

ДИФФУЗИЯ В ЛОКАЛЬНО-НЕРАВНОВЕСНОЙ СРЕДЕ

Морозов А.Н.

Нелинейный мир. 2019. № 4. С. 20-25

DOI 10.18127/j20700970-201904-02

А.Н. Морозов - д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой физики, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

E-mail: amor59@mail.ru

Ключевые слова: [Диффузия](#) [необратимые процессы](#) [локально-неравновесная среда](#) [производство энтропии](#) [фликкер-шум](#).

Постановка задачи. При разработке методов описания процессов переноса в локально-неравновесной среде возникает проблема учета отличия локального состояния от равновесного. Указанное отличие связано с производством энтропии, приводящим к возникновению флуктуаций, имеющих характер фликкер-шума. Основной особенностью фликкер-шума является очень сильная временная корреляция и большая временная память, что его принципиально отличает от белого шума, наблюдаемого при равновесных процессах. Отметим, что оба указанных выше типов флуктуаций имеют фундаментальную природу и наблюдаются во всех процессах, протекающих в физических средах. При этом белый шум наблюдается в равновесной среде при отсутствии необратимых процессов, а фликкер-шум – в локально-неравновесной при протекании необратимых процессов, характеризующихся производством энтропии. Теоретическое объяснение фликкер-шума может быть построено в рамках модели, предполагающей существование флуктуаций кинетических коэффициентов, в частности, коэффициента вязкости при броуновском движении и диффузии, а его математическое описание – с помощью теории немарковских процессов.

Цель. Провести описание диффузии в локально-неравновесной среде в рамках модели неравновесных флуктуаций.

Результаты. Предложенный метод описания диффузии в локально-неравновесной среде позволил определить спектральную плотность флуктуаций концентрации диффундирующих частиц и установить, что их спектр в низкочастотной области имеет характер фликкер-шума. Установлено, что фликкер-шум наблюдается при измерениях флуктуаций концентрации диффундирующих частиц на очень низких частотах и на промежутках времени более суток. Полученные в работе результаты позволяют проводить описание диффузии в сильно неравновесных средах при протекании интенсивных необратимых процессов.

Практическая реализация. Предложенный метод описания может быть также использован для расчета флуктуаций при других процессах переноса, в частности, при теплопроводности и вязкости. Отличительной особенностью полученных результатов является универсальность предложенного метода описания и возможность его применения для случая диффузии в нелинейной среде.

Список литературы:

1. Соболев С.Л. Локально-неравновесные модели процессов переноса // Успехи физических наук. 1997. Т. 167. № 10. С. 1096–1106.

2. Jou D., Casas-Vazquez J., Lebon G. Extended irreversible thermodynamics. 4 Edition. Berlin: Springer. 2010. 483 p.
3. Морозов А.Н., Скрипкин А.В. Броуновское движение в локально-неравновесной среде // Нелинейный мир. 2012. Т. 10. № 1. С. 25 - 29.
4. Морозов А.Н., Скрипкин А.В. Немарковские физические процессы. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2018. 288 с.
5. Морозов А.Н. Фликкер-шум в локально-неравновесной среде // Письма в ЖЭТФ. 2018. Т. 107. Вып. 12. С. 823 - 824.
6. Бочков Г.Н., Кузовлев Ю.Е. Новое в исследованиях $1/f$ -шума // Успехи физических наук. 1983. Т. 141. Вып. 1. С. 151 - 176.
7. Кузовлев Ю.Е. Почему природе нужен $1/f$ -шума // Успехи физических наук. 2015. Т. 185. Вып. 7. С. 773 - 783.
8. Hooge F.N. $1/f$ noise sources // IEEE Transactions Electronic Devices. 1994. V. 41. P. 1926–1935.
9. Коган Ш.М. Низкочастотный токовый шум со спектром типа $1/f$ в твердых телах // Успехи физических наук. 1985. Т. 145. Вып. 3. С. 285–328.
10. Hooge F.N., Gaal J.L. Fluctuations with a $1/f$ spectrum in the conductance of ionic solutions and in the voltage of concentration cells // Philips Research Reports. 1971. V. 26. № 2. P. 77 - 90.
11. Bezrukov S.M., Pustovoit M.A., Sibilev A.I., Drabkin G.M. Large-scale conductance fluctuations in solutions of strong electrolytes // Physica B: Condensed Matter. 1989. V. 159. № 3. P. 388 - 398.
12. Berg R.J. van, Devos A., Degoede J. Electrical noise in solutions of hydrochloric acid in ethanol // Physics Letters A. 1989. V. 139. № 5, 6. P. 249 - 252.
13. Marchesoni F, Taloni A. Subdiffusion and long-time anticorrelations in a stochastic single file // Physical Review Letters. 2006. V. 97. P. 106101.
14. Морозов А.Н. Применение теории немарковских процессов при описании броуновского движения. // ЖЭТФ. 1996. Т. 109. Вып. 4. С. 1304 - 1315.
15. Lisy V., Tothova J., Glod L. On the correlation properties of thermal noise in fluids // International Journal of Thermophysics. 2013. V. 34. Iss. 4. P. 629 - 641.
16. Morozov A.N., Skripkin A.V. Spherical particle Brownian motion in viscous medium as non-Markovian random process // Physics Letters A. 2011. V. 375. № 46. P. 4113 - 4115.
17. Lenzi E.K., Evangelista L.R., Lenzi M.K., Ribeiro H.V., de Oliveira E.C. Solutions for a non-Markovian diffusion equation // Physics Letters A. 2010. V. 374. P. 4193–4198.
18. Mura A., Taqqu M.S., Mainardi F. Non-Markovian diffusion equations and processes: analysis and simulations // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2008. V. 387. № 21. P. 5033 - 5064.

19. Prehl J., Bold F., Hoffmann K.H., Essex C. Symmetric fractional diffusion and entropy production // Entropy. 2016. V. 18. P. 275.
20. Морозов А.Н., Скрипкин А.В. Испарение сферической капли жидкости с изменяющимся радиусом как немарковский случайный процесс // Нелинейный мир. 2015. Т. 13. № 1. С. 65 - 68.
21. Морозов А.Н., Скрипкин А.В. Распространение тепла в пространстве вокруг цилиндрической поверхности как немарковский случайный процесс // Инженерно-физический журнал. 2011. Т. 84. № 6. С. 1121 - 1127.
22. Морозов А.Н. Метод описания немарковских процессов, задаваемых системой линейных интегральных уравнений // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2017. № 5. С. 57 - 66.
23. Глаголев К.В., Морозов А.Н. Физическая термодинамика. Изд. 2-е. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. 272 с.