



Ионизация Ca при сонолюминесценции водного раствора CaCl_2

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

При облучении ультразвуком 20 кГц в спектре многопузырьковой СЛ 2 М водного раствора CaCl_2 наблюдались слабые линии иона CaII при 393 и 397 нм. Сравнение со спектром Солнца позволяет сделать грубую оценку степени ионизации Ca, которая свидетельствует о существенной термодинамической неравновесности процессов в кавитационном пузырьке.

Ключевые слова: сонолюминесценция, водный раствор CaCl_2 , ионизация Ca

Статья получена: 02.12.2022

Статья принята: 25.12.2022

Прохождение ультразвуковых волн через жидкости сопровождается рядом нелинейных акустических явлений, самым важным из которых является кавитация: образование, рост и взрывной коллапс пузырьков. Свойство кавитационных пузырьков концентрировать энергию ультразвука выражается в возникновении в жидкости локализованных, короткоживущих горячих точек с экстремально высокими температурой и плотностью вещества, подверженных скоростному, почти адиабатическому, сжатию [1]. Сонолюминесценция (СЛ) – слабое свечение жидкостей в широком диапазоне от УФ- до ИК-области – следствие этих экстремальных условий. Спектральные измерения показывают, что условия в кавитационных пузырьках термодинамически неравновесные. Эмиссионные спектры стабильной СЛ одиночного пузырька в водном растворе серной кислоты обнаружили колебательно горячий SO с $T_v=2100$ К, который также являлся вращательно холодным

Calcium Ionization During Sonoluminescence From CaCl_2 Aqueous Solution

T. V. Gordeychuk, M. V. Kazachek
Iljichev Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern
Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok,
Russia

The weak lines of CaII at 393 and 397 nm were observed upon 20 kHz insonification of 2M CaCl_2 aqueous solution in the multibubble sonoluminescence spectrum. The rough estimation of Ca ionization degree having made by comparison with the solar spectrum that indicates the significant thermodynamic nonequilibrium of processes in a cavitation bubble.

Keywords: sonoluminescence, CaCl_2 aqueous solution, Ca ionization

Received: December 02, 2022

Accepted: December 25, 2022

The ultrasonic wave transmission through the liquids is accompanied by a number of nonlinear acoustic phenomena, the most important of which is cavitation, namely the bubble formation, its growth, and explosive collapse. The property of cavitation bubbles to concentrate the ultrasound energy leads to the occurrence of localized, short-lived hot spots in the liquid with the extremely high temperature and density of the substance, subject to the high-speed almost adiabatic compression [1]. Sonoluminescence (SL) that is the weak glow of liquids in a wide range from the UV to IR spectra is a consequence of such extreme conditions. The spectral measurements demonstrate that the conditions in cavitation bubbles are thermodynamically nonequilibrium. The emission spectra of stable SL of a single bubble in asulfuric



с $T_r=290$ K [2]. То же наблюдали для NH при многопузырьковой СЛ в водном растворе нашатырного спирта [3]. Признаки неравновесности обнаружены и для процесса ионизации при СЛ в режиме стабильно пульсирующего одиночного пузырька [4, 5]. В [5] в условиях, обеспечивающих высокоэффективный коллапс (серная кислота с низким содержанием инертных газов), зафиксированы высоковозбужденные ионные состояния газов с энергиями до 37 эВ (Ar^+), тогда как экспериментальная оценка температуры по взаимной интенсивности линии Ar в подобных условиях не превышала 16 000 K [3].

В многопузырьковой СЛ водных растворов оценки температуры кавитации скромнее, 2500–4000 K [6, 7]. Тем не менее, мы наблюдаем ионные линии Ca в спектрах многопузырьковой СЛ водного раствора CaCl_2 , что позволило нам сделать грубую оценку степени ионизации вещества в наших экспериментальных условиях.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Детальное описание методики и экспериментальной установки для измерения спектров СЛ приводилось многократно [8]. УЗ-колебания возбуждались в термостатируемой стальной ячейке проточного типа [9] генератором Sonics VC750, частота 20 кГц, выделяемую мощность 18 Вт определяли по показаниям генератора. Температуру раствора поддерживали равной 10 ± 1 °C. Для получения растворов использовали CaCl_2 («Нева-реактив», 95%) 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, область максимальной концентрации энергии 500 нм), фотоприемника ФЭУ-100 (область спектральной чувствительности 200–800 нм), управление измерениями и обработка данных осуществлялись компьютером. Для получения спектра Солнца входная щель монохроматора освещалась рассеянным светом неба. Спектральная коррекция на чувствительность ФЭУ и отражение дифракционной решетки была проведена с использованием калиброванных ламп ОП-33-0,3 и ДДС-30.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В спектре 2 М водного CaCl_2 при определенных условиях, вероятно благоприятных для процессов высвечивания металла (вопрос требует отдельного исследования), мы наблюдали слабые линии иона CaII при 393 и 397 нм (рис. 1). Мы нашли единственное упоминание об ионных линиях Ca

acid aqueous solution have shown the vibrationally hot SO with $T_v=2100$ K that is also rotationally cold with $T_r=290$ K [2]. The same phenomenon has been observed for NH in the case of multibubble SL in an aqueous solution of ammonia [3]. The nonequilibrium signs have also been found for the ionization process in the case of sonoluminescence in the mode of a consistently pulsating single bubble [4, 5]. In [5], under conditions providing a highly efficient collapse (sulfuric acid with a low content of inert gases), the highly excited ionic states of gases with the energies up to 37 eV (Ar^+) have been registered, while the experimental temperature assessment based on the Ar line mutual intensity under such conditions has not exceeded 16 000 K [3].

During the multi-bubble SL of aqueous solutions, the estimated cavitation temperatures are lower being at the level of 2500–4000 K [6, 7]. Nevertheless, we observe the Ca ionic lines in the multibubble SL spectra of CaCl_2 aqueous solution that has allowed us to make a rough estimate of the substance ionization degree under our experimental conditions.

EXPERIMENT

The detailed description of the experimental method and setup for measuring SL spectra has been provided multiple times [8]. Ultrasonic oscillations were excited in a temperature-controlled steel flow-type cell [9] using a Sonics VC750 generator with the frequency of 20 kHz. The released power at the level of 18 W was determined based on the generator parameters. The solution temperature was maintained at 10 ± 1 °C. The solutions were prepared using CaCl_2 (Neva-reaktiv, 95%) and distilled water. The solution was saturated with argon for 2 hours before and throughout the experiment. The spectra were recorded using an MDR-23 monochromator (grating: 1200 lines/mm, the highest energy concentration area: 500 nm), FEU-100 photodetector (color sensitivity area: 200–800 nm). The measurement control and data processing were performed by a computer. To obtain the solar spectrum, the entrance slit of the monochromator was illuminated by the scattered sky light. Spectral correction for the PMT sensitivity and reflection of the diffraction grating was performed using the calibrated lamps OP-33-0.3 and DDS-30.

RESULTS

In the spectrum of 2 M CaCl_2 aqueous solution, under certain conditions, probably favorable for

в спектре многопузырькой СЛ водного раствора CaCl_2 в классической работе [10], но на высокой частоте УЗ (500 кГц). Авторы не наблюдали этих линий при частоте УЗ 16 кГц, что связали с их низкой яркостью при СЛ и близостью к максимуму континуума СЛ. Мы также фиксировали эти линии только при концентрациях ~ 2 М (концентрация насыщения ~ 5 М). На рис. 1 показаны фрагмент спектра СЛ 2 М CaCl_2 раствора, измеренный с разрешением 0,6 нм, и спектр излучения Солнца (неба), измеренный с разрешением 0,3 нм на том же спектрометре. Спектр СЛ на рис. 1 нормирован на длину волны 423 нм. Спектр Солнца для наглядности модифицирован по формуле $J = \log(J_0/2) + 1,5$, где J , J_0 – расчетная и измеренная интенсивность соответственно. В спектре

Солнца наблюдаются яркие линии CaII и слабая линия Ca I. Редуцированная ширина (яркость) линий в спектре Солнца, согласно [11], составляет для CaI при 422,7 нм 342, CaII при 393,4 нм 4874, CaII при 396,8 нм 3435. Очевидно, условия излучения в случае Солнца существенно отличаются от СЛ: в частности, давление в фотосфере $\sim 0,1$ атм, тогда как в сжимающемся пузыре достигает сотен атм. Линии в спектре СЛ сдвинуты в красную область и уширены относительно солнечных из-за высокой плотности излучающей среды при СЛ. Отметим, что энергия возбуждения ионных линий (3,15 и 3,12 эВ) сравнима с величиной для CaI при 423 нм (2,93 эВ).

Наблюдение ионных линий в спектрах СЛ подтверждает наличие низкотемпературной плазмы в пузырьках. Степень ионизации Ca в пузырьках (долю ионов) X_b можно грубо оценить, сравнивая яркости атомных и ионных линий в спектрах СЛ и Солнца (рис. 1). Мы не нашли точных данных для Ca. В работе [12] отмечено, что Ca в хромосфере Солнца представлен «в основном» (выражение автора) в ионизованной форме. Поскольку мы наблюдаем атомную линию в спектре Солнца, то это, очевидно, не 100% ионизации. Прибавим соображение, что если учесть степень ионизации для водорода в фотосфере Солнца 10^{-4} , а также энер-

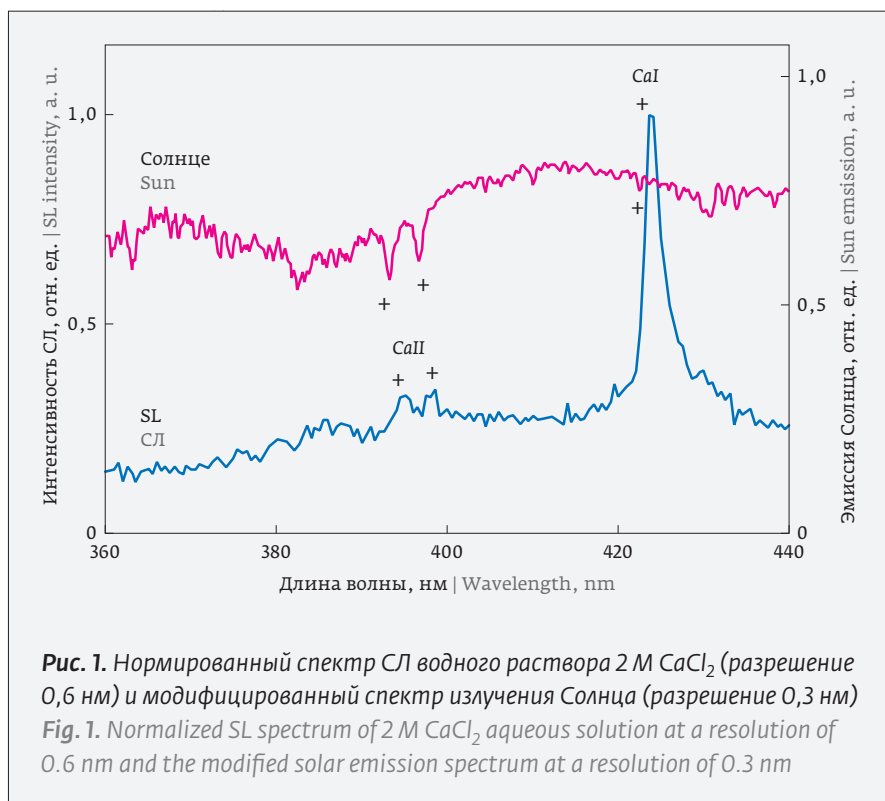


Рис. 1. Нормированный спектр СЛ водного раствора 2 М CaCl_2 (разрешение 0,6 нм) и модифицированный спектр излучения Солнца (разрешение 0,3 нм)
Fig. 1. Normalized SL spectrum of 2 M CaCl_2 aqueous solution at a resolution of 0.6 nm and the modified solar emission spectrum at a resolution of 0.3 nm

the metal luminescence processes (this issue requires a separate study), we have observed weak lines of the CaII ion at 393 and 397 nm (Fig. 1). We have found the only mention of Ca ionic lines in the multibubble SL spectrum of CaCl_2 aqueous solution in the classical paper [10], but at a high ultrasonic frequency (500 kHz). The authors did not observe these lines at an ultrasonic frequency of 16 kHz that was attributed to their low brightness during SL and their proximity to the SL continuum maximum. Moreover, we have recorded these lines only at the concentrations of ~ 2 M (saturation concentration is about ~ 5 M). Figure 1 shows the SL spectrum fragment of a 2 M CaCl_2 solution, measured with a resolution of 0.6 nm, and the solar (sky) emission spectrum measured with a resolution of 0.3 nm using the same spectrometer. The SL spectrum in Fig. 1 is normalized to a wavelength of 423 nm. For illustrative purposes, the solar spectrum is modified according to the formula $J = \log(J_0/2) + 1.5$, where J , J_0 are the calculated and measured intensity, respectively. The solar spectrum demonstrates the intense CaII lines and a weak CaI line. According to [11], the reduced width (brightness) of lines in the solar spectrum is 342 for CaI at 422.7 nm, 4874 for CaII at 393.4

гии ионизации атомов Ca (6,1 эВ) и H (13,6 эВ), то становится очевидно, что степень ионизации Ca в фотосфере X_s будет многократно больше. Положим $X_s = 30\%$. Из соотношения $X_b/X_s = (I_{bi}/I_{bn}) / (I_{si}/I_{sn}) \approx 1/200$, где I – яркость спектральных линий, индексы b, s, i, n относятся к пузырькам, Солнцу, ионам, нейтральным атомам соответственно. Такая грубая оценка дает $X_b = 0,15\%$.

Ранее методом Орнштейна по двум атомным эмиссионным линиям Mn в спектре СЛ водного раствора $MnCl_2$ в аналогичных экспериментальных условиях мы определили температуру эмиссии металла при СЛ как ~ 3300 [6], что согласуется с полученным для водного раствора бензола по молекулярным полосам Свана [7]. Здесь мы использовали заполнение экспериментального спектра 2M водного раствора $CaCl_2$ спектром абсолютно черного тела по формуле Планка (рис. 2). Спектр СЛ был скорректирован на спектральную чувствительность системы ФЭУ – решетка. На рис. 2 жирной линией выделен фрагмент спектра СЛ, использованный для аппроксимации. Фрагмент включает континуум и не содержит спектральных линий. Параметрами подгонки методом минимизации среднеквадратичного отклонения служили температура и масштаб по интенсивности. Наилучшее согласие получено для $T = 6350$ К, что подчеркивает различие механизмов излучения континуума и атомных линий.

Оценки температуры кавитации дают слишком малые значения, чтобы допустить тепловую природу ионизации при СЛ. Приведенные результаты еще раз доказывают термодинамическую неравновесность, экстраординарность процессов в пузырьке.

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

REFERENCES

1. Putterman S. J., Weninger K. R. Sonoluminescence: How bubbles turn sound into light. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 2000; 32: 445–476. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.32.1.445>.
2. Flannigan D. J., Suslick K. S. Temperature nonequilibrium during single-bubble sonoluminescence. *J. Phys. Chem. Lett.* 2012; 3: 2401–2404. <https://doi.org/10.1021/jz301100j>.

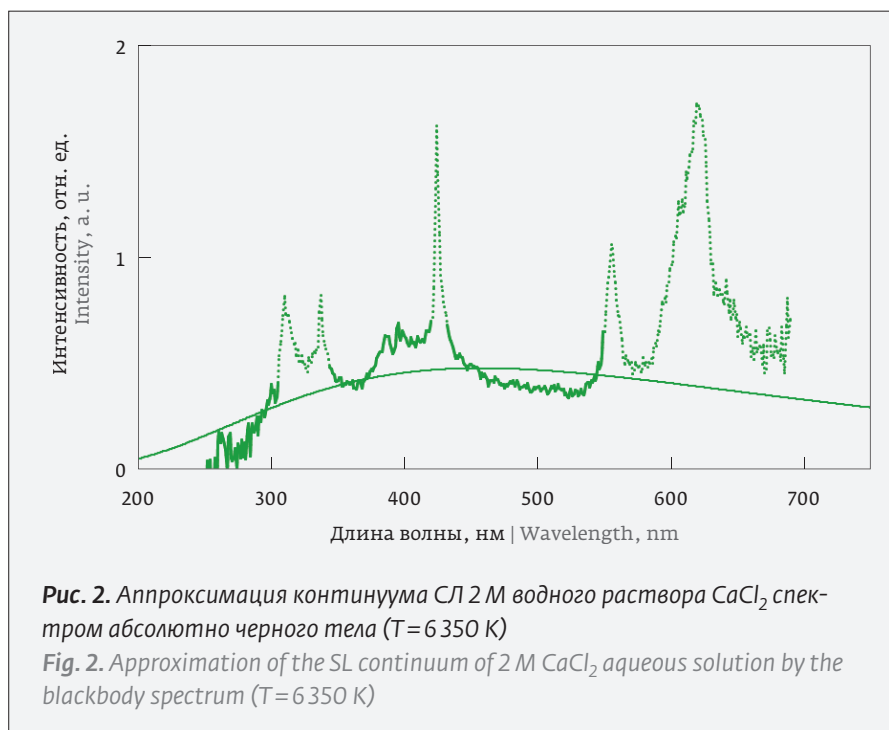


Рис. 2. Аппроксимация континуума СЛ 2 М водного раствора $CaCl_2$ спектром абсолютно черного тела ($T = 6350$ К)

Fig. 2. Approximation of the SL continuum of 2 M $CaCl_2$ aqueous solution by the blackbody spectrum ($T = 6350$ K)

nm, and 3435 for CaII at 396.8 nm. Apparently, the radiation conditions in the case of the Sun are significantly different from SL: in particular, the photosphere pressure is ~ 0.1 atm, while in a compressing bubble it reaches hundreds of atm. The lines in the SL spectrum are redshifted and broadened in relation to the solar ones due to the high density of the radiating medium during SL. It should be noted that the ionic line excitation energy (3.15 and 3.12 eV) is comparable with the value for CaI at 423 nm (2.93 eV).

The observation of ionic lines in the SL spectra confirms availability of a low-temperature plasma in the bubbles. The Ca ionization degree in the bubbles (fraction of ions) X_b can be roughly estimated by comparing the brightness of atomic and ionic lines in the SL and solar spectra (Fig. 1). We have not found exact data for Ca. It was noted in the paper [12] that Ca in the solar chromosphere is represented “mostly” (the author’s expression) in the ionized form. Since we observe an atomic line in the solar spectrum, this is obviously not 100% ionization. We can also assume that if we consider the ionization degree for hydrogen in the solar photosphere as 10^{-4} , as well as the ionization energies of the Ca (6.1 eV) and H (13.6 eV) atoms, then it is obvious that the Ca ionization degree in the X_s photosphere will be many times greater. Let $X_s = 30\%$. The expression $X_b/X_s = (I_{bi}/I_{bn}) / (I_{si}/I_{sn}) \approx 1/200$, where I is the spectral line



3. Pflieger R., Ouerhani T., Belmonteb Th., Nikitenko S. I. Use of NH ($A^3\Pi-X^3\Sigma^-$) sonoluminescence for diagnostics of nonequilibrium plasma produced by multibubble cavitation. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2017; 19: 26272–26279. <https://doi.org/10.1039/c7cp04813k>.
4. Flannigan D. J., Suslick K. S. Inertially confined plasma in an imploding bubble. *Nature Physics* 2010; 6(8): 598–601. <https://doi.org/10.1038/NPHYS1701>.
5. Flannigan D. J., Suslick K. S. Plasma line emission during single-bubble cavitation. *Phys. Rev. Lett.* 2005; 95: 044301-4. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.044301>.
6. Kazachek M. V., Gordeychuk T. V., Pochinok A. S. Estimation of sonoluminescence temperature with the ornstein method. *Photonics Russia*. 2020; 14 (3): 260–263. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.FRos.2020.14.3.260.263>.
Казачек М. В., Гордейчук Т. В., Починок А. С. Определение температуры сонолюминесценции методом Орнштейна. *Фотоника* 2020; 14 (3): 260–263. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.FRos.2020.14.3.260.263>.
7. Didenko Y. T., McNamara III W. B., Suslick K. S. Hot spot conditions during cavitation in water. *Journ. Am. Chem. Soc.* 1999; 121(24): 5817–5818. <https://doi.org/10.1021/ja9844635>.
8. Didenko Y. T., Gordeychuk T. V. Multibubble sonoluminescence spectra of water, which resemble single-bubble sonoluminescence. *Phys. Rev. Lett.* 2000; 84 (24): 5640–5643.
9. Gordeychuk T. V., Kazachek M. V. Bright sonoluminescence of metals from high concentrated aqueous $CaCl_2$ and $NaCl$ solutions. *Photonics Russia*. 2021; 15 (8): 666–673. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.FRos.2021.15.8.666.673>.
Гордейчук Т. В., Казачек М. В. Яркая сонолюминесценция металлов в концентрированных растворах хлоридов Ca и Na. *Фотоника*. 2021; 15 (8): 666–673. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2021.15.8.666.673.
10. Taylor K. J., Jarman P. D. The spectra of sonoluminescence. *Aust. J. Phys.* 1970; 23: 319–334.
11. Moore Ch. E., Minnaert M. G. J., Houtgast J. *The solar spectrum 2935 Å to 8770 Å: second revision of rowland's preliminary table of solar spectrum wavelength*. National Bureau of Standards. Washington. 1966. 388 p. <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadcl3249/ml/4>.
12. Wedemeyer-Bohm S., Carlsson M. Non-equilibrium calcium ionisation in the solar atmosphere. *Astronomy&Astrophysics*. 2011; 528: A1-9. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201016186>.

ВКЛАД АВТОРОВ

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

ОБ АВТОРАХ

Гордейчук Т. В., к. ф.-м. н., ст. н. с., Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. Область интересов: спектроскопия, физическая акустика
ORCID: 0000-0001-8425-4080

Казачек М. В., к. х. н., ст. н. с., Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, Россия. Область интересов: спектроскопия, физическая химия.
ORCID: 0000-0001-9320-1124

brightness, the indices b , s , i , n refer to the bubbles, the Sun, ions, and neutral atoms, respectively, provides a rough estimate leading to $X_b = 0.15\%$.

Previously, we determined the metal emission temperature during SL as ~ 3300 [6] while applying the Ornstein method and using two atomic Mn emission lines in the SL spectrum of $MnCl_2$ aqueous solution under the similar experimental conditions. This result is in line with that obtained for an aqueous solution of benzene for the Swan molecular bands [7]. In this case, we filled the experimental spectrum of a 2M $CaCl_2$ aqueous solution with the black body spectrum according to the Planck formula (Fig. 2). The SL spectrum was adjusted for the color sensitivity of the PMT – grating system. The thick line in Fig. 2 determines the SL spectrum fragment used for the approximation. The fragment includes a continuum and does not contain any spectral lines. The temperature and the intensity scale served as the fitting parameters for the mean-square deviation minimization method. The best congruence was obtained for $T = 6350$ K that emphasized the difference in the emission mechanisms of the continuum and atomic lines.

The cavitation temperature estimates provide very low values to admit the thermal nature of ionization during SL. The presented results once again prove the thermodynamic non-equilibrium and the extraordinary nature of processes in the bubble.

The works were performed as a part of the state assignment, registration number: AAAA-A20-120021990003-3.

CONTRIBUTION OF AUTHORS

T. V. Gordeychuk – setting of the task, discussion of the results, writing of the article; M. V. Kazachek – design and conduction of the experiment, discussion of the results, writing of the article.

AUTHORS

M. V. Kazachek, Cand. of Sc. (in Chemistry), position: senior scientist, Iljichev Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia. Area of interest: spectroscopy, physical chemistry.
ORCID: 0000-0001-9320-1124

T. V. Gordeychuk, Cand. of Sc. (Phys. & Math.), position: senior scientist, Iljichev Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia. Area of interest: spectroscopy, physical acoustics.
ORCID: 0000-0001-8425-4080

VIII Международная конференция

АРКТИКА-2023

Арктика: устойчивое развитие

2–3 марта 2023, г. Москва

Стань участником

Специализированная выставка | Спонсорство

Тел. +7 (495) 662-97-49 (многоканальный)

Электронная почта: arctic@s-kon.ru

www.arctic.s-kon.ru

Официальная поддержка:



Организаторы:



МРПА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



А.Р. Маслов

Технологии производства микродеталей

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2023. – 236 с.
ISBN 978-5-94836-664-7

Цена 1188 руб.

В книге представлены основные элементы технологии микрообработки (Microproduction) деталей машиностроительного производства, медицинской техники и инструментария, радиотехники, электроники и оптических систем.

Дано описание основных видов оборудования с использованием многоцелевых станков с ЧПУ для обработки резанием заготовок микродеталей из основных применяемых конструкционных материалов. Даны сведения о получении микроизделий и малоразмерных деталей литьем и методами аддитивных технологий.

Приведены сведения об инструментарии и методах диагностирования состояния технологических процессов микрообработки. Дано представление о современных способах повышения надежности технологических систем путем нанесения износостойких и антифрикционных покрытий методами вакуумно-плазменных технологий.

Приведены сведения об инструментальных системах и средствах инструментального обеспечения, повышающих эффективность микрообработки. Дан обзор средств измерения микродеталей и способов исследования поверхностных структур в наноразмерном диапазоне.

Пособие предназначено для будущих инженеров, обучающихся по направлению подготовки 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» и будущих магистров науки и технологий, обучающихся по направлению подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование».

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosphera.ru
sales@technosphera.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosphera.ru



Демонстрация квантовой телепортации энергии

Квантовая телепортация информации была продемонстрирована в 1997 году президентом австрийской академии наук Антоном Цайлингером (Нобелевская премия по физике 2022 года). Квантовая телепортация широко используется в квантовых оптических устройствах и стала основополагающей технологией квантовых коммуникаций.

Что касается квантовой телепортации энергии, то теория передачи энергии между спутанными частицами была разработана японским физиком Масахиро Хотта из Университета Тохоку, который предположил, что с помощью телепортации

можно передавать не только информацию, но и энергию (2008 год). Но экспериментально продемонстрировать такую передачу не удавалось до тех пор, пока не был получен результат в новом эксперименте, поставленном Казуки Икеда из Университета Стони Брук. Ему удалось телепортировать энергию на расстояние размером с компьютерный чип.

Икеда использовал теорию Хотты и «обычный» квантовый компьютер компании IBM, доступ к которому можно получить через Интернет. Квантовые компьютеры IBM основаны на сверхпроводящих кубитах. Хотта отметил, что любое измерение

квантовой системы неизбежно вводит в систему энергию. Если система состоит из двух спутанных частиц, энергия, полученная первой, может быть извлечена из второй. При этом энергия не возникла ниоткуда, она просто передана от одной частицы другой.

Икеда планирует поставить эксперимент по квантовой телепортации энергии по 158-километровому каналу между Университетом Стони Брук и Брукхейвенской национальной лабораторией, и все это станет доступно уже в 2030-е годы.

*По материалам Губайловский В. А.
<https://www.techinsider.ru>*



Металлообработка . Сварка – Урал

международная выставка технологий,
оборудования, материалов для машиностроения,
металлообрабатывающей промышленности
и сварочного производства



14–17 марта 2023
Екатеринбург

**крупнейший
специализированный
региональный проект в России**

(342) 264-64-27
egorova@expoperm.ru
www.metal-ekb.expoperm.ru





ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



Стоимость 2200 р. за номер
Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.ru



Стоимость 1450 р. за номер
Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosphere.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1800 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.ru