



Яркая сонолюминесценция металлов в концентрированных водных растворах хлоридов Ca и Na

Т. В. Гордейчук, М. В. Казачек
Тихоокеанский океанологический институт
им. В. И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

Наблюдалась яркая многопузырьковая сонолюминесценция в концентрированных водных растворах CaCl_2 и NaCl при насыщении аргоном, видимая невооруженным глазом. Фотографии светящейся кавитационной области в растворе CaCl_2 представлены впервые. Наблюдения и спектры показывают, что излучение и континуума, и линий Ca происходит в стримерах вдали от торца излучателя ультразвука.

Ключевые слова: сонолюминесценция, фотография, спектры, CaCl_2 , NaCl

Статья получена: 20.10.2021

Статья принята: 15.11.2021

Многопузырьковая сонолюминесценция (СЛ) – слабое свечение жидкостей, наблюдать которое невооруженным глазом можно лишь при экспериментальных условиях, обеспечивающих высокую интенсивность кавитационного коллапса нелинейно пульсирующих в ультразвуковом поле пузырьков. Такие условия наблюдаются, к примеру, в жидкостях с низким давлением насыщенного пара (концентрированные кислоты), при насыщении газами с низкой теплопроводностью (Xe), при низкой температуре раствора и повышенном гидростатическом давлении. Имеется ряд работ, публикующих фотографии светящейся кавитационной области в подобных растворах, содержащих ионы Na, подкрепленные оптическими спектрами [1-5]. На низких частотах 20–30 кГц структура люми-

Bright Sonoluminescence of Metals from High Concentrated Aqueous CaCl_2 and NaCl Solutions

T. V. Gordeychuk, M. V. Kazachek
V. I. Il'ichev Pacific oceanological institute FEB RAS,
Vladivostok, Russia

Bright multibubble sonoluminescence was observed in high concentrated aqueous solutions of CaCl_2 and NaCl under argon. The emission was visible to the naked eye. The photos of the luminous cavitation cloud of CaCl_2 solutions presented for the first time. The observations and spectra show that the radiation of both the continuum of the emission and the Ca lines occurs in streamers away from an ultrasonic horn.

Keywords: sonoluminescence, photo, spectra, CaCl_2 , NaCl

The article was received: 20.10.2021

The article was accepted: 15.11.2021

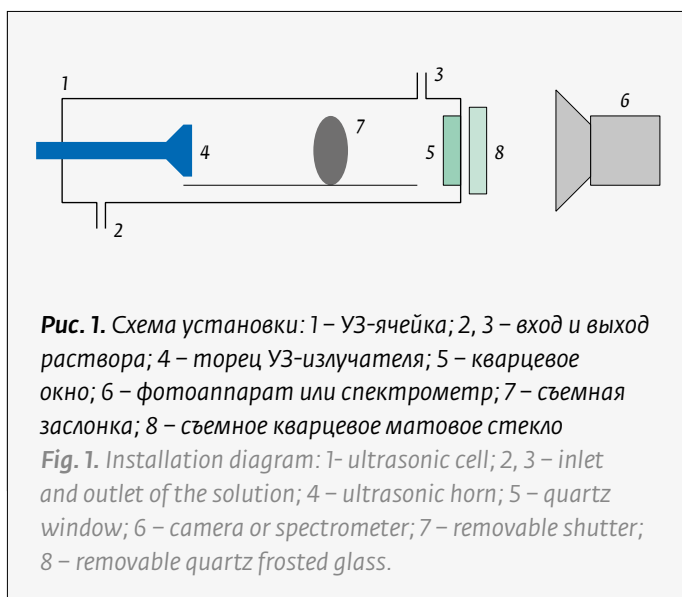
Мultibubble sonoluminescence (SL) is a weak luminescence of liquids, which can be observed with the naked eye only under experimental conditions that provide a high intensity of cavitation collapse of non-linearly pulsating bubbles in the ultrasonic field. Such conditions are observed, for example, in liquids with low saturated vapor pressure (concentrated acids), when saturated with gases with low thermal conductivity (Xe), at low solution temperature and higher hydrostatic pressure. Several papers have photos published showing the luminous cavitation cloud in similar solutions containing Na ions supported by optical spectra [1-5]. At low frequencies of 20–30 kHz, the structure of the luminescent cloud has the form of a flame with a blue glow near the surface of the ultrasonic horn. At the flame tail, thin dynamic threads are observed – streamers – with an orange glow. Parallel measure-

несцирующей области имеет вид факела с голубым свечением у поверхности торца ультразвукового (УЗ) преобразователя. На конце факела наблюдаются тонкие динамические нити – стримеры – с оранжевым свечением. Параллельное измерение оптических спектров подтверждает пространственное разделение светящихся зон, а именно: голубое свечение дает континуум СЛ, формируемый высокоэнергетическими процессами в «горячих» пузырьках, подверженных эффективному сферическому коллапсу в области с высокой плотностью акустической энергии. Оранжевые стримеры возникают в области с низкой плотностью энергии, где формируются условия, годные для возбуждения-излучения Na. В частности, как полагают, микротурбулентность жидкости и поверхностная нестабильность таких «холодных» пузырьков способствует попаданию металла внутрь пузырька. При частотах 100–500 кГц наблюдается слоистая структура цветного сияния СЛ, соответствующая расположению стоячих волн в УЗ-ячейке. На краях слоев, вдали от акустической оси, могут также наблюдаться стримеры. Спектры СЛ в этом случае обычно содержат и континуум, и линию Na.

Фотографии светящейся области в растворах, содержащих ионы Ca, нами в литературе не найдены. Однако мы наблюдали яркую СЛ в концентрированных водных растворах CaCl_2 . Ca имеет иную электронную структуру, чем Na, обладает иным энергетическим спектром. Он может иметь другие механизмы возбуждения, хотя и для Na они до сих пор являются только предположительными. Действительно, мы наблюдаем иную структуру светящейся области. Подобные наблюдения информативны для дальнейшего понимания природы СЛ металлов.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Детальное описание методики и экспериментальной установки для измерения спектров СЛ приводилось многократно [6–7]. УЗ-колебания возбуждались в термостатируемой стальной ячейке проточного типа (рис. 1) генератором Sonics VC750, частота 20 кГц, выделяемую мощность W определяли по показаниям генератора. Температуру раствора поддерживали постоянной и равной 10 ± 2 °C с помощью термостата Julabo F12. Для получения растворов использовали «хч» реактивы и дистиллированную воду. Раствор насыщали аргоном 2 часа до и в течение всего эксперимента. Спектры регистрировали с помощью монохроматора МДР-23 (решетка 1200 штрихов/мм), фото-



ment of optical spectra confirms the spatial separation of luminous zones. Namely, the blue glow gives a continuum of SL formed by high-energy processes in “hot” bubbles prone to effective spherical collapse in an area where there is a high sound energy density. Orange streamers occur in an area with a low energy density, where conditions that are suitable for the Na radiation excitation are formed. In particular, it is believed that the microturbulence of the liquid and the surface instability of such “cold” bubbles contributes to the ingress of metal into the bubble. At frequencies of 100–500 kHz, a layered structure of the colored radiance of SL is observed, corresponding to the location of standing waves in the ultrasonic in the cell. Streamers can also be observed at the edges of the layers, away from the acoustic axis. In this case, the sonoluminescence spectra usually contain both a continuum and a Na line.

We have not found photos of the luminous area in solutions containing Ca ions in the literature. Nevertheless, we observed bright SL in concentrated aqueous CaCl_2 solutions. Ca has an electronic structure that differs from that of Na and has a different energy spectrum. It may have other excitation mechanisms, although for Na they are still only conjectural. Indeed, we observe a different structure of the luminous cloud. Such observations are informative for further understanding of the nature of metal SL.

EXPERIMENT

A detailed description of the methodology and experimental setup for measuring SL spectra has been provided repeatedly [6–7]. Ultrasonic vibrations were

приемника ФЭУ-100, управление измерениями и обработка данных осуществлялись компьютером. Спектральная коррекция не проводилась.

Фотографии и оптические спектры были получены для двух случаев:

1. ближнее УЗ-поле – расстояние между торцом излучателя (4, рис. 1) и окном ячейки (5, рис. 1) $L=17$ мм;
2. дальнее УЗ-поле – $L=100$ мм.

Чтобы экранировать световое излучение вблизи торца УЗ-излучателя, на середину УЗ-ячейки помещали заслонку (7 рис. 1) из латунной ленты толщиной около 0,1 мм, прозрачную для ультразвука. Для усреднения углового движения пузырьков и получения более гладких спектров матовое кварцевое стекло (8, рис. 1) помещали между окном ячейки и щелью сканирующего монохроматора.

Наблюдения СЛ водного раствора NaCl

При концентрации 3М NaCl и выше СЛ в ближнем УЗ-поле наблюдалась невооруженным глазом (рис. 2). Оранжевое пятно – зона излучения Na на конце факела. Позиционирование съемки позволяет оценить пространственное расположение пятна (~5 мм от окна). Вблизи торца излучателя наблюдалось голубоватое свечение континуума (на фотографии не видно).

На рис. 3 представлены фотографии и оптический спектр СЛ раствора 2М NaCl, снятые в дальнем УЗ-поле. Визуально наблюдалось очень слабое голубое свечение в объеме ячейки и вблизи торца излучателя и подвижные стримеры оранжевого цвета в центре ячейки ближе к кварцевому окну.

excited in a thermostatically controlled flow-through type steel cell (Fig. 1) by means of a Sonics VC750 generator, the frequency was 20 kHz, with the output power in watts determined by the generator readings. The temperature of the solution was kept constant and equal to 10 ± 2 °C using a Julabo F12 thermostat. To produce solutions, high-grade reagents and distilled water were used. The solution was saturated with argon for 2 hours before and throughout the experiment. The spectra were recorded using the MDR-23 monochromator (1200 grooves/mm grid, 2.9 nm instrumental bandwidth) and the FEU-100 photomultiplier. Measurement control and data processing were carried out by a computer. No spectral correction procedure was performed.

Photos and optical spectra were obtained for two cases: (1) in the near ultrasonic field, which is the distance between the ultrasonic horn (item 4, Fig.1) and the cell window (item 5, Fig.1), $L=17$ mm; (2) in the far ultrasonic field, $L=100$ mm. In order to shield the light radiation near the ultrasonic horn, a shutter (item 7, Fig.1), made of brass tape about 0.1 mm thick, transparent for ultrasound, was placed in the middle of the ultrasonic cell. To average the angular motion of the bubbles and obtain smoother spectra, a frosted quartz glass (item 8, Fig. 1) was placed between the cell window and the slit of the scanning monochromator.

Observations of SL from NaCl Aqueous Solution

With the molar concentration of NaCl being 3M and above, SL was observed in the near ultrasound field with the naked eye (Fig. 2). The orange spot is the Na radiation zone at the flame tail. The positioning



Рис. 2. Фотографии СЛ водного раствора 5М NaCl в ближнем УЗ-поле ($W=36$ Вт; экспозиция 8 с)

Fig. 2. Photos of SL from an aqueous 5M NaCl solution in the near ultrasonic field. $W=36$ watts. Exposure 8 sec.



Рис. 3. Спектр и контрастированная фотография СЛ водного раствора 2М NaCl в дальнем УЗ-поле ($W=20$ Вт; экспозиция – 8 с)

Fig. 3. Spectrum and contrast photo of SL from an aqueous 2M NaCl solution in the far ultrasonic field ($W=20$ watts; exposure – 8 sec)

Наблюдения СЛ водного раствора CaCl₂

Все наблюдения СЛ кальция проводились в дальнем УЗ-поле. При концентрации 3М CaCl₂ и выше СЛ наблюдалась невооруженным глазом. Структура светящейся области отличалась от случая Na и имела вид быстро перемещающихся ломаных стримеров из светящихся пузырьков. Они могли располагаться вдоль (рис. 4) или поперек оси ячейки (рис. 5). Стримеры выглядели как дуги и струи из скачущих точек. Цвет стримеров голубой, что соответствует свечению континуума.

of the shooting provides an opportunity to estimate the spatial location of the spot (approximately 5 mm from the window). Near the ultrasonic horn, a bluish glow of the continuum was observed (not visible in the photo).

Figure 3 shows photos and the optical SL spectrum of the 2M NaCl solution taken in the far ultrasound field. A very faint blue glow can be seen in the volume of the cell and near the ultrasonic horn, as well as moving orange streamers can be seen in the center of the cell closer to the quartz window.

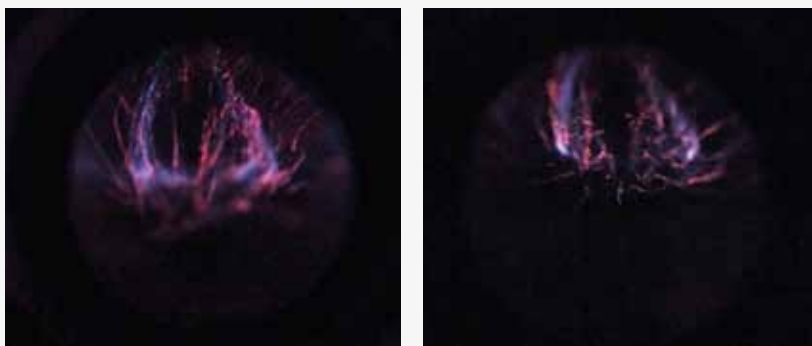


Рис. 4. Фотографии СЛ водного раствора 5М CaCl₂ ($W=20$ Вт; экспозиция 1 с): слева – фокус вблизи окна ячейки, справа – вблизи торца излучателя (видны продольные стримеры)

Fig. 4. Photos of SL from an aqueous 5M CaCl₂ solution ($W=20$ watts; exposure 1 sec): on the left – focus near the cell window, on the right – near the ultrasonic horn (longitudinal streamers are visible)

Observations of SL from CaCl₂ Aqueous Solution

All observations of calcium SL were performed in the far ultrasound field. With the molar concentration of CaCl₂ being 3M and above, SL was observed with the naked eye. The structure of the luminous cloud differed from the case of Na and had the form of fast-moving polyline streamers of luminous bubbles. They could be located along (Fig. 4) or across (Fig. 5) the axis of the cell. Streamers looked like arcs and jets of jumping dots. The color of the streamers was blue, which matched the emission of the continuum. From time to time, bright red dots appeared at the ends of the jets, which matched

Время от времени на концах струй возникали яркие красные точки, что соответствует свечению Ca (рис. 6). Проточность кюветы не влияла на долговременную стабильность картины СЛ в целом.

Спектроскопия СЛ водного раствора CaCl_2

Спектр СЛ водного раствора CaCl_2 содержит достаточно гладкий континуум и полосу радикала OH 310 нм, характерные для всех водных растворов, а также атомные и молекулярные полосы излучения (рис. 7). Полосы 338 и 385 нм не определены [8–9]. Линия 423 нм – атомная линия CaI ($4s^2\ ^1S-4s4p\ ^1P$). Полосы 554 и 618 нм относят к молекулярному CaOH ($\tilde{X}^2\Sigma^+ - \tilde{B}^2\Sigma^+$, $\tilde{X}^2\Sigma^+ - \tilde{A}^2\Pi^+$). Они известны в аналитической спектроскопии и применяются для анализа содержания кальция в пробах. Результаты показывают, что в спектрах СЛ линии Ca и CaOH либо не наблюдаются, либо наблюдаются вместе. К примеру, они появляются в спектрах СЛ при снижении температуры раствора (рис. 7). В этом случае в светящейся области видны точки красного цвета, поскольку преобладающий вклад в свечение вносит красная полоса 618 нм. Эффект температуры раствора для СЛ описан во многих работах [6, 10–12]. Рост температуры повышает давление насыщенных паров, что приводит к понижению эффективности концентрации энергии пузырькового коллапса и как следствие к понижению яркости СЛ. Яркость линий по отношению к континууму изменяется вследствие уменьшения роли механизмов, ответственных за генерацию линий.

Использование матового стекла

Спектры СЛ, полученные методом сканирования, часто зашумлены вследствие быстрых изменений яркости и быстрого движения светящихся пузырьков поперек апертуры. Этой проблемы нет при фотографировании или записи спектров ПЗС-матрицей. Применение матового кварцевого стекла перед щелью спектрометра позволяет «усреднить» угловое движение пузырьков. Оказалось, что суммарная освещенность от них достаточно постоянна. Это позволило получить гладкие спектры СЛ от быстро меняющихся стримеров (рис. 8).

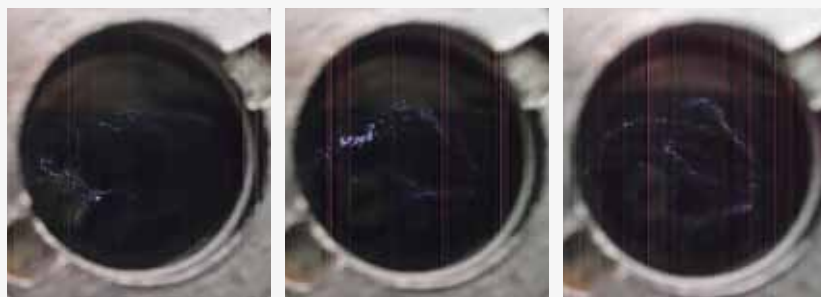


Рис. 5. Фотографии СЛ водного раствора 4М CaCl_2 . ($W=25$ Вт; экспозиция – 1/7 с). Фокус ~ 50 мм от окна в глубину. Видны быстро меняющиеся стримеры в виде поперечных струй (вертикальные полосы – цифровой дефект съемки)
Fig. 5. Photos of SL from an aqueous 4M CaCl_2 solution. ($W=25$ watts; exposure – 1/7 sec). The focus is approximately 50 mm from the window depthward. Fast-changing streamers in the form of transverse jets are visible (vertical stripes are a digital shooting defect)

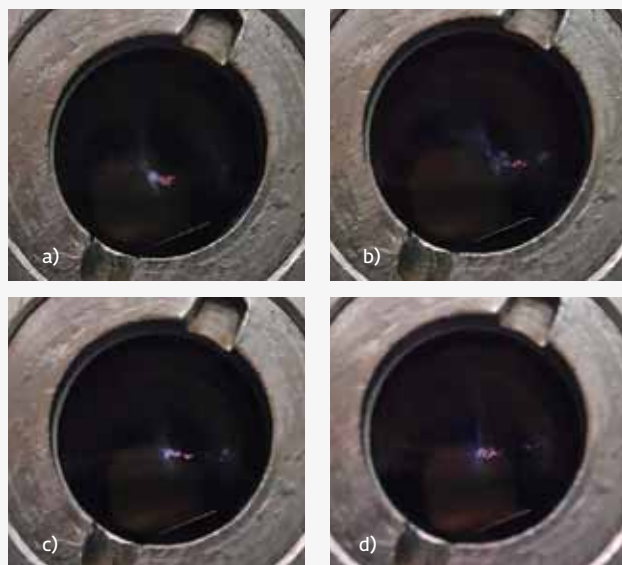
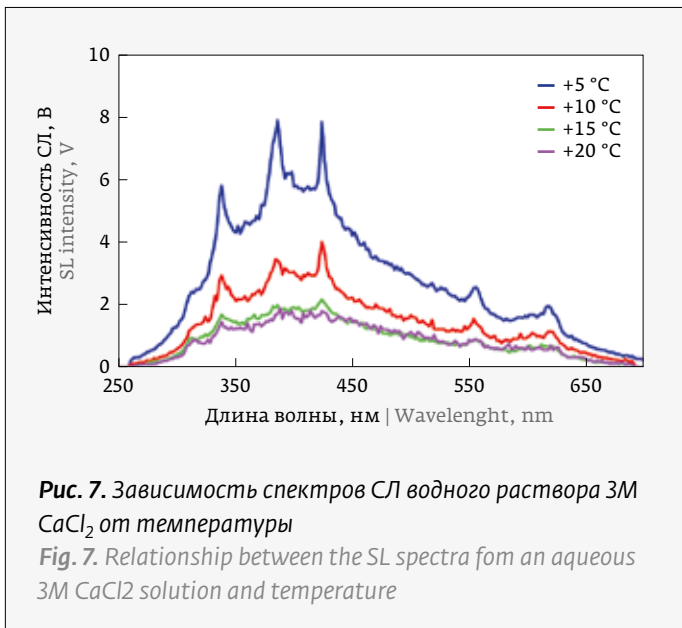


Рис. 6. Фотографии СЛ водного раствора 5М CaCl_2 . ($W=20$ Вт; экспозиция 1/7 с). Фокус: а) окно; б) ~10 мм от окна; в) ~20 мм от окна; д) ~50 мм от окна вглубь. Использована заслонка, которая видна как мутный желтоватый овал в глубине. Видны 3–4 соединяющихся голубых стримера и яркий красный хвост, направленный к окну
Fig. 6. Photos of SL from an aqueous 5M CaCl_2 solution. ($W=20$ watts; exposure – 1/7 sec). Focus: a) window; b) ~10 mm from the window; c) ~20 mm from the window; d) ~50 mm from the window depthward. The shutter is used, which is visible as a cloudy yellowish oval in the recess. 3–4 connecting blue streamers and a bright red tail pointing towards the window are visible.



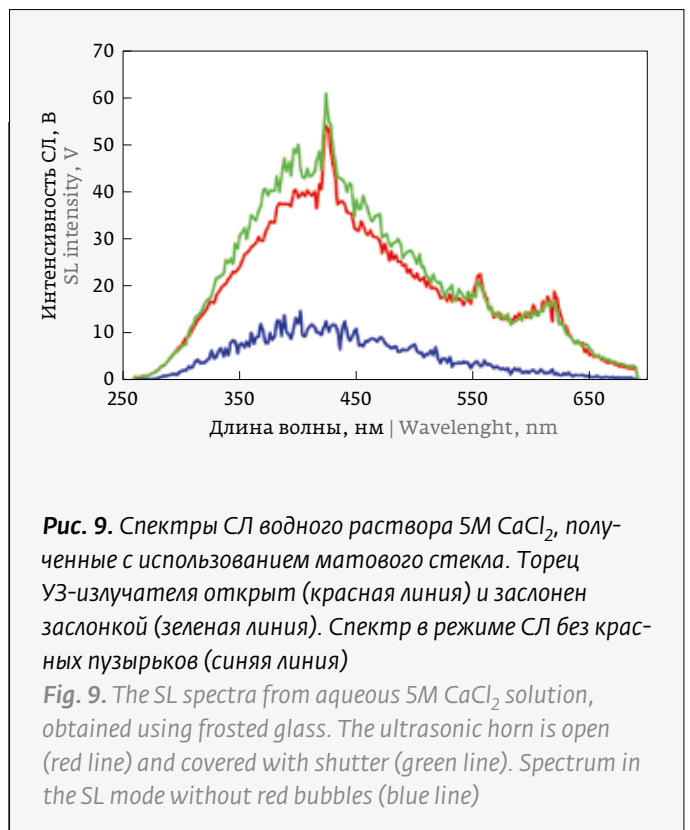
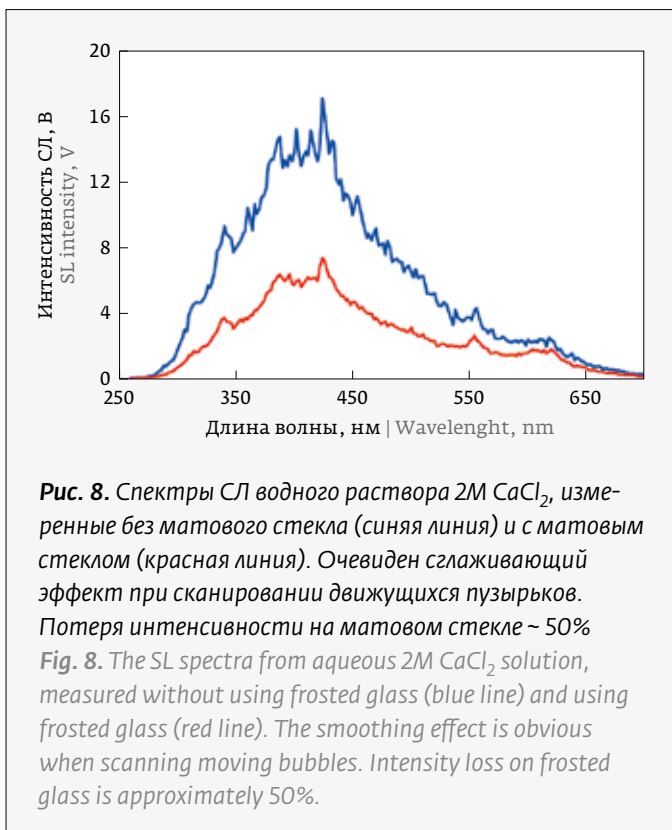
Использование заслонки при измерении спектров

Оптическую заслонку располагали внутри УЗ-ячейки примерно посередине между торцом излучателя и кварцевым окном. Заслонка практически не влияла на картину СЛ CaCl₂. Это видно по расположению и цвету пузырьков из сравне-

the emission of Ca (Fig. 6). The flow rate of the sample cell did not affect the long-term stability of the sonoluminescence pattern as a whole.

Spectroscopy of SL from the Aqueous CaCl₂ Solution

The SL spectrum from the aqueous CaCl₂ solution contains a fairly smooth continuum and a 310 nm OH radical band (are characteristic of all aqueous solutions), as well as atomic and molecular emission bands (Fig. 7). The 338 and 385 nm bands are not defined [8-9]. The 423 nm peak is a CaI atomic line CaI (4s²1S - 4s4p¹P). The 554 and 618 nm bands belong to the molecular CaOH ($\tilde{X}^2\Sigma^+ - \tilde{B}^2\Sigma^+$, $\tilde{X}^2\Sigma^+ - \tilde{A}^2\Pi^+$). They are known in analytical spectroscopy and are used to analyze the calcium content in samples. The results show that in the SL spectra, the lines of Ca and CaOH are either not observed, or are observed together. For example, they appear in the SL spectra when the temperature of the solution decreases (Fig. 7). In this case, glowing red dots are visible in the luminous area, since the red band of 618 nm makes the predominant contribution to the emission. The effect of the temperature of the solution for SL is described in many papers [6, 10-12]. The temperature rise increases the pressure of saturated vapors, which leads to a decrease in





ния фотографий без заслонки (рис. 5) и с заслонкой (рис. 6). Фокус на рисунке 5 показывает, что стримеры расположены на глубине ~ 50 мм, на рис. 6 – от 10 до 50 мм, а на рисунке 4 – по всей длине ячейки. Из этого можно сделать вывод, что и континуум, и линии кальция излучаются в объеме жидкости, а не вблизи УЗ-излучателя. При СЛ NaCl типичной являлась картина разделения голубого свечения у торца и оранжевых стримеров. Спектральный состав СЛ CaCl₂ не изменяется при введении заслонки (рис. 9). Это также указывает, что и континуум, и излучение Ca формируются в подвижных стримерах вдали от УЗ-излучателя. На рис. 9 показан спектр СЛ при повышенной мощности и пульсирующем режиме УЗ (1 с/1 с) (синяя линия). Такой режим понижает яркость континуума, при этом не наблюдается ни красных пузырьков, ни линий Ca в спектре. Подобный спектр без линий Ca соответствует рис. 4 и рис. 5. Заметим, что появление излучения Ca при СЛ чувствительно к изменениям режимов эксперимента (статическое давление, мощность УЗ, температура и концентрации раствора и других, например периодическое включение ультразвука).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обнаружена богатая пространственная структура сонолюминесценции водных растворов CaCl₂. Обнаружено, что излучение и континуума, и кальция происходит из стримеров, удаленных от торца ультразвукового излучателя, тогда как в случае NaCl излучение континуума наблюдается вблизи торца излучателя, а натрия – в стримерах. В случае CaCl₂ излучение около торца незначительно. Излучение кальция, атомная (423 нм) и молекулярные (CaOH 554 и 618 нм) линии, может наблюдаться не по всей длине стримеров, а только на их дальних от торца концах, где образуются компактные области из нескольких ярких пляшущих пузырьков красного цвета.

Работа выполнена в рамках госзадания, регистрационный номер: АААА-А20-120021990003-3.

REFERENCES

1. Xu H., Eddingsaas N. C., Suslick K. S. Spatial Separation of Cavitating Bubble Populations: The Nanodroplet Injection Model. *Journal of American Chemical Society*. 2009; 131: 6060–6061. DOI: 10.1021/ja900457v.
2. Sunartio D., Yasui K., Tuziuti T., Kozuka T., Iida Y., Ashokkumar M., Grieser F. Correlation between Na⁺ Emission and «Chemically Active» Acoustic Cavitation Bubbles. *ChemPhysChem*. 2007; 8: 2331–2335. DOI: 10.1002/cphc.200700426.
3. Hatanaka S., Hayashi S., Choi P.-K. *Japanese Journal of Applied Physics*. 2010; 49: 07HE01.
4. Choi P.-K. Sonoluminescence and acoustic cavitation. *Japanese Journal of Applied Physics*. 2017; 56: 07JA01. DOI: 10.7567/JJAP.56.07JA01.

the efficiency of the concentration of the energy of bubble collapse and, as a consequence, to a decrease in the brightness of SL. The brightness of the lines in relation to the continuum changes due to a decrease in the role of the mechanisms that generate lines.

Use of Frosted Glass

The SL spectra obtained by scanning are often noisy due to rapid changes in brightness and the rapid movement of luminous bubbles across the aperture. This problem is not present when photographing or recording spectra with a CCD matrix. The use of frosted quartz glass in front of the spectrometer slit makes it possible to average the angular movement of bubbles. It has emerged that the total illumination they emit is quite constant. This made it possible to obtain smooth SL spectra from rapidly changing streamers (Fig. 8).

Using the Shutter When Measuring Spectra

The optical shutter was placed inside the ultrasonic cell approximately in the middle between the ultrasonic horn and the quartz window. The shutter practically did not affect any pattern of SL of CaCl₂. This can be seen by the location and color of the bubbles from the comparison of photos without the shutter (Fig. 5) and with the shutter (Fig. 6). The focus in Figure 5 shows that the streamers are located approximately 50 mm deep, in Figure 6 – from 10 to 50 mm deep, and in Figure 4 – along the entire length of the cell. Consequently, it can be concluded that both the continuum and the Ca lines are emitted in the volume of the liquid but not near the ultrasonic transducer. When SL of NaCl solutions occurred, the pattern of separation of the blue glow at the ultrasonic horn and the orange streamers was typical. The spectral composition of SL of CaCl₂ solutions does not change when the shutter is inserted (Fig. 9). This also indicates that both the continuum and the Ca radiation are formed in mobile streamers away from the ultrasonic transducer. Figure 9 shows the SL spectrum at increased power and pulsating ultrasound mode (1 sec/1 sec) (blue line). This mode lowers the brightness of the continuum, while there are no red bubbles or Ca lines in the spectrum observed. A similar spectrum without Ca lines corresponds to Fig. 4 and Fig. 5. It should be noted that the appearance of Ca emission when SL occurs is sensitive to the changes in experimental modes (static pressure, ultrasonic power, solution temperature, concentration and others, for example, periodic activation of ultrasound).



5. Nakajima R., Hayashi Y., Choi P.-K. *Japanese Journal of Applied Physics*. 2015; 54: 07HE02. DOI: 10.7567/JJAP.54.07HE02
6. Gordeychuk T. V., Kazachek M. V. Experimental observation of the intense enhancement of metal sonoluminescence under Pressure and Temperature. *Optics and Spectroscopy*. 2009; 106(2): 238–241. DOI: 10.1134/S0030400X09020143. Гордейчук Т. В., Казачек М. В. Экспериментальное наблюдение интенсивного роста сонолюминесценции металлов под влиянием давления и температуры. *Оптика и спектроскопия*. 2009; 106(2), 272–277. eLIBRARY ID: 11685099.
7. Gordeychuk T. V., Kazachek M. V. Effect of nonionic surfactants on Na⁺ emission during sonoluminescence of aqueous NaCl solutions. *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2019; 93(5): 1000–1003. DOI: 10.1134/S003602441905011X. Гордейчук Т. В., Казачек М. В. О влиянии неионогенных поверхностно-активных веществ на эмиссию Na⁺ при сонолюминесценции водных растворов NaCl. *Журнал физической химии*. 2019; 93(5): 793–796. DOI: 10.1134/S004445371905011X.
8. Young J. B., Nelson J. A., Kang W. Line Emission in Single-Bubble Sonoluminescence. *Physical Review Letters*. 2001; 86(12): 2673–2676. DOI: 10.1103/PhysRevLett.86.2673.
9. Schneider J., Pflieger R., Nikitenko S. I., Shchukin D., Möhwald H. Line Emission of Sodium and Hydroxyl Radicals in Single-Bubble Sonoluminescence. *Journal of Physical Chemistry A*. 2011; 115: 136–140. DOI: 10.1021/jp1083339
10. Verrall R. E., Sehgal C. M. Sonoluminescence. *Ultrasonics*. 1987; 25: 29–30.
11. Sehgal C., Sutherland R. G., Verrall R. E. Sonoluminescence Intensity as a Function of Bulk Solution Temperature. *Journal of Physical Chemistry*. 1980; 84: 525–528.
12. Didenko Y. T., Nastich D. N., Pugach S. P., Polovinka Y. A., Kvochka V. I. The effect of bulk solution temperature on the intensity and spectra of water sonoluminescence. *Ultrasonics*. 1994, 32, No 1: 71–76

ВКЛАД АВТОРОВ

Т. В. Гордейчук – постановка задачи, обсуждение результатов, написание статьи;
М. В. Казачек – постановка эксперимента, обсуждение результатов, написание статьи.

ОБ АВТОРАХ

Казачек М. В., к.х.н., e-mail: mihail@poi.dvo.ru, ст. н. с., Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия.
ORCID: 0000-0001-9320-1124

Область интересов: спектроскопия, физическая химия.

Гордейчук Т. В., к.ф.-м.н., e-mail: tanya@poi.dvo.ru, ст. н. с., Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия.
ORCID: 0000-0001-8425-4080

Область интересов: спектроскопия, физическая акустика.

CONCLUSION

An abundant spatial structure of the sonoluminescence of aqueous CaCl₂ solutions was observed. It was found that the radiation of both continuum and calcium originated from streamers remote from the ultrasonic horn, whereas in the case of NaCl, continuum radiation was observed near the ultrasonic horn, and sodium in the streamers. In the case of CaCl₂, the radiation near the ultrasonic horn is negligible. Calcium radiation, 423 nm atomic lines, and molecular 554 and 618 nm CaOH lines can be observed not along the entire length of the streamers, but only at their ends far from the ultrasonic horn, where compact regions of several bright dancing red bubbles are formed.

The work was carried out within the framework of the state task, with its registration number: AAAAA-A20-12002190003-3.

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

T. V. Gordeychuk – statement of the problem, discussion of the results, writing an article;

M. V. Kazachek – statement of the experiment, discussion of the results, writing an article.

ABOUT THE AUTHORS

M. V. Kazachek, Candidate of Chemical Sciences, e-mail: mihail@poi.dvo.ru, Senior Researcher, V. I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia.

ORCID: 0000-0001-9320-1124

Area of interest: spectroscopy, physical chemistry.

T. V. Gordeychuk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, e-mail: tanya@poi.dvo.ru, Senior Researcher, V. I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia.

ORCID: 0000-0001-8425-4080

Area of interest: spectroscopy, physical acoustics.



Вакуумное оборудование для оптики и микроэлектроники



Проектирование и производство вакуумных напылительных установок «под ключ»



Програмное обеспечение и автоматизация

Изготовление технологических устройств



Izovac

Разработка и изготовление тонкопленочных изделий

Разработка технологий формирования тонких пленок

Оптические элементы

Напылительный сервис

Сложные и уникальные покрытия

ООО «Изовак», ул. М. Богдановича, 155-907, 220040, Минск, Беларусь, тел.: +375 17 293 18 42, факс: +375 17 2931845

www.izovac.com
www.izovac-coatings.com



