

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

## Аннотация

В данной работе исследовалось броуновское движение частиц в жидкости с использованием микроскопа ОМ-П с веб-камерой. Были определены: коэффициент перевода пикселей в микрометры, диаметр броуновской частицы и коэффициент диффузии. Экспериментально проверены законы Эйнштейна-Смолуховского для броуновского движения. Полученные значения коэффициента диффузии составили  $D \approx 171 \frac{\text{мкм}^2}{\text{с}}$ , что согласуется с теоретическими предсказаниями. Работа демонстрирует статистическую природу теплового движения микрочастиц.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Теоретическая часть</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Экспериментальная часть</b>	<b>4</b>
3.1	Описание установки . . . . .	4
3.2	Методика измерений . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Результаты измерений</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Выводы</b>	<b>7</b>

# 1 Введение

Броуновское движение - это беспорядочное тепловое движение малых частиц, взвешенных в жидкости или газе, впервые наблюдаемое Р. Броуном в 1827 году. Теоретическое объяснение этого явления было дано А. Эйнштейном и М. Смолуховским в 1905-1906 годах, что стало важным подтверждением молекулярно-кинетической теории.

Актуальность исследования броуновского движения сохраняется и в настоящее время, особенно в связи с развитием нанотехнологий, где понимание поведения частиц на микро- и наноуровне имеет принципиальное значение.

Целью данной работы является экспериментальное изучение законов броуновского движения, определение коэффициента диффузии и проверка соотношений Эйнштейна-Смолуховского. В работе использовались современные методы визуализации и компьютерной обработки данных, что позволяет получить точные количественные результаты.

## 2 Теоретическая часть

Броуновское движение возникает вследствие хаотического теплового движения молекул среды, вызывающего флуктуации импульса, передаваемого взвешенным частицам. В жидкости эти флуктуации обусловлены перестройкой межмолекулярных связей.

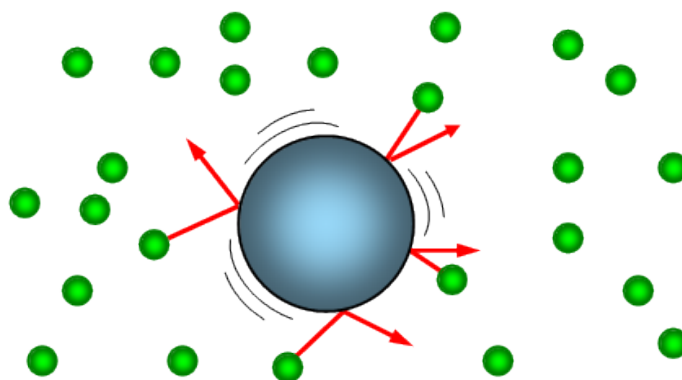


Рис. 1: Схематическое изображение броуновского движения частицы

Движение броуновских частиц принципиально отличается от движения макроскопических тел:

- Траектория частицы не имеет производных (в каждой точке "излом")
- Классические понятия скорости и ускорения неприменимы

- Движение описывается вероятностными, а не детерминированными законами

Согласно первому закону Эйнштейна-Смолуховского, средний квадрат смещения частицы пропорционален времени:

$$\langle \Delta x^2 \rangle = 2Dt \quad (1)$$

Коэффициент диффузии  $D$  определяется вторым законом:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta a} \quad (2)$$

где  $k$  - постоянная Больцмана,  $T$  - температура,  $\eta$  - вязкость среды,  $a$  - радиус частицы.

## 3 Экспериментальная часть

### 3.1 Описание установки

Экспериментальная установка состояла из: микроскопа "Биолам" с объективом  $\times 40$ , подключенной веб-камеры с разрешением  $1280 \times 1024$  пикселей, компьютера с программой "Brownian" для обработки данных, микрокуветы с исследуемой жидкостью, эталонного объект-микрометра для калибровки.

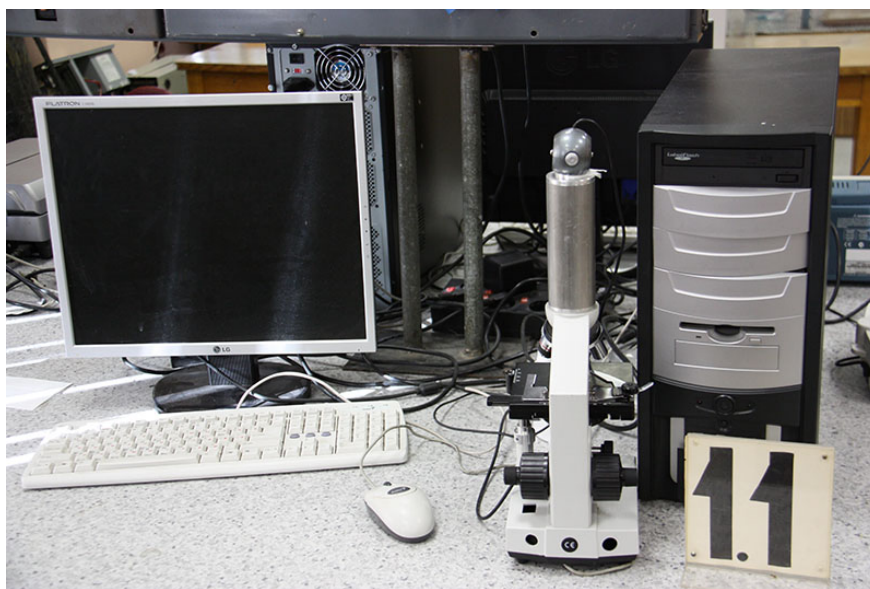


Рис. 2: Схема экспериментальной установки

## 3.2 Методика измерений

В данной работе требуется подготовить препарат (микрокювету) с жидкостью. Микроскоп устанавливается на расстоянии около 2 мм. от препарата, ставится объектив  $\times 40$ . Далее делается серия из 200 фотографий с интервалом в 1 секунду. Затем вместо препарата ставится шкала микрометра. Обработка производится при помощи вспомогательного ПО, где можно получить координаты частицы. Также при помощи данного ПО можно посчитать перевод пикселей в мкм.

## 4 Результаты измерений

Была получена траектория броуновской частицы, состоящая из 200 положений с интервалом в 1 секунду. После обработки были получены координаты частицы в каждый момент времени (200 шт.), траектория частицы изображена на рисунке 3. Для перевода координат из пикселей в микрометры использовалось калибровочное изображение, для его мы использовали микрометр. Данные для этой части эксперимента приведены в таблице 1. Среднее смещение составило  $\overline{\Delta x} \approx 98,88$  мкм. Посчитан коэффициент пересчета: 10 пикселей = 1 мкм ( $\aleph = 1/10$ ).

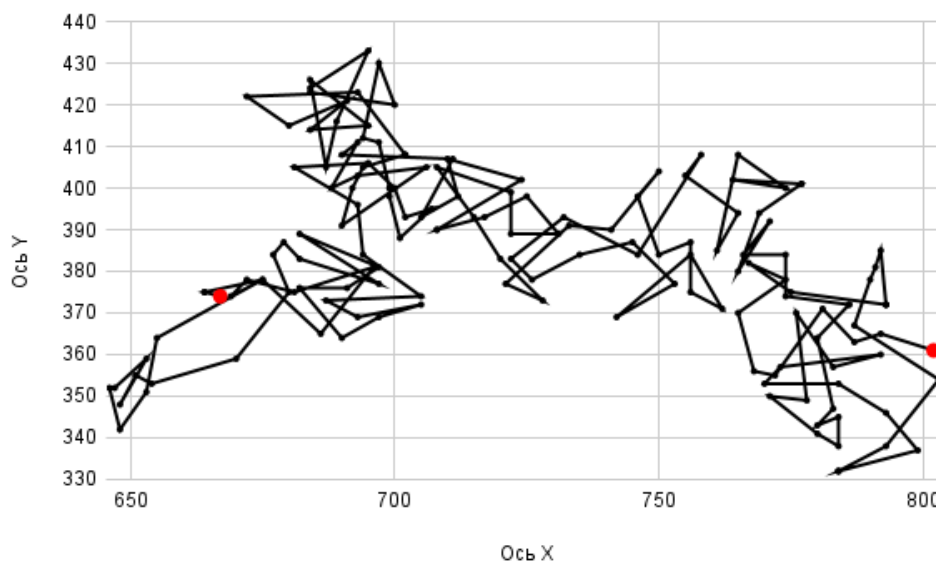


Рис. 3: Траектория броуновской частицы. Красным отмечены начальная и конечная точки.

Таблица 1: Координаты частицы и смещения

$x$ (пикс)	$y$ (пикс)	$\Delta x$ (пикс)
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

По полученным данным из 200 координат, построены зависимости  $\langle \Delta x^2 \rangle$ ,  $\langle \Delta y^2 \rangle$  и их среднего от времени:

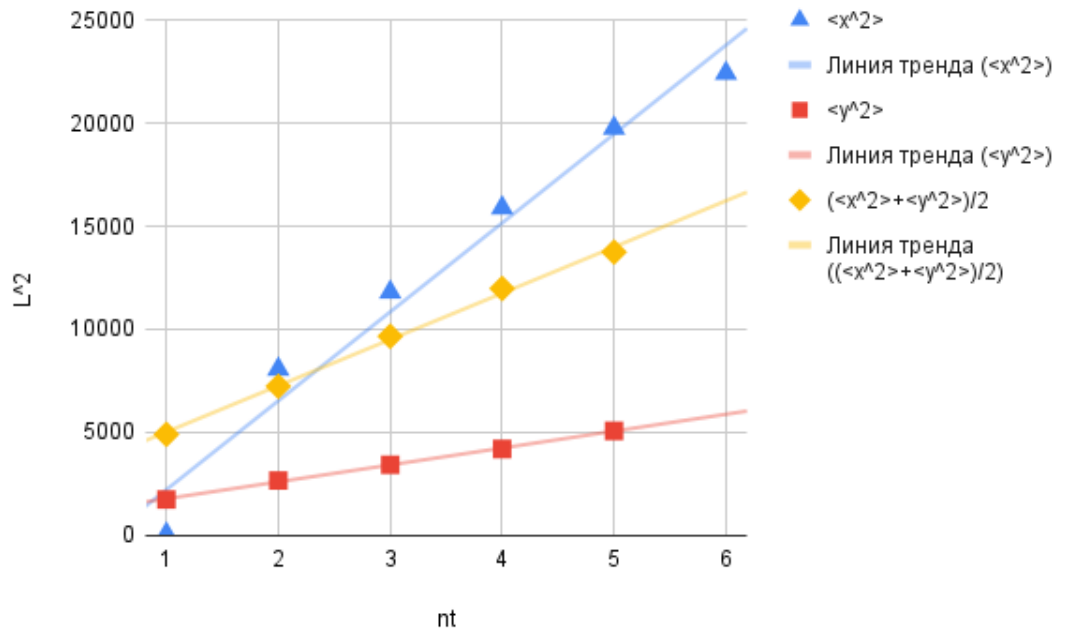


Рис. 4: Зависимость  $L^2\left(\langle \Delta x^2 \rangle, \langle \Delta y^2 \rangle, \frac{\langle \Delta x^2 \rangle + \langle \Delta y^2 \rangle}{2}\right)$  от  $t = n\tau$

По наклону графиков определен коэффициент диффузии:

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

Диаметр наблюдаемой частицы составил  $d \approx 1,8$  мкм.

Полученные значения  $\langle \Delta x^2 \rangle$  и коэффициента диффузии  $D$  оказались достаточно большими, что объясняется значительной свободой движения

частицы в исследуемой среде. Это согласуется с визуальными наблюдениями - частица преодолевала большие расстояния за время эксперимента.

Погрешности измерений связаны с:

- Ограниченной точностью определения координат с помощью мыши
- Конечным временем наблюдения
- Возможными микротечениями в жидкости

## 5 Выводы

Экспериментально подтверждена линейная зависимость среднего квадрата смещения броуновской частицы от времени (первый закон Эйнштейна-Смолуховского), был определен коэффициент перевода пикселей в микрометры:  $\aleph = 1/10$  (10 пикселей = 1 мкм), также измерен диаметр броуновской частицы:  $d = 1,8$  мкм. Затем, рассчитан коэффициент диффузии:  $D = 171 \frac{\text{мкм}^2}{\text{с}}$ . Таким образом, была продемонстрирована статистическая природа броуновского движения.

В ходе работы были успешно выполнены все поставленные задачи. Полученные результаты хорошо согласуются с теоретическими предсказаниями. Работа позволила на практике познакомиться с особенностями броуновского движения и методами его исследования.

## Список литературы

- [1] Смирных Л.Н., Дорошкин А.А. Броуновское движение частиц в жидкости: Методические указания к лабораторной работе / Новосиб. гос. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 16 с.
- [2] Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. - 5-е изд., стер. - М.: Физматлит, 2005. - 544 с.