

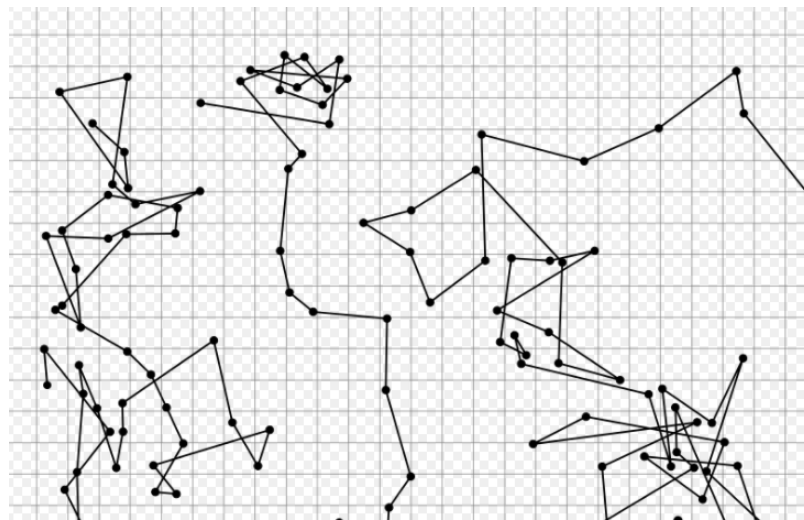
Лекция 6

Среднеквадратичное смещение микрочастиц

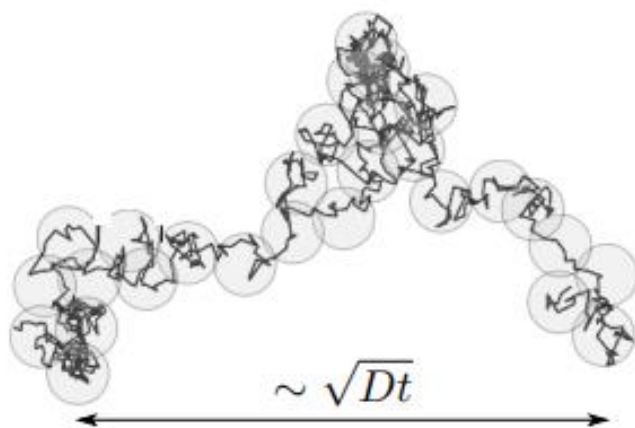
Цель лекции: Дать определение среднеквадратичного смещения частиц и описать характер влияния на него внешних и внутренних условий

Броуновское движение (броуновское движение) — беспорядочное движение микроскопических видимых взвешенных в жидкости или газе частиц твёрдого вещества, вызываемое тепловым движением частиц жидкости или газа. Было открыто в 1827 году [Робертом Броуном](#) (правильнее Брауном)^[1]. Броуновское движение никогда не прекращается. Оно связано с тепловым движением, но не следует смешивать эти понятия. Броуновское движение является следствием и свидетельством существования [теплового движения](#).

Броуновское движение является наглядным экспериментальным подтверждением хаотического теплового движения атомов и молекул, являющегося фундаментальным положением молекулярно-кинетической теории. Если промежуток наблюдения гораздо больше, чем характерное время изменения силы, действующей на частицу со стороны молекул среды, и прочие внешние силы отсутствуют, то *средний квадрат проекции смещения частицы на какую-либо ось пропорционален времени*. Это положение иногда называют законом Эйнштейна.



Воспроизведение рисунка из книги Перрена *Les Atomes*, показывающего движение трёх коллоидальных частиц радиусом 0,53 мкм, наблюдавшееся под микроскопом. Последовательные положения частицы отмечены через каждые 30 секунд, шаг сетки



Измерение длины броуновской траектории

Средний квадрат отклонения (по оси x) от исходного положения составит

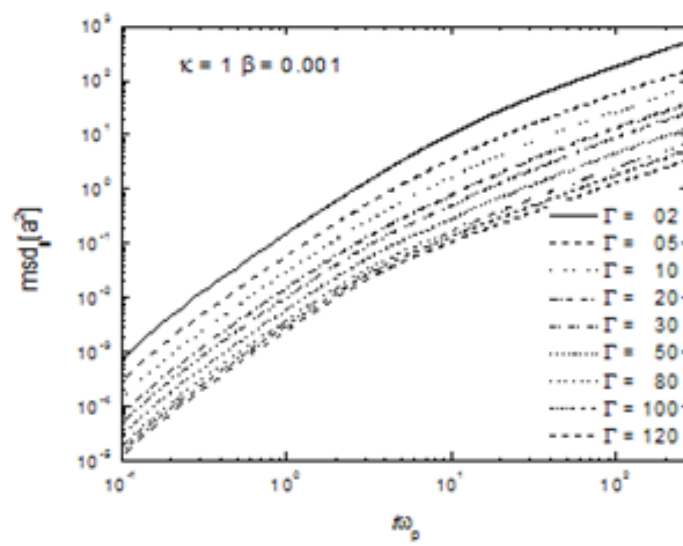
$$\langle \Delta x^2 \rangle$$

Средний квадрат проекции смещения частицы на какую-либо ось пропорционален времени. Это положение иногда называют законом Эйнштейна-Смолуховского:

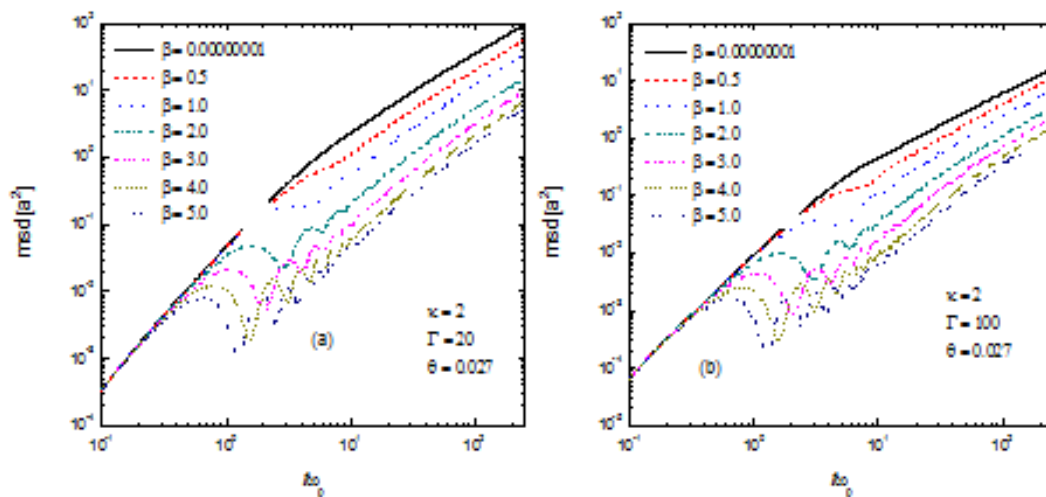
$$\langle \Delta x^2 \rangle = 2Dt,$$

$$\text{MSD}(t) = \langle |\vec{r}_i(t) - \vec{r}_i(0)|^2 \rangle.$$

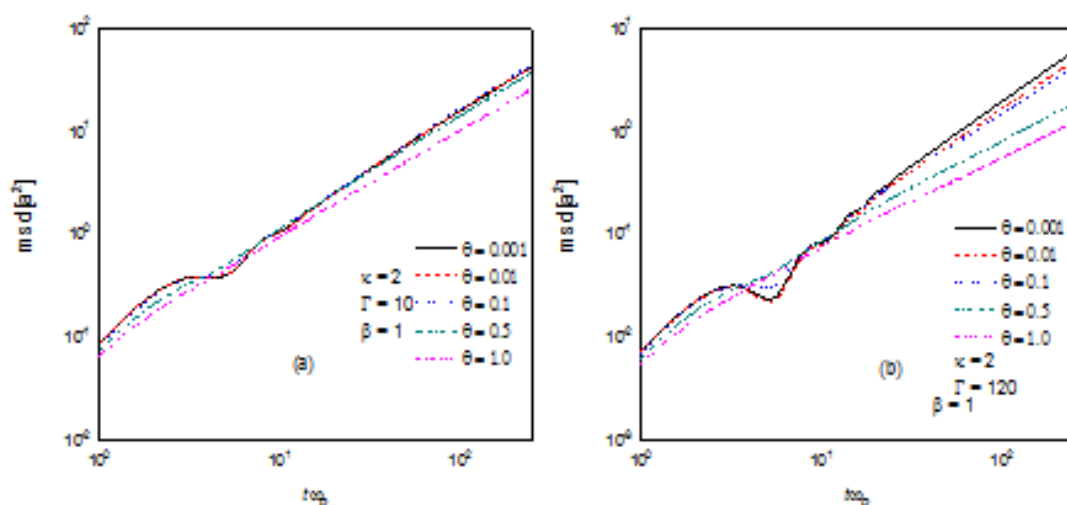
$$D = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\text{MSD}(t)}{2 * (\text{размерность системы}) t}$$



Среднеквадратичное смещение частиц для разных значений параметра связи



- Среднеквадратичное смещение частиц для разных значений параметра магнитного поля



- Влияние диссипации в системе на смещение частиц представлено на этом рисунке. Как можно видеть из рисунка, с увеличением трения в системе, уменьшается среднеквадратичное смещение частиц.

Литература

1. Нефедов А.П., Петров О.Ф., Фортвов В.Е. Кристаллические структуры в плазме с сильным взаимодействием макрочастиц. УФН. 1997. Том 167. № 11. С. 1215-1226.
2. Цытович В.Н. Плазменно-пылевые кристаллы, капли и облака. УФН. 1997. Том 167. № 1. С. 57-99.
3. Thomas H., Morfill G. e.a. Phys. Rev. Letters. 1994. Vol.73. p. 652.
4. Chu J.H., Lin I. Physica. A. 1994. Vol. 205. P. 183.
5. Allen J. et al. Proc. Ann. Plasma Phys. Conf. (Scotland, Perth, 1996).
6. Фортвов В.Е. и др. Препринт НИЦ ТИВ РАН. М. 127412. 1996.
7. Fortov V.E., Nefedov A.P. Phys. Letters. A. 1996. Vol. 218. P. 89.