

Броуновское движение.

Наглядный материал.

Название этой презентации может ввести в заблуждение, поскольку известно, что движение броуновской частицы нестационарно, а следовательно, неэргодично. А именно, усреднение по ансамблю нельзя заменить усреднением по времени. Однако, броуновская частица является распространенной моделью в динамике популяций, эпидемиологии, экономике, лингвистике, то есть таких областях науки, где достаточного количества данных, необходимых для усреднения по ансамблю может просто не быть. Тогда и возникает вопрос, может ли усреднение по времени помочь оценить среднее значение и его зависимость от времени.

В презентации показано движение одной броуновской частицы (слева) и целого ансамбля частиц (справа). Исследуется зависимость от времени вероятности обнаружить частицу в некотором кольце с центром в точке начала движения. Для этого слева есть два секундомера, один из которых измеряет все время движения частицы, а второй – время, в течение которого она находится внутри указанного круга. Отношение этих времен и будет приближенно оценивать вероятность обнаружить частицу в кольце в зависимости от времени. Значение этой вероятности фиксируется на графике синим цветом в виде кусочно-гладкой линии, имеющей изломы в моменты пересечения частицей границы кольца.

В правом окне можно наблюдать попадание (и выход) различных частиц в кольцо. Специальный счетчик отслеживает их число, а в соседнем окне указано полное количество частиц. Отношение этих величин определяет вероятность обнаружить частицу в кольце в зависимости от времени, которая изображается на графике оранжевым цветом. Изломанность линии определяется числом частиц в ансамбле, которое можно регулировать. Можно так же выбирать значения следующих характеризующих процесс величин: температура, масса частиц и коэффициент сопротивления.

Участок траектории Броуновской частицы вычерчивается за ней соответствующим цветом. Траектория состоит из прямолинейных участков случайной длины и поворотов на случайный равномерно распределенный угол. Средняя длина свободных пробегов возрастает с ростом температуры и уменьшением массы и коэффициента сопротивления.

Процесс продолжается до истечения полного времени эксперимента, которое можно задать в левом нижнем углу экрана.

Демонстрация может быть использована для того, чтобы создать общее представление о Броуновском движении у студентов или школьников. Она не годится для детального изучения этой темы. В теоретической справке приводятся только основные сведения. Наиболее полезной она будет для тех, кто уже хорошо знаком с этой моделью и пытается применить ее для описания более сложных процессов.

Расползание на экране разноцветных головастиков создает ощущение праздника и помогает снять стресс. Для азартных людей будет интересно следить за графиками и

гадать, совпадут или нет. Как утверждают авторы, хорошее совпадение наблюдается примерно в двух из трех случаев. Оба графика чаще всего имеют максимум, их убывание на больших временах происходит вполне похожим образом. Так что, можно сделать вывод, что для приближенных и предварительных оценок статистических характеристик усреднение по времени может пригодиться. Хотя важно помнить, нестационарный процесс никогда не может быть эргодическим.

Физические основы.

Броуновское движение (или брауновское движение) - это непрерывное хаотическое движение малых частиц, взвешенных в жидкости или газе (при этом подразумевается, что сила тяжести не влияет на их движение). Это явление впервые наблюдал Роберт Броун (Браун, годы жизни 1773 - 1858), когда рассматривал в микроскоп движение цветочной пыльцы, взвешенной в воде. В наше время для таких наблюдений используют маленькие части краски гуммигут, которая не растворяется в воде. В газе броуновское движение совершают, например, взвешенные в воздухе частицы пыли или дыма. Броуновское движение частицы возникает потому, что импульсы, с которыми молекулы жидкости или газа действуют на эту частицу, не компенсируют друг друга. Молекулы среды (то есть молекулы газа или жидкости) движутся хаотично, поэтому их удары приводят броуновскую частицу в беспорядочное движение: броуновская частица быстро меняет свою скорость по направлению и по величине. Броуновское движение - это тепловое движение, интенсивность которого возрастает с ростом температуры среды и продолжается неограниченно долго без каких-либо видимых изменений. Интенсивность броуновского движения также возрастает с уменьшением размера и массы частиц, а также при уменьшении вязкости среды.

В 1905 году Альбертом Эйнштейном была создана молекулярно-кинетическая теория для количественного описания броуновского движения. В частности, он вывел формулу для коэффициента диффузии сферических броуновских частиц:

$$D = \frac{RT}{6N_A\pi\zeta}$$

где D — коэффициент диффузии, R — универсальная газовая постоянная, T — абсолютная температура, N_A — постоянная Авогадро, a — радиус частиц, ζ — динамическая вязкость.

Особенности реализации:

- 1) В демонстрации использован крайне неудачный размер шрифтов, что осложняет её использование.