

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

**Лабораторная работа №2-3**

Определение средней длины свободного пробега молекул газа

Руководитель:  
канд. физ.-мат. наук  
Конов И. А.  
Работу выполнили:  
Левин Н. Н.  
Высоцкий М. Ю.  
гр. 052101

Томск, 2022

# 1 Теоретическое введение

**Цель работы:** определение средней длины свободного пробега молекул газа.

**Длина свободного пробега молекулы** – это среднее расстояние  $\lambda$ , которое пролетает частица за время между двумя последовательными столкновениями. Так как каждая молекула имеет собственное расстояние (т.е. для всех молекул оно различно), под длиной свободного пробега подразумевается именно среднее число  $\langle \lambda \rangle$ .

Взаимодействие молекул в газе, молекулы которого находятся на относительно большом расстоянии друг от друга, носит характер столкновений. От частоты столкновений зависит время протекания процессов, ведущих к установлению состояния термодинамического равновесия: *диффузии, теплопроводности, электропроводности*. Кроме того, от частоты соударений зависит протекание фазовых переходов в таких системах.

Чтобы определить частоту столкновений и длину свободного пробега допустим, что все молекулы *покоятся*, а одна из них движется со скоростью  $v$ . Также примем диаметры всех молекул равными  $d$ , а концентрацию за  $n$  (и так как виртуальная установка представляет собой двумерное пространство, концентрация будет относиться к единице площади, а не объема).

Частицы движутся, причем после каждого столкновения они меняют направление. Потому траектория, допустим, за 1 секунду, будет представлять собой ломаную линию. На Рис.1 изображена примерная траектория. Возле каждого излома линий будет стоять частица. Причем для того, чтобы летящая частица могла испытать с ней соударение, нужно чтобы центр неподвижной частицы попал между параллельными линиями.

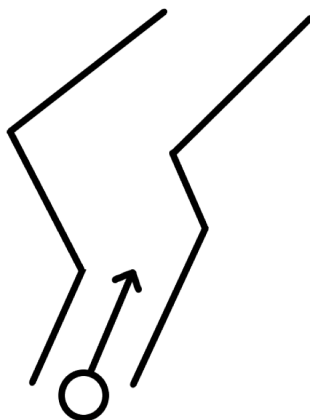


Рис. 1: Примерная траектория полёта

Вычислим число ударов, которые испытывает летящая частица за 1 секунду. За это время она проходит путь, равный скорости. Площадь, заключенная между параллельными линиями, приближенно равна произведению двойного диаметра на длину линии:  $S = 2dv$ . Число частиц  $n$ , находящихся на этой площади будет равно:  $N = n2dv$ . Эта величина равна числу столкновений выбранной молекулы с другими частицами за 1 секунду. Разделив её на путь  $v$ , получим выражение для средней длины свободного пробега:

$$\lambda = \frac{v}{N} = \frac{1}{2dn} \quad (1)$$

Выражение (1) получена в модели, в которой движется только сталкивающаяся молекула. Для реального движения других молекул вводится коэффициент  $\sqrt{2}$  в знаменателе.

## 2 Ход эксперимента

Для определения длины свободного пробега частицы была использована виртуальная установка. В ней нам предоставляется возможность выставить необходимые значения количества частиц, а также их диаметра.

Для начала мы определились с необходимым количеством соударений, а также начальными параметрами системы: количество соударений – 50,  $N = 20$ ,  $d = 15$ .

После этого, посредством нажатия кнопки «Пуск», мы стали дожидаться момента, когда количество соударений станет равным 50. Соответствующее значение, а также среднюю длину свободного пробега, экспериментальная установка выводит на экран.

Далее, соответствующий опыт был проведен для других значений  $N$ . Результаты измерений представлены в таблице ниже:

Соудар	$N$	ср
50	5	1098
50	10	376
50	15	288
50	20	255
50	25	187

Используя полученные данные, мы построили график зависимости средней длины свободного пробега от количества частиц.

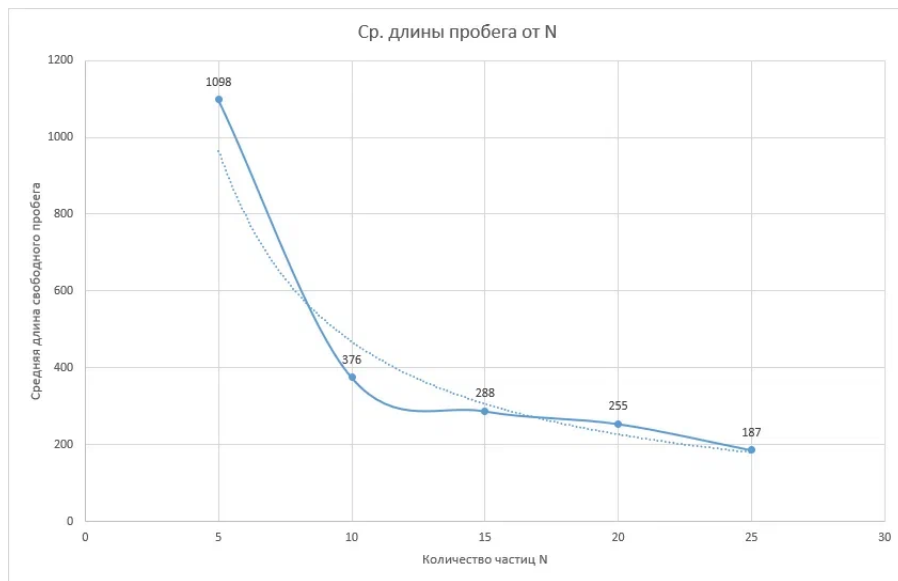


Рис. 2: График зависимости средней длины свободного пробега от количества частиц

Проанализировав данный график, мы можем сказать, что он отдалённо напоминает гиперболу в первой четверти координатной плоскости, о чём также свидетельствует вид формулы (1).

Мы посмотрели на поведение системы при фиксации параметра  $d$ , что и позволило нам отследить зависимость представленную выше. Далее, в ходе эксперимента, мы произвели те же действия, но при фиксированном параметре  $N$ , что позволило определить зависимость средней длины свободного пробега от диаметра частиц. Полученные результаты и соответствующий график представлены ниже:

Соудар	d	ср
50	5	2350
50	10	546
50	15	315
50	20	148

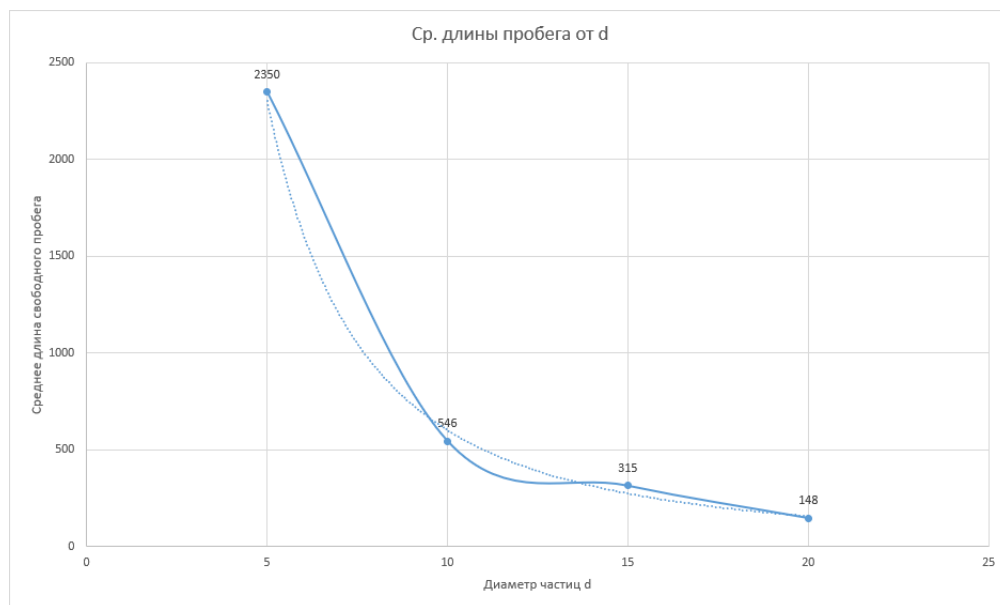


Рис. 3: График зависимости средней длины свободного пробега от диаметра частиц

Данный график, так же как и предыдущий, отдалённо напоминает гиперболу в первой четверти координатной плоскости.

### 3 Вывод

В первую очередь, необходимо сделать уточнение, что данная работа опирается на предположение, что рассматриваемый газ является идеальным. Следовательно, справедливы утверждения, что между молекулами отсутствуют силы взаимодействия; молекулы принимаются за материальные точки; соударения молекул подчиняются закону упругих соударений.

В данной работе средняя длина свободного пробега молекулы определялась автоматически - виртуальной установкой. Вследствие чего определение прямых и косвенных погрешностей не представляется возможным.

При анализе первого и второго графиков, мы подобрали наиболее подходящую под данный тип зависимости линию тренда - степенная функция. Вследствие чего мы можем сказать, что средняя длина свободного пробега частицы, что в первом, что во втором случаях, представляет собой степенную зависимость - это наблюдается как алгебраически в рабочей формуле (1), так и графически.

Также следует заметить, что при зависимости средней длины свободного пробега частицы от диаметра молекул (второй график), первая величина убывает быстрее с ростом  $d$ , по сравнению с зависимостью от количества молекул.