

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НГУ)

Физический факультет

Кафедра общей физики

Лабораторная работа №1.1

Броуновское движение частиц в жидкости.

Руководитель:

Ассистент

Художитков В. Э.

Старший преподаватель

Кравцова А. Ю.

Работу выполнил:

Высоцкий М. Ю.

гр. 24301

Новосибирск, 2025

1 Теоретическое введение

Цель: Изучить, какими законами можно описывать броуновское движение, и каков физический смысл основных параметров этого движения. Поиск коэффициента перевода изображения из пикселей в мкм, поиск коэффициента диффузии жидкости.

Оборудование: микроскоп ОМ-П, веб-камера вмонтированная в микроскоп, объект-микрометр.

Броуновское движение – это беспорядочное тепловое движение малых частиц, взвешенных в жидкости или газе.

Причинами броуновского движения в общем случае является хаотическое тепловое движение молекул среды, обуславливающее флуктуации импульса, передаваемого частицам в каждый момент времени. В жидкости связи между молекулами среды больше тепловых.

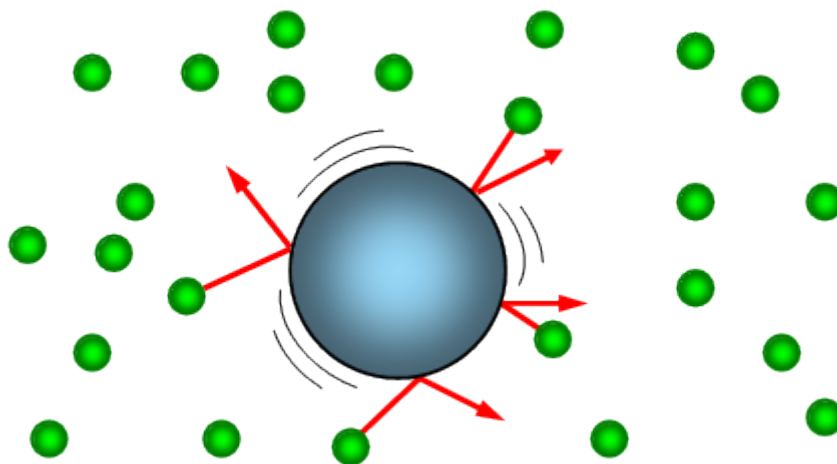


Рис. 1: Броуновское движение.

И так как мы переходим на микроуровень (порядка 1 мкм), мы не можем руководствоваться законами Ньютона. Движение частиц имеет сугубо случайный характер. Когда хаотические тепловые флуктуации импульса, передаваемого частице со стороны жидкости, превысят изменения импульса, определяемые изменением потенциальной энергии шарика в поле тяготения за те же времена, тогда дальнейшим движением частицы будут управлять уже эти тепловые флуктуации среды.

В силу вида траектории броуновской частицы (ломаная линия), мы не можем говорить о классическом определении скорости и ускорения этой самой частицы, и потому к ней неприменимы классические дифференциальные уравнения механики. Мы банально не можем взять производные в местах изгиба - левая и правая производные не будут равны. И потому законы, описывающие движение броуновской частицы, будут носить вероятностный характер.

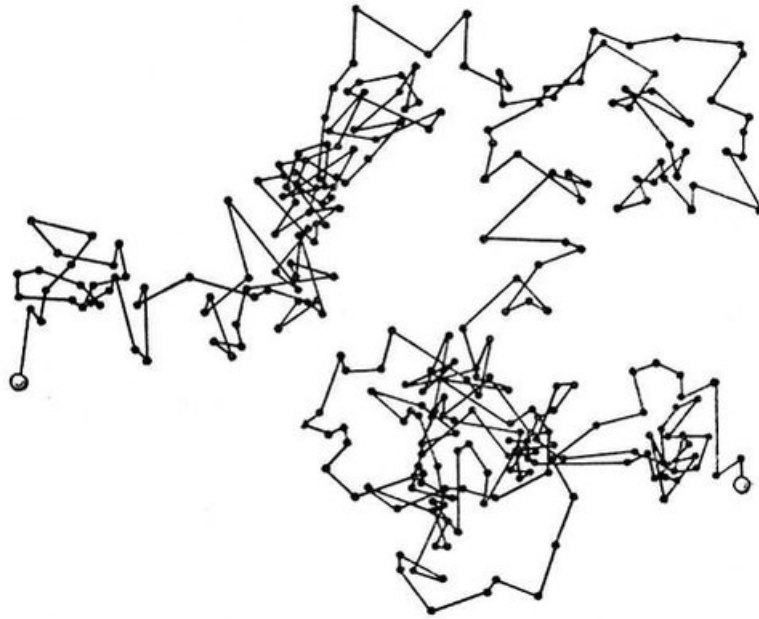


Рис. 2: Броуновское движение.

Поскольку флуктуации жидкости носят случайный характер, то нас должно интересовать не конкретное поведение частицы в каждой точке траектории, а некоторые средние характеристики ее движения.

Статистический ансамбль – это совокупность сколь угодно большого числа одинаковых физических систем («копий» данной системы), находящихся в одинаковых макроскопических состояниях; при этом микроскопические состояния систем могут принимать все возможные значения, совместимые с заданными значениями макроскопических параметров, определяющих её макроскопическое состояние.

Средний квадрат проекции смещения частицы вдоль ОХ:

$$\overline{x^2} = 2Dt = 2Dn\tau$$

Коэффициент диффузии D:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta a}$$

Сам коэффициент D является еще одним макропараметром системы частица-капля, который, также как и другие макропараметры, например, P и T, является статистическим средним микропроцессов, происходящих в данной системе.

1.1 Ход работы

Во-первых, построим движение броуновской частицы в осях ХУ. В силу сложной презентабельности, данные будут приложены отдельным файлом .xlsx, а фотографии в отдельной папке.

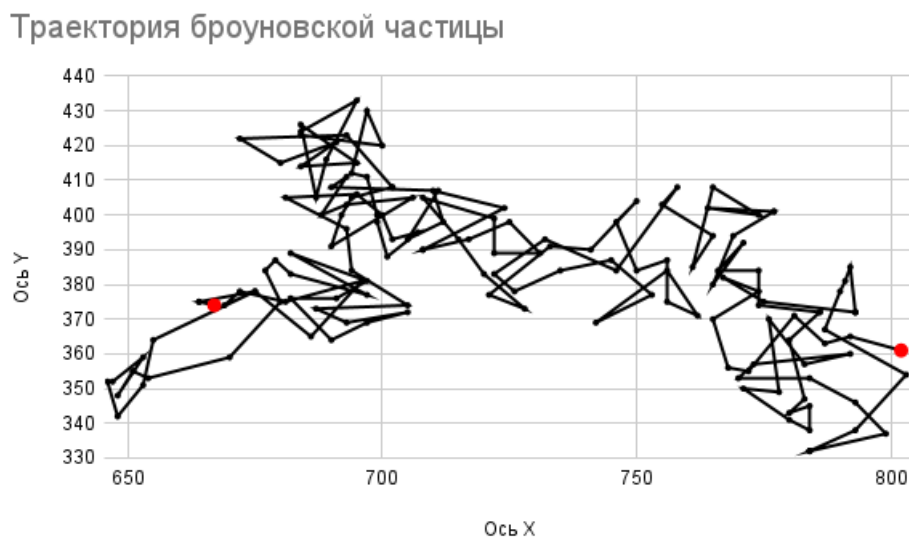


Рис. 3: Движение броуновской частицы. Красным отмечены начальная и конечная точки.

Далее, нужно привести графически зависимость $\overline{x^2}$, $\overline{y^2}$, $\frac{\overline{x^2} + \overline{y^2}}{2}$ от $t = n\tau$.

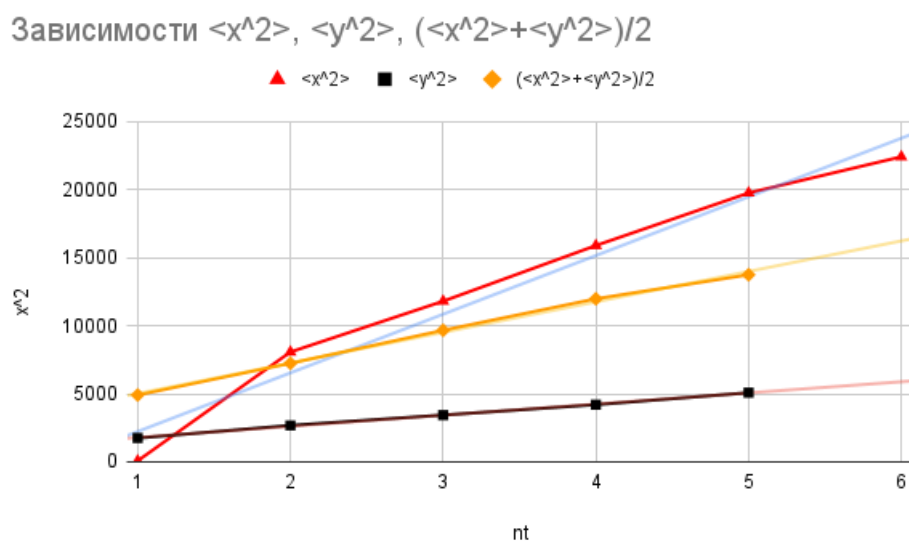


Рис. 4: Зависимость $\overline{x^2}$, $\overline{y^2}$, $\frac{\overline{x^2} + \overline{y^2}}{2}$ от $t = n\tau$.

Далее, нужно перевести пиксели в микрометры.

x	y	Δx
24	148	
121	148	97
216	152	95
321	154	105
415	156	94
516	156	101
616	156	100
713	159	97
815	159	102

Из таблицы получаем, что $\overline{\Delta x} \approx 98,88 \text{ мкм}$. С учётом того, что измерение происходит при помощи мышки на экране (что очень неточно), я сделаю грубое предположение, что 100 пикселей = 10 мкм. То есть 10 пикселей = 1 мкм. Далее я буду использовать именно такой коэффициент перевода в мкм, обозначим его за \aleph .

Диаметр частицы получился около $d \approx 1,8 \text{ мкм}$. Коэффициент диффузии получился $D \approx 171 \frac{\text{мкм}^2}{\text{с}}$

2 Вывод

В данной работе были определены коэффициент перевода изображения в микрометры, диаметр частицы и, соответственно, коэффициент диффузии.

$$\aleph = 1/10$$

$$d = 1.8 \text{ мкм}$$

$$D = 171 \frac{\text{мкм}^2}{\text{с}}$$

Однако значения x^2 , y^2 , D кажутся слишком большими, однако анализ фотографий даёт понять, что частица двигалась очень свободно, на большие расстояния. Потому при больших t значения оказывались соответственно больше.