М 1224

МИНИСТЕРСТВО РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКИ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ ПО ФИЗИКЕ

ЧАСТЬ I

МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Ташкент-2021

Авторы: Х.М. Холмедов, Х.Н. Каримов, Ш.И.Абдуллаева,

С.С.Халилов

“Механика. Молекулярная физика и термодинамика” часть I. Методическое пособие для выполнения лабораторных работ по предмету «Физика». – Ташкент: ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий. 2021, 88 с.

Данное методическое пособие разработано на основе учебной программы предмета «Физика» для студентов 1-курса бакалавриата Ташкентского Университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, в ней представлены: темы лабораторных работ, цель работы, необходимое оборудование, краткие теоретические сведения, порядок выполнения работы, необходимые формулы и понятия для выполнения математических расчётов, а также таблицы для ввода данных. Также представлены вопросы по теоретическому материалу, а также список литературы для самостоятельного изучения.

Данное методическое пособие предназначено для студентов 1 го курса всех направлений бакалавриата ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий.

Методическое пособие утверждено и рекомендовано к тиражированию НМС ТУИТ имени Мухаммада ал-Хоразмий (протокол № 9(134) от «27» апрель 2021 г.)

Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий, 2021

ЗАДАЧИ СТУДЕНТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Цель выполнения лабораторных работ по физике — это закрепление полученных теоретических знаний, подготовка студентов к практическому применению законов физики в повседневной жизни и производстве, формирование навыков и умений измерения физических величин.

Поэтому все студенты обязаны выполнять лабораторные работы! Студенты полностью выполнившие и сдавшие лабораторные работы будут допущены к промежуточным и итоговым контролям по теоретическому курсу физики.

Требования к выполнению лабораторных работ:

1. Необходимо завести отдельную тетрадь для лабораторных работ. Студент должен приходить на лабораторные занятия подготовленным и без опоздания.

2. В начале студент подробно изучает описание лабораторной работы и необходимое оборудование, после собеседования с преподавателем студент получает допуск к выполнению лабораторной работы.

Студент не знающий цели и порядка выполнения работы не допускается к выполнению лабораторной работы.

3. Подключение электрической цепи к источнику тока допускается только с разрешения преподователя или лаборанта.

4. Во время выполнения лабораторной работы студенты должны соблюдать тишину и не покидать место выполнения работы, нельзя оставлять цепь подключенной к источнику тока.

5. После выполнения работы цепь отключается от источника тока.

6. На основании полученных результатов производятся расчёты. Данные представляются преподавателю и, если всё верно, получают подпись преподавателя.

7. После выполнения работы все приборы и оборудование сдаётся лаборанту.

8. Преподавателю сдаётся отчёт по выполненной работе.

9. Студенты получают задания на следующий урок.

10. Если остаётся свободное время до конца урока студенты занимаются самообразованием.

ВИДЫ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Любое измерение всегда имеет погрешность. Эти погрешности делятся на два вида – систематические и случайные.

1. Систематическая погрешность присутствует всегда. Погрешность, связанная с не правильной установкой измерительного прибора (связанная с точностью измерения) и не правильным выбором методики измерений является систематической погрешностью. Эта погрешность может появиться в следствии некоторых внешних факторов, например неравномерная градуировка линейки, несоответствие нуля градусов на термометре реальному нулю, неравномерность толщины капилляра термометра, амперметр показания которого отличаются от нуля даже при отсутствии электрического тока и т.д.

Изменение объёма сосуда, содержащего жидкость или газ при нагревании, воздействие выталкивающий силы действующей на гири рычажных весов и теплообмен калориметра с окружающей средой, если не учитывать эти факторы, то возникает систематическая погрешность.

При округлении табличных данных (например плотность, удельная теплоёмкость, модуль упругости и т.д.), а также постоянных входящих в формулы (π, e– основание натурального логарифма, ε и другие) могут также возникнуть систематические погрешности.

Например, если вместо π=3,14159265 взять π =3; π =3,1; π =3,142, или для показателя преломления воды вместо n=1,333 взять n=1,3; n=1,33, то возникает систематическая погрешность. Систематическая погрешность возникает вследствие ряда причин. Систематическая погрешность может оставаться даже если проведено несколько измерений или она может меняться по некоторой закономерности. Систематическую погрешность можно уменьшить, изменив методику измерений, откалибровав измерительные приборы, удалив воздействие систематических внешних воздействий.

2. Случайная погрешность – погрешность возникающая вследствие случайных факторов, которые трудно предугадать, воздействие которых может по разному проявляться при каждом измерении. Например, скачок напряжения в электрической цепи, не однородность в толщине измеряемой пластины, не достаточная освещённость при измерении, несовершенство наших органов

восприятия и т.д. приводят к возникновению случайных погрешностей. Из-за случайных погрешностей измеряя одну и ту же физическую величину можно получить различные значения.

Хотя в некоторых случаях нет возможности удалить случайную погрешность, с помощью математических теорий случайных процессов можно уменьшить влияние случайных погрешностей, и найти наиболее приемлемое выражение для расчёта величины погрешности. Для уменьшения случайной погрешности измерение проводят не один, а несколько раз. Если случайная погрешность больше систематической, нужно уменьшить её величину до величины погрешности измерительного прибора методом многократных измерений.

Кроме систематических и случайных погрешностей существуют также грубые ошибки. Грубые ошибки возникают при неправильном выполнении и измерении. При вычислениях такие значения не должны учитываться. Такие ошибки возникают при не аккуратном использовании шкалы, при без разборном записывании значений. Для удаления таких ошибок нужно заново просмотреть записи и заново проделать измерения. Для того, чтобы не делать грубых ошибок нужно внимательно выполнять измерения по несколько раз и аккуратно записывать их.

ПОГРЕШНОСТЬ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ. СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН, АБСОЛЮТНАЯ И ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ.

Считая, что в процессе измерений были устранены систематические погрешности, связанные с измерительными приборами и грубые ошибки, рассмотрим непосредственно основные правила теории ошибок.

Если в результате измерений некоторой физической величины получены значения $x_1, x_2, x_3, \ldots x_n$ то наиболее близкое к истинному значение будет определяться по формуле

$$x = \langle x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

где n - количество измерений.

1. Значения, полученные при измерениях будут отличаться друг от друга, их разность от среднего значения называется абсолютной погрешностью.

$$\Delta x = \left| \langle x \rangle - x_i \right|.$$

При каком измерении самая маленькая абсолютная погрешность, то измерение наиболее точное. Значения, сильно отличающиеся от среднего значения не учитываются, так как имеют грубую ошибку.

Если в результате n количества измерений найдено $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3 .. \Delta x_n$ абсолютных погрешностей, то средняя абсолютная погрешность равняется среднему арифметическому значению этих погрешностей.

$$<\Delta x>=\frac{\sum\limits_{i=1}^{n}\Delta x_i}{n}.$$

Естественно, истинное значение физической величины будет отличаться на $\pm<\Delta x>$ от найденного среднего значения

$$x=<x>\pm<\Delta x>$$

2. Если во время эксперимента необходимо измерить несколько физических величин, для каждой из них нужно будет найти погрешность измерений. Однако нельзя сравнивать абсолютные погрешности полученных измерений, так как они не однородны, в таких случаях используется относительная погрешность.

Относительная погрешность равняется отношению среднего значения абсолютной погрешности $<\Delta x>$ к средней измеренной величине $<x>$ т.е. $E=\frac{<\Delta x>}{<x>}$ или если выразить в процентах,

$$E=\frac{<\Delta x>}{<x>}\cdot 100\%$$

Имеется другие методы определения погрешностей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАШИНЕ АТВУДА

Цель работы

В результате выполнения работы студент должен:

- знать смысл таких физических величин как скорость, ускорение, масса, сила, импульс, содержание трех законов Ньютона;
- уметь делать простейшие измерения и применять законы кинематики и динамики для описания движения системы связанных грузов.

Задание

1. Изучить устройство машины Атвуда и метод измерений.
2. Проверить закон пути.
3. Проверить закон скорости.
4. Проверить второй закон Ньютона.
5. Оценить точность проделанных измерений.

Описание лабораторной установки

Машина Атвуда (рис.1) состоит из длинной вертикальной стойки А с разделенной на сантиметры шкалой. Наверху стойки укреплен очень легкий, вращающийся с малым трением блок В. Через блок перекинута легкая нить с грузами С и C^I на концах, имеющими одинаковые массы m. Внизу стойки укреплен электромагнит М, который может удерживать груз C^I в нижнем положении. На стойке также имеются две платформы – верхняя Р с круглым отверстием для свободного прохождения груза С (кольцевая платформа) и нижняя D (сплошная платформа), которые можно перемещать вдоль стойки А и крепить в нужных положениях стопорными винтами.

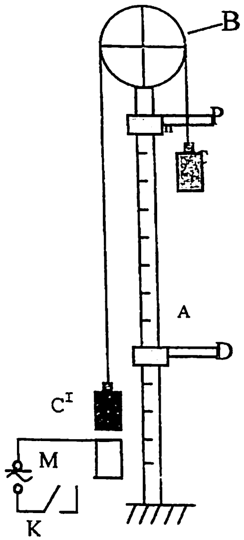


Рис.1

Для работы нужны два перегрузка, снимающиеся кольцевой платформой и имеющие разные массы m_1 и m_2, в несколько раз отличающиеся друг от друга. Кроме того, имеется секундомер. Если один или оба перегрузка положить на груз С или более тяжелый перегрузок положить на груз С, а более легкий - на груз C^I, удерживаемый электромагнитом, и выключить ток в электромагните, то система начнет двигаться равноускоренно, так как действующие силы постоянные. .

Для наблюдения равномерного движения перегрузки надо класть только на груз С. Тогда после снятия перегрузков кольцевой платформой система начнет двигаться равномерно до удара груза С о сплошную платформу

Если же более легкий перегрузок лежит на грузе C^I, то после снятия перегрузка кольцевой платформой с груза С движение будет равнозамедленным.

По второму закону Ньютона ускорение материальной точки пропорционально равнодействующей силе, которая равна векторной сумме всех действующих на нее сил, и обратно пропорционально ее массе. Грузы движутся поступательно, и поэтому их можно считать материальными точками. Нить практически нерастяжима, и поэтому ускорения (как и скорости) грузов C и C^I отличаются только направлениями. Если предположить, что блок B невесом, то натяжение нити будет одинаково справа и слева.

Порядок выполнения работы

I. Проверка закона пути при движении тела из положения покоя с постоянным ускорением

1. На груз C кладут перегрузок, замыкают цепь электромагнита и устанавливают систему в начальном положении так, чтобы груз C^I находился внизу и удерживался электромагнитом. Устанавливают сплошную платформу D на некотором расстоянии от нижнего основания груза C. Кольцевую платформу ставят выше перегрузка.

2. Выключая ток в электромагните, одновременно пускают секундомер. Он останавливается в момент удара груза C о сплошную платформу D. Опыт повторяют 5 раз. Записывают в таблицу 1 результаты измерений и вычисляют среднее время.

3. Передвигают сплошную платформу на 10 – 20 см, измеряют расстояние от нее до нижнего основания груза и снова определяют 5 раз время прохождения этого расстояния при том же перегрузке и вычисляют среднее время.

4. Опыт нужно проделать для трех различных расстояний.

5. При одном и том же перегрузке ускорение системы будет одинаковым (приближенно)

$$\vec{a} = \frac{2S_1}{t_1^2} = \frac{2S_2}{t_2^2} = \frac{2S_3}{t_3^2}$$

Таблица 1

№	$S_1 =$			$S_2 =$			$S_3 =$			$\bar{a} = \frac{1}{3}\sum_1^3 a_i$	δ
	t_1	$< t_1 >$	a_1	t_2	$< t_2 >$	a_2	t_3	$< t_3 >$	a_3		
1											
2											
3											
4											
5											

6. Для оценки точности проверки закона пути при равноускоренном движении надо вычислить относительную погрешность определения ускорения из различных пройденных путей

$$\delta = \frac{<\Delta a>}{<a>} \cdot 100\%,$$

где $< \Delta a \geq \frac{1}{3}\{|< a > -a_1| + |< a > -a_2| + |< a > -a_3|\}$

II. Проверка закона скорости

1. На некотором расстоянии от верхнего основания груза С помещают кольцевую платформу Р. Ниже нее (сантиметров на 30) закрепляют сплошную платформу D. Включают ток в электромагните, устанавливают систему в начальном положении, на груз С кладут перегрузок.

2. Выключают ток в электромагните и одновременно пускают секундомер. Останавливают секундомер в момент снятия

перегрузка платформой P. Отсчитывают время t равноускоренного движения системы на пути S. Время измеряют не менее 5 раз.

3. Чтобы определить скорость, с которой верхнее основание груза проходит кольцевую платформу (скорость груза в момент снятия перегрузка), определяют скорость равномерного движения системы после снятия перегрузка кольцевой платформой. Для определения ее находят путь l при равномерном движении, равный расстоянию между платформами за вычетом высоты груза C, и время τ равномерного движения. Для определения последнего дополняют измерения пункта 2 следующим образом. Выключают ток в электромагните и одновременно включают секундомер. Секундомер останавливают в момент удара груза C о платформу D и отсчитывают время t^{I}. Измерения времени t' повторяют не менее 5 раз для данных значений S и l. Время равномерного движения определяют как $< \tau > = < t' > - < t >$. Тогда $v = \frac{l}{t}$ и $a = \frac{v}{<t>} = \frac{l}{<\tau><t>}$

4. Вышеописанный опыт проделывают не менее, чем для трех различных положений кольцевой платформы P. Сплошную платформу D можно либо оставлять на месте, либо передвигать, например, на такое расстояние, чтобы сохранилось прежним l.

5. Результаты измерений записывают в таблицу 2.

6. При одном и том же перегрузке ускорение системы одинаково. Поэтому имеет место соотношение (приближенно)

$$a_1 = \frac{v_1}{< t_{1>}} = \frac{v_2}{< t_2 >} = \frac{v_3}{< t_3 >}$$

Если перегрузок в первом и во втором опытах один и тот же, то $a_1 + a_2 + a_3$ (приближенно).

7. Оценку точности определения ускорения надо сделать аналогично пункту 5 предыдущей части I.

Аналогично для S_2 , l_2 и S_3, l_3.

Таблица 2

№	$S_1 =$			$l_1 =$		$< a_1 >= \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}$ и $< \Delta a >$
	t'	t	$< \tau >$	$\vartheta_1 = \frac{l_1}{\tau_1}$	$a_1 = \frac{\vartheta_1}{< t_1 >}$	
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						

III. Проверка второго закона Ньютона

На машине Атвуда можно изменять движущую силу, не меняя массы движущейся системы, если перекладывать перегрузки с одного груза на другой. Для проверки основного закона динамики нужно иметь два различных перегрузка.

1. Поднимают кольцевую платформу выше начального положения груза С с перегрузками и устанавливают сплошную платформу на некотором расстоянии S от нижнего основания груза С.

2. Замыкают цепь электромагнита, устанавливают в начальное положение грузы и кладут оба перегрузка на правый груз С.

3. Размыкают ток в электромагните и одновременно пускают секундомер. Останавливают секундомер в момент удара груза C о сплошную платформу D. Измеряют время t 5 раз.

Для этого случая

$$S_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2} \qquad (1)$$

$$m_c a_1 = (m_1 + m_2)g = F_1, \qquad (2)$$

где $$m_c = 2m + m_1 + m_2 .$$

Записывают все значения t_1 и квадрат их среднего значения $< t_1 >^2$, а также S_1 в таблицу 3.

4. Повторяют пункты 1, 2, 3 для других значений S_1' и S_1'' и записывают результаты измерений в таблицу 3.

5. Все проведенные измерения повторяют для случая, когда более легкий перегрузок $(m_2 < m_1)$ положен на левый груз C', а более тяжелый на правый груз C. Для этого случая

$$S_2 = \frac{a_2 t_2^2}{2} \qquad (3)$$

$$m_c a_2 = (m_1 - m_2)g = F_2 \qquad (4)$$

Записывают результаты измерений в правую половину таблицы 3, находят среднее значение времени $< t_2 >$ по пяти измерениям и $< t_2 >^2$.

6. Из (1) и (3) имеем

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2} \qquad (5)$$

а из (2) и (4) получим

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2} \qquad (6)$$

Если измерения покажут равенство правых частей уравнений (5) и (6), то равны и левые. Следовательно, найденное из опытов отношение ускорений (5) такое же, как вычисленное по второму закону Ньютона (2,4).

Для этого по результатам измерений находят отношение $\frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2}$ шесть разных комбинаций или три. Все они должны быть примерно равны между собой и близки к отношению $\frac{F_1}{F_2}$.

$m_1 =$ ____, $m_2 =$ ____ Таблица 3

№	$F_1 = (m_1 + m_2)g$			$F_2 = (m_1 - m_2)g$			$\frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2}$	$\frac{(m_1 + m_2)}{(m_1 - m_2)}$	δ
	S_1	t_1	$< t_1 >^2$	S_2	t_2	$< t_2 >^2$			
1									
2									
3									
4									
5									

№	$F_1 = (m_1 + m_2)g$			$F_2 = (m_1 - m_2)g$			$\frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2}$	$\frac{(m_1 + m_2)}{(m_1 - m_2)}$	δ
	S_1	t_1	$< t_1 >^2$	S_2	t_2	$< t_2 >^2$			
1									
2									
3									
4									
5									

Надо вычислить отношения

$$\delta = \frac{\left(\left|\frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2}\right| - \frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2}\right)}{\frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2}} \qquad (7)$$

и среднее значения их, умноженное на 100 %

$$< \delta > = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \delta_i \cdot 100\%$$

Для упрощения вычислений опыт можно проводить так, чтобы $S_1 = S_2,\ S_1' = S_2',\ S_1'' = S_2''$, то есть после пункта 3 выполнять 5 и т.д. Расстояния могут быть, конечно, и разные, но тогда они в формулах (5) и (7) не сократятся.

Контрольные вопросы

1. Какое движение твердого тела называют поступательным? Что такое материальная точка? Почему поступательное движение твердого тела можно рассматривать как движение материальной точки?

2. Что такое траектория, перемещение, скорость и ускорение? Что такое сила, импульс силы, момент силы? Что такое равнодействующая сила? Сформулируйте три закона Ньютона.

3. Что такое масса? Какую величину называют импульсом материальной точки? Как формулируется основной закон динамики?

4. Какие системы отсчета являются инерциальными? Что такое силы инерции и для чего их вводят?

5. Расскажите об устройстве машины Атвуда. Как на ней наблюдать равномерное, равноускоренное, равнозамедленное движение грузов?

6. Как на машине Атвуда проверяется формула пути при равноускоренном движении?

7. Как на машине Атвуда проверяется закон скорости при равноускоренном движении?

8. Как с помощью машины Атвуда можно проверить второй закон Ньютона?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СТОЛИКА

Цель работы

В результате выполнения лабораторной работы студент должен :

- знать законы кинематики и динамики вращательного движения и определение величин, входящих в эти законы;
- уметь определять моменты инерции тел правильной формы, пользоваться законом сохранения энергии для механической системы.

В данной работе студент должен определить момент инерции составного параллелепипеда динамическим методом с помощью закона сохранения энергии.

Задание:

1. Изучить динамический метод определения момента инерции тел.
2. Изучить принципиальную схему установки – вращающегося столика с грузами.
3. Определить момент инерции составного параллелепипеда двумя методами: экспериментально – с помощью закона сохранения энергии и теоретически - с помощью теоремы Штейнера.
4. Оценить точность измерения путем сравнения экспериментальных результатов с теоретическими. Провести анализ результатов измерения моментов инерции.

Основные теоретические сведения

Вращательным движением твердого тела называется движение, при котором траектории всех точек тела являются окружностями с центрами, лежащими на одной прямой, которая называется осью вращения.

Для описания вращательного движения вводятся угловые характеристики:

1. Период вращения T – время одного полного оборота.
2. Частота вращения ν - число оборотов в единицу времени

$$\nu = \frac{1}{T} \tag{1}$$

3. Угол поворота радиуса вектора dφ

$$d\varphi = \frac{ds_{yoy}}{r}$$

4. Угловая скорость

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \tag{2}$$

5. Угловое ускорение

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \tag{3}$$

Угловые характеристики удобны тем, что они одинаковы для всех точек тела. Угловые характеристики связаны с соответствующими линейными характеристиками следующими соотношениями:

Линейное перемещение

$$dS = rd\varphi \tag{4}$$

где r- радиус вращения.

Линейная скорость

$$v = \omega r \tag{5}$$

Тангенциальное ускорение

$$a_\tau = \beta r \tag{6}$$

Нормальное ускорение

$$a_н = \omega^2 r \tag{7}$$

Угловые характеристики dφ и ω принято считать векторами, направленными по оси вращения и связанными с направлением вращения правилом правого винта (правилом буравчика).

Изменение угловой скорости обуславливается действием момента силы.

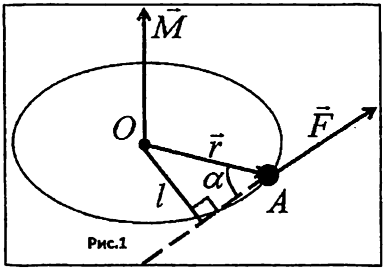


Рис.1

Момент силы численно равен произведению силы на плечо:

$$|\vec{M}| = Fl$$

Плечом силы называется кратчайшие расстояния от оси вращения O до линии действия силы $\vec{F}$ (рис 1). Выражая плечо силы l через радиус – вектор $\vec{r}$

$$l = rSin\alpha,$$

получим

$$|\vec{M}| = FrSina$$

В векторном виде

$$|\vec{M}| = |\vec{r}, \vec{F}| \tag{8}$$

Направление вектора момента силы $\vec{M}$ связано с направлениями $\vec{r}$ и $\vec{F}$ правилом правого винта. Записывая уравнения второго закона Ньютона для материальной точки с массой Δm (рис. 1) и, используя связь линейных и угловых кинематических характеристик можно получить

$$M = \Delta m r^2 \beta = I\beta \tag{9}$$

Скалярная величина $I\beta = \Delta m r^2$ называется моментом инерции материальной точки относительно оси вращения.

Сумма моментов инерции всех точек тела относительно оси вращения

$$I = \sum I_i = \sum \Delta m_i r_i^2 \tag{10}$$

называется моментом инерция твердого тела.

Подобно тому, как всякое тело обладает массой, оно обладает и моментом инерции относительно любой оси независимо от того, вращается ли тело вокруг неё или покоится.

Формулу (10) можно переписать в векторном виде

$$\vec{M} = I\vec{\beta} \tag{11}$$

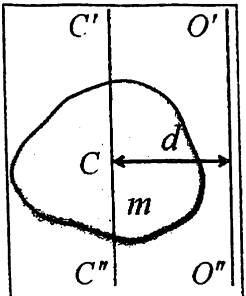


Рис.2

Результирующий момент всех приложенных к телу сил относительно оси вращения равен произведению момента инерции тела относительно этой оси на угловое ускорение.

Так формулируется основной закон динамики (второй закон Ньютона) для вращательного движения. Из него следует, что момент инерции тела является мерой его инертности, то есть играет роль массы во вращательном движении. Момент инерции зависит от распределения массы тела относительно оси вращения. Точки, лежащие вдали от оси, вносят в сумму

$I = \sum \Delta m_i r_i^2$ значительно больший вклад, чем точки, близкие к оси. Величина момента инерции тела зависит от формы, размеров тела, его массы и от положения оси вращения.

Момент инерции тела относительно оси, не проходящей через центр масс (рис.2), определяется по теореме Штейнера: момент инерции тела относительно произвольной оси, не проходящей через центр масс тела, равен сумме момента инерции этого тела относительно оси, проходящей через центр масс и параллельной данной оси, и произведения массы тела на квадрат расстояния между осями

$$I_{O'O''} = I_{x'c''} + md^2 \qquad (12)$$

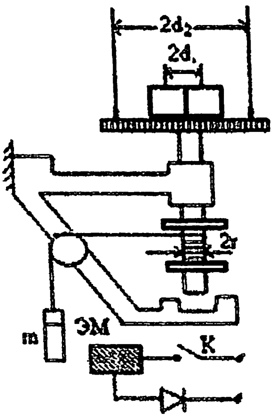
Описание лабораторной установки и метода измерений

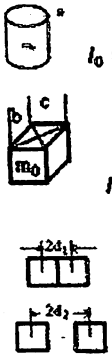
Для определения момента инерции твердых тел в виде двух одинаковых прямоугольных параллелепипедов или двух одинаковых цилиндров радиусами R используется укрепленный на кронштейне круглый горизонтальный столик, способный вращаться около вертикальной оси. Столик скреплен со шкивом, на который намотана нить, перекинутая через закрепленный на кронштейне блок.

В начальный момент груз удерживается электромагнитом в крайнем верхнем положении. При отключении электромагнита груз опускается на нити, раскручивая столик с расположенными на нем телами виде составного параллелепипеда.

В соответствии с законом сохранения энергии, полная механическая энергия системы в начальном состоянии, равная потенциальной энергии поднятого груза, расходуется на кинетическую энергию поступательного движения груза, кинетическую энергию поступательного движения груза, кинетическую энергию вращения столика и на работу против сил трения.

Поскольку величину той части механической энергии, которая расходуется на работу против сил трения в подшипниках, определить сложно, эксперимент проводится с разными опускающимися грузами m_1 и m_2, что позволяет исключить работу трения из рассмотрения, так как она не меняется.





$$I_0 = \frac{1}{2} m_0 R^2 \quad \text{для цилиндров}$$

$$I_0 = \frac{1}{12} m_0 (b^2 + c^2) \quad \text{для параллелепипедов}$$

$$I^T_{гр1} = 2I_0 + 2m_0 d_1^2$$

$$I^T_{гр2} = 2I_0 + 2m_0 d_2^2$$

рис-3 рис-4

Момент инерции груза m_0

Теоретическое определение моментов инерции грузов по теореме Штейнера на центральных и крайних штырях:

$$I^{\text{T}}_{\text{гр}1} = 2I_0 + 2m_0 d_1^2$$

$$I^{\text{T}}_{\text{гр}2} = 2I_0 + 2m_0 d_2^2$$

$$m_1 gh = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{I\omega_1^2}{2} + A_{\text{тр}}, \qquad m_2 gh = \frac{m_2 v_2^2}{2} + \frac{I\omega_2^2}{2} + A_{\text{тр}} \qquad (13)$$

В этой системе I – момент инерции вращающейся системы, v_1, v_2 –линейные скорости грузов, ω_1, ω_2 – угловые скорости вращения прибора после опускания груза в момент удара о платформу.

Используя для поступательного равноускоренного движения груза из состояния покоя формулы кинематики

$$v = at, \qquad h = \frac{at^2}{2} = \frac{vt}{2}, \qquad v = \frac{2h}{t}$$

линейную и угловую скорость $\omega = \frac{v}{r}$, можно заменить через поддающиеся прямым измерениям h и t:

$$v_1 = \frac{2h}{t_1}, \qquad v_2 = \frac{2h}{t_2}, \qquad \omega_1 = \frac{2h}{t_1 r}, \qquad \omega_2 = \frac{2h}{t_2 r}$$

где r – радиус шкива.

С учетом этих замен, система (13) приобретает вид

$$m_1 gh = \frac{m_1^2 h^2}{t_1^2} + \frac{I^2 h^2}{t_1^2 r^2} + A_{\text{тр}} \qquad (14)$$

$$m_2 gh = \frac{m_2^2 h^2}{t_2^2} + \frac{I^2 h^2}{t_2^2 r^2} + A_{\text{тр}} \qquad (15)$$

Вычитая (14) из (15), получим

$$(m - m)g = I\frac{2h}{r^2}\left(\frac{1}{t_2^2} - \frac{1}{t_1^2}\right) + 2h\left(\frac{m_2}{t_2^2} - \frac{m_1}{t_1^2}\right) \qquad (16)$$

Преобразование (16) дает для момента инерции следующее выражение:

$$I = \frac{(m_2 - m_1)gr^2t_1^2t_2^2}{2h(t_1^2 - t_2^2)} - \frac{r^2(m_2t_1^2 - m_1t_2^2)}{t_1^2 - t_2^2} \qquad (17)$$

где I - момент инерции вращающегося столика и всех тел, которые могут на нем находиться, относительно оси вращения.

Для определения момента инерции составного параллелепипеда относительно оси вращения, необходимо провести опыты с вращением нагруженного столика с параллелепипедом и цилиндра , закрепленным на нем в двух разных положениях, и вычислить в каждом случае по формуле (17) моменты инерции вращающейся системы I_1 и I_2. Провести опыт с вращением пустого столика и, найдя по формуле (17) его момент инерции $I_{пс}$, вычесть его из момента инерции всей системы.

$$I_{гр1} = I_1 - I_{пс} \qquad (18)$$

$$I_{гр2} = I_2 - I_{пс} \qquad (19)$$

где $I_{гр1}$ и $I_{гр2}$ – моменты инерции параллелепипедов и и цилиндров , закрепленных в ближних и дальних положениях на столике соответственно.

Порядок выполнения работы

1. Определяют радиус шкива $r = \frac{d}{2}$, измеряя штангенциркулем его диаметр, и записывают в таблицу 1.

2. Взвешивают или узнают по таблицы на установке массы груза m_1. Взвешивают массу перегрузка Δm, который надевается на груз m_1, тем самым находят $m_2=m_1+\Delta m$.

3. Поднимают груз до положения, удерживаемого электромагнитом, и замыкают цепь электромагнита тумблером, расположенным на боковой панели стойки.

4. Измеряют высоту h от платформы, о которую ударяется груз, до нижнего основания груза на нити в положении, удерживаемом магнитом.

5. Размыкают цепь электромагнита и одновременно включают секундомер. Измеряют время t_1 падения груза m_1 при вращении пустого столика. Опыт повторяют 3 раза. Находят среднее значение времени $\langle t_1 \rangle$. Результаты заносят в таблицу 1.

6. На падающий груз надевают перегрузок m_1. Выполняют операции пункта 5, находят среднее значение времени $\langle t_2 \rangle$ опускания груза с перегрузом. Результат заносят в таблицу 1.

7. Располагают составной параллелепипед и цилиндр на центральных шпильках столика. Повторяют операции пунктов 5 и 6 и определяют среднее время опускания грузов $\langle t_1^I \rangle$ и $\langle t_2^I \rangle$ соответственно с падающими грузами m_1 и m_2. Результаты записывают в таблицу 1.

8. Устанавливают составной параллелепипед на крайние шпильки столика. Выполняют операции пунктов 5 и 6 и находят среднее время $\langle t_1^{II} \rangle$ и $\langle t_2^{II} \rangle$ опускания грузов m_1 и m_2 соответственно. Результаты записывают в таблицу 1.

9. Измеряют штангенциркулем размеры параллелепипеда – стороны “b” и “c”(и радиуса R цилиндра) той его грани, в которой сделаны отверстия для установки на шпильки столика.

10. Измеряют расстояния $2d_1$ между центральными и $2d_2$ между крайними шпильками и записывают значения d_1 и d_2 в таблицу 2.

11. Взвешивают на весах одну из двух одинаковых частей составного параллелепипеда и цилиндра и записывают в таблицу 2 значение m_0. t_2

Обработка результатов измерений

1. Подставляют в формулу (17) значения $\langle t_1 \rangle$ и $\langle t_2 \rangle$ и находят момент инерции пустого столика $I_{пс}$.

2. Подставляют в формуле (17) значения $\langle t_1' \rangle$ и $\langle t_2' \rangle$ и находят момент инерции I_1 столика, с находящимися на нем на центральных шпильках телами.

3. Находят экспериментальное значение момента инерции составного параллелепипеда, расположенного на центральных шпильках, относительно оси вращения прибора, вычитая по формуле (18) из момента инерции I_1 нагруженного столика момент инерции пустого столика $I_{пс}$.

4. Подставляют в формулу (17) значения $\langle t_1'' \rangle$ и $\langle t_2'' \rangle$ и находят момент инерции I_2 столика, с находящимися на нем на крайних шпильках телами.

5. Находят экспериментальное значение составного параллелепипеда, расположенного на крайних шпильках, относительно оси вращения прибора, вычитая по формуле (19) из момента инерции I_2 нагруженного столика момент инерции $I_{пс}$ пустого столика.

6. Теоретическое значение момента инерции производится по определяющей формуле $I = \sum m_i r_i^2 = \int r^2 dm$, которая дает для одного параллелепипеда или с R радиуса цилиндра относительно оси, проходящей через его центр масс, $I_0 = \frac{1}{12} m_0 (b^2 + c^2)$ или

$I_0 = \frac{1}{2} m_0 R^2$ с помощью теоремы Штейнера о переносе осей вращения, которая позволяет найти момент инерции составного параллелепипеда и цилиндра относительно оси вращения прибора:

$$I^T_{гр1} = 2I_0 + 2m_0 d_1^2$$

$$I^T_{гр2} = 2I_0 + 2m_0 d_{21}^2$$

Производят сравнение экспериментально и теоретически определенных значений моментов инерции

$$\Delta_1 = \left| I^T_{гр1} - I_{гр1} \right| \qquad \Delta_2 = \left| I^T_{гр2} - I_{гр2} \right|$$

7. Находят относительную ошибку определения момента инерции

$$\delta = \frac{\left| I^T_{гр1} - I_{гр1} \right|}{I^T_{гр1}} \cdot 100\% \qquad \delta = \frac{\left| I^T_{гр2} - I_{гр2} \right|}{I^T_{гр2}} \cdot 100\%$$

Таблица 1

№	r (м)	h (м)	m_1 (кг)	m_2 (кг)	Пустой столик			На центральных шпильках			На крайних шпильках		
					t_1	t_2	I_c	t_1'	t_2'	I_1	t_1''	t_2''	I_2
1													
2													
3													

Вычислить моменты инерции грузов по формулам.

$$I_{гр1} = I_1 - I_c \qquad I_{гр2} = I_2 - I_c$$

$a =$_______, $b =$_______, $R =$________ **Таблица 2**

m_0 (кг)	B (м)	C (м)	d_1 (м)	d_2 (м)	I_0	$I^T_{гр1}$	$I^T_{гр2}$	δ_1	δ_2

Контрольные вопросы

1. В чем состоит метод определения момента инерции тела относительно оси вращения?

2. Как записывается закон сохранения энергии для системы груз – столик - платформа?

3. Что определяют кинематические характеристики вращения – угловой путь, угловая скорость, угловое ускорение? Как они направлены? Как они связаны с соответствующими линейными характеристиками?

4. В чем смысл основных динамических характеристик вращательного движения – момента силы, момента инерции, момента импульса тела? В чем состоит основной закон динамики вращательного движения? Сравните с соответствующим законом поступательного движения и проведите аналогию между динамическими характеристиками обоих движений.

5. Как определяется работа вращательного момента? Чему равна кинетическая энергия вращательного движения твердого тела?

6. Какие характеристики вращательного движения меняются и как при добавлении к грузу на нити перегрузка? На каких характеристиках и как отразилось перемещение тел на вращающемся столике?

7. В чем состоят теоретический и экспериментальный методы определения момента инерции тел?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА

Цель работы

В результате выполнения лабораторной работы студент должен :

- знать законы кинематики и динамики вращательного движения и определение величин, входящих в эти законы;
- уметь определять моменты инерции тел правильной формы, пользоваться законом сохранения энергии для механической системы.

В данной работе студент должен определить момент инерции составного параллелепипеда динамическим методом с помощью закона сохранения энергии.

Задание:

Изучить динамический метод определения момента инерции тел.

Изучить принципиальную схему установки – вращающегося столика с грузами.

Определить момент инерции составного параллелепипеда двумя методами: экспериментально – с помощью закона сохранения энергии и теоретически - с помощью теоремы Штейнера.

Оценить точность измерения путем сравнения экспериментальных результатов с теоретическими. Провести анализ результатов измерения моментов инерции.

Основные теоретические сведения

Вращательным движением твердого тела называется движение, при котором траектории всех точек тела являются окружностями с центрами, лежащими на одной прямой, которая называется осью вращения.

Для описания вращательного движения вводятся угловые характеристики:

1. Период вращения Т – время одного полного оборота.

$$T = \frac{t}{N}$$

2. Частота вращения ν - число оборотов в единицу времени

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (1)$$

3. Угол поворота радиуса вектора dφ.

4. Угловая скорость

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (2)$$

5. Угловое ускорение

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (3)$$

Угловые характеристики удобны тем, что они одинаковы для всех точек тела. Угловые характеристики связаны с соответствующими линейными характеристиками следующими соотношениями:

Линейное перемещение

$$dS = rd\varphi \quad (4)$$

где r- радиус вращения.

Линейная скорость

$$v = \varphi r \qquad (5)$$

Тангенциальное ускорение

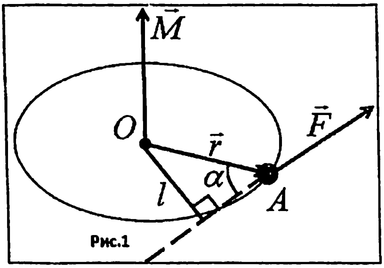
$$a_\tau = \beta r \qquad (6)$$

Нормальное ускорение

$$a_n = \omega^2 r \qquad (7)$$

Угловые характеристики dφ и ω принято считать векторами, направленными по оси вращения и связанными с направлением вращения правилом правого винта (правилом буравчика).

Изменение угловой скорости обуславливается действием момента силы.



Момент силы численно равен произведению силы на плечо:

$$|\vec{M}| = Fl$$

Плечом силы называется кратчайшие расстояния от оси вращения O до линии действия силы $\vec{F}$ (рис 1). Выражая плечо силы l через радиус – вектор $\vec{r}$

$$l = rSin\alpha,$$

Получим

$$|\vec{M}| = FrSina$$

В векторном виде

$$|\vec{M}| = |\vec{r}, \vec{F}| \qquad (8)$$

Направление вектора момента силы $\vec{M}$ связано с направлениями $\vec{r}$ и $\vec{F}$ правилом правого винта. Записывая уравнения второго закона Ньютона для материальной точки с массой Δm (рис. 1) и, используя связь линейных и угловых кинематических характеристик можно получить

$$M = \Delta m r^2 \beta = I\beta \tag{9}$$

Скалярная величина $J\beta = \Delta m r^2$ называется моментом инерции материальной точки относительно оси вращения.

Сумма моментов инерции всех точек тела относительно оси вращения

$$I = \sum I_i = \sum \Delta m_i r_i^2 \tag{10}$$

называется моментом инерция твердого тела.

Подобно тому, как всякое тело обладает массой, оно обладает и моментом инерции относительно любой оси независимо от того, вращается ли тело вокруг неё или покоится.

Формулу (10) можно переписать в векторном виде

$$\vec{M} = I\vec{\beta} \tag{11}$$

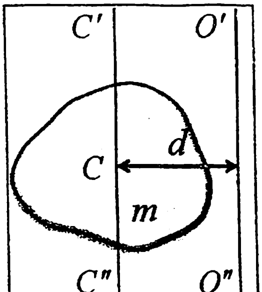


Рис.2

Результирующий момент всех приложенных к телу сил относительно оси вращения равен произведению момента инерции тела относительно этой оси на угловое ускорение.

Так формулируется основной закон динамики (второй закон Ньютона) для вращательного движения. Из него следует, что момент инерции тела является мерой его инертности, то есть играет роль массы во вращательном движении. Момент инерции зависит от распределения массы тела относительно оси вращения. Точки, лежащие вдали от оси, вносят в сумму

$I = \sum \Delta m_i r_i^2$ значительно больший вклад, чем точки, близкие к оси. Величина момента инерции тела зависит от формы, размеров тела, его массы и от положения оси вращения.

Момент инерции тела относительно оси, не проходящей через центр масс (рис.2), определяется по теореме Штейнера: момент инерции тела относительно произвольной оси, не проходящей через центр масс тела, равен сумме момента инерции этого тела относительно оси, проходящей через центр масс и параллельной данной оси, и произведения массы тела на квадрат расстояния между осями

$$I_{O'O''} = I_{x'c''} + md^2 \qquad (12)$$

Описание лабораторной установки и метода измерений

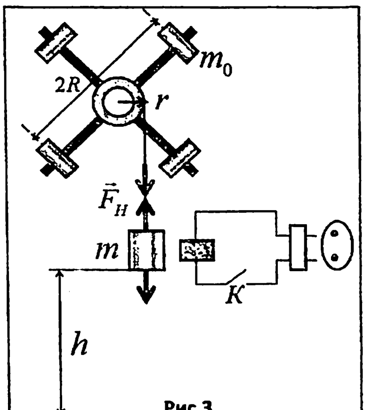


Рис.3

Маятник Обербека представляет собой крестовину, состоящую из четырех одинаковых стержней, вращающуюся около горизонтальной оси. С крестовиной скреплен шкив радиуса r, на который можно наматывать нить с подвешенным к ее концу грузом. На стержнях крестовины симметрично укреплены посредством механического фиксатора четыре груза одинаковой массы m_0 каждый. Расстояния от оси вращения прибора до центра грузов значительно превышают линейные размеры грузов.

Расстояния R_i можно менять, меняя тем самым момент инерции грузов относительно оси вращения.

Крестовина приводится во вращение опускающимся грузом, натягивающим намотанную на шкив прибора нить. Поскольку система содержит поступательно движущийся груз и вращающуюся крестовину, то нужно составить уравнения движения для груза и крестовины, используя основной закон динамики для поступательного и вращательного движений, и решить её.

$$\begin{cases} m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{н} \\ I\vec{\beta} = [\vec{r}_1\vec{F}_{н}] + \vec{M}_{тр} \end{cases} \qquad (13)$$

В этой системе m - масса груза на нити, $\vec{F}_{н}$ - сила натяжения нити, причем

$\vec{F}_{н} = -\vec{F}_{н}{}^{1}$ (по третьему закону Ньютона), $\vec{M}_{тр}$- момент сил трения, $\vec{\beta}$- угловое ускорение, I – момент инерции вращающейся системы относительно оси вращения, «а» – ускорение поступательного движения грузов, которое в случае тонкой нерастяжимой нити соответствует тангенциальному (касательному) ускорению точек поверхности шкива: $a = a_{\tau}$.

При опускании груза вектор углового ускорения и момент силы натяжения нити, приложенный к шкиву, направлены вдоль оси вращения от нас, а момент силы трения – противоположно им. С учетом направления, систему (13) перепишем в скалярной записи:

$$\begin{cases} ma = mg - F_{н} \\ I\beta = F_{н}r + M_{тр} \end{cases} \qquad (14)$$

Ускорение груза и точек шкива определяются из закона пути при равноускоренном движении

$$a = a_\tau = \frac{2h}{t^2}$$

а угловое ускорение – из связи тангенциального и углового ускорений

$$\beta = \frac{a_\tau}{r} = \frac{2h}{t^2 r}$$

Чтобы исключить момент сил трения, эксперимент проводится с разными падающими грузами m_1 и m_2, которые изменяют величину силы натяжения, вращающих моментов и ускорений:

$$I\beta_1 = M_1 - M_{тр} \qquad (15)$$

$$I\beta_2 = M_2 - M_{тр} \qquad (16)$$

Вычитая (15) из (16), получим

$$I(\beta_2 - \beta_1) = M_2 - M_1 \qquad (17)$$

Заменяя

$$\beta_1 = \frac{2h}{t_1^2 r}; \qquad \beta_1 = \frac{2h}{t_2^2 r}$$

$$M_1 = F_{н1} r = m_1(g - a_1) r = m\left(g - \frac{2h}{t_1^2}\right) r,$$

$$M_2 = F_{н2} r = m_2(g - a_2) r = m_2(g - \frac{2h}{t_2^2}) r$$

и, подставляя эти выражения в (17), получим

$$I = \frac{m_2\left(g - \frac{2h}{t_2^2}\right) - m_1\left(g - \frac{2h}{t_1^2}\right) r}{\frac{2h}{r}\left(\frac{1}{t_2^2} - \frac{1}{t_1^2}\right)} \qquad (18)$$

Порядок выполнения работы

1. Определяют радиус шкива r, для чего измеряют штангенциркулем диаметр шкива $d = 2r$ и записывают в таблицу 1.

2. Определяют массу опускающегося груза m_1.

3. Определяют массу перегрузка Δm, который подвешивается к грузу m_1 для изменения вращающего момента и записывают в таблицу 1 значение

$$m_2 = m_1 + \Delta m$$

4. Закрепляют грузы на концах стержней. Наматывают нить на шкив виток к витку и, подведя груз до упора электромагнита, замыкают цепь тумблером на боковой панели и тем самым удерживают груз в верхнем положении.

5. Измеряют расстояние от нижнего основания груза до платформы, о которую груз ударяется при полном раскручивании нити.

6. Включает секундомер и одновременно размыкают цепь электромагнита, заставляя груз опускаться и записывают в таблицу 1 время t_1 падения груза. Опыт повторяют 3 раза и находят среднее время падения груза $\langle t_1 \rangle$.

7. Повторяют 3 раза операции пункта 6, надев на падающий груз перегрузок. Записывают в таблицу 1 значения времени t_2 и находят его среднее значение $\langle t_2 \rangle$.

8. Передвигают грузы на середину стержней, и снова проводят операции пунктов 6 и 7, т.е. заставляют опускаться груз, и

записывают в таблицу 1 значения времени падения t_1^{II} и t_2^{II} и находят средние значения времени $\langle t_1^{II} \rangle$ и $\langle t_2^{II} \rangle$.

9. Измеряют или узнают массу m_0 грузов на крестовине и массу стержней m_c. Записывают их в таблицу 2.

10. Измеряют радиусы вращения грузов на крестовине R_1 и R_2 и длину стержней l и записывают таблицу 2 (при этом целесообразно измерять расстояния между центрами симметричных грузов $2R_1$ и $2R_2$ и расстояние $2l$ между концами стержней).

Обработка результатов измерений

1. Находят момент инерции I_1 крестовины с грузами, закрепленными на концах стержней, для чего в формулу (18) подставляют средние значения времени $\langle t_1^{I} \rangle$ и $\langle t_2^{I} \rangle$.

2. Находят момент инерции I_2 крестовины с грузами, закрепленными посредине, для чего подставляют в формулу (18) средние значения времени $\langle t_1^{II} \rangle$ и $\langle t_2^{II} \rangle$.

3. Находят теоретические значение моментов инерции, пользуясь формулами

$$I_1^{\text{т}} = 4m_0R_1^2 + \frac{4}{3}m_c l^2 \qquad \text{и} \qquad I_2^{\text{т}} = 4m_0R_2^2 + \frac{4}{3}m_c l^2$$

Эти формулы используются, так как в первом приближении при l<R грузы можно считать материальными точками, а для стержней можно считать, что ось проходит через конец стержня.

4. Проводят сравнение экспериментальных и теоретических (расчетных) значений моментов инерции грузов

$$\Delta_1 = I_1^T - I_1, \qquad \Delta_2 = I_2^T - I_2$$

5. Находят относительную ошибку определения момента инерции

$$\delta_1 = \left|\frac{I_1^T - I_1}{I_1^T}\right| 100\% \quad \text{и} \quad \delta_2 = \left|\frac{I_2^T - I_2}{I_2^T}\right| 100\%$$

Таблица 1

№	r (м)	h (м)	m_1 (кг)	m_2 (кг)	Грузы на концах					Грузы на середине				
					t_1'	$< t_1' >$	t_2'	$< t_2' >$	I_1	t_1''	$< t_1'' >$	t_2''	$< t_2'' >$	I_2
1														
2														
3														

Таблица 2

m_0 (кг)	$4m_0$ (кг)	l_1 (м)	R_1 (м)	R_2 (м)	I_1^T	I_2^T	δ_1	δ_2

Контрольные вопросы

1. Что определяют угловые характеристики вращательного движения – угловой путь, угловая скорость, угловое ускорение? Как они направлены? Как они связаны с соответствующими линейными характеристиками?

2. В чем смысл динамических характеристик вращательного движения – момента силы, момента импульса, момента инерции, как они направлены? Укажите их аналоги в поступательном движении.

3. В чем состоит основной закон динамики вращательного движения? Проведите аналогию с соответствующим законом в поступательном движении.

4. Как применяются законы динамики для составления уравнений движения поступательно движущихся и вращающихся тел?

5. В чем заключается метод определения момента инерции грузов в работе?

6. От чего зависит угловое ускорение маятника Обербека, и как оно изменяется в процессе проведения опыта? Каким образом в работе осуществляется изменение вращательных моментов и моментов инерции?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ И ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ ПАДАЮЩЕГО ШАРИКА

Цель работы

В результате выполнения лабораторной работы студент должен:

- знать смысл физических понятий "энергия" и "работа", содержание закона сохранения энергии;
- уметь анализировать превращения энергии в механических процессах на примере падающего шарика.

Задание:

1. Изучить устройство макета установки, метод измерений, применяющийся в работе.
2. Измерить кинетическую и потенциальную энергию падающего шарика.
3. Проанализировать аналитически и графически выполнение закона сохранения энергии.
4. Оценить точность проделанных измерений.

Принадлежности: прибор Гримзеля, стальной шарик к нему, масштабная линейка, полосы чистой бумаги, копировальная бумага, весы.

Основные теоретические сведения

Универсальной мерой всех форм движения материи является энергия - функция состояния механической системы, определяемая конечными конфигурациями и конечными значениями скоростей

$W = f(x, y, z, v_x, v_y, v_z)$. Изменение энергии происходит в процессе силового взаимодействия тела с другими телами, то есть в процессе совершения работы.

Таким образом, энергия - это физическая величина, изменение которой равно работе и являющаяся характеристикой работоспособности тела.

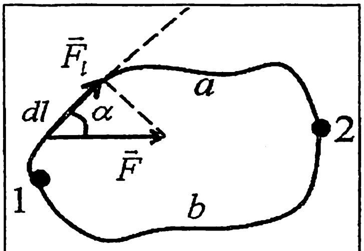


Рис.1

Действие силы $\vec{F}$ на малом перемещении $\vec{dl}$ (рис.1) характеризуется величиной, равной скалярному произведению $\vec{F}$ на $\vec{dl}$, которую называют элементарной работой

$$\delta A = (\vec{F}\vec{dl}) = Fdl\,Cos\alpha = F_e dl \qquad (1)$$

Работа, совершаемая силой $\vec{F}$ на конечном пути l, равна сумме элементарных работ на отдельных малых участках пути

$$A = \int \vec{F}\vec{dl} \qquad (2)$$

Силу $\vec{F}$, действующую на тело, называют **консервативной** или **потенциальной**, если работа A_{12}, совершаемая этой силой при перемещении тела из точки 1 в точку 2, не зависит от того, по какой траектории это перемещение произошло, а зависит только от начального и конечного положения тела (от начальной и конечной конфигурации системы).

$$A_{1-2} = A_{1-a-2} = A_{1-в-2} \qquad (3)$$

Изменение направления движения тела на противоположное вызывает изменение знака работы консервативной силы, поэтому при перемещении тела вдоль замкнутой траектории работа консервативной силы равна нулю

$$\int \vec{F}\vec{d}l = 0 \qquad (4)$$

Из (3) и (4) следует, что работа консервативных сил зависит от конфигурации системы, то есть расположения всех её частей по отношению к системе отсчета. Запас работы, обусловленный конфигурацией системы, представляет собой потенциальную энергию системы. Потенциальная энергия является функцией только её координат. Работа консервативных сил уменьшает потенциальную энергию системы

$$A_{1-2} = W_{\text{п}_1} - W_{\text{п}_2} = -\Delta W_{\text{п}} \qquad (5)$$

Примерами консервативных сил являются силы всемирного тяготения, силы упругости, силы электростатического взаимодействия.

Силы, не удовлетворяющие условиям (3) и (4), называются **неконсервативными.** Частным случаем неконсервативных сил являются диссипативные силы, под действием которых механическая энергия преобразуется в другие формы движения (например, в тепловое).

Если на тело действует одновременно несколько сил $\vec{F}_1, \vec{F}_2 \ldots\ldots \vec{F}_n$ то алгебраическая сумма работ, совершаемых всеми этими силами на малом перемещении $d\vec{l}$, равна работе, совершаемой на том же перемещении равнодействующей силой.

Работу равнодействующей силы можно найти, используя второй закон Ньютона $F = m\frac{dv}{dt}$,и учитывая, что

$$dl = vdt$$

$$A = \int\limits_{v_1}^{v_2} m\frac{dv}{dt}vdt = \int_{v_2}^{v_1} mvdv = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \qquad (6)$$

Из (6) видно, что работа равнодействующей силы идет на приращение величины

$$W_к = \frac{mv^2}{2} \qquad (7)$$

выражающей собой запас возможной работы, которую тело может совершить за счет своего механического движения и которая называется **кинетической энергией тела.**

Сумма потенциальной и кинетической энергии системы тел называется **полной механической энергией системы.**

Тела, образующие механическую систему, могут взаимодействовать как между собой, так и с телами, не принадлежащими к данной системе. В соответствии с этим, силы, действующие на тела системы, можно подразделить на внутренние (с которыми на данное тело действуют остальные тела системы) и внешние (обусловленные действием тел, не принадлежащих системе).

Внутренние силы всегда консервативные, а внешние могут быть как консервативными так и диссипативными. Работа равнодействующей силы изменяет кинетическую энергию системы, работа внешних и внутренних консервативных сил изменяет общую потенциальную энергию системы, работа диссипативных сил изменяет полную механическую энергию системы. Эти изменения связаны соотношением

$$dW_{\text{к}} = -dW_{\text{рвз}} - dW_{\text{рвн}} + dW_{\text{нк}} \qquad (8)$$

или

$$d(W_{\text{к}} + W_{\text{рвз}} + W_{\text{рвн}}) = A_{\text{нк}} \qquad (9)$$

Если в системе действуют только консервативные силы, $dA_{\text{нк}} = 0$ и

$$W_{\text{к}} + W_{\text{рвз}} + W_{\text{рвн}} = W_{\text{к}} + W_p = const \qquad (10)$$

Полная механическая энергия системы тел, на которые действуют только консервативные силы, остается постоянной (закон сохранения механической энергии). В случае действия неконсервативных сил механическая энергия системы уменьшается: происходит диссипация (рассеяние) энергии, но появляется эквивалентное количество энергии других видов. Энергия никогда не исчезает и не появляется вновь, она лишь превращается из одного вида в другой (всеобщий закон сохранения энергии).

Описание лабораторной установки и метода измерений

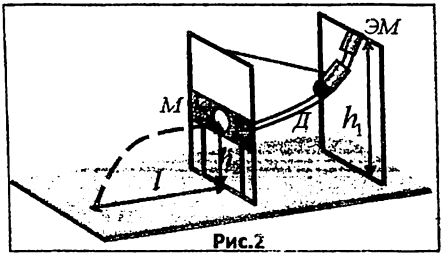


Рис.2

Схема установки (прибора Гримзеля) приведена на рис 2. На горизонтальной доске укреплены вертикальные стойки. К стойкам Н прикреплено на легком бифилярном подвесе медное кольцо так, что при вертикальном положении подвеса отверстие кольца совпадает с отверстием в прикрепленной к этим стойкам поперечной пластине (М).

На стойке укреплена металлическая дуга (Д), по которой перемещается электромагнит (ЭМ).

Ток в обмотке электромагнита включается и выключается тумблером (К). Источником питания электромагнита служит выпрямитель. Подвес должен быть легким, чтобы кольцо и вставленный в него шарик можно было считать двумя совпадающими друг с другом материальными точками.

Если кольцо с шариком отвести в сторону до соприкосновения с электромагнитом в положение А, то электромагнит удержит шарик в этом положении. При размыкании тока в цепи электромагнита шарик придет в движение по траектории, обозначенной пунктиром АВС. По дуге окружности АВ движение шарика, удерживаемого трением в кольце, является вращательным, так как перпендикулярное к плоскости рисунка сечение его поворачивается на угол, равный углу отклонения подвеса. Но этим можно пренебречь. Выскользнув из кольца в точке В, шарик двигается далее поступательно по параболе.

Перемещением электромагнита по дуге можно менять высоту h_1 поднятия шарика.

В точке А шарик обладает потенциальной энергией

$$W_{p1} = mgh_1 \tag{13}$$

В точке В - потенциальной энергией

$$W_{p2} = mgh_2 \tag{14}$$

На пути АВ произошло уменьшение потенциальной энергии шарика на

$$\Delta W_{p2} = W_{p1} - W_{p2} = mg(h_1 - h_2) \tag{15}$$

Одновременно шарик приобрел кинетическую энергию

$$W_к = \frac{mv^2}{2} \tag{16}$$

где v - скорость шарика в точке В, которую можно найти, рассмотрев движение шарика по параболе ВС.

Так как в этой работе сила сопротивления воздуха пренебрежимо мала по сравнению с силой тяжести шарика, то это движение можно считать результатом сложения двух движений - равномерного в горизонтальном направлении со скоростью v и равноускоренного в вертикальном направлении с ускорением $\vec{g}$. В точке В вертикальная составляющая скорости равна нулю. Тогда время движения шарика по траектории ВС равно времени его свободного падения по вертикали BB^1:

$$t = \sqrt{\frac{2h_2}{g}} \tag{17}$$

Определив время движения t и горизонтальное перемещение l, можно вычислить горизонтальную составляющую скорости, которая остается постоянной и равной скорости шарика

$$v = \frac{l}{t} = \frac{l}{\sqrt{\frac{2h_2}{g}}} \tag{18}$$

Шарик, упав на доску, покрытую бумагой с копиркой, оставил на бумаге след, и поэтому линейкой легко измерить горизонтальное перемещение $l = B_1C$.

Подставив полученное значение скорости в формулу (16), находят кинетическую энергию шарика в точке В:

$$W_к = \frac{mgl^2}{4h_2} \quad (19)$$

По закону сохранения энергии величина кинетической энергии в точке В должна быть равна уменьшению потенциальной энергии шарика при его перемещении из точки А в точку В.

$$\frac{mv^2}{2} = mg(h_1 - h_2) \quad (20)$$

или, учитывая (19),

$$\frac{mgl^2}{4h_2} = mg(h_1 - h_2) \quad (21)$$

Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Взвешивают шарик на весах, измеряют высоту h_2. Полученные результаты записывают в верхней части отчетной таблицы 1.

2. Отводят кольцо с шариком в точку А, включают ток в электромагните, измеряют высоту поднятия шарика h_1.

3. Кладут на стол прибора лист бумаги, покрытый копиркой, прижимают его грузиком для предотвращения сдвига. Размыкают ключом К цепь электромагнита. Измеряют линейкой

расстояние $l_i = B_1C_i$, перечеркивают оставленное копиркой пятно на бумаге. Немного смещают бумагу в сторону и покрывают её копиркой.

4. Опыт повторяют 5 раз. Находят среднее арифметическое значение $< l >$ дальности полета шарика для данной высоты h_1.

5. Пункты 2, 3, 4 повторяют для других высот h_1.Закрепляя электромагнит в разных верхних точках верхней половины металлической дуги, меняют высоту h_1. 5 раз.

6. Вычисляют кинетическую энергию W_K шарика в точке B по формуле (19) и соответствующее ему уменьшение потенциальной энергии ΔW_p по формуле (15).

7. Для оценки точности метода вычисляют отношение

$$\delta = \frac{\Delta W_p - W_к}{\Delta W_p} \qquad (22)$$

8. Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу 1.

9. Для наглядности результаты представляют графически. По оси “x” откладывают значение ΔW_p, по оси “y” откладывают значения $W_к$ В соответствии с (20) теоретическая линия должна представлять собой прямую, проходящую под углом 45^0 к осям. Теоретическую линию проводят пунктиром, а экспериментальный график – сплошной линией.

Таблица 1

№	m =…… кг					h_2=…… м		
	h_1 (м)	l_1 (м)	l_2 (м)	l_3 (м)	$< l >$	W_k	ΔW_p	δ
1								
2								
3								

Контрольные вопросы

1. Что такое кинетическая энергия, как она вычисляется? Работа какой силы равна изменению кинетической энергии?

2. Что характеризует потенциальная энергия? Работа каких сил связана с изменением потенциальной энергии?

3. Что такое механическая энергия? Как формулируется закон сохранения энергии в механике? При каких условиях он выполняется?

4. Какие силы называются диссипативными? Как формулируется всеобщий закон сохранения энергии?

5. Объясните схему установки. Почему шарик не скатывается с горки, а двигается вместе с кольцом?

6. Рассмотрите движение тела, обладающего скоростью, направленной горизонтально, в поле силы тяжести. Выведите формулу расчета кинетической энергии.

7. Как вычисляется изменение потенциальной энергии падающего шарика?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ ГАЗА $\frac{C_P}{C_V}$ МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА

Цель работы

Необходимое оборудование и материалы: установка, U образный манометр, насос или компрессор

Цель работы :

Изучение первого закона термодинамики, внутренней энергии и её формулы, ознакомление с удельными теплоёмкостями.

Основные теоретические сведения

Совокупность изучаемых тел называют системой тел или просто системой. Примером системы состоящей из большого количества частиц с очень маленькой массой можно считать газы.

Идеальным газом называется газ молекулы которого на взаимодействуют друг с другом.

Состояние любого газа характеризуется такими параметрами как: давление P , температура T и объём V .

Состояние системы при котором она может находиться долгое время без изменений называется *состоянием равновесия.*

Переход системы из одного состояния в другой называется процессом. Процесс состоящий из последовательности равновесных состояний называется равновесным процессом.

Равновесное состояние и равновесные процессы играют большу роль в термодинамике. Все количественные выводы термодинамики уместны только для равновесных процессов.

Количество теплоты, переданное газу идёт на изменение его состояния, как результат газ совершает работу. Такое изменение основанное на законе сохранения энергии определяется основным законом термодинамики.

Количество теплоты (dQ), переданное газу затрачивается на увеличение его внутренней энергии (dU) и выполнение газом работы (dA).

$$dQ = dU + dA \tag{1}$$

Если система представляет собой идеальный одноатомный газ, то его внутренняя энергия равняется сумме средней кинетической энергии $\langle\varepsilon\rangle = \frac{1}{2}kT$ всех его молекул. Если газ состоит N количества молекул, то его внутренняя энергия:

$$U = N < \varepsilon >= N_A \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} kT = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT \tag{2}$$

здесь $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{26} \frac{1}{кмоль}$ – число Авагадро;

$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{Дж}{K}$ - постоянная Больцмана;

$R = 8{,}31 \cdot 10^{3} \frac{Дж}{(кмоль \cdot K)}$ - универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура, K;

m – масса газа, кг; μ – молярная масса газа;

i - степень свободы молекул газа.

Степенью свободы идеального газа называется число характеризующее количество свободных координат движения молекул в пространстве. Например, для одноатомного газа $i = 3$; двухатомного $i = 5$; для трёх и многоатомных газов $i = 6$.

Из формулы (2) можно получить выражение для определения изменения внутренней энергии газа:

$$dU = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} RdT \tag{3}$$

Так как работа газа при изобарном процессе равна произведению давления P на изменение объёма dV:

$$dA = p \cdot dV \tag{4}$$

Если подставить выражения (3) и (4) в формулу (1) получим математическое выражение первого закона термодинамики:

$$dQ = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RdT + pdV \tag{5}$$

Для характеристики тепловых свойств системы вводится понятие теплоёмкости.

Из основного закона термодинамики (5) можно вывести выражения для состояния идеального газа и теплоёмкостей для различных процессов.

1. Теплоёмкостью тела (C_m) называется количество теплоты необходимое для нагрева вещества на 1 К, т.е.:

$$C_m = \frac{dQ}{dT}, \qquad dQ = C_m dT \tag{6}$$

2. Удельной теплоёмкостью вещества называется физическая величина равная количеству теплоты необходимому для нагрева единицы массы вещества на 1 К, т.е.:

$$C_\mu = \frac{dQ}{\frac{m}{\mu} dT}, \tag{7}$$

$$dQ = \frac{m}{\mu} \cdot C_\mu dT \qquad (7a)$$

Удельная теплоёмкость и молярная теплоёмкость связаны соотношениями:

$$C = \frac{1}{\mu} C_\mu \qquad (8)$$

$$C_\mu = \mu \cdot C \qquad (8a)$$

Теплоёмкость газа зависит от того в каких условиях проходил нагрев. Если вещество нагревается при постоянном объёме $V - const$ $(dV = 0)$, то называется теплоёмкость при постоянном объёме или изохорическая теплоёмкость и обозначается C_V.

Если нагрев происходит при постоянном давлении $P = const$ то называется теплоёмкость при постоянном давлении или изобарическая теплоёмкость и обозначается C_P.

Если некоторому газу передать количество теплоты при постоянном объёме $V = const$ $(dV = 0)$, она идёт только на увеличение внутренней энергии, по этому на основании (5) и (7а) можно написать:

$$dQ_V = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R dT \qquad (9)$$

$$dQ_V = \frac{m}{\mu} \cdot C_V dT \qquad (9a)$$

Из (9) и (9а) молярная теплоёмкость при постоянном объёме равна:

$$C_V = \frac{i}{2} R \qquad (10)$$

Если при постоянном давлении ($P - const$) газу передать тепловую энергию, она будет расходоваться на выполнение газом работы dA_p и увеличение его внутренней энергии dU:

$$dA_P = p \cdot dV = \frac{m}{\mu} RdT \qquad (11)$$

Из (11)

$$R = \frac{A_P}{\frac{m}{\mu} dT} \qquad (11a)$$

Как видно универсальная газовая постоянная равна работе выполняемой одним молем газа при изобарном процессе, когда он нагревается на 1К.

Если написать выражение для dQ_p на основании формул (5), (7а) и (11), получим:

$$dQ_p = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RdT + \frac{m}{\mu} RdT = \frac{m}{\mu}\left(\frac{i}{2} R + R\right) \qquad (12)$$

$$dQ_p = \frac{m}{\mu} C_P dT \qquad (12a)$$

Приравнивая уравнения (12) и (12а) можно определить молярную теплоёмкость при постоянном объёме:

$$C_P = \frac{i}{2} R + R \qquad (13)$$

или

$$C_P = \frac{i+2}{2} R \qquad (13a)$$

так как в (13) $\frac{i}{2} R = C_V$ то:

$$C_P = C_V + R \qquad (13b)$$

Это выражение называется уравнением Роберта Майера.

Отношение молярной теплоёмкости при постоянном давлении на молярную теплоёмкость при постоянном объёме $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ имеет большое значение для распространения звука в адиабатических процессах, а также протекании жидкости в трубах со скоростями близкими к скорости звука.

Разделив (13) на (10) получим выражение характерезующее отношение C_p на C_V:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i} \tag{14}$$

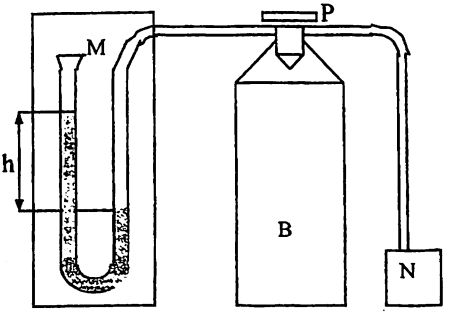
Из (14) видно, что γ зависит от числа характеризующего степень свободы молекул.

γ является постоянной для данного газа и называется коэффициентом Пуассона.

Определение отношения молярных теплоёмкостей $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$ методов Клемена-Дезорма весьма не сложно.

Описание лабораторной установки и метода измерений

Установка представляет собой стеклянный баллон объёмом 10-20 литров (1-рисунок). Объёмом трубок U образного манометра можно пренебречь по отношению к объёму газа. К баллону подсоединён компрессор или



1 - рисунок

насос, который может качать газ в баллон. Пробковая или электромагнитная затычка отделяет газ внутри баллона от атмосферного давления. Для того, чтобы излишки сжатого газа быстро вышли наружу и произошёл адиабатный процесс размер затычки должен быть достаточно широким.

Теория метода

При накачивании воздуха в баллон и резком открытии и закрытии затычки газ проходит нижеследующие три состояния:

1. Если при закрытой затычке накачать воздух в баллон, то давление и температура в баллоне увеличится, но температура в результате теплообмена через некоторое время сравняется с температурой T_1 окружающей среды. При достижении газом температуры T_1 вода в манометре перестанет колебаться и установиться на отметке h_1. Это состояние характеризуется параметрами T_1 и P_1(1-состояние: T_1 и P_1).

Если атмосферное давление P_0 то давление газа в баллоне

$$P_1 = P_0 + h_1 \tag{15}$$

2. Если теперь открыть затычку то давление в баллоне P_1 будет резко уменьшаться до внешнего давления P_0 в адиабатическом процессе. В результате газ в баллоне охладится до температуры T_2 это второе состояние газа (2-состояние: T_2, P_0).

3. Если, как только открыли затычку, тут же её закрыть, то газ в баллоне начнёт изохорически нагреваться. С увеличением температуры газа начнёт увеличиваться и давление, когда температура газа в баллоне сравняется с внешней температурой T_1

повышение давления прекратится, это третье состояние газа (3-состояние: T_1, P_2). Давление внутри сосуда связано с соответствующим давлением которое показывает манометр соотношением:

$$P_2 = P_0 + mgh_2 \tag{16}$$

Так как переход из состояния 1 в состояние 2 происходит адиабатически, можно записать уравнение Пуассона:

$$\frac{P_1^{\gamma-1}}{T_1^{\gamma}} = \frac{P_0^{\gamma-1}}{T_2^{\gamma}} \tag{17}$$

Здесь γ отношение теплоёмкости при постоянном давлении на теплоёмкость при постоянном объёме:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

Переход газа из состояния 2 состояние 3 происходит изохорически при постоянном объёме, можно написать закон Гей-Люссака

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_0}{T_2} \tag{18}$$

При подстановки в (17) выражение для P_1 из уравнения (15) с перестановкой членов, можно получить выражение:

$$\left(\frac{P_0 + h_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\gamma} \tag{18a}$$

или $$\left(1 + \frac{h_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} = \left(1 + \frac{T_1 - T_2}{T_2}\right)^{\gamma} \tag{19}$$

Так как значения $\frac{h_1}{P_0}$ и $\frac{T_1 - T_2}{T_2}$ во много раз меньше единицы, то можно их разложить двучлен на бином Ньютона и взять с точностью первого порядка:

$$\left(1+\frac{h_1}{P_0}\right)^{\gamma-1} = 1\cdot(\gamma-1)\frac{h_1}{P_0}+\ldots \approx 1+(\gamma-1)\frac{h_1}{P_0}\ ,$$

$$\left(1+\frac{T_1-T_2}{T_2}\right)^{\gamma} = 1+\gamma\frac{T_1-T_2}{T_2}+\ldots \approx 1+\gamma\frac{T_1-T_2}{T_2}\ .$$

Итак уравнение (10) можно написать приблизительно:

$$1+(\gamma-1)\frac{h_1}{P_0} = 1+\gamma\frac{T_1-T_2}{T_2} \qquad (20)$$

Из этого

$$P_0\frac{T_1-T_2}{T_2} = \frac{\gamma-1}{\gamma}h_1 \qquad (20a)$$

С другой стороны подставив выражение для P_2 из выражения (16) в (18) получим:

$$h_2 = P_0\frac{T_1-T_2}{T_2} \qquad (21)$$

Значит,

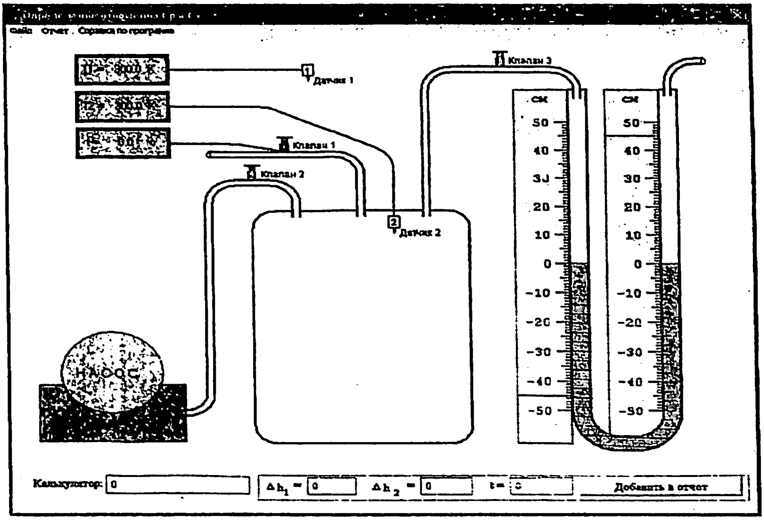
$$h_2 = h_1\frac{\gamma-1}{\gamma} \qquad (22)$$

Если из этого выражения определить отношение теплоёмкости при постоянном давлении на теплоёмкость при постоянном объёме γ:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{h_1}{h_1-h_2} \qquad (23)$$

Для определения γ из этого уравнения нужно измерить на сколько больше давление внутри сосуда больше атмосферного, т.е. измерить h_1 и h_2.

Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений



1. Для открытия и закрытия клапанов нужно нажать на них мышкой.

2. Приведите клапаны в начальное состояние:

- *1-клапан* , соединяет баллон с атмосферой – закрыт.
- *2- клапан*, соединяет баллон с компрессором – закрыт.
- *3- клапан*, соединяет баллон с манометром – открыт

3. Нажмите кнопку «сеть» в передней части баллона и приведите в действие компрессор.

4. Откройте клапан 2 соединяющий баллон с компрессором и наблюдайте увеличение давления в баллоне. Закачивайте воздух в баллон пока $h'_{прав} - h'_{лев} = (60 \div 70)$ см.

5. Закройте 2-клапан и выключите насос. Знайте, если выключить насос, не закрыв 2 клапан, то воздух проникая через насос будет приводить к уменьшению давления в баллоне.

6. Подождите пока температура газа в баллоне не станет равной температуре в окружающей среде. При этом давление немного уменьшается. Внесите показания манометра $h_1 = h'_{прав}$ - $h'_{лев}$ в таблицу.

7. Откройте 1-клапан пока уровни воды в манометре не сравняются, а потом тут-же закройте.

8. Подождите пока температура в баллоне не станет равной комнатной температуре. Запишите в таблицу значение $h_2 = h'_{прав} - h'_{лев}$ которое установиться после этого.

9. Откройте 1-клапан, для повторения опыта приведите систему в начальное состояние.

10. Повторите пункты 4-9, полученные данные запишите в таблицу.

11. Повторите опыт минимум 10 раз, с помощью формулы (23) определите значение γ. Полученное значение должно быть близко к значению рассчитанному по формуле (14) для воздуха можно принять $i = 5$.

12. Для каждого измерения определите γ_i, его среднее значение $\langle\gamma\rangle$, абсолютную погрешность $\Delta\gamma_i$ и среднюю абсолютную погрешность $\langle\Delta\gamma\rangle$, истинное значение $\gamma = <\gamma> \pm <\Delta\gamma_i>$ и относительную погрешность $\delta(\gamma) = \frac{<\Delta\gamma>}{<\gamma>}$. Все полученные результаты записываются в следующую 1-таблицу.

1-таблица

№	h_1	h_2	γ_i	$\langle\gamma\rangle$	$\Delta\gamma_i$	$\langle\Delta\gamma\rangle$	$\delta(\gamma),\%$
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							

Контрольные вопросы

1. Какой газ называется идеальным?

2. Что называется теплоемкостью? Почему теплоемкость газов зависит от условий нагревания?

3. Какой процесс называется адиабатическим? Получите уравнение для этого процесса.

4. Почему C_p больше C_V? Какой смысл имеет универсальная газовая постоянная?

5. Как и почему меняется температура газа в баллоне при проведении опыта?

6. Как выражается внутренняя энергии газа?

6. Подождите пока температура газа в баллоне не станет равной температуре в окружающей среде. При этом давление немного уменьшается. Внесите показания манометра $h_1=h'_{прав}$ - $h'_{лев}$ в таблицу.

7. Откройте 1-клапан пока уровни воды в манометре не сравняются, а потом тут-же закройте.

8. Подождите пока температура в баллоне не станет равной комнатной температуре. Запишите в таблицу значение $h_2=h'_{прав}$ $-h'_{лев}$ которое установиться после этого.

9. Откройте 1-клапан, для повторения опыта приведите систему в начальное состояние.

10. Повторите пункты 4-9, полученные данные запишите в таблицу.

11. Повторите опыт минимум 10 раз, с помощью формулы (23) определите значение γ. Полученное значение должно быть близко к значению рассчитанному по формуле (14) для воздуха можно принять $i=5$.

12. Для каждого измерения определите γ_i, его среднее значение $\langle\gamma\rangle$, абсолютную погрешность $\Delta\gamma_i$ и среднюю абсолютную погрешность $\langle\Delta\gamma\rangle$, истинное значение $\gamma=<\gamma>\pm<\Delta\gamma_i>$ и относительную погрешность $\delta(\gamma)=\frac{<\Delta\gamma>}{<\gamma>}$. Все полученные результаты записываются в следующую 1-таблицу.

1-таблица

№	h_1	h_2	γ_i	$\langle\gamma\rangle$	$\Delta\gamma_i$	$\langle\Delta\gamma\rangle$	$\delta(\gamma),\%$
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							

Контрольные вопросы

1. Какой газ называется идеальным?

2. Что называется теплоемкостью? Почему теплоемкость газов зависит от условий нагревания?

3. Какой процесс называется адиабатическим? Получите уравнение для этого процесса.

4. Почему C_p больше C_V? Какой смысл имеет универсальная газовая постоянная?

5. Как и почему меняется температура газа в баллоне при проведении опыта?

6. Как выражается внутренняя энергии газа?

6. Подождите пока температура газа в баллоне не станет равной температуре в окружающей среде. При этом давление немного уменьшается. Внесите показания манометра $h_1 = h'_{прав} - h'_{лев}$ в таблицу.

7. Откройте 1-клапан пока уровни воды в манометре не сравняются, а потом тут-же закройте.

8. Подождите пока температура в баллоне не станет равной комнатной температуре. Запишите в таблицу значение $h_2 = h'_{прав} - h'_{лев}$ которое установиться после этого.

9. Откройте 1-клапан, для повторения опыта приведите систему в начальное состояние.

10. Повторите пункты 4-9, полученные данные запишите в таблицу.

11. Повторите опыт минимум 10 раз, с помощью формулы (23) определите значение γ. Полученное значение должно быть близко к значению рассчитанному по формуле (14) для воздуха можно принять $i = 5$.

12. Для каждого измерения определите γ_i, его среднее значение $\langle\gamma\rangle$, абсолютную погрешность $\Delta\gamma_i$ и среднюю абсолютную погрешность $\langle\Delta\gamma\rangle$, истинное значение $\gamma = <\gamma> \pm <\Delta\gamma_i>$ и относительную погрешность $\delta(\gamma) = \frac{<\Delta\gamma>}{<\gamma>}$. Все полученные результаты записываются в следующую 1-таблицу.

1-таблица

№	h_1	h_2	γ_i	$\langle\gamma\rangle$	$\Delta\gamma_i$	$\langle\Delta\gamma\rangle$	$\delta(\gamma)$,%
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							

Контрольные вопросы

1. Какой газ называется идеальным?
2. Что называется теплоемкостью? Почему теплоемкость газов зависит от условий нагревания?
3. Какой процесс называется адиабатическим? Получите уравнение для этого процесса.
4. Почему C_p больше C_V? Какой смысл имеет универсальная газовая постоянная?
5. Как и почему меняется температура газа в баллоне при проведении опыта?
6. Как выражается внутренняя энергии газа?

7. Что такое число степеней свободы? Как выражается теплоемкость и показатель адиабаты через число степеней свободы? Как распределяется энергия молекул идеального газа по степеням свободы?

8. Изобразите на $P-V$ диаграмме известные вам процессы, укажите на них работу газа. Чему она равна для различных процессов?

9. Как для них выглядит первое начало термодинамики? Чему равно изменение внутренней энергии в каждом случае?

10. Дайте определение политропического процесса и проанализируйте уравнение политропы для каждого изопроцесса

11. Изобразите на $P-V$ диаграмме те процессы, которые происходят с газом в баллоне при определении γ. Объясните метод и получите расчетную формулу.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ ПО МЕТОДУ СТОКСА

Цель работы

В результаты выполнения лабораторной работы студент должен:

- знать сущность и механизм явлений переноса; уравнения, описывающие явления переноса, методы, позволяющие определять коэффициенты переносы;
- уметь определять коэффициент переноса на основании проведенных измерений.

Задание:

1. Изучить метод Стокса и лабораторную установку.
2. Измерить диаметры 10 шариков и время их падения в жидкости, записать параметры установки.
3. Вычислить коэффициент вязкости жидкости.
4. Оценить точность измерений.

Описание метода и лабораторной установки

При движении твердых тел в вязкой жидкости или газе достаточно малым скоростями сопротивление среды обусловлено практически только силами внутреннего трения, действующими на слой жидкости, прилипающий к поверхности тела за счет сил молекулярной взаимодействия и движущийся вместе с телом. По закону, установленному Стоксом, сила сопротивления в этом случае пропорциональна вязкости жидкости или газа, скорости движения тела и характерному размеру тела. На шарик, движущийся в жидкости, сила Стокса определяется выражением

$$F_C = 3\pi\eta d v \qquad (1)$$

где n - вязкость жидкости, d - диаметр шарика, v –скорость его движения. Если шарик падает в жидкости, то его движение происходит под действием трех сил (рис.5):

1. Силы тяжести $P = mg = \frac{1}{6}\pi d^3 \rho g$, ρ –плотность вещества шарика, g –ускорения свободного падения, направленное вниз,

2. Силы Архимеда $F_A = \frac{1}{6}\pi\rho_ж g$, равной силе тяжести вытесненной жидкости и направленной вверх. $\rho_ж$- плотность жидкости.

3. Силы сопротивления Стокса $F_C = 3\pi\eta d v$, направленной вверх. По второму закону Ньютона

$$m\frac{dv}{dt} = P - F_A - F_C = \frac{1}{6}\pi d^3(\rho - \rho_ж)g - 3\pi\eta d v \qquad (2)$$

При увеличении скорости движения шарика увеличивается значение силы Стокса до тех пор, пока движение шарика не станет равномерным со скоростью $v_м$, то есть выполнится условие

$$P - F_A - F_C = 0 \qquad (3)$$

или

$$\frac{1}{6}\pi d^3(\rho - \rho_ж)g - 3\pi\eta d v = 0 \qquad (4)$$

Из (4) получается расчетная формула для вязкости, определяемой по методу Стокса

$$\eta = \frac{1}{18}\cdot\frac{d^2(\rho - \rho_ж)g}{v_м} \qquad (5)$$

Нужно отметить, что применение метода Стокса возможно только при малых скоростях движения, так как только при малых скоростях движение слоев жидкости будет ламинарным (слоистым). Про больших скоростях сопротивление движению может быть пропорциональным квадрату, и даже кубу скорости. Это связано с тем, что в этом случае за телом в среде возникает вихри (турбулентное движение), а давление в вихревой области понижено. Кроме того, если жидкость ограничена цилиндрическим сосудом, внутренний диаметр которого D и высоты жидкости в нем h, то в формулу Стокса 1 войдет поправочный множитель (1+2.4 d/D) $(I + 0.66\frac{d}{n})$, который появится в знамена теле формулы (5), поэтому размеры шарика должны быть такими, чтобы выполнять условия $d \ll D$ и $d \ll h$

Прибор применяемый для проведения измерений вязкости, состоит из стеклянного цилиндра А, укрепленного на подставке (рис.5) Цилиндр наполнен исследуемой жидкостью (глицерин или масло). На внешней поверхности цилиндра имеются две метки - В и С в виде колец, расположенных на расстоянии l одна от другой.

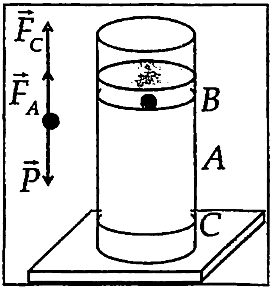


Рис.5

Верхняя метка находится ниже уровня жидкости на 10 см. Предполагается, что шарик достигает $v_м$ на пути, длина которого меньше этого расстояния.

Для измерения диаметров шариков пользуется микроскоп с окулярным микрометром. Окулярный микрометр представляет движения тела и характерному размеру тела. На шарик, движущийся в жидкости, сила Стокса определяется выражением

$$F_C = 3\pi\eta dv \quad (1)$$

где n - вязкость жидкости, d - диаметр шарика, v —скорость его движения. Если шарик падает в жидкости, то его движение происходит под действием трех сил (рис.5):

1. Силы тяжести $P = mg = \frac{1}{6}\pi d^3 \rho g$, ρ —плотность вещества шарика, g —ускорения свободного падения, направленное вниз,

2. Силы Архимеда $F_A = \frac{1}{6}\pi\rho_ж g$, равной силе тяжести вытесненной жидкости и направленной вверх. $\rho_ж$- плотность жидкости.

3. Силы сопротивления Стокса $F_C = 3\pi\eta dv$, направленной вверх. По второму закону Ньютона

$$m\frac{dv}{dt} = P - F_A - F_C = \frac{1}{6}\pi d^3(\rho - \rho_ж)g - 3\pi\eta dv \quad (2)$$

При увеличении скорости движения шарика увеличивается значение силы Стокса до тех пор, пока движение шарика не станет равномерным со скоростью $v_м$, то есть выполнится условие

$$P - F_A - F_C = 0 \quad (3)$$

или

$$\frac{1}{6}\pi d^3(\rho - \rho_ж)g - 3\pi\eta dv = 0 \quad (4)$$

Из (4) получается расчетная формула для вязкости, определяемой по методу Стокса

$$\eta = \frac{1}{18} \cdot \frac{d^2(\rho - \rho_ж)g}{v_м} \quad (5)$$

Нужно отметить, что применение метода Стокса возможно только при малых скоростях движения, так как только при малых скоростях движение слоев жидкости будет ламинарным (слоистым). Про больших скоростях сопротивление движению может быть пропорциональным квадрату, и даже кубу скорости. Это связано с тем, что в этом случае за телом в среде возникает вихри (турбулентное движение), а давление в вихревой области понижено. Кроме того, если жидкость ограничена цилиндрическим сосудом, внутренний диаметр которого D и высоты жидкости в нем h, то в формулу Стокса 1 войдет поправочный множитель $(1+2.4\,d/D)\,(I+0.66\frac{d}{n})$, который появится в знамена теле формулы (5), поэтому размеры шарика должны быть такими, чтобы выполнять условия $d \ll D$ и $d \ll h$

Прибор применяемый для проведения измерений вязкости, состоит из стеклянного цилиндра А, укрепленного на подставке (рис.5) Цилиндр наполнен исследуемой жидкостью (глицерин или масло). На внешней поверхности цилиндра имеются две метки - В и С в виде колец, расположенных на расстоянии l одна от другой.

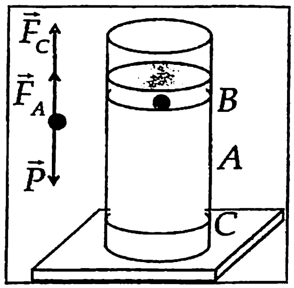


Рис.5

Верхняя метка находится ниже уровня жидкости на 10 см. Предполагается, что шарик достигает $v_м$ на пути, длина которого меньше этого расстояния.

Для измерения диаметров шариков пользуется микроскоп с окулярным микрометром. Окулярный микрометр представляет собой тонкую пластинку с нанесенной на нее шкалой. Это пластинка устанавливается в окуляре микроскопа. При рассматривании шарика в микроскоп одновременно видна шкала окулярного микрометра. Цена деления окулярного микрометра указа на микроскопе.

Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1. Шарик кладут пинцетом на предметное стекло микроскопа, располагая это стекло так, чтобы шарик был примерно в центре поля зрения микроскопа. Записывают в таблицу 1 числовые отметки по окулярному микрометру N_1^I и N_2^I соответствующие противоположным концам диаметра шарика. Поворачивают окуляр со шкалой примерно на 60^0 и записывают в таблицу 1 отметки N_1^{II} и N_2^{II} . Еще раз поворачивают окуляр со шкалой примерно на 60^0 и записывают в таблицу 1 отсчета N_1^{III} и N_2^{III}

2. Шарик пинцетом бросают в жидкость у осевой линии цилиндра. Секундомером измеряют время падения шарика τ между метками В и С. Для этого располагают глаз на уровне верхней метки. Затем располагают глаз на уровне нижней метки и выключают секундомер в момент прохождения шариком нижней метки. Данные измерений записывают в таблицу 2. Измерения по пунктам 1 и 2 выполняют для 10 шариков. Предлагаемые для выполнения данной работы шарики имеют самые различные размеры и не совсем сферическую. Измерения диаметра шарика по

различным направлениям помогает превратить систематическую ошибку в случайную.

3. Масштабной линейкой измеряют расстояние l между метками В и С. Результат записывают в таблицу 2

4. Записывают в таблицу 2 плотность материала шариков ρ и плотность исследуемой жидкости $\rho_ж$, указанные на установке.

5. Вычисляют диаметром шариков $\Delta N_i^I = N_{i2}^I - N_{i1}^I$ и и $\Delta N_i^{II} = N_{i2}^{II} - N_{i1}^{II}$, $\Delta N_i^{III} = N_{i2}^{III} - N_{i1}^{III}$, выраженные в делениях шкалы и находят среднее значение диаметра $< \Delta N_i >= \frac{\Delta N_i^I + \Delta N_i^{II} + \Delta N_i^{III}}{3}$, выраженные в делениях. Результаты заносят таблицу 1.

6. Умножают среднее значение диаметра шарика $< \Delta N_i >$, выраженные в делениях, на цену деления шкалы и записывают средний диаметр шарика d_i, выраженных в метрах, в таблицу 2

По формуле (5)

$$\eta_i = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho - \rho_ж) g < d_i^2 >}{v_м} = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho - \rho_ж) g < d_i^2 > \tau_i}{l} \qquad (5a)$$

вычисляют значения коэффициента вязкости, полученные в каждом опыте. Результаты записывают в таблицу 2.

7. Вычисляют среднее значение коэффициента вязкости $< \eta >= \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \cdots}{n}$ и находят абсолютную ошибку каждого измерения $\Delta \eta_i = |< \eta > - \eta_i|$.

8. Вычисляют среднюю квадратичную ошибку среднего значения (как при прямых измерениях) $S_{<\eta>} = \sqrt{\frac{\sum \Delta \eta_i^2}{n(n-1)}}$ где $n = 10$.

9. Определяют доверительный интервал $\Delta\eta = S_{<\eta>} t_{an}$, где t_{an} – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $a = 0{,}95$.

10. Вычисляют относительную ошибку $\delta = \frac{\Delta n}{<\eta>} * 100\%$. Результаты заносят в таблицу 2.

11. Результат измерений представляют в виде $n =< \eta > \mp \Delta\eta$

Таблица 1

№	Числовые отметки по окулярному микрометру						Диаметр шарика (в делениях)			Средний диаметр шарика (в делениях) $<\Delta N>$
	N'_{i1}	N'_{i2}	N''_{i1}	N''_{i2}	N'''_{i1}	N'''_{i2}	$\Delta N'_i$	$\Delta N''_i$	$\Delta N'''_i$	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Таблица 2

№ шарика	Средний диаметр шарика d_i(м)	Время паде-ния шарика τ_i(с)	$< l >$ (м)	Вязкость η_i	$< \eta >$	$< \Delta\eta >$	$S_{<\eta>}$	$\Delta\eta$	$\delta = \frac{\Delta\eta}{< \eta >}$
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Контрольные вопросы

1. Какую роль играют столкновения между молекулами для установления равновесия в молекулярных системах?

2. Что такое эффективный диаметр молекул и средняя длина свободного пробега?

3. В чем сущность явлений переноса? Когда они возникают?

4. Запишите и сформулируйте эмпирические уравнения Фика, Фурье и Ньютона. Объясните смысл коэффициентов переноса (вязкости, диффузии, теплопроводности).

5. Как определяется величина и направление градиента концентрации (скорости, температуры)? Что означает знак (-) в уравнения переноса?

6. В чем состоит молекулярно-кинетическое толкование явлений переноса? Выведите все явления переноса из молекулярной – кинетической теории газов.

7. В чем особенности протекания явления переноса в жидком и твердом состояниях?

8. метод и метод температурного градиента определения коэффициента вязкости и теплопроводность?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7.

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСВЕЛЛА

Цель и содержание работы

Целью работы является изучение на компьютерной модели Максвелловского распределения молекул идеального газа по величинам скоростей.

Содержанием работы является:

- Получение на основе компьютерной модели максвелловского распределения молекул газа по скоростям при различных температурах.
- Изучение зависимости наиболее вероятной скорости молекул газа от температуры.
- Определение массы молекул в данной модели.

Краткая теория работы

Вопрос о распределении молекул по скоростям включает распределение молекул, как по направлениям, так и по величине (модулю) скорости. Ответ на первый вопрос очевиден: в отсутствие внешнего поля, распределение молекул по направлениям скорости является равномерным (все направления движений молекул равновероятны). Основным является вопрос о законе распределения молекул по абсолютным значениям скоростей. Этот закон был установлен Максвеллом для физической макросистемы при соблюдении следующих условий:

1) состояние системы равновесно (при $T=const$);

2) внешние поля отсутствуют;

3) движение частиц системы подчиняется законам классической механики.

Функция распределения Максвелла $F(v)$ имеет вид:

$$F(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} 4\pi v^2 \quad (1)$$

или.

$$F(v) = \left(\frac{\mu}{2\pi RT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{\mu v^2}{2RT}} 4\pi v^2 \quad (2)$$

Здесь v – скорость, m – масса молекулы, μ – молярная масса газа, $k=1,38\cdot10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, $R=8,314$ Дж/(К·моль) – газовая постоянная, T – температура.

Максвелловская функция распределения $F(v)$ позволяет найти относительную долю молекул dN_v/N, величина скорости которых лежит в интервале (v, $v+dv$). В эквивалентной интерпретации – найти вероятность dPv того, что модуль скорости произвольной молекулы окажется в пределах от v до $v+dv$:

$$dP_v = \frac{dN_v}{N} = F(v)dv \quad (3)$$

Таким образом, $F(v)$ имеет смысл плотности вероятности и позволяет вычислять средние значения любой физической величины, являющейся функцией от скорости молекул. Так, средняя арифметическая, или средняя скорость равна:

$$\langle v\rangle = \frac{1}{N}\int vdN = \int_0^\infty vF(v)dv = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}} \quad (4)$$

Для средней квадратичной скорости получается формула:

$$\langle v^2 \rangle = \int_0^\infty v^2 F(v) dv = \frac{3kT}{m};$$

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \qquad (5)$$

Наиболее вероятной скоростью $v_{\text{вер}}$ называется скорость, при которой Максвелловская функция распределения достигает максимума. Формула для $v_{\text{вер}}$ получается из условия $dF(v)/dv=0$ и имеет вид:

$$v_{\text{вер}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} \qquad (6)$$

Методика и порядок измерений

Изучение распределения молекул по скоростям

Задайте температуру T_1, указанную в таблице 1 (знчения температур задаются преподавателем). Выберите значения скоростей близко в значениям данным в таблице 2. Нажмите мышью кнопку «**Start**» вверху экрана. Внимательно рассмотрите изображение на экране монитора компьютера. Обратите внимание на систему частиц, движущихся в замкнутом объеме слева на экране. Они абсолютно упруго сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. Их количество около 100 и данная система является хорошей “механической” моделью идеального газа. В процессе исследований можно останавливать движение всех молекул (при нажатии кнопки “**Pause**”) и получать как бы “мгновенные фотографии”, на которых выделяются более ярким свечением частицы (точки), скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости v (т.е., имеющие скорости от v до $v + \Delta v$). Нажимайте клавишу “**Pause**” и подсчитывайте на “мгновенной фотографии” количество молекул N_i, скорости которых лежат в заданном диапазоне $\Delta \upsilon$ вблизи заданной скорости молекул υ. Полученный результат запишите в таблицу 2.

Нажмите кнопку «**Start**» и через несколько секунд получите еще одну мгновенную фотографию (нажав клавишу “**Pause**”) и подсчитайте количество частиц с заданной скоростью. Результаты 5 измерений для каждой скорости запишите в таблицу 2. Затем измените скорость и сделайте по 5 измерений для каждой скорости, указанной в табл.2.

Затем установите вторую температуру T_2 из табл.1 и повторите измерения, записывая результат в таблицу 2а, аналогичную табл.2.

Таблица-1

Примерные значения температуры (задаются преподавателем).

	1	2	3	4	5	6	7	8
T_1	250	300	340	380	420	460	500	540
T_2	580	620	650	680	710	740	770	800

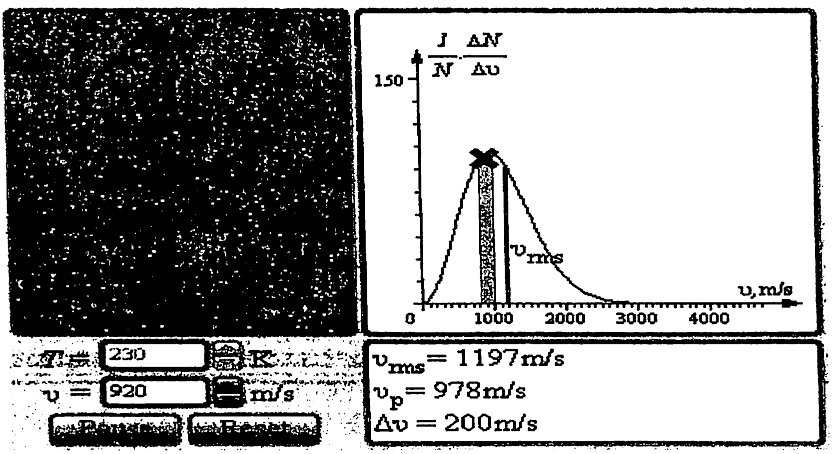


Таблица- 2

Данные полученные при температуре $T_1 =$ _____ K

$\vartheta \left[\frac{\text{км}}{\text{с}}\right]$	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2
N_1											
N_2											
N_3											
N_4											
N_5											
N_{cp}											

Таблица- 2а

Данные полученные при температуре $T_2 =$ _____ K

$\vartheta \left[\frac{\text{км}}{\text{с}}\right]$	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2
N_1											
N_2											
N_3											
N_4											
N_5											
N_{cp}											

Обработка результатов и подготовка отчёта

1. Вычислите и запишите в таблицы средние значения количества частиц $N_{ср}$, скорости которых лежат в данном диапазоне от υ до $\upsilon+\Delta\upsilon$.
2. Постройте на одном рисунке теоретические и практические графики зависимости $N_{ср}$ и v для различных температур. Теоретические зависимости можно перерисовать с экрана монитора компьютера.
3. Для каждой температуры определите по построенным графикам экспериментальное значение наиболее вероятной скорости молекул $v_{\text{вер}}$.
4. Постройте график зависимости квадрата наивероятнейшей скорости молекул от температуры $v_{\text{вер}}^2(\text{T})$.
5. По данному графику определите значение массы молекулы

$$m = 2k\frac{\Delta(T)}{\Delta v_{\text{вер}}^2}$$

6. Подберите газ, масса молекулы которого достаточно близка к измеренной массе молекулы показанной в таблице-3.
7. Проанализируйте полученные данные и графики, сделайте выводы.

Таблица-3

Газ	Водород	Гелий	Неон	Азот	Кислород
Масса молекулы m, 10^{-27} кг	3.32	6.64	33.2	46.5	53.12

Контрольные вопросы

1. Что такое Максвелловский закон распределение молекул по скоростям? Для каких условий он получен? Напишите формулу для функции распределения Максвелла $F(v)$.
2. Каковы особенности графика функции распределения Максвелла?
3. Какие из нижеприведенных формул являются функцией распределения Максвелла $F(v)$: a) dN_v/dv; b) dN_v/Ndv; c) dN_v/N; d) dP_v/dv?
4. Что такое функция распределения? Как найти долю молекул, скорости которых лежат в интервале от v_1 до v_2?
5. Как найти вероятность того, что скорость произвольно взятой молекулы находится в интервале от v_1 до v_2?
6. Как оценить долю молекул, скорости которых лежат в достаточно малом интервале $(v, v+\Delta v)$?
7. Сравните относительное число молекул, скорости которых меньше $v_{вер}$, с долей молекул, скорости которых соответственно больше $v_{вер}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Q.P. Abduraxmanov, V.S.Xamidov, N.A. Axmedova. "FIZIKA" Darslik. Toshkent. 2018.

2. И.И.Савельев. Курс общей физики. Том 1. Москва 2018.

3. Савельев И.В. Курс общей физики, кн. 3. Молекулярная физика и термодинамика. –М.: ООО «Издательство АСТ», 2005.

4. Physics: Principles with Applications 6th Edition by Douglas C.Giancoli, 2014.

5. Иродов И.Е. Физика макросистем. –М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. §§ 2.1, 2.2.

6. Сивухин Д. В. Общий курс физики, т. I Механика, М.: Наука, 2005.

7. П.А.Типлер, Р.А.Ллуэллин Современная физика (Лучший зарубежный учебник в двух томах). (1том). М.: Мир, 2007.

8. П.А.Типлер, Р.А.Ллуэллин Современная физика (Лучший зарубежный учебник в двух томах). (2том).М.: Мир, 2007.

8. Трофимова Т.И. Физика (справочник с примерами решения задач). Учебное пособие. М.Высшее образование. 2008. с.447.

10. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. –М.: Наука, 1969.

11. Трофимова Т. И. Физика в таблицах и формулах, Издательство: Академия, с. 448, 2010 г.

12.Абдурахманов К.П., Тигай О.Э., Хамидов В.С. Курс мультимедийных лекций по физике, 2012.

СОДЕРЖАНИЕ

Методические пособие к лабораторным занятиям по физике. «Механика Молекулярная физика и термодинамика ». Часть I.
Предназначена для студентов Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Харазмий

Рассмотрено и рекомендовано к публикации на заседании кафедры «Физика», (протокол №28 от 20.04.2021 года).

Рассмотрено и рекомендовано к публикации на заседании факультета ТТ (протокол № 9 от 27.04.2021 года).

Рассмотрено и рекомендовано к публикации на заседании Совета ТАТУ, (протокол № 9(134) от 27.04.2021 года).

Составители:
к.ф.-м.н, Х.М. Холмедов,
старший преподаватель Х.Н. Каримов
асс. Ш.И.Абдуллаева
асс. С.С.Халилов
Рецензенты:
М.Ю.Мансурова,
О.О.Очилова
Ответственный редактор:
доц. Х.М.Холмедов

Формат 60x84 1/16. Печ.лист 5,25.
Заказ № 31. Тираж 15.
Отпечатано в «Редакционно издательском»
отделе при ТУИТ.
Ташкент ул. Амир Темур, 108.