

СТОХАСТИЧЕСКИЙ РЕЗОНАНС

Будённый В.С., студент; Литвиненко Д.О., студент;
СумГУ, гр. ИТ-81

Любая физическая система содержит источник шума, причина этому – дискретность строения материи. По природе возникновения шумы могут быть акустическими, тепловыми, электрическими, и др. Из повседневной жизни широко известно, что с шумом связано представление как о помехе, приводящей к ухудшению функционирования системы..

Однако, в начале 80-х годов прошлого столетия, было установлено, что при определенных условиях шум может играть конструктивную роль, создавая новые режимы функционирования системы, либо улучшая уже существующие. Проблема конструктивной роли шума в физических и другой природы системах, является актуальной областью исследования в современной науке.

Наиболее простым примером явления из указанной области исследования служит стохастический резонанс. Механизм его возникновения можно пояснить на примере одномерного движения броуновской частицы в потенциале определенной формы при воздействии периодического возмущения. Безразмерное уравнение движения имеет вид:

$$\dot{x} + \gamma x = -U'(x) + A \sin \Omega t + \xi(t),$$

где x – координата частицы (отклик системы); две точки и одна точка – вторая и первая производная по времени, соответственно; γ – коэффициент затухания; $U(x)$ – заданный потенциал; штрих – производная по координате; A и Ω – амплитуда и частота периодического возмущения; $\xi(t)$ – шум с известными характеристиками. Необходимо, чтобы потенциал имел два устойчивых состояния, разделенных барьером конечной высоты. Простейший пример – симметричный двухъямный потенциал вида $U(x) = -0,5x^2 + 0,25x^4$. При таком выборе устойчивые состояния системы находятся в координатах $x = -1$ и $x = 1$, высота потенциального барьера $\Delta U_0 = 0,25$. Системы с подобными потенциалами называются бистабильными. В качестве шума, как правило, принимается белый шум. В его спектре колебаний

интенсивности всех частот одинаковые, как и в оптическом спектре белого света, потому шум получил такое название.

Если на систему действует только периодическая сила, то частица будет либо совершать колебания в одной из ям, если амплитуда силы A меньше высоты потенциального барьера ΔU_0 , либо перескакивать из одной ямы в другую в противном случае. При этом частота, с которой происходят переключения из одного состояния в другое, будет совпадать с частотой возмущения Ω . Если же на систему действует только шум, то частица будет совершать случайные колебания, перескакивая из одной ямы в другую в случайные моменты времени. При этом среднее время между переключениями определяется из соотношения: $\tau \sim \exp(\Delta U_0/D)$, где D – интенсивность шума. Если же на систему одновременно воздействуют и периодическая сила с амплитудой, меньшей потенциального барьера, и случайная сила, частица также будет перескакивать из одной ямы в другую за счет шума, но эти переключения уже будут происходить на частоте периодической силы при оптимальной интенсивности шума. Это и есть стохастический резонанс. Оптимальное значение определяется из условия равенства среднего времени τ между переключениями и половины периода периодического возмущения. Характеристикой стохастического резонанса служит отношение сигнал/шум, равное отношению спектральных плотностей сигнала и шума при частоте сигнала. Оно заметно возрастает с ростом интенсивности шума и достигает максимального значения при оптимальной интенсивности.

Стохастический резонанс был впервые использован для объяснения периодичности в 100 000 лет в наступлении ледниковых периодов на Земле. Бистабильной системой является Земля, устойчивые состояния которой соответствуют ледниковому периоду и нормальному климату. В качестве малых периодических возмущений выступают колебания эксцентриситета орбиты, в качестве шума – случайные изменения климата. Впоследствии стохастический резонанс был обнаружен в электронных системах, кольцевом лазере, магнитных системах и многих др. физических системах, а также в химических, биологических системах. Таким образом, стохастический резонанс фундаментальное явление, характерное для систем различной природы.

Руководитель: Витренко А.Н., *ст. преподаватель*