

Секция «Прикладная вероятность и статистика»

КАЗАЧЕК Н. Е.

**СТОХАСТИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС
(ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ). II¹⁾**

Обзор посвящен практически важному и представляющему теоретический интерес явлению — стохастическому резонансу.

Ключевые слова и фразы: броуновское движение, климатические циклы, кольцевой лазер, молекулярный мотор, нейронные сети, стохастический резонанс, стохастический рэтчет, триггер Шмитта, уравнение Ланжевена

Содержание

§ 3. Молекулярные моторы	97
3.1. Точная формула для эффективного коэффициента диффузии броуновских частиц в быстро флуктуирующем периодическом потенциале	99
3.2. О работах А. А. Дубкова и нижегородской школе академика А. А. Андроннова	104
Заключение	105
Список литературы к части II	106

§ 3. Молекулярные моторы

Стохастический транспорт в распределенных системах с асимметричным периодическим потенциалом, находящихся вдали от равновесия, или *рэтчет-эффект* (рис. 11), все еще является актуальным среди явлений, в которых также проявляется конструктивная роль шума.

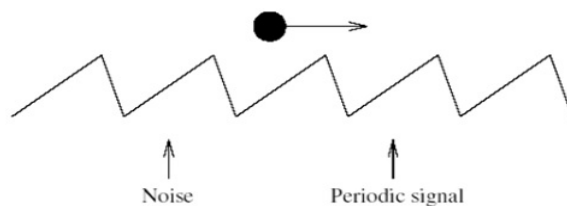


Рис. 11. Стохастический транспорт в рэтчет: шум обеспечивает направленное движение частиц в асимметричном периодическом потенциале, который модулируется гармоническим шумом

© Редакция журнала «ОПиПМ», 2020 г.
DOI https://doi.org/10.52513/08698325_2020_27_2_97

¹⁾ От Редакции. Публикуется по решению Оргбюро ВСППМ в качестве расширенной версии пленарного доклада на осенней открытой сессии XX Всероссийского симпозиума по прикладной и промышленной математике (Сочи, 22 сентября–6 октября 2019 г.). Первая часть доклада, которую составили § 1 «Введение» и § 2 «Теория стохастического резонанса» (включающие в себя разделы 1.1 «История открытия эффекта», 1.2 «Экспериментальные наблюдения стохастического резонанса», 2.1 «Движение броуновской частицы в бистабильном потенциале», 2.2 «Применение теории линейного отклика» и 2.3 «Двухуровневая аппроксимация для нелинейного режима стохастического резонанса» были опубликованы в предыдущем выпуске 1 тома журнала.

Стохастический резонанс предоставляет возможность усиливать за счет шума сигналы с амплитудой, существенно меньшей его интенсивности. В первую очередь, такая возможность интересна в связи с kT -проблемой, суть которой сводится к вопросу: может ли воздействие с характерной энергией, меньшей средней энергии теплового фона (kT), иметь хоть какую-то биологическую значимость? На подобных аргументах, в частности, основан скептицизм по отношению к возможности воздействия на живые ткани слабых электромагнитных волн.

Об активных исследованиях явления стохастического резонанса и его разнообразных приложениях в физике, астрономии, химии, биологии, нейрофизиологии, метеорологии, психологии, экологии, медицине, биофизике, геофизике, океанографии, компьютерных науках и других областях можно судить по количеству изданных монографий [16, 17] и опубликованных обзорных статей [18, 19], [20], [21–24].

Хорошие научные идеи довольно редки, и порой проходит более десятилетия до признания их научным сообществом. История неожиданного открытия стохастического резонанса относится именно к таким примерам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ЧАСТИ II

1. *Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M.* Ratchet and Pawl. — In: *The Feynman Lectures on Physics. V. 1: Mainly Mechanics, Radiation, and Heat.* Reading, MA: Addison-Wesley, 1963, Ch. 46, p. 46-1–46-14.
2. *Reimann P.* Brownian motors: noisy transport far from equilibrium. — *Phys. Rep.*, 2002, v. 361, is. 2–4, p. 57–265.
3. *Magnasco M. O.* Forced thermal ratchets. — *Phys. Rev. Lett.*, 1993, v. 71, is. 10, p. 1477.
4. *Ajdari A., Prost J.* Drift induced by a spatially periodic potential of low symmetry: Pulsed dielectrophoresis. — *C. R. Acad. Sci. Paris, Sér. II*, 1992, v. 315, № 13, p. 1635–1639.
5. *Doering C. R., Horsthemke W., Riordan J.* Nonequilibrium fluctuation-induced transport. — *Phys. Rev. Lett.*, 1994, v. 72, is. 19, p. 2984.
6. *Doering C. R.* Stochastic ratchets. — *Physica A: Statist. Mech. Appl.*, 1998, v. 254, is. 1–2, p. 1–6.
7. *Festa R., d'Agliano E. G.* Diffusion coefficient for a Brownian particle. — *Physica A: Statist. Mech. Appl.*, 1978, v. 90, is. 2, p. 229–244.
8. *Медведев С. Ю., Саичев А. И.* Коэффициент диффузии броуновской частицы в быстро флуктуирующем периодическом потенциале. — *Радиотехника и электроника*, 1979, т. 24, № 10, с. 2058–2061. // *Medvedev S. Yu., Saichev A. I.* The diffusion coefficient of a Brownian particle in a rapidly fluctuating periodic potential. — *Radio Engineering and Electronic Physics*, 1979, v. 24, Jul/Dec, p. 140.
9. *Lindner B., Kostur M., Schimansky-Geier L.* Optimal diffusive transport in a tilted periodic potential. — *Fluct. Noise Lett.*, 2001, v. 1, № 1, p. R25–R39.
10. *Reimann P., Van den Broeck C., Linke H., Hänggi P., Rubi J. M., Pérez-Madrid A.* Giant acceleration of free diffusion by use of tilted periodic potentials. — *Phys. Rev. Lett.*, 2001, v. 87, is. 1, p. 010602.

11. Малахов А. Н. Эффект ускорения диффузии броуновских частиц вдоль короткопериодного в пространстве быстрого случайного поля. — Письма в ЖТФ, 1998, т. 24, в. 21, с. 9–15. // *Malakhov A. N. Acceleration of Brownian particle diffusion parallel to a fast random field with a short spatial period.* — Techn. Phys. Lett., 1998, v. 24, is. 11, p. 833–835.
12. Дубков А. А. Коэффициент диффузии броуновской частицы в быстро флуктуирующем периодическом потенциале. — Письма в ЖТФ, 2003, т. 29, в. 3, с. 18–23. // *Dubkov A. A. The diffusion coefficient of Brownian particles in a rapidly fluctuating periodic potential field.* — Techn. Phys. Lett., 2003, v. 29, is. 2, p. 92–95.
13. Reimann P. Supersymmetric ratchets. — Phys. Rev. Lett., 2001, v. 86, is. 22, p. 4992–4995.
14. Дубков А. А. Статистический анализ индуцированных шумами различной природы эффектов в нелинейных динамических системах: Дисс. на соискание уч. степени доктора физ.-матем. наук. 01.04.03. Нижний Новгород: ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2017. // *Dubkov A. A. Statistical Analysis of Noise-Induced Effects in Nonlinear Dynamical Systems for Noises of Different Kind.* Doctoral Phys.-Math. Theses. 01.04.03. Nizhnii Novgorod: NNSU, 2017.
15. Spagnolo B., Dubkov A. A., Agudov N. V. Escape times in fluctuating metastable potential and acceleration of diffusion in periodic fluctuating potentials. — Physica A: Statist. Mech. Appl., 2004, v. 340, is. 1–3, p. 265–273.
16. Анисченко В. С., Астахов С. М., Вадивасова Т. Е., Стрелкова Г. И. Синхронизация регулярных, хаотических и стохастических колебаний. М.–Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2008, 144 с. // *Anischenko V. S., Astakhov S. M., Vadivasova T. E., Strelkova G. I. Synchronization of Regular Chaotic and Stochastic Oscillations.* Moscow–Izhevsk: Inst. Comput. Res., 2008, 144 pp.
17. McDonnell M. D., Stocks N. G., Pearce Ch. E. M., Abbott D. Stochastic Resonance: From Suprathreshold Stochastic Resonance to Stochastic Signal Quantization. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2008, 446 p.
18. Jung P. Periodically driven stochastic systems. — Phys. Rep., 1993, v. 234, is. 4–5, p. 175–295.
19. Wiesenfeld K., Moss F. Stochastic resonance and the benefits of noise: from ice ages to crayfish and SQUIDS. — Nature, 1995, v. 373, is. 6509, p. 33–36.
20. Kramers H. A. Brownian motion in a field of force and the diffusion model of chemical reactions. — Physica, 1940, v. 7, is. 4, p. 284–304.
21. Dykman M. I., Luchinsky D. G., Mannella R., McClintock P. V. E., Stein N. D., Stocks N. G. Stochastic resonance in perspective. — Il Nuovo Cimento, 1995, v. 17, is. 7–8, p. 661–683.
22. Анисченко В. С., Нейман А. Б., Мосс Ф., Шиманский-Гайер Л. Стохастический резонанс как индуцированный шумом эффект увеличения степени порядка. — Успехи физ. наук, 1999, т. 169, в. 1, с. 7–38. // *Anischenko V. S., Neimann A. B., Moss F., Schimansky-Geier L. Stochastic resonance: noise-enhanced order.* — Phys. Usp., 1999, v. 42, № 1, p. 7–36.
23. Wellens Th., Shatokhin V., Buchleitner A. Stochastic resonance. — Rep. Prog. Phys., 2004, v. 67, № 1, p. 45–105.
24. Ward L. M. Physics of neural synchronisation mediated by stochastic resonance. — Contemp. Phys., 2009, v. 50, is. 5, p. 563–574.

Поступила в редакцию
21.IX.2019

UDC 519.6

DOI https://doi.org/10.52513/08698325_2020_27_2_97

N. E. Kazachek (Niznii Novgorod, Lobachevskii Niznii Novgorod State University). **Stochastic resonance (a journal survey)**.

Abstract. The survey is devoted to stochastic resonance, the practically important phenomenon which is of great theoretical interest in many scientific areas.

Keywords: Brownian motion, climate cycles, ring laser, molecular motor, neural networks, stochastic resonance, stochastic ratchet, Schmitt's trigger, Langevin equation.