

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФГОУ ВПО «Оренбургский Государственный Аграрный Университет»

Кафедра «Физики»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к лабораторным работам по физике
(раздел «молекулярная физика и термодинамика»)**

Оренбург, 2006 г.

Методические указания составлены сотрудниками кафедры физики ОГАУ: профессором Комаровой Н.К., доцентом Свиридовой Т.Г., доцентом Степовик Л.В., доцентом Завалий М.В., ст. препод. Ишкаевой С.А., преподавателем Прокудиной И.В., преподавателем Гладышевой Ю.А., преподавателем Ивановым П.А., преподавателем Рязановым А.Б., преподавателем Панкратовой М.В.

Методические указания к лабораторным работам по физике (раздел «Молекулярная физика и термодинамика») составлены для следующих специальностей:

- 020803 «Биоэкология»;
- 220200 «Автоматизированные системы обработки информации»;
- 075500 «Комплексное обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем»;
- 110301 «Механизация с/х»;
- 110304 «Технология обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе»;
- 311400 «Электрификация и автоматизация с/х»;
- 020209 «Микробиология»;
- 330100 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»;
- 260400 «Лесное хозяйство».

Методические указания к лабораторным работам по физике. (Раздел «Молекулярная физика и термодинамика») / Под общ. ред. Гладышевой Ю.А., Завалий М.В. – Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2006. – 46 с.

Рецензент: зав. кафедрой общей физики и методики преподавания физики ОГПУ к.ф.-м.н., доцент Дружинин В.П.

© Издательский центр ОГАУ, 2006.

ВВЕДЕНИЕ

Современный специалист сельского хозяйства встречается в своей практике с большим числом разнообразных механизмов, приборов и методов исследования. В связи с этим в результате изучения физики он должен знать основные физические законы и важнейшие их следствия, физические принципы исследования биологических и сельскохозяйственных объектов и измерения отдельных их характеристик, уметь создавать и анализировать на основе этих законов теоретические модели явлений природы, получать навыки использования в практике важнейших физических измерительных приборов и приемов. Нумерация лабораторных работ (последняя цифра 2), соответствует принятой на кафедре для лабораторных работ по разделу «молекулярная физика», в связи с тем, что этот раздел стоит вторым в курсе общей физике.

Лабораторная работа № 1-2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ C_p/C_v МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА

Цель работы: определить отношение теплоемкостей для воздуха.

Приборы и принадлежности: прибор Клемана-Дезорма, нагнетатель (резиновая груша), манометр.

Теоретическое введение

Удельной теплоемкостью газа называется величина, численно равная количеству теплоты, которое надо сообщить единице массы газа, чтобы увеличить его температуру на единицу: $C = \frac{\partial Q}{m \cdot dT}$.

Для газов эта величина зависит от условий, при которых происходит нагревание. Можно проводить нагревание при постоянном объеме или при постоянном давлении. Тогда получим соответственно удельную теплоемкость газа при постоянном объеме C_v или удельную теплоемкость при постоянном давлении C_p .

Исходя из общих теоретических положений, опираясь на уравнение Менделеева-Клапейрона ($PV = \nu RT$) и первое начало термодинамики ($Q = \Delta U + A$), можно вывести уравнение Майера:

$$C_p = C_v + R,$$

из которого следует, что молярная теплоемкость при постоянном давлении всегда больше молярной теплоемкости при постоянном объеме (3, с.103).

В работе требуется найти отношение $\frac{C_p}{C_v}$, равное коэффициенту Пуассона

- $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$. Существует метод нахождения $\frac{C_p}{C_v}$, предложенный Клеманом и Дезормом, позволяющий сразу определить γ , а не по отдельности: C_p и C_v .

Отношение γ зависит от числа степеней свободы молекул, из которых состоит газ, т.е. $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i}$, где i - число степеней свободы, т.е. γ будет различаться для одноатомного, двух- и трехатомного газов. Соответственно число степеней свободы: для одноатомного $i=3$, двухатомного $i=5$, трехатомного $i=6$. В настоящей работе γ определяется для воздуха, который считается двухатомным газом. Метод определения γ - метод Клемана-Дезорма - основан на использовании уравнении адиабатического процесса $pV^\gamma = \text{const}$. Адиабатическим называют процесс, который происходит без теплообмена с окружающей средой.

Описание установки и метода измерения

Установка состоит из стеклянного баллона. Из баллона выходят две резиновые трубки, оканчивающиеся кранами 1 и 2. Трубка с краном 1 соединяет баллон с атмосферой, другая через кран 2 – с нагнетателем воздуха (резиновой грушей) 3 и манометром 4 (см. рис.1).

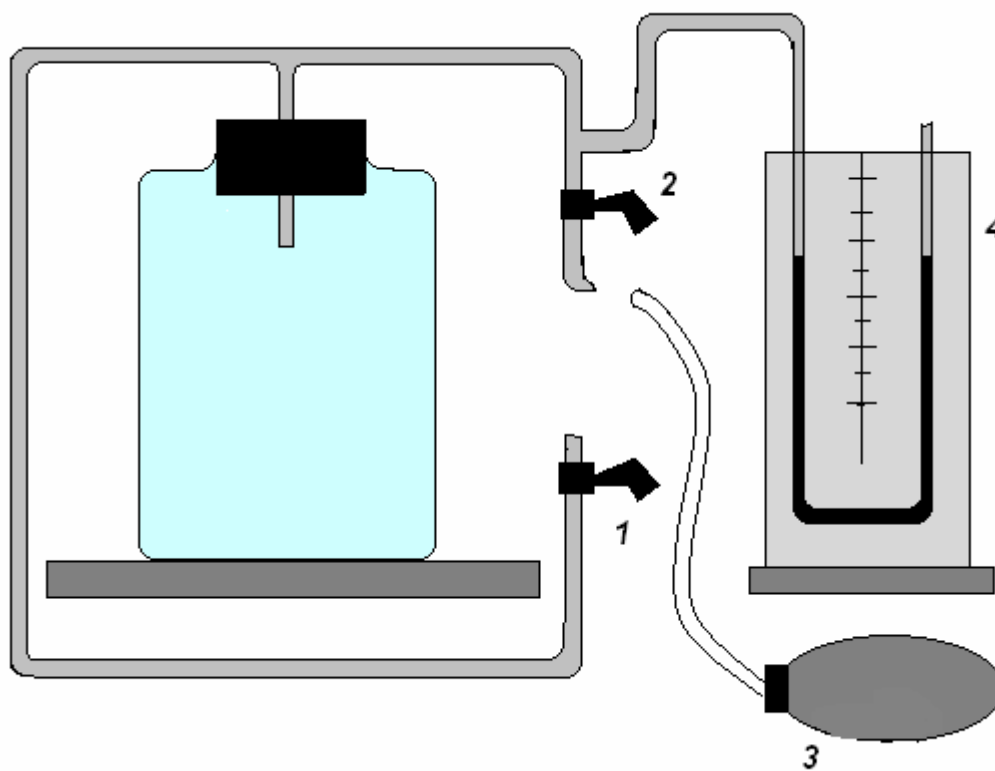


Рис.1 Установка для определения γ
(1 и 2 – краны; 3 – резиновая груша;
4 - манометр).

При нагнетании воздуха в баллон (кран 1 закрыт, кран 2 открыт) давление в нем станет больше атмосферного и жидкость в коленях манометра установится на разных уровнях. Процесс, происходящий при этом с газом можно назвать адиабатическим сжатием, т.к. из-за малого времени нагнетания теплообменом между газом в баллоне и окружающей средой можно пренебречь. При адиабатическом сжатии температура повышается.

После закрытия крана 2 температура газа в баллоне вследствие теплообмена с окружающей средой начинает понижаться. Это наблюдается по уменьшению разности уровней жидкости в манометре.

При выравнивании температур газа в баллоне и окружающей среды понижение давления в баллоне прекращается, и разность уровней жидкости в манометре остается постоянной и равной (h_1).

Состояние газа при этом будет характеризоваться следующими параметрами: давление – $(p_0 + h_1)$ мм.рт.ст., удельный объем – V_1 , температура – T_1 (p_0 – атмосферное давление).

Кран 1 открывают на очень короткое время, газ выходит наружу, его давление становится равным атмосферному p_0 . Можно считать, что процесс

адиабатический, т.к. расширение газа происходит очень быстро, и за этот короткий промежуток времени теплообмен газа с окружающей средой будет настолько мал, что им можно пренебречь. Расширившись, газ перейдет в новое состояние, которое характеризуется следующими параметрами: давление - p_0 , удельный объем - V_2 , температура - T_2 . Температура $T_2 < T_1$, т.к. при адиабатическом расширении газ охлаждается. Работа, затраченная газом на расширение, сопровождается охлаждением газа в баллоне, его температура падает ниже комнатной температуры.

Вследствие теплообмена с окружающей средой, температура газа снова начнет повышаться. Через некоторое время, газ нагревается до температуры воздуха комнаты, причем, давление газа при нагревании возрастает до некоторой величины $p_0 + h_2 > p_0$. Избыток давления газа над атмосферным можно отсчитать по манометру 4, разность уровней в манометре становится постоянной h_2 .

Состояние газа характеризуется тремя параметрами: V - объем, p - давление, T - температура.

Рассмотрим еще раз три состояния воздуха в баллоне.

Первое состояние – состояние сжатого воздуха. Обозначим его объем через V_1 , давление p_1 , T_1 -абсолютная температура воздуха.

Второе состояние – состояние газа сразу же после расширения. Объем газа равен V_2 , давление - $p_2 = p_0$, температура T_2 ниже температуры воздуха комнаты.

Третье состояние – состояние газа после закрытия крана 1, когда его температура сравнялась с температурой воздуха комнаты. Объем газа V_2 , давление - p_3 , температура - T_1 , равная комнатной температуре.

В первом и третьем состояниях газа имеем одну и ту же температуру. Тогда к данной массе газа можно применить закон Бойля – Мариотта и на его основании записать: $(p_0 + h_1)V_1 = (p_0 + h_2)V_2$ (1)

Переход из первого состояния во второе является адиабатическим. К такому переходу применимо уравнение адиабатического процесса, согласно которому произведение давления газа на его объем в степени γ остается величиной постоянной, следовательно: $(p_0 + h_1)V_1^\gamma = p_0 V_2^\gamma$ (2)

$$\text{где } \gamma = \frac{C_p}{C_v}.$$

Возведем почленно уравнение (2) в степень γ и разделим полученное выражение на (1).

Прологарифмируем полученное уравнение и решим его относительно

$$\gamma. \text{ Получим: } \gamma = \frac{\ln(1 + \frac{h_1}{p_0})}{\ln(1 + \frac{h_1}{p_0}) - \ln(1 + \frac{h_2}{p_0})} \quad (3)$$

где h_1 – разность уровней жидкости в манометре при сжатом воздухе;
 h_2 – разность уровней жидкости в манометре после расширения воздуха;
 p_0 – атмосферное давление.

Исходя из того, что $\frac{h_1}{p_0}$ и $\frac{h_2}{p_0}$ являются бесконечно малыми функциями, т.к. $h_1 \ll p_0$ и $h_2 \ll p_0$, то в силу равносильности бесконечно малых ($\ln(1+x) \approx x$ при $x \rightarrow 0$), можем записать: $\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$ (4).

Порядок выполнения работы

1. Закрывать кран 1, открыть кран 2; быстро, но аккуратно, нагнетателем 3 накачать воздух в баллон, так чтобы разность жидкости в манометре составляла **20 – 25 см**; закрыть кран 2; записать, установившуюся на манометре **4**, разность уровней (h_1) в таблицу (состояние 1). Отсчет вести по нижнему краю мениска.
2. Открыть кран 1 и, после выравнивания уровней, закрыть кран 1.
3. Выждав **2 – 3 мин** пронаблюдать самопроизвольное увеличение разности уровней жидкости в манометре до максимального значения (h_2). Записать в таблицу.
4. Провести опыт не менее трех раз.
5. По данным таблицы, вычислить γ , используя формулу (4). Результат записать в таблицу. Сравнить полученное значение γ со справочным.

№ п/п	h_1 , мм.	h_2 , мм.	γ	$\gamma_{\text{сп}}$
1				
2				
3				

6. Сформулировать вывод по данной работе.

Контрольные вопросы:

1. Какими параметрами характеризуется газ данной массы?
2. Напишите уравнение Менделеева-Клапейрона. В чем заключается физический смысл универсальной газовой постоянной?
3. Что называется удельной теплоемкостью? Что называется молярной теплоемкостью вещества?
4. Какие изопроцессы вы знаете?
5. Какой процесс называется адиабатическим? В какой момент протекает этот процесс в данной работе? Формула первого начала термодинамики для адиабатического процесса.
6. Объяснить причину нагревания и охлаждения газа в колбе.
7. Объясните, почему $C_p > C_v$?
8. Как структура молекул сказывается на значении γ .

Лабораторная работа 2-2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ БОЛЬЦМАНА

Цель работы: определить постоянную Больцмана.

Приборы и принадлежности: стеклянный баллон объемом не менее 20 л., манометр, медицинский шприц, эфир.

Теоретическое введение

Постоянная Больцмана является важнейшей физической константой. Существует много методов ее определения. В данной лабораторной работе предлагается определить постоянную Больцмана, пользуясь основным уравнением молекулярно-кинетической теории (МКТ).

Давление газа P , заключенного в некоторый сосуд, пропорционально концентрации молекул n_0 и их средней кинетической энергии E_k :

$$P = \frac{2}{3} n_0 E_k = \frac{2}{3} n_0 \frac{m \bar{U}^2}{2} \quad (1)$$

- основное уравнение МКТ. [Вывод см. 3, с. 86]

В уравнении (1): E_k - средняя кинетическая энергия молекулы, m - масса молекулы, $\bar{U}$ - средняя квадратичная скорость молекул.

Средняя кинетическая энергия молекулы связана с температурой газа следующей формулой:

$$E_k = \frac{3}{2} kT \quad (2),$$

где k – постоянная Больцмана.

С учетом этого уравнение (1) можно записать:

$$P = n_0 kT \quad (3),$$

т.е. давление идеального газа пропорционально абсолютной температуре и концентрации молекул.

Из последней формулы выведем постоянную Больцмана:

$$k = \frac{P}{n_0 T} \quad (4).$$

Таким образом, для определения постоянной Больцмана необходимо знать температуру, давление газа, число молекул в единице объема (концентрацию).

Описание установки и метода измерений

В герметически закрытый сосуд (см. рис.2) объемом V впрыскивается жидкий эфир массой m . Эфир, быстро испаряясь, заполняет весь баллон. При этом в баллоне увеличивается давление, которое равно парциальному давлению эфира P_3 , определяемое по манометру M :

$$P_3 = \rho_B g \Delta h \quad (5).$$

где ρ_B - плотность воды, налитой в манометрическую трубку, Δh - разность уровней в трубке манометра, g - ускорение свободного падения.

Концентрацию молекул n_0 (молекул эфира в баллоне) можно найти, зная массу эфира m_ε , отнесенную к массе одной молекулы эфира m_1 . Впрыскиваемые молекулы, распределяясь по всему объему баллона V , создают концентрацию

$$n_0 = \frac{m_\varepsilon}{m_1 V} = \frac{\rho_\varepsilon V_\varepsilon}{m_1 V} \quad (6).$$

Заменяя значения ρ_ε (5) и n_0 (6) в формуле (4), можно вывести постоянную Больцмана:

$$k = \frac{\rho_B g \Delta h m_1 V}{V_\varepsilon \rho_\varepsilon T} \quad (7).$$

Т.к. следующие величины – постоянные (не изменяющиеся в процессе эксперимента) - ρ_B , g , m_1 , V , ρ_ε , то можно выделить постоянный коэффициент B :

$$B = \frac{\rho_B g m_1 V}{\rho_\varepsilon} \quad (8).$$

Формула (7) примет следующий вид:

$$k = B \frac{\Delta h}{V_\varepsilon T} \quad (9).$$

Порядок выполнения работы:

1. Через иглу, вставленную в пробку баллона, с помощью шприца впрыскивают эфир в баллон. По истечении **1-2 минут** необходимо быстро измерить разность уровней Δh . Температуру T определяют по термометру.
2. Опыт проводят три раза, впрыскивая следующие объемы эфира: **0,2 мл, 0,3 мл, 0,4 мл. (1 кубик шприца – 1 мл.)**
3. Пользуясь формулой (9) рассчитывают значение постоянной Больцмана k .
4. Результаты измерений и вычислений заносят таблицу.

№ опыта	Δh , м	T , К	B , $\text{кг} \cdot \text{м}^4 / \text{с}^2$	V_ε , м^3	V , м^3	k , Дж/К	$k_{\text{ср}}$, Дж/К
1							
2							
3							

5. Среднее значение $k_{\text{ср}}$, полученное опытным путем, сравнивают с теоретическим значением постоянной Больцмана.
6. Оцените погрешность измерения k , поясните причины отличия от теоретического значения.
7. **Сформулируйте вывод по данной работе.**

Контрольные вопросы:

1. Запишите основное уравнение МКТ.
2. Что понимается под кинетической энергией одной молекулы?
3. Какова связь между постоянной Ридберга (универсальной газовой постоянной) **R** и постоянной Больцмана **k**.
4. Сформулируйте закон Дальтона.

Лабораторная работа 3-2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ МЕТАЛЛОВ.

Цель работы: Определить средний коэффициент теплового расширения железа, алюминия и латуни.

Приборы и принадлежности: Прибор для определения линейного расширения, масштабная линейка, нагреватель, индикатор удлинения часового типа, образцы металлов для измерения коэффициента теплового расширения.

Введение.

В твердом теле, имеющем кристаллическую структуру, атомы (ионы, молекулы) расположены с определенной периодичностью. Такому расположению атомов соответствует минимум их потенциальной энергии взаимодействия, так как любая система с течением времени стремится занять минимум потенциальной энергии.

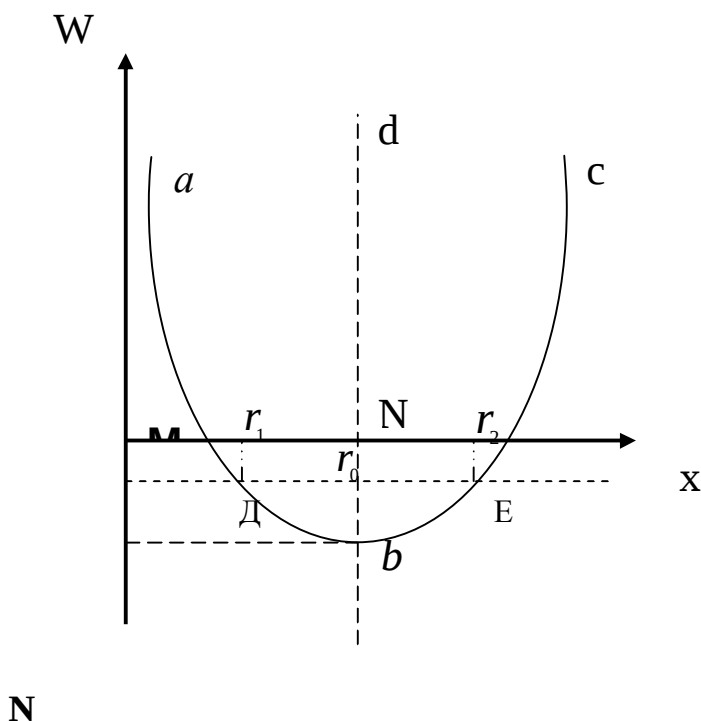


Рис.3 Общий вид функции

На рис. 3 показан общий вид функции потенциальной энергии $W=f(x)$ частицы N относительно частицы M в зависимости от расстояния. Заметим, что частицы заряжены одинаково и имеют некоторую определенную массу, т.е. между ними действуют силы гравитационного притяжения и кулоновского отталкивания. Пусть частица M неподвижна, а частица N колеблется с амплитудами r_1 и r_2 . Кинетическая энергия частицы достигает максимума в момент прохождения положения минимума потенциальной

энергии.

Минимум потенциальной энергии соответствует равновесному состоянию частицы M и N , на рис. 3 соответствует расстоянию r_0 . Также следует обратить внимание, что это равновесное состояние указано без учета теплового движения частицы N , что, тем не менее, не влияет на дальнейшие выводы. На основании закона сохранения и превращения энергии при

изменении взаимного расположения от r_1 до r_2 происходит переход кинетической энергии в потенциальную и обратно.

При движении частицы **N** влево на расстоянии r_1 от положения равновесия кинетическая энергия расходуется на преодоление сил кулоновского отталкивания от частицы **M** и переходит в потенциальную энергию взаимодействия частиц **N** и **M**. Отклонение частицы **N** происходит до тех пор, пока вся кинетическая энергия не перейдет в потенциальную.

При движении частицы **N** вправо от положения равновесия кинетическая энергия расходуется на преодоление сил гравитационного притяжения ее к частице **M**. На расстоянии r_2 кинетическая энергия переходит в потенциальную.

Если бы частица **N** совершала гармонические колебания, то были бы справедливы соотношения:

$$F = -k\Delta x, \quad W = \frac{1}{2} k\Delta x^2$$

Где: **k**- коэффициент пропорциональности, характеризующий упругость;

Δx - смещение;

W- потенциальная энергия.

В этом случае изменение потенциальной энергии описывалось бы параболой **abc** симметричной прямой **bd** изменение размеров тела при нагревании не было бы обнаружено.

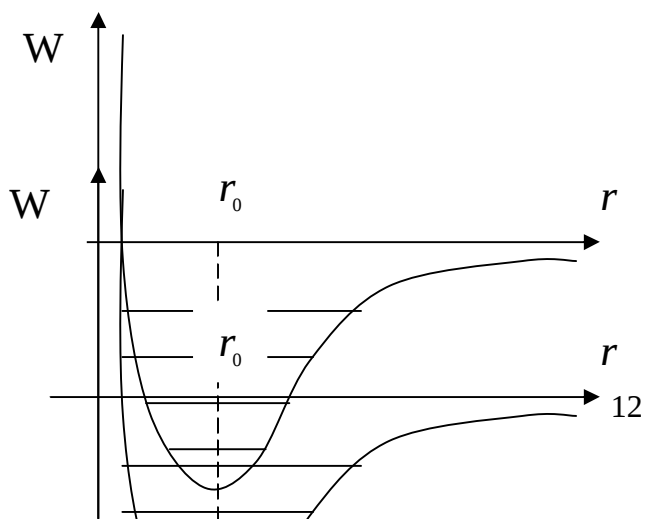
В действительности же с изменением температуры потенциальная кривая **abc** несимметрична относительно **bd**, это происходит по причине того, что природа сил гравитационного и кулоновского взаимодействия различны.

И учитывая это, получаем функцию для энергии:

$$W = \frac{a}{x^2} - \frac{b}{x}$$

При соответствующих коэффициентах «**a**» и «**b**» функция потенциальной энергии можно представить в виде кривой, изображенной на рис 4. При этом следует обратить внимание на то, что появляются колебательные уровни, это происходит в связи с квантованием энергии.

Амплитуда колебаний частиц обычно не превышает **1нм**, что составляет **5-7 %** от равновесного расстояния между соседними частицами. Потенциальная кривая (рис. 4) совпадает с параболой лишь приблизительно в



ее нижней части, (т.е. в области низких колебательных уровней). При этом среднее положение частицы при колебаниях, отмеченные на рис. 4 крестиками, по мере повышения колебательных уровней (т.е. по мере повышения температуры кристалла) все

сильнее смещается вправо от равновесного состояния r_0 . При повышении температуры энергия частиц увеличивается, и они переходят на все более высокие колебательные уровни.

Следовательно, при возрастании температуры увеличивается расстояние между средними положениями колеблющихся частиц, т.е. узлами кристаллической решетки, что и приводит к тепловому расширению кристалла. Количественно тепловое расширение описывается формулой:

$$l_t = l_0(1 + \alpha \Delta t)$$

где:

l_t - линейные размеры тела в заданном направлении при температуре;

l_0 - те же размеры при температуре, принятой за условное начало отсчета (при $t=0^\circ \text{C}$);

Δt - разность температур;

α - коэффициент линейного расширения.

Коэффициент линейного расширения – физическая величина, показывающая на какую долю увеличилась длина тела при нагревании на 1°C , по сравнению с его длиной, взятой при 0°C .

$$\alpha = \frac{l_t - l_1}{l_0 t} \quad (1),$$

α несколько изменяется с изменением температуры, поэтому равенство (1) есть средний коэффициент линейного расширения в интервале Δt . При вычислении коэффициента линейного расширения обычно вместо длины стержня при 0°C берут его длину l_1 , при температуре начала опыта t_1 . Так как l_0 и l_1 весьма близки друг к другу, то относительная погрешность вследствие такой замены будет незначительна. При этом коэффициент линейного расширения определяется формулой:

$$\alpha = \frac{l_t - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}$$

(2).

Наряду с коэффициентом линейного расширения используется коэффициент объемного расширения β , который вычисляется по формуле $\beta = 3\alpha$.

Выполнение работы.

Рабочая установка состоит из нагревателя и прибора для измерения удлинения образцов. В нагреватель входят: электроплитка, колба с водой, резиновые шланги, стакан для сбора конденсата и бронзовая трубка для нагревания стержней. Испытуемые образцы с помощью втулок закрепляются на установке и нагреваются паром, образующимся при кипении воды в колбе.

Прибор для определения удлинения образцов (см. рис. 5) включает в себя чувствительный индикатор часового типа Д и металлическое основание на котором имеется вертикальные стойки В и С. Стойки имеют углубление

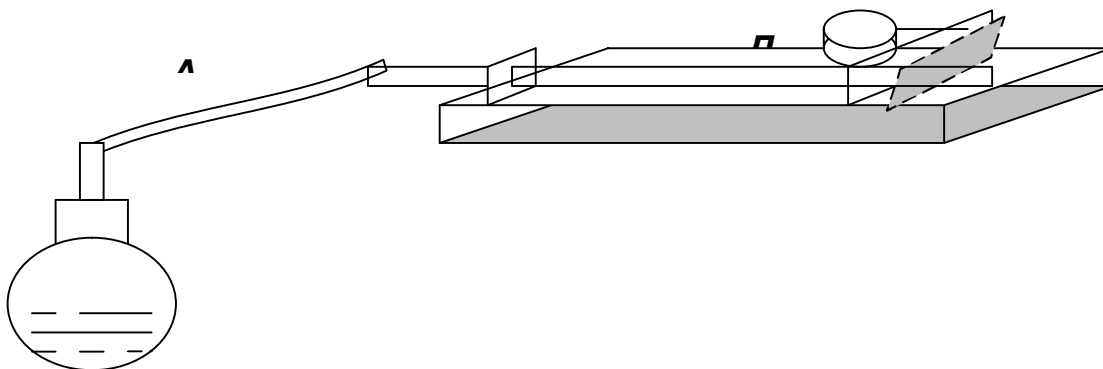


Рис. 5. Схема установки опыта (А – нагреватель; В и С – вертикальные стойки; Д – индикатор).

для опоры стержня. В пазы вставляется стержень. Индикатор крепится на стойке С так, чтобы он упирался в металлическую пластину, закрепленную на стержне.

Начальная длина стержней измеряется линейкой, а их начальная температура t , комнатным термометром. Нагрев продолжается до тех пор, пока стрелка индикатора перестанет перемещаться. Абсолютное удлинение образцов $\Delta l = l_t - l_1$ определяется индикатором.

Конечной температурой нагрева считается температура пара, равная температуре кипящей воды (определяется по таблице).

После каждого опыта бронзовую трубку необходимо охлаждать холодной водой.

Результаты измерений заносят в таблицу:

Виды материалов (стержней)	Измерения				Вычисления	
	$l_1, \text{ м}$	$t_1, \text{ К}$	$t_2, \text{ К}$	$l_t - l_0, \text{ м}$	$\alpha, \text{ } 1/\text{ К}$	$\beta, \text{ } 1/\text{ К}$

По результатам опытов вычисляют коэффициенты линейного и объемного теплового расширения твердых тел.

Сформулируйте вывод по работе.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите основные положения молекулярно-кинетической теории.
2. Объясните с точки зрения молекулярно-кинетической теории увеличение размеров некоторых тел при нагревании.
3. Что называется коэффициентом линейного расширения?

4. Как определяется среднее значение коэффициента линейного расширения, объемного расширения?
5. Напишите формулу длины тела при любой температуре через длину при 0°C .
6. В каких единицах измеряется коэффициент линейного и объемного расширения.

Лабораторная работа № 4-2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

Цель работы: ознакомиться с устройством прибора Стокса и определить коэффициент вязкости масла (подсолнечного, трансформаторного, машинного).

Приборы и принадлежности: прибор Стокса, ареометр, пипетка, исследуемая жидкость (масло).

Теоретическое введение

Между соприкасающимися слоями движущейся жидкости или газов возникают силы, направленные по касательной к поверхности соприкасающихся слоев. Эти силы называются силами внутреннего трения.

Со стороны слоя, движущегося быстрее, на медленно движущийся слой действует ускоряющая сила, а медленно движущийся слой тормозит быстро перемещающиеся слои. В газах этот процесс происходит благодаря переносу импульса $m\vec{v}$ из слоя в слой при переходе хаотически движущихся молекул от более быстрых участков потока к менее быстрым и наоборот. Молекулы из медленно движущегося слоя газа, попадая в быстрый слой, при

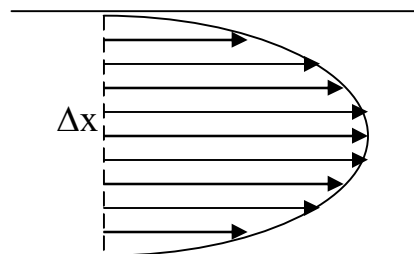


Рис. 6 Течение жидкости и газа по трубке.

соударениях тормозят его, а свое движение ускоряют. Молекулы быстрых слоев оказывают обратное воздействие. Такой обмен импульсами между слоями вызывает эффект, подобный действию сил трения.

В жидкостях механизм внутреннего трения иной. Молекулы жидкости большую часть времени находятся около положения равновесия. Движущаяся масса жидкости увлекает за собой соседние слои в основном за счет сил

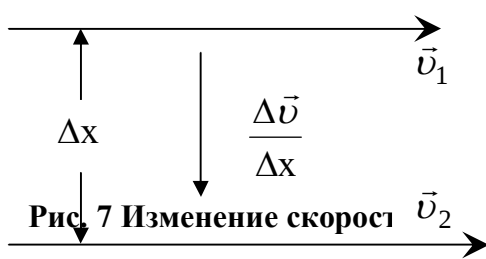


Рис. 7 Изменение скорости

межмолекулярного сцепления. Перемещаясь по трубке, слои жидкости скользят один

относительно другого с разными скоростями. При этом слои жидкости, прилегающие к стенам трубы (в случае смачивания), как бы прилипают к ним и остаются неподвижными. Следующие за ними слои движутся быстрее. Наибольшая скорость слоев наблюдается вдоль оси трубы. При переходе от слоя к слою скорость течения жидкости меняется в направлении, перпендикулярном направлению течения жидкости.

Пусть два слоя, отстоящие друг от друга на расстоянии Δx , движутся соответственно со скоростями $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$. Отношение разности скоростей течения двух близких слоев жидкости $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ к кратчайшему расстоянию между ними Δx называется градиентом скорости.

Градиент скорости – это вектор, который показывает быстроту изменения скорости на единицу длины при переходе от слоя к слою и направленный в сторону ее возрастания. Размерность градиента скорости:

$$\frac{\Delta v}{\Delta x} = \left[\frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{м}} \right] = [\text{с}^{-1}].$$

Ньютоном экспериментально было установлено, что сила терния между слоями жидкости, движущимися с разными скоростями, зависит от площади соприкосновения слоев и градиента скорости.

$$F = \eta \cdot S \frac{\Delta v}{\Delta x} \quad (1),$$

где S - площадь соприкасающихся слоев, η - коэффициент вязкости.

Из уравнения Ньютона можно выразить коэффициент вязкости:

$$\eta = \frac{F}{S \frac{\Delta v}{\Delta x}} \quad (2).$$

Если принять площадь, равной единице, градиент, равным единице градиента скорости, то $\eta = F$. Т.е. коэффициент вязкости численно равен силе внутреннего трения, которая возникает между слоями с площадью соприкосновения в 1м^2 при единичном градиенте скорости.

Коэффициент вязкости в системе СИ имеет размерность:

$$\eta = \left[\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}} \right] = [\text{Па} \cdot \text{с}]$$

Вязкость жидкости зависит от температуры. С повышением температуры она уменьшается.

В вязкой среде движущемуся телу оказывается сопротивление. В частности, если тело имеет форму шара, то сила сопротивления F прямо пропорциональна коэффициенту вязкости η , радиусу шара r и скорости движения тела v .

$$F = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \quad (3).$$

Формула (3) носит название закона Стокса. Закон Стокса справедлив для шаров небольшого радиуса, движущихся с малой скоростью. Если скорость велика, то вокруг тела возникают вихревые движения и сила

сопротивления становится пропорциональна квадрату или даже кубу скорости.

Описание метода

Коэффициент внутреннего трения жидкости можно определить по формуле Стокса (3), измеряя скорость падения шарика в ней. При падении шарика в вязкой покоящейся жидкости на него действуют три силы:

1. Сила тяжести $F_{\text{тяж}} = mg = \rho Vg$, где ρ - плотность материала шарика, V - объем шарика.
2. Выталкивающая сила (сила Архимеда) $F_{\text{выт}} = \rho_1 Vg$, где ρ_1 - плотность исследуемой жидкости.
3. Сила внутреннего трения, тормозящая движение шарика $F_{\text{тр}} = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$

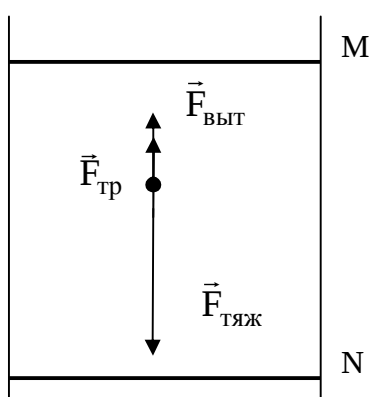


Рис. 8 Схема установки (М и N – кольцевые метки).

В начале шарик движется ускоренно, но так как с увеличением скорости сила внутреннего трения возрастает, то при некотором значении ее, силы, действующие на шарик, уравниваются и в дальнейшем движение шарика становится равномерным. Начиная с этого момента, можно считать:

$$F_{\text{тяж}} = F_{\text{выт}} + F_{\text{тр}}.$$

Выведем силу трения:

$$F_{\text{тр}} = F_{\text{тяж}} - F_{\text{выт}}$$

$$6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = \rho Vg - \rho_1 Vg.$$

Решая это уравнение относительно η , получим:

$$\eta = \frac{(\rho - \rho_1)Vg}{6\pi \cdot r \cdot v},$$

где $V = \frac{4}{3}\pi \cdot r^3$ - объем шарика, r - его радиус, $v = \frac{S}{t}$ - скорость шарика, S - расстояние, пройденное шариком за время t .

Делая подстановку, окончательно получим:

$$\eta = \frac{2(\rho - \rho_1)gr^2}{9S} t.$$

Описание установки и порядок выполнения работы

Прибор Стокса представляет собой цилиндр, наполненный исследуемой жидкостью с двумя кольцевыми метками **М** и **Н**, которые могут перемещаться вдоль цилиндра.

Телами шарообразной формы служат капли воды, выпускаемые пипеткой на поверхность исследуемой жидкости. Верхняя кольцевая метка **М** устанавливается на расстоянии **6-8 см** от поверхности жидкости, чтобы шарик, приближаясь к кольцу, приобрел постоянную скорость. *Рассчитайте,*

через какое время движение капли воды станет равномерным, и какой путь пройдет капля.

Расстояние между метками **М** **Н** делают не менее **0,3 м**. Секундомер включается и выключается в момент прохождения шариком верхней и нижней меток.

Опыт повторяют не менее трех раз при одинаковом расстоянии между метками. Плотность воды и плотность масла находят ареометром, а затем сравнивают со значениями в справочнике.

По данным опыта вычисляют коэффициент вязкости η .

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу.

№	r, мм	S, м ²	t, с	ρ , кг/м ³	ρ_1 , кг/м ³	η , Па*с	$\eta_{\text{ср}}$, Па*с
1							
2							
3							

Значение радиуса шарика указано на установке.

Сформулируйте вывод по данной работе.

Контрольные вопросы:

1. Что такое вязкость?
2. Что такое коэффициент вязкости?
3. В каких единицах измеряется коэффициент вязкости?
4. Какие силы действуют на шарик, падающий в жидкости?
5. Почему, начиная с некоторого момента, шарик, падающий в жидкости, движется равномерно?
6. Как изменяется скорость движения шарика с увеличением его диаметра?
7. Как изменятся вязкость жидкости с изменением температуры?
8. Напишите формулу Стокса. Когда она справедлива?
9. Какие явления сходны с вязкостью и объединены в общий раздел «Явления переноса»?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ С ПОМОЩЬЮ ВИСКОЗИМЕТРА ОСТВАЛЬДА

Цель работы: определить коэффициент вязкости неизвестной жидкости с помощью вискозиметра Оствальда.

Приборы и принадлежности: вискозиметр Оствальда, секундомер, термостат, эталонная жидкость (вода), исследуемая жидкость (спирт), электроплитка, термометр.

Теоретическое введение

Вязкость проявляет себя при движении жидкости по трубам.

Французским ученым Пуазейлем было установлено, что средняя скорость ламинарного течения жидкости по трубе v пропорциональна градиенту давления жидкости $\frac{\Delta p}{\Delta x}$, квадрату радиуса трубы r^2 и обратно пропорциональна коэффициенту вязкости η :

$$v = \frac{\Delta p}{\Delta x} \cdot \frac{r^2}{8\eta}$$

Градиент давления характеризует быстроту изменения давления вдоль трубы и численно равен изменению давления, приходящемуся на единицу длины трубы.

Зная скорость течения жидкости, можно определить объем жидкости V , протекающий за время t по трубе:

$$V = S \cdot l = Svt = \pi \cdot r^2 \frac{\Delta p}{\Delta x} \frac{r^2}{8\eta} t.$$

Или: $V = \frac{\Delta p}{\Delta x} \frac{\pi \cdot r^4}{8\eta} t$ - формула Пуазейля.

Пользуясь формулой Пуазейля, можно, зная объем жидкости, протекающий по трубе радиуса r и длине Δx , определить коэффициент η . Приборы, служащие для этих целей, называются вискозиметрами.

Из формулы Пуазейля следует

$$\eta = \frac{\Delta p}{\Delta x} \cdot \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot V} t \quad (1),$$

но непосредственно пользоваться этой формулой неудобно, поэтому применяется так называемый сравнительный метод, заключающийся в нахождении коэффициента вязкости исследуемой жидкости (спирта) зная значение коэффициента вязкости эталонной жидкости (воды).

Для этих жидкостей соответственно имеем:

$$\eta_{\text{эт}} = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot V} \cdot \frac{\Delta p_{\text{эт}}}{\Delta x} t_{\text{эт}} \quad (2); \quad \eta_{\text{иск}} = \frac{\pi \cdot r^4}{8 \cdot V} \cdot \frac{\Delta p_{\text{иск}}}{\Delta x} t_{\text{иск}} \quad (3).$$

Если равные объемы эталонной и исследуемой жидкостей заставить вытекать через один и тот же вертикально расположенный капилляр, то будет справедливо такое отношение:

$$\frac{\eta_{\text{эт}}}{\eta_{\text{иск}}} = \frac{\Delta p_{\text{эт}}}{\Delta p_{\text{иск}}} \cdot \frac{t_{\text{эт}}}{t_{\text{иск}}} \quad (4).$$

Давление Δp , создаваемое столбом жидкости можно вычислить по формуле

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot h \quad (5),$$

для воды

$$\Delta p_{\text{эт}} = \rho_{\text{эт}} \cdot g \cdot h \quad (6),$$

для спирта

$$\Delta p_{\text{иск}} = \rho_{\text{иск}} \cdot g \cdot h \quad (7),$$

где h – высота столба жидкости,

$\rho_{\text{эт}}$ – плотность воды,

$\rho_{\text{иск}}$ – плотность спирта.

Подставляя (6) и (7) в (4), получим:

$$\frac{\eta_{\text{эт}}}{\eta_{\text{иск}}} = \frac{\rho_{\text{эт}} \cdot g \cdot h \cdot t_{\text{эт}}}{\rho_{\text{иск}} \cdot g \cdot h \cdot t_{\text{иск}}} = \frac{\rho_{\text{эт}} \cdot t_{\text{эт}}}{\rho_{\text{иск}} \cdot t_{\text{иск}}} \quad (8),$$

откуда получаем расчетную формулу:

$$\eta_{\text{иск}} = \eta_{\text{эт}} \frac{\rho_{\text{иск}} \cdot t_{\text{иск}}}{\rho_{\text{эт}} \cdot t_{\text{эт}}} \quad (9).$$

Описание прибора и порядок выполнения работы

Вискозиметр Оствальда представляет собой U-образную стеклянную трубку (рис.9)

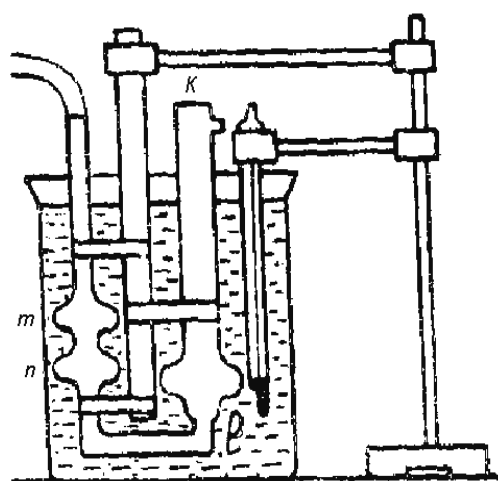


Рис. 9 Вискозиметр Оствальда (К – отверстие, m и n – метки, l – правое расширение).

В капиллярной части вискозиметра метки m и n ограничивают объем жидкости. Вискозиметр закрепляется на штативе с помощью зажимов и помещается в термостат (сосуд с водой).

Задание 1. Через широкое отверстие вискозиметра “К” наливают 3-4 см³ исследуемой жидкости для заполнения половины нижнего правого расширения l . Затем с помощью резиновой груши, присоединяемой к левому колену, вытягивают жидкость выше метки m и определяют время t , в течение которого жидкость проходит верхний уровень между метками m и n .

Описанные операции проводятся сначала три раза для исследуемой жидкости, затем три раза для эталонной.

Объем наливаемой жидкости во всех опытах должен быть одинаковым! Коэффициент $\eta_{\text{иск}}$ вычисляется по формуле (9), а значения $\eta_{\text{эт}}$, $\rho_{\text{эт}}$ и $\rho_{\text{иск}}$ берут из таблиц.

Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу

№	T, К	$\rho_{\text{иск}}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{эт}}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\eta_{\text{эт}}, \text{Па} \cdot \text{с}$	$t_{\text{иск}}, \text{с}$	$t_{\text{эт}}, \text{с}$	$\eta_{\text{иск}}, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\eta_{\text{иск.ср.}}, \text{Па} \cdot \text{с}$
1								
2								
3								

Задание 2. Исследование зависимости коэффициента вязкости от температуры

Исследуемую жидкость (спирт) подогревают с помощью электроплитки. Вязкость жидкости измеряется через каждые 5-6 градусов. Измерения проводят для 6-7 значений температуры. Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу.

№	T, К	$\eta, \text{Па} \cdot \text{с}$
---	------	----------------------------------

По данным таблицы строят график зависимости коэффициента вязкости от температуры.

Сформулируйте вывод по данной работе.

Примечание: $\rho_{\text{воды}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_{\text{спирта}} = 790 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\eta_{\text{воды}} = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$,

$\eta_{\text{спирта}} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$.

Контрольные вопросы:

1. Каковы причины возникновения сил внутреннего трения в газах и жидкостях?
2. В чем состоит физический смысл коэффициента вязкости?
3. Проанализируйте закон Пуазейля.
4. В чем заключается метод определения коэффициента вязкости с помощью вискозиметра Оствальда?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6-2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА И ЭФФЕКТИВНОГО ДИАМЕТРА МОЛЕКУЛ ВОЗДУХА

Цель работы: Определить среднюю длину свободного пробега молекул воздуха, эффективный диаметр молекулы.

Приборы и принадлежности: бюретка (одно деление $-5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$) с пробкой, в пробку вмонтирован капилляр ($r = 0,11 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $l = 2,5 \cdot 10^{-1} \text{ м}$), секундомер, стеклянный стакан, линейка.

Теоретическое введение

Молекулярно-кинетическая теория описывает свойства макроскопических тел, а также их параметры состояния (давление, объем, температура) на основе усредненных значений характеристик движения микрочастиц, составляющих эти системы (средняя скорость $\bar{U}$, длина свободного пробега $\lambda_{\text{ср}}$). Измеряя макропараметры газа и используя основные законы молекулярно-кинетической теории, можно определить его микропараметры ($\bar{\lambda}$, $\bar{U}$, E_k).

Целью настоящей работы является определение средней длины свободного пробега молекул $\bar{\lambda}$ и их эффективного диаметра d . Под средней длиной свободного пробега молекул $\bar{\lambda}$ понимается средний путь, проходимый молекулами газа от столкновения до столкновения.

d – диаметр молекул, вычисленный в предположении, что молекулы являются упругими шариками. Величина, равная πd^2 называется эффективным сечением молекулы. Эффективное сечение и эффективный диаметр молекул зависят от энергии соударяющихся частиц и характера процесса, приходящего при соударении и, поэтому, эти величины лишь приближенно дают представление о размерах молекул.

Описание установки

В предлагаемой работе используется установка, общий вид которой приведен на **рис. 10**. Она состоит из бюретки, закрытой сверху пробкой. В пробку вмонтирован капилляр радиусом r и длиной l . При открытии крана сначала наблюдается быстрое истечение воды. В объеме V давление понижается от величины атмосферного давления до величины

$$p_1 = p_{\text{at}} - \rho_{\text{в}} g h_1$$

где: $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, налитой в бюретку,

g – ускорение свободного падения,

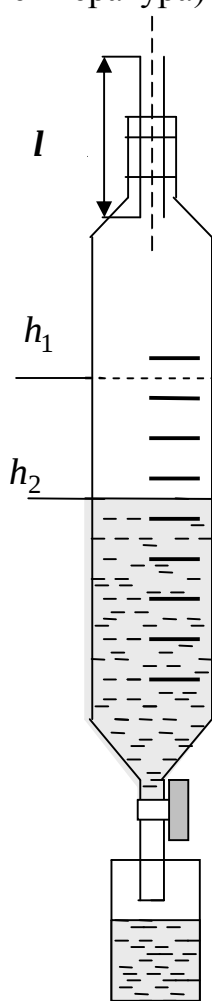


Рис. 10 Схема установки (l – длина капилляра, h_1 и h_2 – высоты столба жидкости).

h_1 - высота столба жидкости в бюретке.

Из-за возникшей разности давлений:

$$\Delta p_1 = p_{at} - p_1 = p_{at} - (p_{at} - \rho_B g h_1) = \rho_B g h_1,$$

через капилляр в бюретку начинает входить воздух, а вода из капельницы начинает капать. Объем газа, протекающего через капилляр, будет зависеть от радиуса r , его длины l и разности давлений на его концах Δp_1 . Согласно формуле Пуазейля

$$v = \frac{\pi r^4}{8\eta l} \Delta p_1 \tau \quad (1),$$

где: τ - время истечения,

η - коэффициент вязкости воздуха.

Из молекулярно - кинетической теории вязкости известно, что коэффициент η зависит от $\bar{\lambda}$ и $\bar{v}$ следующим образом:

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{v} \rho_r \quad (2),$$

где: ρ_r - плотность газа, $\bar{v}$ - средняя арифметическая скорость движения молекул, которую можно определить из закона распределения молекул по скоростям:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu_B}} \quad (3).$$

Здесь: R – универсальная газовая постоянная, T – температура воздуха, μ_B – масса кило моля воздуха.

Плотность воздуха ρ_r может быть найдена из уравнения Клапейрона-

Менделеева $pV = \frac{m}{\mu_B} RT$, откуда $\frac{m}{V} = \frac{p\mu_B}{RT}$, т.е.

$$\rho_B = \frac{p\mu_B}{RT} \quad (4).$$

Формулы (1), (2), (3), (4) используют для нахождения средней длины свободного пробега.

$$\bar{\lambda} = \frac{\Delta p \tau \sqrt{T}}{p_{at} V} \cdot \frac{3\pi}{16} \cdot \frac{r^4 \sqrt{R\pi}}{l \sqrt{2\mu_B}} \quad (5).$$

Для практического определения средней длины свободного пробега молекул необходимо знать:

1. Объем вошедшего через капилляр воздуха V (он будет равен объему вытекшей каплями воды).
2. Время вхождения в бюретку воздуха (оно равно времени вытекания воды τ).
3. Разность давлений Δp на концах трубки.

Так как в нашем опыте разность давлений на концах трубки будет зависеть от уровня воды в бюретке и, следовательно, в течение опыта будет меняться, то нужно найти среднюю величину разности давлений

$$\Delta p_{\text{ср}} = \frac{\Delta p_1 + \Delta p_2}{2} = \rho_{\text{в}} g \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (6).$$

Здесь: h_1 – начальный уровень воды, h_2 – конечный уровень воды.

С учетом этого формула (4) примет вид:

$$\bar{\lambda} = \frac{\tau \sqrt{T}}{p_{\text{ат}} \cdot V} \cdot \frac{3\pi}{16} \cdot \frac{r^4 \sqrt{R\pi\rho_{\text{в}} g}}{1\sqrt{2\mu_{\text{в}}}} \cdot \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (7).$$

Обозначив величины, постоянные в течение всего эксперимента одной константой, для данной установки:

$$B = \frac{3 \cdot r^4 \pi \sqrt{R\pi\rho_{\text{в}} g}}{32 \cdot 1 \cdot \sqrt{2\mu_{\text{в}}}} = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ с}^{-3} \text{ К}^{-\frac{1}{2}} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (8),$$

$$\text{Формула (7) примет вид: } \bar{\lambda} = B \frac{\tau \cdot \sqrt{T}}{p_{\text{ат}} \cdot V} (h_1 + h_2) \quad (9).$$

Зная среднюю длину свободного пробега молекул $\bar{\lambda}$, можно определить эффективный диаметр молекулы d , используя формулу:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n_0}$$

где: n_0 – число молекул в единице объема, можно определить из основного уравнения молекулярно-кинетической теории $p = n_0 kT$ следует, что

$$n_0 = \frac{p}{kT} \quad (k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж / К}) \quad (10),$$

k – постоянная Больцмана.

Из уравнений (9) и (10) находим эффективный диаметр

$$d = \sqrt{\frac{kT}{\sqrt{2}\pi\lambda\rho}} \quad (11).$$

Порядок выполнения работы

Задание 1. Определение средней длины свободного пробега молекул.

1. Начертите таблицу:

№ п/п	$B,$ $\text{с}^{-3} \text{К}^{-\frac{1}{2}} \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$h_1+h_2,$ м	$\tau, \text{с}$	$T, \text{К}$	$p_{\text{ат}},$ Па	$V, \text{м}^3$	$\bar{\lambda}, \text{м}$	$\bar{\lambda}_{\text{ср}}, \text{м}$
1								
2								
3								

2. Наполняют бюретку водой.

3. Подставляют под бюретку стакан D , открывают кран B и, дождавшись, когда вода начнет вытекать из баллона каплями, отмечают уровень воды h_1 и одновременно включают секундомер. Когда в стакан D

- нальется: каплями **50** мл воды ($50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$), закрывают края и останавливают секундомер.
- Отмечают новый уровень воды h_2 . Объем вытекшей воды будет равен объему вошедшего через капилляр воздуха.
 - Рассчитывают среднюю длину свободного пробега по формуле (9).
 - Опыт проделывают не менее трех раз, изменяя значение вытекшей воды.
 - Находят среднее значение средней длины свободного пробега.

Задание 2. Определение эффективного диаметра молекул воздуха.

Используя экспериментальные данные, полученные при выполнении первого задания и формулы (11) вычисляют эффективный диаметр молекул воздуха.

Сформулируйте вывод по данной работе.

Контрольные вопросы:

- Каков характер распределения молекул по скоростям?
- Дайте понятие U , v_v , v_{cp} и укажите связь между ними.
- Что понимается под выражением средняя длина свободного пробега.
- Запишите формулу Пуазейля и поясните ее смысл.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7-2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ КВАДРАТИЧНОЙ СКОРОСТИ МОЛЕКУЛ ВОЗДУХА И УНИВЕРСАЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ПОСТОЯННОЙ

Цель работы: определить среднюю квадратичную скорость молекул воздуха, универсальной газовой постоянной.

Приборы и принадлежности: насос Камовского, стеклянная колба, весы с разновесами, барометр, термометр, сосуд с водой, мензурка.

Теоретическое введение

Давление, которое оказывает газ на стенки сосуда зависит от средней кинетической энергии и их числа в единице объема.

$$p = \frac{2}{3} \frac{n}{V} \frac{m \bar{u}^2}{2} \quad (1)$$

где: p – давление газа, $\frac{n}{V} = n_0$ - число молекул газа в единице объёма, m – масса одной молекулы, $\bar{u}$ – средняя квадратичная скорость молекулы газа, которая находится, как среднее арифметическое от квадратов скоростей всех молекул

$$\bar{u} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n},$$

где n - число молекул, $\frac{mu}{2}$ - средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы.

Уравнение (1) является основным уравнением молекулярно-кинетической теории идеального газа.

Заменив в уравнении (1) $n \cdot m$ через M (“ M ” – масса всех молекул газа), получим:

$$P = \frac{1}{3} \frac{M}{V} \bar{u}^2.$$

Известно, что $\frac{M}{V} = \rho$ - плотность, тогда $P = \frac{1}{3} \rho \bar{u}^2$, отсюда

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} \quad (2).$$

Из формулы (2) видно, что для определения средней квадратичной скорости молекул воздуха необходимо определить давление воздуха и его плотность при данной температуре.

Порядок выполнения работы

1. Составляют таблицу, в которую по мере выполнения работы вносят данные измерений и вычислений.

Давление воздуха P , Па	Масса колбы с воздухом до откачки m_1 , кг	Масса колбы после откачки воздуха m_2 , кг	$m_1 - m_2$, кг	$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V}$, кг/м ³	$\bar{u}$, м/с	R , Дж/моль*К

2. Отмечают по показанию барометра давление воздуха в лаборатории.
3. Колбу (кран колбы в этом случае должен быть открыт) взвешивают и определяют m_1 – массу колбы с воздухом.
4. Откачивают воздух из колбы насосом Камовского, затем закрывают кран, взвешивают колбу и определяют m_2 . Разность $m_1 - m_2$ дает массу откаченного из колбы воздуха.

5. Погружают колбу в воду (так, чтобы кран находился в воде), открывают кран. Вода входит в колбу и замещает откаченный воздух.
6. С помощью мензурки измеряют объем воды в колбе (это даст нам объем воздуха V массой $m_1 - m_2$).
7. По формуле (2) вычисляют среднюю квадратичную скорость.
8. Зная величину средней квадратичной скорости молекул, используя формулу

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \quad (3),$$

вычисляют значение универсальной газовой постоянной (T – абсолютная температура воздуха в кельвинах, μ – молярная масса воздуха, $\mu = 29 \text{ кг / кмоль}$).

9. Сформулируйте вывод по данной работе.

Контрольные вопросы:

1. Запишите уравнение Менделеева-Клапейрона.
2. От чего зависит средняя кинетическая энергия одной молекулы?
3. Дайте понятие наиболее вероятной, средней квадратичной и средней скоростям молекул газа, укажите от чего зависят данные величины.
4. Каков физический смысл универсальной газовой постоянной.
5. Как в данной работе определяется объём откаченного воздуха?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8-2

ИЗУЧЕНИЕ ДВУХМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛА

Цель работы: изучить максвелловское распределение молекул по скоростям.

Приборы и принадлежности: установка для изучения двухмерного распределения Максвелла, воронка, технические весы, стакан для сыпучего материала, сыпучий материал (пшено).

Теоретическое введение

Газ представляет собой совокупность множества хаотически движущихся молекул. Направления и значения их скоростей всегда различны из-за соударений и, кроме того, они непрерывно изменяются. Случайные явления наиболее полно описываются при помощи математического аппарата теории вероятностей. Т.к. молекулы движутся беспорядочно, то в

каждый момент времени они обладают разной скоростью, число молекул с определенной скоростью меняется с течением времени.

Распределение молекул газа по скоростям, найденное экспериментально, хорошо согласуется с теоретическим распределением, которое в 1860 году получил Максвелл, применив к тепловому хаотическому движению молекул законы теории вероятности.

Полученный им закон имеет вид:

$$\frac{\Delta n}{\Delta v} = n \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{\mu}{2RT} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot e^{-\frac{\mu v^2}{2RT}} \quad (1)$$

где: μ - молярная масса, R - универсальная газовая постоянная, T - абсолютная температура, e - основание натуральных логарифмов, n - общее число молекул, Δn - число молекул, скорости которых лежат в интервале скоростей от некоторой заданной скорости v до $v + \Delta v$, v - заданная скорость молекул, Δv - отклонение от заданной скорости.

$\frac{\Delta n}{\Delta v} = f(v, T, \mu)$ - есть функция распределения молекул по скоростям.

Пользуясь функцией распределения Максвелла, можно подсчитать число молекул Δn , скорости которых лежат в интервале скоростей от некоторой заданной скорости v до $v + \Delta v$

Закон Максвелла можно выразить графически (рис. 11).

Площадь заштрихованной полоски выражает число молекул, скорости которых лежат в интервале от v до $v + \Delta v$, а вся площадь под кривой распределения численно равна общему числу молекул газа. С повышением температуры газа максимум кривой распределения снижается и сдвигается в сторону больших скоростей.

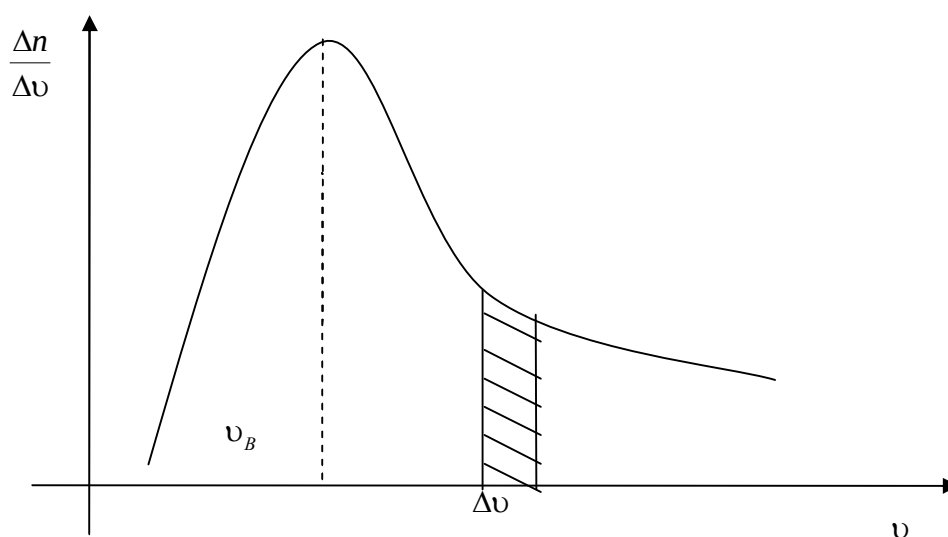


Рис.11 Кривая распределения Максвелла (v_B - вероятностная скорость, Δv - интервал скорости).

Описание модели и метода измерений

Для ознакомления с законом распределения, аналогичным закону Максвелла, служит механическая модель, которая осуществляет двумерное рассеяние частиц. Круглая воронка направляет поток частиц на ряд сеток с квадратными ячейками. Проходя через сетки частицы рассеиваются по всем направлениям в плоскости, параллельной плоскости сеток и образует распределение, подобное распределению молекул газа по скоростям для двумерного случая. Непосредственно под сетками располагаются 7 вертикальных цилиндров, служащих приемниками частиц. Каждый цилиндрический слой осуществляет суммирование всех случайных отклонений определенной величины независимо от направления отклонения.

В механическую модель закладывается несколько сеток, через которые сыплется пшено. Осторожно, с помощью задвижки, закрепленной ко дну цилиндров, отбирается и взвешивается пшено, попавшее между каждыми двумя цилиндрами. Результаты заносят в таблицу.

№ кольцевого промежутка	1	2	3	4	5	6	7
Масса зерна с 20 сетками							
Масса зерна с 10 сетками							

По результатам измерений строят график зависимости количества частиц, попавших в кольцевой промежуток от номера кольцевого промежутка, принимая центральный промежуток за первый. При этом по оси ординат откладывают массу зерен, т.к. она пропорциональна количеству частиц, но определяется значительно проще, а по оси абсцисс - номер промежутка. Точки на графике соединяют плавной кривой. Опыт проводят для двух случаев: для **10** и **20** сеток. Оба графика вычерчивают на одной диаграмме.

Уменьшение числа сеток ведет к уменьшению числа соударений частиц. Это аналогично уменьшению температуры газа.

Кривые распределения для **10** и **20** сеток не совпадут друг с другом. Этот факт необходимо отразить в выводах и объяснить.

Контрольные вопросы:

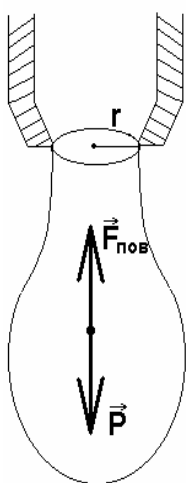
1. Перечислите основные положения молекулярно-кинетической теории.
2. Опишите опыт Штерна.
3. Дайте определение средней арифметической, средней квадратичной и наиболее вероятной скоростей молекул. Укажите соотношение между ними.
4. Дайте аналитические и графическое выражение Максвелловского распределения молекул по скоростям.

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОТРЫВАЮЩЕЙСЯ КАПЛИ

Цель работы: определить коэффициент поверхностного натяжения исследуемой жидкости.

Приборы и принадлежности: штатив лабораторный, две бюретки, две капельницы, весы, два сосуда для сбора капель, исследуемая и эталонная жидкости (керосин и вода).

Теоретическое введение



Лабораторная установка для выполнения этой задачи представляет собой трубку с узким отверстием радиуса r на конце (рис. 12), через которую жидкость может вытекать каплями. Капля отрывается тогда, когда сила тяжести, действующая на нее, будет равна силе, удерживающей каплю от падения, т.е. силе поверхностного натяжения $F_{\text{пов}}$, действующей по периметру капли: $P = F_{\text{пов}}$ (1).

$$P = mg \quad (2)$$

$$\text{и} \quad F_{\text{пов}} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sigma \quad (3),$$

где m – масса капли, g – ускорение свободного падения, σ – коэффициент поверхностного натяжения.

Подставляя (2) и (3) в (1), получим

$$\sigma = \frac{mg}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (4).$$

Рис.12 **Схема**
установки **опыта**
($F_{\text{пов}}$ – сила
поверхностного
натяжения, P – вес
капли, r – радиус
капли).

Ввиду того, что непосредственное измерение радиуса капельницы затруднено, для его исключения применяют метод сравнения. Для этого опыт повторяют дважды: один раз для исследуемой жидкости (керосин), другой раз – для жидкости, коэффициент поверхностного натяжения которой известен. Вторая жидкость называется эталонной. В качестве эталонной жидкости обычно (и в данной работе тоже) берут дистиллированную воду. Эти жидкости наливаются в две различные бюретки.

Если принять $m_{\text{иск}}$ и $m_{\text{эт}}$ соответственно за массы капель исследуемой и эталонной жидкостей, т.е. керосина и воды, то

$$m_{\text{иск}} g = 2 \pi \cdot r \cdot \sigma_{\text{иск}} \quad (5)$$

$$m_{\text{эт}} g = 2 \pi \cdot r \cdot \sigma_{\text{эт}} \quad (6)$$

Разделив (5) на (6), окончательно получим расчетную формулу:

$$\sigma_{\text{иск}} = \frac{\sigma_{\text{эт}} \cdot m_{\text{иск}}}{m_{\text{эт}}} \quad (7)$$

Масса одной капли определяется как средняя для многих капель (**около 50**). Скорость истечения капель регулируется зажимами, укрепленными на конце бюреток и выбирается удобной для счета.

Порядок выполнения работы

1. Взвесить сосуды для сбора капель. **Они должны быть сухими.**
2. Закрывать зажимы на бюретках.
3. Налить немного керосина в бюретку с надписью “керосин”.
4. Налить немного воды в бюретку с надписью “вода”.
5. Подставить под капельницы сосуды для сбора капель. **Они должны быть сухими.**
6. Немного открыть одну капельницу и накапать около **50** капель. То же проделать и с другой капельницей.
7. Взвесить сосуды для сбора капель и определить массы капель воды и керосина.
8. Вычислить по формуле (7) коэффициент поверхностного натяжения керосина.
9. Провести пункты 2-8 еще два раза и вычислить среднее значение коэффициента поверхностного натяжения керосина и сравнить полученное значение с табличным (см. примечание). **До проведения опытов сосуды для сбора капель должны быть сухими!**
10. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу

Род жидкости	№ опыта	Число всех капель	Масса всех капель, кг	Масса одной капли, кг	σ , Н/м	$\sigma_{\text{ср}}$, Н/м
Вода	1					
	2					
	3					
Керосин	1					
	2					
	3					

11. Сформулируйте вывод по данной работе.

Примечание: $\sigma_{\text{воды}} = 0,073 \text{ Н/м}$, $\sigma_{\text{керосина}} = 0,03 \text{ Н/м}$.

Контрольные вопросы:

1. В чем различие теплового движения молекул в газах, жидкостях и твердых телах?
2. Почему при отсутствии внешних сил капля принимает форму шара?
3. В чем заключается причина возникновения явления поверхностного натяжения жидкостей?
4. От чего зависит сила поверхностного натяжения?

5. Физический смысл коэффициента поверхностного натяжения (силовая и энергетическая трактовка).
6. Что называется свободной энергией поверхности жидкости?

Лабораторная работа № 10-2

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОТРЫВА КОЛЬЦА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖИДКОСТИ И НАЛИЧИЯ ПРИМЕСЕЙ

Цель работы: определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости методом отрыва кольца и исследовать его зависимость от температуры и примесей.

Приборы и принадлежности: рычажные весы, металлическое кольцо, сосуд для исследуемой жидкости, разновесы, сосуд с водой для уравнивания весов, стеклянная трубка, электроплитка, термометр, мыльный порошок.

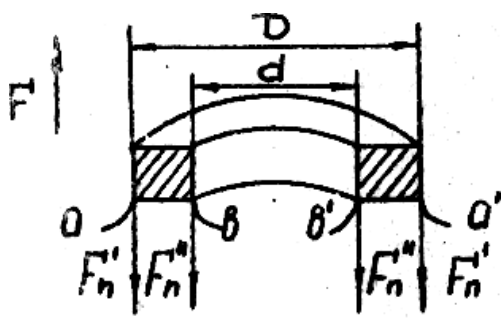


Рис. 13 Схема распределения сил по поверхности кольца (F'_n и F''_n - силы поверхностного натяжения, bb' и aa' - периметры кольца).

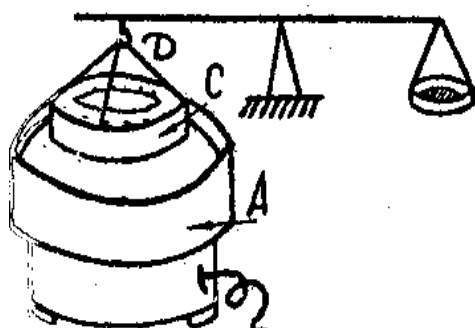


Рис. 14 Схема измерения силы при помощи рычажных весов (A – сосуд, D – чашка, C – кольцо).

Теоретическое введение

Задание 1. Предлагаемый способ измерения коэффициента поверхностного натяжения методом отрыва кольца основан на измерении силы F , которую нужно приложить, чтобы оторвать твердое смоченное кольцо от поверхности жидкости (рис. 13). В момент отрыва кольца увеличивается поверхность жидкости. Стремление поверхности жидкости к сокращению приводит к возникновению сил поверхностного натяжения F'_n и F''_n , приложенных к внутреннему bb' и наружному aa' периметрам кольца. Условие отрыва кольца от поверхности (когда сила станет равной силе поверхностного натяжения F_n): $F = F_n = F'_n + F''_n$, но $F'_n = \pi D \alpha$ и $F''_n = \pi d \alpha$, следовательно $F = \pi(D + d)\alpha$, тогда $\alpha = \frac{F}{\pi(D + d)}$, где D и d - наружный и внутренний диаметры кольца.

В данной работе сила F измеряется с помощью рычажных весов (рис.14). Делается это так: перед измерением весы уравниваются грузом, выложенным на чашку D, затем в сосуд

А наливают столько исследуемой жидкости, чтобы она своей поверхностью коснулась кольца **С**. Затем на чашку **Д** осторожно помещают разновесы. Их вес, вызвавший отрыв кольца, будет равен искомой силе **Е**. (Электроплитка и стоящий на ней сосуд **А** могут перемещаться в вертикальном направлении).

Задание 2. Исследование зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры.

Включают электроплитку и нагревают исследуемую жидкость. Измеряя через каждые 10°C коэффициент поверхностного натяжения (см. задание 1) строят график зависимости $\alpha = f(T)$

Задание 3. Исследование зависимости коэффициента поверхностного натяжения от количества примесей поверхностно-активного вещества в жидкости.

Добавляя равными порциями (**по 1 мг**) количество мыльного раствора в жидкость, каждый раз измеряют коэффициент поверхностного натяжения и строят график.

$$\alpha = f(m)$$

где **m** – количество примеси поверхностно-активного вещества.

Сформулируйте вывод по работе.

Контрольные вопросы

1. В чём заключается явление поверхностного натяжения? Чем оно вызвано?
2. Силовая и энергетическая трактовки коэффициента поверхностного натяжения?
3. Что называется силой поверхностного натяжения? От чего она зависит?
4. Что такое поверхностно-активные вещества? Их применение в быту, технике.
5. Какие способы определения коэффициента поверхностного натяжения вы знаете?

Лабораторная работа № 11-2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПСИХРОМЕТРОМ

Цель работы: определить влажность воздуха.

Приборы и принадлежности: психрометр.

Теоретическое введение.

Для удаления молекулы из жидкости необходимо совершить работу **А** по преодолению сил молекулярного притяжения. Так как молекулы при данной температуре движутся с различными скоростями, в жидкости при

любой температуре имеются молекулы, энергия которых W оказывается больше A . Такие молекулы могут покинуть поверхность жидкости перейти в газообразную среду. Процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное называется испарением. При испарении жидкость покидают наиболее быстрые молекулы, поэтому внутренняя энергия, а, следовательно, и температура жидкости при испарении понижается.

Одновременно с процессом испарения идет и обратный процесс-переход молекул из газообразного состояния в жидкое (конденсация). Если число испаряющихся за время τ молекул равно числу молекул, возвратившихся за то время в жидкость, то говорят о динамическом равновесии между жидкостью и ее паром. Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется насыщающим.

В атмосфере Земли всегда имеется водяной пар, образующийся при испарении воды с поверхностей открытых водоемов и растительного покрова. О количестве водяного пара, содержащегося в воздухе, судят по его абсолютной влажности.

Ряд явлений, наблюдаемых в природе, зависит не только от количества пара, содержащегося в атмосфере, а также от того, близок или далек воздух от насыщения паром воды. Например, скорость испарения воды, рост и увядание растений, состояние живых организмов, качество хранимого зерна, гигиена помещений, коррозия металлов и др. Чтобы судить о том, насколько далек воздух от насыщения водяными парами, вводится понятие относительной влажности.

Относительной влажностью f называется отношение абсолютной влажности « a » к тому количеству пара « a_n » которое необходимо для насыщения 1 м^3 воздуха. Относительная влажность выражается в процентах.

$$f = \frac{a}{a_n} 100\%$$

Определить количество пара в воздухе очень трудно, поэтому на практике относительную влажность определяют по формуле:

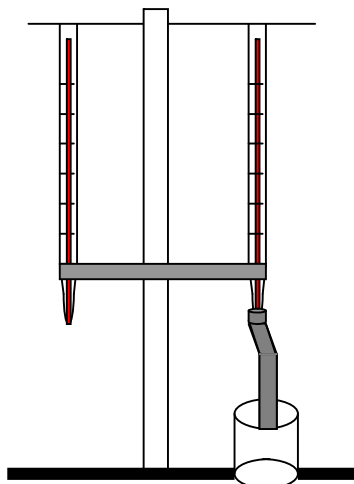
$$f = \frac{p}{p_n} 100\%$$

Где: p - парциальное давление (упругость) водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре;
 p_n - парциальное давление (упругость) насыщающего воздух водяного пара при той же температуре.

Заменить абсолютную влажность упругостью водяного пара можно, если предположить, что воздух и водяной пар подчиняются законам идеального газа.

Описание метода измерения

В данной работе влажность определяется психрометром. Устроен он очень просто (см. рис. 15). Два термометра укреплены на стойке, шарик одного из них обернут батистом, опущенным в сосуд с водой.



Как было отмечено, испарение сопровождается уменьшением внутренней энергии жидкости, поэтому обернутый влажным батином шарик будет охлаждаться, вследствие теплообмена его с испаряющейся жидкостью. Количество тепла, участвующего в теплообмене, рассчитывается по упрощенной формуле Ньютона:

$$Q_1 = kS(T_2 - T_1)\tau \quad (1)$$

Где: S – площадь поверхности шарик;

T_2 – температура окружающей среды, т.е. показания сухого термометра;

T_1 – показания влажного термометра;

τ – время испарения;

k – коэффициент теплопередачи, $\left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{К}} \right]$.

Потери тепла, расходуемые на испарение пополяется количеством теплоты, поступающей из окружающей среды, которую можно вычислить по формуле:

$$Q_2 = Lv\tau \quad (2)$$

Где: v – скорость испарения (количество жидкости, переходящее в пар за единицу времени);

τ – время испарения;

L – коэффициент пропорциональности, численно равный энергии необходимой для испарения единицы массы вещества.

В свою очередь, скорость испарения жидкости может быть найдена по формуле:

$$v = \delta \frac{S}{P_0} (p_n - p) \quad (3)$$

Где: S – площадь поверхности испарения;

P_0 – атмосферное давление;

p – парциальное давление водяного пара при данной температуре;

p_n – парциальное давление насыщенного водяного пара при той же температуре;

δ – коэффициент пропорциональности.

Когда между теплотой, расходуемой на испарение и теплотой, поступающей из окружающей среды наступит равновесие (показания влажного термометра перестанут изменяться) будет справедливо равенство:

$$Q_1 = Q_2 \quad (4)$$

Подставляя в (4) значения Q_1 и Q_2 из выражений (1) и (2) и учитывая выражение (3) получим:

$$kS(T_2 - T_1)\tau = \frac{L\delta S}{P_0} (p_n - p)\tau$$

Решаем полученное уравнение относительно парциального давления при данной температуре:

$$p = p_n - \frac{k p_0}{L \delta} (T_2 - T_1)$$

Величина $A = \frac{k}{L \delta}$ зависит от размеров и формы шарика термометра и является постоянной для данного термометра величиной. Для психрометра, используемого в данной работе, $A = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$, то окончательная формула для расчета упругости водяного пара (абсолютной влажности) принимает вид:

$$p = p_n - A p_0 (T_2 - T_1)$$

После определения абсолютной влажности находят относительную влажность:

$$f = \frac{p}{p_n} 100\%$$

Атмосферное давление p_0 , температуры T_1 и T_2 определяют по показаниям барометра, сухого и влажного термометров, причем показания влажного термометра определяют только после того, как значение температуры уже не будет изменяться. Значение p_n определяется по таблице:

$\Delta T, \text{ К}$	$p_n \cdot 133 \text{ Па}$	$\Delta T, \text{ К}$	$p_n \cdot 133 \text{ Па}$	$\Delta T, \text{ К}$	$p_n \cdot 133 \text{ Па}$
1	4,9	10	9,2	19	16,5
2	5,3	11	9,8	20	17,5
3	5,7	12	10,5	21	18,7
4	6,1	13	11,2	22	19,8
5	6,5	14	12,0	23	21,1
6	7,0	15	12,8	24	22,4
7	7,5	16	13,6	25	23,8
8	8,0	17	14,5	26	25,2
9	8,6	18	15,5	27	26,8

Порядок выполнения

1. Снять показания с сухого термометра T_1 . Конец термометра, обмотанного ватой, смачивают водой. После установления термодинамического равновесия (5-7 минут) снять показания с термометра - T_2 .
2. Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу:

№ опыта	Измерения				Вычисления	
	$T_1, \text{ К}$	$T_2, \text{ К}$	$p_n, \text{ Па}$	$p_0, \text{ Па}$	$p, \text{ Па}$	$f, \%$

3. В справочнике А. С. Еноховича найти психрометрическую таблицу. Определить по вашим данным T_1 и T_2 относительную влажность воздуха и сравнить с вычисленной ранее.

4. Сформулируйте вывод по данной работе.

Контрольные вопросы:

1. В чем сущность процессов испарения и конденсации?
2. Что представляет собой насыщающий пар?
3. Что называется абсолютной и относительной влажностью?
4. Какое давление называется парциальным? Как читается закон Дальтона для парциальных давлений?
5. Какие способы определения влажности Вы знаете?

Лабораторная работа № 12-2

**ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ИСПАРЕНИЯ ЖИДКОСТИ И
ИЗМЕНЕНИЯ ЕЕ ЭНТРОПИИ ПРИ ИСПАРЕНИИ**

Цель работы: определить скорость испарения жидкости.

Приборы и принадлежности: аналитические весы типа АДВ-200, секундомер, штангенциркуль, термометр, две чашки Петри, спирт.

Теоретическое введение.

Первое начало термодинамики не определяет направления протекания процессов. Так, например, самопроизвольный переход внутренней энергии от менее нагретого тела к более нагретому не противоречит первому началу термодинамики, однако, как известно, на практике такой переход не наблюдается.

Характеристикой направленности тепловых процессов может служить так называемая термодинамическая вероятность, являющаяся функцией состояния. Существуют системы, состоящие из множества отдельных элементов (частиц), различные комбинации которых обуславливают состояние системы в целом. Термодинамическая вероятность какого-либо состояния такой системы – это число комбинаций из элементов, ее составляющих, при которых осуществляется данное состояние системы. Сравнивая вероятности двух состояний термодинамической системы можно

установить направление процесса, который возможен в данной системе: это будет переход из менее вероятного состояния в более вероятное.

Вычисление термодинамической вероятности является весьма сложной задачей, т.к. практически чрезвычайно трудно подсчитать число различных комбинаций частиц (молекул), соответствующих тому или иному состоянию системы. Поэтому для термодинамических расчетов используется физическая величина, введенная Клаузиусом и названная им энтропией.

Энтропия, как и термодинамическая вероятность, это физическая величина, характеризующая направленность процессов в природе.

По формуле Больцмана энтропия пропорциональна натуральному логарифму термодинамической вероятности

$$S = k \cdot \ln W \quad (1), \text{ где}$$

k – постоянная Больцмана,

S – энтропия,

W – термодинамическая вероятность.

Исходя из формулы (1), можно сказать, что энтропия определяется логарифмом числа микросостояний, с помощью которых может быть реализовано данное макросостояние. Поэтому энтропия является мерой неупорядоченности системы.

Если система переходит из одного состояния в другое, то меняются термодинамическая вероятность и энтропия:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = k \cdot \ln W_2 - k \cdot \ln W_1 = k \cdot \ln \frac{W_2}{W_1} \quad (2),$$

где индекс 1 относится к первому состоянию, а индекс 2 – ко второму.

По определению энтропии $\Delta S_{1 \rightarrow 2} = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$. Откуда следует, что

$dS = \frac{dQ}{T}$, а в частном случае, который у нас имеет место - изменение энтропии определяется

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (3).$$

Где S_1 - энтропия начального состояния,

S_2 - энтропия конечного состояния,

T – температура, при которой происходит теплообмен,

ΔQ - отданное или полученное количество теплоты.

Основные свойства энтропии:

1. Энтропия полностью определяется состоянием, в котором находится система; она не зависит от того процесса, с помощью которого пришла в это состояние. Поэтому энтропия – функция состояния системы.
2. Энтропия системы, состоящей из двух или нескольких частей (подсистем) равна сумме энтропий этих частей. Т.е. энтропия обладает аддитивностью.

3. При необратимых процессах энтропия возрастает. При обратимых процессах общее изменение энтропии изолированной системы равно нулю (энтропия не изменяется), при необратимых же процессах изменение энтропии всегда положительно (энтропия возрастает)

$$\Delta S \geq 0 \quad (4).$$

Это неравенство (так называемое неравенство Клаузиуса) является вторым началом термодинамики, которое можно сформулировать так: энтропия изолированной системы не убывает.

Сформулированное таким образом второе начало термодинамики не является абсолютным, а имеет статистический смысл: энтропия изолированной системы может и уменьшаться, но вероятность этого процесса тем меньше, чем больше число частиц в системе, и для системы, состоящей из большого числа частиц, вероятность уменьшения энтропии ничтожно мала.

Целью данной работы является измерение скорости испарения жидкости и измерение изменения ее энтропии при испарении.

Разные жидкости имеют разные скорости испарения. Скорость испарения численно равна массе жидкости, испаряющейся с одного квадратного метра свободной поверхности за одну секунду. Если масса испаряющейся жидкости m , площадь свободной поверхности (в случае цилиндрического сосуда) $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$, где d – диаметр сосуда и t – время испарения, то скорость испарения согласно определению равна

$$U = \frac{4m}{\pi \cdot d^2 t} \quad (5),$$

Изменение энтропии жидкости, перешедшей в пар, определяется по формуле

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = \frac{\lambda \cdot m}{T} \quad (6),$$

где λ – удельная теплота парообразования при данной температуре.

Скорость испарения спирта, эфира, бензина и некоторых других жидкостей настолько значительна, что с помощью аналитических весов можно проследить за уменьшением массы жидкости со временем и измерить массу этой жидкости, перешедшей в газовую фазу, что и осуществляется в данной работе.

Описание прибора.

Для точного взвешивания, необходимого в этой работе, рекомендуется применять аналитические весы типа АДВ-200 (см. рис. 16).

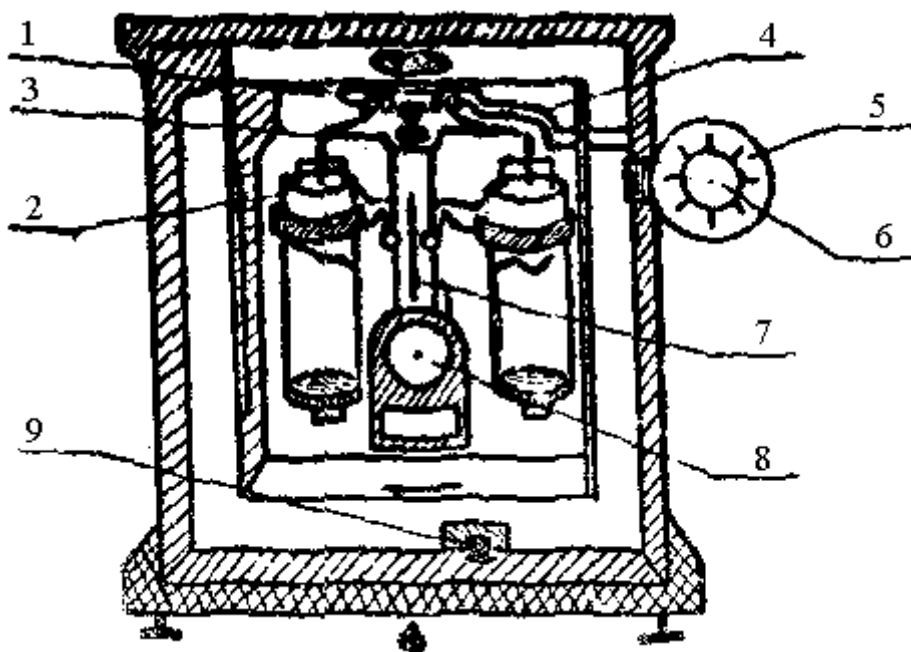


Рис.16 Аналитические весы типа АДВ-200.

Коромысло **1** весов снабжено двумя успокоителями **2** (воздушными демпферами). В футляр весов вмонтированы миллиграммовые разновесы от **10** до **990** мг, которые навешиваются на планку, скрепленную с правой серьгой **3**. Навешивание и снятие разновесов осуществляется системой рычагов **4**, приводящихся в движение лимбами **5** и **6**, расположенными на правой стороне футляра весов. При вращении малого лимба **6** весов навешиваются и снимаются десятки миллиграммов, при вращении большого лимба **5** – сотни миллиграммов.

На коромысле **1** весов укреплена стрелка **7**, у нижнего конца которой расположена микрошкала с отсчетом от **0** до **10** мг с ценой деления **0,1** мг. С помощью оптического устройства, состоящего из подсветки объектива и отражающих зеркал, микрошкала проектируется на экран **8**, расположенный перед колонкой весов.

Под стеклянной доской смонтировано арретирующее приспособление, которое приводится в действие с помощью маховика **9**.

Две из трех ножек весов имеют регулировочные винты. Этими двумя винтами весы устанавливаются по уровню, укрепленному на основании весов.

Порядок выполнения работы.

1. Измерить диаметр чашки Петри и температуру среды.
2. Налить спирт в чашку Петри, чтобы он тонким слоем покрывал все дно чашки и ставят ее на левую чашку весов.
3. На правую чашку весов поставить пустую чашку Петри, и с помощью разновесов с точностью до граммов уравновесить весы (до появления микрометрической шкалы).

4. С помощью лимбов 5 и 6 и маховика 9 установить микрометрическую шкалу на нуль.
5. Включить секундомер.
6. Массу испарившегося спирта записать несколько раз, следя за движением микрометрической шкалы, отмечая каждый раз по секундомеру время испарения.
7. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу.

№ пп	D, м	T, К	m, кг	t, с	U, Дж	ΔS , Дж/К
---------	------	------	-------	------	-------	-------------------

8. Сформулируйте вывод по данной работе.

Примечание: $\lambda_{\text{спирта}} = 885 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Контрольные вопросы.

1. В чем состоит испарение, что называется скоростью испарения.
2. Что такое удельная теплота испарения. Как она изменяется с изменением температуры?
3. Что такое энтропия и что она характеризует? Каков ее физический смысл.
4. Статистическое толкование энтропии. Объясните формулу Больцмана.
5. Второе начало термодинамики.

Лабораторная работа № 13-2 ПРОВЕРКА УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ГАЗА

Цель работы: изучить экспериментально связь между объемом, давлением и температурой воздуха.

Приборы и принадлежности: стеклянная трубка, закрытая с одного конца, два стеклянных цилиндрических сосуда, барометр, линейка, термометр, горячая и холодная вода.

Теоретическое введение.

Основным свойством газообразного состояния вещества является способность газа к неограниченному расширению, давление газа на стенки сосуда и зависимость давления от температуры и объема сосуда. Свойства вещества в газообразном состоянии объясняет молекулярно-кинетическая теория. На основании представлений о газе как совокупности хаотически движущихся молекул, взаимодействующих между собой и со стенками сосуда при столкновениях по законам механики, молекулярно-кинетическая

теория устанавливает связь между объемом V , давлением P , массой m , температурой T и молярной массой μ газа:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad (1).$$

Это уравнение называется уравнением состояния идеального газа.

При теоретическом выводе уравнения состояния допускается ряд упрощающих предположений, поэтому его применимость для описания состояния реальных газов нуждается в экспериментальной проверке.

Если в опыте использовать постоянное количество газа ($m = \text{const}$), то из уравнения (1) следует:

$$\frac{pV}{T} = \text{const} \quad (2).$$

Проверку применимости уравнения (2) для описания свойств воздуха можно выполнить, изменяя температуру, давление и объем, занимаемый воздухом.

Для нагревания и охлаждения постоянного количества воздуха можно использовать стеклянную трубку, запаянного с одного конца.

Сначала трубка опускается в сосуд с горячей водой запаянным концом вниз, а затем в сосуд с холодной водой открытым концом вниз. Если температура воды в первом сосуде T_1 , а во втором T_2 , то два состояния воздуха в трубке описываются параметрами p_1, V_1, T_1 и p_2, V_2, T_2 соответственно. В первом состоянии

давление p_1 воздуха равно атмосферному давлению, во втором состоянии давление воздуха p_2 равно атмосферному давлению плюс давление водяного столба высотой h (см. рис. 16) т.е. $p_2 = p_1 + \rho gh$. Объем воздуха в трубке в первом состоянии равен: $V_1 = lS$, где l – длина трубки, S – площадь поперечного сечения, во втором состоянии объем воздуха равен $V_2 = (l - \Delta l)S$, где Δl – длина столба воды в трубке (см. рис.16).

Целью работы является проверка выполнения равенства $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

$$\text{или } \frac{p_1 l}{T_1} = \frac{(p_1 + \rho gh)(l - \Delta l)}{T_2}.$$

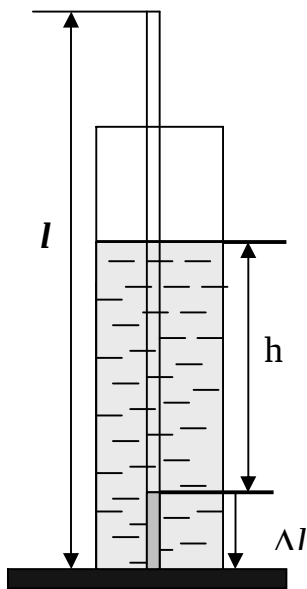


Рис. 17 Схема лабораторной установки (h – высота водяного столба, l – длина трубки, Δl – длина столба воды).

Порядок выполнения работы.

1. Измерьте температуру T_1 в сосуде с горячей водой. Возьмите стеклянную трубку длиной l и опустите ее закрытым концом вниз в сосуд с горячей водой. Когда трубка нагреется и температура воздуха в ней станет равной температуре T_1 воды в сосуде, заткните трубку резиновой пробкой на нитке и опустите пробкой вниз в сосуд с холодной водой. Под водой выдерните пробку за нитку и опустите трубку до дна сосуда.
2. Измерьте температуру T_2 холодной воды. Измерьте длину Δl столба воды в трубке.
3. Определите давление p_1 воздуха в первом состоянии по показаниям барометра и давление p_2 воздуха в трубке во втором состоянии:
 $p_2 = p_1 + \rho gh$, где $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.
4. Вычислите значение $\frac{p_1 l}{T_1}$ и $\frac{(p_1 + \rho gh)(l - \Delta l)}{T_2}$.
5. Придумайте способ третьего измерения объема V_3 того же воздуха при комнатной температуре T_3 и атмосферном давлении p_1 . Осуществите этот способ и вычислите значение $\frac{p_1 V_3}{T_3}$.
6. Сформулируйте вывод по работе.

Контрольные вопросы.

1. Выведите уравнение состояния идеального газа.
2. Почему в опыте трубка сначала погружалась в сосуд с горячей водой, а потом в сосуд с холодной водой?
3. Почему в расчетах не учитывалось давление насыщенного водяного пара во втором опыте?
4. Каков физический смысл универсальной газовой постоянной R ?

Рекомендуемая литература:

1. Грабовский Р.И. «Курс физики» - М., Высшая школа, 2002.
2. Савельев И.В. Курс общей физики: т. I-III, М.: Наука, 1989.
3. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб пособие для вузов. – М.: Высш.шк., 2004
4. Роджерс Э. Физика для любознательных. – М.: МИР, 1970.
5. Фриш С. Э., Тиморева А.В. Курс общей физики – М.: Физматгиз, 1962.
6. Кольчугин Н.А. Курс физики. Механика. Молекулярная физика. Самара: Самар.гос.техн.ун-т, 1999.

7. Китель Ч., Найт У., Рудерман М., Вихман Э., Ритер Ф., Берклеевский Курс физики, М.: Наука, 1971-1974, т. I-V.
8. Сивухин Д.В. Общий курс физики, М.: Наука, 1979-1989, т. I-V.
9. Ахнезер А.И., Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Курс общей физики, М.: Наука, 1969.
10. Астахов А.В., Широков Ю.М. Курс физики.
11. Фейнман Р., Литтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, М.: Мир 1965-1967, вып. 1-9.
12. Матвеев А.Н. Курс общей физики, М.: Высшая школа, 1976-1989, т I-V.