

Министерство образования и науки РФ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждаю
зав. кафедрой общей и
экспериментальной физики
_____ В. П. Демкин
« ____ » _____ 2015 г.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО
ПРОБЕГА МОЛЕКУЛ ГАЗА**

Методические указания
для выполнения лабораторной работы

Томск – 2015

РАССМОТРЕНО И УТВЕРЖДЕНО методической комиссией физического факультета

Протокол № ____ от « ____ » _____ 2015 г.

Председатель комиссии



В. М. Вымятин

Взаимодействие молекул в газах носит характер сравнительно редких столкновений. От их частоты зависит время протекания процессов переноса: диффузии, теплопроводности, электропроводности, а также фазовых переходов.

В данной компьютерной лабораторной работе студенты изучают столкновения молекул и определяют среднюю длину свободного пробега частиц в 2-мерной модели газа.

Методические указания рассчитаны на студентов физических, технических и химических специальностей.

Составитель: доц. А.М. Толстик

Издание подготовлено в авторской редакции

Отпечатано на участке цифровой печати
Издательского Дома Томского государственного университета

Заказ № 1314 от «30» сентября 2015 г. Тираж 100 экз.

Томский государственный университет, 2015

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА МОЛЕКУЛ ГАЗА

Цель работы: изучение столкновения молекул; определение средней длины свободного пробега частиц в 2-мерной модели газа.

ДЛИНА СВОБОДНОГО ПРОБЕГА

В газах, в которых молекулы находятся на относительно больших расстояниях друг от друга, их взаимодействие носит характер сравнительно редких столкновений. От частоты столкновений зависит время протекания процессов релаксации, ведущих к установлению состояния термодинамического равновесия: диффузии, теплопроводности, электропроводности. Кроме того, от частоты соударений зависит протекание фазовых переходов в таких системах.

Длиной свободного пробега молекулы газа называется расстояние, пролетаемое молекулой от одного столкновения с какой-то другой молекулой до следующего. Эта величина в процессе соударений изменяется случайным образом в больших пределах, поэтому необходимо ввести среднее значение этой физической величины.

В данной компьютерной лабораторной работе рассматривается 2-мерная модельная система, состоящая из твёрдых шаров (точнее говоря, дисков), совершающих хаотическое движение и сталкивающихся друг с другом по законам упругого удара, причём при каждом таком соударении любой пары шаров выполняются законы сохранения механической энергии и импульса. В результате столкновений система приходит в состояние, подобное состоянию термодинамического равновесия в реальных системах, в том числе распределение молекул по скоростям становится максвелловским.

Для определения частоты столкновений и средней длины свободного пробега примем модель, в которой все частицы покоятся, а одна из них движется со средней тепловой скоростью v , которая остаётся постоянной в процессе движения. Пусть все частицы имеют одинаковый диаметр d . Пусть концентрация частиц равна n ,

причём для плоского движения под концентрацией следует понимать число частиц, относящееся к единице площади, а не к единице объёма.

Выбранная частица движется, причём после каждого её столкновения изменяется направление движения частицы (рис.1). За одну секунду частица пройдёт путь, равный её скорости, но траектория этого движения будет не прямая, а ломаная линия. Нарисуем две ломаные линии, параллельные траектории движения частицы, на расстоянии, равном диаметру частицы, от траектории. У каждого излома этих линий будет находиться неподвижная частица, причём для того, чтобы летящая частица могла испытать с ней соударение, нужно, чтобы её центр попал между параллельными линиями.

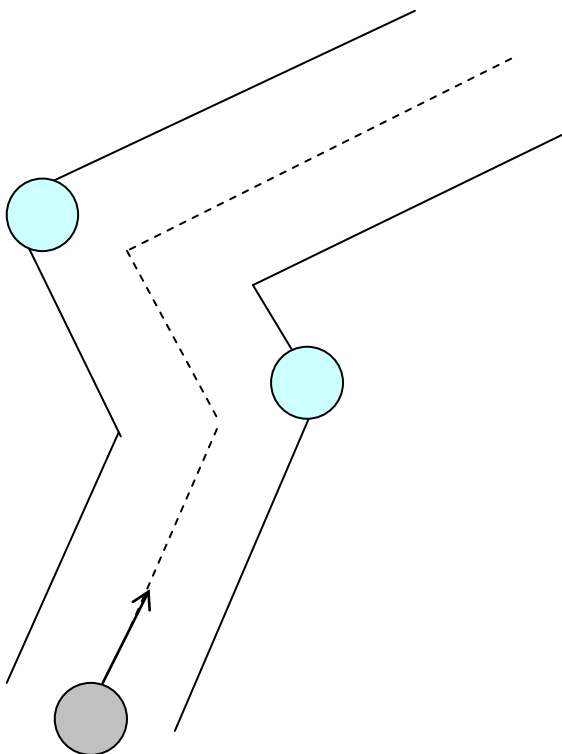


Рис. 1

Вычислим число ударов, испытываемых летящей частицей за одну секунду. Площадь, заключённая между параллельными линиями, приближённо равна произведению двойного диаметра на длину линии v , т.е. $S = 2dv$. Число частиц, находящихся на этой площади, равно $N = 2dvn$. Это величина равна числу столкновений выделенной молекулы с другими частицами за 1 секунду. Разделив путь v , пройденной частицей за одну секунду, на эту величину, получим выражение для средней длины свободного пробега:

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

Эта формула получена в модели, в которой сталкивающаяся частица имеет среднюю тепловую скорость, а остальные частицы неподвижны. Учёт реального движения других частиц практически не изменяет эту формулу, в ней дополнительно появляется лишь несущественный безразмерный множитель $\sqrt{2}$ в знаменателе.

В реальном 3-мерном случае можно воспользоваться аналогичной моделью, в которой одна выделенная частица движется со средней тепловой скоростью, сталкиваясь при своём движении с неподвижными частицами. Вместо пары линий, параллельных линии движения частицы, в 3-мерном случае будет «ломаный» круговой цилиндр, радиус которого равен диаметру частицы, а площадь основания, следовательно, равна $\sigma = \pi d^2$. За одну секунду частица проходит путь, равный средней тепловой скорости v , эта величина равна высоте «ломаного» цилиндра. Таким образом, объём этого «ломаного» цилиндра равен $V = \pi d^2 v$. Число частиц, центры которых попадут в цилиндр, равно $N = nV = nv\sigma$, где n - концентрация, равная здесь числу частиц в единице объёма. Со всеми этими частицами движущаяся частица столкнётся в течение одной секунды, т.е. N равно среднему числу столкновений одной частицы со всеми другими за 1 секунду. Так как за эту секунду частица проходит путь, равный скорости, то средняя длина сво-

бодного пробега молекулы газа равна $\lambda = \frac{v}{N} = \frac{1}{n\sigma}$. При учёте движения других молекул в знаменателе этой формулы появится тот же множитель $\sqrt{2}$, что и в 2-мерной модели.

Физическая величина σ имеет размерность площади и называется сечением столкновения. В реальной молекулярной системе эта величина слабо зависит от температуры, так как диаметр молекулы – величина не слишком определённая. Можно понимать под диаметром молекулы наименьшее расстояние, на которые могут подлетать молекулы друг к другу при столкновениях, а это расстояние зависит от скорости молекул или от их энергии. Молекулы с большими энергиями могут подлетать друг к другу ближе, преодолевая силы межмолекулярного отталкивания. Поэтому эффективный диаметр молекул и сечение столкновений немного уменьшаются с ростом температуры. Однако в модели твёрдых шаров эти величины постоянны и от температуры не зависят.

ХОД РАБОТЫ

Кадр из данной работы изображён на рис. 2. Частица, для которой определяется длина свободного пробега, выделена цветом.

1. Задайте число частиц и их диаметр.

Ввод этих величин осуществляется при помощи бегунков. Рекомендуется взять число частиц, равное 25, а диаметр частиц 350.

2. Нажать "пуск", а затем, выждав некоторое время, "Дл. проб".

После запуска частиц нужно выждать такое время, чтобы установилось состояние термодинамического равновесия. При этом частицы более или менее равномерно распределяются по объёму, а их движение вследствие столкновений станет хаотическим.

3. Пронаблюдайте за флуктуациями длины свободного пробега.

После установления движения частиц наблюдайте за изменением длины свободного пробега. Эта величина высвечивается в окне, в других окнах высвечиваются число соударений выделенной частицы и среднее значение длины пробега за это число соударений.

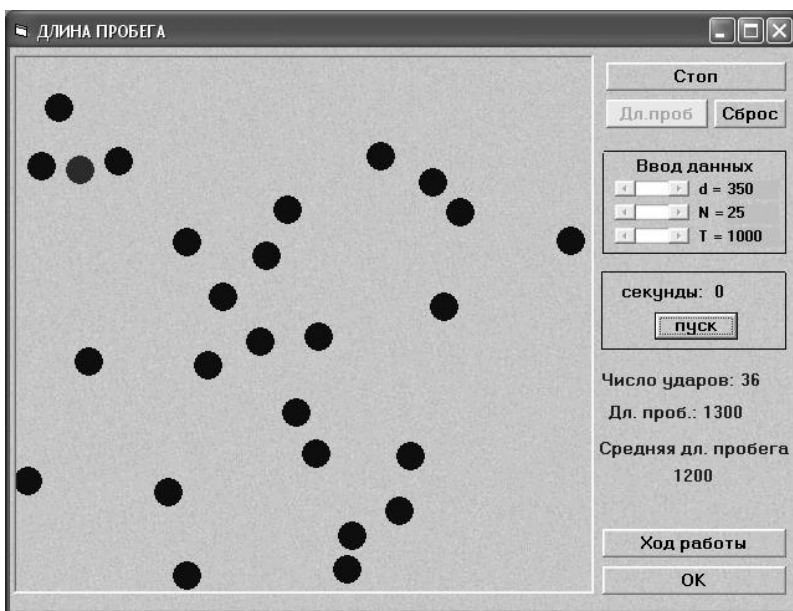


Рис. 2

4. Определить среднюю длину свободного пробега для 50 столкновений.

Запишите среднюю длину свободного пробега за 50 (или 100 – по указанию преподавателя) соударений.

5. Выполнить описанные выше опыты для нескольких значений диаметра частицы.

Проделайте опыты для 6 значений диаметра в интервале от 350 до 100 единиц.

6. Выполнить описанные выше опыты для нескольких значений числа частиц.

Выполните опыты для 5 значений числа частиц в интервале от 25 до 5 (диаметр частиц возьмите равным 250).

7. Построить графики зависимости длины свободного пробега от числа частиц и от их диаметра.

Фактически эти графики отражают зависимость длины свободного пробега от концентрации и сечения соударения.

8. Выполнить эксперименты для другого значения температуры. Определить среднюю длину свободного пробега ещё для двух значений температуры, при этом возьмите какие-нибудь конкретные значения для числа частиц и их диаметра, для которых эксперимент уже выполнялся. Например, пусть число частиц будет равным 20, а диаметр 250.

9. Сделайте выводы из выполненной работы.

В выводах отметьте, как зависит средняя длина свободного пробега от диаметра частиц и от их концентрации, и зависит ли она от температуры.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как выглядит взаимодействие между молекулами газа?
2. Что такое средняя длина свободного пробега?
3. В каком приближении определяется средняя длина свободного пробега?
4. Как зависит средняя длина свободного пробега от давления газа?
5. Как зависит средняя длина свободного пробега от размеров молекул?
6. Как зависит средняя длина свободного пробега от температуры газа?
7. Опишите ход работы.
8. Продумайте вид таблицы для этой работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. М.: Бином. Лаборатория знаний - 2010. - 368 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. I. Механика. Молекулярная физика. С-Пб., М, Краснодар: Лань. - 2006. - 432 с.
3. Толстик А.М. Виртуальная лаборатория по общей физике. Томск: ИДО ТГУ. – 2004.