

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ТОКА В ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ЯЧЕЙКАХ И ТУННЕЛЬНЫХ ДИОДАХ

Ил.С. Голяк^{1,2}
А.Н. Морозов^{1,2}
М.А. Строков²

iliyagol@bmstu.ru
amor@bmstu.ru
makstrokov@yahoo.com

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

² АО «ЦПФ МГТУ им. Н.Э. Баумана», Москва, Российская Федерация

Аннотация

Приведены результаты долговременных измерений вариаций меры Кульбака флуктуаций тока в электролитических ячейках и вариаций относительной дисперсии флуктуаций тока в туннельных диодах. Переход от исследования токовых флуктуаций в электролитических ячейках к измерениям аналогичных флуктуаций в туннельных диодах обоснован существенно меньшей массой носителей заряда в диодах по сравнению с массой ионов в электролитах. Указанное уменьшение массы приводит к повышению чувствительности экспериментальной установки. Установлено, что амплитудный спектр вариаций меры Кульбака имеет максимум, соответствующий периоду 25,25 сут (606 ч). Максимум амплитудного спектра вариаций относительной дисперсии наблюдается при периоде сигнала, равном 25,88 сут (621 ч). Указанные периоды близки к сидерическому периоду вращения Солнца — 25,38 сут (609 ч). Для увеличения чувствительности экспериментальной установки предложено использовать туннельные диоды с большими значениями пикового тока и приложенного к ним прямого постоянного напряжения

Ключевые слова

Долговременные измерения, электролитическая ячейка, туннельный диод, токовые флуктуации, амплитудный спектр

Поступила 23.09.2021

Принята 09.11.2021

© Автор(ы), 2022

Введение. Метод исследования медленных астрофизических и космологических процессов, основанный на проведении долговременных измерений параметров различных излучений, широко используют в фундаментальных исследованиях. Пример наиболее длительных измерений — регистрация вариаций потоков солнечного излучения в радиодиапазоне, непрерывно осуществляемая с 1947 г. [1]. Вследствие длительных измерений ко-

лебаний зеркал лазерного интерферометра экспериментально подтверждено существование гравитационных волн [2, 3]. Проведены работы по регистрации нейтрино астрофизического происхождения [4], поиску темной материи [5], измерению реликтовых гравитационных волн [6] и т. д.

Долговременная регистрация вариаций электродных потенциалов используется для установления нелокальных корреляций крупномасштабных природных диссипативных процессов в глубоководных экспериментах в озере Байкал [7, 8]. Исследуется влияние метеорологических факторов на токовые флуктуации в малых объемах электролита [9–11].

Цель работы — изложение результатов измерения долговременных флуктуаций тока в электролитических ячейках и туннельных диодах.

Результаты долговременных измерений токовых флуктуаций в малом объеме электролита. Результаты измерений флуктуаций тока в двух независимых электролитических ячейках, полученные в течение пяти лет с 20 марта 2011 г. по 19 июня 2016 г., приведены в [11]. Экспериментальные установки представляли собой полосовые усилители с полосой усиления 5...15 кГц, на вход которых подключены электролитические ячейки, разделенные на два сосуда лавсановой пленкой толщиной 3 мкм, в которой выполнены отверстия (тонкие каналы) диаметром 0,2...0,4 мкм [9–11]. К электролитическим ячейкам прикладывалось внешнее напряжение 1...3 В, которое вызывало флуктуации тока, проходящего через электролит, находящийся в тонких каналах пленки. По методике, изложенной в [9–11], проводилась обработка результатов измерений.

Одним из параметров, получаемых при обработке результатов измерений, являлась мера Кульбака [12], которая характеризует отличие экспериментально полученной функции распределения случайного процесса от нормального распределения. Вычисленные по экспериментальным данным значения меры Кульбака H_i подвергались низкочастотной фильтрации с использованием временного окна, описываемого формулой [9–11]:

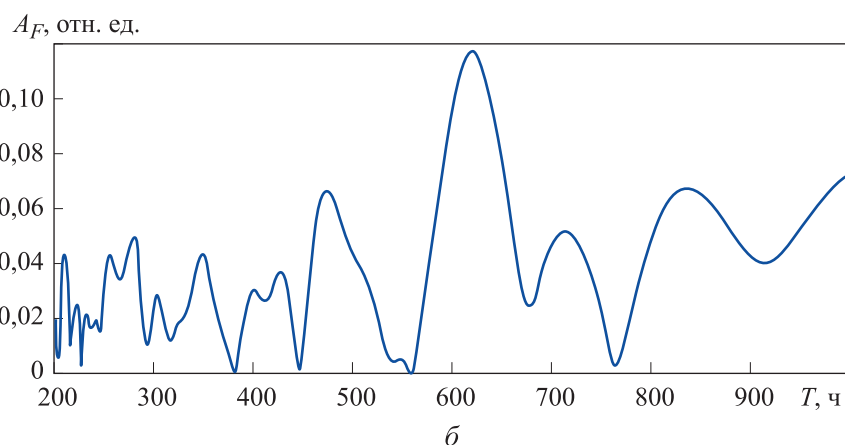
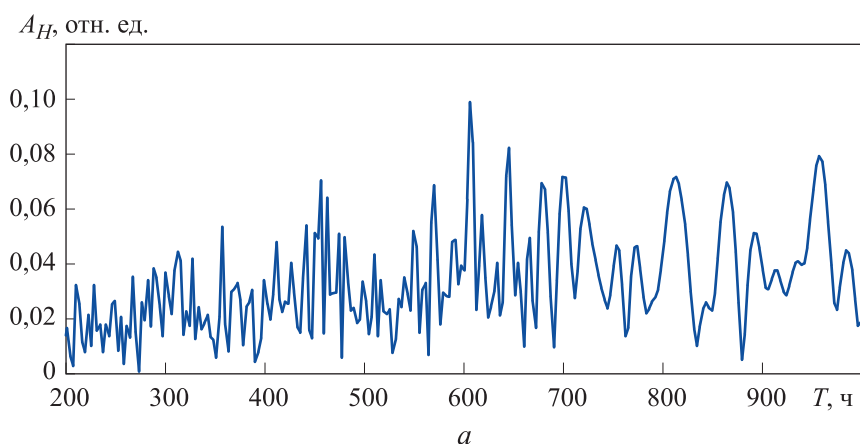
$$\tilde{H}_i = \frac{1}{A_1} \sum_{j=i-24}^{j=i+24} \left(\frac{\sin(\pi(j-i)/24)}{\pi(j-i)/24} H_j \right) - \frac{1}{A_2} \sum_{j=i-600}^{j=i+600} \left(\frac{\sin(\pi(j-i)/600)}{\pi(j-i)/600} H_j \right), \quad (1)$$

где

$$A_1 = \sum_{j=i-24}^{j=i+24} \left(\frac{\sin(\pi j/24)}{\pi j/24} \right); \quad A_2 = \sum_{j=i-600}^{j=i+600} \left(\frac{\sin(\pi j/600)}{\pi j/600} \right).$$

Применение (1) обеспечивало фильтрацию составляющих сигналов с периодами более 600 ч (25 сут) и менее 24 ч (1 сут). Далее результаты измерений усреднялись по двум экспериментальным установкам и нормировались на дисперсию.

Амплитудный спектр вариаций меры Кульбака, рассчитанный после усреднения результатов, которые получены на двух независимых экспериментальных установках в период 2011–2016 гг., приведен на рисунке *a*. При этом целью построения амплитудного спектра являлось нахождение скрытых периодичностей вариаций меры Кульбака, наличие которых может подтверждать нелокальное воздействие на токовые флуктуации природных диссипативных процессов, в частности связанных с периодическими изменениями солнечной активности.



Амплитудные спектры вариаций меры Кульбака (*a*) (A_H — относительная амплитуда вариаций меры Кульбака; T — период вариаций меры Кульбака) и параметра F (*б*) (A_F — относительная амплитуда вариаций параметра F ; T — период вариаций параметра F)

Приведенный график позволяет сделать вывод о наличии небольшого максимума вариаций меры Кульбака с периодом 25,0...25,5 сут (600...612 ч). Максимальное значение амплитуды наблюдалось для периода 25,25 сут (606 ч). Это значение близко к среднему сидерическому периоду вращения Солнца, равному 25,38 сут (609 ч) [13].

Результаты долговременных измерений флуктуаций тока через туннельный диод. При долговременных измерениях использованы четыре независимые экспериментальные установки, в которых применялись туннельные диоды 3И306Г. На эти диоды подавалось прямое постоянное напряжение. Применение туннельных диодов вместо электролитических ячеек связано с установленной в [14] обратной зависимостью отклика от массы носителя заряда, которая для туннельных диодов на четыре порядка меньше, чем масса ионов в электролитах.

Выполнены две серии экспериментов: 1) с 31 марта по 12 сентября 2020 г.; 2) с 16 декабря 2020 г. по 1 сентября 2021 г. В первой серии постоянное напряжение на четырех туннельных диодах было разное (12...28 мВ), а во второй серии постоянное напряжение было одинаковое (49 мВ). Результаты двух серий экспериментов обрабатывались совместно.

В качестве параметра, рассчитанного по результатам измерения токовых флуктуаций туннельных диодов, использовали параметр относительной дисперсии F_i , определяемый как отношение дисперсии токовых флуктуаций туннельных диодов в полосе 5...10 кГц к дисперсии флуктуаций в полосе 5...15 кГц.

Амплитудный спектр параметра F , отфильтрованный по формуле (1) и отнормированный на дисперсию, приведен на рисунке б. При расчете учтено влияние влажности на результаты измерений путем вычитания из результатов расчета параметра F измеренных значений влажности внутри термостабилизированной камеры, в которой размещались экспериментальные установки [15].

Достаточно явно на амплитудном спектре просматривается пик с периодом 25,88 сут (621 ч), имеющий по половинному уровню диапазон 24,4...27,5 сут (586...659 ч).

В период с 16 июня по 12 сентября 2021 г. на двух независимых экспериментальных установках проведены измерения токовых флуктуаций обращенных диодов 3И402Д, включенных в обратной полярности, к которым приложено постоянное напряжение 143 мВ. Полученные результаты не показывают существенного увеличения амплитуды вариаций параметра F с периодом 25 сут.

Заключение. Проведенные долговременные измерения токовых флуктуаций в электролитических ячейках и туннельных диодах показали наличие в спектрах вариаций меры Кульбака и относительной дисперсии гармоник с периодами, близкими к периоду вращения Солнца. Для повышения чувствительности экспериментальных установок необходимо увеличение пикового тока применяемых туннельных диодов и приложенного к ним прямого постоянного напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бруевич Е.А., Бруевич В.В., Якунина Г.В. Циклические вариации потоков солнечного излучения в начале XXI века. *Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика. Астрономия*, 2018, № 2, с. 93–99.
- [2] Abbott B.P., Abbott R., Abbott T.D., et al. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. *Phys. Rev. Lett.*, 2016, vol. 116, iss. 6, art. 061102. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102>
- [3] Пустовойт В.И. О непосредственном обнаружении гравитационных волн. *УФН*, 2016, т. 186, № 10, с. 1133–1152. DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2016.03.037900>
- [4] Plavin A., Kovalev Y.T., Kovalev Y.A., et al. Observational evidence for the origin of high-energy neutrinos in parsec-scale nuclei of radio-bright active galaxies. *ApJ*, 2020, vol. 894, no. 2, art. 101. DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab86bd>
- [5] McNally R.L., Zelevinsky T. Constraining domain wall dark matter with a network of superconducting gravimeters and LIGO. *Eur. Phys. J. D*, 2020, vol. 74, no. 4, art. 61. DOI: <https://doi.org/10.1140/epjd/e2020-100632-0>
- [6] Chou A.S., Gustafson R., Hogan C., et al. MHz gravitational wave constraints with decameter Michelson interferometers. *Phys. Rev. D*, 2017, vol. 95, iss. 6, art. 063002. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.95.063002>
- [7] Коротаев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О. и др. Новые результаты Байкальского эксперимента по прогностическому эффекту макроскопических нелокальных корреляций. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2019, № 4 (85), с. 56–72. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2019-4-56-72>
- [8] Коротаев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О. и др. Макроскопические нелокальные корреляции по данным новых глубоководных измерений. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2021, № 2 (95), с. 52–70. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2021-2-52-70>
- [9] Морозов А.Н. Воздействие метеорологических факторов на длиннопериодные вариации меры Кульбака флуктуаций напряжения на электролитических ячейках. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2015, № 4 (61), с. 57–66. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2015-4-57-66>

- [10] Morozov A.N. Nonlocal influences of natural dissipative processes on the Kullback measure of voltage fluctuations on an electrolytic cell. *NeuroQuantology*, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 477–483. DOI: <https://doi.org/10.14704/nq.2016.14.3.920>
- [11] Коротаев С.М., Морозов А.Н. Нелокальность диссипативных процессов — причинность и время. М., ФИЗМАТЛИТ, 2018.
- [12] Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса. М., URSS, 2021.
- [13] Обридко Н.В., Бадалян О.Г. Солнечная корона как индикатор дифференциального вращения подфотосферных слоев. *Космические исследования*, 2019, т. 57, № 6, с. 423–429. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0023420619060050>
- [14] Морозов А.Н. Броуновское движение как необратимый немарковский процесс. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2019, № 2 (83), с. 94–103. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2019-2-94-103>
- [15] Голяк Ил.С., Морозов А.Н., Строков М.А. Экспериментальные исследования долговременных вариаций влажности в термостабилизированной камере. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2020, № 3 (90), с. 71–77. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2020-3-71-77>

Голяк Илья Семенович — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник НИЦ НУК ФН МГТУ им. Н.Э. Баумана; старший научный сотрудник АО «ЦПФ МГТУ им. Н.Э. Баумана» (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Морозов Андрей Николаевич — член-корр. РАН, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана; генеральный директор АО «ЦПФ МГТУ им. Н.Э. Баумана» (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Строков Максим Анатольевич — инженер АО «ЦПФ МГТУ им. Н.Э. Баумана» (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Голяк Ил.С., Морозов А.Н., Строков М.А. Исследование долговременных флуктуаций тока в электролитических ячейках и туннельных диодах. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2022, № 4 (103), с. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2022-4-50-58>

INVESTIGATING LONG-TERM ELECTRIC CURRENT FLUCTUATIONS IN ELECTROLYTIC CELLS AND TUNNEL DIODES

I.S. Golyak^{1,2}

A.N. Morozov^{1,2}

M.A. Strokov²

iliyagol@bmstu.ru

amor@bmstu.ru

makstrokov@yahoo.com

¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

² Applied Physics Center JSC, Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper presents long-term measurement results concerning the Kullback — Leibler divergence variations for electric current fluctuations in electrolytic cells and relative dispersion variations for electric current fluctuations in tunnel diodes. It is possible to transition from investigating current fluctuations in electrolytic cells to measuring similar fluctuations in tunnel diodes due to the charge carrier mass in diodes being considerably lower than masses of electrolyte ions. This decrease in mass leads to an increase in the sensitivity of the experimental installation. We found that the magnitude spectrum of Kullback — Leibler divergence variations has a maximum corresponding to a period of 25.25 days (606 h). As for the magnitude spectrum of relative dispersion variations, its maximum is observed at the signal period of 25.88 days (621 h). These periods are close to the sidereal period of the Sun, that is, 25.38 days (609 h). We propose to use tunnel diodes with high peak current values and high direct forward voltage applied in order to increase the sensitivity of the experimental installation

Keywords

Long-term measurements, electrolytic cell, tunnel diode, electric current fluctuations, magnitude spectrum

Received 23.09.2021

Accepted 09.11.2021

© Author(s), 2022

REFERENCES

- [1] Bruevich E.A., Bruevich V.V., Yakunina G.V. Cyclic variations in the solar radiation fluxes at the beginning of the 21st century. *Moscow Univ. Phys.*, 2018, vol. 73, no. 2, pp. 216–222. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0027134918020030>
- [2] Abbott B.P., Abbott R., Abbott T.D., et al. Observation of gravitational waves from a binary black hole merger. *Phys. Rev. Lett.*, 2016, vol. 116, iss. 6, art. 061102. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102>
- [3] Pustovoit V.I. On the direct detection of gravitational waves. *Phys.-Usp.*, vol. 59, no. 10, art. 1034. DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2016.03.037900>

- [4] Plavin A., Kovalev Y.T., Kovalev Y.A., et al. Observational evidence for the origin of high-energy neutrinos in parsec-scale nuclei of radio-bright active galaxies. *ApJ*, 2020, vol. 894, no. 2, art. 101. DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab86bd>
- [5] McNally R.L., Zelevinsky T. Constraining domain wall dark matter with a network of superconducting gravimeters and LIGO. *Eur. Phys. J. D*, 2020, vol. 74, no. 4, art. 61. DOI: <https://doi.org/10.1140/epjd/e2020-100632-0>
- [6] Chou A.S., Gustafson R., Hogan C., et al. MHz gravitational wave constraints with decameter Michelson interferometers. *Phys. Rev. D*, 2017, vol. 95, iss. 6, art. 063002. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.95.063002>
- [7] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. New results of the Baikal experiment on forecasting effect of macroscopic nonlocal correlations. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2019, no. 4 (85), pp. 56–72 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2019-4-56-72>
- [8] Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., et al. Macroscopic nonlocal correlations in the data obtained in new deep-water measurements. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2021, no. 2 (95), pp. 52–70 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2021-2-52-70>
- [9] Morozov A.N. The influence of meteorological factors on the long-period variation of the Kullback measure of voltage fluctuations on the electrolytic cells. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2015, no. 4 (61), pp. 57–66 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2015-4-57-66>
- [10] Morozov A.N. Nonlocal influences of natural dissipative processes on the Kullback measure of voltage fluctuations on an electrolytic cell. *NeuroQuantology*, 2016, vol. 14, no. 3, pp. 477–483. DOI: <https://doi.org/10.14704/nq.2016.14.3.920>
- [11] Korotaev S.M., Morozov A.N. *Nelokal'nost' dissipativnykh protsessov — prichinnost' i vremya* [Locality of dissipative process: causality and time]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2018.
- [12] Klimontovich Yu.L. *Turbulentnoe dvizhenie i struktura khaosa* [Turbulent motion and structure of chaos]. Moscow, URSS Publ., 2021.
- [13] Obridko N.V., Badalyan O.G. Solar corona as indicator of differential rotation of subphotospheric layers. *Cosmic Res.*, 2019, vol. 57, no. 6, pp. 407–412. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0010952519060042>
- [14] Morozov A.N. Brownian motion as an irreversible non-Markovian process. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2019, no. 2 (83), pp. 94–103 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2019-2-94-103>
- [15] Golyak I.S., Morozov A.N., Stokov M.A. Experimental investigation of long-term humidity variations in a thermally stabilised chamber. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2020, no. 3 (90), pp. 71–77 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2020-3-71-77>

Golyak I.I.S. — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Senior Research Fellow, Research Department, Scientific and Educational Complex Fundamental Sciences, Bauman Moscow State Technical University; Applied Physics Center JSC, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Morozov A.N. — Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sc. (Phys.-Math.), Professor, Head of Department of Physics, Bauman Moscow State Technical University; General Director, Applied Physics Center JSC, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Strokov M.A. — Engineer, Applied Physics Center JSC, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Golyak I.I.S., Morozov A.N., Strokov M.A. Investigating long-term electric current fluctuations in electrolytic cells and tunnel diodes. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2022, no. 4 (103), pp. 50–58 (in Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2022-4-50-58>