

**ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЙЯНИЯ СВЕТА КРИСТАЛЛА МОНОГИДРАТА ГИДРОКСИДА ЛИТИЯ**В.С. Горелик<sup>1,2</sup>

gorelik@sci.lebedev.ru

Дунсюэ Би<sup>2</sup>А. Пащенко<sup>2</sup>Ю.П. Войнов<sup>1</sup>

voinov@sci.lebedev.ru

Н.И. Юрасов<sup>2</sup>И.И. Юрасова<sup>2</sup><sup>1</sup> Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Российская Федерация<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация**Аннотация**

Зарегистрированы спектры комбинационного рассеяния света в кристалле моногидрата гидроксида лития в широком спектральном интервале при комнатной температуре методом волоконно-оптической спектроскопии. Регистрация спектров проведена с использованием мини-спектрометра в спектральном диапазоне 180...1600 см<sup>-1</sup>. Выполнено отнесение наблюдаемых спектральных полос к типу колебаний в спектре комбинационного рассеяния света в кристалле моногидрата гидроксида лития. В спектрах комбинационного рассеяния света этого кристалла обнаружены решеточные моды, соответствующие трансляциям ионов лития, гидроксильных групп и молекул воды, а также либрациям молекул воды и гидроксильных групп. Наблюдаются интенсивные линии комбинационного рассеяния в низкочастотной области спектра, что открывает возможность для наблюдения вынужденного комбинационного рассеяния на решеточных модах в этих кристаллах

**Ключевые слова**

Спектроскопия, световод, рассеяние, литий, гидроксиды, теория групп, колебание, спектрометр, лазер

Поступила в редакцию 27.02.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 15-02-02882 и № 16-52-00026) и China Scholarship Council*

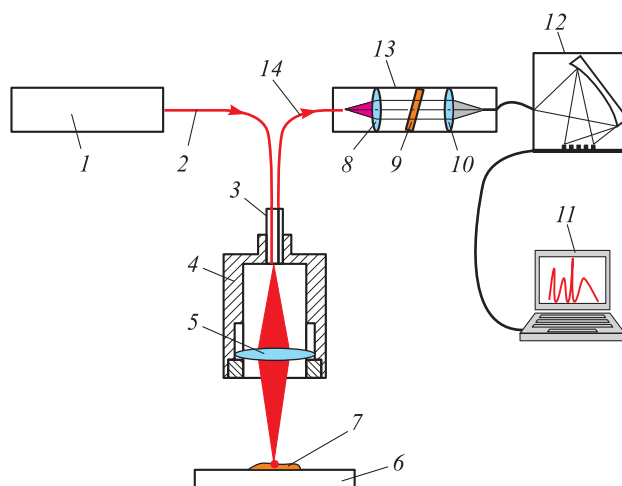
**Введение.** Исследование спектров комбинационного рассеяния (КР) кристаллов литиевых соединений с водородом [1–3] и с гидроксильными группами [4–7] представляет большой интерес в связи с использованием этих веществ в водородной энергетике, для создания источников тока (аккумуляторов) и для других приложений [8–10]. Кроме того, изучение динамики кристаллических решеток литиевых структур важно в связи с большой подвижностью лития и неустойчивостью соответствующих кристаллических решеток [11]. Присутствие молекулы воды в таких соединениях существенно влияет на физические свойства этих кристаллов.

При этом в колебательном спектре проявляются моды молекулы воды и гидроксильных групп [12].

Кристаллографическое описание структуры кристалла моногидрата гидроксида лития ( $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) было приведено в работе [13]. Анализ спектров КР в этом кристалле посвящены исследования [14–17]. Вид спектра КР кристалла  $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$  в низкочастотной области впервые установлен в работе [14]. Авторы работы [17] выполнили отнесение фундаментальных колебаний методом функционала плотности. При этом выяснилось, что в наблюдаемых спектрах КР кристалла моногидрата гидроксида лития присутствует существенно меньше линий, чем предсказано в теории [17]. В последнее время были развиты методы волоконно-оптической регистрации спектров КР с помощью мини-спектрометров с многоэлементными приемниками излучения. В результате повышена чувствительность при анализе спектров и реализована возможность экспресс-анализа предельно малых количеств исследуемых веществ [18].

В настоящей работе на основе использования техники волоконно-оптической спектроскопии приведены результаты дополнительных экспериментальных исследований спектров КР в кристалле моногидрата гидроксида лития в диапазоне значений частоты  $180\text{...}1600\text{ см}^{-1}$  и выполнено отнесение наблюдаемых линий КР к различным типам фундаментальных колебаний этого кристалла.

**Методика эксперимента.** Для возбуждения и регистрации спектров КР света была использована экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 1. В качестве источника возбуждающего излучения применен лазер 1 с длиной волны  $\lambda = 785\text{ нм}$  и мощностью 200 мВт. Лазерное излучение вводилось в первый световод 2 и зонд 3. С помощью линзы 5 это излучение фокусирова-

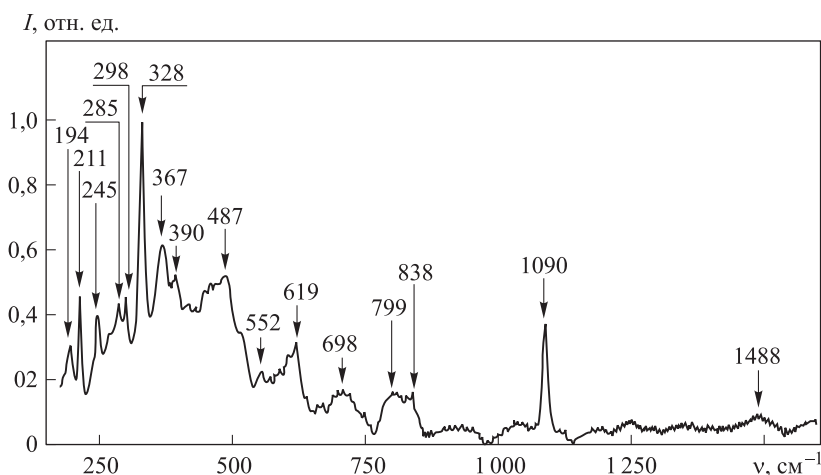


**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки:

1 — лазер; 2, 14 — первый и второй световоды; 3 — зонд; 4 — корпус; 5 — линза; 6 — подложка; 7 — образец; 8, 10 — линзы; 9 — фотонный кристалл; 11 — компьютер; 12 — мини-спектрометр; 13 — фокусатор

лось на образце 6, имеющем вид поликристаллического порошка. Возникающий в образце сигнал КР попадал на второй световод 14, фильтровался в фокусаторе 13 с помощью фотонного кристалла 9 и поступал на вход мини-спектрометра 12 с многоэлементным приемником. Компьютер 11 был предназначен для цифровой обработки и накопления спектров КР. Спектральное разрешение составляло  $1 \text{ см}^{-1}$ . Используемый волоконно-оптический метод регистрации позволил записывать спектры КР от небольшого количества (менее 1 мг) поликристаллического образца за экспозицию 1...10 с.

**Результаты эксперимента.** Зарегистрированный в области решеточных и внутримолекулярных мод спектр КР моногидрата гидроксида лития при комнатной температуре в диапазоне значений частоты  $180...1600 \text{ см}^{-1}$  представлен на рис. 2.

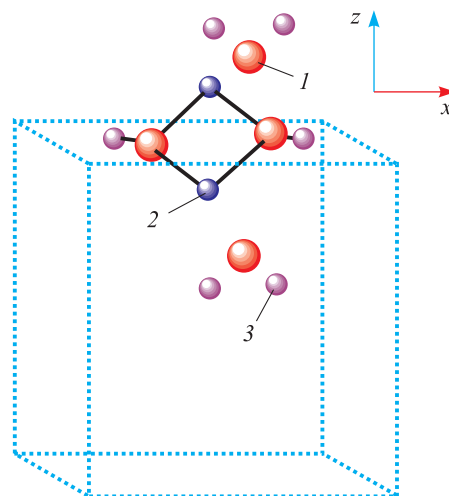


**Рис. 2.** Спектр КР моногидрата гидроксида лития, зарегистрированный при комнатной температуре в диапазоне значений частоты  $180...1600 \text{ см}^{-1}$

Согласно спектру, приведенному на рис. 2, в низкочастотной области спектра КР присутствует большое число линий, наиболее интенсивная из которых имеет значение частоты  $328 \text{ см}^{-1}$ , близкое к значению, рассчитанному в работе [17]. Кроме того, в зарегистрированном спектре присутствует интенсивная линия со значением частоты  $1090 \text{ см}^{-1}$ , близкая к значению частоты из литературных данных [15, 17]. В целом в наблюдаемом спектре (см. рис. 2) обнаруживается существенно больше линий, чем в литературных данных по спектрам КР в обсуждаемом кристалле.

**Обсуждение экспериментальных результатов.** При комнатной температуре моногидрат гидроксида лития кристаллизуется в моноклинной пространственной группе  $C_{2h}^3$  с двумя формульными единицами в элементарной ячейке (рис. 3) [19]. Ионы лития и молекулы воды имеют симметрию  $C_2(Z)$ , а гидроксильные ионы лежат в зеркальной плоскости [14].

**Рис. 3.** Вид примитивной ячейки моногидрата гидроксида лития  $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ :  
1 — O; 2 — Li; 3 — H



Методом теории групп [20] были проанализированы свойства симметрии оптических мод кристалла  $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$  с использованием неприводимых представлений точечных групп симметрии  $C_{2h}$  и установлены правила отбора в спектрах КР и инфракрасного (ИК) поглощения. Результаты проведенного теоретико-группового анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты теоретико-группового анализа оптических мод в кристаллах моногидрата гидроксида лития (вектор трансляции  $\vec{\alpha} \ 0; 0; 0$ )**

Параметр	Пространственная группа симметрии кристалл $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}-C_{2h}^3$			
	$E$	$C_2(Z)$	$\sigma_h$	$I$
Число атомов, остающихся на месте при преобразованиях симметрии, $n_0$	12	4	4	0
Число атомов $n_0 - 1$	11	3	3	-1
Характер векторного представления $\chi_V$	3	-1	1	-3
Характер псевдовекторного представления $\chi_{\tilde{V}}$	3	-1	-1	3
Характер симметричного тензора второго ранга $\chi_{[V]^2}$	6	2	2	6
Характер оптического представления $\chi_{opt}$ , $\chi_{opt} = (n_0 - 1)\chi_V$	33	-3	3	3
Характер трансляционного представления $\chi_{tr}$	15	-3	1	3
Характер либрационного представления $\chi_{lib}$	10	-2	0	0

В результате анализа установлено, что в спектре оптических колебаний моногидрата гидроксида лития присутствуют следующие типы колебаний:

$$T_{opt} = 9A_g(\text{КР}) + 9B_g(\text{КР}) + 6A_u(\text{ИК}) + 9B_u(\text{ИК}). \quad (1)$$

Структура приводимых представлений, соответствующих либрационным ( $T_{lib}$ ), трансляционным ( $T_{tr}$ ), внешним ( $T_{out} = T_{lib} + T_{tr}$ ) и внутренним ( $T_{in} = T_{opt} - T_{out}$ ) типам колебаний кристаллов моногидрата гидроксида лития приведена в табл. 2.

Таблица 2

## Структура колебательных представлений моногидрата гидроксида лития

Тип колебаний	Li <sup>+</sup>	ОН <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O
T <sub>tr</sub>	$T_{tr}(\text{Li}^+) = A_g + 2B_g + A_u + 2B_u$	$T_{tr}(\text{OH}^-) = 2A_g + B_g$	$T_{tr}(\text{H}_2\text{O}) = A_g + 2B_g + A_u + 2B_u$
	$T_{tr} = 4A_g + 5B_g + 2A_u + 4B_u$		
T <sub>lib</sub>	–	$T_{lib}(\text{OH}^-) = A_g + B_g + A_u + B_u$	$T_{lib}(\text{H}_2\text{O}) = A_g + 2B_g + A_u + 2B_u$
	$T_{lib} = 2A_g + 3B_g + 2A_u + 3B_u$		
T <sub>out</sub>	$T_{out} = 6A_g + 8B_g + 4A_u + 7B_u$		
T <sub>in</sub>	–	$T_{in} = A_g + B_u$	$T_{in} = 2A_g + B_g + 2A_u + B_u$
	$T_{in} = 3A_g + B_g + 2A_u + 2B_u$		

Трансляционные решеточные моды соответствуют поступательным осцилляциям гидроксильной группы ОН<sup>-</sup>, молекул воды H<sub>2</sub>O и ионов лития Li<sup>+</sup>, либрационные решеточные моды — поворотным качаниям гидроксильной группы ОН<sup>-</sup> и молекул воды H<sub>2</sub>O. Внутреннее колебательное представление соответствует внутримолекулярным (внутренним) колебаниям гидроксильной группы ОН<sup>-</sup> и молекулы воды H<sub>2</sub>O. Моды с частотами 194, 328 и 390 см<sup>-1</sup>, согласно расчетам [17], относятся к трансляциям. Наблюдаемые в низкочастотной области спектра КР (см. рис. 2) полосы также естественно отнести к трансляционным колебаниям групп ОН<sup>-</sup> и H<sub>2</sub>O (см. табл. 2, табл. 3). Высоочастотные решеточные моды (600...1000 см<sup>-1</sup>) относятся к либрационным осцилляциям. Колебание с частотой 1090 см<sup>-1</sup> соответствует осцилляциям лития относительно группы ОН<sup>-</sup>. Внутренним колебаниям групп ОН<sup>-</sup> и H<sub>2</sub>O соответствуют моды, проявляющиеся в высокочастотной области спектра КР (1500...3600 см<sup>-1</sup>).

Сравнение экспериментальных результатов, полученных в настоящей работе, с результатами, приведенными в работах [15, 17], представлено в табл. 3.

Таблица 3

## Сравнение экспериментальных результатов, полученных в настоящей работе, с результатами, приведенными в работах [15, 17]

Номер пика	Значения частоты колебаний, полученные в настоящей работе, $v_{exp}$ , см <sup>-1</sup>	Значения частоты, взятые из работ [17] и [15] соответственно	
		$v_{ref1}$ , см <sup>-1</sup>	$v_{ref2}$ , см <sup>-1</sup>
1	194	–	–
2	211	212	214
3	245	246	248
4	285	–	–
5	298	–	–

Номер пика	Значения частоты колебаний, полученные в настоящей работе, $\nu_{exp}$ , $\text{см}^{-1}$	Значения частоты, взятые из работ [17] и [15] соответственно	
		$\nu_{ref1}$ , $\text{см}^{-1}$	$\nu_{ref2}$ , $\text{см}^{-1}$
6	328	–	–
7	367	366	368
8	390	391	394
9	487	–	516
10	619	–	593
11	698	693	696
12	799	–	–
13	838	838	841
14	1090	–	1090
15	1488	–	–

**Выводы.** Методом волоконно-оптической спектроскопии зарегистрирован спектр КР кристаллов моногидрата гидроксида лития в области решеточных и внутримолекулярных мод. Проведено отнесение комбинационных спутников к трансляциям ионов лития, гидроксильных групп и молекул воды, а также к либрациям гидроксильных групп и молекул воды, к внутренним модам  $\text{OH}^-$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Полученные результаты позволяют проводить экспресс-характеризацию соединений семейства гидрида лития для разделения компонентов, соответствующих чистому гидриду лития и более сложным структурам, содержащим ионы лития, гидроксильные группы и молекулы воды.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Jaswal S.S., Sharma T.P., Wolfram G.* Second-order Raman spectra and phonon spectrum of LiD // *Solid State Communications*. 1972. Vol. 11. Iss. 9. P. 1151–1155. DOI: 10.1016/0038-1098(72)90813-7
2. *Laplaze D.* Second-order Raman spectra of LiH // *Physica Status Solidi*. 1979. Vol. 91. Iss. 1. P. 59–69. DOI: 10.1002/pssb.2220910105
3. *Anderson A., Lüty F.* Raman scattering, defect luminescence, and phonon spectra of  $^7\text{LiH}$ ,  $^6\text{LiH}$ , and  $^7\text{LiD}$  crystals // *Phys. Rev. B*. 1983. Vol. 28. Iss. 6. P. 500–503. DOI: 10.1103/PhysRevB.28.3415
4. *Okazaki S., Ohtori N., Okada I.* Raman spectroscopic study on the vibrational and rotational relaxation of  $\text{OH}^-$  ion in molten LiOH // *Journal of Chemical Physics*. 1989. Vol. 91. No. 9. P. 5587–5591. DOI: 10.1063/1.457560
5. *Harbach F., Fischer F.* Raman spectra of lithium hydroxide single crystals // *Journal of Physics & Chemistry of Solids*. 1975. Vol. 36. Iss. 6. P. 601–603. DOI: 10.1016/0022-3697(75)90149-3
6. *Hase Y., Yoshida I.V.P.* The Raman active vibrational modes and isotopic effects of four isotopically substituted lithium hydroxides // *Chemical Physics Letters*. 1979. Vol. 65. Iss. 1. P. 46–49. DOI: 10.1016/0009-2614(79)80122-0

7. *Walrafen G.E., Douglas R.T.W.* Raman spectra from very concentrated aqueous NaOH and from wet and dry, solid, and anhydrous molten, LiOH, NaOH, and KOH // *Journal of Chemical Physics*. 2006. Vol. 124. Iss. 11. P. 114504–114504-14. DOI: 10.1063/1.2121710
8. *Megahed S., Ebner W.* Lithium-ion battery for electronic applications // *Journal of Power Sources*. 1995. Vol. 54. Iss. 1. P. 155–162. DOI: 10.1016/0378-7753(94)02059-C
9. *Laude T., Kobayashi T., Sato Y.* Electrolysis of LiOH for hydrogen supply // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2010. Vol. 35. Iss. 2. P. 585–588. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2009.11.028
10. *Kim Y., Choi K.Y., Chamberlin T.A.* Kinetics of melt transesterification of diphenyl carbonate and bisphenol A to polycarbonate with lithium hydroxide monohydrate catalyst // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1992. Vol. 31 (9). P. 2118–2127. DOI: 10.1021/ie00009a008
11. *Sebastian L., Gopalakrishnan J.* Lithium ion mobility in metal oxides: A materials chemistry perspective // *Journal of Materials Chemistry*. 2003. Vol. 13. Iss. 3. P. 433–441. DOI: 10.1039/B211367H
12. *Tayal V.P., Srivastava B.K., Khandelwal D.P., Bist H.D.* Librational modes of crystal water in hydrated solids // *Applied Spectroscopy Reviews*. 1980. Vol. 16. Iss. 1. P. 43–134. DOI: 10.1080/05704928008081709
13. *Groth V.P.* *Chemische krystallographie*. Leipzig: W. Engelmann, 1906. 325p.
14. *Krishnamurti D.* The Raman and infrared spectra of some solid hydroxides. Part III. Discussion of the infrared data // *Proc. of the Indian Academy of Sciences — Section A*. 1959. Vol. 50. Iss. 4. P. 247–253. DOI: 10.1007/BF03048860
15. *Hase Y.* Raman spectroscopic study of four isotopically substituted lithium hydroxide monohydrates // *Chemical Monthly*. 1981. Vol. 112. Iss. 1. P. 73–82. DOI: 10.1007/BF00906244
16. *Tyutyunnik V.I.* Lithium hydroxide monohydrate single crystals: Infrared reflectivity and Raman study // *Journal of Raman Spectroscopy*. 2000. Vol. 31. Iss. 7. P. 559–563. DOI: 10.1002/1097-4555(200007)31:7<559::AID-JRS577>3.0.CO;2-O
17. *Parker S.F., Refson K., Bewley R.I., Dent G.* Assignment of the vibrational spectra of lithium hydroxide monohydrate, LiOH·H<sub>2</sub>O // *Journal of Chemical Physics*. 2011. Vol. 134. Iss. 8. P. 084503–084503-7. DOI: 10.1063/1.3553812
18. *Gorelik V.S., Litvinova A.O., Umarov M.F.* Fiber-optic measurements of secondary emission spectra of molecular compounds // *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*. 2014. Vol. 41. Iss. 11. P. 305–309. DOI: 10.3103/S1068335614110013
19. *Pepinsky R.* Crystal structure of lithium hydroxide monohydrate // *Crystalline Materials*. 1940. Vol. 102. No. 1-6. P. 119–131. DOI: 10.1524/zkri.1940.102.1.119
20. *Любарский Г.Я.* Теория групп и ее применение в физике. М.: Физматгиз, 1958. 354 с.

**Горелик Владимир Семенович** — д-р физ.-мат. наук, заведующий лабораторией «Комбинационное рассеяние света» Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 53), профессор кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Би Дунсюэ** — аспирантка кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Пащенко Антон** — студент кафедры «Лазерные и оптико-электронные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).



**Войнов Юрий Петрович** — канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории «Космическая ИК-спектроскопия» Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 53).

**Юрасов Николай Ильич** — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Юрасова Ирина Игоревна** — канд. хим. наук, доцент кафедры «Химия» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Волоконно-оптическая спектроскопия комбинационного рассеяния света кристалла моногидрата гидроксида лития / В.С. Горелик, Дунсюэ Би, А. Пашченко, Ю.П. Войнов, Н.И. Юрасов, И.И. Юрасова // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2018. № 1. С. 74–83. DOI: 10.18698/1812-3368-2018-1-74-83

**FIBER-OPTIC RAMAN SPECTROSCOPY IN LITHIUM HYDROXIDE MONOHYDRATE CRYSTAL**

V.S. Gorelik<sup>1,2</sup>

gorelik@sci.lebedev.ru

Dongxue Bi<sup>2</sup>

A. Pashchenko<sup>2</sup>

Yu.P. Voinov<sup>1</sup>

voinov@sci.lebedev.ru

N.I. Yurasov<sup>2</sup>

I.I. Yurasova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

---

**Abstract**

The purpose of this research was to register Raman spectra in a lithium hydroxide monohydrate crystal over a wide spectral range at room temperature using fiber-optical spectroscopy. We carried out the registration of Raman spectra at the spectral region 180...1600 cm<sup>-1</sup>. The spectral bands obtained were attributed to oscillations races in Raman spectrum of lithium hydroxide monohydrate crystal. In Raman spectra of the crystal we found lattice modes corresponding to translations of lithium ions, hydroxyl groups and water molecules, and to libration of water molecules and hydroxyl groups. As a result, we observed intense Raman lines in the low-frequency region of the spectrum. This opens an opportunity to observe stimulated Raman scattering by lattice modes in these crystals

**Keywords**

*Spectroscopy, fiber, scattering, lithium, hydroxide, group theory, oscillation, spectrometer, laser*

Received 27.02.2017

© BMSTU, 2018

---

*This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grants no. 15-02-02882 and no. 16-52-00026) and the China Scholarship Council*



## REFERENCES

- [1] Jaswal S.S., Sharma T.P., Wolfram G. Second-order Raman spectra and phonon spectrum of LiD. *Solid State Communications*, 1972, vol. 11, iss. 9, pp. 1151–1155. DOI: 10.1016/0038-1098(72)90813-7
- [2] Laplaze D. Second-order Raman spectra of LiH. *Physica Status Solidi*, 1979, vol. 91, iss. 1, pp. 59–69. DOI: 10.1002/pssb.2220910105
- [3] Anderson A., Lüty F. Raman scattering, defect luminescence, and phonon spectra of  $^7\text{LiH}$ ,  $^6\text{LiH}$ , and  $^7\text{LiD}$  crystals. *Phys. Rev. B*, 1983, vol. 28, iss. 6, pp. 500–503. DOI: 10.1103/PhysRevB.28.3415
- [4] Okazaki S., Ohtori N., Okada I. Raman spectroscopic study on the vibrational and rotational relaxation of  $\text{OH}^-$  ion in molten LiOH. *Journal of Chemical Physics*, 1989, vol. 91, no. 9, pp. 5587–5591. DOI: 10.1063/1.457560
- [5] Harbach F., Fischer F. Raman spectra of lithium hydroxide single crystals. *Journal of Physics & Chemistry of Solids*, 1975, vol. 36, iss. 6, pp. 601–603. DOI: 10.1016/0022-3697(75)90149-3
- [6] Hase Y., Yoshida I.V.P. The Raman active vibrational modes and isotopic effects of four isotopically substituted lithium hydroxides. *Chemical Physics Letters*, 1979, vol. 65, iss. 1, pp. 46–49. DOI: 10.1016/0009-2614(79)80122-0
- [7] Walrafen G.E., Douglas R.T.W. Raman spectra from very concentrated aqueous NaOH and from wet and dry, solid, and anhydrous molten, LiOH, NaOH, and KOH. *Journal of Chemical Physics*, 2006, vol. 124, iss. 11, pp. 114504–114504-14. DOI: 10.1063/1.2121710
- [8] Megahed S., Ebner W. Lithium-ion battery for electronic applications. *Journal of Power Sources*, 1995, vol. 54, iss. 1, pp. 155–162. DOI: 10.1016/0378-7753(94)02059-C
- [9] Laude T., Kobayashi T., Sato Y. Electrolysis of LiOH for hydrogen supply. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2010, vol. 35, iss. 2, pp. 585–588. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2009.11.028
- [10] Kim Y., Choi K.Y., Chamberlin T.A. Kinetics of melt transesterification of diphenyl carbonate and bisphenol A to polycarbonate with lithium hydroxide monohydrate catalyst. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 1992, vol. 31 (9), pp. 2118–2127. DOI: 10.1021/ie00009a008
- [11] Sebastian L., Gopalakrishnan J. Lithium ion mobility in metal oxides: A materials chemistry perspective. *Journal of Materials Chemistry*, 2003, vol. 13, no. 3, pp. 433–441. DOI: 10.1039/B211367H
- [12] Tayal V.P., Srivastava B.K., Khandelwal D.P., Bist H.D. Librational modes of crystal water in hydrated solids. *Applied Spectroscopy Reviews*, 1980, vol. 16, no. 1, pp. 43–134. DOI: 10.1080/05704928008081709
- [13] Groth V.P. *Chemische kristallographie*. Leipzig, W. Engelmann, 1906. 325 p.
- [14] Krishnamurti D. The Raman and infrared spectra of some solid hydroxides. Part III. Discussion of the infrared data. *Proc. of the Indian Academy of Sciences — Section A*, 1959, vol. 50, iss. 4, pp. 247–253. DOI: 10.1007/BF03048860
- [15] Hase Y. Raman spectroscopic study of four isotopically substituted lithium hydroxide monohydrates. *Chemical Monthly*, 1981, vol. 112, iss. 1, pp. 73–82. DOI: 10.1007/BF00906244
- [16] Tyutyunnik V.I. Lithium hydroxide monohydrate single crystals: Infrared reflectivity and Raman study. *Journal of Raman Spectroscopy*, 2000, vol. 31, iss. 7, pp. 559–563. DOI: 10.1002/1097-4555(200007)31:7<559::AID-JRS577>3.0.CO;2-O

[17] Parker S.F., Refson K., Bewley R.I., Dent G. Assignment of the vibrational spectra of lithium hydroxide monohydrate,  $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ . *Journal of Chemical Physics*, 2011, vol. 134, iss. 8, pp. 084503–084503-7. DOI: 10.1063/1.3553812

[18] Gorelik V.S., Litvinova A.O., Umarov M.F. Fiber-optic measurements of secondary emission spectra of molecular compounds. *Bulletin of the Lebedev Physics Institute*, 2014, vol. 41, iss. 11, pp. 305–309. DOI: 10.3103/S1068335614110013

[19] Pepinsky R. Crystal structure of lithium hydroxide monohydrate. *Crystalline Materials*, 1940, vol. 102, no. 1-6, pp. 119–131. DOI: 10.1524/zkri.1940.102.1.119

[20] Lyubarskiy G.Ya. *Teoriya grupp i ee primeneniye v fizike* [Group theory and its application in physics]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1958. 354 p.

**Gorelik V.S.** — Dr. Sc. (Phys.-Math.), Head of Raman Scattering Laboratory, Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences (Leninskiy prospekt 53, Moscow, 119991 Russian Federation), Professor of Physics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Bi Dongxue** — post-graduate student of Physics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Pashchenko A.** — student of Laser and Optoelectronic Systems Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Voinov Yu.P.** — Cand. Sc. (Eng.), Researcher of Laboratory of Space IR Spectrometry, Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences (Leninskiy prospekt 53, Moscow, 119991 Russian Federation).

**Yurasov N.I.** — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Assoc. Professor of Physics Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Yurasova I.I.** — Cand. Sc. (Chem.), Assoc. Professor of Chemistry Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Gorelik V.S., Bi Dongxue, Pashchenko A., Voinov Yu.P., Yurasov N.I., Yurasova I.I. Fiber-Optic Raman Spectroscopy in Lithium Hydroxide Monohydrate Crystal. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2018, no. 1, pp. 74–83. DOI: 10.18698/1812-3368-2018-1-74-83