

УДК 535.015-1/-3-4

**МАСС–ЗАРЯДОВЫЕ СПЕКТРЫ ЯДЕР АТОМОВ Be, B, C, Mg, Al  
ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ**

**MASS–CHARGED SPECTRUM NUCLEAR ATOM Be, B, C, Mg, Al  
OF LASER PLASMA**

©Давлетов И. Ю.

Ургенчский государственный университет им. Аль–Хорезми  
г. Ургенч, Узбекистан, [idavletov66@gmail.com](mailto:idavletov66@gmail.com)

©Davletov I.

Al–Khwarizmi Urgench state university  
Urgench, Uzbekistan. [idavletov66@gmail.com](mailto:idavletov66@gmail.com)

©Матназаров А. Р.

Ургенчский государственный университет им. Аль–Хорезми  
г. Ургенч, Узбекистан, [a\\_matnazarov@mail.ru](mailto:a_matnazarov@mail.ru)

©Matnazarov A.

Al–Khwarizmi Urgench state university  
Urgench, Uzbekistan. [a\\_matnazarov@mail.ru](mailto:a_matnazarov@mail.ru)

*Аннотация.* В статье приведены результаты исследования масс–зарядовых спектров ядер атомов легких элементов (Be, B, C, Mg, Al) с помощью лазерно–ионизационной масс–спектрометрии в зависимости от параметра излучения лазера и атомной массы мишени.

Для регистрации и исследования спектра ядер исследуемых элементов был использован твердотельный неодимовый лазер, работающий в моноимпульсном режиме.

Экспериментально получен пакет масс–зарядовых спектров ядер атомов (а также и многозарядных ионов) легких элементов в широком интервале плотности мощности излучения лазера и атомной массы мишени. Экспериментальные результаты достаточно хорошо согласуются с расчетными данными.

*Abstract.* This article provides data on results of research of mass–charge spectrum nuclear atom of light elements (Be, B, C, Mg, Al) by means of mass–spectrometry laser–ionization regarding radiation parameter of laser and an atomic mass of the target.

For registration and study of the spectrum of the nuclei of the investigated elements was used solid–state neodymium laser operating in the monopole mode.

The package experimentally obtained mass–charge spectra of nuclei of atoms (also multi–charged ions) of light elements in a broad interval of the power density of laser radiation and the atomic mass of the target. The experimental results are in good agreement with the calculated data.

*Ключевые слова:* лазер, масс–спектрометр, атом, ядро, спектр, параметр, плазма, заряд, мишень, легких элементов, рекомбинация, излучения, многозарядные ионы.

*Keywords:* laser, mass–spectrometry, atom, nucleus, spectrum, parameter, plasma, charge, target, light elements, radiation, multiply charged ions, recombination.

Известно, что с помощью излучения лазера с поверхности твердых тел эмитируются электроны, многозарядные ионы, нейтроны, излучения в широком диапазоне спектра. Однако спектры ядер атомов различных элементов слабо изучены. Исследования спектров ядер атомов особенно легких элементов Be, B, C, Mg, Al, в зависимости от плотности мощности излучения лазера и состава мишени, представляют значительный интерес для понимания физики формирования их спектров и создания лазеров на многозарядных

переходах, нелинейно оптических сред. Кроме того, потребность в эффективном источнике многозарядных ионов и ядер значительно возросла из-за интенсивного развития экспериментальных работ по программе тяжелоионного инерциального синтеза. Регистрация и идентификация масс–зарядовых спектров лазерной плазмы способствуют определению интенсивности (количества), длительности, скорости, массы, кратности заряда, энергетического спектра как многозарядных ионов, так и ядер полностью ионизованных атомов твердых тел [1–2].

В данной статье приводятся результаты исследования спектра ядер атомов Be, B, C, Mg, Al с помощью лазерно–ионизационной масс–спектрометрии в зависимости от параметра излучения лазера и атомной массы мишени.

Для регистрации и исследования спектра ядер Be, B, C, Mg, Al был использован твердотельный неодимовый лазер, работающий в моноимпульсном режиме. Лазер имел следующие параметры:  $E_{max}=5,0$  Дж,  $\tau_{дл.имп.} = 50$  нс,  $\lambda=1,06$  мкм,  $q=10^9 \div 10^{12}$  Вм/см<sup>2</sup>,  $\sim \alpha=18^\circ$  относительно нормали мишени, когда работал в одноструевом режиме [3].

Экспериментально получен пакет масс–зарядовых спектров ядер атомов (а также и многозарядных ионов) легких элементов в широком интервале плотности мощности излучения лазера и атомной массы мишени.

Идентификация полученных масс–зарядовых спектров по массам и кратностям заряда позволила выявить, начиная с определенной плотности мощности излучения лазера, наряду со спектрами многозарядных ионов и спектры ядер Be<sup>4+</sup>, B<sup>5+</sup>, C<sup>6+</sup>, Mg<sup>12+</sup>, Al<sup>13+</sup> лазерной плазмы. На Рисунке приведены типичные масс–зарядовые спектры многозарядных ионов и ядер атомов Be, B, C, полученных с использованием лазерно–ионизационной масс–спектрометрии при  $q = 10^{11}$  Вм/см<sup>2</sup> (для Be, B) и  $q = 5 \cdot 10^{11}$  Вм/см<sup>2</sup> (для C).

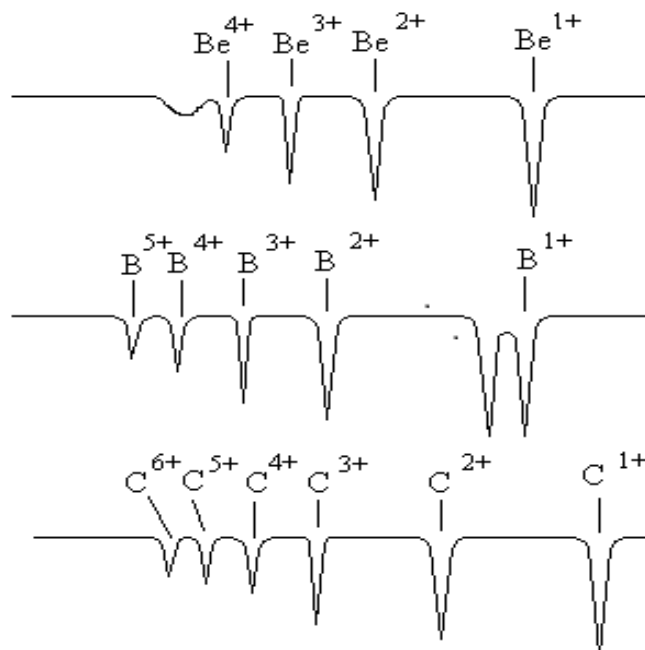


Рисунок. Масс–зарядовые спектры многозарядных ионов и ядер Be, B, C, полученных при  $q=5 \cdot 10^{11}$  Вм/см<sup>2</sup> (для C) и  $q = 10^{11}$  Вм/см<sup>2</sup> (для Be, B).

Здесь отчетливо наблюдаются многозарядные ионы Be<sup>1+–3+</sup>; B<sup>1+–4+</sup>; C<sup>1+–5+</sup> лазерной плазмы, а также пучки ядер атомов Be<sup>4+</sup>, B<sup>5+</sup>, C<sup>6+</sup>. Экспериментальные результаты достаточно хорошо согласуются с расчетными данными. Время пролета многозарядных ионов, расположенных на масс–зарядовом спектре, обратно пропорционально  $\sqrt{Z}$ .

Надо заметить, что обработка полученных масс–зарядовых спектров при воздействии излучения лазера с  $q=10^9 \div 5 \cdot 10^{12}$  Вм/см<sup>2</sup> на мишени Mg, Al показала, что, начиная

с плотности мощности излучения лазера  $q > 9 \cdot 10^{11} \text{ Вт/см}^2$ , на масс-зарядовых спектрах появляются пучки ядер  $\text{Mg}^{12+}$  и  $\text{Al}^{13+}$ . При  $q < 9 \cdot 10^{11} \text{ Вт/см}^2$  на масс-зарядовых спектрах Mg, Al наблюдаются только многозарядные ионы  $\text{Mg}^{1+\div} \text{Mg}^{11+}$  и  $\text{Al}^{1+\div} \text{Al}^{12+}$ , а полностью ионизованные атомы  $\text{Mg}^{12+}$  и  $\text{Al}^{13+}$  не обнаружены.

Характерно то, что распределения интенсивности многозарядных ионов Mg, Al (а также Be, B, C) подчиняются определенной закономерности, когда они образованы однолучевым излучением лазера.

Данная закономерность характеризуется тем, что с ростом кратности заряда (это относится и к пучкам ядер атомов элемента) интенсивности многозарядных ионов уменьшаются из-за роста рекомбинационных процессов на многозарядных переходах. Кроме того, длительности как многозарядных ионов, так и пучка ядер атомов уменьшаются с ростом кратности заряда Mg, Al.

Таким образом, исследованием масс-зарядовых спектров многозарядных ионов и ядер атомов легких элементов в интервале плотности мощности излучения лазера  $q = 10^9 \div 10^{12} \text{ Вт/см}^2$  установлено формирование зарядового спектра ядер  $\text{Be}^{4+}$ ,  $\text{B}^{5+}$ ,  $\text{C}^{6+}$ ,  $\text{Mg}^{12+}$ ,  $\text{Al}^{13+}$  лазерной плазмы. Был установлен ряд особенностей в формировании спектра ядер атомов легких элементов, который значительно зависит от плотности мощности излучения лазера и атомной массы мишени.

#### Список литературы:

1. Басов Н. Г., Захаренков Ю. А. и др. Диагностика плотной плазмы / под ред. Н. Г. Басова. М.: Наука, 1989. 368 с.
2. Быковский Ю. А., Неволин В. В. Лазерная масс-спектрометрия. М.: Энергоатомиздат, 1985. 128 с.
3. Бедиллов М. Р., Давлетов И. Ю., Бердиев Г. Р., Цой Т. Г. Двойной масс-спектрометр для регистрации и исследования ионов лазерной плазмы с двух сторон мишени // Приборы и техника эксперимента. 2000. №5. С. 161–162.

#### References:

1. Basov N. G., Zaharenkov Yu. A. et al. Diagnosis of dense plasma. Moscow, Nauka, 1989. 368 p. (In Russian).
2. Bykovskii Yu., Nevolin V. V. Laser mass spectrometry. Moscow, Energoatomisdat, 1985. 128 p. (In Russian).
3. Bedilov M. R., Davletov I. Y., Berdierov G. R., Tsoi T. G. Dual mass spectrometer for the detection and investigation of laser plasma ions on both sides of the target. Instruments and Experimental Techniques, 2000, no. 5, pp. 161–162. (In Russian).

Работа поступила  
в редакцию 24.01.2017 г.

Принята к публикации  
26.01.2017 г.

---

#### Ссылка для цитирования:

Давлетов И. Ю., Матназаров А. Р. Масс-зарядовые спектры ядер атомов Be, B, C, Mg, Al лазерной плазмы // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №2 (15). С. 23–25. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/davletov-matnazarov> (дата обращения 15.02.2017).

#### Cite as (APA):

Davletov, I., & Matnazarov A. (2017). Mass-charged spectrum nuclear atom Be, B, C, Mg, Al of laser plasma. *Bulletin of Science and Practice*, (2), 23–25. Available at: <http://www.bulletennauki.com/davletov-matnazarov>, accessed 15.02.2017. (In Russian).