  $\text{V}^1\Pi$  димеров Li показала, что они находятся в пределах  $10^{-15} \div 10^{-16} \text{ см}^2$ , что на порядок выше величины сечения фотоионизации атомов Li в континуум.



Длина волны лазера, нм	Кэфф. разделения $\alpha$	Сечение фотоионизации, $\sigma_i$ , см <sup>2</sup>
514,5	$\alpha_6 = 11$	
501,7	$\alpha_6 = 2,5$	
496,5	$\alpha_6 = 1,5$	
488,0	$\alpha_7 = 1,8$	$2 \cdot 10^{-16}$
476,5	$\alpha_7 = 1,05$	$4,5 \cdot 10^{-16}$
472,7	$\alpha_6 = 4,1$	
465,8	$\alpha_6 = 14$	
457,9	$\alpha_7 = 2,4$	

Рис.6. Блок-схема экспериментальной установки и результаты исследований двухступенчатой селективной фотоионизации димеров лития.

Литература.

1. А.В. Карлов, Б.Б. Крынецкий, О.М. Стельмах "Измерение сечения фотоионизации атомов лития с уровня 2P" Квантовая электроника, т.4 №10 1977
2. T. Arizawa, Y. Maruyama, Y. Suzuki, H. Shiba. "Lithium isotope separation by laser." App. Phys. B, 1982, v. 28, №1.
3. E. Rothe, B. Mathur, G. Reck. "Isotope separation by two-step photoionization of Li<sub>2</sub>." Chem. Phys. Lett., 1978, v. 53, №1.