

Распределение Больцмана.

Наглядный материал.

Данная демонстрация показывает движение идеального газа в силовом поле в соответствии с распределением Больцмана.

В центре демонстрации мы видим частицы красного цвета, находящиеся в поле с центром в синей точке. Эту точку можно двигать до начала визуализации движения частиц, но тогда мы теряем возможность наблюдать изменения гистограммы плотности или концентрации (в зависимости от того, какой тип гистограммы мы выберем в соответствующем пункте).

На этих графиках мы можем наблюдать кривую теоретического расчета данной величины и гистограмму, полученную в результате текущего эксперимента. Как мы можем наблюдать, с течением времени гистограмма довольно точно аппроксимирует график, что доказывает наши теоретические предположения. Также можно заметить, что скорость сходимости гистограммы к графику зависит от типа силового поля, и силы взаимодействия.

Справа от окна визуализации мы находим панель, дающую нам возможность выбирать тип поля в котором движутся частицы, силу их взаимодействия, размер частиц и тип отображаемой гистограммы.

Всего на выбор дается 3 вида силовых полей: гравитационное поле, потенциальная яма маятника и центрифуга. В первых двух типах полей частицы будут стремиться занять положение как можно ближе к центру силового поля, в то время как при выборе центрифуги, частицы будут напротив стремиться к краям сосуда.

Под пунктами настройки находится несколько кнопок: "Старт", запускающая процесс моделирования, "Сброс", позволяющая обнулить статистику и запустить этот процесс заново, "Пауза", помогающая приостановить процесс, "Пошаговое выполнение", запускающая моделирование в дискретном времени (для каждого шага нужно нажимать эту кнопку), и "Меню", ведущая на главную страницу программы.

Данная демонстрация будет интересна студентам вузов только как иллюстрация законов распределения частиц в силовых полях (применять модель для расчетов не представляется возможным). Для школьников эта демонстрация будет интересна только в развлекательных целях, как кучка прикольно движущихся красных точек, обучающей ценности она для них не представляет.

Физические основы.

Распределение Больцмана - распределение по координатам частиц (атомов, молекул) идеального газа в условиях термодинамического равновесия. Было открыто в 1868 - 1871 гг. австрийским физиком Людвигом Больцманом. Распределение Больцмана является следствием и выводится из общего распределение Гиббса.

Распределение Гиббса для идеального газа выражается формулой

$$w(p, q) = C e^{\frac{-H(p, q)}{kT}},$$

где C – константа нормировки, T – температура, k – постоянная Больцмана, $H(p, q)$ - гамильтониан системы.

Для идеального газа имеем соотношение

$$H(p, q) = \sum \frac{p_i^2}{2m} + \sum U(q_i),$$

где p_i и q_i – канонические координаты, а $U(q_i)$ – потенциальная энергия частицы.

Как мы видим, исходя из свойств экспоненты, распределение Гиббса можно представить в виде произведения двух экспонент. Та, что отвечает за потенциальную энергию системы, и является распределением Больцмана. В силу того, что частицы однородны, мы можем от распределения для N частиц перейти к распределению для одной частицы:

$$w(q) = C e^{\frac{-U(q)}{kT}}$$

Дополнительная теоретическая справка присутствует в самой демонстрации.

Особенности реализации:

- 1) В данной демонстрации никак не отображена зависимость распределения частиц от температуры системы.