

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Кафедра общей физики
Лаборатория молекулярной физики

Лабораторная работа № 2
Измерение постоянной
Больцмана

Ярославль
2007

Оглавление

1. Литература	3
2. Вопросы для подготовки к работе	3
3. Краткая теория	3
4. Описание метода и схемы установки	5
5. Выполнение работы	6
6. Контрольные вопросы	7
7. Дополнительная задача	7
8. Содержание отчета	7

Лабораторная работа № 2

Измерение постоянной Больцмана

Цель работы:

- экспериментальное определение постоянной Больцмана,
- сравнение результатов опыта с теоретическим значением.

Приборы и принадлежности: стеклянный сосуд объемом 15 – 20 литров, медицинский шприц на 1 см³, манометр, комнатный термометр, эфир.

1. Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Кн. 3. М., 2004.
2. Гершензон Е.М. и др. Молекулярная физика. М., 2000.

2. Вопросы для подготовки к работе

1. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа.
2. Давление смеси газов. Закон Дальтона. Парциальное давление.
3. Расчетная формула для вычисления постоянной Больцмана в данной работе; измерение величин, входящих в нее.

3. Краткая теория

Давление, оказываемое газом, заключенным в сосуд объемом V при температуре T , определяется из основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеального газа:

$$p = nkT = \frac{N}{V}kT, \quad (3.1)$$

где N — число молекул газа в сосуде,
 V — объем сосуда,
 k — постоянная Больцмана,
 T — абсолютная температура,
 n — число молекул в единице объема или
концентрация молекул.

Если в сосуде объемом V находится смесь газов, химически не реагирующих между собой, уравнение (3.1) для смеси имеет вид:

$$PV = (N_1 + N_2 + \dots)kT,$$

где N_1, N_2, \dots — числа молекул соответствующих компонентов смеси.

Иначе это уравнение можно представить так:

$$P = \frac{N_1}{V}kT + \frac{N_2}{V}kT + \dots$$

Отсюда видно, что каждая группа молекул оказывает давление, не зависящее от того, какое давление оказывают другие группы молекул. Объясняется это тем, что в идеальном газе взаимодействие молекул отсутствует.

Выражения вида

$$\frac{N_1}{V}kT = P_1, \quad \frac{N_2}{V}kT = P_2$$

и т.д. представляют собой давления каждой из компонент смеси, занимающей объем V , то есть P_1, P_2 и др. являются **парциальными** давлениями.

Парциальное давление какой-либо компоненты — это такое давление, которое оказывал бы данный газ, если бы он один занимал весь объем, предоставленный смеси.

Таким образом, давление смеси идеальных газов, химически не взаимодействующих между собой, равно сумме парциальных давлений её компонент:

$$P_{\text{см}} = P_1 + P_2 + \dots$$

Это закон Дальтона, который используется в работе для определения на опыте постоянной Больцмана.

4. Описание метода и схемы установки

Если в сосуд с установившимся давлением ввести некоторый газ, не реагирующий с газом в сосуде, давление возрастет на величину парциального давления этой компоненты. Обозначим его Δp . Из уравнения (3.1) выразим искомую постоянную Больцмана:

$$k = \frac{\Delta p}{nT}.$$

Отсюда, зная Δp , T и n можно рассчитать постоянную Больцмана k . Число молекул в единичном объеме рассчитывается так:

$$n = \frac{M}{mV},$$

где M — масса вводимого газа,
 m — масса его молекулы,
 V — объем сосуда.

Парциальное давление Δp можно определить по показаниям манометра. Оно уравновешивается давлением столба жидкости высотой Δh в манометре, то есть $\Delta p = \rho g \Delta h$, где ρ — плотность жидкости в манометре, Δh — разность уровней жидкости в манометре, g — ускорение свободного падения.

Тогда выражение для постоянной Больцмана принимает вид:

$$k = \frac{\Delta p}{nT} = \rho g m V \frac{\Delta h}{MT}.$$

В качестве вводимой компоненты смеси используются пары эфира. Жидкий эфир легко испаряется, и так как масса его мала, к образующемуся газообразному эфиру в большом сосуде можно применять законы идеального газа.

Массу эфира можно рассчитать по его плотности ρ_3 и объему V_3 :

$$M = \rho_3 V_3.$$

Теперь для постоянной Больцмана получаем:

$$k = \frac{\rho g m V \Delta h}{\rho_3 V_3 T}$$

или

$$k = B \frac{\Delta h}{V_3 T}. \quad (4.2)$$

Здесь B — постоянный в условиях опыта коэффициент:

$$B = \frac{\rho g m V}{\rho_3},$$

так как все величины в этом выражении не меняются в процессе опыта.

В данной установке значение B равно $3,58 \cdot 10^{-26} \text{ кг} \cdot \text{м}^4 \cdot \text{с}^{-2}$.

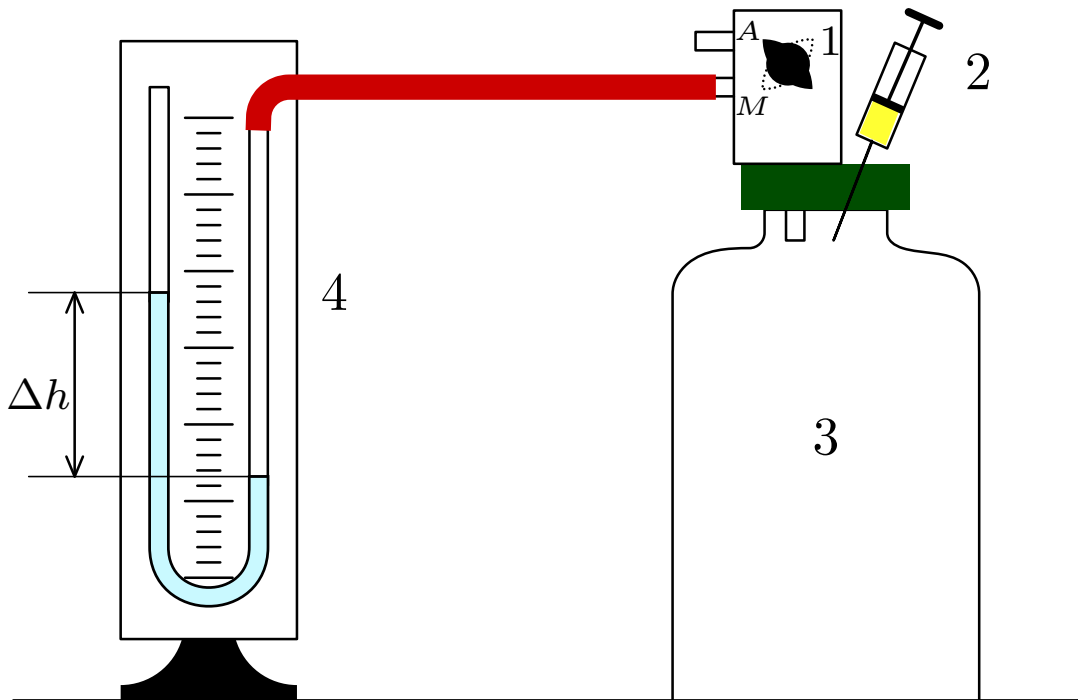


Рис. 4.1.

1 — кран, 2 — шприц, 3 — сосуд объемом V , 4 — манометр.

5. Выполнение работы

1. Выравнивают давление в сосуде до атмосферного; для этого открывают кран 1 на 2 – 3 минуты и затем переводят его положение, при котором сосуд разобщается с атмосферой, но соединен с манометром.
2. Набирают шприцем 1 см^3 эфира и **медленно, по капле** вливают с помощью иглы, вставленной в пробку сосуда, внутрь его. Следят за

повышением давления в сосуде и, дождавшись максимальной разности уровней в коленях манометра, снимают показания Δh .

3. Вынимают шприц (**игла при этом остается в пробке сосуда**). Собщив с атмосферой, проветривают сосуд до установления в нем атмосферного давления.
4. Рассчитывают искомую величину $k_{\text{эксп.}}$ с помощью выражения (4.2).
5. Сравнивают полученное значение постоянной Больцмана $k_{\text{эксп.}}$ с теоретическим, рассчитав абсолютную и относительную погрешность.

6. Контрольные вопросы

1. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа. Закон Дальтона.
2. Физический смысл постоянной Больцмана и универсальной газовой постоянной, связь между ними, единицы их измерения в СИ.
3. Сущность метода измерения и вывод расчетной формулы. Какие величины измерялись на опыте и как?
4. Чем в основном определяется погрешность измерений в данной работе?

7. Дополнительная задача

Три баллона емкостью 3, 7, 5 л наполнены соответственно кислородом (2 ат), азотом (3 ат) и углекислым газом (0,6 ат) при одинаковой температуре. Баллоны соединены между собой, причем образуется смесь той же температуры. Каково давление смеси?

8. Содержание отчета

Название работы, ее цель, приборы и принадлежности. Результат вычисления k . Краткие выводы с объяснением результатов эксперимента.